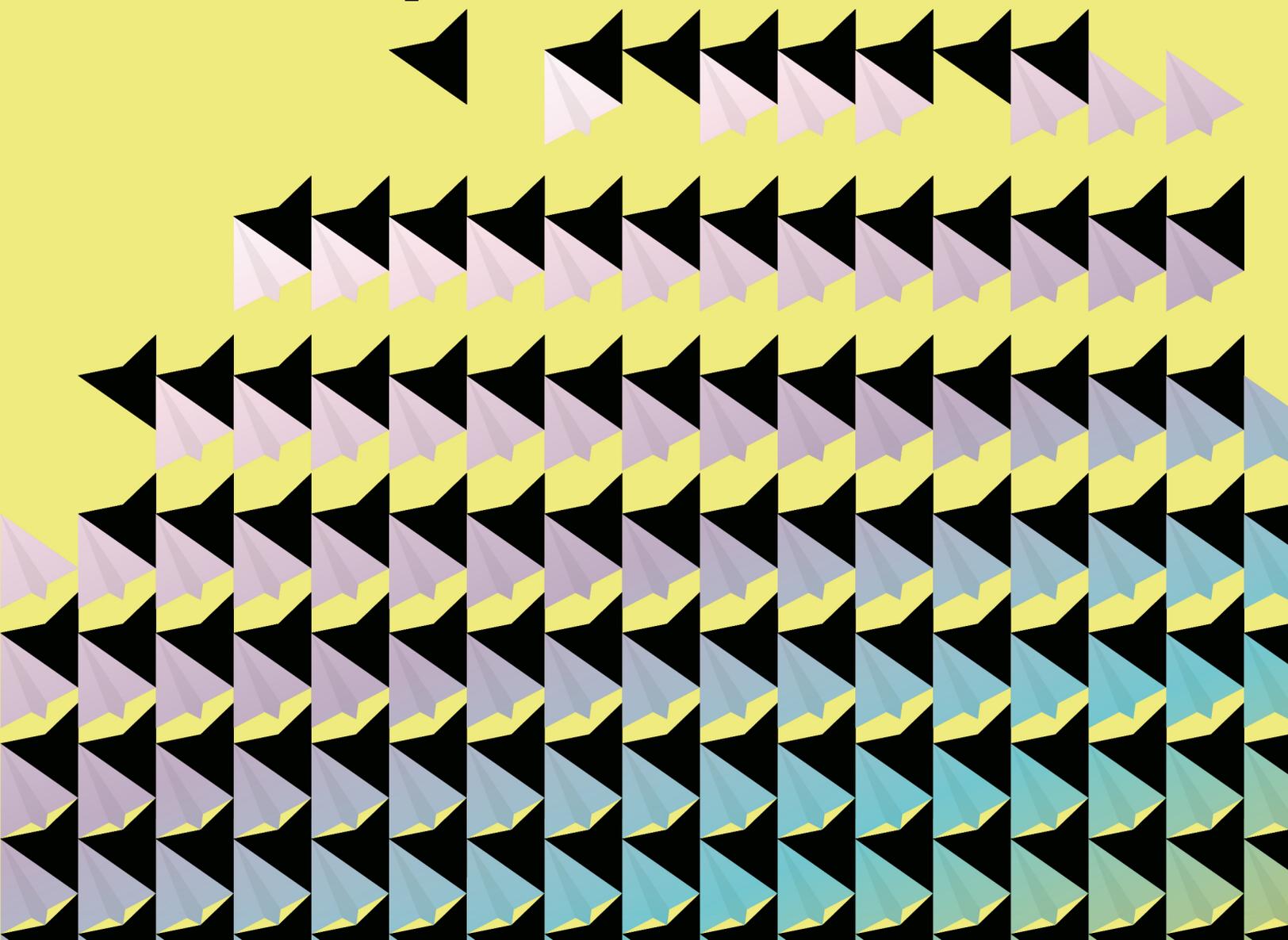


Melanie Wilde

How to Change a Running System. Infrastrukturinnovationen im Internet

Eine Grounded Theory Studie
zum historisch vergleichenden
Umbauprozess der
Internetinfrastruktur am Beispiel des
Internetprotokolls



How to Change a Running System. Infrastrukturinnovationen im Internet

**Eine Grounded Theory Studie zum
historisch vergleichenden Umbauprozess
der Internetinfrastruktur am Beispiel des
Internetprotokolls**

Melanie Wilde



Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Doktor der Philosophie (Dr. phil.) an der Fakultät für Erziehungswissenschaft der Universität Bielefeld

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Titel: How to Change a Running System. Infrastrukturinnovationen im Internet. Eine Grounded Theory Studie zum historisch vergleichenden Umbauprozess der Internetinfrastruktur am Beispiel des Internetprotokolls

Autor:in: Melanie Wilde

Cover & Design: Martina Hillebrand

Produktion: Klaus Rummler

Verlag: *OAPublishing Collective Genossenschaft* für die Zeitschrift MedienPädagogik, hrsg. durch die Sektion Medienpädagogik (DGfE)

Herstellung: Books on Demand GmbH, Norderstedt, Deutschland

Reihe: Dissertationen in der Zeitschrift MedienPädagogik



ISBN (print): 978-3-03978-141-6
ISBN (online): 978-3-03978-146-1
DOI-URL: <https://doi.org/10.21240/mpaed/diss.mw.X>
ISSN: 1424-3636

© Zürich, 2024. Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0), alle Rechte liegen bei den Autor:innen

Das Werk und jeder seiner Beiträge, sind urheberrechtlich geschützt. Sie dürfen das Material in jedwedem Format oder Medium vervielfältigen und weiterverbreiten, das Material remixen, verändern und darauf aufbauen und zwar für beliebige Zwecke. Unter folgenden Bedingungen: Namensnennung – Sie müssen angemessene Urheber- und Rechteangaben machen, einen Link zur Lizenz einschl. Original-DOI beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden. Diese Angaben müssen den üblichen wissenschaftlichen Zitierformaten folgen.

Inhalt

Zusammenfassung	1
1. Einleitung	5
1.1 <i>Forschungsdimensionen</i>	7
1.2 <i>Zum Aufbau der Arbeit</i>	9
2. Die Grounded Theory als übergeordnetes und offenes Forschungsparadigma	12
2.1 <i>Die Grounded Theory Methodologie – Entstehung und forschungsmethodologische Ausrichtung</i>	14
2.2 <i>Die Prozesshaftigkeit der Grounded Theory Methodologie im Kontext der Infrastrukturforschung</i>	15
2.3 <i>Die Forschungslogik und die Grundprinzipien der Grounded Theory Methodologie im Kontext der Infrastrukturforschung</i>	18
2.3.1 <i>Das theoretische Sampling</i>	19
2.3.2 <i>Theoriezentriertes Kodieren</i>	20
2.3.3 <i>Ständiges Vergleichen</i>	21
2.3.4 <i>Memoschreiben</i>	22
2.3.5 <i>Relationierung von Datenerhebung, Kodieren und Memo schreiben</i>	22
3. Ausgangslage und Forschungsfokus	24
3.1 <i>Zur Relevanz von Infrastrukturen und der Verbreitung der Internetinfrastruktur</i>	24
3.2 <i>Internetinfrastruktur</i>	26
4. Systematisches Literaturreview zum Stand der Internetinfrastrukturforschung	29
4.1 <i>Ziel, Aufbau und Inhalte des systematischen Literaturreviews zur Internetinfrastrukturforschung</i>	30
4.1.1 <i>Methodik der systematischen Literaturrecherche</i>	30
4.1.2 <i>Auswahl der (Fach)Datenbanken</i>	31
4.1.2.1 <i>Datenbank-Infosystem – Fachdatenbanken und übergreifende Datenbanken</i>	31
4.1.2.2 <i>Meta-Suchmaschinen</i>	33
4.1.2.3 <i>Einschlussfaktoren für Meta-Suchmaschinen</i>	34
4.1.2.4 <i>Gesamtauswahl der Meta-Suchmaschinen nach Einschlussfaktoren</i>	35

4.1.2.4.1	<i>Einschlussfaktor (1) multidisziplinär</i>	36
4.1.2.4.1.1	<i>BASE, Web of Science und Scopus</i>	37
4.1.2.4.1.2	<i>Campbell Collaboration Library</i>	38
4.1.2.4.1.3	<i>Deutscher Bildungsserver</i>	39
4.1.2.4.1.4	<i>DIE Meta Archiv</i>	39
4.1.2.4.1.5	<i>SSOAR</i>	40
4.1.2.4.1.6	<i>ERIC</i>	40
4.1.2.4.1.7	<i>FIS Bildung</i>	40
4.1.2.4.2	<i>Einschlussfaktor (2) reichhaltig</i>	41
4.1.2.4.3	<i>Einschlussfaktor (3) global</i>	43
4.1.2.4.4	<i>Einschlussfaktor (4) vielfältig</i>	45
4.1.2.5	<i>Reflexion und Gesamtauswahl der Meta-Suchmaschinen</i>	51
4.1.3	<i>Definition der Suchbegriffe und Erstellung/ Überprüfung des Suchstrings</i>	56
4.1.4	<i>Durchführung der Literaturrecherche</i>	57
4.1.5	<i>Sichtung/ Dokumentation der Suchergebnisse</i>	59
4.2	<i>Ergebnisdarstellung des Literaturreviews</i>	65
4.3	<i>Konkretisierung des Forschungsgegenstandes: Die Umgestaltung der Internetinfrastruktur</i>	69
5.	Theoretisch sensibilisierende Konzepte	71
5.1	<i>Soziotechnische Systeme und Akteur:innen-Netzwerke</i>	71
5.1.1	<i>Zur Entstehung des Ansatzes grosstechnischer Systeme</i>	72
5.1.2	<i>Grosstechnische Infrastrukturen als soziotechnische Systeme</i>	73
5.1.3	<i>Die Internetinfrastruktur als soziotechnisches System</i>	74
5.1.4	<i>(Kern)Merkmale grosstechnischer Systeme</i>	77
5.1.4.1	<i>Grösse und Ausweitung</i>	78
5.1.4.2	<i>Vernetzung und Anschlussfähigkeit</i>	79
5.1.4.3	<i>System Builder</i>	80
5.1.4.4	<i>Momentum und Prozesshaftigkeit</i>	80
5.1.5	<i>Zwischenfazit zum Ansatz grosstechnischer Systeme für den Forschungsgegenstand des Umbaus der Internetinfrastruktur</i>	82

5.2 Das Konzept der Akteur:innen-Netzwerk-Theorie	85
5.2.1 Grundidee der Akteur:innen-Netzwerk-Theorie und ihre Abgrenzung zu anderen Theorien	87
5.2.2 Die Kernelemente der Akteur:innen-Netzwerk-Theorie: Aktant:innen, Übersetzung, Netzwerke	90
5.2.2.1 Aktant:innen	90
5.2.2.2 Übersetzung	92
5.2.2.3 Netzwerk	94
5.2.3 Zwischenfazit zur Akteur:innen-Netzwerk-Theorie für den Forschungsgegenstand des Umbaus der Internetinfrastruktur	95
6. Zwischenfazit	98
6.1 Ausgangslage, Forschungsfokus, Literaturreview und theoretisch sensibilisierende Konzepte	98
6.2 Reflexion auf methodologischer Ebene	100
6.3 Konkretisierung der forschungsleitenden Fragen	102
6.4 Implikationen für und Vorgehen in der Forschungspraxis	104
6.5 Das Analyseschema der Akteur:innen-Netzwerk-Theorie im Kontext der Grounded Theory Methodologie	104
6.5.1 Festlegung des Netzwerks	106
6.5.2 Identifikation beteiligter Akteur:innen	107
6.5.3 Übersetzungsprozesse	108
6.5.4 Variation der Beobachtungsperspektive	109
7. Das Internetprotokoll als Fallbeispiel für den Umbau der Internetinfrastruktur	111
7.1 Auswahlkriterien für die Auswahl des Untersuchungsgegenstandes	111
7.2 Anwendung der Auswahlkriterien auf das Internetprotokoll	112
8. Die Forschungsmethoden der Studie	114
8.1 Verfahren zur Datenerhebung	116
8.1.1 Dokumentenanalyse	116
8.1.2 Interviews	117
8.1.2.1 Ablaufschema des Interviews	121
8.1.2.2 Interviewleitfaden	123

8.1.2.2.1	<i>Interviewheader</i>	123
8.1.2.2.2	<i>Erklärungsphase</i>	124
8.1.2.2.3	<i>Einleitungsphase</i>	126
8.1.2.2.4	<i>Erzähl- und Fragephase</i>	126
8.1.2.2.5	<i>Abschlussphase</i>	130
8.2	<i>Sampling und Erhebung</i>	131
8.2.1	<i>Begründung des Samplings im Kontext der Dokumentenanalyse</i>	132
8.2.2	<i>Begründung des Samplings im Kontext der Interviewstudie</i>	136
8.2.2.1	<i>Forschung</i>	138
8.2.2.2	<i>Öffentliche Verwaltung</i>	139
8.2.2.3	<i>Interessenverbände/Vereine</i>	141
8.2.2.4	<i>Wirtschaft</i>	142
8.2.3	<i>Sampling der Interviewstudie</i>	144
8.3	<i>Gesamtsampling der Grounded Theory Studie</i>	146
8.4	<i>Die Methoden zur Datenaufbereitung</i>	149
8.4.1	<i>Transkription</i>	149
8.4.2	<i>Computergestützte Verwaltung und Auswertung von Forschungsdaten</i>	151
8.5	<i>Verfahren zur Datenauswertung: Kodierung und Memos</i>	153
8.5.1	<i>Dokumenten-Steckbrief</i>	156
8.5.2	<i>Analysebeispiel</i>	157
8.6	<i>Zwischenfazit zu den Forschungsmethoden</i>	162
9.	<i>Ergebnisdarstellung</i>	166
9.1	<i>Die Rekonstruktion der Historie des Internets</i>	168
9.1.1	<i>Forschungsaufgaben und -förderung in den United States of America (USA)</i>	169
9.1.2	<i>Die Gründung der Advanced Research Projects Agency (ARPA)</i>	171
9.1.3	<i>Die Anfänge der technischen Vernetzung – ARPANET</i>	172
9.1.4	<i>Die Ausweitung des ARPANETs: Technologie und Nutzung</i>	174
9.1.5	<i>Packet-Switching – Zur Akteur:innenschaft von Computernetzwerken</i>	175
9.1.6	<i>Die Ausweitung des Netzwerks und Problemlösungen durch Interface Message Processors (IMPs) und Terminal IMPs (TIPs)</i>	180

9.1.7	<i>Die Network Working Group – Probleme des Wachstums und Ausbildung eines organisationalen Momentums</i>	185
9.1.8	<i>Das Layering als Vermittler:in zur Reduzierung von Komplexität</i>	187
9.1.9	<i>Request for Comment (RFC) als Austauschmedium</i>	192
9.2	<i>Zwischenfazit – Das soziotechnische Netzwerk in der Phase der Entstehung des Internets – ARPANET</i>	195
9.2.1	<i>Rahmenbedingungen im ARPANET</i>	197
9.2.1.1	<i>Autonomie von Forschung und Förderkultur</i>	197
9.2.1.2	<i>Institutionelle Einbettung</i>	198
9.2.2	<i>Soziotechnische Verflechtungen im ARPANET</i>	198
9.2.2.1	<i>Technologische Neuerungen</i>	199
9.2.2.1.1	<i>Räumliche Ausbreitung und technische Ausweitung des ARPANETS</i>	199
9.2.2.1.2	<i>Technologische Zuverlässigkeit und Funktionalität</i>	199
9.2.2.1.3	<i>Parallelentwicklung</i>	200
9.2.2.2	<i>Soziale und organisationale Veränderungen</i>	200
9.2.2.2.1	<i>Motivation: Nutzungseinschränkungen, -visionen und möglichkeiten</i>	200
9.2.2.2.2	<i>Organisationale Veränderungen im ARPANET</i>	201
9.2.2.2.3	<i>Verstehensprozesse von Technik</i>	201
9.2.2.2.4	<i>Reduktion von Komplexität und Steigerung der Anschlussfähigkeit</i>	203
9.2.2.2.4.1	<i>Layering – strukturelle Differenzierung und soziale Ausdifferenzierung</i>	203
9.2.2.2.4.2	<i>RFCs – diskursive Ordnung, Austauschforum, Medienwechsel</i>	203
9.2.2.2.5	<i>Organisationale Veränderung durch Bottom-up Strategien</i>	204
9.2.3	<i>Entwickler:innen und Entwicklungsprozesse im ARPANET</i>	204
9.2.3.1	<i>(Männliche) Entwickler=Nutzer:innen</i>	204
9.2.3.2	<i>Merkmale zur Gestaltung von Entwicklungsprozessen des ARPANETS</i>	205
9.2.3.2.1	<i>Offene Gestaltung und Partizipation</i>	205
9.2.3.2.2	<i>Entwickler:innen-Gemeinschaften statt System Builder</i>	205

9.2.4	<i>Strategien zum Umbau des ARPANETs</i>	206
9.2.4.1	<i>Umbau durch Nichtnutzung</i>	206
9.2.4.2	<i>Bedingung für Umbau im ARPANET</i>	207
9.2.4.2.1	<i>Commitment</i>	207
9.2.4.2.2	<i>Machbarkeit durch Technik</i>	207
9.2.4.2.3	<i>Schliessungsprozesse durch Quantifizierung</i>	208
9.2.4.2.4	<i>Kosten</i>	208
9.3	<i>Zur Rekonstruktion der Entwicklung und Einführung des Internetprotokolls</i>	209
9.4	<i>Die Rekonstruktion des Internetprotokolls: Zwischenentwicklungen host-to-host Protocol bis Transmission Control Protocol (TCP)</i>	211
9.4.1	<i>Die Entwicklung des TCPs</i>	212
9.4.2	<i>Die Demonstration und Verbreitung des TCPs</i>	213
9.4.3	<i>Ausbreitung und kommerzielle Nutzung des TCPs</i>	215
9.5	<i>Zwischenfazit: Das soziotechnische Netzwerk in der Phase der Entstehung und Frühgenese des Transmission Control Protocol (TCP)</i>	218
9.5.1	<i>Rahmenbedingung TCP</i>	219
9.5.2	<i>Soziotechnische Verflechtungen TCP</i>	219
9.5.2.1	<i>Technologische Neuerungen</i>	219
9.5.2.1.1	<i>Räumliche Ausbreitung und technische Ausweitung</i>	220
9.5.2.1.1.1	<i>Nationale technische Ausweitung</i>	220
9.5.2.1.1.2	<i>Globale technische Ausweitung</i>	220
9.5.2.1.1.3	<i>Zwischenentwicklungen</i>	220
9.5.2.1.2	<i>Technikdiffusion und technologische Vermarktung</i>	221
9.5.2.1.3	<i>Interoperabilität von Infrastrukturtechnologien</i>	221
9.5.2.2	<i>Soziale und organisationale Veränderungen durch das TCP</i>	222
9.5.2.2.1	<i>Nutzungseinschränkungen, -visionen und -möglichkeiten</i>	222
9.5.2.2.1.1	<i>Nutzungseinschränkungen und -visionen als Bedingung für Motivation</i>	222
9.5.2.2.1.2	<i>Nutzungsmöglichkeiten: Vermarktung und kommerzielle Nutzung</i>	223
9.5.2.2.2	<i>Organisationale Veränderung – Einrichtung der INWG</i>	223

9.5.3	<i>Entwickler:innen und Nutzer:innen des TCPs</i>	224
9.5.3.1	<i>Entwickler:innen und Entwicklungsprozesse</i>	224
9.5.3.2	<i>Nutzer:innen des TCPs</i>	224
9.5.3.2.1	<i>Nutzer:innen mit fachlicher Expertise als Anwender:innen</i>	224
9.5.3.2.2	<i>Kommerzielle Nutzer:innen als Endnutzer:innen von Technik</i>	225
9.5.4	<i>Strategien und Charakteristika für dem Umbau beim TCP</i>	225
9.5.4.1	<i>Bedingung für Umbau des TCPs</i>	225
9.5.4.1.1	<i>Schliessungsprozesse durch Quantifizierung</i>	225
9.5.4.1.2	<i>Demonstration und praktische Erprobung</i>	226
9.5.4.1.3	<i>Praktische Umsetzung als strategischer Prozess</i>	226
9.5.4.1.3.1	<i>Demonstrationsnetzwerk als Testumgebung</i>	226
9.5.4.1.3.2	<i>«do-it-yourself»-Anwendungen und Booklets</i>	226
9.5.4.1.3.3	<i>Imagefilm</i>	227
9.5.4.2	<i>Aufbrechen von Beharrungstendenzen durch soziale und technische Anschlussfähigkeit beim TCP</i>	227
9.5.4.2.1	<i>Stagnierende Ausgangslage – TCP als «key turning point»</i>	227
9.5.4.2.2	<i>Soziale Anschlussfähigkeit durch Communitybildung/ -vertiefung</i>	228
9.5.4.2.3	<i>Technologische Anschlussfähigkeit</i>	228
9.5.4.3	<i>Charakteristika im Umbauprozess beim TCP</i>	228
9.5.4.3.1	<i>Globale Standards durch INWG</i>	229
9.5.4.3.2	<i>Geschwindigkeit der Umsetzung</i>	229
9.6	<i>Die Rekonstruktion des Internetprotokolls: Transmission Control Protocol/Internet Protocol (TCP/IP) und Weiterentwicklungen bis Internet Protocol Version 5 (IPv5/ TP/IX)</i>	229
9.6.1	<i>Das standardisierte TCPv4 im Jahr 1981</i>	230
9.6.2	<i>Das standardisierte IPv4 im Jahr 1981</i>	231
9.6.3	<i>Der Entwicklungs- und Verbreitungsverlauf des Transmission Control Protocols/Internet Protocols (Version 1–3)</i>	233
9.6.4	<i>Der Entwicklungs- und Verbreitungsverlauf des Transmission Control Protocols/Internet Protocols (Version 4)</i>	238

9.7 Zwischenfazit – Phase der Entwicklung des TCP/IP bis IPv5 (TP/IX)	242
9.7.1 Rahmenbedingungen für interconnected networks (kurz: Internet)	243
9.7.2 Soziotechnische Verflechtungen im Internet	243
9.7.2.1 Technologische Neuerungen	243
9.7.2.1.1 Zeitlich analoger Entwicklungsprozess des TCPs und IPs	243
9.7.2.1.1.1 TCPv4/IPv4 als voneinander abhängige technologische Innovationen	244
9.7.2.1.1.2 Stabilisierung und Reduktion von Unsicherheit durch Vermessung und Quantifizierung der Datenübertragung (retransmission/checksums)	244
9.7.2.1.1.3 Akteur:innenschaft von Technik – Zur Selbstkontrolle der Technik	245
9.7.2.1.2 IP-Adresse zur Adressierung und Lokalisierung von Technologien im soziotechnischen Netzwerk	245
9.7.2.1.2.1 Ausgestaltung der IP-Adresse	245
9.7.2.1.2.2 Quantifizierung und Limitation durch die Gesamtanzahl bereitgestellter IP-Adressen durch das IPv4	246
9.7.2.1.2.3 Address Mapping – Differenzierung des Adressraums des IPv4 zur Adressvergabe	246
9.7.2.1.2.4 Protocol Layering als Ausdruck technologischer Komplexität	246
9.7.2.1.2.5 Räumliche Ausbreitung und technische Ausweitung	247
9.7.2.1.3 Technikdiffusion	247
9.7.2.1.4 Technologische Anschlussfähigkeit durch Interoperabilität von Infrastrukturtechnologien	247
9.7.2.1.5 Technologische Stabilisierung	248
9.7.2.2 Soziale und organisationale Veränderungen im Internet	248
9.7.2.2.1 Das TCP/IP Digest – informelles Austauschmedium	248
9.7.2.2.2 Lokalisierung von Netzwerkbestandteilen durch Entwickler:innen mittels IP-Adresse	249
9.7.3 Entwickler:innen und Entwicklungsprozesse im ARPANET/Internet	250
9.7.3.1 Anwender:innen als Netzwerkhersteller:innen	250
9.7.3.2 Entwicklungsprozesse	251
9.7.4 Strategien und Charakteristika im Umbau des ARPANETs zum Internet	251
9.7.4.1 Verfolgte Umbaustrategie – terminierte und hierarchisch angeordnete Umstellung auf das TCPv4/IPv4	251
9.7.4.1.1 Folgen des Umbaus	252
9.7.4.1.1.1 Technologische und soziale Ebene	252
9.7.4.1.1.2 Organisationale Veränderungen	253

9.7.4.2	<i>Charakteristika im Umbauprozess des IPv4</i>	254
9.7.4.2.1	<i>Heterogene Interdependenzen sozialer und technologischer Akteur:innen mit zeitlich-räumlichen Elementen</i>	254
9.7.4.2.2	<i>Folgeentwicklungen IPv5/ IPv6</i>	255
9.8	<i>Die Rekonstruktion des Internetprotokolls: Internet Protocol Version 6 (IPv6)</i>	255
9.8.1	<i>Grundlegende Informationen zum Standardisierungsprozess des Internet Protocols Version 6 (IPv6) und dessen Verbreitung</i>	256
9.8.2	<i>Die Rekonstruktion des Entwicklungsverlauf des Internet Protocols Version 6 (IPv6)</i>	258
9.8.3	<i>Migrationsstrategien und Initiativen zur Verbreitung des IPv6</i>	261
9.8.3.1	<i>Migrationsstrategien</i>	262
9.8.3.1.1	<i>Der Anlass und die Gründe für die Einführung des IPv6</i>	263
9.8.3.1.2	<i>Prozesshaftigkeit der Einführung des IPv6</i>	266
9.8.3.1.3	<i>Weitere Migrationsstrategien zur Ausgestaltung der Einführung des IPv6</i>	270
9.8.3.1.3.1	<i>Forschung</i>	271
9.8.3.1.3.2	<i>Öffentliche Verwaltung</i>	274
9.8.3.1.3.3	<i>Interessenverbände/Vereine</i>	279
9.8.3.1.3.4	<i>Wirtschaft</i>	287
9.8.4	<i>Der World-IPv6-Day</i>	294
9.9	<i>Zwischenfazit – Phase der Einführung des IPv6</i>	298
9.9.1	<i>Rahmenbedingung und Ausgangssituation der Einführung des IPv6</i>	298
9.9.2	<i>Soziotechnische Verflechtungen des IPv6</i>	299
9.9.2.1	<i>Technologische Neuerungen</i>	299
9.9.2.1.1	<i>Räumliche Ausbreitung und technische Ausweitung</i>	300
9.9.2.1.1.1	<i>Aufhebung der Limitation des IPv4 durch den IPv6 Adressraum</i>	300
9.9.2.1.1.2	<i>Erweiterung der logischen Struktur der IP-Adressen</i>	300
9.9.2.1.1.3	<i>Übergangstechnologien als Workaround zur Sicherstellung der technologischen Anschlussfähigkeit</i>	301
9.9.2.2	<i>Soziale und organisationale Veränderungen beim IPv6</i>	302
9.9.2.2.1	<i>Forschungsbedarf zur Migration des IPv6</i>	302
9.9.2.2.2	<i>Ausweitung des soziotechnischen Netzwerks durch Nutzer:innen</i>	303
9.9.2.2.3	<i>Initiative zur Verbreitung und Testung des IPv6 – der World-IPv6-Day</i>	303
9.9.2.3	<i>Zeitliche, personelle und finanzielle Ressourcen</i>	304
9.9.2.3.1	<i>Zeitliche und personelle Ressourcen</i>	304
9.9.2.3.2	<i>Finanzielle Ressourcen</i>	304

9.9.2.4	<i>Entwickler:innen und Entwicklungsprozesse IPv6</i>	305
9.9.2.4.1	<i>Netzwerkhersteller:innen als Netzbetreiber:innen</i>	305
9.9.2.4.2	<i>Charakteristika von Netzbetreiber:innen</i>	305
9.9.2.4.3	<i>Kontrastive Charakteristik: Top-down</i>	306
9.9.2.4.4	<i>Service-Provider als mögliche Game Changer</i>	307
9.9.2.5	<i>Entwicklungsprozesse – Einführung des IPv6 als schrittweise Migration</i>	307
9.9.3	<i>Strategien und Charakteristika beim Umbau von IPv4 auf IPv6</i>	308
9.9.3.1	<i>Umbaustrategie(n)</i>	309
9.9.3.1.1	<i>Dual-Stack</i>	309
9.9.3.1.1.1	<i>Testumgebungen zur Schaffung von Sicherheit</i>	309
9.9.3.1.1.2	<i>Performancemessungen und Tests als Kontrollinstrumente zur Reduktion von Unsicherheit</i>	310
9.9.3.1.2	<i>IPv6 only</i>	310
9.9.3.2	<i>Charakteristika im Umbauprozess des Internets</i>	310
9.9.3.2.1	<i>Bedingungen für den Umbau</i>	310
9.9.3.2.2	<i>Hemmende Bedingungen für den Umbau</i>	310
9.9.3.2.2.1	<i>IP(v6) Adresse – erschwert Lokalisierung von Netzwerkbestandteilen</i>	311
9.9.3.2.2.2	<i>Doppelstruktur</i>	311
9.9.3.2.2.3	<i>Internet als verteiltes Subnetzwerk ohne zentrale, hierarchische Struktur</i>	312
9.9.3.2.3	<i>Fördernde Bedingungen für Umbau</i>	313
9.9.3.2.3.1	<i>Intrinsische Motivation</i>	313
9.9.3.2.3.2	<i>Unternehmerisches Handeln</i>	313
9.9.3.2.3.3	<i>Dringlichkeit</i>	313
9.9.3.2.3.4	<i>Adressausschöpfung</i>	313
9.9.3.2.3.5	<i>Wissen</i>	314
9.9.3.2.3.6	<i>Sichtbarkeit</i>	316
9.9.3.2.3.7	<i>Quantifizierung</i>	316

10. Grounded Theory zum Umbau der Internet-Infrastruktur	317
10.1 Die Entwicklung des soziotechnischen Netzwerks des Internets	317
10.1.1 Soziotechnische Verflechtungen	318
10.1.2 Grösse und Ausweitung	318
10.1.3 Vernetzung und Anschlussfähigkeit	321
10.1.4 System Builder als Visionär:innen und unternehmerisch handelnde Akteur:innen/-konstellationen	322
10.1.5 Momentum und Prozesshaftigkeit	323
10.2 Die Phasen des Umbaus der Internetinfrastruktur	324
10.2.1 Innovationsphase	325
10.2.2 Stabilisierungsphase	327
10.2.3 Migrationsphase	328
10.3 Schlussfolgerungen aus dem Ergebniskapitel und der Grounded Theory	329
11. Fazit	332
11.1 Forschungsmethodologische und theoretische Bilanzierung	333
11.2 Grenzen und Limitationen	335
11.3 Forschungsbedarfe	336
Literatur	338
Danksagung	354
Fachliche Abkürzungen	354
Abbildungen	356
Tabellen	357

How to Change a Running System. Infrastrukturinnovationen im Internet

Eine Grounded Theory Studie zum historisch vergleichenden Umbauprozess der Internetinfrastruktur am Beispiel des Internetprotokolls

Melanie Wilde¹ 

¹ Hochschule Bielefeld

Zusammenfassung

Kaum ein Bereich der modernen Gesellschaft ist heutzutage ohne internetbasierte Technologien denkbar. Die Basis solcher Techniken ist eine immer komplexer werdende und sich ausbreitende Internetinfrastruktur, die permanent aufrechterhalten und den wachsenden Anforderungen entsprechend ausgebaut werden soll.

Das wachsende Interesse an internetbasierten Informations- und Kommunikationstechnologien hat eine Vielzahl von Studien hervorgebracht, die sich mit der Neugestaltung und Einrichtung von Internettechnologien befassen oder deren Wirkung untersuchen. Die Umgestaltung bestehender informationstechnischer Systeme im Sinne des Umbaus der bestehenden Internetinfrastruktur wurde bislang aber gänzlich ausser Acht gelassen. Dabei ist insbesondere der Umbau der Internetinfrastruktur ausserordentlich komplex. Er bedarf besonderer Beachtung, da dieser im laufenden Betrieb unter Berücksichtigung der Interoperabilität mit bereits bestehenden Technologien in eine stetig wachsende informationstechnische Infrastruktur erfolgen muss.

Die vorliegende Arbeit verfolgt daher das Ziel, diese Forschungslücke anhand der Untersuchung der Dynamiken beim Umbau der bestehenden Internetinfrastruktur ein Stück weit zu schliessen und einen Beitrag zur Weiterentwicklung der Infrastrukturforschung zu leisten. Dies geschieht am Beispiel der Analyse des Internetprotokolls; von der Einführung des TCP/IP bis zum in der Einführung befindlichen Internet Protocol Version 6 (IPv6) mit dem Ziel, eine gegenstandsbezogene Theorie zum Umbau der Internetinfrastruktur zu generieren.

Dazu wird auf Basis eines systematischen Literaturreviews zum Umbau der Internetinfrastrukturforschung der Einführungsprozess detailliert am Beispiel des Internetprotokolls durch eine Methodentriangulation aus Dokumentenanalyse und Interviews historisch vergleichend rekonstruiert. Dies geschieht in Anlehnung an die Verschränkung der Makroperspektive des Ansatzes grosstechnischer Infrastruktursysteme (GTS) (vgl. etwa Mayntz 1988; Mayntz und Hughes 1988; Braun und Joerges 1994; Hughes 1983; 1987; Joerges 1988; 1996) (engl. Large Scale Infrastructures) mit der Mikroperspektive der

Akteur:innen-Netzwerk-Theory (ANT) (vgl. etwa Callon und Latour 2006b [1981]; Callon 2006a [1986]; Latour 1987; Law 2006 [1992]) und basierend auf der Forschungslogik sowie den Methodologien der Grounded Theory (GTM) (vgl. etwa Glaser und Strauss 1967; Strauss und Corbin 1996; 1990).

Dabei werden die teilnehmenden Akteur:innen in soziale Akteur:innen, sachliche Elemente und zeitlich-räumliche Konstellationen geclustert sowie deren Wirkung innerhalb des Umbauprozesses der Internetinfrastruktur analysiert. Weiter werden Phasen im Entwicklungs- und Einführungsprozess historisch vergleichend generiert und die verwendeten Strategien zur Entwicklung und Einführung von Infrastrukturtechniken im laufenden System herausgearbeitet.

Die Arbeit zeigt hier einen signifikanten Wandel im Bereich der sozialen, sachlichen und zeitlich-räumlichen Akteur:innenkonstellationen auf, welcher nicht ausschliesslich historisch bedingt ist, sondern sich auf die Besonderheiten des Umbaus zunehmend komplexer werdender laufender Infrastruktursysteme zurückführen lässt.

Einerseits wird herausgestellt, welche technischen, sozialen und zeitlich-räumlichen Akteur:innenkonstellationen treibend auf den Entwicklungs- und Einführungsprozess wirken und wie die zunehmende Komplexität technischer Strukturen, die Notwendigkeit technischer Interoperabilität und die daraus resultierende zunehmende Standardisierung Einfluss nehmen. Andererseits wird aufgezeigt, wie sich Strategien zur Entwicklung und Einführung zum Beispiel durch sich wandelnde zeitlich-räumliche und organisationale Strukturen verändert haben.

Die Studie erarbeitet dabei am Beispiel der Untersuchung der Entwicklung des Internets und Einführung des TCP/IP bis zum IPv6 drei zentrale Entwicklungsphasen für den Umbau der Internetinfrastruktur: Die Innovationsphase, die Stabilisierungsphase und die Migrationsphase. Während in der Innovationsphase die Entwickler:innen zugleich die Nutzer:innen der Technologie waren und das System für den Umbau abgeschaltet wurde, gewährleisten heutzutage in der Migrationsphase vermehrt Internetstandards die Operabilität mit bereits bestehenden Technologien. Weiter werden in der Migrationsphase Testumgebungen zur Erprobung technischer Neuerungen eingerichtet sowie eine schrittweise Implementierung mithilfe von Übergangslösungen verfolgt.

Schliesslich stellt die Arbeit heraus, dass Entwicklung und Einpassung reflexiv sind und aufgrund der Komplexität des Internets (soziale und technische Komplexität) zunehmend reglementiert werden. Infolge der Ausweitung des Netzes werden sie ausserdem global verteilt. Weiter lässt sich ein Trend von einer sozialen, sachlichen und zeitlich-räumlichen Homogenität in der Entwicklung und Einführung von Internetinfrastrukturtechnologien beobachten, die sich zu einer in jedem Aspekt wirkenden Heterogenität verschiebt. Diese Veränderungen sind keineswegs isolierter Art. Vielmehr beeinflussen sie ihr Umfeld in einem solchen Mass, dass sie nicht-intendierte Nebenfolgen erzeugen, die die Basis für weitere Entwicklungen bilden.

How to Change a Running System. Infrastructure Innovations on the Internet. A Grounded Theory Study on the Historical Comparative Re-Organisation Process of the Internet Infrastructure Using the Example of the Internet Protocol

Abstract

Nowadays, hardly any area of modern society is working without Internet-based technologies. The basis of such technologies is an increasingly complex and expanding Internet infrastructure, which is to be constantly maintained and expanded in accordance with growing requirements.

The ever-increasing interest in Internet-based information and communication technologies led to numerous studies dealing with the redesign and deployment of Internet technologies or investigating their impact. However, the redesign of existing information technology systems -in the sense of rebuilding the existing Internet infrastructure- has so far been almost completely disregarded.

The reconstruction of the Internet infrastructure is extraordinarily complex. Therefore, it requires very special attention, since it has to be carried out in a continuously growing information technology infrastructure while taking into account the interoperability with already existing technologies.

This thesis therefore aims to concentrate on and fill this existing research gap to some extent by examining the dynamics involved in the restructuring of the existing Internet infrastructure and to contribute to the further development of infrastructure research. This is carried out using the analysis of the Internet Protocol as an example; from the introduction of TCP/IP to the Internet Protocol version 6 (IPv6), which is currently being introduced. Using a systematic literature review on the reconstruction of Internet infrastructure research, the introduction process is reconstructed in historical comparative detail through a method triangulation of document analyses and interviews. This is done following the insights of the infrastructure theory (GTS) (c.f. Mayntz 1988; Mayntz und Hughes 1988; Braun und Joerges 1994; Hughes 1983; 1987; Joerges 1988; 1996) and Actor-Network-Theory (ANT) (c.f. Callon und Latour 2006a [1981]; Callon 2006b; 2006a [1986]; Latour 1987; Law 2006 [1992]) and based on the research logic as well as the methodologies of Grounded Theory (GTM) (c.f. Glaser und Strauss 1967; Strauss und Corbin 1996; 1990).

The participating actors are clustered into social actors, factual elements, and temporal-spatial constellations, and their effects within the process is to be analyzed. Furthermore, phases in the development and introduction process are compared historically, and the strategies used for the development and introduction of infrastructure technologies in the current system are elaborated.

This thesis shows a significant change in the field of social, factual, and temporal-spatial actor constellations, which is not exclusively historically determined but can be traced

back to the peculiarities of the reconstruction of increasingly complex existing infrastructure systems.

On the one hand, it is shown which technical, social, and temporal-spatial constellations of actors are driving the development and implementation process and how the increasing complexity of technical structures, the necessity of technical interoperability and the resulting increasing standardization have an influence. On the other hand, it is shown in how far strategies for development and introduction have changed, for example, due to changing temporal-spatial structures.

Using the example of the investigation of the development and introduction of TCP/IP up to IPv6, the study thereby elaborates on three central development phases for the transformation of the Internet infrastructure: the early innovation phase, the process phase, and the migration phase. While in the early development phase the developers were also the users of the technology and the system was switched off for conversion, nowadays more and more Internet standards ensure operability in the process phase using already existing technologies. Furthermore, during migration phase, test environments are set up to test technical innovations, and a step-by-step implementation is pursued with the help of transitional solutions.

Finally, the work highlights that development and adaptation are reflexive, increasingly regulated due to the complexity of the Internet (social and technical complexity), and, because of the network's expansion, globally distributed. Finally, in this context, the shift away from social, factual, and temporal-spatial homogeneity in the development and introduction of Internet infrastructure technologies to social, factual, and temporal-spatial heterogeneity can be observed. These changes are by no means to be seen in an isolated way. On the contrary, they influence their environment to such an extent that they generate unintended side effects forming the basis for further developments.

1. Einleitung

«Fortunately, nobody owns the Internet, there is no centralized control, and nobody can turn it off».

Brian Carpenter;

RFC 1958

Architectural Principles of the Internet,¹

June 1996

Kaum ein Bereich der modernen Gesellschaft ist heutzutage ohne internetbasierte Technologien denkbar, da internetbasierte Informations- und Kommunikationstechnologien und deren kontinuierliche Weiterentwicklung inzwischen unser gesamtes gesellschaftliches Leben ermöglichen und beeinflussen. Darunter fällt u. a., wie wir arbeiten, lernen, kommunizieren, reisen und bezahlen. Die Basis solcher Techniken ist eine immer komplexer werdende und sich ausbreitende Internetinfrastruktur, die stetig aufrechterhalten und den wachsenden Anforderungen entsprechend ausgebaut werden soll und muss.

Das wachsende Interesse an internetbasierten Informations- und Kommunikationstechnologien hat eine Vielzahl von Studien hervorgebracht, die sich mit der Neugestaltung und Einrichtung von Internettechnologien befassen oder deren Wirkung untersuchen (vgl. etwa Hauben und Hauben 1997; J.-H. Schmidt 2009; Segaller 1998). Die Umgestaltung bestehender informationstechnischer Systeme wurde bislang aber ausser Acht lassen. Dabei ist insbesondere der Umbau der Internetinfrastruktur – durch Weiterentwicklung und Einführung neuer Technologien in bestehende Systeme – höchst relevant für die Funktionalität unseres gesellschaftlichen Lebens. Zugleich ist der Umbau im Sinne einer Weiterentwicklung, u. a. aufgrund steigender Nutzer:innenzahlen und sich wandelnder Nutzungsarten, sehr anspruchsvoll. Das liegt daran, dass der Umbau der Internetinfrastruktur – unter Berücksichtigung der Interoperabilität mit bereits bestehenden Technologien – in eine immer komplexer werdende informationstechnische Infrastruktur durch die Mitarbeitenden im Bereich der Informationstechnik (IT) auf verschiedensten Ebenen bei laufendem Betrieb erfolgen muss.

Die vorliegende Arbeit verfolgt das Ziel, diese Forschungslücke anhand der Untersuchung der Interdependenzen und Dynamiken innerhalb des Umbauprozesses der bestehenden Internetinfrastruktur am Beispiel des Internetprotokolls zu untersuchen sowie Charakteristika und Strategien innerhalb des Umbauprozesses

1 RFC 1958 (1996): Architectural Principles of the Internet. Brian Carpenter. <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc1958>.

zu identifizieren und anhand dessen eine gegenstandsorientierte Theorie zu entwickeln, welche das Internet in der Entwicklung und Entstehung historisch vergleichend in seinen Charakteristika und den verfolgten Umbaustrategien kontrastiert.

Aufgrund der Komplexität des Forschungsgegenstandes, eines Mangels an grundlagenorientierten wissenschaftlichen Vorarbeiten und vielschichtiger Wechselwirkungen innerhalb von Internetinfrastrukturen verfolgt die Arbeit die Beantwortung eines auf mehreren Ebenen angelegten forschungsleitenden Fragenkomplexes. Dies erfolgt mit Fokus auf Akteurskonstellationen und Strategien im historischen Verlauf des Umbaus der Internetinfrastruktur am Beispiel des Internetprotokolls und wird im weiteren Verlauf der vorliegenden Arbeit konkretisiert.

Das Ziel ist, einen Beitrag zur Weiterentwicklung der Internetinfrastrukturforschung in methodologischer und theoretischer Hinsicht zu leisten, indem Charakteristika und Spezifika innerhalb dieser Infrastruktur identifiziert werden.

Dazu wird exemplarisch das Internetprotokoll als eine der grundlegendsten Infrastrukturtechniken des Internets untersucht. Das Internetprotokoll gehört zur Gruppe der Netzwerkprotokolle und regelt den Datentransport innerhalb eines Computernetzwerks von einem spezifischen Sender (PC) zum Empfänger (PC) (vgl. etwa RFC 675 u. a. 1974; RFC 793 und Postel 1981). Vereinfacht gesagt ist das Internetprotokoll das, was die Postadresse für Postsendungen bedeutet: Ohne eine eindeutig zuordbare Adresse können Briefe nicht zugestellt werden. So verhält es sich auch mit Daten innerhalb des Internets.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird diese für das Internet grundlegende Technologie mittels einer vergleichenden Analyse der technologischen Entwicklung innerhalb der Entstehung von Vorläufertechnologien des Internets und Einführung des Internetprotokolls von der Entwicklung des Transmission Control Protocol/Internet Protocol (TCP/IP) in den frühen 1970er-Jahren bis zu dem in der Einführung befindlichen Internet Protocol Version 6 (IPv6) sowie weitere Zwischenentwicklungen in den Blick genommen.

Auf Basis eines Literaturreviews zum Umbau der Internetinfrastruktur wird dazu auf Grundlage von empirischem Datenmaterial die Historie von Vorläufertechnologien des Internets der Einführungsprozess des Protokolls TCP/IP bis zum IPv6 sowie die daran beteiligten Akteur:innen und verwendeten Strategien historisch vergleichend rekonstruiert, interpretiert und abstrahiert. Das geschieht in Anlehnung an die Forschungslogik der Grounded Theory Methodologie (GTM) (vgl. etwa Glaser und Strauss 1967; Strauss und Corbin 1996; 1990) und den Erkenntnissen des Ansatzes grosstechnischer Systeme (GTS) (vgl. etwa Mayntz 1988; Mayntz und Hughes 1988; Braun und Joerges 1994; Hughes 1983; 1987; Joerges 1988; 1996) und der

Akteur:innen²-Netzwerk-Theorie (ANT) (vgl. etwa Callon und Latour 2006a [1981]; Callon 2006a; 2006b [1986]; Latour 1987; Law 2006 [1992]) als theoretisch sensibilisierende Konzepte. Basierend auf einer Methodentriangulation aus Dokumentenanalysen und leitfadengestützten Interviews ist das konkrete Ziel, für den Umbau spezifische und charakteristische Merkmale historisch vergleichend zu erarbeiten.

Dies impliziert die These, dass sich die Besonderheiten der Internetinfrastruktur, beispielsweise die hohe Interoperabilität mit anderen Technologien, auf den Umbauprozess auswirken und sich der Umbauprozess im Lauf der Zeit verändert. Insofern wird eine Interdependenz zwischen den am Umbauprozess beteiligten Technologien und Akteur:innen vermutet.

Ergänzend zur umfänglichen Dokumentenanalyse zur Historie des Internets und zur Rekonstruktion des Entwicklungs- und Weiterentwicklungsverlaufs des Internetprotokolls richtet sich der Fokus der Interviewstudie primär auf das IPv6 und explizit auf Strategien des Umbaus sowie auf Unterschiede und Gemeinsamkeiten im Kontrast zwischen den Interviews.

Der Fokus auf neue Entwicklungen innerhalb der Interviewstudien liegt zum einen darin begründet, dass eine retrospektive Untersuchung von Vorläufertechnologien des Internets, des TCP/IP und des darauf folgend verwendeten IPv4 zwar möglich, aber eine Aufarbeitung mittels Interviews begrenzt ist. Zum anderen liefern die in der Dokumentenanalyse untersuchten Dokumente (u. a. Standardisierungspapiere, Protokolle, Mailinglisten, Jahresberichte) nur unzureichend Erkenntnisse über die konkrete Ausgestaltung der Einführung und förderlichen/hemmenden Bedingungen des Umbaus zum IPv6.

Eine Analyse des Umbaus der Internetinfrastruktur am Beispiel des IPv6 mittels Interviews lässt, aufgrund der derzeitigen hohen Relevanz der Informations- und Kommunikationstechnik für die Gesellschaft, auch für zukünftige Forschungen eher anknüpfungsfähige Ergebnisse erwarten, sodass eine Vertiefung durch Interviews zielführend zu sein scheint.

1.1 *Forschungsdimensionen*

Bevor der Aufbau der Arbeit geschildert wird, werden zunächst die Forschungslogik sowie die Untersuchungsdimensionen dargestellt, die im Rahmen dieser Arbeit verfolgt werden:

Als empirisch orientierte wissenschaftliche Studie verknüpft die vorliegende Arbeit Empirie und Theorie. Dabei werden diese zwei Dimensionen mittels eines interdisziplinären Zugangs – in Anlehnung an die GTM (vgl. etwa Glaser und Strauss 1967;

2 Die vorliegende Arbeit verfolgt das Ziel, eine gendergerechte Sprache zu verwenden, die alle Geschlechter inkludiert. Infolgedessen wird auch die ANT entsprechend durch das Hinzufügen von «:innen» angepasst.

Strauss und Corbin 1996; 1990), den Ansatz der GTS (vgl. etwa Mayntz 1988; Mayntz und Hughes 1988; Braun und Joerges 1994; Hughes 1983; 1987; Joerges 1988; 1996) sowie der ANT (vgl. etwa Callon und Latour 2006a [1981]; Callon 2006b; 2006a [1986]; Latour 1987; Law 2006 [1992]) – für die Erforschung von Infrastrukturen des Internets und dessen Umbauprozessen fruchtbar gemacht.

Innerhalb der Dimension der Empirie verfolgt die vorliegende Arbeit das Ziel, die Forschungsmethodologie der Grounded Theory als übergeordnetes Forschungsparadigma für die Infrastrukturforschung durch Spezifikation und Explikation nutzbar zu machen. Ein zusätzliches Ziel ist, den Forschungsprozess transparent und nachvollziehbar darzustellen, indem die Forschungs- und Analyseschritte beschrieben, reflektiert und begründet werden. Insofern soll die Methodenarbeit Anknüpfungspunkte für die Internetinfrastrukturforschung liefern und einen Beitrag für den weiteren wissenschaftlichen Diskurs bieten.

Die zweite Dimension der Theoriearbeit folgt einer grundlagenorientierten Forschungslogik und wird im Kontext der GTM als sensibilisierende theoretische Konzepte (theoretical sampling) bezeichnet (Glaser und Strauss 1967, 63). Auf Basis der Erkenntnisse des Ansatzes grosstechnischer Systeme wird dieser im Hinblick auf seinen Nutzen für die Untersuchung des Umbaus informationstechnischer Infrastrukturen diskutiert. Dabei erfolgt eine Verschränkung von Theorie und Empirie mittels der Verknüpfung und Weiterentwicklung der theoretisch sensibilisierenden Konzepte und der empirischen Ergebnisse auf Grundlage der GTM. Dabei werden Probleme der Übertragbarkeit des Ansatzes GTS auf Internetinfrastrukturen dargestellt und Nachbesserungsbedarfe mittels der tiefgehenden Analysen der Entstehung und Entwicklung des Internets und des Umbauprozesses der Internetinfrastruktur am Beispiel des Internetprotokolls aufgezeigt.

Ausgehend von der Annahme, dass der Umbau der Internetinfrastruktur innerhalb eines soziotechnischen Netzwerks verläuft und der Umbauprozess innerhalb dieses Netzwerks durch den Ansatz grosstechnischer Systeme nicht umfassend begriffen werden kann (obwohl dieser soziotechnische Netzwerke adressiert), werden die historischen und umbaubedingten Veränderungen der Akteur:innenkonstellationen und Strategien in ihrer Wirkung und Richtung mittels der ANT (vgl. etwa Callon und Latour 2006a [1981]; Callon 2006b; 2006a [1986]; Latour 1987; Law 2006 [1992]) analysiert. Innerhalb dieser Arbeit werden dazu die Ergebnisse in einer Zusammenschau zu einer gegenstandsorientierten Theorie des Umbaus der Internetinfrastruktur am Beispiel des Internetprotokolls elaboriert. Dazu werden die Ergebnisse für die Entwicklung des soziotechnischen Netzwerks des Internets verdichtet und drei Umbauphasen mit ihren Charakteristika identifiziert.

1.2 Zum Aufbau der Arbeit

Im Anschluss an das Einleitungskapitel erfolgt in Kapitel 2 die Auseinandersetzung mit der Grounded Theory Methodologie als übergeordnetes Forschungsparadigma dieser Arbeit. Dazu wird die Forschungslogik der Grounded Theory sowie das methodologische Vorgehen erläutert und für die vorliegende Studie begründet.

Kapitel 3 widmet sich der Ausgangslage und dem Forschungsfokus mit Blick auf Infrastrukturen. Dabei werden im Allgemeinen die Relevanz von Infrastrukturen und die Verbreitung der Internetinfrastruktur (3.1) und im Speziellen die Besonderheiten der Internetinfrastruktur (3.2) thematisiert.

In Kapitel 4 werden bisherige wissenschaftliche Forschungsergebnisse zur Internetinfrastrukturforschung mittels der Durchführung eines systematischen Literaturreviews zur Leitfrage «wie ist der deutsche und englische Forschungsstand zur Internetinfrastrukturforschung mit Fokus auf den Umbau der Internetinfrastruktur?» identifiziert und ausgewertet. Das Review dient der Erkundung des Forschungsfeldes und der Konkretisierung der forschungsleitenden Fragestellungen.

Hierzu werden Ziele und der Aufbau des Literaturreviews entwickelt (4.1) sowie Einschlusskriterien für die Auswahl der (Fach-)Datenbanken definiert (4.1.1). Der Suchstring wird erläutert (4.1.2), die Durchführung der Literaturrecherche dokumentiert (4.1.3), die Suchergebnisse und die Publikationsselektion werden transparent dargelegt (4.1.4) und die inhaltlichen Ergebnisse geschildert und eingeordnet (4.2). Dabei wird gezeigt, dass Neuerungen der Internetinfrastruktur zugleich immer auch einen Umbau der bestehenden Infrastruktur bedeuten. Dies findet im wissenschaftlichen Diskurs bisher keine Beachtung und ist insbesondere für die darauffolgende Entwicklung und die Darstellung der forschungsleitenden Fragen (4.3) von zentraler Bedeutung.

Im anschließenden Kapitel 5 werden zwei sensibilisierende theoretische Konzepte vorgestellt und diskutiert, welche der Forschungslogik der Grounded Theory folgend für die Analysen als heuristische Konzepte dienen. Zum einen wird der Ansatz grosstechnischer Systeme (GTS) erläutert. Dem Ansatz der GTS folgend, werden diese als soziotechnische Systeme definiert und im Hinblick auf ihre Brauchbarkeit für die Untersuchung des Umbaus der informationstechnischen Infrastruktur kritisch diskutiert (5.1). Dabei werden insbesondere die Ausbreitung und Abhängigkeit von Infrastruktursystemen thematisiert sowie die Entwicklungsphasen von GTS bestimmt. Im nächsten Schritt wird sich mit der Akteur:innen-Netzwerk-Theorie (ANT) und ihrem Nutzen für die Erforschung der Umgestaltung der Internetinfrastruktur kritisch auseinandergesetzt (5.2). Dabei zeigt sich, dass die makroperspektivische Betrachtungsweise der GTS für die Untersuchung der Umgestaltung der Internetinfrastruktur nicht ausreicht. Daher wird der Blick mittels der Mikroperspektive der ANT auf die Akteur:innen-Netzwerke gerichtet. Darin vollziehen sich Veränderungen

im Umbau der Internetinfrastruktur. So wird ein breites Verständnis vom Forschungsgegenstand der Internetinfrastruktur erlangt und es werden Kriterien für die Analyse generiert.

In Kapitel 6 wird ein Zwischenfazit zu Ausgangslage, Forschungsfokus, Literaturreview und theoretisch sensibilisierenden Konzepten gezogen (6.1) sowie eine methodologische Reflexion (6.2) und die Konkretisierung der forschungsleitenden Fragestellungen vorgenommen (6.3.). Kapitel 6.4 eruiert Implikationen für das Vorgehen in der Forschungspraxis.

Kapitel 7 entwickelt Auswahlkriterien für die Auswahl des Untersuchungsgegenstandes (7.1), wendet diese an und erläutert das Internetprotokoll als Untersuchungsgegenstand für den Umbau der Internetinfrastruktur (7.2).

Um dem hohen Anteil an empirischer Arbeit dieser Studie gerecht zu werden, beschäftigt sich Kapitel 8 in detaillierter Form mit den Forschungsmethoden der Studie. Dazu werden Verfahren der Datenerhebung (8.1), das Sampling und die Erhebung der Dokumentenanalyse (8.1.1) und Interviewstudie (8.1.2) begründet, das Gesamtsampling der Studie dargelegt (8.3) sowie Methoden zur Datenaufbereitung (8.4) und Verfahren zur Datenauswertung mittels Analysebeispielen erläutert (8.5). Kapitel 8.6 zieht ein Zwischenfazit zu den Forschungsmethoden und bildet den Forschungsprozess in einer grafischen Form ab.

In Kapitel 9 erfolgt die Ergebnisdarstellung. Diese folgt einer gleichbleibenden Logik und gliedert sich in Rekonstruktion und einem jeweiligen Zwischenfazit. Zuerst wird die Historie des Internets rekonstruiert (9.1) und ein Zwischenfazit gezogen, in dem Charakteristika beteiligter Akteur:innenkonstellationen identifiziert werden und Strategien des Umbaus abstrahiert werden (9.2). Ab Kapitel 9.3 erfolgt die Rekonstruktion des Internetprotokolls. Dazu werden zunächst Zwischenentwicklungen des host-to-host Protokolls bis zum Transmission Control Protocol (TCP) rekonstruiert (9.4) und weiterführend in einem Zwischenfazit die Ergebnisse in Anlehnung an die GTM abstrahiert (9.5). Hieran anschliessend wird zunächst die Entwicklung des Transmission Control Protocols/Internet Protocols (TCP/IP) und Weiterentwicklungen bis zum Internet Protocol Version 5 (IPv5, TP/IX) seitens zentralen Entwicklungen und beteiligten Akteur:innen dargelegt (9.6) und ein Zwischenfazit mit theoretischen Implikationen für den Umbau der Internetinfrastruktur gezogen (9.7). Kapitel 9.8 schliesst die Rekonstruktion des Internetprotokolls ab. Innerhalb dieses Kapitels wird das Internetprotocol Version 6 (IPv6) rekonstruiert sowie dessen Funktionen und Verbreitung dargestellt (9.8). In einem anschliessenden Zwischenfazit werden Bedingungen für den Umbau sowie weitere Charakteristika in Anlehnung an die GTM abstrahiert (9.9).

Kapitel 10 stellt die gegenstandsorientierte Theorie in Anlehnung an die GTM zum Umbau der Internetinfrastruktur dar und richtet zunächst den Blick auf die Zusammenschau des Ergebniskapitels, indem die Entwicklung des soziotechnischen

Netzwerks des Internets in Anlehnung an den Ansatz der GTS dargestellt und mittels der ANT spezifiziert wird (10.1). Daran anschliessend werden aus den Ergebnissen zur Entwicklung des soziotechnischen Netzwerks und denen aus dem Ergebniskapitel (9) drei Phasen innerhalb des Umbaus der Internetinfrastruktur kondensiert und mittels grafischer Aufbereitung dargestellt und beschrieben (10.2).

Im Anschluss daran erfolgt im letzten Kapitel 11 das Fazit mit einer forschungsmethodologischen und theoretischen Bilanzierung (11.1) und dem Aufzeigen von Grenzen und Limitationen der Forschung (11.2). Die Arbeit endet mit Implikationen weiterer Forschungsbedarfe (11.3).

2. Die Grounded Theory als übergeordnetes und offenes Forschungsparadigma

Entscheidendes Moment für die Auswahl eines Forschungsstils ist vornehmlich das forschungsleitende Interesse und die Ausrichtung der Untersuchung (vgl. Przyborski und Wohlrab-Sahr 2009, 24). Die vorliegende Arbeit verfolgt ein qualitatives Forschungsinteresse, indem sie an einer detaillierten historisch vergleichenden Untersuchung interessiert ist. Diese Untersuchung berücksichtigt die Charakteristika von Umbauprozessen der Internetinfrastruktur und der daran beteiligten Akteur:innen. Die Muster innerhalb dieses Prozesses werden identifiziert und konzeptualisiert.

Im Allgemeinen hat die qualitative Forschung im Gegensatz zur quantitativen, die sich z. B. mit standardisierten Befragungen grösserer Stichproben beschäftigt, den Anspruch, Lebenswelten von innen heraus detailliert zu beschreiben. Dabei ist es ihr ein Anliegen, die soziale Wirklichkeit aus Sicht der handelnden Menschen zu beschreiben und so ein besseres Verständnis von Abläufen, Deutungsmustern und Strukturmerkmalen zu erhalten (vgl. Steinke 2000b, 14).

Die vorliegende Arbeit folgt der Grundlogik der Grounded Theory bzw. auch Grounded Theory Methodologie³ im Sinne eines übergeordneten und offenen Forschungsparadigmas. Die Grounded Theory Methodologie gehört zu den qualitativen Ansätzen der empirischen Sozialforschung und ist u. a. durch eine grosse Offenheit hinsichtlich Verfahren und Methoden gekennzeichnet (vgl. Strauss und Corbin 1996).

Offenheit bedeutet in diesem Kontext, dass der Forschungsgegenstand einer Grounded Theory Studie zunächst sehr weit ausgelegt werden kann und erst im Rahmen der Untersuchung weiter eingegrenzt, modifiziert und fokussiert wird. Diese Logik kommt dem vorliegenden Forschungsinteresse entgegen, da der Forschungsbereich in der Literatur bisher nicht tiefgehend analysiert wurde und somit ein offener und explorativer Ansatz verfolgt werden muss, um möglichst alle Facetten des Forschungsgegenstandes abzubilden.

Diese Offenheit bedeutet aber auch, dass der Forschungsprozess im Vorfeld nicht exakt geplant werden kann, da sich Modifikationen im Forschungsprozess z. B. auf die Datenerhebung auswirken. Folglich sind Grounded Theory Studien und somit auch der vorliegende Forschungsprozess durch eine hohe Flexibilität gekennzeichnet.

Der Mangel an Literatur und Studienergebnissen zu dem vorliegenden Forschungsfeld im Bereich des Umbaus der Internetinfrastruktur machte zum einen ein Literaturreview notwendig (siehe Kapitel 4), um das Forschungsfeld zu erkunden sowie die forschungsleitenden Fragestellungen zu konkretisieren (Kapitel 6). Weiter führt dies dazu, dass eine eingehende explorative und rekonstruktive Untersuchung

3 Mey und Muck (2011, 12) weisen darauf hin, dass mit «Grounded Theory» im eigentlichen Sinne das Resultat der Forschung bezeichnet wird, nicht aber die Methode mittels derer man zu diesem gelangt. Insofern schlagen sie die Bezeichnung als «Grounded Theory Methodologie(n)» vor. In einschlägigen Publikationen verschiedener Autor:innen wechseln sich die Bezeichnungen ab. Infolgedessen werden auch in der vorliegenden Arbeit beide Begrifflichkeiten synonym verwendet.

des Forschungsgegenstandes notwendig ist. Diese Untersuchung muss mittels induktiven Denkens den Veränderungsprozess und die daran beteiligten Akteur:innen analysieren sowie wiederkehrende Muster konzeptualisieren, die in den Daten gefunden werden. Dies generiert einen empirisch gestützten theoretischen Beitrag zu den Charakteristika von Umbauprozessen der Internetinfrastruktur.

Diesen Ansatz der Mustererkennung, Konzeptualisierung und Theoriegenese (anhand von Datenanalysen und -interpretationen) greift die Grounded Theory Methodologie auf, indem sie das Ziel verfolgt, eine empirisch gestützte, am Gegenstand orientierte und darin begründete Theorie, die «Grounded Theory» zu entwickeln (vgl. Glaser und Strauss 1967; Strauss und Corbin 1990).

Dabei erkennt die Grounded Theory sowohl die Dimension der Theorie als auch die der Empirie als gleichwertig an, kombiniert und verschränkt diese produktiv in Form einer «empirisch fundierten Theoriebildung» miteinander (vgl. Alheit 1999, 1). Die vorliegende Arbeit schliesst sich dieser Perspektive an und verfolgt die Grounded Theory Methodologie daher als ein übergeordnetes und offenes Forschungsparadigma für ihre Gesamtkonzeption.

In Konsequenz dessen ist es im Aufbau der vorliegenden Arbeit notwendig, zuerst die GTM in ihrer forschungsparadigmatischen Positionierung als Forschungshaltung zu erläutern und zu begreifen. Dadurch soll ermöglicht werden, sowohl die Forschungsschritte als auch die Analyseergebnisse und Interpretationen transparent und nachvollziehbar zu dokumentieren. Dies hat zur Folge, dass die vorliegende Dissertationsschrift nicht dem traditionellen Aufbau einer empirischen Arbeit folgt. Das ist darin begründet, dass sich der traditionelle Aufbau an der quantitativen Forschungslogik orientiert und entsprechend weder für die Logik qualitativer Forschung noch für die Darstellung rekonstruktiver, historisch vergleichender Ereignisse und Erkenntnisse angemessen ist (Przyborski und Wohlrab-Sahr 2009, 359).

Infolgedessen wählt diese Arbeit ein alternatives Darstellungsformat und ordnet in den folgenden Teilkapiteln zunächst die Entstehung der Grounded Theory im Kontext des wissenschaftlichen Diskurses ein. Die Arbeit richtet sich forschungsmethodologisch an den verschiedenen aus der Grounded Theory Historie heraus entwickelten Strömungen aus. Dabei wird der Fokus der Darstellungen insbesondere auf jene Entwicklungen gelegt, denen sich diese Arbeit anschliesst. Im daran anschließenden Teilkapitel wird die Prozesshaftigkeit im Kontext der GTM erläutert und im Hinblick auf die Eignung für die Infrastrukturforschung begründet. In einem weiteren Teilkapitel werden die Grundlogiken und -prinzipien der GTM erläutert und anhand des Forschungsablaufs verdeutlicht.

2.1 *Die Grounded Theory Methodologie – Entstehung und forschungsmethodologische Ausrichtung*

Die Grounded Theory ist eine «Methodologie, die eine systematische Reihe von Verfahren benutzt, um eine induktiv abgeleitete, gegenstandsverankerte Theorie über ein Phänomen zu entwickeln» (Strauss und Corbin 1996, 8).

Der Forschungsprozess und die Theoriebildung der Grounded Theory werden dabei von einem stetigen Wechselprozess aus Theoriearbeit, Datenerhebung, Analyse und Interpretation gesteuert und strukturiert (vgl. Glaser und Strauss 1967; Strauss und Corbin 1990). Dementsprechend steht die Forschungslogik der Grounded Theory in ihrem Ursprung dem Dualismus der vorherrschenden hypothetisch-deduktiven Verfahren der empirischen Forschung und der formalen Theorie⁴ entgegen. In der formalen Theorie sind deduktiv entwickelte, strukturalistische und funktionalistische Theorien vorherrschend. Diese charakterisierten in den 1950er- und 1960er-Jahren insbesondere Soziologie und Naturwissenschaften, welche wiederum stark begrenzt auf einen Forschungsgegenstand bezogen waren und wenig auf die Komplexität und Diversität der sozialen Wirklichkeit abzielten (Glaser und Strauss 1967).

Die GTM ist, den Begründern Anselm Strauss und Barney Glaser folgend, auf die Verschränkung von Theorie und Empirie ausgerichtet (ebd.). Mit ihrem Werk «The Discovery of Grounded Theory» von 1967, in dem erstmals die GTM im Sinne eines programmatischen Ansatzes präsentiert wurde, wollten sie «the embarrassing gap between theory and empirical research» schliessen sowie zur Legitimierung qualitativer Forschung beitragen, die damals nicht anerkannt war (Glaser und Strauss 1967, VII). Mit dem Grundanliegen, den historisch gewachsenen Graben zwischen formaler Theorie und empirischer Forschung zu überwinden, zielt die GTM darauf, eng am Datenmaterial orientiert eine gegenstandsbezogene Theorie zu entwickeln. Folglich spielt das induktive Vorgehen innerhalb des qualitativen Forschungsprozesses, also der Schluss vom Einzelfall zum Allgemeinen, eine grosse Rolle. Dies geschieht in Abgrenzung zum deduktiven Vorgehen, welches die Ableitung vom Allgemeinen zum Spezifischen zum Ziel hat (Glaser und Strauss 1967, 34f.) Die frühen Werke von Glaser und Strauss geben jedoch wenig Einblick in die konkrete Forschungsausgestaltung zur Generierung einer solchen Theorie sowie zum Forschungsablauf.

Im Zuge verschiedener Forschungsarbeiten wurde eine Vielzahl von Varianten und Ausdifferenzierungen zur Grounded Theory entwickelt, die Methodologie in ihrem Vorgehen konkretisiert und geschärft. Im Wesentlichen gingen aus den gemeinsamen Anfängen von Glaser und Strauss in den 1960er-Jahren zwei Hauptrichtungen

4 Siehe zu formalen Theorien u. a. von Talcott Parsons (1975) zum Strukturfunktionalismus und die Ausführungen von C. Wright Mills (1959) zur «Grand Theory».

der Grounded Theory hervor: eine von Glaser, die andere von Strauss in Zusammenarbeit mit Corbin (vgl. weiterführend dazu etwa Mey und Mruck 2011, 13ff; Przyborski und Wohlrab-Sahr 2009, 186ff.).

Zudem zeigen sich verschiedene Varianten je nach Forschungszweck und -gegenstand auch in der Vorgehensweise. Diese ergeben sich aus unterschiedlichen historischen Einflüssen, mit denen die GTM in ihrer Genese konfrontiert war und bis in die Gegenwart ist. So gibt es Anknüpfungspunkte u. a. zur Ethnomethodologie, zur feministischen Theorie, zur politischen Ökonomie und, seit den 1980er-Jahren, auch zu postmodernen Strömungen. Auf die unterschiedlichen Kontroversen, insbesondere von Glaser und Strauss, kann an dieser Stelle nicht eingegangen werden.⁵

Für die vorliegende Arbeit wird sich auf die gemeinsamen Anfänge von Glaser und Strauss (1967) sowie späteren Werke von Strauss und Corbin (1990) gestützt. Grund dafür ist primär die methodologische Plausibilität und Funktionalität für den Forschungsgegenstand im Hinblick auf Umbauprozesse der Internetinfrastruktur. Nähere Ausführungen zum methodologischen Vorgehen finden sich im Fortlauf dieser Arbeit (siehe Kapitel 8).

In Anlehnung an eine der Hauptströmungen von Glaser und Strauss (1967) sowie Strauss und Corbin (1990) finden in der Arbeit weiterführende Konzeptionen anderer Autor:innen Eingang. Neben Arbeiten von Jörg Strübing (2004), Günter Mey und Katja Mruck (2011), sind auch Udo Kelle (2007) sowie Aglaja Przyborski und Monika Wohlrab-Sahr (2009) zu nennen. Die Kombination der verschiedenen Ansätze verspricht dabei für die Infrastrukturforschung im Hinblick auf die Erforschung des Umbauprozesses der Internetinfrastruktur einen Mehrwert hinsichtlich der forschungspraktischen Anwendbarkeit, Plausibilität und Funktionalität.

2.2 Die Prozesshaftigkeit der Grounded Theory Methodologie im Kontext der Infrastrukturforschung

Laut Strauss und Corbin sind insbesondere jene Forschungsfragestellungen für die Bearbeitung mittels der GTM geeignet, die eine Handlungs- und Prozessorientierung aufweisen (vgl. Strauss und Corbin 1996, 23). Folglich können vor allem Fragestellungen erstellt und untersucht werden, die Interaktionen thematisieren, sich mit organisationalen Prozessen und Strukturen befassen oder sich einem Forschungsgegenstand mit biografisch-historischer Ausrichtung nähern (vgl. Tiefel 2005, 68).

Die vorliegende Arbeit erfüllt diese Anforderungen, indem sie zum einen den Entwicklungs- und Einführungsprozess des Internetprotokolls historisch vergleichend untersucht und die an diesem Prozess beteiligten Akteurskonstellationen im

⁵ Auseinandersetzungen mit den verschiedenen Positionen der Grounded Theory finden sich u. a. bei Mey und Mruck (2011, 16–22). Die Autor:innen beleuchten in Kapitel 3 die «Spielarten der GTM» und geben einen Überblick zur Entwicklung und dem Stand sowie den unterschiedlichen Perspektiven der GTM.

Kontext des Umbauprozesses der Internetinfrastruktur im Hinblick auf Strategien der Umgestaltung analysiert. Zum anderen wird diese in Form einer gegenstandsorientierten Theorieentwicklung durch die Konzeptualisierung von Entwicklungsphasen bearbeitet.

Den Fokus auf die Prozesshaftigkeit richtet die GTM nach Strauss und Corbin (1990) nicht nur im Hinblick auf geeignete Forschungsfragestellungen, die mittels der Grounded Theory bearbeitet werden können, sondern auch innerhalb der Theoriegenerierung. So werden Theorien im Rahmen der GTM aus den Daten heraus in einem wechselseitigen induktions- und abduktionslogischen Prozess für den jeweiligen Forschungsgegenstand entwickelt. Sie zeichnen sich, entgegen dem hypothetisch-deduktiven Verfahren, durch eine stetige Unabgeschlossenheit aus. Dies bedeutet, dass auch der Theoriegenerierung selbst eine Prozesshaftigkeit innewohnt. Letzteres zeigt sich innerhalb der vorliegenden Arbeit anhand der weiterführenden Abstraktion im Analyseprozess sowie der Verschränkung und Kondensierung der Ergebnisse zu Umbauphasen.

Das prozesshafte Verständnis der Grounded Theory nimmt auch auf die Verifikation einer Grounded Theory Studie Einfluss. Bedingt durch die prozesshafte Eigenart der Theoriegenerierung der GTM weisen auch die Theorien selbst stets einen provisorischen und vorläufigen Charakter auf (vgl. Strübing 2004, 61). Gegenstandsorientierte Theorien haben demnach keinen universalistischen Erklärungsanspruch, sondern lediglich den Anspruch, einen konkreten Forschungsgegenstand zu einem spezifischen Zeitpunkt der Untersuchung erklären zu wollen. Insofern betont Strübing (2004, 61), «Theorien liefern [...] immer nur Näherungswerte» für die soziale Wirklichkeit. Zur Verifikation müssen sie demnach stets hinsichtlich ihrer Plausibilität für den Forschungsgegenstand überprüft werden. «Sie fordern zur Erkundung jeder neuen Situation heraus, um zu sehen ob sie passt, wie sie passen könnte und inwiefern sie eventuell nicht passen möchte» (Strauss und Corbin 1994:279 zitiert nach Strübing 2004, 62). Forschungspraktisch erfordert dies eine hohe Offenheit der Forscher:innen und führt dazu, dass Theorie stets vorläufig ist. Glaser und Strauss (1967, 40) konstatieren «the published word is not the final one, but only a pause in the never-ending process of generating theory».

Die vorliegende Arbeit schliesst sich dieser Perspektive an und möchte sich insofern explizit gegen den vielfach verwendeten Terminus des *Produktbegriffes* innerhalb wissenschaftlicher Theoriegenerierung wenden. Dieser kann missverständlich sein, weil er ein abgeschlossenes theoretisches Ergebnis impliziert, welches die GTM explizit nicht verfolgt (vgl. Glaser und Strauss 1967, 40). Vielmehr möchte sich die Verfasserin, in Anlehnung an den von Strauss und Corbin (1990) propagierten Pragmatismus, für die Entwicklung einer temporär gültigen, gegenstandsorientierten

Theorie aussprechen. Da diese Theorien in sich wandelnde gesellschaftliche und technische Rahmenbedingungen eingebettet sind, können sie nie vollständig abgeschlossen sein.

Die Prozesshaftigkeit ist auch in soziale Phänomene eingebettet, da diese stets (Ver-)Änderungen im Kontext gesellschaftlichen Wandels ausgesetzt sind (vgl. ebd.). Solche Änderungen wären auf gesamtgesellschaftlicher Ebene z. B. das Mediennutzungsverhalten durch äussere Einflüsse (z. B. die Coronapandemie). Auf politischer Ebene könnten neue Gesetze erlassen werden, die zur Veränderung technologischer Entwicklungen oder sozialer Handlungen führen. Auch im Kontext schulischer Entwicklungen können Änderungen in curricularen Rahmenbedingungen Anpassungen im menschlichen Verhalten hervorrufen.

Diesen unterschiedlichen Perspektiven auf Prozesshaftigkeit innerhalb der GTM schliesst sich die vorliegende Arbeit an, indem sie den Entwicklungs- und Einführungsprozess des Internetprotokolls historisch vergleichend untersucht. Das geschieht über viele technologische Entwicklungsstufen des Internetprotokolls hinweg und in einem iterativen Prozess. Somit wird die Prozesshaftigkeit vor dem Hintergrund einer Interdependenz mit Akteur:innenkonstellationen und sich wandelnden gesellschaftlichen Transformationsprozessen, beispielsweise ansteigenden Internetnutzer:innenzahlen, aufgrund sich ausweitender technologischer Mediennutzungen begriffen.

Insofern lässt sich für die vorliegende Arbeit konstatieren, dass die GTM die Möglichkeit bietet, die Erforschung sozialer Phänomene als Prozess zu verstehen und methodologisch einzurahmen. Weiter bietet die Methodologie einen Forschungsstil, der dem explorativen Forschungsinteresse der vorliegenden Arbeit im Hinblick auf die Untersuchung des Umbaus der Internetinfrastruktur entgegenkommt, da sie nicht nur Unterstützung für die Prozessebene gewährt, sondern auch zugleich die Darlegung und Interpretation von historischer Veränderung unterstützt. Dabei gewährt die GTM für die explorative Untersuchung Offenheit und kreativen Spielraum, um innovative Konzepte in diesem bisher nicht thematisierten Gebiet der Infrastrukturforschung zu entwickeln. Sie hilft dabei, den Entscheidungsprozess aus Perspektive der beteiligten Akteur:innen zu rekonstruieren. Aus diesen dargelegten Gründen eignet sich die GTM als passende Forschungsrichtung für das zu untersuchende Phänomen und das explorative Vorgehen innerhalb der Internetinfrastrukturforschung.

2.3 Die Forschungslogik und die Grundprinzipien der Grounded Theory Methodologie im Kontext der Infrastrukturforschung

Wie eingangs erläutert, richtet das Forschungsparadigma der GTM seinen Blick auf Theorie und Empirie, um durch Verknüpfung empirischer Ergebnisse mit theoretischen Erkenntnissen neue Konzepte aus abduktiven Schlussfolgerungen zu einer gegenstandorientierten Theorie zu verdichten. Dies bedeutet, dass am Ende des iterativen Prozesses aus Datenerhebung, -auswertung und -interpretation, mithilfe für den Forschungsgegenstand sensibilisierender Konzepte (hier GTS und ANT) sukzessiv eine gegenstandorientierte Theorie generiert wird. Mey und Mruck (2011, 15) folgend, ist insbesondere

«für die Theoriebildung [...] die wiederkehrende Rückbindung an Daten ebenso erforderlich wie die theoretische Sensibilität aufseiten der Forschenden, da erst durch sie eine über die Deskription hinausgehende Konzeptualisierung möglich wird.»

Hierfür verlangt die Forschungsmethode einen stetigen Perspektivwechsel zwischen induktions- und deduktionslogischen Phasen im Forschungsprozess hin zur Abduktion.

Der Begriff der *Abduktion* geht im Ursprung auf Charles Sanders Peirce zurück: «An Abduction is Originary in respect to being the only kind of argument which starts a new idea» (Peirce 1979, CP 2.96,1160). Kelle (Kelle 2007, 249) forciert ebenso wie Peirce das «Neuartige» und konstatiert, dass «eine abduktive Schlussfolgerung [...] ein innovativer Prozess [ist], bei dem verschiedene Elemente des Vorwissens modifiziert und neu kombiniert werden».

Für den Forschungsprozess bedeutet dies, dass durch ein induktives Vorgehen aus den Daten heraus (vom Speziellen) unter Bezugnahme theoretischen Vorwissens auf neue theoretische Modelle (zum Allgemeinen) geschlossen wird. Die entwickelten Modelle (vom Allgemeinen) werden anhand einer erneuten Datenerhebung und Interpretation (zum Speziellen) deduktiv überprüft und sie werden durch eine abduktive Logik innerhalb des Forschungsprozesses Schritt für Schritt zu einer gegenstandsorientierten neuen Theorie verschränkt.

Wichtig für das Verständnis der Grounded Theory ist, dass sich «Abduktionen [...] nicht durch ein bestimmtes, Schritt für Schritt abzuschreitendes Verfahrensprogramm, also eine exakte Methodik, ›herbeigezwungen‹ werden» können (Reichertz 2011, 287), sondern es sich um eine wissenschaftstheoretische, in der Hermeneutik begründete Forschungshaltung handelt – mit dem Ziel, Forschungsgegenstände transparent und nachvollziehbar gegenstandsorientiert einzuordnen und zu verstehen. Insofern ist «abduktives Denken keine Methode, mit deren Hilfe sich logisch geordnet (und damit operationalisierbar) [...] Theorien generieren lassen, sondern der abduktive Denkprozess ist Ergebnis einer Haltung gegenüber Daten und gegenüber

dem eigenen Wissen» (Reichert 2011, 288). Dieser Haltung und dem Anliegen, den Forschungsprozess transparent, nachvollziehbar und insofern valide zu gestalten, schließt sich auch die vorliegende Arbeit an, indem sie alle Schritte im Forschungsprozesses darlegt und reflektiert.

Auch wenn abduktionslogische Prozesse keiner Regelmäßigkeit unterliegen, ist die GTM nicht frei von Regeln. Innerhalb der Forschung ist sie durch einen steten Wechsel zwischen Datenerhebung, Analyse, Interpretation, Reflexion und Theoriebildung charakterisiert, dessen Prozess sich in Anlehnung an Aglaja Przyborski und Monika Wohlrab-Sahr (2009, 194 ff.) durch fünf in der Literatur zur Grounded Theory Methodologie wiederkehrende Grundprinzipien charakterisieren lässt:

- Das *theoretische Sampling* und darauf basierend der ständige Wechselprozess von Datenerhebung und -auswertung,
- das *theoretische Kodieren* und die darauf basierende Verknüpfung und theoretische Generierung von Konzepten und Kategorien,
- die *Orientierung am permanenten Vergleich*,
- das Schreiben theoretischer *Memos*, welche den gesamten Forschungsprozess begleiten,
- und die *Relationierung* von Datenerhebung, Kodierung und Memoschreiben.

Diese fünf Grundprinzipien bezeichnen den Kern der GTM: «Es sind die unverzichtbaren ›Essentials‹, ohne die eine Forschung nicht als Forschung im Sinne der Grounded Theory bezeichnet werden kann» (Przyborski und Wohlrab-Sahr 2009, 194). Sie finden Einzug in der vorliegenden Arbeit und werden im Folgenden in kurz erläutert und in Kapitel 8 zu den Forschungsmethoden ausführlich im Hinblick auf den Forschungsgegenstand thematisiert und innerhalb eines Analysebeispiels im Kapitel 8.5 konkretisiert.

2.3.1 Das theoretische Sampling

Das Sampling der Datenerhebung ist innerhalb der GTM nicht dem Forschungsprozess vorgeschaltet. Das Sampling ist vielmehr ein wechselseitiger Prozess aus Datenerhebung und Auswertung, eng orientiert am erkenntnisleitenden Interesse der Theoriegenerierung. Vor dem Hintergrund sensibilisierender theoretischer Konzeptionen erfolgt dabei ein erster Feldzugang, bei dem Daten erhoben, ausgewertet und erste Überlegungen zu neuen theoretischen Konzeptionen zum Forschungsgegenstand entwickelt werden. Im Kontext der vorliegenden Arbeit sind der makroperspektivische Ansatz der GTS und die mikroperspektivische Betrachtungsweise der ANT theoretisch sensibilisierende Konzepte mittels derer der erste Feldzugang erfolgte.

Der Fortgang des Samplings orientiert sich an den Ergebnissen und generierten Konzepten der ersten Phase der Datenerhebung und baut darauf auf. Das theoretische Interesse leitet die Datenerhebung und wird daher als «theoretical sampling» (Glaser und Strauss 1967, 63) bezeichnet. Der Prozess der Datenerhebung, Auswertung, Interpretation und Theoriegenerierung ist beendet, sobald aus dem Datenmaterial keine neuen Erkenntnisse zur Theoriegenerierung mehr gewonnen werden können. Diesen Moment der theoretischen Sättigung nennen Glaser und Strauss (1967, 61) im englischen «Saturation» «[it] means that no additional data are being found whereby the sociologist can develop properties of the category» (Glaser und Strauss 1967, 61).

Folglich ist auch das Sampling der vorliegenden Arbeit stark auf die Theoriegenerierung zum Umbauprozess der Internetinfrastruktur fokussiert und daran orientiert. Dabei wird innerhalb eines stetigen iterativen Prozesses zwischen Datenerhebung, Auswertung, Interpretation und Theoriegenerierung gewechselt. Das theoretische Sampling ist dabei nicht ausschliesslich an Personen, Gruppen oder Organisationen orientiert, sondern richtet sich nach Situationen und Ereignissen im historischen Umbauprozess am Beispiel des Internetprotokolls. Dieses theoretische Interesse steuert den gesamten Forschungsprozess der vorliegenden Arbeit. Da dieser zyklisch-iterative Prozess nur schwer zu dokumentieren ist und die Arbeit den Anspruch verfolgt, das Vorgehen transparent und nachvollziehbar darzustellen, folgen im Verlauf der Arbeit immer wieder Teilabschnitte innerhalb der Kapitel, die sich mit der methodologischen und forschungspraktischen Reflexion beschäftigen (siehe Kapitel 6, 8.6,11).

2.3.2 Theoriezentriertes Kodieren

Ein weiteres Grundprinzip der GTM ist das theoretische Kodieren, durch welches Daten in theoretische Konzepte überführt werden. In diesem von Glaser und Strauss (Glaser und Strauss 1967, 102) mit dem Begriff «Kodieren» (engl. «Coding») bezeichneten Verfahren erfolgt die Abstraktion, theoretische Generierung und Verknüpfung von Konzepten und Kategorien zum Forschungsgegenstand. Auch in späteren Arbeiten von Strauss und Corbin wird die Bezeichnung des «Codings» fortgeführt und der Kodierprozess weiterführend in verschiedene Kodierverfahren differenziert (Corbin und Strauss 1990, 422 ff.). Auf diese wird im Kapitel 8 im Kontext der Verfahren zur Datenauswertung tiefergehend eingegangen.

Beim Vorgang des Kodierens werden Daten, die sich auf einen spezifischen Gegenstand beziehen, mit Erkenntnissen aus den sensibilisierenden Konzepten in erste neue theoretische Konzepte überführt. Diese werden im Kontext der Grounded Theory im Fortgang des Forschungsprozesses zu abstrakteren Konzepten abstrahiert. Die abstrakteren Konzepte werden in der Grounded Theory Methodologie als *Kategorien* bezeichnet (vgl. ebd.). Diese werden dann durch den weiteren iterativen

Fortgang der Analysen immer ›höherwertiger‹ abstrahiert und verdichtet und zu den so genannten *Schlüsselkategorien* überführt. Sie integrieren einen Grossteil der gefundenen theoretischen Konzepte, verdichten diese und werden zu einer gegenstandsorientierten Theorie ausgearbeitet (vgl. Corbin und Strauss 1990, 423).

Die vorliegende Arbeit folgt den Verfahren des Kodierens der GTM, indem sie von Anfang an Daten in Konzepte überführt. Diese werden Schritt für Schritt in einem iterativen Prozess abstrahiert und einzelne Konzepte zu Ereignissen im Umbauprozess von Internetinfrastrukturen zu Kategorien zusammenfasst. Durch Verknüpfung der Kategorien in Anlehnung an die theoretisch sensibilisierenden Konzepte der GTS und ANT wird eine gegenstandsorientierte Theorie entwickelt (siehe Kapitel 11).

2.3.3 Ständiges Vergleichen

Notwendig für die Theorieentwicklung sowie zur Überprüfung der Plausibilität der entwickelten Theorie, ist das ständige Vergleichen innerhalb des Forschungsprozesses der GTM. Der ständige Vergleich ist in Anlehnung an Przyborski und Wohlrab-Sahr (2009, 194) eines der «unverzichtbare[n] Essential[s]» der Grounded Theory Methodologie. Strauss und Glaser (1967, 104) bezeichnen diesen Prozess als «constant comparative method». Demnach ist «the constant comparative method [...] concerned with generating and plausibly suggesting (but not provisionally testing) many categories, properties, and hypotheses about general problems» (Glaser und Strauss 1967, 104).

Forschungspraktisch bedeutet der Prozess des ständigen Vergleichens für die vorliegende Arbeit, dass gefundene Ereignisse permanent mit anderen Ereignissen und entwickelten Konzepten im Forschungsprozess verglichen werden. Zudem erfolgt auch ein Vergleich mit ähnlichen oder abweichenden Ereignissen und Konzepten, um eine möglichst hohe Varianz zu erhalten und den Forschungsgegenstand grösstmöglich zu beleuchten. Insgesamt können durch dieses Vorgehen die in der Arbeit entwickelten theoretischen Konzepte auf Plausibilität und Funktionalität hinsichtlich des Forschungsgegenstandes des Umbaus der Infrastruktur überprüft, präzisiert und weiterführend zu einer gegenstandsorientierten Theorie verdichtet werden. Przyborski und Wohlrab-Sahr (2009, 200) regen zudem an, dass «die Arbeit in Interpretationsgruppen förderlich, wenn nicht unabdinglich [ist]: Es wird in einer Gruppe immer leichter sein, eingefahrene Interpretationen zu hinterfragen und Hypothesen auf ihre ›Robustheit‹ hin abzuklopfen». Die vorliegende Arbeit, ihr Datenmaterial und die im Forschungsprozess entwickelten Konzepte wurden daher innerhalb von Analysegruppen diskutiert, die Arbeit innerhalb verschiedener Doktorandenkolloquien diskutiert und im Rahmen einer internationalen Fachkonferenz präsentiert.

2.3.4 Memoschreiben

Zur Theoriegenerierung ist es Strauss und Glaser folgend wichtig, während des gesamten Forschungsprozesses fortlaufend Feldnotizen und Memos anzufertigen, denn Memoschreiben «provides an immediate illustration for an idea» (Glaser und Strauss 1967, 108).

Insofern hat die Autorin der vorliegenden Arbeit bereits während der ersten Entwicklung von theoretischen Konzepten Memos notiert und dies fortlaufend im Forschungsprozess weitergeführt. Die im Rahmen der Arbeit entwickelten Memos beinhalten Bezüge zu den zugrundeliegenden Abstraktionen aus den Daten heraus und keine Aussagen einzelner Akteur:innen, da sie auf die Theoriegenerierung ausgelegt sind. Weiter führte die Konzeptualisierung im Forschungsprozess und deren Protokollierung im Memoschreiben dazu, dass Unklarheiten zur Erklärung des Forschungsgegenstandes sichtbar wurden. Diese machten eine tiefergehende Datenerhebung notwendig, bis eine theoretische Sättigung eintrat und keine neuen Kategorien mehr auftauchten, die zur Erklärung des forschungsleitenden Interesses und dem Forschungsgegenstand beitrugen.

2.3.5 Relationierung von Datenerhebung, Kodieren und Memo schreiben

Das im Rahmen dieser Arbeit letzte leitende Grundprinzip der GTM in Anlehnung an Przyborski und Wohlrab-Sahr (2009, 194) ist die Relationierung von Datenerhebung, Kodierung und Memo schreiben. Dieses Prinzip der Relationierung referiert auf die bereits im Kapitel 2.2 ausführlich beleuchtete Prozesshaftigkeit der Grounded Theory. Demzufolge schliesst sich die GTM keinem linearen Forschungsverständnis an, sondern verfolgt einen iterativen Prozess aus Datenerhebung, Auswertung, Interpretation und Theoriegenerierung, der auch das Kodieren und Memo schreiben als methodisches Verfahren beinhaltet.

Im Kontext der vorliegenden Forschung führten beispielsweise Impulse aus der Datenerhebung zum Einschluss weiterer Ereignisse im Umbauprozess der Internetinfrastruktur. Auch das Schreiben von Memos zur Entwicklung von theoretischen Konzepten und zur schriftlichen Fixierung von Ideen wurde während des gesamten Forschungsprozesses kontinuierlich überarbeitet, präzisiert und in Relation zueinander gestellt. Abbildung 1 zeigt diesen wechselseitigen Einflussprozess zwischen Datenerhebung, Kodierung und des Memoschreibens im Hinblick auf die Theoriegenerierung.

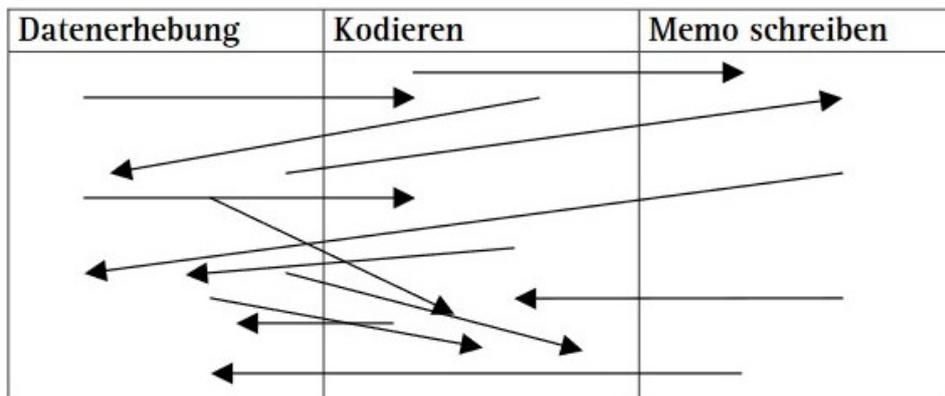


Abb. 1: Der wechselseitige Einflussprozess von Datenerhebung, Kodierung und Memoschreiben (orientiert an Strauss und Corbin 1996, 39).

3. Ausgangslage und Forschungsfokus

In Kapitel 3 wird die Ausgangslage für die vorliegende Arbeit analysiert und der Forschungsfokus konkretisiert. Dazu werden zentrale Begriffe für den Umbau von Infrastrukturen beleuchtet und eingeordnet. Zunächst wird die Relevanz von Infrastrukturen für die Gesellschaft dargelegt und im Hinblick auf das Forschungsthema der Internetinfrastruktur konkretisiert sowie Charakteristika von Infrastrukturen offengelegt. Anschliessend wird der Forschungsstand zur Infrastrukturforschung erarbeitet und daran das forschungsleitende Interesse und die Notwendigkeit zur analytischen Betrachtung der Internetinfrastrukturforschung abgeleitet. In einem weiteren Schritt werden die forschungsleitenden Fragestellungen konkretisiert sowie eine erste methodologische Reflexion vorgenommen, die Konsequenzen für das empirische und theoretische Arbeiten aufzeigen.

3.1 *Zur Relevanz von Infrastrukturen und der Verbreitung der Internetinfrastruktur*

Ohne leistungsfähige Infrastruktursysteme wie das Informations- und Kommunikationsnetz, die Verkehrsinfrastruktur oder die Wasser- und Energieversorgung ist kaum ein Bereich der modernen Gesellschaften denkbar. Im Laufe der letzten Jahrzehnte ist insbesondere der Bedarf nach einem Ausbau der verkehrs- und informationstechnischen Infrastruktur kontinuierlich gestiegen. Damit wachsen auch Komplexität, räumliche Ausweitung und Anforderungen an die Sicherheit dieser Infrastruktursysteme, wie der Infrastrukturzustands- und Entwicklungsbericht der Deutschen Bahn AG und die Nationale Strategie des Bundesministeriums für kritische Infrastrukturen feststellen (vgl. Deutsche Bahn AG 2021; Bundesministerium des Inneren 2009).

Infrastruktursysteme bestehen in der Regel aus materiellen, immateriellen und personellen Ressourcen. Sie stellen der Gesellschaft flächendeckend ein System von Einrichtungen, Ausrüstungen und Dienstleistungen bereit, das als Basis für das Funktionieren nahezu aller Dienstleistungs- und Produktionsbereiche sowie Einrichtungen des Gesundheits-, Bildungs- und Wissenschaftssystems notwendig ist (vgl. Jochimsen 1966; Stohler 1965).

Im historischen Verlauf waren Infrastruktursysteme eine wesentliche Voraussetzung für gesellschaftliche Modernisierungs- und Industrialisierungsprozesse, wie der Aufbau von Schienenverkehr, Elektrizitätsversorgung oder Internet exemplarisch zeigen. Aber auch neuere strukturelle Veränderungen der Wirtschaft – wie die Globalisierung der Güter- und Kapitalmärkte, die Entstehung multinationaler Unternehmen oder die Arbeitsteilung über weite räumliche Entfernungen hinaus – wäre ohne leistungsfähige Infrastruktursysteme, wie dem Internet oder dem Verkehrsnetz, nicht möglich (vgl. Mayntz 1997, 78; Mayntz und Schneider 1995, 82).

Infolge der technischen Durchdringung der Gesellschaft ist insbesondere die Elektrizitätsversorgung eine grundlegende Bedingung, um die Leistungsfähigkeit der auf digitale Medien gestützten gesellschaftlichen Bereiche sicherzustellen. Eine ähnliche Funktion nimmt die informationstechnische Infrastruktur für die Gesellschaft ein, indem sie den Daten- und Informationsaustausch durch E-Mail-Dienste, Telefonie und Datenbanken weltweit ermöglicht.

Diese Beispiele illustrieren, dass moderne Gesellschaften hochgradig von der Funktionsfähigkeit grosstechnischer Infrastruktursysteme abhängig sind. Die weitreichende gesellschaftliche Relevanz der Infrastruktursysteme und die Abhängigkeit von ihrer Funktionsfähigkeit bergen jedoch auch erhebliche Risiken: Indem grosstechnische Infrastruktursysteme starke Abhängigkeitsverhältnisse schaffen, besitzen sie ein erhebliches Störungspotenzial für das gesellschaftliche Leben. Technische Ausfälle, aber auch Unfälle von Systembestandteilen, können zu schwerwiegenden Einschränkungen der gesamten Produktions- und Reproduktionsprozesse führen. Das Ausbleiben der Leistungs- und Funktionsfähigkeit durch vollständigen Verlust oder Einschränkung oder zeitliche Unterbrechung der Versorgungsleistung grosstechnischer Infrastruktursysteme sind daher immer wieder Gegenstand politischer Debatten (Ausschuss für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung 2011; Bundesministerium des Inneren 2009). Dabei sind die Fehleranfälligkeit und das damit einhergehende Störungspotenzial anderer Systeme umso grösser, je mehr und je asymmetrischer moderne Gesellschaften von ihren Infrastrukturleistungen abhängig sind (Mayntz 1988, 235).

Weiter haben Infrastruktursysteme auch Einfluss auf die räumliche Gestaltung moderner Gesellschaften, da die Einrichtung und der Betrieb grosstechnischer Infrastruktursysteme mit der Nutzung einer beträchtlichen Fläche einhergehen. Flughäfen, Schienenverkehr, Kraftwerke sowie Wasser- und Abwassernetze sind heutzutage grundlegende Bestandteile des Landschaftsbilds und bergen oftmals negative Umwelteffekte wie Lärm, Abfall oder die Zerstörung der natürlichen Lebensräume der dort ansässigen Flora und Fauna.

Neben diesen räumlichen Wirkungen, mit denen sich die deutsche Raumplanung und -forschung befasst (vgl. etwa Monstadt 2008; Moss 2011), haben grosstechnische Infrastruktursysteme auch Auswirkungen auf die soziale Struktur der Gesellschaft. So hat beispielsweise der Ausbau der Verkehrsinfrastruktur Einfluss auf Mobilitätsgewohnheiten genommen und die Internetinfrastruktur zeigt Folgewirkungen auf Kommunikationspraktiken und Investitionsverhalten.

3.2 Internetinfrastruktur

Allen anderen Infrastrukturen voran entwickelte sich die Internetinfrastruktur binnen weniger Jahrzehnte von einem Computernetzwerk, bestehend aus einer geringen Anzahl von Rechnern der militärischen Forschung, zu einem hochkomplexen Verbund weltumspannender Rechnernetzwerke (siehe Kapitel 11).

Die Entwicklung der weltweiten und europäischen Internetnutzer:innenzahlen und die Entwicklung hinsichtlich der Nutzer:innenzahlen und ihrer Mediennutzungsdauer in Deutschland werden im folgenden weitergehend ausgeführt. Daran anschliessend werden auch die Bestandteile der Internetinfrastruktur und ihre Charakteristika beschrieben.

Bei einem Blick auf die weltweiten Internetnutzer:innenzahlen lässt sich feststellen, dass sich deren Anzahl innerhalb von zehn Jahren (2011–2021) mehr als verdoppelt hat. Sie ist weltweit von 2,17 Milliarden im Jahr 2011 auf 4,9 Milliarden im Jahr 2021 angestiegen (vgl. Statista 2021a).

In Europa nutzten im Jahr 2021 737 Millionen Personen das Internet. Im europäischen Vergleich ist Deutschland mit ca. 79,13 Millionen Internetnutzer:innen am stärksten vertreten (vgl. Statista 2021b).

Richtet man den Blick weiter auf Deutschland und betrachtet die Mediennutzungsdauer anhand der aktuellen ARD/ZDF-Onlinestudie (2022), lässt sich auch hier ein grosser Anstieg im Mediennutzungsverhalten feststellen. Auch die Coronapandemie und der Anstieg der Home-Office-Zeiten durch Lockdown haben zu einer längeren Nutzungsdauer (vgl. ARD/ZDF-Onlinestudie, Von Beisch, und Koch 2022).

Zur stärkeren Kontrastierung werden im Folgenden die statistischen Werte der ARD/ZDF-Onlinestudie aus dem Jahr 2017 im Fünfjahresvergleich mit denen aus dem Jahr 2022 verglichen. Dabei lässt sich feststellen, dass im Jahr 2017 72,2 Prozent der deutschen Bevölkerung über 14 Jahren das Internet für mehrere Stunden täglich nutzte (ARD/ZDF-Onlinestudie, Koch, und Frees 2017, 435). Im Jahr 2022 sind es insgesamt 80 Prozent der deutschsprachigen Bevölkerung ab 14 Jahren, die das Internet täglich nutzen. Dieser Anstieg ist «der höchste jemals in der ARD/ZDF-Onlinestudie erhobene Wert (ARD/ZDF-Onlinestudie, Von Beisch, und Koch 2022, 460). Zu den Hauptanwendungen zählen E-Mail-Dienste, Social Media sowie Suchmaschinen und (ARD/ZDF-Onlinestudie, Koch, und Frees 2017; ARD/ZDF-Onlinestudie, Von Beisch, und Koch 2022). Anhand der ARD/ZDF-Onlinestudien aus den Jahren 2017 und 2022 lässt sich eine deutliche Verschiebung innerhalb der Social Media-Nutzung feststellen. Dabei hat insbesondere die Nutzung von video- und audiobasierten Diensten zugenommen (vgl. ebd.).

Infolge dieses Nutzer:innen- und Mediennutzungsanstiegs wachsen auch die hinter dem Internet liegenden technischen Strukturen kontinuierlich. Einerseits müssen sie in ihrer Funktion als Infrastruktur aufrechterhalten werden. Andererseits

müssen sie wegen der stetig ansteigenden Produktion internetbasierter Technologien und der ansteigenden Abhängigkeit anderer Systeme von der Internetinfrastruktur permanent ausgebaut werden, um ihre Funktionalität zu erhalten.

Hier ist die Entwicklung und Einbindung neuer Anwendungsfelder des Internets, zum Beispiel das *Internet der Dienste* oder das *Internet der Dinge* (engl. Internet of Things, IoT), eine technologische Neuerung und als Beispiel für die Notwendigkeit des Ausbaus der Internetinfrastruktur zu nennen (siehe dazu u. a. ORACLE Deutschland B.V. & Co. KG 2022). Schliesslich werden durch das *IoT* vermehrt Smarthome-Technologien, u. a. Geräte wie Haushaltsgegenstände (z. B. Kühlschrank, Kaffeemaschine etc.) und Techniken aus dem Bereich der Unterhaltungselektronik (z. B. Smart TVs, Spielkonsolen, Smartphones etc.) an das Internet angeschlossen. Dadurch steigt auch der Bedarf an Internetadressen zur Identifizierung und Adressierung innerhalb des Internets. Die Bundesregierung hat sich im Jahr 2022 ausführlich mit der Entwicklung einer Digitalstrategie befasst, die auch den Ausbau der Internetinfrastruktur fokussiert, und erkennt darin an, dass «leistungsfähige und nachhaltige digitale Infrastrukturen [...] eine elementare Grundlage für die Digitalisierung [sind]» (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur 2022, 12). Insofern versteht die Bundesregierung moderne, leistungsfähige und nachhaltige Netze und die Verfügbarkeit von Daten und Datenwerkzeugen als eine ihrer zentralen Aufgaben (ebd.).

Der Aufbau der Internetinfrastruktur gestaltet sich wie folgt: Technisch umfasst die informationstechnische Infrastruktur «die Gesamtheit aller Gebäude, Kommunikationsdienste (Netzwerk), Maschinen (Hardware) und Programme (Software), die einer übergeordneten Ebene durch eine untergeordnete Ebene (lat. *Infra*: »Unter«) zur automatisierten Informationsverarbeitung zur Verfügung gestellt werden» (Patig 2009 Stichwort IT-Infrastruktur).

Zur Hardware der Internetinfrastruktur gehört neben der Rechentechnik, die zum Beispiel aus Computern besteht, auch die Netzwerktechnik, welche unter anderem Switches und Kabel umfasst. Weiter zählen hierzu Peripheriegeräte (z. B. Tastatur, Monitor, Drucker, Scanner) sowie Geräte zum Betrieb der einzelnen Komponenten (z. B. Racks, unterbrechungsfreie Stromversorgungen). Ausserdem umfasst die Internetinfrastruktur weitere materielle Bestandteile wie zum Beispiel Gebäude, die über speziell für die Informationstechnik ausgestattete Räumlichkeiten verfügen. Dazu zählen auch Rechenzentren, die mit spezieller Klimatechnik, Verkabelung und Schutztechnik ausgestattet sind.

Immaterieller Bestandteil der informationstechnischen Infrastruktur sind die Software, u. a. die Systemsoftware (z. B. Betriebssysteme) sowie insbesondere Netzwerkprotokolle, welche den Datentransfer zwischen einzelnen Rechnern und Rechnernetzwerken regeln. Diese Netzwerkprotokolle steuern und überwachen die Eigenschaften des Rechensystems, sodass diese durch Dienstprogramme nutzbar

werden. Erweitert man die Differenzierung von «materiell» und «immateriell» um die institutionelle und organisationale Ebene, so gehören auch Standards und Normen zur informationstechnischen Infrastruktur und nicht zuletzt personelle Ressourcen wie zum Beispiel Entwickler und Systemadministratoren.

Solche Rechnernetzwerke sind hochgradig komplex. Netzwerkverbünde dieser Art finden sich heutzutage in nahezu allen gesellschaftlichen Bereichen wieder. Die Ausdehnung dieser Netzwerke kann dabei national erfolgen, wie im deutschen Bankensystem, welches ein eigenes Rechnernetzwerk zur Abwicklung des Zahlungsverkehrs nutzt. Auch kann die Ausdehnung international erfolgen, wie zum Beispiel in der Luftfahrt zur weltweiten Koordination der Flugsicherheit.

Je nach Anwendungsbereich kann der Ausfall oder die Beeinträchtigung solcher Netzwerke innerhalb der Internetinfrastruktur folgenschwer sein. So ist zum Beispiel der Flugverkehr hochgradig auf die internetbasierte Kommunikation angewiesen, da An- und Abflüge in einer Online-Datenbank synchronisiert werden. Ein Zusammenbruch des Netzwerks hat unter anderem Verspätungen sowie ein erhöhtes Risiko von Flugzeugzusammenstößen zur Folge. Fluggesellschaften haben infolgedessen mit enormen Kosten zu rechnen und im schlimmsten Fall können Unfälle in der Passagierluftfahrt zu (hohen) Todeszahlen führen. Ein umfassendes *Safety Management* ist daher unerlässlich (vgl. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur 2020; 2022).

Für private Nutzer:innen ist die informationstechnische Seite der Infrastruktur meist ohne ersichtliche Bedeutung, solange sie ihre Funktion erfüllt. Dies lässt sich unter anderem darauf zurückführen, dass Privatnutzer:innen die Internetinfrastruktur und deren Technologien (überwiegend) als eine selbstverständliche Voraussetzung für die Nutzung des Internets wahrnehmen und in der Regel die Gründe der Leistungsfähigkeit unhinterfragt lassen (vgl. Star 1999).

Tatsächlich sind die technologischen Strukturen, die im Hintergrund der sichtbaren Oberfläche des privaten Nutzers ablaufen, sehr vielschichtig. So müssen die Entwicklung und Implementierung technischer Neuerungen im laufenden Prozess, also während des Betriebs, erfolgen.

Weiter sind Internetinfrastrukturtechniken vielschichtig im Sinne des Layerings mit anderen Techniken vernetzt und bauen sehr stark aufeinander auf (siehe Kapitel 9.1.8). Letzteres hat zur Folge, dass die Weiterentwicklung einer bestehenden Infrastrukturtechnologie eher die Regel als die Ausnahme darstellt.

Ferner führen die genannten Besonderheiten dazu, dass sowohl der Entwicklungs- als auch der Einführungsprozess in das bestehende System für Entwickler:teams sehr aufwendig ist und eine umfassende Koordination notwendig macht. Besonders bedeutend ist jedoch, dass bestehende technologische Strukturen durch Einführung von Neuerungen stets umgestaltet werden müssen und der Systemumbau somit eine zentrale Position in der Entwicklung und Implementierung technischer Neuerungen im Kontext der Internetinfrastruktur einnimmt.

4. Systematisches Literaturreview zum Stand der Internetinfrastrukturforschung

Das wachsende Interesse an und die kontinuierlich angestiegene Relevanz von Informations- und Kommunikationstechnologien sowie den ihnen zugrundeliegenden Strukturen haben eine Vielzahl von Publikationen hervorgebracht. Im Zuge der vorliegenden Arbeit wurde *vor dem Forschungsbeginn* in einer *ersten offenen Literaturrecherche* das Forschungsfeld der Internetinfrastrukturforschung mit Blick auf den Forschungsgegenstand des Umbaus der Internetinfrastruktur gesichtet. Dadurch sollte eruiert werden ob es überhaupt einen Forschungsbedarf gibt, welcher das ist und wie dieser gedeckt werden kann. In diesem ersten Rechercheprozess zeigten sich zunächst keinerlei Publikationen mit Fokus auf den Umbau der Internetinfrastruktur, zu den Charakteristika innerhalb des Umbaus von Internetinfrastrukturen oder den beim Umbau verfolgten Strategien. Daraus schlussfolgerte die Autorin der vorliegenden Arbeit zunächst, dass ein Forschungsbedarf besteht. Zugleich war sie jedoch von der ergebnislosen Recherche vor dem Hintergrund der Relevanz von Informations- und Kommunikationstechnologien für die Gesellschaft erstaunt.

Infolgedessen hat die Verfasserin die Notwendigkeit gesehen, eine *zweite Literaturrecherche in Form eines systematischen Literaturreviews* (engl. Systematic Review) zum Stand der Internetinfrastrukturforschung mit Fokus auf den Umbau der Internetinfrastruktur, umbauspezifische Charakteristika sowie Strategien innerhalb des Umbauprozesses in (Fach)Datenbanken durchzuführen. Durch das zweite systematische Vorgehen in der Literaturrecherche sollten möglichst umfänglich alle für das Erkenntnisinteresse der vorliegenden Arbeit relevanten Publikationen identifiziert werden, um einen fundierten Überblick über das Forschungsfeld zu erhalten, mögliche wissenschaftliche Anknüpfungspunkte zu eruiieren sowie das eigene Erkenntnisinteresse für die vorliegende Arbeit in Anlehnung an die GTM daran zu schärfen (Kapitel 4.3). Damit verfolgt wurde zugleich das Ziel die wissenschaftliche und gesellschaftliche Relevanz der vorliegenden Arbeit zu erhöhen. Das *systematic Review* wurde der empirischen Arbeit der vorliegenden Studie weitgehend vorangestellt sowie sukzessiv in der Zeit von 2016 bis 2019 durchgeführt. Insgesamt konnten so 14 Publikationen zum Forschungsgegenstand identifiziert und ausgewertet werden (siehe Kapitel 4.2).

Im Folgenden soll das Ergebnis der zweiten systematischen Literaturrecherche zusammenfassend dargestellt werden. Dazu wird zunächst die Methodik der Literaturrecherche (Kapitel 4.1.1) sowie die Auswahl verwendeter Datenbanken anhand für diese Arbeit definierter Einschlussfaktoren (Kapitel 4.1.2) dargestellt sowie der Rechercheprozess und Suchstring erläutert (Kapitel 4.1.3). Anschliessend erfolgen die Durchführung (Kapitel 4.1.4) und Sichtung/Dokumentation (Kapitel 4.1.5) sowie die Vorstellung der zentralen Ergebnisse der systematischen Literaturrecherche (Kapitel 4.1.5). Schliesslich wird auf Basis der Erkenntnisse die Konkretisierung des Forschungsgegenstandes der vorliegenden Arbeit vorgenommen (Kapitel 4.3).

4.1 Ziel, Aufbau und Inhalte des systematischen Literaturreviews zur Internetinfrastrukturforschung

Die vorliegende Arbeit verfolgt im Kontext des systematischen Literaturreviews das Ziel, möglichst alle relevanten deutsch- und englischsprachigen Publikationen zum Stand der Internetinfrastrukturforschung mit Fokus auf Umbauprozesse von Internetinfrastrukturen zu identifizieren, um diese im Sinne der Grounded Theory als ersten Zugang zum Forschungsfeld zu nutzen und daran die forschungsleitende Fragestellung im Hinblick auf die zu entwickelnde gegenstandsorientierte Theorie zu konkretisieren und die wissenschaftliche und gesellschaftliche Relevanz der vorliegenden Arbeit zu erhöhen.

Zentral für das systematic Review ist die Fragestellung «Wie ist der deutsche und englische Forschungsstand zur Internetinfrastrukturforschung mit Fokus auf den Umbau der Internetinfrastruktur?»

Dabei geht es nicht um die Quantifizierung der Ergebnisse, sondern um die Sichtung und Auswertung von Publikationen zum Umbau der Internetinfrastruktur. Daran anschliessend werden die untersuchten Inhalte und Ergebnisse auf ihren Nutzen für die vorliegende Arbeit überprüft und sollen im Sinne theoretisch sensibilisierender Konzepte der Grounded Theory Methodologie fruchtbar in die Forschung einbezogen werden.

4.1.1 Methodik der systematischen Literaturrecherche

Die systematische Literaturrecherche im Kontext der vorliegenden Arbeit erfolgt in Anlehnung an das von Booth, Sutton und Papaionnannou (2016) vorgeschlagene Ablaufschema zur systematischen wissenschaftlichen Literaturrecherche (engl. systematic literature review) und dem Cochrane Handbuch für systematic Reviews (vgl. Higgins u. a. 2022).

Im Kontext der vorliegenden Arbeit gliedert sich das systematic Review wie folgt:

- Auswahl der (Fach)Datenbanken
- Definition der Suchbegriffe/ Schlagwörter
- Definition und Überprüfung des Suchstrings
- Durchführung der Literaturrecherche
- Sichtung und Dokumentation der Ergebnisse

Im Folgenden werden diese Schritte im Kontext des systematischen Literaturreviews zur Internetinfrastrukturforschung erläutert.

4.1.2 Auswahl der (Fach)Datenbanken

Im Allgemeinen ist die Literaturrecherche in (Fach)Datenbanken für die wissenschaftliche Forschung von zentraler Bedeutung. Auch diese Forschungsarbeit sichert auf diese Weise ein systematisches Vorgehen bei der Literaturrecherche (vgl. Relevo 2012, 28).

Für eine tiefergehende Literaturanalyse zu einem Forschungsgegenstand empfiehlt Relevo (2012), stets mehrere (Fach)Datenbanken zu durchsuchen, da die Literaturquellen in unterschiedlichen Datenbanken zum Teil abweichend indexiert sind.

Zunächst wird daher in der vorliegenden Arbeit eruiert, welche Literaturdatenbanken für die Recherchearbeit zur Internetinfrastrukturforschung genutzt werden können. Dazu werden zunächst auch die Disziplinen identifiziert, die sich mit der Thematik der Infrastrukturforschung im Allgemeinen beschäftigen, um möglichst wenige Einschränkungen vorzunehmen. Zu den Disziplinen, die sich im Allgemeinen mit der Infrastrukturforschung beschäftigen, gehören in Anlehnung an die Vorrecherchearbeit u. a. die Soziologie, Politologie, Philosophie, Erziehungswissenschaft, Geschichte, Geografie, Medien- und Kommunikationswissenschaften, Informatik, Raum- und Städteplanung und die Wirtschaftswissenschaften.

Zur Sichtung vorhandener Datenbanken wurde auf das Datenbank-Infosystem (DBIS) der Universität Regensburg zurückgegriffen (vgl. Universität Regensburg 2022c). DBIS listet Datenbanken nach Fachbereichen und unter Angabe der Zugriffsmöglichkeiten auf und beinhaltet sowohl deutsch- als auch englischsprachige Datenbanksysteme (vgl. Universität Regensburg 2022a). Insbesondere letztere sind notwendig, da sich bereits bei der eingangs erwähnten Literaturrecherche herausstellte, dass im Bereich der Infrastrukturforschung vermehrt englischsprachig publiziert wurde und wird. Daher genügt der Blick auf deutschsprachige Publikationen und Datenbanken nicht und es besteht die Notwendigkeit, auch Datenbanken mit englischsprachigen Publikationen für die Literaturrecherche einzubinden. DBIS wird diesem Anspruch gerecht, da sich an dem Datenbank-Infosystem «mehrere Hundert Bibliotheken und Forschungseinrichtungen aus aller Welt [...] seit vielen Jahren an der Sammlung und Pflege der qualitativ hochwertigen Daten» beteiligen (vgl. Universität Regensburg 2022b). Insgesamt listet DBIS 14.456 Einträge zu Fachdatenbanken auf. Davon sind 6.156 Fachdatenbanken frei verfügbar (vgl. ebd.).

4.1.2.1 Datenbank-Infosystem – Fachdatenbanken und übergreifende Datenbanken

In der vorliegenden wird sich aus wirtschaftlichen Gründen auf frei zugängliche Fachdatenbanken sowie auf jene, mit denen Hochschulen eine Lizenz hat, gestützt.

Tabelle 1 listet die Gesamtanzahl der Fachdatenbanken nach Anzahl und für die Arbeit relevanter Fachbereiche auf, die zur Sichtung und für die Auswahl der Datenbanken für die Literaturrecherche genutzt werden:

Gesamtanzahl der Fachdatenbanken	Anzahl der frei zugänglichen Fachdatenbanken	Fachbereich
506	427	Architektur, Bauingenieur- und Vermessungswesen
425	362	Pädagogik
685	614	Medien- und Kommunikationswissenschaften, Publizistik, Film- und Theaterwissenschaft
239	208	Elektrotechnik, Mess- und Regelungstechnik
527	418	Geografie
2.588	2.255	Geschichte
281	242	Informatik
458	313	Philosophie
981	785	Politologie
823	720	Soziologie ⁶
484	393	Technik, allgemein
1.488	1.153	Wirtschaft
9.485	7.890	Gesamtanzahl

Tab. 1: Gesamtanzahl der Fachdatenbanken auf DBIS (vgl. Universität Regensburg 2022b).

Tabelle 1 zeigt zum einen die Gesamtanzahl der von Fachdatenbanken der identifizierten Fachbereiche, zum anderen die Bereinigung durch Abzug der kostenpflichtigen Datenbanken und/oder derjenigen, die ausschliesslich auf CD verfügbar sind. Insgesamt konnten im Rahmen der ersten Sichtung im DBIS 7.890 Fachdatenbanken identifiziert werden (vgl. Universität Regensburg 2022a).

Da die Internetinfrastrukturforschung jedoch ein stark interdisziplinäres Forschungsgebiet ist und mangels Überblicksarbeiten zur Entwicklung der Infrastrukturforschung im Allgemeinen und zur Internetinfrastrukturforschung im Speziellen schwer zu überblicken ist, hat sich die Verfasserin dazu entschlossen, neben Fachdatenbanken insbesondere auch fachoffene Datenbanken zu verwenden. Das wird gemacht, um dem Anspruch nach einer möglichst hohen Vollständigkeit der Ergebnisse gerecht zu werden und möglichst keine relevanten Datenbanken und Publikationen in der Literaturrecherche auszuschliessen.

⁶ Unter das Fachgebiet Soziologie wird bei DBIS auch die Sozialwissenschaft mit Datenbanken geführt. Siehe dazu: https://dbis.ur.de/dbliste.php?bib_id=alle&colors=3&ocolors=40&lett=f&gebiete=18, letzter Zugriff: 25.11.22.

Tabelle 2 zeigt die Gesamtzahl der fächerübergreifenden Datenbanken auf, die von DBIS geführt werden, sowie zum anderen die Bereinigung durch Abzug der kostenpflichtigen Datenbanken und/oder denjenigen, die ausschliesslich auf CD verfügbar sind. Insgesamt konnten nach der Bereinigung 2.192 Fachdatenbanken für die Literaturrecherche ausgewählt werden.

Gesamtanzahl der fächerübergreifenden Datenbanken	Anzahl der frei zugänglichen fächerübergreifenden Datenbanken
2.785	2.192

Tab. 2: Gesamtanzahl der fächerübergreifenden Datenbanken (vgl. Universität Regensburg 2022b).

Diese sehr hohe Anzahl der aufgeführten Datenbanken ist im Kontext der vorliegenden Forschung aufgrund des hohen Arbeitsaufwandes (a) zum Einarbeiten in Funktionsspezifika innerhalb der einzelnen Datenbanken, (b) der Durchführung des Suchprozesses sowie (c) der Sichtung und Auswertung der Publikationen nicht handhabbar. Darüber hinaus listet DBIS keine Inhalte aus elektronischen Zeitschriften und elektronischen Monografien, welche durchaus eine Relevanz für den Forschungsgegenstand haben können und notwendigerweise eingeschlossen werden müssen.

Infolgedessen ist die Suche nach einer Strategie notwendig, die zwar zur Reduktion der Arbeitszeit, nicht aber zu einer Begrenzung der Anzahl der zu durchsuchenden Datenbanken und so zu einer inhaltlichen Einschränkung führt. Eine Lösung verspricht der Fokus auf Meta-Suchmaschinen, welche im Folgenden vorgestellt werden.

4.1.2.2 Meta-Suchmaschinen

Meta-Suchmaschinen bieten die Möglichkeit, mittels Suchoberflächen mehrere festgelegte Fachdatenbanken und übergreifende Datenbanken gleichzeitig mit nur einem einzigen Suchstring zu durchsuchen. Sie stellen insofern für die vorliegende Arbeit eine Recherchestrategie zur Arbeitszeitreduktion bei gleichbleibend hoher Anzahl zu durchsuchender (Fach-)Datenbanken dar.

Es gibt eine Vielzahl unterschiedlicher Meta-Suchmaschinen zur wissenschaftlichen Literaturrecherche. In der vorliegenden Arbeit wird sich zum einen in Anlehnung an die identifizierten Fachbereiche, die sich mit der allgemeinen Infrastrukturforschung beschäftigen, konzentriert sowie zum anderen werden jene Meta-Suchmaschinen berücksichtigt, die eine hohe Anzahl an Datenlieferanten in Anlehnung an DBIS berücksichtigen. Weiter werden Meta-Suchmaschinen mit einer Vielfalt hinsichtlich der berücksichtigten Publikationsformate aufgegriffen, da diese im DBIS, wie erläutert, ausgeschlossen sind.

4.1.2.3 Einschlussfaktoren für Meta-Suchmaschinen

Im Folgenden sollen Einschlussfaktoren für die Gesamtauswahl der Meta-Suchmaschinen definiert werden. Diese Einschlussfaktoren beziehen sich auf die Gesamtauswahl der Meta-Suchmaschinen und beinhalten somit das komplette Suchmaschinen-Sampling für die Literaturrecherche. Insofern muss eine einzelne Meta-Suchmaschine nicht alle definierten Einschlussfaktoren erfüllen. So kann sie bspw. nur auf einen speziellen Fachbereich ausgerichtet sein und erfüllt mit anderen Meta-Suchmaschinen gemeinsam die Einschlussfaktoren im Gesamtsampling der Meta-Suchmaschinen.

Die im Folgenden definierten Einschlussfaktoren für die Gesamtauswahl der Meta-Suchmaschinen müssen der Internetinfrastrukturforschung gerecht werden, um valide Ergebnisse innerhalb der Literaturrecherche liefern zu können. Dabei liefern die Vorrecherchen zur Internetinfrastrukturforschung wenig Erkenntnis zum Forschungsgegenstand. Insofern ist ein offenes Vorgehen notwendig, welches die Besonderheit der Internetinfrastrukturforschung als interdisziplinäres Forschungsfeld berücksichtigt. Zum einen wird ihr Gegenstand seitens verschiedener Disziplinen behandelt und macht eine Reichhaltigkeit der Datenlieferanten der Meta-Suchmaschinen notwendig. Zum anderen wurde in den Vorrecherchen innerhalb von DBIS eine hohe Anzahl verschiedener (Fach)Datenbanken zu den identifizierten Fachbereichen gefunden, die sich mit der Internetinfrastruktur beschäftigen. Insofern ist für die Validität der Literaturrecherche eine hohe Anzahl von Datenbanklieferanten notwendig, auf die die Meta-Suchmaschinen zurückgreifen. Zudem ist das Feld der Internetinfrastrukturforschung ein Themengebiet, welches international im wissenschaftlichen Diskurs behandelt wird. Somit soll die Gesamtauswahl der Meta-Suchmaschinen nicht auf deutschsprachige Datenbanken beschränkt sein. Zusätzlich soll die Gesamtauswahl eine hohe Heterogenität hinsichtlich der Publikationsformate aufweisen, sodass die Vielfalt des wissenschaftlichen Diskurses, z. B. auch im Kontext von Konferenzbeiträgen, berücksichtigt werden kann.

Daraus lässt sich resümieren, dass die Einschlussfaktoren für die Gesamtauswahl der Meta-Suchmaschinen *multidisziplinär* hinsichtlich der untersuchten (Fach) Bereiche, *reichhaltig* hinsichtlich der Diversität der Datenlieferanten in Anlehnung an DBIS, *global* im Hinblick auf die berücksichtigten Publikationen und *vielfältig* seitens der Publikationsformate sein sollen.

Daraus ergeben sich für die Gesamtauswahl der Meta-Suchmaschinen die folgenden *Einschlussmechanismen*:

- (1) *multidisziplinär*
Abdeckung aller identifizierten Fachbereiche innerhalb der Gesamtauswahl der Meta-Suchmaschinen durch Vorrecherchearbeit⁷ und Spezifizierung durch die DBIS-Analyse; u. a.: Soziologie, Politologie, Philosophie, Erziehungswissenschaft (Pädagogik), Geschichte, Geografie, Medien- und Kommunikationswissenschaften, Informatik, Raum- und Städteplanung (Architektur), Wirtschaftswissenschaften, Technik (allgemein) und Elektrotechnik, Mess- und Regelungstechnik.
- (2) *reichhaltig*
Möglichst hohe Anzahl von Datenlieferanten und Datenquellen in der Gesamtauswahl der Meta-Suchmaschinen.
- (3) *global*
Ausrichtung auf nationale und internationale Datenquellen in der Gesamtauswahl der Meta-Suchmaschinen aufgrund des Forschungsgegenstandes der Internetinfrastrukturforschung innerhalb der Literaturrecherche.
- (4) *vielfältig*
Berücksichtigung einer breiten Vielfalt von Publikationsformaten in der Gesamtauswahl der Meta-Suchmaschinen: u. a. Bücher, Buchbeiträge, Zeitschriftenartikel, Forschungsarbeiten, graue Literatur, Open Access, Standardisierungspapier und Leitlinien, Request for Comments.⁸

4.1.2.4 Gesamtauswahl der Meta-Suchmaschinen nach Einschlussfaktoren

In Anlehnung an die zuvor definierten Einschlussfaktoren für die Gesamtauswahl der Meta-Suchmaschinen sowie an die Vorarbeiten zu vorhandenen Meta-Suchmaschinen von Nordhausen und Hirt (2018, 29 f.) erfolgt die weitere Auswahl der Meta-Suchmaschinen. Dazu werden zunächst die Ergebnisse der beiden Autoren zu Meta-Suchmaschinen gesichtet und anschliessend nach Berücksichtigung der definierten Einschlussfaktoren geclustert.

Nordhausen und Hirt (2018) haben eine Auflistung von Meta-Suchmaschinen und spezialisierten Datenbanken im Bereich der Gesundheitswissenschaften angefertigt. In der vorliegenden Arbeit dient diese Sammlung als erste Orientierung und wird vorab um Datenbanken aus den Gesundheitswissenschaften bereinigt, da diese keine Relevanz für den Forschungsgegenstand der Internetinfrastruktur besitzen.

7 D. h. auf Basis der Identifikation von Fachbereichen, die sich im Allgemeinen mit der Infrastrukturforschung auseinandersetzen.

8 Standardisierungspapiere und *Requests for Comments* sind Sonderpublikationsformen, die im Kontext der Internetinfrastruktur eine entscheidende Bedeutung haben, da diese u. a. als Leitlinie für technologische Entwicklungen fungieren.

Daraus ergibt sich in Anlehnung an Nordhausen und Hirt (2018, 29f.) zunächst die Berücksichtigung der folgenden Meta-Suchmaschinen, welche hinsichtlich der Einschlussfaktoren (1) multidisziplinär, (2) reichhaltig, (3) global sowie (4) vielfältig im Kontext der Literaturrecherche zur Internetinfrastrukturforschung überprüft werden sollen:

- BASE
- Campbell Collaboration Online Library
- Web of Science Core Collection
- Scopus
- Google Scholar Deutscher Bildungsserver
- DIE Meta Archiv
- ERIC
- FIS Bildung
- SSOAR

Die aufgeführten Meta-Suchmaschinen werden im Folgenden hinsichtlich der vier zuvor definierten Einschlussfaktoren (1) multidisziplinär, (2) reichhaltig, (3) global sowie (4) vielfältig untersucht und deren Ergebnisse in einzelnen Tabellen dargestellt. Anschliessend erfolgt eine Reflexion der Ergebnisse und die finale Gesamtauswahl der Meta-Suchmaschinen für die vorliegende Arbeit.

4.1.2.4.1 *Einschlussfaktor (1) multidisziplinär*

Zur Überprüfung der Meta-Suchmaschinen hinsichtlich des Einschlussfaktors (1) wurden die Datenlieferanten der Meta-Suchmaschinen hinsichtlich ihrer fachlichen und überfachlichen Zuordnung untersucht, um Rückschlüsse auf die identifizierten Fachbereiche⁹ und deren Vertretung innerhalb der Meta-Suchmaschinen vorzunehmen.

Tabelle 3 zeigt die untersuchten Meta-Suchmaschinen untergliedert nach fachlichem Fokus in Bezug auf einzelne Fachbereiche und mit zusätzlicher fachlicher Fokussierung auf einen oder mehrere Fachbereiche sowie jene nach überfachlicher Ausrichtung und Vertretung von allen identifizierten Fachbereichen wie auch jene, die zusätzliche Fachbereiche vertreten auf:

9 Spezifizierte Fachbereiche mittels DBIS, Soziologie, Politologie, Philosophie, Erziehungswissenschaft (Pädagogik), Geschichte, Geographie, Medien- und Kommunikationswissenschaften, Informatik, Raum- und Städteplaner (Architektur) und Wirtschaftswissenschaften, Technik (allgemein) und Elektrotechnik, Mess- und Regelungstechnik.

Einschlussfaktor (1) multidisziplinär				
Meta-Suchmaschine	Fachlicher Fokus, nur einzelne Fachbereiche vertreten	Zusätzlich fachlicher Fokus auf einen besonderen Fachbereich/ Thema oder andere Fachbereiche	Überfachlich, alle identifizierten Fachbereiche vertreten	Zusätzlich überfachlich, weitere Fachbereiche vertreten
BASE			x	x
Web of Science Core			x	x
Scopus		x, Informatik	x	x
Google Scholar			x	x
Campbell Collaboration Online Library	x	x, Informatik (Implementierung)		
Deutscher Bildungsserver	x	x, Pädagogik mit Fokus auf alle Stufen des Bildungssystems		
DIE Meta Archiv	x	x, Pädagogik mit Fokus auf historische Erwachsenenbildung		
SSOAR	x	x, Sozialwissenschaften, Soziologie		
ERIC	x			
FIS Bildung	x			

Tab. 3: Meta-Suchmaschinen zum Einschlussfaktor (1) multidisziplinär.

4.1.2.4.1.1 BASE, Web of Science und Scopus

Zu den Meta-Suchmaschinen BASE, Web of Science Core und Scopus liegen Datenlieferantenlisten vor, die explizit Auskunft zu den in diesen Datenbanken abgebildeten Fachbereichen geben. Die Datenlieferantenlisten sind auf den Internetseiten von BASE,¹⁰ Web of Science Score¹¹ sowie bei Scopus im *Content Coverage Guide*¹²

10 Datenlieferanten Base, online verfügbar unter: https://www.base-search.net/about/de/about_sources_date.php, letzter Zugriff: 22.11.22.

11 Reports Web of Science Core Collection, online verfügbar: <https://clarivate.com/webofscience-group/solutions/journal-citation-reports/>, letzter Zugriff: 22.11.22.

12 Scopus Content Coverage Guide, online verfügbar unter: https://www.elsevier.com/_data/assets/pdf_file/0007/69451/Scopus_ContentCoverage_Guide_WEB.pdf, letzter Zugriff: 22.11.22.

einsehbar und decken alle identifizierten Disziplinen für die Literaturrecherche der Internetinfrastrukturforschung ab. Scopus legt zudem einen Fokus auf die Informatik.

Google Scholar hingegen ist ein Sonderfall und benennt keine konkreten Datenlieferanten. Die Datenbank ist der Google Suchmaschine angegliedert. Dadurch wird das Internet u. a. mit Fokus auf wissenschaftliche Verlagsgesellschaften und deren Publikationen durchsucht. Es lässt sich jedoch nicht beurteilen, auf welche Datenlieferanten im konkreten Fall zurückgegriffen wird. Schaut man sich jedoch die Kennzahlen¹³ zu Google Scholar an, welche «Top Publikationen» und «Open Access Mandate» beinhalten, sieht man, dass auch hier aus allen Fachbereichen Publikationen vertreten sind. Insofern ist auch für Google Scholar anzunehmen, dass der Einschlussfaktor (1), multidisziplinär, unter Vorbehalt erfüllt ist.

Daraus lässt sich folgern, dass die Meta-Suchmaschinen BASE, Web of Science Core, Scopus (und Google Scholar) die für die Literaturrecherche zum Einschlussfaktor (1) identifizierten Disziplinen abdecken: Soziologie, Politologie, Philosophie, Erziehungswissenschaft (Pädagogik), Geschichte, Geografie, Medien- und Kommunikationswissenschaften, Informatik, Raum- und Städteplanung (Architektur), Wirtschaftswissenschaften, Technik (allgemein) und Elektrotechnik, Mess- und Regelungstechnik. Diese vier Meta-Suchmaschinen sind in Tabelle 3 daher blau hinterlegt.

Im Gegensatz dazu decken die folgenden Meta-Suchmaschinen nicht alle identifizierten Fachbereiche ab, sondern fokussieren sich auf einzelne Disziplinen oder spezielle Themengebiete daraus.

4.1.2.4.1.2 *Campbell Collaboration Library*

Die *Campbell Collaboration Online Library* legt den Fokus nicht auf Fachdisziplinen, sondern auf die Themenbereiche «Methods, Business & Management, Crime & Justice, Disability, Education, International Development (including Nutrition), Knowledge Translation & Implementation, Social Welfare», welche innerhalb verschiedener Fachbereiche thematisiert werden.¹⁴ Sie hat insofern einen *themenorientierten interdisziplinären Fokus*. Diese Themen decken nicht die gesamten identifizierten Fachbereiche ab, legen jedoch mit dem Fokus auf «Knowledge Translation & Implementation» einen deutlichen Schwerpunkt auf Implementierung, welche auch technische Implementierung im Bereich der Informatik umfasst und eine entsprechende Relevanz für die Internetinfrastrukturforschung aufweisen könnte (vgl. Fn. 13).

13 Kennzahlen Google Scholar, online verfügbar unter: https://scholar.google.de/citations?view_op=metrics_intro&hl=de, letzter Zugriff: 22.11.22.

14 Siehe dazu Themengebiete von Campbell Collaboration Online Library, online verfügbar unter: <https://www.campbellcollaboration.org/better-evidence.html>, letzter Zugriff: 25.11.22.

4.1.2.4.1.3 *Deutscher Bildungsserver*

Die Meta Suchmaschine *Deutscher Bildungsserver* deckt ein sehr spezifisches Thema ab, indem sie auf die Bildungsforschung fokussiert. Insofern umfasst die Meta-Suchmaschine zu diesem Themenbereich

«alle Bildungsstufen, von der Elementarbildung über Schule, Berufliche Bildung, Erwachsenen-/Weiterbildung bis zu Hochschulbildung und Wissenschaft und Bildungsforschung. Ergänzt wird dies durch übergreifende Informationen zum deutschen Bildungswesen und zu Bildung im internationalen Kontext sowie durch Querschnittsthemen wie Förderpädagogik/Inklusion und Sozialpädagogik».¹⁵

Andere Fachbereiche neben dem in Anlehnung an DBIS identifizierten Fachbereich Erziehungswissenschaft (Pädagogik) deckt der Deutsche Bildungsserver nicht ab.¹⁶

4.1.2.4.1.4 *DIE Meta Archiv*

Das *DIE Meta Archiv* vom *Deutschen Institut für Erwachsenenbildung (DIE)* setzt ebenfalls einen Fokus auf den Fachbereich der Pädagogik sowie insbesondere auf die historische Erwachsenenbildung. So bietet die Meta-Suchmaschine Literatur zu

«Persönlichkeiten und Institutionen sowie zur Geschichte der Erwachsenenbildung, Kurzbiographien von Persönlichkeiten der Erwachsenenbildung, Kurzbeschreibungen von Institutionen und Quellenangaben mit Standortangabe der Archive und der Archivbestände».¹⁷

Fachbereiche ausserhalb der Erziehungswissenschaft werden innerhalb der Meta-Suchmaschine nicht berücksichtigt, allerdings legt sie, wie eingangs erwähnt, einen besonderen Fokus auf die historische Erwachsenenbildung.

15 Siehe dazu Themengebiete der Meta-Suchmaschine *Deutscher Bildungsserver*, online verfügbar unter: <https://www.bildungsserver.de/ueber-uns-480-de.html#Themen>, letzter Zugriff: 22.11.22.

16 In Anlehnung an die Fachbereichsunterteilung von DBIS wird die Bildungsforschung dort unter «Erziehungswissenschaft (Pädagogik)» gefasst, auch wenn real noch weitere Fachbereiche, wie bspw. die Bildungswissenschaft und die Psychologie an Themen der Bildungsforschung arbeiten. Entsprechend lehnt sich die vorliegende Arbeit für die Einschlussfaktoren dieser Einordnung im Sinne einer Ordnungsstruktur an.

17 Vgl. dazu *DIE Meta Archiv*, online verfügbar unter: <https://www.die-bonn.de/weiterbildung/archive/meta-archiv>, letzter Zugriff: 25.11.22.

4.1.2.4.1.5 SSOAR

Die Meta-Suchmaschine *SSOAR (Social Science Open Access Repository)* «sammelt und archiviert sozialwissenschaftlich relevante Literatur».¹⁸ Im Bereich der Sozialwissenschaften werden explizit folgende Themen und Fachbereiche genannt: «Grundlagen, Geschichte, generelle Theorien und Methoden der Sozialwissenschaften», «Soziologie», «Demographie», «Bevölkerungswissenschaft», «Politikwissenschaft», «Erziehungswissenschaft», «Psychologie», «Kommunikationswissenschaften», «Wirtschaftswissenschaften», «Sozialpolitik», «Ethnologie» und «Sozialwissenschaften (allgemein)» (vgl. ebd.). SSOAR weist entsprechend nicht alle identifizierten Fachbereiche aus, die für die Literaturrecherche zur Internetinfrastrukturforschung von Interesse sein könnten. Allerdings vertritt sie durch den starken Fokus auf Sozialwissenschaften und Soziologie einen durchaus interessanten Schwerpunkt.

4.1.2.4.1.6 ERIC

ERIC ist die Abkürzung für *Education Resources Information Center*. ERIC «is an online bibliographic and full-text digital library of education research, including journal articles and non-journal materials» (ERIC 2022: 2).¹⁹

Die Meta-Suchmaschine hat nach Sichtung der Informationen auf der Homepage ebenfalls einen Fokus auf die Bildungsforschung und bildet in diesem Bereich eine breite internationale Vielfalt im Bereich der Literatur zu diversen Themenbereichen in ihrer Datenbank ab.²⁰

Bei der Sichtung der Datenlieferanten ist jedoch im Vergleich zu den vorherigen analysierten Suchmaschinen keine weitere fachliche Schwerpunktsetzung ersichtlich. Ausserdem werden nebst dem bereits identifizierten Fachbereich Erziehungswissenschaft keine weiteren Fachbereiche in der Meta-Suchmaschine ERIC berücksichtigt.

4.1.2.4.1.7 FIS Bildung

Die Meta-Suchmaschine *FIS Bildung (Fachinformationssystem Bildung)* vom *Fachportal Pädagogik* beinhaltet Literatur, Forschungsdaten und Forschungsinformationen aus dem Fachbereich der Pädagogik und Bildungsforschung im deutschsprachigen Raum.²¹ Die Meta-Suchmaschine beinhaltet keine Datenquellen anderer Fachbereiche und hat keinen speziellen Fokus auf ein Themengebiet.

18 Siehe dazu SSOAR Internetseite, online verfügbar unter: <https://www.gesis.org/ssoar/home/ueberssoar>, letzter Zugriff: 22.11.22.

19 Siehe dazu ERIC 2022: ERIC Selection Policy (May 2022), S.2, online verfügbar unter: https://eric.ed.gov/pdf/ERIC_Selection_2022.pdf, letzter Zugriff: 25.11.22.

20 Siehe dazu: ERIC Datenlieferanten «journal sources», online verfügbar unter: <https://eric.ed.gov/?journals>, letzter Zugriff: 25.11.22 und ERIC Datenlieferanten non-journal sources, online verfügbar unter: <https://eric.ed.gov/?nonjournals>, letzter Zugriff: 25.11.22.

21 Siehe dazu Fachportal Pädagogik, online verfügbar unter: https://www.fachportal-paedagogik.de/wir_ueber_uns.html, letzter Zugriff: 22.11.22.

4.1.2.4.2 *Einschlussfaktor (2) reichhaltig*

Um die Meta-Suchmaschinen hinsichtlich des definierten *Einschlussfaktors (2)* zu untersuchen, erfolgt die Sichtung der Anzahl der Datenquellen und Datenlieferanten aller berücksichtigten Meta-Suchmaschinen. Der Einschlussfaktor (2), reichhaltig, ist für sich betrachtet wenig aufschlussreich, da die Anzahl (Quantität) wenig über die Qualität der Datenquellen aussagt. Insofern hält dieser insbesondere unter Bezugnahme auf die anderen Einschlussfaktoren und in der Zusammenschau der Meta-Suchmaschinen für die Gesamtauswahl Einzug (siehe Kapitel 4.1.2.5).

Im Allgemeinen ist für die Literaturrecherche eine möglichst hohe Anzahl von Datenlieferanten und Dokumenten in der Gesamtauswahl der Meta-Suchmaschinen erforderlich um zu gewährleisten, dass möglichst viele Quellen für die Literaturrecherche der Internetinfrastruktur durchsucht und umfassende Ergebnisse erzielt werden können.

Tabelle 4 zeigt die Anzahl der zu durchsuchenden Datenquellen und die Anzahl der Datenlieferanten der einzelnen Meta-Suchmaschinen. Sie ist fallend nach der Anzahl sortiert und weist ebenso Querverbindungen zu anderen Meta-Suchmaschinen auf.

Demnach verfügen Web of Science Core und Scopus über die höchste Anzahl von Datenquellen und Datenlieferanten. Darauf folgt die META-Suchmaschine BASE, welche unter anderem auch die Daten der Meta-Suchmaschine ERIC beinhaltet. Die hohe Anzahl an Datenquellen und Datenlieferanten lässt sich u. a. durch die überfachliche Ausrichtung erklären.

Danach werden in der Tabelle die primär fachlich orientierten Datenbanken aufgeführt. Zu diesen gehören ERIC, FIS Bildung, Deutscher Bildungsserver, DIE Meta Archiv und SSOAR. FIS Bildung greift u. a. auf die Daten von ERIC und BASE zurück. Ebenso greift der Deutsche Bildungsserver auf FIS Bildung und ERIC zurück.

Einschlussfaktor (2) reichhaltig		
Meta-Suchmaschine	Anzahl Datenquellen	Anzahl Datenlieferanten
Web of Science Core ²²	1,9 Milliarden	13,9 Millionen
Scopus ²³	Über 1,8 Milliarden	84 Millionen ²⁴
BASE ²⁵	Über 314 Millionen	Über 10 Tausend ²⁶ , greift auch auf ERIC
ERIC	1,7 Millionen ²⁷	Keine konkreten Angaben
FIS Bildung	Ca. 1 Millionen ²⁸	Ca. 30 direkte Kooperationspartner, das Fachportal Pädagogik greift u. a. auf die Daten von ERIC und BASE zurück ²⁹
Deutscher Bildungs-server ³⁰	Ca. 1 Million (zzgl. weitere ohne konkrete Angabe)	Ca. 10 Tausend, ³¹ dabei wird u. a. auch auf FIS Bildung und ERIC zurückgegriffen
DIE Meta Archiv	Ca. 135 Tausend ³²	1.700 ³³

- 22 Statistik Datenlieferanten und Dokumente von Web of Science Core, online verfügbar unter: <https://clarivate.com/products/scientific-and-academic-research/research-discovery-and-workflow-solutions/web-of-science/web-of-science-core-collection/>, letzter Zugriff: 22.11.22.
- 23 Statistik Datenlieferanten und Dokumente von Scopus, online verfügbar unter: https://www.elsevier.com/_data/assets/pdf_file/0017/114533/Scopus-fact-sheet-2022_WEB.pdf, letzter Zugriff: 22.11.22.
- 24 Liste der Datenbanklieferanten von Scopus, online verfügbar unter: <https://www.elsevier.com/?a=212275>, letzter Zugriff: 22.11.22.
- 25 Statistik Datenlieferanten und Dokumente von BASE, online verfügbar unter: https://www.base-search.net/about/de/about_statistics.php, letzter Zugriff: 22.11.22.
- 26 Liste der Datenbanklieferanten von BASE, online verfügbar unter: https://www.base-search.net/about/de/about_sources_date.php, letzter Zugriff: 22.11.22.
- 27 Anzahl der Dokumente von ERIC, online verfügbar unter: ERIC Resources: https://eric.ed.gov/pdf/ERIC_Product_Guide.pdf. Der Guide leitet zu einem Youtube Video weiter, siehe dazu: <https://www.youtube.com/watch?v=qYzJa60wJpE>, letzter Zugriff: 22.11.22.
- 28 Statistik zu Dokumenten von FIS Bildung, online verfügbar unter: https://www.fachportal-paedagogik.de/literatur/produkte/fis_bildung/fis_bildung.html, letzter Zugriff: 22.11.22.
- 29 Kooperationspartner von FIS Bildung, online verfügbar unter: https://www.fachportal-paedagogik.de/literatur/produkte/fis_bildung/fis_bildung.html, letzter Zugriff: 22.11.22.
- 30 Der Deutsche Bildungsserver greift über die FIS Literaturdatenbank (Fachportal Pädagogik) auf Dokumente zu. Statistik zu Dokumenten, online verfügbar unter: https://www.fachportal-paedagogik.de/literatur/produkte/fis_bildung/fis_bildung.html und <https://www.fachportal-paedagogik.de/pdf/diagramme-zur-fis-bildung-literaturdatenbank.pdf>, letzter Zugriff: 22.11.22.
- 31 Datenlieferanten vom Deutschen Bildungsserver unter «Recherchemöglichkeiten», online verfügbar unter: <https://www.bildungsserver.de/ueber-uns-480-de.html#Kooperationen> und «Kooperationspartner» von der FIS Literaturdatenbank unter: https://www.fachportal-paedagogik.de/literatur/produkte/fis_bildung/kooperationspartner.html, letzter Zugriff: 22.11.22.
- 32 Über die zentrale Suchfunktion vom DIE Meta Archiv lässt sich die Gesamtanzahl der durchsuchten Publikationen ableiten. Siehe dazu «Literaturrecherche» online verfügbar unter: <https://www.die-bonn.de/weiterbildung/literaturrecherche/Suchfunktion.aspx> und «Bibliothekskatalog DIE Bibliothek», online verfügbar unter: https://die-litservice.bsz-bw.de/cgi-bin/koha/opac-search.pl?advsearch=1&limit=branch%3ADE-BO410&sort_by=relevance&do=Suche, letzter Zugriff: 22.11.22.
- 33 Anzahl der Datenlieferanten von DIE Meta Archiv, online verfügbar unter: <https://www.die-bonn.de/weiterbildung/archive/meta-archiv>, letzter Zugriff: 22.11.22.

Einschlussfaktor (2) reichhaltig		
SSOAR	Ca. 72 Tausend ³⁴	Keine Angaben
Campbell Collaboration Online Library	Keine konkreten Angaben	Keine konkreten Angaben – Die Datenbanklieferanten ohne Angabe von konkreten Zahlen finden sich hier. ³⁵ Es werden 29 Datenlieferanten benannt, die zum Teil ebenfalls einen Meta-Datenbankzugriff aufweisen.
Google Scholar ³⁶	Keine Angaben	Keine Angaben

Tab. 4: Meta-Suchmaschinen zum Einschlussfaktor (2) reichhaltig.

Die *Campbell Collaboration Online Library* und *Google Scholar* führen weder Datenquellen noch Datenlieferanten auf. Die Verfasserin der vorliegenden Arbeit weist darauf hin, dass wegen der fehlenden Angaben weder die tatsächliche Reichweite noch die tatsächlichen Inhalte transparent gemacht werden können. Dies widerstrebt ihrem wissenschaftlichen Anspruch.

4.1.2.4.3 Einschlussfaktor (3) global

Der Einschlussfaktor (3) beinhaltet die Ausrichtung auf nationale und internationale Datenquellen in der Gesamtauswahl der Meta-Suchmaschinen. Im Hinblick auf den Forschungsgegenstand der Internetinfrastrukturforschung, welcher nicht nur im deutschsprachigen Raum behandelt wird, ist die Berücksichtigung nationaler ebenso wie internationaler Datenquellen in deutscher und englischer Sprache innerhalb der Gesamtauswahl der Meta-Suchmaschinen zielführend für einen möglichst weitreichenden Einschluss von relevanten Ergebnissen bei der Literaturrecherche zur Internetinfrastrukturforschung.

34 Anzahl der Publikationen von SSOAR, online verfügbar unter: <https://www.gesis.org/ssoar/home>, letzter Zugriff: 22.11.22.

35 Liste der Datenbanklieferanten von Campbell Collaboration Online Library, ohne Angabe konkreter Zahlen, online verfügbar unter: <https://www.campbellcollaboration.org/evidence-portals.html>, letzter Zugriff: 22.11.22.

36 Google Scholar gibt keinerlei Angaben zu Dokumenten oder Datenlieferanten. Es liegt eine hohe Intransparenz vor.

Einschlussfaktor (3) global		
Meta-Suchmaschine	national	international
BASE ³⁷		x, beinhaltet Suchergebnisse aus 148 Ländern in entsprechenden Sprachen, darunter Deutsch, Englisch und andere europäische Sprachen ³⁸
Google Scholar ³⁹		x, Deutsch, Englisch und insgesamt 38 weitere Sprachen. (beliebige Sprachein- und -ausgabe möglich)
Web of Science Core ⁴⁰	(x)	x, Englisch acht weitere Sprachen (kein Deutsch)
Campbell Collaboration Online Library ⁴¹	(x)	x, Englisch und 7 weitere Sprachen (kein Deutsch)
Scopus ⁴²	(x)	x, Englisch und vier weitere Sprachen (kein Deutsch)
Deutscher Bildungserver ⁴³		x, Deutsch und Englisch
SSOAR		x, Deutsch und Englisch
FIS Bildung		x, Deutsch, Englisch, Spanisch, Französisch
ERIC	x, Englisch	
DIE Meta Archiv	x, Deutsch	

Tab. 5: Meta-Suchmaschinen zum Einschlussfaktor (3) global.

Tabelle 5 zeigt die Ergebnisse der Recherche hinsichtlich der möglichen Berücksichtigung nationaler und internationaler Datenquellen mit Fokus auf die Sprach- und Länderauswahl innerhalb der Suchmaske der Meta-Suchmaschinen. Dazu wurden die jeweiligen Meta-Suchmaschinen innerhalb ihrer Suchmaske hinsichtlich der möglichen sprachlichen Auswahlmöglichkeiten für die Ein- und Ausgabe untersucht. Die Quellenangaben sind in der Tabelle aufgeführt. Die Tabelle listet absteigend nach Häufigkeit in der Sprach- Länderauswahl auf.

37 Suchmaske BASE, online verfügbar unter: <https://www.base-search.net/Search/Advanced>, letzter Zugriff: 22.11.22.

38 Datenlieferanten nach Ländern von BASE, online verfügbar unter: https://www.base-search.net/about/de/about_countries_land_up.php, letzter Zugriff 22.11.22.

39 Suchmaske Google Scholar, online verfügbar unter: <https://scholar.google.de/>, letzter Zugriff: 22.11.22.

40 Suchmaske Web of Science Core (lizenziert, Login via Uni-Bielefeld), online verfügbar unter: <https://www.webofscience.com/wos/woscc/advanced-search>, letzter Zugriff: 22.11.22.

41 Suchmaske von Campell Collaboration Online Library, online verfügbar unter: https://www.campbellcollaboration.org/component/jak2filter/?Itemid=1352&issearch=1&isc=1&category_id=101&ordering=publishUp, letzter Zugriff: 22.11.22.

42 Suchmaske Scopus, online verfügbar unter: <https://www.scopus.com/search/form.uri?display=advanced>, letzter Zugriff: 22.11.22.

43 Suchmaske Deutscher Bildungserver, online verfügbar unter: https://www.bildungserver.de/metasuche/erweiterte_suche.html, letzter Zugriff: 22.11.22.

Die grösste sprachliche Vielfalt und die meisten Auswahlmöglichkeiten hinsichtlich der Länderauswahl bietet die Meta-Suchmaschine BASE. Darauf folgt Google Scholar mit vierzig Sprachen, Web of Science Core mit neun Sprachen, Campbell Collaboration Online Library mit acht Sprachen und Scopus mit fünf Sprachen sowie FIS Bildung mit vier Sprachen. Die Meta-Suchmaschinen Deutscher Bildungsserver, SSOAR und FIS Bildung berücksichtigen jeweils englisch- und deutschsprachige Datenquellen. ERIC, Web of Science Core, Scopus und Campbell Collaboration Online Library ermöglichen nur das Auffinden von Datenquellen in englischer Sprache, das DIE Meta Archiv ausschliesslich in Deutsch.

4.1.2.4.4 Einschlussfaktor (4) vielfältig

Tabelle 6 gibt Auskunft über die berücksichtigten Publikationsformate innerhalb der Meta-Suchmaschinen. Im Kontext der vorliegenden Arbeit ist eine breite Vielfalt von Publikationsformaten in der Gesamtauswahl der Meta-Suchmaschinen – u. a. Bücher, Buchbeiträge, Zeitschriftenartikel, Forschungsarbeiten, graue Literatur, Open Access, Standardisierungspapiere und Leitlinien, Request for Comments – angestrebt, um möglichst viele unterschiedliche Datenquellen innerhalb der Literaturrecherche zur Internetinfrastrukturforschung zu berücksichtigen. Die Tabelle zeigt die einzelnen Meta-Suchmaschinen mit der Angabe der auf ihren Internetseiten und innerhalb der Suchmasken dargestellten Publikationsformaten. Die bereits bei den Meta-Suchmaschinen benannten Publikationsformate sind in Tabelle 6 in Normalschrift formatiert.

Die Angaben und Auswahlmöglichkeiten sind in ihrer Anzahl sehr divers. Infolgedessen wird ergänzend nach einzelnen Publikationsformaten in den Meta-Suchmaschinen mittels der Eingabemaske gesucht. Dazu wird eine «deutsche Schlagwortliste»⁴⁴ eingegeben. Bei den Meta-Suchmaschinen, die keine deutsche Spracheingabe ermöglichen, erfolgt die Suche mithilfe einer «englischen

44 Die Schlagworte wurden in Anlehnung an die berücksichtigten Publikationsformate von SSOAR, den englischen «publication types» von ERIC sowie internetinfrastrukturspezifischen Publikationsformaten («Request for Comment») definiert. Die folgende Schlagwortliste wurde in den Metasuchmaschinen als Suchstring eingegeben. Dazu wurden alle Schlagworte durch «OR» verkettet. Dadurch ist es möglich, mit einer einzigen Suchanfrage nach allen in der Liste aufgeführten Publikationsformaten zu suchen. Die Schlagwortliste beinhaltet folgende deutsche Begriffe:

«Zeitschriftenartikel OR Forschungsdaten OR Sammelwerk OR Sammelwerksbeitrag OR Konferenzband OR Bibliographie OR Forschungsbericht OR Rezension OR Biographie OR Konferenzbeitrag OR Forschungsbericht OR Monographie OR Arbeitspapier OR Stellungnahme OR Dissertation OR Abschlussarbeit OR Bericht OR Themenheft OR Kurzbericht OR Verzeichnisauszug OR Listenauszug OR Gutachten OR Habilitationsschrift OR Literaturbericht OR Tätigkeitsbericht OR Diskussionsprotokoll OR Jahresbericht OR Buch OR Präsentation OR Vorstudie OR Zwischenbericht OR Diplomarbeit OR Festschrift OR Forschungsantrag OR Request for Comment OR RFC».

Schlagwortliste».⁴⁵ Letzteres ist bei der Meta-Suchmaschine *ERIC*, *Scopus*, *Campbell Collaboration Online Library* und *Web of Science Core Collection* der Fall. Sofern es innerhalb der Meta-Suchmaschine einen beliebigen inhaltlichen Treffer gibt, gilt dies als Indiz auf die Berücksichtigung des Publikationsformats innerhalb der jeweiligen Meta-Suchmaschine. Die ergänzten Publikationsformate sind in Fettschrift in Tabelle 6 angegeben.

45 Der englische Suchstring beinhaltet die folgenden Begriffe und weicht aufgrund des abweichenden englischen Sprachgebrauchs von der deutschen Schlagwortliste ab:

«Journal article OR research data OR collective work OR conference contribution OR bibliography OR research report OR review OR biography OR monograph OR working paper OR statement OR dissertation OR thesis OR report OR special issue, short report OR directory excerpt OR list excerpt OR expert opinion OR habilitation thesis OR literature report OR activity report OR discussion OR annual report, presentation OR preliminary study OR interim report OR collective publication OR research proposal OR request for comment OR speeches OR collected Works OR book».

Einschlussfaktor (4) vielfältig	
Meta-Suchmaschine	Publikationsformate
BASE	<p>Zeitschriftenartikel, Preprints, Digitale Sammlungen,⁴⁶ Abschlussarbeit, Text, Buch, Teil eines Buches, Zeitschrift/Zeitung, Artikel Konferenzbeitrag, Bericht, Review, Lehrmaterial, Vortrag Manuskript, Patent, Abschlussarbeit, Bild/Video, Einzelbild, Software, Forschungsdaten.⁴⁷</p> <p>Ergänzt: Zeitschriftenartikel, Sammelwerk, Sammelwerksbeitrag, Konferenzband, Bibliographie, Forschungsbericht, Rezension, Biographie, Konferenzbeitrag, Forschungsbericht, Monographie, Arbeitspapier, Stellungnahme, Dissertation, Abschlussarbeit, Bericht, Themenheft, Kurzbericht, Verzeichnisauszug, Listenauszug, Gutachten, Habilitationsschrift, Literaturbericht, Tätigkeitsbericht, Diskussionsprotokoll, Jahresbericht, Präsentation, Vorstudie, Zwischenbericht, Diplomarbeit, Festschrift, Forschungsantrag, Request for Comment</p>
Web of Science Core	<p>peer-reviewed journals, journals, reports, Opinion papers, Speeches, Meeting papers, references, books, open access records⁴⁸</p> <p>Ergänzt: research data, conference contribution, bibliography, research report, review, biography, monograph, working paper, statement, dissertation, thesis, report, special issue, short report, expert opinion, habilitation thesis, literature report, discussion, annual report, presentation, preliminary study, interim report, collective publication, research proposal, request for comment, collected works</p>
Scopus	<p>Surveys, research data, conference papers, journals, reports, books⁴⁹</p> <p>Ergänzt: book, journal article, collective work, conference contribution, bibliography, research report, review, biography, working paper, statement, dissertation, thesis, report, special issue, short report, habilitation thesis, literature report, discussion, annual report, presentation, preliminary study</p>
Google Scholar	<p>Google Scholar findet alle Wörter aus der Schlagwortliste auf. Die Ergebnisse sind jedoch wenig fundiert, da auch unspezifische Internetquellen ohne Bezug zu wissenschaftlichen Quellen angegeben werden.</p>

46 Diese drei Begriffe entstammen der Beschreibung «Was ist Base», online verfügbar unter: <https://www.base-search.net/about/de/faq.php>, letzter Zugriff: 22.11.22, alle anderen Begriffe werden in der Suchmaske geführt, online verfügbar unter: <https://www.base-search.net/Search/Advanced>, letzter Zugriff: 22.11.22.

47 Suchmaske Base, online verfügbar unter: <https://www.base-search.net/Search/Advanced>, letzter Zugriff: 22.11.22.

48 Publikationsformate von Web of Science Core Collection, online verfügbar unter: <https://clarivate.com/products/scientific-and-academic-research/research-discovery-and-workflow-solutions/web-of-science/web-of-science-core-collection/#features>, letzter Zugriff: 22.11.22.

49 Publikationsformate von Scopus, siehe dazu «Why choose Scopus?», online verfügbar unter: <https://www.elsevier.com/solutions/scopus/why-choose-scopus>, letzter Zugriff: 22.11.22.

Einschlussfaktor (4) vielfältig	
Meta-Suchmaschine	Publikationsformate
Campbell Collaboration Online Library	Review, policy, brief, evidence and gap map ⁵⁰ Ergänzt: journal article, collective work, conference contribution, bibliography, research report, review, biography, working paper, statement, dissertation, thesis, report, special issue, short report, habilitation thesis, literature report, discussion, annual report, presentation, preliminary study, collective publication, research proposal, request for comment, speeches
Deutscher Bildungserver	Online-Materialien, Lehrmedien, Lernmedien, Veranstaltungsdaten, Wettbewerbsdaten, Ausschreibungen, audiovisuelle Daten, digitale Medien, Bildungsmedien ⁵¹ Ergänzt: ⁵² Zeitschriftenartikel, Sammelwerk, Sammelwerksbeitrag, Konferenzband, Bibliographie, Forschungsbericht, Rezension, Biographie, Konferenzbeitrag, Forschungsbericht, Monographie, Arbeitspapier, Stellungnahme, Dissertation, Abschlussarbeit, Bericht, Themenheft, Gutachten, Habilitationsschrift, Literaturbericht, Diskussionsprotokoll, Jahresbericht, Präsentation, Vorstudie, Zwischenbericht, Diplomarbeit, Festschrift, Forschungsantrag
DIE Meta Archiv	Zeitschriften, Bücher, Datenbankspezifische Publikationen (DIE-Produkte), keine Artikel, ⁵³ Ergebnisberichte, Briefe, Jahresbericht, Survey Ergänzt: ⁵⁴ Zeitschriftenartikel, Sammelwerk, Sammelwerksbeitrag, Konferenzband, Bibliographie, Forschungsbericht, Rezension, Biographie, Konferenzbeitrag, Forschungsbericht, Monographie, Arbeitspapier, Stellungnahme, Dissertation, Diplomarbeit, Bericht, Themenheft, Gutachten, Habilitationsschrift, Literaturbericht, Jahresbericht, Präsentation, Vorstudie, Zwischenbericht, Diplomarbeit, Festschrift

50 Publikationsformate von Campell Collaboration Online Library, online verfügbar unter: https://www.campbellcollaboration.org/component/jak2filter/?Itemid=1352&issearch=1&isc=1&category_id=101&ordering=publishUp, letzter Zugriff: 22.11.22.

51 Publikationsformate von Deutscher Bildungserver, online verfügbar unter: https://www.bildungsserver.de/metasuche/erweiterte_suche.html, letzter Zugriff: 22.11.22.

52 Die Meta-Suchmaschine Deutscher Bildungserver unterstützt keine Eingabe eines kompletten Suchstrings. Es können nur vier Schlagwörter eingegeben werden. Die Datenbank musste entsprechend in Teilabschnitten auf Treffer der Schlagwortliste überprüft werden.

53 Publikationsformate DIE Meta Archiv: online verfügbar unter: <https://www.die-bonn.de/weiterbildung/literaturrecherche/Suchfunktion.aspx>, letzter Zugriff: 22.11.22.

54 Die Meta-Suchmaschine DIE Mata Archiv unterstützt keine Eingabe eines Suchstrings. Die Datenbank musste entsprechend Wort für Wort auf Treffer der Schlagwortliste überprüft werden.

Einschlussfaktor (4) vielfältig	
Meta-Suchmaschine	Publikationsformate
SSOAR ⁵⁵	Zeitschriftenartikel, Arbeitspapiere, Sammelwerksbeiträge, Forschungsberichte, Rezensionen, Konferenzbeiträge, Forschungsberichte, Monographien, Stellungnahmen, Sammelwerke, Dissertationen, Abschlussarbeiten, Berichte von Institutionen/ Organisationen, Themenhefte, Kurzberichte, Verzeichnisauszüge, Listenauszüge, Gutachten, Habilitationsschriften, Nekrologe, Literaturberichte, Forschungsanträge, Firmenschriften, Tätigkeitsberichte, Replik, Diskussionsprotokolle, Jahresberichte, Biographien, Präsentationen, Vorstudien, Konferenzband, Bibliographien, Zwischenberichte, Diplomarbeit, Festschrift Anmerkung: Es wurden keine Ergänzungen vorgenommen. Request for Comments werden nicht explizit berücksichtigt. Dokumente dieser Art werden unter «Stellungnahmen» gelistet.
ERIC	Journal articles, Research Reports, Information Analyses, Reports – Descriptive, Reports- Evaluative, Opinion Papers, Speeches/ Meeting Papers, Guides – Non- Classroom, Guides – Classroom – Teacher, Tests/ Questionnaires, References, Books, Dissertations/ Theses, Reports – General, Numerical/ Quantitative Data, Legal/ Legislative/ Regulatory, Book/ Product, Reviews, Collected Works – Serials, Historical Materials, Collected Works – General, Guides – General, ERIC Publications, Guides – Classroom – Learner, Collected Works – Proceedings ⁵⁶ Ergänzt: conference contribution, bibliography, review, biography, working paper, statement, dissertation, thesis, report, special issue, short report, expert opinion, habilitation, thesis, literature report, discussion, annual report, presentation, research proposal, request for comment, book
FIS Bildung	Monografie, Sammelwerk, Sammelwerksbeitrag, Zeitschriftenaufsatz ⁵⁷ Ergänzt: ⁵⁸ Zeitschriftenartikel, Sammelwerk, Sammelwerksbeitrag, Konferenzband, Bibliographie, Forschungsbericht, Rezension, Biographie, Konferenzbeitrag, Forschungsbericht, Monographie, Arbeitspapier, Stellungnahme, Dissertation, Diplomarbeit, Bericht, Themenheft, Gutachten, Habilitationsschrift, Literaturbericht, Jahresbericht, Präsentation, Vorstudie, Zwischenbericht, Diplomarbeit, Festschrift

Tab. 6: Meta-Suchmaschinen zum Einschlussfaktor (4) vielfältig.

55 Publikationsformate unter «Dokumentart» von SSOAR, online verfügbar unter: <https://www.ssoar.info/ssoar/>, letzter Zugriff unter: 22.11.22.

56 ERIC differenziert nach «publication types». Siehe dazu Suchmaske von ERIC, online verfügbar unter: <https://eric.ed.gov/?q=Review>, letzter Zugriff: 22.11.22.

57 Publikationsarten von FIS Bildung in der Suchmaske, online verfügbar unter: https://www.fachportal-paedagogik.de/literatur/erweiterte_suche.html, letzter Zugriff: 22.11.22.

58 Die Meta-Suchmaschine FIS Bildung unterstützt keine Eingabe eines kompletten Suchstrings. Es können nur fünf Schlagworte eingegeben werden. Die Datenbank musste entsprechend in Teilabschnitten auf Treffer der Schlagwortliste überprüft werden.

Tabelle 6 zeigt die Ergebnisse der Schlagwortsuche und der Recherchen auf den Homepages sowie der gelisteten Publikationsformate innerhalb der Suchmasken der Meta-Suchmaschinen.

Über die auf den Homepages oder in den Suchmasken angegebenen Publikationsformate hinaus konnten alle Meta-Suchmaschinen bis auf SSOAR um weitere Publikationsformate ergänzt werden. Alle aufgelisteten Meta-Suchmaschinen weisen eine hohe Vielfalt hinsichtlich der Publikationsformate in den verzeichneten Datenquellen auf. Lediglich Google Scholar bietet nach erfolgter Schlagwortsuche wenig fundierte Suchergebnisse zu den Publikationsformaten. Demnach finden sich zwar alle Publikationsformate in den Ergebnissen wieder, diese weisen oftmals jedoch keinen Bezug zu wissenschaftlich fundierten Quellen auf. Google Scholar ist insofern zu unspezifisch für den Einschlussfaktor (4), vielfältig, da die Qualität der Suchergebnisse nicht hinreichend belegbar ist.

Das geschilderte Vorgehen wurde in allen Suchmaschinen, die eines der entsprechenden Publikationsformate der Schlagwortliste auf ihrer Homepage oder innerhalb der Suchmaske nicht aufgelistet haben, in deutscher oder englischer Sprache vorgenommen. Die Verfasserin erhebt dadurch keinen Anspruch auf Vollständigkeit und Richtigkeit innerhalb der Darstellung. Sie verfolgt damit das Ziel, Meta-Suchmaschinen mit einer möglichst hohen Vielfältigkeit hinsichtlich der Publikationsformate zu identifizieren, um diese in Anlehnung an die vier definierten Einschlussfaktoren für die Gesamtauswahl der Meta-Suchmaschinen zu berücksichtigen. Die Angaben dienen insofern der Orientierung.

Abbildung 2 zeigt eine beispielhafte Schlagwortsuche mit Suchstring nach den zuvor definierten Wörtern zu Publikationsformaten. Die einzelnen Schlagworte sind durch «OR» getrennt, sodass durch eine Suchanfrage alle Schlagworte der Liste berücksichtigt werden können. Die Trefferliste zeigt eine Vielzahl von Datenquellen. Die Liste wurde in einer groben Weise nach Publikationsformaten gesichtet und die Ergebnisse zu den verschiedenen Meta-Suchmaschinen innerhalb von Tabelle 6 zu «Meta-Suchmaschinen zum Einschlussfaktor (4) vielfältig» dokumentiert.

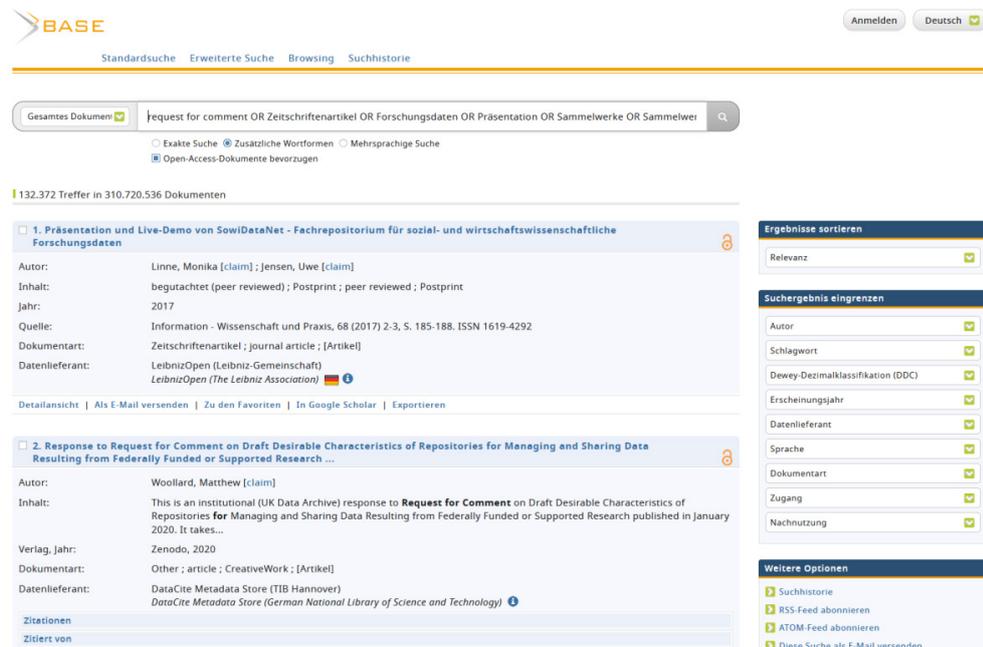


Abb. 2: Schlagwortsuche nach Publikationsformaten in BASE, Screenshot.

4.1.2.5 Reflexion und Gesamtauswahl der Meta-Suchmaschinen

Für die Gesamtauswahl der Meta-Suchmaschinen wurden insgesamt zehn Suchmaschinen untersucht: BASE, Campbell Collaboration Online Library, Web of Science Core Collection, Scopus, Google Scholar, Deutscher Bildungsserver, DIE Meta Archiv, ERIC, FIS Bildung und SSOAR.

Tabelle 7 ist in vier Felder zu den vier Einschlussfaktoren (1) multidisziplinär, (2) reichhaltig, (3) global und (4) unterteilt. Darin zu sehen sind die einzelnen Meta-Suchmaschinen differenziert nach dem jeweiligen Einschlussfaktor (vgl. Tabellen 3–6). Zur vereinfachten Darstellung wurden die Ergebnisse zu den Einschlussfaktoren weiter abstrahiert und zusammengeführt.

Die vorliegende Arbeit möchte an dieser Stelle nicht nochmals ausführlich auf die einzelnen Meta-Suchmaschinen und die Sonderfälle⁵⁹ eingehen. Stattdessen wird der Fokus auf die für die Gesamtauswahl relevanten Meta-Suchmaschinen gelegt und diese begründet.

59 Die Verfasserin möchte an dieser Stelle jedoch eine knappe Anmerkung zum Sonderfall Google Scholar vornehmen. Zu Google Scholar zeigt sich innerhalb von Tabelle 7 sowie in der Darstellung der einzelnen Einschlussfaktoren (Tabelle 3–6), dass die Meta-Suchmaschine von Google nahezu keine klar belegbaren Informationen bereitstellt. Dies umfasst sowohl die Datenquellen als auch die Datenbankzugriffe sowie die Themengebiete und Fachbereiche, die Google Scholar abbildet. Insofern stellt die Verfasserin infrage, inwiefern Google Scholar für eine transparente und nachvollziehbare Literaturrecherche überhaupt in Betracht kommen kann.

Für die Gesamtauswahl wurden die o. g. zehn Meta-Suchmaschinen hinsichtlich vier zuvor definierter Einschlussfaktoren systematisch untersucht und in Bezug auf ihre Eignung für die Literaturrecherche zur Internetinfrastrukturforschung überprüft.

Als Ergebnis lässt sich festhalten, dass insbesondere zwei Meta-Suchmaschinen eine hohe Eignung aufweisen. Dies ist zum einen die Meta-Suchmaschine BASE und zum anderen Scopus.

(1) Multidisziplinär		(2) reichhaltig	
Überfachlich	Fachspezifisch	Datenquellen ⁶⁰	
BASE Scopus Google Scholar Web of Science Core Collection	Scopus ⁶¹ Campbell Collaboration Library Deutscher Bildungserver DIE Meta Archiv SSOAR ERIC	< 1 Milliarde Scopus Web of Science Core Collection	< 100 Millionen BASE
		< 1 Million ERIC FIS Bildung Deutscher Bildungserver	> 1 Million DIE Meta Archiv SSOAR
(3) global		(4) vielfältig ⁶²	
national	international	Publikationsformate ⁶³	
einsprachig: • ERIC (englisch) • DIE Meta Archiv (deutsch)	mehrsprachig: • BASE • Scopus • Campbell Collaboration Online Library • Deutscher Bildungserver • FIS Bildung • Google Scholar • SSOAR • Web of Science Core Collection	• BASE • Scopus • Web of Science Core Collection • Campbell Collaboration Online Library • Deutscher Bildungserver • FIS Bildung • DIE Meta Archiv • FIS Bildung • SSOAR • ERIC	

Tab. 7: Einschlussfaktoren in der Gesamtansicht.

BASE steht für Bielefeld Academic Search Engine und ist eine von der Universität Bielefeld bereitgestellte Meta-Suchmaschine. BASE ist eine der weltweit grössten Meta-Suchmaschinen für verschiedene wissenschaftliche Publikationsformate und ist mehrsprachig durchsuchbar. Insgesamt sind darin mehr als 300 Millionen

60 Google Scholar und Campbell Collaboration Online Library werden nicht aufgeführt, da sie keine fundierten Angaben zu den Datenquellen und Datenlieferanten liefern.

61 Scopus ist in der Tabelle doppelt beim Einschlussfaktor «multidisziplinär» eingeordnet, da Scopus zwar auch fachübergreifend Datenbanken durchsucht, allerdings einen starken Fokus auf Technik und Informatik setzt.

62 Google Scholar wurde nicht aufgeführt, da innerhalb der Schlagwortsuche die Ergebnisse nicht ausreichend wissenschaftlich fundiert eingeordnet werden konnten.

63 Alle untersuchten Meta-Suchmaschinen (ausgenommen Google Scholar) weisen eine hohe Vielfalt (<70% Treffer von der definierten Schlagwortliste) hinsichtlich der Publikationsformate auf. Eine weitere Differenzierung wurde daher nicht vorgenommen.

Publikationen gelistet, die von über 10.000 Datenlieferanten zur Verfügung gestellt werden. BASE beinhaltet wissenschaftliche Publikationen aus 148 Ländern und ist insofern international ausgerichtet. Die Meta-Suchmaschine bildet alle der in Anlehnung an DBIS identifizierten Fachbereiche ab und beinhaltet darüber hinaus noch viele weitere. Als Fachbereiche sind u. a. Informatik und Informationswissenschaft, Philosophie und Psychologie, Sozialwissenschaften, Erziehungswissenschaften, Sprachwissenschaften, Geschichte, Literaturwissenschaften, Religion, Naturwissenschaften und Mathematik sowie der Bereich Kunst zu benennen. BASE greift innerhalb der Datenbankrecherche auf eine Vielzahl von Fachdatenbanken zurück. Zu diesen gehören auch die Meta-Suchmaschinen ERIC und SSOAR, welche im Kontext der vorliegenden Arbeit untersucht wurden.⁶⁴

Scopus ist eine von ELSEVIER bereitgestellte Meta-Suchmaschine, die über 1,8 Milliarden Datenquellen zu vielen verschiedenen wissenschaftlichen Publikationsformaten berücksichtigt und über 84 Millionen Datenlieferanten verfügt. Sie bildet wie BASE übergreifend alle definierten Fachbereiche der Internetinfrastrukturforschung ab sowie viele weitere und ist mehrsprachig ausgelegt. Für die vorliegende Arbeit ist die Meta-Suchmaschine ausschliesslich in Englisch durchsuchbar, führt jedoch auch deutschsprachige Quellen auf. Als Fachbereiche sind auch hier u. a. Informatik und Informationswissenschaft, Philosophie und Psychologie, Sozialwissenschaften, Erziehungswissenschaften, Sprachwissenschaften, Geschichte, Literaturwissenschaften, Religion, Naturwissenschaften und Mathematik sowie der Bereich Kunst abgedeckt. Einen besonderen Fokus legt Scopus u. a. auf den Bereich der Informatik.⁶⁵

Resümierend lässt sich festhalten, dass sich Scopus und BASE für die Gesamtauswahl der Meta-Suchmaschinen für die Literaturrecherche zur Internetinfrastrukturforschung sinnvoll auf unterschiedlichen Ebenen ergänzen.

Beide Suchmaschinen greifen überfachlich auf eine enorme Anzahl von Datenquellen und -lieferanten zurück, die regelmässig aktualisiert werden und vielfältige Publikationsformate einbeziehen.

Zudem weisen beide Meta-Suchmaschinen fachspezifisch relevante Datenquellen auf. BASE beinhaltet explizit bildungs- und sozialwissenschaftliche Datenbanken wie ERIC und SSOAR. Insofern werden durch die Meta-Suchmaschine BASE auch diese beiden Fachdatenbanken durchsucht.

Scopus legt zudem durch seine Ausrichtung auf die Informatik einen relevanten fachspezifischen Fokus für die Literaturrecherche zur Internetinfrastrukturforschung, da es sich im Kern um ein informationstechnisches Themengebiet handelt, und durchsucht eine Vielzahl von informationstechnischen Fachdatenbanken.

64 Vgl. dazu BASE, online verfügbar unter: <https://www.base-search.net/>, letzter Zugriff: 22.11.22.

65 Vgl. dazu Scopus, online verfügbar unter: https://www.elsevier.com/___data/assets/pdf_file/0017/114533/Scopus-fact-sheet-2022_WEB.pdf, letzter Zugriff: 22.11.22.

Auch hinsichtlich der Berücksichtigung internationaler wissenschaftlicher Publikationen ergänzen sich Scopus und BASE, indem sich erstere primär auf englischsprachige Datenquellen stützt und BASE darüber hinaus deutschsprachige sowie Informationen aus vielen weiteren Ländern einbezieht.

Schliesslich überzeugen beide Meta-Suchmaschinen auch seitens der verfügbaren technischen Komponenten. Scopus wie BASE erlauben innerhalb ihrer erweiterten Suchmaske die Ausführung der Recherche mithilfe umfangreicher Suchstrings (siehe dazu Abbildung 3 und 4) sowie die Berücksichtigung von logischen Operatoren. Dies erleichtert die Datenbankrecherche enorm, da nicht jeder Suchbegriff einzeln eingegeben werden muss, sondern zeitgleich alle Suchbegriffe eingepflegt werden können und die Suche die entsprechenden Suchergebnisse liefert.

The screenshot shows the BASE search interface. At the top, there is a search bar with the query: "Request for comment OR Zeitschriftenartikel OR Forschungsdaten OR Präsentation OR Sammelwerke OR Sammelwerke". Below the search bar, there are options for search type: "Exakte Suche", "Zusätzliche Wortformen" (selected), and "Mehrsprachige Suche". There is also a checkbox for "Open-Access-Dokumente bevorzugen".

The search results show 132,372 hits in 310,720,536 documents. Two results are displayed:

- 1. Präsentation und Live-Demo von SowiDataNet - Fachrepositorium für sozial- und wirtschaftswissenschaftliche Forschungsdaten**
 Autor: Linne, Monika [claim] ; Jensen, Uwe [claim]
 Inhalt: begutachtet (peer reviewed) ; Postprint ; peer reviewed ; Postprint
 Jahr: 2017
 Quelle: Information - Wissenschaft und Praxis, 68 (2017) 2-3, S. 185-188. ISSN 1619-4292
 Dokumentart: Zeitschriftenartikel ; journal article ; [Artikel]
 Datenlieferant: LeibnizOpen (Leibniz-Gemeinschaft) LeibnizOpen (The Leibniz Association)
- 2. Response to Request for Comment on Draft Desirable Characteristics of Repositories for Managing and Sharing Data Resulting from Federally Funded or Supported Research ...**
 Autor: Woollard, Matthew [claim]
 Inhalt: This is an institutional (UK Data Archive) response to **Request for Comment** on Draft Desirable Characteristics of Repositories for Managing and Sharing Data Resulting from Federally Funded or Supported Research published in January 2020. It takes...
 Verlag, Jahr: Zenodo, 2020
 Dokumentart: Other ; article ; CreativeWork ; [Artikel]
 Datenlieferant: DataCite Metadata Store (TIB Hannover) DataCite Metadata Store (German National Library of Science and Technology)

On the right side, there are filters for "Ergebnisse sortieren" (Relevanz) and "Suchergebnis eingrenzen" (Autor, Schlagwort, Dewey-Dezimalklassifikation (DDC), Erscheinungsjahr, Datenlieferant, Sprache, Dokumentart, Zugang, Nachnutzung). There are also "Weitere Optionen" like Suchhistorie, RSS-Feed abonnieren, ATOM-Feed abonnieren, and Diese Suche als E-Mail versenden.

Abb. 3: Suchmaske von BASE⁶⁶.

66 Suchmaske von BASE, online verfügbar unter: <https://www.base-search.net/Search/Advanced>, letzter Zugriff: 19.01.2023.

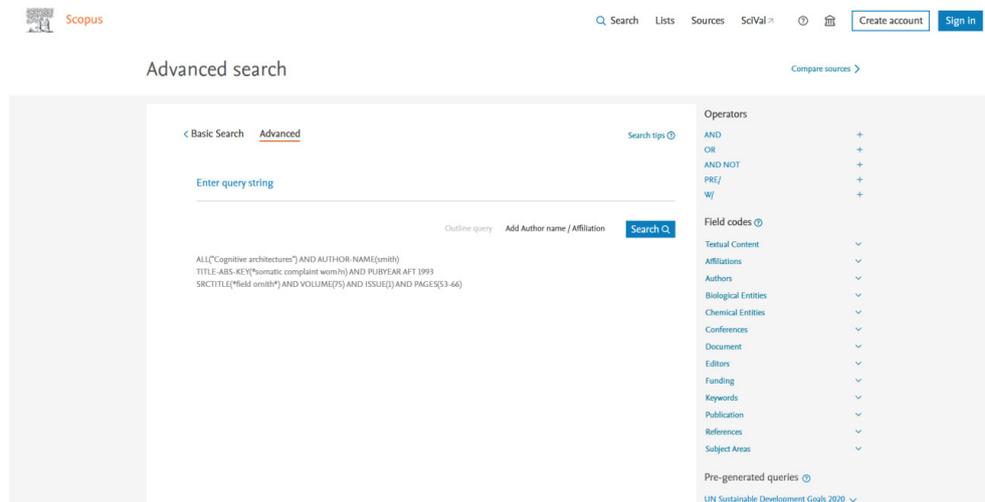


Abb. 4: Scopus Suchmaske.⁶⁷

4.1.3 Definition der Suchbegriffe und Erstellung/ Überprüfung des Suchstrings

Nordhausen und Hirt (2018, 16) folgend orientiert sich «die Auswahl der Methode zur Identifikation von Suchbegriffen [...] primär am Thema der Literaturrecherche.» Sie empfehlen dazu, «möglichst alle Begriffe und relevanten Synonyme aufzulisten» (ebd.).

In der Regel bietet es sich dazu an, Überblicksarbeiten zum Themenfeld zu lesen und aus dieser Information Suchbegriffe und Synonyme zu definieren (vgl. ebd.). Aufgrund eines Mangels an Übersichtsarbeiten zum vorliegenden Forschungsgegenstand der Internetinfrastrukturforschung konnte auf diese Auswahlmethode für die Definition von Suchbegriffen nicht zurückgegriffen werden. Stattdessen wurden für die Erstellung und Definition des Suchstrings des systematischen Reviews zunächst drei sehr offen formulierte Begriffe zur Internetinfrastrukturforschung in englischer und deutscher Sprache identifiziert. Dies waren «Internet-Infrastruktur/ internet infrastructure», «Informationsinfrastruktur/ information infrastructure» und «Internet-Architektur/ internet architecture». Mittels dieser Begriffe wurde ein erster Testlauf in den Datenbanken BASE und Scopus durchgeführt und der Suchstring modifiziert sowie final mittels der Aufnahme von Synonymen definiert.

Infolgedessen wurde sowohl eine Trunkierung vorgenommen, um einen Wortstamm mit weiteren möglichen Endungen durch den Platzhalter «*» zu suchen, als auch mit logischen Operatoren zur Verknüpfung und/oder Limitation «AND, OR, LIMIT TO, NOT» von Suchbegriffen. Dadurch ist der folgende finale Suchstring für das systematische Review entstanden:

67 Suchmaske von Scopus, online verfügbar unter: <https://www.scopus.com/search/form.uri?display=advanced>, letzter Zugriff: 19.01.2023.

```
«(internet* AND infrastructure* OR internet* AND architec-  
ture* OR internetinfrastruktur* OR internetarchitektur*  
OR internet* AND architektur* OR Informationsinfrastruk-  
tur* OR information* AND infrastructure* OR information*  
AND infrastruktur* OR cyber* AND infrastructure* OR cy-  
ber* AND infrastruktur* OR digital* AND infrastructure*  
OR digital* AND infrastruktur* AND (LIMIT-TO (LANGUAGE,  
„English“) OR LIMIT-TO (LANGUAGE, „German“))»
```

Der für die vorliegende Arbeit definierte Suchstring beinhaltet demnach sowohl englisch- als auch deutschsprachige Begriffe. Durch die Verwendung der Trunkierung mittels «*» werden weitere Endungen des Wortstamms, zum Beispiel der Plural der vorliegenden Begrifflichkeiten oder alternative Endungen, berücksichtigt. Dadurch werden weitere Publikationen in den Suchtreffern berücksichtigt und die Anzahl der Suchtreffer ausgeweitet.

Des Weiteren limitiert der o.g. Suchstring die Ergebnisse auf englisch- und deutschsprachige Publikationen. Diese Limitierung ist innerhalb der Scopus-Suchmaschine im Suchstring abbildbar. Bei BASE hingegen kann der Operator «LIMIT TO» aufgrund technischer Gegebenheiten nicht in der Suchmaske verwendet werden. Es wurde infolgedessen manuell innerhalb der BASE-Suchtreffer nach englisch- und deutschsprachigen Treffern gefiltert (siehe dazu auch Abbildung 5).

4.1.4 Durchführung der Literaturrecherche

Die Suche innerhalb der Datenbanken Scopus und BASE wurde mittels des oben genannten Suchstrings durchgeführt. Zeitlich fokussiert sich die Suche in Scopus auf die Jahre 1986 bis 2019 und für BASE auf die Jahre 1960 bis 2019. Dabei ist anzumerken, dass Scopus zum o.g. Suchstring keine Datenquellen vor dem Jahr 1986 bereitstellt. Die Datenbanksuche bei BASE wurde hingegen manuell auf das Jahr 1960 begrenzt, da die ersten Vorläuferentwicklungen des Internets in den 1960er-Jahren stattgefunden haben und Informationen seit dieser Zeit entsprechend zielführend für den vorliegenden Forschungsgegenstand sind. Die zeitliche Eingrenzung erfolgte

seitens der Suchmaschine BASE über eine Filtersetzung in der erweiterten Suchmaske mittels des Operators «year:[1960 TO 2019]» sowie in Scopus als Ergänzung im Suchstring mittels des Operators «LIMIT TO (Pubyear, 1986) ...»⁶⁸.

Mit dieser Suche sind 924 Quellen bei BASE (vgl. Abbildung 5) und 1.249 Quellen bei Scopus (vgl. Abbildung 6) identifiziert worden. Die Quellen von BASE reduzierten sich nach Filterung von deutsch- und englischsprachigen Quellen um weitere 136 Quellen auf insgesamt 788 Suchtreffer (davon 535 Deutsch und 253 Englisch) (vgl. Abbildung 5). Insgesamt ergibt sich daher zunächst die Berücksichtigung einer Vorauswahl von 2.037 Datenquellen.

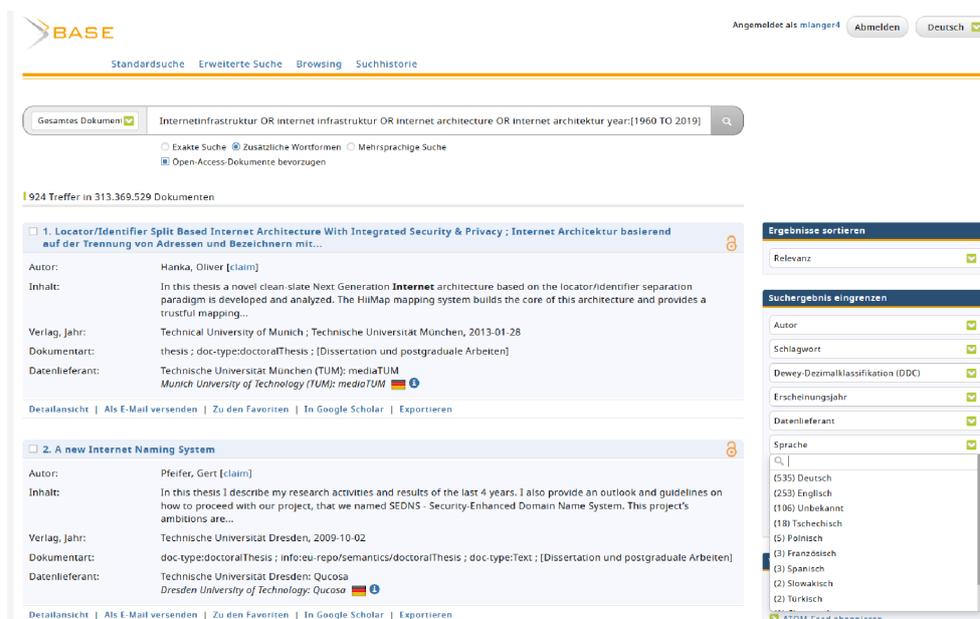


Abb. 5: BASE Suchergebnisse mit englisch- und deutschsprachigen Suchtreffern, Zeitraum 1960–2019.

68 Folgende Ergänzungen des Suchstrings sind in Scopus vorgenommen worden. Es sind nicht fortlaufend alle Jahre in der Suchmaschine verfügbar: AND (LIMIT-TO (PUBYEAR , 2019) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2018) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2017) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2016) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2015) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2014) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2013) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2012) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2011) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2010) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2009) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2008) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2007) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2006) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2005) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2004) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2003) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2002) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2001) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2000) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 1999) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 1998) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 1997) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 1996) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 1995) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 1994) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 1992) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 1991) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 1986)).

Nach computergestützter Sichtung der 2.037 Datenquellen wurde die Vorauswahl zunächst weiter reduziert, indem diese um 887 Duplikate bereinigt wurde. Die hohe Anzahl von Duplikaten (ca. 40 %) lässt sich dabei insbesondere auf Überschneidungen der Datenbanklieferanten in Scopus und BASE sowie u. a. auf technische Einschränkungen, z. B. seitens der Trunkierung innerhalb des Suchstrings der Recherche, zurückführen.

Die finale Auswahl für die vorliegende Arbeit besteht somit aus 1.286 Datenquellen für das systematic review zur Internetinfrastrukturforschung (vgl. dazu Abbildung 7).

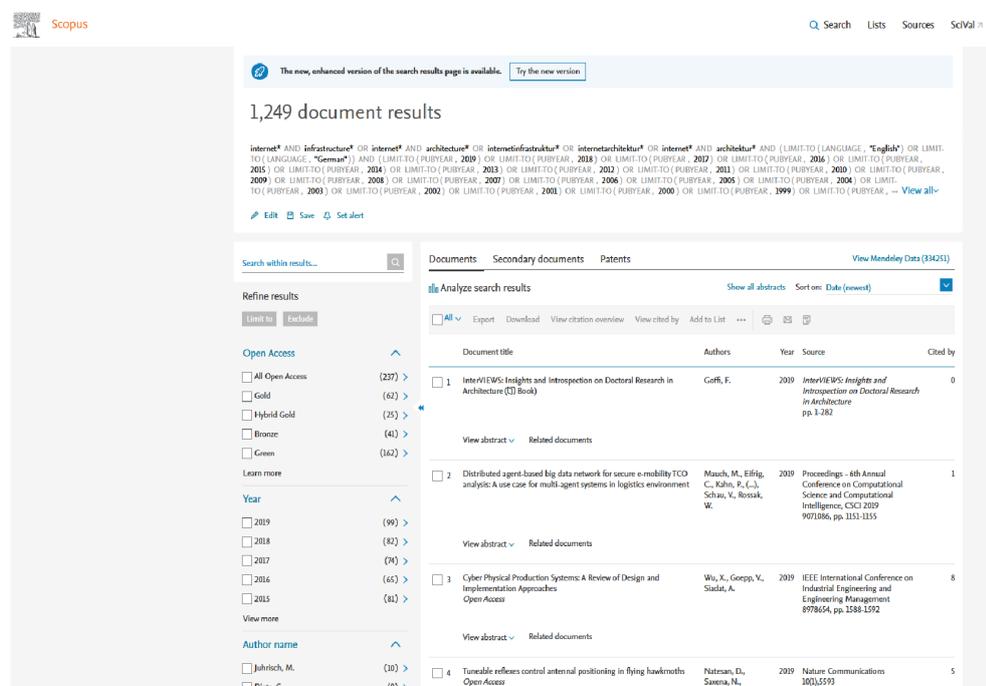


Abb. 6: Scopus Suchergebnisse mit englisch- und deutschsprachigen Suchtreffern, Zeitraum 1986–2019.

4.1.5 Sichtung/ Dokumentation der Suchergebnisse

Abbildung 7 zeigt den Prozess der Publikationsselektion des vorliegenden Reviews und stellt den Ablauf des Sichtungsprozesses sowie eine Dokumentation der Suchergebnisse in den Metasuchmaschinen BASE, Scopus sowie aus der zusätzlichen Handrecherche dar.



Abb. 7: Publikationsselektion.

Die ursprünglichen 2.027 Datenquellen wurden nach Entfernung von Duplikaten auf 1.286 Datenquellen reduziert. Diese 1.286 Datenquellen wurden für das systematic review zur Internetinfrastrukturforschung von BASE und Scopus auf ihre Eignung für den Forschungsgegenstand überprüft, indem zunächst der Titel sowie das Abstract und/oder die angegebenen Schlagworte gesichtet wurden. In uneindeutigen Fällen wurden zur Entscheidungsfindung vorab die Volltexte gesichtet, um über einen Ein- oder Ausschluss der Publikation zu entscheiden. Folgende zwei Selektionskriterien wurden definiert:

Publikationen wurden in das systematic review einbezogen, wenn sie

1. inhaltlich die Entwicklung der Internetinfrastruktur und/oder
2. die Einführung von Internetinfrastrukturtechnologien behandeln.

Im weiteren Verlauf der Vorauswahl (vgl. Abbildung 7) konnten so nach den Selektionskriterien insgesamt 12 Publikationen eingeschlossen werden. Zur Minimierung eines Publikationsbias,⁶⁹ insbesondere in wissenschaftlichen Zeitschriften, wurden mittels händischer Recherche weitere 2 Publikationen einbezogen, sodass sich eine Gesamtauswahl von 14 Publikationen für das systematic review ergibt.

Diese eingeschlossenen 14 Publikationen wurden die Volltexte hinsichtlich ihres Forschungsgegenstandes, der forschungsleitenden Fragestellung, des Forschungsdesigns sowie ihrer Schwerpunktsetzung untersucht, beschrieben und verglichen.

Tabelle 8 zeigt die Gesamtübersicht der 14 eingeschlossenen Publikationen für das systematic Review mit Angaben zu Autor:innen und Publikationsjahr, einer Kurzzusammenfassung des Inhalts sowie die Publikationsart.⁷⁰

Insgesamt ist die Mehrzahl der Publikation englischsprachig, nur eine Publikation deutschsprachig. Insgesamt sind acht Publikationen (n=8) in den 1990er-Jahren zur Zeit der Kommerzialisierung des Internets erschienen und sechs Publikationen (n=6) in den 2000er-Jahren. Es lässt sich kein Zuwachs der Anzahl von Publikationen im definierten Untersuchungszeitraum von 1960 bis 2019 feststellen, jedoch liegen vor 1994 und nach 2010 keinerlei Publikationen nach den zuvor definierten Einschlusskriterien vor. Es lässt sich vermuten, dass vor 1994 wenige Forscher:innen an der Erforschung des Internets interessiert waren, da das Medium zu dieser Zeit wenig verbreitet und das Interesse daran entsprechend gering einzustufen war. Hinsichtlich späterer Publikationen als 2010 lässt sich feststellen, dass zwar viele Publikationen zu Neueinführungen von Internettechnologien, im Speziellen zu neuen Dienstanwendungen erschienen sind, diese aber nicht in das vorliegende Review eingeschlossen werden konnten, da sie weder die Entwicklung der Internetinfrastruktur noch die Einführung von Internetinfrastrukturtechnologien thematisieren, sondern lediglich Dienstanwendungen darstellen, die ungeachtet der bestehenden Internetinfrastruktur eingeführt werden können.

Die identifizierten Veröffentlichungen verteilen sich auf fünf verschiedene Publikationsarten: Monografien (n=4), Sammelwerksbeiträge (n=6), Zeitschriftenaufsätze (n=2), Workshopberichte (n=1) und Konferenzbeiträge (n=1). Das systematic review der vorliegenden Arbeit weist somit verschiedene Publikationsarten auf und ist als vielfältig hinsichtlich der Datenquellen einzustufen. Bei den Datenquellen handelt es sich sowohl um begutachtete (n=10) sowie unbegutachtete Veröffentlichungen (n=4).⁷⁰

69 Siehe dazu weiterführend auch: Rosenthal, R. (1979).

70 Die vollständigen Literaturverweise finden sich im Literaturverzeichnis.

Nr.	Autor:innen (Publikationsjahr)	Titel	Inhalt	Publikationsart
1	Star, Susan L.; Ruhleder, Karen (1994)	Steps towards an ecology of infrastructure: Complex problems in design and access for large-scale collaborative systems.	Ein Konferenzbeitrag, der eine Fallstudie zur Einrichtung des «Worm Community Systems» (WCS) darstellt. Auf Basis von Batesons (1978) ⁷¹ Lernmodell wird der Zusammenhang der Systementwicklung und kooperativer Formen der Zusammenarbeit von Wissenschaftlern im Bereich der Genetik untersucht. Daraus werden Rückschlüsse auf Informationsinfrastrukturen wie das Internet gezogen.	Konferenzbeitrag
2	Hanseth, Ole; Monteiro, Eric; Hatling, M. (1996)	Developing Information Infrastructure: The Tension between Standardization and Flexibility.	Der Beitrag untersucht das Spannungsverhältnis zwischen Standardisierung und Flexibilität innerhalb von informationstechnischen Infrastrukturen am Beispiel des OSI-Modells. Dabei stellen die Autor:innen heraus, dass der Internetstandardisierungsprozess nicht nur technisch getragen wird, sondern auch politisch orientiert ist. Innerhalb des Beitrags gehen die Autor:innen auf verschiedene Infrastrukturen wie das Internet und das Telekommunikationsnetz ein.	Zeitschriftenaufsatz
3	Star, Susan L.; Ruhleder, Karen (1996)	Steps towards an Ecology of Infrastructure: Design and Access for Large Information Spaces.	Der Beitrag gibt im Vergleich zu dem Konferenzbeitrag von Star und Ruhleder (1994) tiefere Einblicke in die ethnografische Arbeit innerhalb der Fallstudie zur Einrichtung des «Worm Community Systems» (WCS). Auch innerhalb dieses Beitrags wird auf Basis von Batesons Lernmodell (1978) der Zusammenhang der Systementwicklung und kooperativer Formen der Zusammenarbeit von Wissenschaftler:innen im Bereich der Genetik untersucht und daraus werden Rückschlüsse auf Informationsinfrastrukturen, wie das Internet gezogen.	Sammelwerksbeitrag
4	Hanseth, Ole; Monteiro, Eric (1997)	Inscribing behavior in information infrastructure standards.	Eine Studie, in deren Zentrum die Akteur:innen-Netzwerk-Theorie steht. Mittels dieser Theorie können organisationale Einschreibungsprozesse (Inscription) innerhalb der Entwicklung von Internetstandards anhand eines Fallbeispiels aus dem Bereich des Gesundheitswesens untersucht und diese als «Akteursnetzwerke» konzeptualisiert werden.	Zeitschriftenaufsatz

71 Siehe dazu Bateson, G. (1978).

Nr.	Autor:innen (Publikationsjahr)	Titel	Inhalt	Publikationsart
5	Hauben, Michael; Hauben, Ronda (1997)	Netizens: On the History and Impact of Usenet and the Internet.	Die Monografie stellt ebenfalls eine umfassende Zusammenfassung zur historischen Entwicklung und Entstehung des Internets in den 1960er-Jahren bis zur Ausweitung des kommerziellen Netzes und seiner Anwendungen in den 1990er-Jahren dar. Die Autor:innen schliessen mit der Forderung nach einem frei zugänglichen Internet ohne Zensur für alle «Netizens». ⁷²	Monografie
6	Segaller, Stephen (1998)	Nerds: A Brief History of the Internet.	Die Monografie stellt eine umfassende Zusammenfassung zur historischen Entwicklung und Entstehung des Internets in den 1960er-Jahren bis zur Ausweitung des kommerziellen Netzes und seiner Anwendungen in den 1990er-Jahren dar. Der Autor fokussiert sich dabei insbesondere auf die Menschen (die «Nerds»), die dieses Netzwerk entwickelt haben.	Monografie
7	Abbate, Janet (1999)	Inventing the internet.	Die Monografie stellt eine umfassende Zusammenfassung zur Entwicklung und Entstehung des Internets in den 1960er-Jahren bis zur Ausweitung des Netzes und seiner Anwendungen in den 1990er-Jahren mit Fokus auf konkurrierende und alternative Technologien und Nutzungsszenarien dar.	Monografie
8	Star, Susan L. (1999)	The Ethnography of Infrastructure.	In dem Beitrag wird der methodologische Ansatz der Ethnografie zur Erforschung informationstechnischer Systeme untersucht und beispielhaft anhand verschiedener Infrastrukturen, u. a. dem Internet, begründet.	Sammelwerksbeitrag
9	Hanseth, Ole; Braa, Kristin (2001)	Hunting for the treasure at the end of the rainbow: Standardizing corporate IT infrastructure.	Der Beitrag untersucht einen universellen (Internet)Standard namens «Bridge» im Kontext der Implementierung in einer informationstechnischen Infrastruktur eines Unternehmens, genannt Norsk Hydro. Dabei stellen die Autor:innen heraus, dass universelle Standards eine Illusion darstellen und in der Realität bei der Implementierung eines Standards immer wieder Inkonsistenzen auftauchen.	Sammelwerksbeitrag

72 «Netizens» bezeichnet Hauben und Hauben (1997) folgend im Allgemeinen Personen, die das Internet nutzen. Ins Deutsche übersetzt bedeutet der Begriff etwa «Netzbürger».

Nr.	Autor:innen (Publikationsjahr)	Titel	Inhalt	Publikationsart
10	Edwards, Paul N. (2003)	Infrastructure and Modernity: Force, Time, and Social Organization in the History of Sociotechnical Systems.	Der Beitrag fokussiert Besonderheiten von Infrastrukturen, insbesondere die Ko-Konstruktionsfähigkeit von Infrastrukturen in der modernen Gesellschaft. Dabei spricht sich der Autor für eine Verknüpfung der Mikro-, Makro- und Meso-Ebene in der Untersuchung von Infrastrukturen aus und erläutert dies beispielhaft an der historischen Entwicklung der Internetinfrastruktur.	Sammelwerksbeitrag
11	Edwards, Paul N.; Jackson, Steven J.; Bowker, Geoffrey C.; Knobel, Cory P. (2007)	Understanding Infrastructure: Dynamics, Tensions and Design.	Hierbei handelt es sich um einen Workshopbericht mit zusammenfassender Darstellung der Diskussionsergebnisse zum historischen Vergleich der Dynamiken von Infrastrukturen mit Fokus auf Cyberinfrastrukturen anhand von Standards mit dem OSI Modell («Layering»).	Workshopbericht
12	Schmidt, Jan (2009)	Das neue Netz. Merkmale Folge und Praktiken des Web 2.0.	Die Monografie stellt in einer umfassenden Form die Entwicklung des Web 2.0 sowie dessen Dienstanwendungen innerhalb des Internets dar. Einen Fokus legt der Autor insbesondere aus einer kommunikationssoziologischen Perspektive heraus auf veränderte Nutzungspraktiken des Web 2.0, indem er diese diskutiert und einordnet.	Monografie
13	Hanseth, Ole (2010)	From systems and tools to networks and infrastructures – From design to cultivation: Toward a design theory of information infrastructures.	Der Beitrag fokussiert die Notwendigkeit der Entwicklung von theoretischen Konzepten zur strategischen Entwicklung von informationstechnischen Infrastrukturen am Beispiel des Internets als «universal service infrastructures». Der Autor macht dabei stark, dass Standards ein wichtiger Bestandteil von Infrastrukturen sind, um mit der stetig wachsenden Komplexität von informationstechnischen Infrastrukturen umzugehen, und sowohl hinsichtlich ihrer Gestaltung, Entwicklung, Verbreitung und Auswirkung untersucht werden müssen.	Online-Artikel
14	Hanseth, Ole; Lyytinen, Kalle (2010)	Design theory for dynamic complexity in information infrastructures: The case of building Internet.	Dies ist ein Beitrag zur Entwicklung von «Design Rules» auf Basis der informationstechnischen «Design Theory» am Beispiel komplexer dynamischer Prozesse bei der (Weiter-)Entwicklung des Internets.	Sammelwerksbeitrag

Tab. 8: Gesamtübersicht der eingeschlossenen Publikationen.

4.2 Ergebnisdarstellung des Literaturreviews

Im Folgenden werden die Ergebnisse des systematischen Reviews dargestellt. Im Allgemeinen lässt sich festhalten, dass sich im Zuge der Digitalisierung ein historisch gewachsenes Interesse am Internet und seinen Entwicklungsverläufen feststellen lässt, welches sich u. a. auf die kontinuierlich gestiegene Relevanz von Informations- und Kommunikationstechnologien für moderne Gesellschaften zurückführen lässt. Dies hat auch im wissenschaftlichen Diskurs eine Vielzahl von Publikationen hervorgebracht, die das Internet als Forschungsgegenstand thematisieren und sich innerhalb der Literaturrecherche in einer im zeitlichen Verlauf angestiegenen Anzahl von Publikationen zum Internet im Allgemeinen ausdrückt.

Im Hinblick auf die leitende Fragestellung für das Literaturreview «Wie ist der deutsche und englischsprachige Forschungsstand zur Internetinfrastrukturforschung mit Fokus auf den Umbau der Internetinfrastruktur?» ist die Anzahl thematisch relevanter Publikationen mit inhaltlicher Ausrichtung auf die Einschlussfaktoren des Reviews (1) Thematisierung der Entwicklung der Internetinfrastruktur und/oder (2) Behandlung der Einführung von Internetinfrastrukturtechnologien jedoch überschaubar.

So konnte insgesamt nur eine sehr begrenzte Anzahl von 14 Publikationen von ursprünglich insgesamt 2.027 Datenquellen innerhalb des Reviews identifiziert werden.

Dabei lässt sich herausstellen, dass in drei der identifizierten Publikationen oftmals die Wirkung und Ausbildung neuer Praktiken durch Internettechnologien des Web 2.0, wie von Schmidt (2009) untersucht, oder die historische Entwicklung des Internets nachgezeichnet werden wie von Hauben und Hauben (1997) und Segaller (1998). Sowohl die Monografie von Hauben und Hauben (1997) als auch das Buch von Segaller (1998) geben einen umfassenden Überblick zur historischen Entwicklung und Entstehung des Internets in den 1960er-Jahren bis zur Ausweitung des kommerziellen Netzes und deren Anwendungen in den 1990er-Jahren. Die Publikationen umfassen nahezu identische Ereignisse innerhalb der Geschichte des Internets, was sich u. a. auch auf das nah beieinanderliegende Publikationsdatum zurückführen lässt. Segaller (1998) fokussiert insbesondere aus der Perspektive sozialer Akteure die geschichtliche Entwicklung und beschreibt die Entwickler:innen des Internets in ihrer Besonderheit als «Nerds». Weiterführend richten Hauben und Hauben (1997) den Blick auf netzpolitische Anforderungen des Internets und fordern für die Internetnutzer:innen («Netizens») freie Zugänglichkeit ein.

Eine Sonderstellung in der Darstellung der Entstehung des Internets nimmt Janet Abbates Monografie mit dem Titel «Inventing the Internet» (1999) ein, wo sie alternative Entwicklungen, konkurrierende Technologien und die damit einhergehenden Visionen der Entwickler:innen bei der Entstehung der Internetinfrastruktur nachzeichnet und analysiert.

Trotz der enormen Relevanz der Internetinfrastruktur für die moderne Gesellschaft und der hohen Abhängigkeit gesellschaftlicher Teilsysteme (u. a. Bildungssystem, Gesundheitssystem etc.) geben die im Review identifizierten Publikationen nur wenig Auskunft darüber, wie der eigentliche Umbauprozess der Internetinfrastruktur ausgestaltet wird, wie und weshalb die Entwicklung und Einführung von Internetinfrastrukturtechnologien verläuft und welche Akteur:innen, Technologien und Rahmenbedingungen Einfluss auf den Entwicklungs- und Einführungsprozess nehmen.

Ausnahmen stellen die im Rahmen der Science Technology Studies (STS) u. a. von Paul Edwards, Steven Jackson und Geoffrey Bowker entwickelten «Infrastructure Studies» (siehe dazu Edwards 2003; Edwards u. a. 2007) dar, die unter anderem die Einbettung von Informationsinfrastrukturen als zentrale Eigenschaft und einflussnehmend auf den Entwicklungsprozess herausstellten.

Im Kontext des Reviews konnten dazu zwei Publikationen identifiziert werden (vgl. ebd.). Der Beitrag von Edwards (2003) fokussiert die Besonderheiten von Infrastrukturen im Allgemeinen, insbesondere ihre Ko-Konstruktionsfähigkeit. Letzteres meint bspw. die wechselseitige Beeinflussung infrastrukturellen Ausbaus und gesellschaftlicher Bedürfnisse hinsichtlich infrastruktureller Ausweitung. Da diese Wechselseitigkeit innerhalb des Entwicklungsprozesses jedoch weder auf der Mikro-, Meso- noch auf der Makro-Ebene verläuft, spricht sich Edwards (2003) für eine Verknüpfung der Ebenen in der Untersuchung von Infrastrukturen aus und erläutert dies beispielhaft an der historischen Entwicklung der Internetinfrastruktur. Dabei setzt er den Fokus im Hinblick auf die «Ko-Konstruktionsfähigkeit» innerhalb der Internetinfrastruktur insbesondere auf die physische Ausweitung des frühen Internets der 1960er-Jahre hin zu weiteren Knotenpunkten des Internets, die aufgrund von Forschungsk Kooperationen notwendig wurden (vgl. ebd.).

Die zweite identifizierte Publikation von Edwards et al. (2007) ist ein Workshopbericht, der Diskussionsergebnisse zum historischen Vergleich der Dynamiken von Infrastrukturen zusammenfassend darstellt. In deren Betrachtung legen die Autor:innen den Fokus auf Internetinfrastrukturen⁷³ und deren Technologien, die hochgradig voneinander abhängig sind. Die Erläuterung erfolgt anhand des OSI-Modells, welches Technologien innerhalb verschiedener Schichten (Layer) einordnet und daraus ableitet, auf welche weiteren Schichten eine entsprechend eingeführte Technologie Einfluss nimmt (vgl. ebd.).

Weiter führen Star und Ruhleder (1994; 1996; 1999) in Anlehnung an die Forschungen zu grosstechnischen Systemen (Large Technical Systems, LTS) (in Anlehnung an Hughes 1983; 1987; Mayntz 1988; Mayntz und Hughes 1988; Winner 1985) zu

73 Innerhalb der Publikation sprechen Edwards et al. (2007) von «Cyberinfrastrukturen» und benutzen diesen Begriff synonym zu Internetinfrastrukturen oder auch informationstechnischen Infrastrukturen.

einem tieferen Verständnis von Informationsinfrastrukturtechnologien, indem sie Merkmale zur Beschreibung von Informationsinfrastrukturen anhand ihrer ethnografischen Studien des Worm Community Systems (WCS) herausarbeiten und auf weitere Infrastrukturen wie das Internet übertragen. Innerhalb des Reviews wurden dazu drei aufeinander aufbauende Publikationen von Star und Ruhleder (1994; 1996; 1999) identifiziert.

Informationstechnische Infrastrukturen zeichnen sich, Star und Ruhleder (1994; 1996; Star 1999) folgend, typischerweise dadurch aus, dass sie im Hintergrund arbeiten, eine Tendenz zur Verselbstständigung aufweisen und die Strukturen durch ihre starke Einbettung in andere Systeme so lange *unsichtbar* sind, wie sie ihre Funktion erfüllen.

Weiter machen Star und Ruhleder in ihren Beiträgen aus den Jahren 1994 und 1996 auf die Problematik der Operabilität von Informationsinfrastruktursystemen aufmerksam und veranschaulichen die Bedeutung und Wirkung von Standards anhand des virtuellen elektronischen Community Systems namens Worm Community System (WCS). Auf Basis von Batesons (1978) Lernmodell untersuchen sie den Zusammenhang der Systementwicklung und kooperativer Formen der Zusammenarbeit von Wissenschaftlern im Bereich der Genetik und leiten daraus Rückschlüsse auf Informationsinfrastrukturen wie das Internet, u. a. im Hinblick auf die Interoperabilität von (Internet)standards ab (vgl. ebd.).

Aufbauend auf den Erkenntnissen der 1990er-Jahre zur Zeit der Kommerzialisierung des Internets wurde die tiefergehende Erforschung von Standardisierungsprozessen innerhalb informationstechnischer Infrastrukturen angeregt und unter anderem von Ole Hanseth erforscht.

Hanseth et al. (1996) untersuchten das Spannungsverhältnis zwischen Standardisierung und Flexibilität innerhalb von informationstechnischen Infrastrukturen am Beispiel des OSI-Modells. Dabei stellten die Autor:innen heraus, dass der Internetstandardisierungsprozess nicht nur anhand von technischen Entwicklungen definiert wird, sondern auch an politischen Entwicklungen orientiert ist.

Weiter legten Hanseth und Monteiro (1997) eine tiefergehende Untersuchung informationstechnischer Standards vor. Die Autor:innen hoben insbesondere die Komplexität von Standardisierungsprozessen und der Etablierung von informationstechnischen Standards hervor und zeichneten mithilfe der Actor Network Theory (ANT) nach, wie Einschreibungsvorgänge die Komplexität von informationstechnischen Systemen reduzieren.

Hanseth und Braa (2001) untersuchten weitere Mechanismen und Funktionen von Standards anhand der Neueinführung eines universellen (Internet)Standards namens «Bridge» im Kontext der Implementierung in einer informationstechnischen

Infrastruktur eines Unternehmens namens Norsk Hydro. Dabei stellten sie heraus, dass universelle Standards eine Illusion darstellen und in der Realität bei der Implementierung eines Standards immer wieder Inkonsistenzen auftauchen.

Parallel zu diesen Forschungen wurden unterschiedliche Methoden der Beschreibung und Analyse von Infrastrukturen entwickelt. Dabei entstanden neben ethnografischen Konzepten (Star 1999) auch konzeptionelle Ansätze, wie Bowkers «infrastructural inversion» (1994), die zur Analyse emergenter Phänomene von Infrastruktursystemen verwendet wurden und auch in der im Review identifizierten Publikation von Edwards et al. (2007) aufgegriffen wurden. Weiterführend gibt Stars Publikation aus dem Jahr 1999 aufbauend auf den Publikationen von Star und Ruhleder (1994; 1996) tiefere Einblicke in die ethnografische Arbeit innerhalb der Untersuchung des Worm Community Systems.

Star (1999) stellte dabei die Notwendigkeit einer methodologisch fundierten Untersuchung von informationstechnischen Infrastrukturen heraus und stellte die Ethnografie als eine geeignete Methode zur Erforschung von (informationstechnischen) Infrastrukturen vor. Ethnografien können Star (1999, 383f.) zufolge Situationen von innen heraus beschreiben und zu einem tiefergehenden Verständnis komplexer Veränderungen innerhalb informationstechnischer Infrastrukturen beitragen. Die Autorin leistete dadurch einen Beitrag zur systematischen und methodologisch orientierten Erforschung von (Internet-)Infrastrukturen.

Neuere Publikationen weisen seit geraumer Zeit auch auf die Notwendigkeit der theoretischen Einordnung von informationstechnischen Infrastrukturen hin. Hanseth (2010, 2) fokussiert in seinem Beitrag die Notwendigkeit der Entwicklung von theoretischen Konzepten zur strategischen Entwicklung von informationstechnischen Infrastrukturen am Beispiel des Internets als «universal service infrastructures». Hanseth (2010, 1f.) führt diese Notwendigkeit in Anlehnung an die Studie von Orlikowski et al. (1996) zurück, die in ihrer Erforschung von zehn ISR Jahressbänden herausstellten, dass in all diesen Publikationen keinerlei theoretisch-konzeptionelle Vorarbeit zu informationstechnischen Infrastrukturen geleistet worden ist. Hanseth (2010, 2ff.) macht sich daher dafür stark, dass die theoretisch-konzeptionelle Arbeit der Kern der künftigen Internetinfrastrukturforschung im Sinne einer «kernel theory» auf Basis existierender «Design Theories» sein solle. Dabei führt er aus, dass insbesondere Standards ein wichtiger Bestandteil von Infrastrukturen sind und diese erforscht werden müssen, um mit der stetig wachsenden Komplexität von informationstechnischen Infrastrukturen umzugehen. Diese müssen systematisch sowohl hinsichtlich ihrer Gestaltung, Entwicklung, Verbreitung und Auswirkung untersucht als auch theoretische Implikationen daraus abgeleitet werden (vgl. ebd).

Daran anschliessend wurde von Hanseth und Lyytinen (2010) ein Versuch unternommen, auf Basis der informationstechnischen «Design Theory» am Beispiel komplexer dynamischer Prozesse in der historischen (Weiter-)Entwicklung des Internets

einen Beitrag zur theoretischen Arbeit an (Internet)Infrastrukturen zu leisten, indem die Autor:innen «Design Rules» in Anlehnung an Hughes' Charakteristika grosstechnischer (vgl. Hughes 1983; 1989) entwickelten. Die Autor:innen definieren in ihrem Beitrag die folgenden fünf «Design Rules»: «1. Design initially for usefulness, 2. Build upon existing installed bases, 3. Expand installed base by persuasive tactics to gain momentum, 4. Make the design of IT capability as simple as possible, 5. Modularize the IT (Hanseth und Lyytinen 2010, Table 5, 11f.). Demnach beinhaltet der Beitrag von Hanseth und Lyytinen praktische Implikationen für die Weiterentwicklung von Internetinfrastrukturen. Diese haben zum Ziel, durch die Übertragung auf andere infrastrukturelle Veränderungen – wie die Digitalisierung im Bereich der Industrie oder Änderungen im Bereich der Finanzmärkte – weiterführende generalisierende theoretische Konzepte zur Infrastrukturforschung zu leisten. Für Internetinfrastrukturen im Speziellen resümieren Hanseth und Lyytinen (2010, 15), dass diese als soziotechnische Systeme begriffen werden müssen, die hochgradig komplex, gemeinsam genutzt und geteilt werden sowie einer dynamischen Entwicklung unterliegen, in der insbesondere «Gateway-Technologien» eine entscheidende Bedeutung haben.

4.3 Konkretisierung des Forschungsgegenstandes: Die Umgestaltung der Internetinfrastruktur

Im Folgenden möchte die Autorin den Forschungsgegenstand der vorliegenden Arbeit auf Basis des systematischen Literaturreviews konkretisieren und daraus das forschungsleitende Interesse ableiten. Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass die Festlegung der forschungsleitenden Fragestellungen in Anlehnung an die Forschungsmethodologien der Grounded Theory erst nach der Darstellung der theoretisch sensibilisierenden Konzepte erfolgt.

Im Rahmen des vorliegenden Reviews zur Leitfrage «Wie ist der deutsche und englische Forschungsstand zur Internetinfrastrukturforschung mit Fokus auf den Umbau der Internetinfrastruktur?» zeigt sich, dass eine Vielzahl der vorliegenden Publikationen die Wirkung und Ausbildung neuer Praktiken durch Internettechnologien oder das Mediennutzungsverhalten von Internettechnologien untersucht (vgl. J.-H. Schmidt 2009). Ausserdem beschäftigen sich einige Publikationen mit der historischen Entwicklung des Internets (vgl. Hauben und Hauben 1997; und Segaller 1998) und den Kontroversen innerhalb der (Weiter-)Entwicklung des Internets (vgl. Abbate 1999).

Weiter zeigt sich, dass trotz der gesellschaftlichen Relevanz von Informationsinfrastrukturen – allen voran die Bedeutung der Internetinfrastruktur für die moderne Gesellschaft – die Einrichtung neuer Internettechnologien (vgl. Star und Ruhleder 1994; 1996) und informationstechnischer Standards (vgl. Hanseth, Monteiro, und Hatling 1996; Hanseth und Monteiro 1997; Hanseth und Braa 2001) zwar untersucht

wird und auch methodologische (vgl. Star 1999) und theoretisch konzeptionelle Arbeiten zur Untersuchung von Infrastrukturen am Beispiel des Internets (vgl. Hanseth 2010; Hanseth und Lyytinen 2010) vorgenommen werden. Der *Umbau* von informationstechnischen Infrastruktursystemen wie dem Internet durch die Einpassung neuer Infrastrukturtechnologien in das bestehende System wird jedoch nur unzureichend thematisiert. Dazu wurde lediglich ein erster Ansatz von Hanseth und Lyytinen (2010) unternommen, der im systematischen Literaturreview identifiziert wurde. Dabei ist primär die Umgestaltung der Internetinfrastruktur durch die Einpassung neuer Infrastrukturtechnologien höchst anspruchsvoll, da informationstechnische Infrastrukturen stark mit anderen Technologien vernetzt sind, aufeinander aufbauen und im laufenden Betrieb unter Berücksichtigung der Interoperabilität mit anderen Techniken in eine immer komplexer werdende dynamische Internetinfrastruktur implementiert werden müssen (vgl. Star und Ruhleder 1994; 1996; Star 1999; Edwards 2003; Edwards u. a. 2007).

Die vorliegende Arbeit verfolgt daher das Ziel, diese Forschungslücke durch die Analyse der Umgestaltung der Internetinfrastruktur anhand eines Fallbeispiels, welches nach zuvor definierten Auswahlkriterien ausgewählt wird, ein Stück weit zu schliessen und so einen Beitrag zum tiefergehenden Verständnis der Entwicklungs- und Einpassungsprozesse von infrastrukturverändernden Technologien im Internet zu leisten, indem eine gegenstandsorientierte Theorie zum Umbau der Internetinfrastruktur mit Hilfe der Grounded Theory Methodologie erarbeitet wird.

5. Theoretisch sensibilisierende Konzepte

Die vorliegende Forschung zum Umbau der Internetinfrastruktur am Beispiel des Internetprotokolls folgt – in Anlehnung an die Ergebnisse des Literaturreviews (siehe Kap. 4.2) und die Besonderheiten von Internetinfrastrukturen (siehe Kap. 3.1.2) – der Logik, dass Internetinfrastrukturen aus weit mehr als nur aus technologischen Artefakten bestehen. Dies bedeutet, dass neben sachlichen Elementen, bspw. Software und Hardware, auch eine Vielzahl verschiedener sozialer Akteur:innen, bspw. Entwickler:innen, Projektteams und Internetorganisationen sowie auch zeitlich-räumliche Strukturen wie zum Beispiel zeitlich-limitierte Projekte oder lokal weit voneinander entfernte Netzwerke am Umbauprozess der Internetinfrastruktur beteiligt sind.

5.1 Soziotechnische Systeme und Akteur:innen-Netzwerke

Als Konsequenz aus der Vielfalt am Umbauprozess von Internetinfrastrukturen beteiligter Akteur:innen wird zur Erforschung des Forschungsgegenstandes und des wechselseitigen Zusammenspiels von sozialen Akteur:innen, sachlichen Elementen und zeitlich-räumlichen Strukturen auf techniksoziologische Ansätze zurückgegriffen, die *Infrastrukturen als soziotechnische Systeme und Akteur:innen-Netzwerke* begreifen.

Diese Konzepte richten den Blick auf soziotechnische Netzwerke. Sie sollen für die Untersuchung sowohl der Entwicklung der Internetinfrastruktur als auch der Strategien zur Implementierung von Internetinfrastrukturtechnologien als theoretisch sensibilisierende Konzepte im Sinne der Grounded Theory Methodologie genutzt werden, indem das Internet als soziotechnisches Netzwerk begriffen wird.

Den theoretischen Ausgangspunkt der vorliegenden Untersuchung bildet das Konzept der grosstechnischen Systeme (GTS), welches einen systemischen Ansatz zur Beschreibung technischer Infrastruktursysteme – wie dem Internet – darstellt. Ausserdem wird die Akteur:innen-Netzwerk-Theorie (ANT) genutzt, mit deren methodologischem Vorgehen soziotechnische Netzwerke in ihrer Entstehung, Bewegung und Veränderung nachgezeichnet werden können.

Zunächst wird die Entstehung des Ansatzes grosstechnischer Systeme historisch eingeordnet, danach werden die Kernkonzepte dargestellt, welche in die vorliegende Studie für die Internetinfrastrukturforschung Einzug halten. Dazu werden *grosstechnische Systeme* als soziotechnische Systeme eingeordnet und charakteristische Merkmale sowie der Ansatz des «system builder[s]» erläutert, über die grosstechnische Systeme stabilisiert werden (vgl. Hughes 1987).

Weiter wird die Grundidee der ANT dargelegt und werden die Kernbegriffe zur Beschreibung von Akteur:innennetzwerken und das Analyseschema der ANT vorgestellt, welche Einzug in die vorliegende Arbeit erhalten.

5.1.1 Zur Entstehung des Ansatzes grosstechnischer Systeme

Historisch betrachtet hat sich die Technikforschung lange Zeit primär der Untersuchung einzelner Technologien zugewandt. Neben der Erklärung von Technisierungsprozessen und der Untersuchung der Entwicklung und Verbreitung technischer Neuerungen, wurde auch die Wirkung eingehend beleuchtet, die diese technologischen Artefakte in gesellschaftlichen Teilsystemen wie Politik, Wirtschaft etc. ausgelöst haben. Zusätzlich werden die gesellschaftlichen Risiken einzelner Technologien problematisiert (vgl. dazu Rammert 1993). Diese Entwicklung zeigte sich bereits in den Ergebnissen des Literaturreviews zum Stand der Internetinfrastrukturforschung mit Fokus auf den Umbau der Internetinfrastruktur (siehe dazu Kap. 4.2).

Auch andere Disziplinen, z. B. die Wirtschaftswissenschaften, konnten zunächst nur eingeschränkt die strukturellen Besonderheiten und die gesellschaftspolitische Bedeutung technischer Infrastruktursysteme erklären. So heben diese zwar die Relevanz von technischen Infrastrukturen hervor, z. B. der Energie- und Verkehrsinfrastruktur für das wirtschaftliche Wachstum (vgl. Jochimsen 1966; Jochimsen und Gustafsson 1970), vernachlässigen aber gänzlich die Besonderheiten der untersuchten im Vergleich zu weiteren Infrastrukturen.

Technische Infrastrukturen wurden in der frühen Infrastrukturforschung der 1960er- und 1970er-Jahre vor allem als etwas Materielles im Sinne einer technologischen Entwicklung betrachtet, das von der institutionellen Infrastruktur der Gesellschaft (Gesamtheit der Gesetze, Normen etc.) und auch der personalen Infrastruktur (Bildungs- und Gesundheitssystem etc.) strikt zu trennen war (vgl. ebd.).

Von wissenschaftlichem Interesse war demnach weder die Struktur technischer Infrastrukturen wie der Wasser- und Energieversorgung oder des Kommunikationsnetzes noch die Eigendynamik dieser Systeme. Betrachtet wurden insbesondere die wirtschaftlichen oder politischen Produktivitätseffekte, die diese hervorbringen (vgl. Jochimsen 1966; Jochimsen und Gustafsson 1970) oder der Investitionscharakter von Infrastrukturen, wie bspw. der Kostenaufwand beim Ausbau der Infrastrukturen wie dem Strassenverkehrsnetz (vgl. Stohler 1965).

Erst in den 1980er-Jahren etablierte sich, angestossen durch Forschungen von Historikern, Ökonomen, Soziologen und Ingenieuren, eine systemische Betrachtungsweise von Technik und die Untersuchung grosstechnischer Infrastruktursysteme in ihrer Gesamtheit (vgl. Hughes 1987).

Angeregt von Hughes (1983; 1987) wurde die Eigenlogik von Infrastruktursystemen sowie ihre Entwicklung und Stabilisierung auf einer breiten, verwobenen Front sozialer, institutioneller, ökonomischer und technischer Phänomene in den Fokus gerückt, indem er Infrastruktursysteme beschrieb und deren stabilisierende Momente und Dynamiken herausstellte. Die Beschreibung solcher grosstechnischer

Infrastrukturen erfolgt in der Literatur als *soziotechnisches System* und wurde u. a. von Hughes (1983; 1987) angeregt. Diese begriffliche Einordnung wird im Folgenden dargestellt.

5.1.2 Grosstechnische Infrastrukturen als soziotechnische Systeme

Hughes legte im Jahr 1983 mit der vergleichenden Studie «Networks of Power: Electrification in Western Society 1880–1930» ein Konzept vor, das zum Verständnis der Entwicklungsdynamiken, strukturellen Besonderheiten und Stabilisierungstendenzen grosstechnischer Infrastruktursysteme (im Englischen Large Technical Systems) am Beispiel der Elektrizitätsversorgung beitragen konnte (vgl. Hughes 1983).

Darin zeigte er, dass der Erfolg einer Technologie nicht von der Entwicklung eines einzelnen technischen Geräts oder Verfahrens abhängig ist, wie die in der Studie thematisierten Glühlampe von Edison, sondern dass die Etablierung eines dicht verflochtenen Netzwerks einer Vielzahl heterogener, aneinander angepasster und aufeinander abgestimmter technischer Installationen, Normen, Akteur:innen und Verfahrensweisen erfolgsentscheidend für eine Infrastrukturtechnologie ist.

Nach Hughes' Forschungsergebnissen waren also nicht länger die einzelnen technischen Artefakte und ihre Folgen für die fortschreitende Technisierung einzelner Funktionssysteme (Politik, Wirtschaft, Wissenschaft etc.) oder produktivitätssteigernde Effekte von Technologien im Fokus der Technik- und Infrastrukturforschung entscheidend, sondern die Einbettung technologischer Artefakte in ein zunehmend verdichtetes Netzwerk technischer, institutioneller und organisatorischer Strukturen.

In der Folge entstand eine Reihe sozialwissenschaftlich inspirierter Forschungen zu Large Technical Systems (LTS), wie Analysen zur Entstehung des Eisenbahnnetzes, des Flugverkehrssystems in den USA oder des deutschen Telefonnetzes (vgl. Mayntz 1988; Mayntz und Hughes 1988; Braun und Joerges 1994; Hughes 1983; 1987; Joerges 1988; 1996).

Innerhalb dieser unterschiedlichen Studien wurde das Verständnis grosstechnischer Infrastruktursysteme massgeblich entwickelt und der Blick auf diese als *soziotechnische Systeme* gerichtet. Soziotechnische Systeme können den Studien zu Large Technical Systems folgend weder als rein soziale Systeme noch als (rein) technische Systeme definiert werden, da sie nicht durch Technologien determiniert und auch nicht ausschliesslich durch soziale Mechanismen hervorgebracht werden. Vielmehr bedingen sich Technik und Soziales wechselseitig (vgl. Bijker, Hughes, und Pinch 1987; Hughes 1987; Joerges 1988; Mayntz 1988).

Der Begriff des soziotechnischen Systems (im Englischen sociotechnical system) betont «vor allem, dass technische Komponenten oft als integrale Bestandteile in soziale Handlungszusammenhänge eingebaut sind, die in ihrer Struktur und Dynamik davon entscheidend geprägt bzw. verändert werden» (Mayntz 1988, 236).

Dies bedeutet, dass soziotechnische Systeme in einem sozialen Produktions- und Verwendungszusammenhang stehen, da sie sozial geprägt sind und in ihrer Anwendung sozial organisiert werden. Weiter sind Komponenten soziotechnischer Systeme zunehmend in soziale Zusammenhänge eingebunden, durch die wiederum soziale Interaktionen beeinflusst werden (vgl. ebd.).

Ein zentrales Charakteristikum dieser Systeme ist also ihre Wechselwirkung zwischen der sozialen Konstruktion von Technik und der prägenden Wirkung von Techniken auf die Gesellschaft. Hughes (1987, 1) folgend sind soziotechnische Systeme demnach «socially constructed and society shaping». Aus diesem Grund beschreibt Weingart (1988, 175) den Ansatz grosstechnischer Systeme auch als «ein Paradigma der Verknüpfung von Technikentwicklung und sozialem Wandel».

Allerdings bleibt der Systembegriff innerhalb des Ansatzes grosstechnischer Systeme unklar. Joerges (1996, 187) bezeichnet ihn infolgedessen als «tote Metapher». Jedoch bieten die Studien zu verschiedenen untersuchten grosstechnischen Systemen Ansatzpunkte zur Beschreibung charakteristischer Merkmale, welche im Folgenden dargestellt werden.

5.1.3 Die Internetinfrastruktur als soziotechnisches System

Um diese Wechselwirkung zwischen der sozialen Konstruktion von Technik und ihrer prägenden Wirkung auf die Gesellschaft greifen zu können, möchte ich diese im Folgenden am Beispiel der Internetinfrastruktur und verschiedener Dienstanwendungen darstellen.

Im Kontext der Internetinfrastruktur zeigt sich eine wechselseitige Abhängigkeit nicht nur im Verhältnis von Technik und Gesellschaft, sondern bereits seitens der Technologien, indem die Weiterentwicklung einer Internetinfrastrukturtechnologie stark von anderen Infrastrukturtechnologien abhängt und auch die technologische Nutzung wiederum abhängig von anderen Technologien ist. So ist das Internet beispielsweise nicht ohne entsprechende (End)Geräte wie z. B. Router, PC und Bildschirm nutzbar. Auch das innerhalb der vorliegenden Forschung untersuchte Internetprotokoll ist eine zentrale Voraussetzung für die Kommunikation innerhalb des Netzwerks, und dieses ist wiederum notwendig für die Nutzung von E-Mail-Diensten. Internetinfrastrukturtechnologien sind folglich dadurch charakterisiert, dass sie in ein umfassendes System anderer Techniken eingebunden sind, welche eine wechselseitige Beeinflussung der Technologien beinhaltet und deren technologische Verwendbarkeit durch die Technik beeinflusst wird (vgl. Star und Ruhleder 1994; 1996).

Internetinfrastrukturen und deren Technologien prägen aber auch unser soziales Handeln, und beeinflussen dieses in vielfältiger Weise. Dies wiederum wirkt sich auf nahezu alle gesellschaftlichen Bereiche aus und hat zugleich Auswirkungen auf die technologischen Weiterentwicklungen der Internetinfrastruktur.

Um die Tragweite dieser Wechselwirkungen zwischen «socially constructed and society shaping» (Hughes 1987, 1) innerhalb des Internets zu verdeutlichen, möchte ich aufgrund mangelnder Vorarbeiten in der wissenschaftlichen Literatur zu Internetinfrastrukturen im Speziellen (siehe dazu Kap. 4.2) einige Beispiele benennen, die im Folgenden ausgeführt werden.

Die *soziale Konstruktion* der Internetinfrastrukturtechnik und die zugleich *prägende Wirkung* von Internettechnologien sind auf vielerlei Weise innerhalb unseres gesellschaftlichen Lebens erfahrbar. Ich möchte daher punktuell auf vier Bereiche unseres Alltags eingehen und anhand von Mikro-Beispielen die unterschiedlich ausgeprägten Wechselwirkungen exemplarisch darstellen. Zu diesen Bereichen gehört das Bildungssystem im Kontext *Schule*, das Gesundheitssystem im Kontext *Online-Sucht*, die Stadtentwicklung mit Fokus auf das «*Innenstadtsterben*» im Kontext *steigender Online-Einkäufe* sowie die produzierende Wirtschaft am Beispiel der Automobilindustrie im Kontext des *Cloud-Computings*.

Innerhalb des *Bildungssystems* «Schule» lässt sich aktuellen Studien zufolge eine Nutzungsausweitung digital unterstützter Lehr-/Lernformate sowie die Entwicklung und Anwendung neuer digitaler Lehr-/Lernformate verzeichnen. Die Verbreitung des digital unterstützten Lehrens und Lernens im Bildungssystem lässt sich unter anderem auf die Umstellung des Präsenzunterrichts an Schulen auf Distanzunterricht mittels internetbasierter Lernplattformen während des pandemiebedingten Lockdowns und die damit einhergehenden Schulschliessungen zurückführen (vgl. etwa Breitenbach 2021; Gerhardts u. a. 2020).

Dieses Beispiel zeigt die Wechselwirkung zwischen der politischen Regulierung durch den Lockdown und der Entwicklung neuer, internetbasierter Lerntechnologien und die Auswirkung dieser Umstellung auf das Nutzungsverhalten, indem sich sowohl quantitativ messbar die Mediennutzungsdauer erhöht bzw. die Mediennutzungsart verändert hat als auch technische Neuerungen hervorgebracht wurden (vgl. ARD/ZDF-Onlinestudie, Von Beisch, und Koch 2022; Breitenbach 2021; Gerhardts u. a. 2020).

Weiter haben auch in Anlehnung an die ARD/ZDF-Onlinestudien die Lockdownbestimmungen zu einem Anstieg der HomeOffice-Zeiten und zu einer insgesamt höheren Nutzungsdauer des Internets über alle Altersklassen hinweg geführt (vgl. ARD/ZDF-Onlinestudie, Von Beisch, und Koch 2022).

Neben der Notwendigkeit zur Bereitstellung und Aufrechterhaltung der Funktionsfähigkeit der technischen Seite der Internetinfrastruktur im häuslichen Umfeld und dem Bedarf nach dem Breitband-Ausbau des Internets ist auch im *Gesundheitssystem* ein Effekt der Ausweitung der Nutzungszeiten des Internets zu verzeichnen.

Denn während der Coronapandemie wurde von den Krankenkassen ein Anstieg der Online-Sucht bei Kindern und Jugendlichen verzeichnet (vgl. DAK-Gesundheit 2022), der u. a. einen politischen Diskurs der Bundesregierung zum Schutz von Kindern im Kontext der Internetnutzung hervorgerufen hat (vgl. Der Beauftragte der Bundesregierung für Sucht- und Drogenfragen 2022).

Diese beiden Beispiele zeigen bereits sehr deutlich die tiefgehende Verflechtung des Internets als soziotechnisches System und die Wechselwirkung zwischen der Internetinfrastruktur im Hinblick auf Nutzungsart, -dauer und technischer Funktionalität sowie dessen Wechselbeziehung mit dem Bildungssystem, dem politischen System sowie dem Gesundheitssystem.

Weitere Änderungen der Mediennutzung des Internets haben zu einem Anstieg von Online-Einkäufen geführt (vgl. etwa ARD/ZDF-Onlinestudie, Von Beisch, und Koch 2022). Dies hat zum einen eine Auswirkung auf den lokalen Einzelhandel und die *Stadtentwicklung*, indem in kleineren Städten viele Ladenlokale aufgrund mangelnder Nachfrage schliessen mussten, was auf regionalpolitischer Ebene u. a. zu Fördermassnahmen wie beispielsweise lokalen Städtemarketinginitiativen geführt (vgl. Deutscher Städte- und Gemeindebund 2018; 2022). Zum anderen hat dies seitens der Internettechnologie zu einem Ausbau von Webshop-Diensteanbietern und einer Ausweitung des Online-Handels auch nach Beendigung des Lockdowns im Frühjahr 2021 geführt, der sich bis heute nicht umgekehrt hat, also zu einer nachhaltigen Veränderung des Einkaufsverhaltens sozialer Akteure führte (vgl. dazu Statistisches Bundesamt Destatis 2021)

Die gestiegenen Internetnutzungszeiten sowie die zunehmende Anzahl der genutzten Internetdienste wirken sich aber auch beispielsweise auf andere gesellschaftliche Teilsysteme wie die produzierende Wirtschaft aus und führen diese zugleich auch explizit zu einem Bedarf an der Weiterentwicklung der Anwendungsmöglichkeiten des Internets. Dies möchte ich am Beispiel des Cloud Computings und der Automobilindustrie aufgreifen sowie die Auswirkungen auf die Internetinfrastruktur und dessen Weiterentwicklung thematisieren.

Cloud Computing ist im allgemeinen Verständnis die Möglichkeit, Daten und Dokumente bei Clouddiensteanbieter:innen auf deren Datenspeichern abzulegen und so Dateien ausserhalb des eignen Computers zu nutzen. Oftmals ist die Nutzung dieser Dienste seitens der Nutzer:innen privat und gewerblich mit dem Ziel verbunden, die Datensicherheit zu erhöhen sowie den stationär im häuslichen oder unternehmerischen Umfeld verfügbaren Speicherplatz an die Bedürfnisse anzupassen.

Cloud Computing ist historisch betrachtet insbesondere eine Anwendung für den Wirtschaftssektor. – Das heisst z. B. für grosse Konzerne, die an vielen Orten Produktions- oder Vertriebsstätten unterhalten. Die Technik breitete sich u. a. aufgrund der Nachfrage seitens privater Nutzer:innen des Internets, der Bezahlbarkeit der Dienste wegen Kostensenkungen für Speichermedien etc. auch auf das private

Umfeld aus. Durch die steigende Nachfrage in Wechselwirkung mit steigenden Datenvolumen wurden so immer mehr Clouddiensteanbieter:innen gegründet und effizientere Clouddienste entwickelt. Parallel dazu nahm die Bandbreite für die Datenübertragung zu und die Speichermedien wurden optimiert (vgl. Weisser 2020). An diesem Beispiel erkennt man vielfältige Wechselwirkungen von Technik auf Gesellschaft (z.B. Smartphonennutzung – Datenproduktion) und andersherum (z.B. Datenproduktion – Cloudentwicklungen), wechselseitige Abhängigkeiten zwischen unterschiedlichen Technologien (z.B. Clouddienste – optimierte Speichermedien) sowie Auswirkungen des Nutzungsverhaltens auf die weiterführende Technologieentwicklung (z.B. Breitbandausbau).

Neben dieser Anwendungsmöglichkeit der externen Speicherplatzvergrößerung greifen heutzutage auch Automobile in vielfältiger Weise auf Clouddienste zurück. Neben Nutzer:innendaten zu Sitzpositionen und Spiegeleinstellungen innerhalb von Fahrer:innenprofilen im Bereich des Car-Sharings nutzen auch Navigationssysteme von Automobilen Daten aus Cloudspeichern (siehe dazu CARIAD).⁷⁴ Diese neuen Entwicklungen des Internets der Dinge (Internet of Things) führen zu Veränderungsbedarfen hinsichtlich der Internetinfrastruktur. So benötigen immer mehr Geräte IP-Adressen, um innerhalb des Internets kommunizieren zu können. Dies führt zu einem Bedarf nach Erweiterung des Adressraums des Internets und den hierfür notwendigen Weiterentwicklungen der Internetinfrastruktur, um ausreichend IP-Adressen bereitstellen zu können.

5.1.4 (Kern)Merkmale grosstechnischer Systeme

Auch wenn der Systembegriff innerhalb des Ansatzes grosstechnischer Infrastruktursysteme und soziotechnischer Systeme unklar bleibt, werden innerhalb der verschiedenen Studien durch die Autor:innen zu grosstechnischen Infrastruktursystemen wiederkehrend Merkmale zur Beschreibung von Infrastruktursystemen aufgegriffen. Eine Häufung von strukturellen Merkmalen grosstechnischer Systeme findet sich in dem Beitrag von Weingart (1988, 175), der neben der «netzwerkartige[n] Struktur[..], geographische[n] Ausbreitung und eine[r] erhebliche[n] Kapitalintensität» auch die Abstimmung innerhalb «ökonomischer, politischer und technisch-wissenschaftlicher Systeme» als bezeichnend für grosstechnische Systeme benennt. Zur Beschreibung dieser Systeme greift er Adjektive wie «unkontrollierbar, hochkomplex, und expansiv» auf und ordnet den Ansatz grosstechnischer Systeme im Kontext der soziologischen und sozialwissenschaftlichen Technikforschung ein (vgl. ebd.).

74 CARIAD, zusammengesetzt aus «Car I am digital», ist ein Automotive-Software-Unternehmen innerhalb des Volkswagen Konzerns und arbeitet u. a. an der *Volkswagen Automotive Cloud*. Siehe weiterführend auch die Homepage des Unternehmens, online verfügbar unter: <https://cariad.technology/>, letzter Zugriff: 22.11.22.

Ich werde im Folgenden insbesondere auf die wiederkehrenden Beschreibungen als (Kern)Merkmale der verschiedenen Studien und Beiträge zu grosstechnischen Systemen (vgl. Braun und Joerges 1994; Joerges 1996; Mayntz 1988; Mayntz und Hughes 1988; Hughes 1983; 1987; Weingart 1988)^{75 76}.

eingehen und diese aufgrund mangelnder Überblicksarbeiten daraus extrahieren und anschliessend clustern. Denn «GTS Studien zeichnen sich [...] durch eine bemerkenswerte Divergenz und Buntheit ihrer Aussagen» (Joerges 1996, 148) sowie durch einen «erhebliche[n] Facettenreichtum von analytischen Ansätzen und begrifflichen Bedeutungen» (Weingart 1988, 175) aus.

5.1.4.1 Grösse und Ausweitung

Expansiv» und «hochkomplex» (Weingart 1988, 175) sind Bezeichnungen, die auf «Grösse» «Ausweitung» und «Komplexität» grosstechnischer Systeme referieren und in einer Vielzahl von Studien aufgegriffen werden. So werden beispielsweise innerhalb des Sammelbandes von Hughes und Mayntz (1988), «The Development of Large Technical Systems», in jedem Beitrag Merkmale grosstechnischer Systeme beschrieben, die deren *Grösse* und *Ausweitung* betreffen.

Dabei werden *Grösse* und *Ausweitung* eines grosstechnischen Systems insbesondere anhand der *räumlichen Ausweitung* (vgl. u.a. Hughes 1983; Mayntz und Hughes 1988), durch die «Tendenz [...] zur Expansion (Weingart 1988, 187) oder den Trend zur «Aufwärtstransformation» (Joerges 1996, 145) bestimmt. Hughes (1983) beschreibt die räumliche Ausweitung anhand der Beschreibung der geografischen Verbreitung von Stromnetzen, Salisbury (1988) die überregionale Ausbreitung des amerikanischen Eisenbahnnetzwerkes, Caron (1988) die parallele Entwicklung in Frankreich sowie Heinze und Kill (1988) jene in Deutschland.

Um jedoch die Grösse eines Systems zu verstehen oder diese mit der eines anderen vergleichen zu können, bedarf es allerdings einer Relation, zu der die Grösse bestimmt werden kann. Insofern ist *Grösse* zwar ein (Kern)Merkmal grosstechnischer Systeme, welches auch bereits im Begriff *grosstechnisch* aufgegriffen wird. Dieses Merkmal zur Beschreibung ist jedoch wenig aussagefähig, da es keinen allgemeingültigen oder gar absoluten Grössenmasstab gibt.

Insofern sind unterschiedliche Infrastruktursysteme beispielsweise nur schwierig anhand ihrer Grösse zu differenzieren und im Vergleich zu anderen zu beschreiben (vgl. Weyer 1994, 362).

75 Der Sammelband von Braun und Joerges (1994) «Technik ohne Grenzen» beinhaltet zwölf Publikationen verschiedener Autor:innen zu empirisch untersuchten großstechnischen Systemen wie z. B. Telefon, Satellit, Schienensystem etc. sowie theoretische Ausführungen zu GTS.

76 Der Sammelband von Hughes und Mayntz (1988) «The Development of Large Technical Systems» beinhaltet zehn Publikationen.

Betrachten wir jedoch, womit die Kernelemente *Grösse* und *Ausweitung* gross-technischer Systeme innerhalb der genannten Studien assoziiert sind, stellen wir fest, dass das beschriebene räumliche Wachstum des Systems mit einer zunehmenden technologischen und sozialen Vernetzung des soziotechnischen Systems und einer Etablierung des Systems durch einen *System Builder* verknüpft wird.

5.1.4.2 *Vernetzung und Anschlussfähigkeit*

Weitere Kernmerkmale grosstechnischer Systeme sind die *Vernetzung* innerhalb des Systems und die *Anschlussfähigkeit* mit der Systemumwelt. Weingart (1988, 175) greift diese durch die Beschreibung «netzwerkartiger Strukturen» bei grosstechnischen Systemen auf. Die *Vernetzung* ist aber bereits bei der Einordnung grosstechnischer Systeme als soziotechnische Systeme von zentraler Bedeutung.

Folgen wir beispielsweise den Publikationen aus den Sammelbänden von Hughes und Mayntz (1988) sowie Braun und Joerges (1994) zu grosstechnischen Systemen, sind für den Erfolg und die erfolgreiche Etablierung dieser Systeme eine hohe technische und soziale Vernetzung innerhalb des Systems sowie Anschlussfähigkeit mit der Systemumwelt notwendig. Auch ist diese Vernetzung und Anschlussfähigkeit zugleich Grundvoraussetzung für die weitere Ausweitung und das Wachstum grosstechnischer Systeme.

Hughes (1987) zeigte dies am Beispiel des Energieversorgungssystems und des Unternehmens von Edison auf. So waren im Fall der Edison-Systeme insbesondere städtische Versorgungsunternehmen zunächst die Hauptnutzer der von der «Edison Electric Light Company» patentierten Glühlampe und weiterer Technologien des Unternehmens. Zur Verbreitung und Ausweitung der Edison Technologien sowie zur Stabilisierung des Systems kaufte das Unternehmen von Edison Aktien verschiedener städtischer Versorgungsgesellschaften im Austausch für Technik auf. Dieses Vorgehen erhöhte einerseits die Vernetzung zwischen der «Edison Electric Light Company» und städtischen Versorgungsunternehmen. Andererseits erhöhte es auch die Kontrolle im Sinne der Steuerungsfähigkeit des Systems durch die Schaffung von Abhängigkeit und technischer Anschlussfähigkeit (Hughes 1987, 22).

Die Technische Anschlussfähigkeit wird auch mittels technischer Standardisierung erhöht. Standardisierung trägt dabei im Inneren des Systems zu einer Erhöhung der Kompatibilität einzelner technischer Komponenten bei, wie im Fall von Glühlampe und Glühlampenfassung (ebd.).

Allerdings schafft Standardisierung auch Sicherheit für Entwickler:innen und Nutzer:innen und erfüllt somit auch eine stabilisierende Funktion des grosstechnischen Systems mit seiner Systemumwelt. Kubicek (1994, 136) zeigt dies anhand des Telekommunikationsnetzes in Deutschland und zeichnet in seinen Analysen den Standardisierungsprozess verschiedener technischer Komponenten und Schnittstellen nach.

5.1.4.3 *System Builder*

Die sozialen Akteur:innen, die solch ein technisch ineinandergreifendes soziotechnisches Netzwerk mittels Vernetzung und Auseinandersetzung mit ökonomischen, sozialen und politischen Gegebenheiten entwickeln, etablieren, stabilisieren und ausbauen, bezeichnet Hughes (1983; 1987) als «system builder».

Hughes (Hughes 1987, 10) beschreibt den System Builder anhand von Edison und der Entwicklung der Glühbirne in seiner Funktion als Unternehmer:in und Entwickler:in. Auch Joerges (1988, 12) greift den Begriff des System Builders auf und definiert diesen als einen «inventor-entrepreneur», der als «entrepreneurial in matters technological as in dealing with outside worlds» fähig ist. Damit betont er die (soziotechnische) Vernetzung von Technik und (System)Umwelt sowie die Fähigkeit der Entwickler:innen, innerhalb dieser «Welten» in gleicher Weise zu agieren, um ein grosstechnisches System erfolgreich zu etablieren und auszuweiten. Weitere Charakteristika werden in den Studien allerdings nicht genannt. Insofern beschreiben diese Studien anhand verschiedener grosstechnischer Systeme zwar jeweils eine:n unternehmerisch handelnde:n Entwickler:in, generalisieren ihre Beobachtungen allerdings nicht zu einem übergeordneten Typus des «System Builders» (vgl. Braun und Joerges 1994; Bijker, Hughes, und Pinch 1987; Mayntz 1988).

Bei der Sichtung der Studien ist jedoch bezeichnend, dass jeweils eine Person oder eine geringe Anzahl von Personen eine neue Technologie entwickelt und verbreitet hat. Demnach entwickelten sich sowohl das Telefonnetz (vgl. Galambos 1988; Kubicek 1994; Thomas 1988) als auch Stromnetz (vgl. Hughes 1983), das Eisenbahnnetz (vgl. Caron 1988; Heinze und Kill 1988; Salisbury 1988), das Flugverkehrssystem (vgl. La Porte und Todd 1988) und das Videotext-System (vgl. Mayntz und Schneider 1995) aufgrund einer zentralen Person oder einer geringen Anzahl von Personen. Zudem sei anzumerken, dass sich die zuvor genannten Technologien aufgrund mangelnder technologischer Alternativen als *Insellösungen* entwickeln und ausbreiten konnten.

5.1.4.4 *Momentum und Prozesshaftigkeit*

Die Etablierung eines grosstechnischen Systems wird innerhalb der Publikationen zu grosstechnischen Systemen als ein Prozess dargestellt, innerhalb dessen ein «Momentum» (Hughes 1987, 37ff.) oder eine «dynamic inertia» (Joerges 1988, 14) hergestellt wird. Hughes konstatiert (1987, 37): «Technological systems, even after prolonged growth and consolidation, do not become autonomous; they acquire momentum».

Dieses Charakteristikum grosstechnischer Systeme findet sich in einer Vielzahl von Publikationen zu grosstechnischen Infrastruktursystemen (vgl. Galambos 1988; Braun und Joerges 1994). Bezeichnend dafür ist, wie eingangs erläutert, die Wechselwirkung zwischen «socially constructed and society shaping» (Hughes 1987, 1).

Dadurch findet der Ansatz grosstechnischer Systeme mit seiner Beschreibung von Infrastrukturen als soziotechnisches System seine Position zwischen dem Sozialkonstruktivismus, nach dem Gesellschaft Technik formt, und dem Technikdeterminismus, wonach Technik Gesellschaft formt und autonom ist (vgl. Hughes 1994, 112).

Nach Hughes und Vertreter:innen des Ansatzes grosstechnischer Systeme durchlaufen diese Systeme unterschiedliche Entwicklungsphasen und innerhalb dieser ist die Auswirkung der Technik auf Gesellschaft oder der Gesellschaft auf Technik unterschiedlich stark ausgeprägt und insofern als dynamisch zu beschreiben.

So zeigen sich innerhalb von Hughes' (Hughes 1983, 39ff.) Untersuchungen des Energieversorgungssystems, dass die Entwicklung der Glühlampe zunächst stark gesellschaftlich beeinflusst wurde und, dass erst im späteren Entwicklungsverlauf etablierte und stabilisierte grosstechnische Systeme die Gesellschaft formten. Daraus schlussfolgert der Autor (1994, 113): «A technological system can be both a cause and an effect; it can shape or be shaped by society. As they grow larger and more complex, systems tend to be more shaping society and less shaped by it».

Dieser Prozess ist aber keineswegs unwiderruflich festgeschrieben, sondern im Fortlauf der Entwicklung wird die Veränderungsmöglichkeit des Infrastruktursystems nur träger und arbeitsintensiver für Veränderung. Insofern ist Innovation auch in etablierten grosstechnischen Systemen möglich, aber der Arbeitsaufwand wird durch das Momentum (Trägheit des Systems) erheblich höher. Dies verdeutlicht Hughes (1987, 41) am Beispiel der Geschichte der Automobilindustrie um den Entwickler Henri Ford in den 1970er-Jahren der USA. Demnach wurde die Neuerung des Konzerns, niedriger motorisierte Fahrzeuge zu entwickeln, durch Bedarfe des japanischen Automobilmarktes und insofern durch die Umwelt (von aussen) an das System herangetragen.

Es zeigt sich insofern, dass grosstechnische Systeme prozesshaft entwickelt, etabliert und stabilisiert werden. Dabei durchlaufen Systeme dieser Art verschiedene systemeigene Entwicklungsphasen, die jedoch keinesfalls linear ohne Abschweifungen oder Umwege verlaufen. Innerhalb der verschiedenen Publikationen lassen sich nicht-lineare Entwicklungsverläufe innerhalb grosstechnischer Systeme hinsichtlich Grösse, Ausweitung und Weiterentwicklung ausmachen. Ausserdem finden sich progressive Entwicklungsverläufe wie bei Edison und der Glühbirne (vgl. Hughes 1983), episodische wie bei Ford (vgl. Hughes 1987, 42) oder sogar, wie in La Portes (1988) Studie zu Flugverkehrssystemen, solche, die durch regressive Phasen bezeichnet sind.

5.1.5 Zwischenfazit zum Ansatz grosstechnischer Systeme für den Forschungsgegenstand des Umbaus der Internetinfrastruktur

Der grösste Verdienst des Ansatzes grosstechnischer Systeme für den Forschungsgegenstand des Umbaus der Internetinfrastruktur liegt darin, dass mit der Entwicklung des Konzepts der Blick auf die soziotechnischen Netze gerichtet wurde. Diese Netze ermöglichen und etablieren die grosstechnischen Systeme durch Verflechtung sozialer und technischer Phänomene. Dadurch wurde ein Paradigmenwechsel zur Beschreibung von Technik durch Verknüpfung von Technikentwicklung und Gesellschaft sowie sozialem Wandel angestossen (vgl. Weingart 1988).

Den Fokus auf Technik als soziotechnische Netzwerke habe ich im vorliegenden Kapitel anhand verschiedener Beispiele für die Internetinfrastruktur aufgezeigt. Durch diese Beispiele wurde deutlich, dass Entwicklung, Struktur, Ausweitung und Wirkung von Internetinfrastrukturtechnologien sich nur unzureichend erfassen lassen, wenn sie als isolierte technologische Artefakte untersucht werden. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass Technologien dieser Art die Funktionalität anderer Techniken ermöglichen, fördern oder aber hemmen. Zusätzlich ist auch die eigene technische Funktionalität von anderen Techniken abhängig und die Weiterentwicklung von Internetinfrastrukturtechnologien wird von diesen beeinflusst. Weiter wirkt sich auch die Art der Nutzung durch Nutzer:innen der Internetinfrastruktur und ihrer Dienste in vielfältiger Weise auf die verschiedenen gesellschaftlichen Bereiche aus.

Richten wir den Blick auf die weiteren Merkmale grosstechnischer Systeme, fällt innerhalb der gesichteten Publikationen jedoch auf, dass der Ansatz grosstechnischer Systeme über ein recht heterogenes Vokabular mit zum Teil wenig vergleichbaren Spezifika grosstechnischer Systeme verfügt und auf der strukturellen Ebene der Beschreibung dieser Systeme verbleibt.

Im vorliegenden Kapitel wurde zunächst versucht, zentrale (Kern)Merkmale aus den verschiedenen Publikationen zu extrahieren und diese darzustellen, um eine begriffliche Basis zu generieren, die grosstechnischen Systeme zu beschreiben. Dabei wurde ersichtlich, dass grosstechnische Systeme überwiegend nach ihrer Grösse und Ausweitung hinsichtlich ihrer räumlichen und geografischen Ausdehnung beschrieben werden.

Grösse und Ausweitung lassen sich jedoch nur in Relation beschreiben und sind entsprechend nur bedingt nutzbare Merkmale zur Beschreibung eines grosstechnischen Systems. Schliesslich müssen die Systeme in Bezug zueinander oder in Bezug zu Systementwicklungsphasen erfolgen, um eine Differenzierung und Aussage hinsichtlich Grösse und Ausweitung eines grosstechnischen Systems vornehmen zu können.

Weiter werden grosstechnische Systeme in der Literatur durch ihre Vernetzung und Anschlussfähigkeit auf technischer und sozialer Ebene beschrieben. Dieses Merkmal scheint entscheidend für die Etablierung, Stabilisierung, Ausweitung und Weiterentwicklung eines Systems zu sein.

Vernetzung und Anschlussfähigkeit scheinen aus zwei Perspektiven funktional für ein grosstechnisches System zu sein: *innerhalb des Systems*, um seitens der Organisation die Funktionsfähigkeit des grosstechnischen Systems zu gewährleisten und Technologien (weiter) zu entwickeln, sowie *nach Aussen vom System* betrachtet, um die eigenen Technologien mit Akteuren der Systemumwelt zu vernetzen, die Akteure zu kontrollieren und zu steuern sowie die eigene Technologie in der Systemumwelt zu etablieren und auszubauen. Dabei scheinen insbesondere technologische Standards eine entscheidende Rolle zu spielen, indem sie Planbarkeit innerhalb und ausserhalb des Systems ermöglichen.

Das (Kern)Merkmal der Vernetzung und Anschlussfähigkeit sowie die Bedeutung von Standardisierung gilt es im hier vorgestellten Forschungsvorhaben zu überprüfen. Insofern gibt dieses (Kern)Merkmal grosstechnischer Systeme im Sinne theoretisch sensibilisierender Konzepte der Grounded Theory Methodologie zunächst Impulse für die Erhebungsphase. Zum einen ist bereits bekannt, dass Internetinfrastrukturen durch eine hohe Komplexität bestehender technologischer Strukturen gekennzeichnet sind, welche Star und Ruhleder bspw. als «infrastructural complexity» bezeichnen (Star und Ruhleder 1994, 253). Kompatibilität einzelner Internettechnologien mit anderen ist eine notwendige Voraussetzung für die Funktionalität des Systems.

Zum anderen ist anzunehmen, dass Standardisierung auch hier eine Strategie zur Reduzierung von Unsicherheit und zur Erhöhung von Kontrolle ist, indem Standards u. a. die technische Spezifikation einer Internettechnologie darstellen. Dies gilt es in der weiterführenden Untersuchung zu überprüfen.

Die Ansätze grosstechnischer Systeme führen die Etablierung, Stabilisierung und Ausweitung solcher Systeme auf handelnde Akteur:innen zurück, die als *System Builder* bezeichnet werden. Diese entwickeln, etablieren und stabilisieren grosstechnische Systeme mittels Vernetzung und Auseinandersetzung mit ökonomischen, sozialen und politischen Gegebenheiten. Es wurde bereits in diesem Kapitel ausgeführt, dass die untersuchten grosstechnischen Systeme zu ihrer Entstehungszeit als Insellösungen eingeführt wurden.

Entsprechend ist zu prüfen, ob sich bei der Entwicklung der Internetinfrastruktur und deren Weiterentwicklung (Umbau) ebenso zentrale Akteur:innen identifizieren lassen. Es ist anzunehmen, dass zentrale Akteur:innen in der frühen Entwicklung des Internets zu identifizieren sind, da das Internet analog zu den in der Literatur untersuchten grosstechnischen Systemen eine Innovation darstellte und ebenso eine Insellösung war. Im Fortlauf der Entwicklung und Ausweitung etablierte sich

jedoch ein dezentrales Netzwerk, an dem eine Vielzahl von Akteur:innen und Akteurskonstellationen beteiligt war. Es ist insofern ein Anliegen der vorliegenden Arbeit, die Akteur:innen und Akteur:innenkonstellationen innerhalb des Entwicklungsprozesses am Beispiel des Internetprotokolls mittels des Ansatzes grosstechnischer Systeme zu beschreiben. Weiter erhofft sich die Autorin, bei der Analyse des Umbaus der Internetinfrastruktur den Moment des Umbruchs vom zentralisierten Netz zum dezentralen Netz und eine mögliche Verschiebung innerhalb der Akteur:innenkonstellationen erfassen zu können.

Ihre Prozesshaftigkeit ist ein weiteres identifiziertes (Kern)Merkmal grosstechnischer Systeme und gleichzeitig deren Besonderheit, ein Momentum (Trägheit) auszubilden. Der Literatur zu grosstechnischen Systemen folgend, durchlaufen grosstechnische Systeme systemeigene Entwicklungsphasen im Prozess der Entwicklung, Etablierung und Stabilisierung, die nicht linear verlaufen müssen und mit zunehmender Vernetzung und Ausweitung zu Beharrungstendenzen im Sinne einer Trägheit hinsichtlich der Systemveränderung führen. Im Kontext des vorliegenden Forschungsgegenstands soll, angeregt durch den Ansatz grosstechnischer Systeme, untersucht werden, ob sich entsprechende Entwicklungsphasen bei der Entwicklung und Weiterentwicklung der Internetinfrastruktur (Umbau) erkennen lassen sowie beschrieben werden, wie sich diese darstellen. Weiter soll untersucht werden, ob sich Beharrungstendenzen ausmachen lassen und wie sich diese darstellen.

Insgesamt wird mit dem Ansatz grosstechnischer Systeme der Blick auf das Soziotechnische innerhalb verschiedener untersuchter Infrastruktursysteme gerichtet. Diesem Mehrwert des Ansatzes schliesst sich die vorliegende Arbeit aus oben genannten Gründen an.

Allerdings ist festzustellen, dass der Ansatz grosstechnischer Systeme begrenzt ist. Schliesslich wird mit dem Ansatz grosstechnischer Systeme lediglich eine strukturell beschreibende Einordnung auf der Makroebene eines grosstechnischen Systems vorgenommen. Diese erlaubt nur, die (Kern)Merkmale von Infrastruktursystemen wie dem Internet zu erfassen und diese in ihren Ausprägungen hinsichtlich Grösse, Ausweitung, Vernetzung und Anschlussfähigkeit zu beschreiben sowie das System in seiner prozesshaften Entwicklung unter der Ausbildung von Beharrungstendenzen und einem System Builder darzustellen. Der Ansatz grosstechnischer Systeme bleibt jedoch auf einer rein beschreibenden makrostrukturellen Ebene und gibt keine Ansatzpunkte dafür, die Interaktionen der Systembestandteile zu greifen.

Insofern bleibt die Untersuchung, Erklärung und Analyse, wie die Elemente des soziotechnischen Netzes miteinander agieren und wie Ausweitungen, Vernetzungen, Entwicklungsphasen und Beharrungstendenzen etc. entstehen und sich verändern, im Ansatz grosstechnischer Systeme offen. So wird zwar in den unterschiedlichen Studien festgestellt, dass ein spezifisches System über systemeigene

Strukturmerkmale verfügt, nicht aber, wie diese im Konkreten ausgestaltet sind, wie sich diese beispielsweise auf andere grosstechnische Systeme übertragen lassen oder wie diese bei der Weiterentwicklung eines grosstechnischen Systems wirken.

Folglich greift die vorliegende Arbeit lediglich auf die extrahierten (Kern)Merkmale zur Beschreibung der Strukturebene der Internetinfrastruktur am Beispiel des Internetprotokolls zurück. Dabei gilt es für die vorliegende Untersuchung zu erfassen, ob sich diese Kernelemente empirisch nachweisen lassen. Weiter benötigt die vorliegende Arbeit zur Ausarbeitung einer Grounded Theory weitere sensibilisierende Konzepte als Forschungsheuristik, um nicht nur makroperspektivisch den Umbau der Internetinfrastruktur zu beschreiben, sondern die Bewegungen im Netzwerk zu begreifen.

Ein Ansatz, der die Ausbildung und Interaktionen innerhalb eines Netzwerks thematisiert, ist das Konzept der Akteur:innen-Netzwerk-Theorie (vgl. etwa Callon und Latour 2006a [1981]; Callon 2006b; 2006a [1986]; Latour 1987; Law 2006 [1992]), welches im Folgenden dargestellt und für den Forschungsgegenstand eingeordnet wird.

5.2 Das Konzept der Akteur:innen-Netzwerk-Theorie

Dem «Wie» des wechselseitigen Einflusses technischer Artefakte, organisationaler Einheiten und sozialer Akteure geht die in den 1980er-Jahren von Bruno Latour, Michel Callon und John Law entwickelte Akteur:innen-Netzwerk-Theorie (ANT) (engl. Actor-Network-Theory) nach (vgl. etwa Callon und Latour 2006a [1981]; Callon 2006b; 2006a [1986]; Latour 1987; Law 2006 [1992]).

Die ANT fokussiert sich nicht länger auf einen System Builder, der ein ineinandergreifendes Netz etabliert, stabilisiert und ausbaut, wie Hughes (1983; 1987) oder andere Autor:innen zu grosstechnischen (vgl. Braun und Joerges 1994; Joerges 1996; Mayntz 1988; Mayntz und Hughes 1988; Weingart 1988) herausgearbeitet haben, sondern radikalisiert diese Idee, indem sie das Netzwerk selbst zum zentralen Thema der Untersuchung macht. Dabei versucht die ANT, die Dynamik und Stabilisierung soziotechnischer Netze als Ergebnis von Aushandlungs- und Übersetzungsprozessen verschiedener Akteur:innen zu beschreiben, die sich wechselseitig beeinflussen. Diese Idee ist keinesfalls neu, sondern schliesst an Ansätze der soziologischen Technikforschung an (vgl. etwa Rammert 1993; Rammert und Deutsche Gesellschaft für Soziologie 1998; Weyer 1997).

Im Unterschied zur Technikforschung, die einerseits das ambivalente Verhältnis einer naturgesetzlichen Unbestimmtheit, einer Offenheit und prinzipiellen Gestaltbarkeit der Technikentwicklung, andererseits einer sozialen und technischen Eigendynamik fokussiert (vgl. ebd.), geht die ANT, indem sie den Fokus auf das Netzwerk richtet, von einer Nicht-Differenzierbarkeit des Technischen vom Sozialen aus.

Infolgedessen behandelt die ANT menschliche und nichtmenschliche Akteur:innen in ihren Analysen seitens ihres Handlungspotenzials gleich. Sie schreibt dadurch weder dem Sozialen noch dem Technischen ein höheres Erklärungspotenzial zu und stellt stattdessen die vielfältigen Übersetzungs-, Assoziations- und Einschreibungs-vorgänge in das Zentrum ihrer Untersuchungen (vgl. Latour 1995, 10 ff.).

Der Begriff der *Übersetzung* bedeutet in der ANT aber nicht die Übertragung einer Aussage in eine andere Sprache. Mit Übersetzungen sind Verschiebungen sowie Veränderungen oder auch Ersetzungen gemeint, die im Netzwerk stattfinden. Konkret beschreibt der Prozess der Übersetzung hier die Aktivitäten der beteiligten Akteur:innen, ihre Eigenschaften und Fähigkeiten so zu kombinieren, dass das Produkt ihrer Assoziation die gewünschte Handlung ausführen kann. Übersetzungsprozesse führen infolgedessen zu vielfältigen Verflechtungen und sind Resultat eines wechselseitigen Aufeinanderwirkens der Elemente im Netzwerk (vgl. (Latour 2006c, 541 ff. [1996])).

Für Latour (1995, 10) ist dabei der Begriff des Netzwerks «geschmeidiger als der Begriff des Systems, historischer als die Struktur und empirischer als die Komplexität». In Anlehnung an Deleuze und Guattari (1977) verwendet er jedoch auch den Terminus des *Rhizoms*, da dieser im Gegensatz zu anderen soziologischen Netzwerk-begriffen die verschiedenartigen Verflechtungen eines Netzwerks betont, statt bestimmte Spezifikationen von Beziehungen hervorzuheben (Latour 2006c, 540 f. [1996]).

Laut Latour wird jedes Netzwerkelement durch «die heterogene Reihe seiner Verbindungsglieder definiert» und «nicht anhand der Ersetzbarkeit anderer differentialer Positionen» (Latour 2006c, 541 [1996]). Jeder Teil eines Netzwerks stellt «einen unabhängigen Vermittler und nicht ein Differential am Schnittpunkt einer paradigmatischen oder syntagmatischen Reihe dar, einen Vermittler, der als Ereignis definiert ist, das weder vollkommen Ursache noch Wirkung ist» (Latour 2006c, 542 [1996])

Folglich entsteht in der ANT ein Netzwerk implizit als Ergebnis der die Entitäten zu Aktant:innen verknüpfenden Übersetzungsprozesse. Das Netzwerk erstreckt sich jedoch nicht nur innerhalb der Aktant:innen, sondern auch zwischen den an einer sozialen Handlung beteiligten Aktant:innen, da auch zwischen ihnen Übersetzungsprozesse stattfinden. Jede soziale Situation umgibt daher eine Konstellation unterschiedlicher Netzwerke, deren Gesamtheit das soziale Geschehen beschreibt (vgl. Latour 2006c, 542 [1996])

Folgt man der Perspektive der ANT, gibt es also weder ein erstes noch ein letztes Element im Netzwerk, da einzelne Netzwerkelemente stets auch einen Bestandteil eines anderen Netzwerks bilden. Jedes Akteur:innen-Netzwerk, das mithilfe der ANT untersucht wird, ist demnach ein Teil eines ineinander verflochtenen Netzwerks, das sich unendlich fortsetzt. Netzwerke sind der ANT folgend daher weder

als stabile Gebilde noch als «eine blosse Vielfalt von Fragmenten zu betrachten» (Latour 2006c, 542 [1996]). Vielmehr sind sie durch ihre Flexibilität und Beweglichkeit definiert (vgl. Latour 2006c, 542 [1996]). Weitere Vertreter:innen der ANT, beispielsweise Annemarie Mol und John Law (1994, 641) verwenden in ihrem Aufsatz «Regions, Networks and Fluids», um dieses charakteristische Merkmal von Netzwerken im Sinne der ANT zu beschreiben, auch den Begriff des *Fluids*. Dieser Begriff beschreibt in seiner physikalischen Herkunft etwas Flüssiges, das sich unter verschiedenen Einflüssen verformt. Auch Latour unterstützt dies: «Substanz wird [...] nicht alleine durch die Reihe ihrer Verbindungen [im Netzwerk] neu definiert, sondern auch durch das sich durch sie verteilende Fluid» (Latour 2006c, 543 [1996]). Ziel der ANT ist der Erkenntnisgewinn über die jeweiligen Akteur:innen-Netzwerke sowie eine detaillierte Erklärung der im Netzwerk stattfindenden heterogenen Übersetzungs- und Einschreibungsvorgänge.

Anders als der Ansatz grosstechnischer Systeme nimmt die ANT keine übergeordnete Betrachtungsweise durch eine/n handelnde/n Akteur:in (system buider) zur Erklärung sozialer, technischer oder soziotechnischer Netzwerke ein, sondern erklärt das Soziale sowohl aus der jeweiligen Situation heraus als auch aus Sicht der beteiligten Akteur:innen einschliesslich der technischen und soziotechnischen Verbindungen. Die ANT folgt insofern einer mikroperspektivischen Betrachtungsweise von Netzwerken und ihren Phänomenen.

Mithilfe des methodologischen Vorgehens der ANT (siehe dazu Kapitel 6.4.1) und ihrer mikroperspektivischen Betrachtungsweise können soziotechnische Netzwerke in ihrer Entstehung, Veränderung und Stabilisierung analysiert werden.

Schliesslich können durch die Erweiterung grosstechnischer Systeme um die Mikroperspektive der ANT, die Strukturmerkmale grosstechnischer Infrastruktursysteme, z. B. des Internets, auf der Makroebene beschrieben sowie die Entwicklungen und deren Wechselwirkungen durch letztere auf der Mikroebene analysiert werden (siehe dazu Kapitel 6).

5.2.1 Grundidee der Akteur:innen-Netzwerk-Theorie und ihre Abgrenzung zu anderen Theorien

Bereits seit den 1980er-Jahren gibt es verschiedene Ansätze, Technik und Gesellschaft als ein voneinander abhängiges Phänomen zu erfassen – die in den späten 1980er- und 1990er-Jahren entwickelte ANT wie auch der Ansatz grosstechnischer Systeme sind zwei davon.

Bruno Latour, Michel Callon, John Law und Madeleine Akrich gelten als die Hauptbegründer der ANT. Sie haben sowohl die theoretische und methodologische Definition als auch die forschungspraktische Anwendung entscheidend beeinflusst (vgl. Belliger und Krieger 2006, 11).⁷⁷

Die ANT stellt im Allgemeinen einen poststrukturalistischen Ansatz dar, welcher das moderne Gesellschaftsbild mit seiner scharfen Trennung zwischen der Gesellschaft und den Menschen einerseits, Natur und Technik⁷⁸ andererseits überwinden will. Die Vertreter:innen der ANT lehnen demnach eine rein auf technizistische oder kulturalistische Erklärungsansätze aufbauende Untersuchung ab und stellen stattdessen Akteur:innen-Netzwerke mit ihren Übersetzungs- und Einschreibungsvorgängen von Technik, Natur und Sozialem ins Zentrum ihrer Analysen. Wenn nämlich «Akteure sich in Netzwerke einfügen, ergeben sich Relationen, Verbindungen und Beziehungen, die durch die Prozesse verschiedener Art eingegangen, aufgelöst, transformiert und fixiert werden» (Belliger und Krieger 2006, 24).

Diese vielfältigen Übersetzungs- und Einschreibungsvorgänge veranschaulichen Latour und Woolgar (1979) u. a. in dem Buch «Laboratory Life: The Social Construction of Scientific Facts» ebenso wie Latour alleine in seinem Buch (2002 [1999]) «Die Hoffnung der Pandora – Untersuchungen zur Wirklichkeit der Wissenschaft» sowie Knorr-Cetina (1984) in ihrem Buch «Die Fabrikation von Wissen. Zur Anthropologie der Naturwissenschaften» am Beispiel des Objektivitätsanspruches der Wissenschaft in Laboratorien. Die Autor:innen legen innerhalb dieser Publikationen dar, dass moderne Wissenschaften zwar den Anspruch haben, objektive Wahrheiten innerhalb ihrer Laboratorien zu generieren, dass bei der Generierung von Erkenntnissen aber sehr wohl soziale Faktoren und technische Artefakte die Wissensproduktion beeinflussen und zu Verschiebungen von Wissen oder Wissensrepräsentationen führen können. Insofern legen sie dar, dass Objektivität und Universalität der Wissenschaft innerhalb des Netzwerks konstruiert werden (vgl. Latour 2006b, 131 [1983]).

Die ANT und ihre Vertreter:innen konstatieren daher, dass sich die Natur und die Technik sowie die Gesellschaft und die Menschen wechselseitig Eigenschaften und Handlungspotenziale zuschreiben. Wissenschafts- und Technikentwicklung wird

77 Belliger und Krieger (2006, 9) haben in ihrem Sammelband «ANThology» «Studien, Artikel, Aufsätze und Berichte, die über die letzten drei Jahrzehnte unter dem Namen-Akteur[:innen]-Netzwerk-Theory, kurz ANT)» gesammelt und veröffentlicht. Im Verlauf der vorliegenden Arbeit wird das ursprüngliche Erstveröffentlichungsjahr mit eckigen Klammern und Jahreszahl zusätzlich zum Erscheinungsjahr des Sammelbandes kenntlich gemacht, um so eine historische Einordnung der einzelnen Publikationen im Entwicklungsverlauf der ANT vornehmen zu können. Dieser Sammelband ist in deutscher Sprache erschienen und hat auch bspw. ursprünglich in französischer Sprache erschienene Studien ins Deutsche übersetzt.

78 Innerhalb der ANT-Studien wird anders als in dem Ansatz großtechnischer Systeme explizit die Natur zusätzlich zur Technik aufgegriffen. Es lässt sich vermuten, dass sich dies u.a auf die Forschungsthemen einiger anfänglicher Studien zurückführen lässt, die bspw. Kammuscheln (Callon 2006b [1986]) oder Bodenproben (Latour 2002 [1999]) zum Gegenstand haben.

somit weder ausschliesslich durch technische noch durch soziale Faktoren verursacht. Folglich beschreiben Vertreter:innen der ANT Technik nicht länger als einen isolierten Bereich der Gesellschaft oder die Gesellschaft als Umwelt der Technologie, wie beispielsweise innerhalb des Ansatzes grosstechnischer Systeme, sondern stellen deren wechselseitige Abhängigkeiten ins Zentrum des Netzwerks.

Auch die ANT, wie auch bereits der Ansatz grosstechnischer Systeme, widerspricht mit dieser Betrachtungsweise sowohl der sozialkonstruktivistischen Sichtweise als auch den technikdeterministischen Ansätzen.

Ebenso steht die ANT der realistischen Techniksoziologie als Art Mischform von Sozial- und Technikdeterminismus entgegen. Grund dafür ist, dass die *realistische Techniksoziologie* eine Wechselwirkung zwischen technischer und sozialer Ebene annimmt und dies darauf zurückführt, dass sich Technik und Soziales gegenseitig zur Weiterentwicklung beeinflussen (vgl. Joerges 1989; Braun 1993).

So erarbeitete Bernward Joerges (1989) im Rahmen technikrealistischer Ansätze ein Modell, das nachzuzeichnen versucht, wie technische Artefakte sowohl in soziale als auch in technische Kontexte eingebunden sind. So zeigten seine Analysen auf, welche handlungsanleitenden Aufträge technische Artefakte erhalten und dass diese sowohl von den Handlungszusammenhängen, unter denen sie stehen, als auch aufgrund ihrer Eigenschaften mit determiniert sind (vgl. Joerges 1989, 62 f.).

Ingo Braun (1993) entwickelte basierend auf dieser Idee das Konzept der Technik-Spiralen. Braun folgend führen soziale Faktoren wie Notwendigkeiten und Wünsche zur Entwicklung spezifisch angepasster Techniken. Dementsprechend werden in technischen Artefakten Normen und Handlungen in einer dinglichen Form repräsentiert (vgl. 1993, 100).

Folglich wird aus Sicht der realistischen Techniksoziologie das Soziale durch technische Entwicklungen determiniert, da die Präsenz der Artefakte dazu führt, dass Menschen Techniken in gesellschaftliche Handlungszusammenhänge integrieren. Demnach beeinflussen sich Technik und soziales zwar wechselseitig, sind aber gleichzeitig zwei unvereinbare Teilbereiche der Gesellschaft.

Vertreter der ANT sprechen sich hingegen für eine *symmetrische Assoziation von technischen Artefakten und menschlichen Entitäten* aus. Dies begründen sie damit, dass in dem Umfang, in dem technische Artefakte in soziale Handlungszusammenhänge integriert werden, dieses Handlungspotenzial zugeschrieben und die Technik so selbst handlungsfähig wird. Infolgedessen behandeln Vertreter der ANT technische Artefakte in ihren Untersuchungen wie soziale Akteur:innen und bezeichnen diese als *Aktant:innen* (vgl. u. a. Latour 1995; Callon und Latour 2006b [1991]).

Die Kernelemente der ANT und ihr Selbstverständnis werden im Folgenden dargestellt.

5.2.2 Die Kernelemente der Akteur:innen-Netzwerk-Theorie: Aktant:innen, Übersetzung, Netzwerke

Zunächst ist festzuhalten, dass die ANT nach Latour keine Theorie im engeren Sinne ist. «[D]ie ANT ist einfach eine andere Art, den Einsichten der Ethnomethodologie treu zu sein: Akteure wissen, was sie tun und wir müssen von ihnen nicht nur lernen, was sie tun, sondern auch, wie und weshalb sie es tun (Latour 2006e, 566 [1999]).

Die ANT besitzt demnach eher den Charakter einer Methodologie, mit der es möglich wird, «von einem Punkt [im Netzwerk] zum nächsten zu reisen, von einem Feld zum nächsten» und somit das Netzwerk in einer möglichst ganzheitlichen Form zu erfassen (vgl. Latour 2006e, 567 [1999]).

Zentral ist jedoch, dass dieser Fokus der Betrachtung von Aktant:innen in ihrem Wirken und Handeln den Blick auf die Mikroperspektive des Netzwerks richtet. Dieser Perspektive schliesst sich die vorliegende Arbeit an und nutzt die ANT für eine mikroperspektivische Analyse von Akteur:innen-Netzwerken und bedient sich der ANT-spezifischen Forschungsheuristiken und Begriffe, die im Fortlauf des Kapitels vorgestellt werden.

Im Folgenden sollen drei grundlegende Elemente der ANT erläutert werden: der Begriff der *Aktant:in*, mit dem die Ausdehnung der Handlungsfähigkeit von menschlichen auf nicht-menschliche Entitäten erfolgt, das Konzept der Übersetzung sowie schliesslich der Begriff des *Netzwerks*.

Es sei an dieser Stelle bereits angemerkt, dass einige Begrifflichkeiten der ANT eine besondere Problematik darstellen, auf die Bruno Latour selbst (2006e [1999]) verweist, weil sie im soziologischen und im alltäglichen Sprachgebrauch unterschiedlich verwendet werden. Trotz vielfacher Kritik konnte sich eine begriffliche Umgestaltung jedoch nicht durchsetzen (Latour 2006e, 565 [1999]).

5.2.2.1 *Aktant:innen*

Einer der fundamentalsten Begriffe der ANT ist der der *Aktant:in*. Dieser darf jedoch nicht mit dem Begriff *Akteur:in* verwechselt werden, da Aktant:innen in der ANT nicht nur menschliche Entitäten, sondern auch technische Artefakte oder natürliche und organisationale Gegebenheiten umfassen. Diese Erweiterung von menschlichen Entitäten auf Nicht-Menschliche basiert unter anderem auf der Einsicht, dass sich Menschen häufig auf technische Artefakte stützen und diese dadurch selbst handlungsfähig werden (vgl. Latour 2001, 247 [1994]).

Für ein besseres Verständnis möchte ich dies am Beispiel des Personal Computers (PC) erläutern. Der Computer wurde ursprünglich zur Zahlenverarbeitung entwickelt. An eine Nutzung u. a. von Privatpersonen dachte damals niemand. Mit zunehmender Leistungsfähigkeit technischer Komponenten wurden im historischen Verlauf jedoch Geräte entwickelt, die nach und nach eine enorme Bandbreite an Anwendungen ermöglichten. So erlauben die technischen Entwicklungen heutiger PCs

den Betrieb so unterschiedlicher Programme wie Textverarbeitung, Tabellenkalkulation, Grafikverarbeitung, Nutzung von Social Media Plattformen, Online-Einkäufe und vieles mehr.

Der PC an sich kann jedoch weder einen Text verfassen noch eine Grafik bearbeiten, sondern erst der Computer in Assoziation mit dem Menschen ist dazu fähig.

Dabei bringen beide Elemente, Mensch und technisches Artefakt, spezifische Eigenschaften mit. So besitzt der Mensch die Befähigung, den Plan zu fassen und eine grafische Bearbeitung durchzuführen, da er sowohl selbstständig bewegungsfähig ist als auch eine zu bearbeitende Grafik auswählen kann. Der Computer andererseits hat aufgrund seiner physikalischen und logischen Architektur (Prozessor, Grafikkarte, Eingabegerät, Software etc.) die Möglichkeit, nach Anweisung durch den Menschen ein Bild zu verändern.

Wie sich an diesem Beispiel – und innerhalb der ANT-Studien z.B. an Türschliessern (vgl. Latour 2006a [Johnson, Jim] [1988]) oder Waffen (vgl. Latour 2002, 214–19) – zeigt, handelt also weder die/die menschliche Akteur:in noch das technische Artefakt alleine, sondern beide Elemente nehmen zu gleichermassen bedeutenden Teilen an einer Interaktion teil. Innerhalb der ANT wird dies als *symmetrische Anthropologie* beschrieben (vgl. Latour 1995). Demnach gibt es

«nicht auf der einen Seite die Akteure und auf der anderen Seite die Kräftefelder. Es gibt nur die Akteure – die Aktanten, von denen jeder nur dann »zum Handeln übergehen« kann, wenn er sich mit anderen assoziiert» (Latour 2001: 19).

Folglich ist in der ANT «Akteur [...], wer von vielen anderen zum Handeln gebracht wird» (Latour 2010, 81). Das Konzept der symmetrischen Anthropologie wurde innerhalb des wissenschaftlichen Diskurses vielfach diskutiert und kritisiert. Auf

die diversen Kritikpunkte kann an dieser Stelle nicht eingegangen werden. Vielmehr soll dargestellt werden, welchen Kernelementen der ANT sich die vorliegende Arbeit anschliesst.⁷⁹

Entgegen vieler Kritik geht es den Vertreter:innen der ANT nicht darum, technische Artefakte als kognitiv bewusst handelnde Entitäten zu charakterisieren, da dies bedeuten würde, «die Zirkulation, die Serie von Transformationen anzuhalten, deren Bewegung kontinuierlich den sozialen Körper durchzieht» (Latour 2001, 18). Stattdessen geht es ihnen darum, menschliche Entitäten in Forschungen wie technische Artefakte zu behandeln und diese entsprechend in den Untersuchungen zu berücksichtigen (vgl. Latour 2006e, 566). Dieser Perspektive schliesst sich die vorliegende Arbeit an, um den Umbauprozess der Internetinfrastruktur möglichst umfassend zu erfassen und zu erklären.

5.2.2.2 Übersetzung

Der Prozess, der zur Entstehung von Aktant:innen führt und sie mit anderen assoziiert, ist die Übersetzung. Diese stellt ein weiteres wichtiges Kernelement der ANT dar und meint nicht wie im alltagssprachlichen Gebrauch die Übertragung einer Aussage in eine andere Sprache. Der Prozess der Übersetzung beschreibt Aktivitäten

79 Die symmetrische Anthropologie der ANT wird unter anderem von Werner Rammert und Ingo Schulz-Schaeffer (2002) kritisiert. Nach Rammert und Schulz-Schaeffer (2002) gehen wichtige Handlungsunterschiede durch das symmetrische Konzept der ANT verloren. Sie schlagen daher einen graduализierten Handlungsbegriff vor, der drei verschiedene Formen beinhaltet. Während sich die ersten beiden Formen des Handelns bei menschlichen *und* nicht-menschlichen Entitäten auffinden lassen, ist die dritte Form ausschließlich bei Menschen zu finden. Durch die Unterteilung in unterschiedliche Handlungsgrade werden die Differenzen zwischen menschlichen und nichtmenschlichen Entitäten aufrechterhalten sowie ihre Assoziationen aufgezeigt, ohne, Rammert und Schulz-Schaeffer zufolge, im begrifflichen Niemandsland der ANT zu stranden (vgl. Rammert und Schulz-Schaeffer 2002, 48 ff.; 2002)

Weitere Kritikpunkte an der ANT führt Nina Degele (2002) an. Indem das Zusammenwirken einzelner Elemente im Netzwerk in das Zentrum der Analyse der ANT rückt, werden, so Degele, systematisch emotionales Handeln, Unterlassungen oder Nebeneffekte von Handlungen aus der Untersuchung ausgeschlossen. Demnach kritisiert Degele, dass im Rahmen der Analyse mit der ANT ausschließlich sichtbares und zweckrationales Handeln erforschbar wird (vgl. 2002, 140)

Auch Latour selbst hat sich in dem Artikel «Über den Rückruf der ANT» mit einigen Schwierigkeiten der ANT befasst (vgl. Latour 2006 [1999]). Sein Beitrag «Über den Rückruf der ANT» (Latour 2006e [1999]) beginnt mit der Feststellung, «dass es vier Dinge gibt, die bei der ANT problematisch sind: das Wort Akteur, das Wort Netzwerk, das Wort Theorie und der Bindestrich! Vier Nägel zum Sarg» (Latour 2006e, 561 [1999]).

Der Begriff des Netzwerks, so Latour, bezeichnete ursprünglich «eine Reihe von Transformationen – Übersetzungen, Umformungen –, die nicht von irgendeinem traditionellen Begriff der Sozialtheorie erfasst werden konnten» (Latour 2006e, 561 [1999]). Schwierigkeiten sieht Latour auch bei dem Begriff Akteur:in und in dessen Bindestrich-Verbindung zum Wort Netzwerk. Latour folgend erinnert dieser Begriff viele Sozialwissenschaftler:innen an die Handlungs-Struktur-Unterscheidung. Der dritte Punkt der ANT, den Latour als problematisch erachtet, ist das Wort Theorie. *Die ANT sollte laut Latour nie eine Theorie im herkömmlichen sozialwissenschaftlichen Sinne sein, die versuchen würde, das Handeln sozialer Akteur:innen zu erklären.* Als letzten Kritikpunkt fokussiert er den Bindestrich, der als Platzhalter für die Probleme moderner Gesellschaft stehe (siehe dazu weiterführend: Latour 2006e [1999]).

der beteiligten Aktant:innen, ihre Eigenschaften und Fähigkeiten so zu kombinieren, dass das Produkt ihrer Assoziation die gewünschte Handlung ausführen kann. Dieser Prozess ist immer an Veränderung, Verschiebung und/oder Ersetzung gekoppelt und insofern Resultat eines wechselseitigen Aufeinanderwirkens der Aktant:innen (vgl. Latour 2010, 68f.).

In ANT-Studien beschreibt Latour diesen Sachverhalt sehr bezeichnend am Beispiel von Türschliessern (vgl. Latour 2006a [Johnson, Jim] [1988]) und Hotel-Schlüsselanhängern (vgl. Latour 2006d [1991]). Letzteres möchte ich im Folgenden kurz vorstellen:

Hotelmanager:innen sind der Studie folgend stets mit dem Problem konfrontiert, dass Gäste regelmässig vergessen, ihren Schlüssel bei der Abreise an der Hotelrezeption abzugeben. Um dieses Problem zu lösen, wurden verschiedene Strategien verfolgt. Es wurden Schilder aufgestellt, die an die Abgabe erinnern sollten, und die Gäste beim Verlassen des Hotels um die Schlüssel gebeten. Nachhaltig gelöst wurde im Fall der Studie dieses Problem jedoch anders. Es erfolgte die Einführung eines unhandlichen Schlüsselanhängers, der die Gäste aufgrund des Gewichts zur Abgabe des Schlüssels vor Verlassen des Hotels (vgl. Latour 2006d, 370 ff. [1991]).

Dieses kurze Beispiel zeigt in recht einfacher Form, dass erst die Assoziation des Schlüssels mit dem Gast die Abgabe veranlasste. Denn der Schlüssel hatte durch den Schlüsselanhänger ein unhandliches Gewicht und die Aufforderung zur Schlüsselabgabe war dadurch bereits ins Artefakt eingeschrieben. Sie war in gewisser Weise durch die Technik stabilisiert und konnte sich dadurch gegenüber anderen Strategien durchsetzen (vgl. Latour 2006d, 395 [1991]).

Diese am Beispiel des Schlüsselanhängers und Gastes geschilderten Übersetzungsprozesse bestehen nach Callon (Callon 2006a, 146 [1986]) aus «vier Momenten, die sich in der Realität überlappen können» und «in dessen Verlauf die Identität der Akteure, die Möglichkeit der Interaktion und der Handlungsspielraum ausgehandelt und abgegrenzt» wird. Diese vier Momente gliedern sich, Callon folgend, in Problematisierung, Interessement, Enrolment und Mobilisierung (vgl. Callon 2006a, 146 ff. [1986]).

In der Phase der *Problematisierung* werden andere beteiligte Aktant:innen durch die Hauptaktant:innen involviert, indem «ihre Identitäten und wechselseitigen Verbindungen festgelegt werden» (Callon 2006a, 149 [1986]). Dies erfolgt durch die Verschiebung der Interessen der anderen Aktant:innen hin zur Stützung der eigenen Interessen der Hauptaktant:innen. So können Allianzen gebildet werden, um eigene Ziele durchzusetzen (vgl. Callon 2006a [1986]: 150). Den Punkt, an dem dies möglich wird, nennt Callon *obligatorischen Passagepunkt (OPP)* (vgl. Callon 2006a, 149 [1986]).

Einen weiteren Moment im Übersetzungsprozess nennt Callon *Interessement*. Dieser Vorgang beschreibt unterschiedliche Aktivitäten, durch die Aktant:innen versuchen, ihre Position zu stabilisieren. Dazu grenzen sie sich von anderen ab, indem «sie ihre Identität, ihre Ziele, Projekte, Orientierungen, Motivationen oder Interessen auf eine andere Art definieren» (Callon 2006a, 151 [1986]). Dementsprechend bauen diese in der Phase der Übersetzung Schranken zwischen sich und anderen Entitäten auf (vgl. Callon 2006a, 152 [1986]).

Den dritten Moment der Übersetzung bezeichnet Callon als *Enrolment*. Dies bezeichnet «den Vorgang, in dem ein Set von zueinander in Beziehung stehenden Rollen definiert und Akteuren zugeteilt wird, die sie akzeptieren» (Callon 2006a, 156 [1986]). Das Enrolment beschreibt demzufolge die Verhandlungen und Strategien, die Aktant:innen zum Erfolg in der Verfolgung ihrer Interessen und Ziele verhelfen (vgl. Callon 2006a, 156 [1986]).

Mit dem vierten Moment der *Mobilisierung* definiert Callon die Aktionen, die dazu führen, dass die beteiligten «Akteure zuerst verschoben und dann zu einer bestimmten Zeit an einem bestimmten Ort wieder versammelt» (Callon 2006a, 163 [1986]) werden. Akteure handeln dazu im Moment der Mobilisierung Sprecher aus, die eigene Aktionen gegenüber anderen Entitäten repräsentieren. Eine erfolgreiche Mobilisierung führt so zu einem Konsens, in dem die «Handlungsspielräume jeder Entität fest abgesteckt» werden und «ein zwingendes Netzwerk von Beziehungen geknüpft» (Callon 2006a, 164 [1986]) wird. Die Repräsentationen der Aktant:innen können jedoch jederzeit angefochten werden, wodurch die Übersetzung hinfällig wird und weitere Kontroversen ausgelöst werden (vgl. Callon 2006a, 164 [1986]).

Nach Callon erlauben es diese vier Momente der Übersetzung, Aktant:innen bei ihrer «Konstruktion und Dekonstruktion von Natur und Gesellschaft» (Callon 2006a, 164 [1986]) zu beobachten, indem man den Entitäten in ihre Welt der Identitätsbildung, Verhandlung, Abgrenzung, Stabilisierung und Veränderung folgt.

5.2.2.3 Netzwerk

Um nicht länger in einzelnen Entitäten zu denken und die vielfältigen Verflechtungen der Aktant:innen zu greifen, verwendet Latour den Begriff des *Netzwerks*. Dieser beschreibt ein Akteur:innen-Netzwerk im Sinne der ANT als das Produkt der die einzelnen Entitäten zu Aktant:innen verknüpfenden Übersetzungsprozesse. Der Netzwerk-begriff wird im Folgenden als drittes Kernelement der ANT behandelt.

Für Bruno Latour ist der Begriff des Netzwerks «geschmeidiger als der Begriff des Systems, historischer als die Struktur und empirischer als die Komplexität» (Latour 1995, 10). In Anlehnung an Deleuze und Guattari (1977) verwendet er jedoch auch den Begriff des Rhizoms (vgl. 2006c, 541 [1996]). Dieser betont im Gegensatz zu anderen soziologischen Netzwerk-begriffen die verschiedenartigen Verflechtungen

eines Netzwerks, statt bestimmte Charakteristika von Beziehungen hervorzuheben (Deleuze und Guattari 1977), wie bspw. Granovetter (1973) durch «strong» und «weak ties».

Nach Latour wird ein Netzwerk durch «die heterogene Reihe seiner Verbindungsglieder definiert» und «nicht anhand der Ersetzbarkeit anderer differentialer Positionen» (Latour 2006c, 541 [1996]). Ein Akteur:innen-Netzwerk im Sinne der ANT besteht demnach zunächst aus Aktant:innen mit jeweils unterschiedlichen Funktionen. Jedes Netzwerkelement stellt jedoch

«einen unabhängigen Vermittler und nicht ein Differential am Schnittpunkt einer paradigmatischen oder syntagmatischen Reihe dar; einen Vermittler, der als Ereignis definiert ist, das weder vollkommen Ursache noch Wirkung ist» (Latour 2006c, 542 [1996])

Das Akteur:innen-Netzwerk erstreckt sich demnach nicht nur innerhalb der Übersetzungsprozesse der verschiedenen Entitäten – der Aktant:innen –, sondern auch zwischen den an einer sozialen Handlung beteiligten Aktant:innen, da wiederum auch zwischen ihnen Übersetzungsprozesse stattfinden. Dies führt dazu, dass jede soziale Situation eine ganze Konstellation verschiedener Netzwerke umgibt, dessen Gesamtheit das soziale Geschehen beschreibt (vgl. 2006c, 541 f. [1996]).

Folgt man der Perspektive der ANT, gibt es demnach weder ein erstes noch ein letztes Element im Akteur:innen-Netzwerk, da Aktant:innen stets auch einen Bestandteil eines anderen Netzwerks bilden. Jedes Akteur:innen-Netzwerk, das mithilfe der ANT untersucht wird, ist demnach Teil eines ineinander verflochtenen Netzwerks, das sich unendlich fortsetzt (vgl. Latour 2006c, 542 [1996]).

Insofern zeichnen sich Akteur:innen-Netzwerke durch eine hohe Komplexität aus und können weder als stabile Gebilde noch als «bloße Vielfalt von Fragmenten» beschrieben werden (Latour 2006c, 542 [1996]). Vielmehr sind sie durch ihre Flexibilität und Beweglichkeit definiert (vgl. Latour 2006c, 542 [1996]).

5.2.3 Zwischenfazit zur Akteur:innen-Netzwerk-Theorie für den Forschungsgegenstand des Umbaus der Internetinfrastruktur

Durch die Perspektive der ANT kann eine detaillierte Betrachtung der im Netzwerk stattfindenden heterogenen Übersetzungs- und Einschreibungsvorgänge der beteiligten Akteur:innenkonstellationen vorgenommen werden und können Erkenntnisse über die jeweiligen Akteur:innen-Netzwerke gewonnen werden. Statt eine übergeordnete makroperspektivische Betrachtungsweise zur Erklärung sozialer Phänomene einzunehmen, erklärt die ANT das Soziale mikroperspektivisch sowohl aus der jeweiligen Situation heraus als auch aus Sicht der an den Netzwerken beteiligten Aktant:innen. Dies ist ein entscheidender Unterschied zum Ansatz grosstechnischer

Systeme, der eine Makroperspektive einnimmt und strukturelle Besonderheiten von Infrastrukturen beschreibt sowie einen System Builder identifiziert, der ein solches System entwickelt, etabliert, stabilisiert und ausweitet.

Anzumerken ist jedoch, dass die ANT aufgrund ihres bislang stark begrenzten Vokabulars nicht den Anforderungen einer Sozialtheorie gerecht wird. Latour folgend hat die ANT jedoch auch nicht diesen Anspruch (vgl. Latour 2006e, 566 [1999] vgl. auch die Bemerkung S.73, v. a. in in Fußnote 79). Stattdessen kann sie aufzeigen, «wie und weshalb» Akteur:innen etwas tun, nicht aber, warum sie etwas tun (ebd.).

Beides ist jedoch für die vorliegende Arbeit kein Nachteil, da kein Anspruch besteht, die ANT als eine vorgefertigte Theorie zu nutzen, um den Umbau der Internetinfrastruktur zu erklären. Ziel der vorliegenden Arbeit ist, eine gegenstandorientierte Theorie zum Umbau der Internetinfrastruktur zu entwickeln. Insofern dient die ANT, wie eingangs erläutert, lediglich als Forschungsheuristik (s. o.).

Demzufolge bietet die ANT einen ethnomethodologisch orientierten Forschungsansatz, der nicht beansprucht, «das Verhalten und die Beweggründe der Akteure zu erklären, sondern nur die Prozeduren zu finden, die Akteure dazu befähigen, ihre Wege durch die weltbildenden Aktivitäten des jeweils [A]nderen zu finden» (Latour 2006e, 567 [1999]). Insofern ist sich die Autorin der Grenzen der ANT im Kontext der vorliegenden Arbeit bewusst.

Für die Analyse des Umbaus der Internetinfrastruktur am Beispiel der Entwicklung und Einführung des TCP/IP bis zum IPv6 ist durch die «symmetrische Anthropologie» (Latour 1995) der ANT eine sehr offene Vorgehensweise möglich, da neben sozialen Akteur:innen auch nicht-menschliche Akteur:innen wie sachliche Elemente (z. B. Technologien, Standards etc.) sowie zeitlich-räumliche Strukturen (z. B. Projektarbeit, räumliche Distanzen von Entwickler:innen etc.) in die Analyse einbezogen werden können. Der Einbezug heterogener Akteur:innen, die Ausweitung des Akteur:innenbegriffs im Sinne einer Handlungsfähigkeit sowie die offene Vorgehensweise der ANT ist notwendig, da die Einführung einer infrastrukturveränderten Technologie bisher in der wissenschaftlichen Forschung unzureichend thematisiert und untersucht worden ist (siehe dazu auch die Ergebnisdarstellung des Literaturreviews). Ausserdem ist der Umbau der Internetinfrastruktur durch Einführung des Internetprotokolls ausschliesslich computervermittelt, also mittels Zugriff einer/s sozialer/n Akteur:in auf das Netzwerk via Computertechnologie möglich. Folglich ist bei jedem Zugriff auf das Netzwerk immer die Verwendung eines Computers notwendig, mittels dessen soziale Akteur:innen interagieren. Weiter ist das Internetprotokoll, um funktionsfähig zu sein, in ein System komplementärer Technologien eingebettet und von diesen abhängig. Dies hat zur Folge, dass soziale Akteur:innen bei der Einführung des IPv6 in die Netzwerkstruktur ausschliesslich gemeinsam mit

einem technischen Element Änderungen an der Internetinfrastruktur vornehmen können und die Technologie an sich wiederum in ein Netzwerk anderer Technologien eingebettet ist.

Mithilfe der ANT kann dieses verflochtene Netzwerk aus sozialen Akteur:innen, sachlichen Elementen und zeitlich-räumlichen Strukturen analysiert werden, um so die heterogenen Prozesse der Veränderung, Verschiebung, Verlagerung, Stabilisierung etc. im Einführungsprozess des Internetprotokolls herauszustellen und Erkenntnisse über den Umbau der Internetinfrastruktur zu gewinnen. Diese werden anschließend zu einer gegenstandsorientierten Theorie verdichtet.

6. Zwischenfazit

Im vorliegenden Kapitel werde ich zunächst die Vorarbeiten zur Ausgangslage, dem Forschungsfokus sowie den Ergebnissen des Literaturreviews und die theoretisch sensibilisierenden Konzepte zusammenfassen und verschränken. Daran anschließend werde ich eine methodologische Reflexion vornehmen und die forschungsleitenden Fragestellungen daran konkretisieren. Abschliessend beleuchte ich die forschungspraktischen Implikationen dieser Vorarbeiten als Vorbereitung für die Fallauswahl sowie den forschungsmethodologischen Rahmen der vorliegenden Arbeit.

6.1 *Ausgangslage, Forschungsfokus, Literaturreview und theoretisch sensibilisierende Konzepte*

Aus der skizzierten *Ausgangslage* wurde die Relevanz von Infrastrukturen in ihrer Funktion und Funktionalität für die Gesellschaft dargelegt. Zunächst wurden dazu Infrastrukturen im Allgemeinen beleuchtet, anschliessend im Speziellen die Internetinfrastruktur thematisiert.

Zur Internetinfrastruktur wurde deutlich, dass ohne leistungsfähige Infrastruktursysteme kaum ein Bereich der modernen Gesellschaft denkbar ist. Allen anderen Infrastrukturen voran entwickelte sich die Internetinfrastruktur binnen weniger Jahrzehnte zu einem hochkomplexen Verbund weltweit verfügbarer Rechnernetzwerke. In diesem Kontext wurde insbesondere auf den Anstieg der Nutzer:innenzahlen wie auch auf die Vervielfältigung von Anwendungen und Technologien verwiesen sowie diese Änderungen mittels statistischer Kennzahlen belegt.

Seitens der Nutzer:innen wurde beispielhaft dargelegt, dass je nach Anwendungsbereich der Ausfall oder die Beeinträchtigung der Internetinfrastruktur oder eines Teilbereichs davon folgenschwer für weite Bereiche der Gesellschaft sind. Im Kontext dessen wurde die Notwendigkeit der Funktionalität der Internetinfrastruktur thematisiert sowie seitens der Politik auf Initiativen zur Aufrechterhaltung verwiesen.

Auf technologischer Seite wurde von der Autorin aufgezeigt, dass Internetinfrastrukturtechniken auf mehreren Ebenen mit weiteren Techniken vernetzt sind und aufeinander aufbauen bzw. ineinandergreifen. Daraus wurde abgeleitet, dass sowohl der Entwicklungs- als auch der Einführungsprozess in das bestehende System für Entwickler:innenteams sehr aufwendig ist, da die Neuimplementation im laufenden Betrieb in eine immer komplexer werdende Struktur erfolgen muss.

Anhand dieser Besonderheiten von Internetinfrastrukturen und Internetinfrastrukturtechnologien wurde für die Ausgangslage konstatiert, dass die bestehende technologische Infrastruktur durch Einführung von Infrastrukturtechnologien stets

umgebaut werden muss. Der *Systemumbau* ist somit für die Funktionalität und Aufrechterhaltung der Internetinfrastruktur ein zentrales Moment und stellt den *Forschungsfokus* der vorliegenden Arbeit dar.

Daran anschliessend wurde aufgrund einer unzureichenden Literaturlage zum Forschungsfokus des Umbaus der Internetinfrastruktur ein systematisches *Literaturreview* durchgeführt, und dessen Aufbau sowie die Ergebnisse dargestellt, um u. a. Vorarbeiten zu identifizieren. Die Autorin resümierte aus den Ergebnissen des Literaturreviews, dass sich zwar eine Vielzahl von Publikationen mit dem Internet im Allgemeinen beschäftigt und bspw. dem Verhalten seiner Nutzer:innen. Auch wird die Historie des Internets oder die Neueinführung von Internettechnologien beschrieben; der Umbau der Internetinfrastruktur durch Infrastrukturtechnologien wird jedoch nur innerhalb einer einzigen Publikation thematisiert.

Auf Basis des Literaturreviews leitete die Autorin die hohe Relevanz der Untersuchung des Umbaus der Internetinfrastruktur ab und konkretisierte daran den *Forschungsgegenstand* sowie das Ziel, eine gegenstandsorientierte Theorie zum Systemumbau der Internetinfrastruktur in Anlehnung an die GTM zu entwickeln.

Auf Basis des Forschungsparadigmas der GTM, den Erkenntnissen und Ausführungen zur Ausgangslage, dem Forschungsfokus, den Ergebnissen des systematischen Literaturreviews und der Konkretisierung des Forschungsgegenstandes erfolgte ein erster theoretischer Zugang zum Forschungsfeld des Umbaus der Internetinfrastruktur.

Die Autorin führte dazu die Erkenntnisse des Ansatzes grosstechnischer Systeme aus und extrahierte die (Kern)Merkmale grosstechnischer Infrastruktursysteme im Kontext der historischen Entwicklung der Technikforschung. Zu diesen gehört der Begriff des *soziotechnischen Netzwerks* sowie die folgenden (Kern)Merkmale zur Beschreibung grosstechnischer Systeme: Grösse und Ausweitung, Vernetzung und Anschlussfähigkeit, System Builder sowie Momentum und Prozesshaftigkeit. Resümierend machte die Autorin deutlich, dass ein grosses Verdienst des Ansatzes der GTS darin besteht, dass die Vertreter:innen den Blick auf die soziotechnischen Verflechtungen innerhalb eines solchen Systems gerichtet haben. Weiter wurde innerhalb der vorliegenden Ausführungen zum Ansatz grosstechnischer Systeme dargestellt, dass diese soziotechnische Netzwerke in ihrer Entwicklung, Etablierung, Stabilisierung und Ausweitung auf einer strukturellen Ebene beschreiben können, die einer Makroperspektive folgt.

Abschliessend legte die Autorin dar, dass der Ansatz der GTS jedoch keine Auskunft darüber gibt, wie soziotechnische Verflechtungen entstehen. Daher richtete die vorliegende Arbeit den Blick auf die Akteur:innen-Netzwerk-Theorie, mit der eine mikroperspektivische Analyse der im Netzwerk stattfindenden

heterogenen Übersetzungs- und Einschreibungsvorgänge der beteiligten Akteur:innenkonstellationen vorgenommen werden kann. Dazu stellte die Autorin die Grundidee der ANT vor und definierte die zentralen Begriffe: Aktant:innen, Übersetzung und Netzwerk.

Nach der nun erfolgten Darlegung der bisherigen Vorarbeiten gilt es nun, darüber zu reflektieren, welche Bedeutung dies für die vorliegende Arbeit hat. Für die vorliegende Arbeit im Kontext der Grounded Theory als Forschungsparadigma ist nämlich zu konstatieren, dass sich die bevorstehenden empirischen Beobachtungen nicht isoliert – z. B. von theoretischen Konzepten – beobachten lassen, da sie immer auch Einfluss auf die Betrachtungsweise der Daten und das methodologische Vorgehen nehmen (siehe Kapitel 2). Die aus den Vorarbeiten entstehenden Implikationen werden im Folgenden dargelegt.

6.2 Reflexion auf methodologischer Ebene

Wie verschiedene Fallstudien aus dem Bereich der ANT und dem Ansatz der GTS zeigen, ist die Beschreibung des Forschungsgegenstandes gleichzeitig seine Analyse. Im Fall des Ansatzes grosstechnischer Systeme beschreiben Vertreter:innen anhand der Entstehung des Eisenbahnnetzes, des Flugverkehrssystems in den USA oder des deutschen Telefonnetzes die *Makrostruktur* solcher spezifischer Systeme (vgl. Mayntz 1988; Mayntz und Hughes 1988; Braun und Joerges 1994; Hughes 1983; Bijker, Hughes, und Pinch 1987; Joerges 1988; 1996).

Es sei an dieser Stelle konstatiert, dass zwar einzelne Studien zu verschiedenen Infrastruktursystemen vorliegen, bisher jedoch keine systematische Untersuchung zur Internetinfrastruktur als grosstechnischem System erfolgt ist. Insofern wird nochmals deutlich, dass es sich bei dem vorliegenden Forschungsgegenstand des Umbaus der Internetinfrastruktur um ein wenig exploriertes Feld handelt.

Analog zu den Fallstudien der grosstechnischen Systeme fertigten Vertreter:innen der ANT – u. a. Callon (2006a [1986]) in ihren Studien über die Entwicklung eines Elektroautos, Law und Callon (2006 [1994]) zum «Leben und Sterben eines Flugzeugs» sowie Latour (Latour 2006a [unter den Namen Johnson][1988]) zu Türschliessern – Fallstudien an, die untersuchen, wie verschiedene Akteur:innen-Netzwerke auf der *Mikroebene* entstehen.

Letztere analysieren insbesondere in forschungspraktischer Hinsicht bei stetiger Variation der Beobachtungsperspektive das untersuchte Netzwerk, beschreiben relevante Netzwerkakteur:innen im Sinne der Identifikation von Aktant:innen und stellen ihre Übersetzungsprozesse heraus, die diese Akteur:innen-Netzwerke entstehen lassen (vgl. Degele 2002, 134).

Auch der Ansatz grosstechnischer Systeme verfolgt ein ähnliches Ziel auf der Makroebene, indem er Charakteristika untersuchter grosstechnischer Systeme beschreibt. Diese sind jedoch systemspezifisch, auch wenn einige übergreifende (Kern)Merkmale im Kontext der vorliegenden Arbeit aus den Studien extrahiert werden konnten.

Insofern verbleibt der Ansatz grosstechnischer Systeme im Gegensatz zur mikroperspektivischen Analyse der Akteur:innen-Netzwerke der ANT auf der Beschreibung der Makroebene spezifischer grosstechnischer Systeme.

Im Fokus der vorliegenden Grounded Theory Studie zum Umbau der Internetinfrastruktur greifen also beide Ansätze zu kurz um den Umbau der Internetinfrastruktur möglichst vollständig anhand eines ausgewählten Beispiels zu analysieren und Muster und Charakteristika daran für eine gegenstandsorientierte Theorie abzuleiten, da sich die beiden Ansätze entweder nahezu ausschliesslich auf die Beschreibung makroperspektivischer Momente beschränken oder sich in der mikroperspektivischen Betrachtung der Akteur:innen-Netzwerke verlieren.

Sowohl die reine Betrachtung der Mikroperspektive als auch die reine Beschreibung der Makroperspektive widerspricht dem zentralen Ziel der vorliegenden Grounded Theory Studie: der Generierung einer gegenstandsorientierten Theorie zum Umbau der Internetinfrastruktur durch Abduktion (siehe dazu das Eingangskapitel). Die eingangs erläuterte Beschreibung des Systems oder Netzwerks, die sowohl in der ANT als auch im Ansatz grosstechnischer Systeme seine Analyse ist, ist nämlich unzureichend, um die Internetinfrastruktur in ihrer Gesamtstruktur zu verstehen. Dies scheint allerdings sehr wichtig zu sein, da der Umbau der Internetinfrastruktur durch die Einführung einer Infrastrukturtechnologie in bereits bestehende technologische Strukturen vorgenommen wird und entsprechend seitens der Entwickler:innen berücksichtigt werden muss.

Daraus ergibt sich das Erfordernis, dass die vorliegende Arbeit im Sinne sensibilisierender Konzepte die Mikroperspektive der Akteur:innen-Netzwerk-Theorie mit der Makroperspektive des Ansatzes grosstechnischer Systeme zur Analyse des Forschungsgegenstandes zum Umbau der Internetinfrastruktur verschränkt und nutzt. Dazu wird sich diesen im Sinne der GTM heuristisch entlehnt und mittels eines abduktiven Schlussfolgerns innerhalb des iterativen Forschungs- und Analyseprozesses eine gegenstandsorientierte Theorie entwickelt. Diese soll die strukturellen Besonderheiten der Internetinfrastruktur mittels des Ansatzes grosstechnischer Systeme berücksichtigen, Erklärungen zu Akteur:innen innerhalb des Netzwerkes mittels der ANT geben und diese in ihrem wechselseitigen Wirken beim Umbauprozess der Internetinfrastruktur analysieren und beschreiben. Darüber hinaus sollen Muster und Charakteristika innerhalb des Umbaus identifiziert und zu einem theoretischen gegenstandsorientierten Modell des Umbaus der Internetinfrastruktur weiterentwickelt werden.

Demnach gilt es zu hinterfragen und innerhalb der Analysen zu prüfen, ob das extrahierte begriffliche Instrumentarium des Ansatzes grosstechnischer Systeme zur strukturellen Beschreibung der Internetinfrastruktur und des Umbaus nützt und ob bzw. wo dieses ergänzt werden muss. Weiter gilt es, der Frage nachzugehen, ob bzw. wie Aktant:innen der ANT innerhalb des Umbaus der Internetinfrastruktur ausgebildet werden, welche Wirkung sie haben und ob bzw. wie sich die Übersetzungsprozesse innerhalb des soziotechnischen Netzwerks darstellen.

6.3 Konkretisierung der forschungsleitenden Fragen

Aus den Vorarbeiten und den sensibilisierten Konzepten gilt es nun, forschungsleitende Fragen zu entwickeln, die dem bisher wenig explorierten Forschungsgegenstandes des Umbaus der Internetinfrastruktur gerecht werden und die Interdependenzen innerhalb des soziotechnischen Netzwerks der Internetinfrastruktur in den Blick nehmen.

Die vorliegende Arbeit verfolgt daher das Ziel, die Entwicklungs- und Einführungsprozesse von Internetinfrastrukturtechnologien zu untersuchen, um Erkenntnisse über den Umbau der Internetinfrastruktur zu erhalten und einen Beitrag zur methodologischen und theoretischen Arbeit der Internetinfrastrukturforschung zu leisten.

Anhand der Untersuchungen anderer Infrastruktursysteme durch Vertreter:innen des Ansatzes grosstechnischer Systeme wurde bereits ersichtlich, dass die Prozesse der Etablierung, Stabilisierung und Ausweitung dieser soziotechnischen Netzwerke über einen längeren Zeitraum stattfinden (vgl. Mayntz 1988; Mayntz und Hughes 1988; Braun und Joerges 1994; Hughes 1983; Bijker, Hughes, und Pinch 1987; Joerges 1988; 1996).

Veränderungen innerhalb des Systems sind auch bei Internetinfrastrukturen durch Einführung infrastrukturverändernder Technologien zu vermuten, da sich die Komplexität des Systems u. a. hinsichtlich der Ausweitung, Grösse und Anwendungen erhöht hat. Insofern ist es auch seitens der Internetinfrastruktur notwendig, einen längeren Zeitraum zu untersuchen und ein entsprechendes Fallbeispiel zur Explikation auszuwählen, welches diesem Anspruch an Zeitlichkeit gerecht (siehe Kapitel 7, Fallauswahl).

So können sehr dichte Beschreibungen und Analysen der Entstehung, Bewegung und Veränderung der beteiligten Akteur:innen und Umbaustrategien innerhalb des soziotechnischen Systems ermöglicht werden. Dadurch sollen möglichst umfangreiche Charakteristika und Muster der Internetinfrastruktur und des Umbaus identifiziert werden und Aussagen zu Veränderungen des Netzwerkes und den verfolgten Umbaustrategien historisch vergleichend vorgenommen werden. Weiter

erhofft sich die Autorin von der Analyse des historischen Entwicklungs- und Einführungsverlauf eine höhere Kontrastierung, welche der Theoriegenerierung im Sinne der GTM dienlich ist.

Aus diesen Forschungszusammenhängen lassen sich für die vorliegende Grounded Theory Studie zum Umbau der Internetinfrastruktur folgende forschungsleitende Fragen ableiten:

1. Welche Akteur:innen nehmen Einfluss auf den Umbau der Internetinfrastruktur durch die Einführung einer Internetinfrastrukturtechnologie? Welche Veränderungen lassen sich im historischen Verlauf feststellen und wie sehen diese aus?

Zentral ist dabei herauszustellen, wer bzw. welche sozialen Akteur:innen, sachlichen Elemente und zeitlich-räumlichen Strukturen (a) am Umbau der Internetinfrastruktur am Beispiel der Einführung einer Infrastrukturtechnologie beteiligt sind und (b) wie sich die Akteur:innenkonstellationen im historischen Verlauf der Entwicklung und Einführung einer Infrastrukturtechnologie auswirken.

Mein *erweitertes Akteur:innenverständnis* ist der ANT entlehnt. Demnach verstehe ich unter *sozialen Akteur:innen* einzelne private oder institutionalisierte Personen oder Gruppen von Akteur:innen, die die Einführung infrastrukturverändernder Technologien im Computernetzwerk vorantreiben oder hemmen.

Als *sachliche Elemente* werden jene materiellen und immateriellen Bestandteile der technologischen Internetinfrastruktur, wie beispielsweise Hard- und Softwarekomponenten (wie Computer oder Protokolle) oder Gesetze, Standards und Normen bezeichnet, die am Entwicklungs- und Einführungsprozess beteiligt sind.

Letztendlich verstehe ich unter *zeitlich-räumlichen Strukturen* zum Beispiel die internationale Verbreitung und Ausweitung des Computernetzwerks oder zeitlich begrenzte bzw. zyklische Entwicklungsverläufe, die Einfluss auf den Umgestaltungsprozess der Internetinfrastruktur durch Entwicklung und Einführung des Internetprotokolls nehmen.

Die weiteren forschungsleitenden Fragen betreffen die Strategien des Umbaus, die zur Einführung von Infrastrukturtechnologien im historischen Verlauf verwendet werden:

2. Welche Strategien werden beim Umbau der Internetinfrastruktur durch die Einführung einer Internetinfrastrukturtechnologie verfolgt?
 - 2.1 Welche Veränderungen lassen sich im historischen Verlauf des Umbaus der Internetinfrastruktur im Kontext der Einführung einer Internetinfrastrukturtechnologie feststellen?

Zentral für die vorliegende Arbeit ist herauszustellen, (a) wie der Umbau der Internetinfrastruktur im laufenden Betrieb funktioniert, (b) welche Strategien zur Einführung verfolgt werden und (c) wie sich die Umbau-Strategien zur Einführung von Infrastrukturtechnologien im historischen Verlauf verändert haben.

6.4 Implikationen für und Vorgehen in der Forschungspraxis

Grounded Theory Studien sind, wie eingangs erläutert, durch eine hohe Offenheit und Flexibilität gekennzeichnet, deren Verlauf sich nur schwierig mittels einer gängigen Struktur einer Qualifikationsarbeit abbilden lässt (siehe Kapitel 2). Die Ausführungen dieses Teilkapitels dienen insofern der Schaffung von Transparenz innerhalb des iterativen Forschungsprozesses und zeigen anhand des Analyseschemas der ANT einige Momente der Verschmelzung, Abgrenzung und Verschiebung durch das Forschungsparadigma der GTM auf.

Die Autorin stellt im Folgenden die forschungspraktischen Implikationen anhand der erfolgten Vorarbeiten und deren Verschränkung dar. Weiter wird über das forschungspraktische Vorgehen von ANT und GTM reflektiert und begründet, welchen Weg die vorliegende Arbeit einschlägt. Insofern dient dieses Teilkapitel als Vorbereitung für den forschungsmethodologischen Rahmen der vorliegenden Arbeit und der Darstellung im Ergebniskapitel.

6.5 Das Analyseschema der Akteur:innen-Netzwerk-Theorie im Kontext der Grounded Theory Methodologie

Degele (2002, 134) definiert für die Akteur:innen-Netzwerk-Theorie ein Analyseschema, welches sie in vier grundlegende Schritte gliedert: *Festlegung des Netzwerks*, *Netzwerkbestandteile*, *Übersetzungsprozesse* und *Variation der Beobachtungsperspektive*. Diese Schritte werden so lange wiederholt, bis die Beschreibung des Forschungsgegenstandes gesättigt ist. Sobald die Sättigung erreicht ist, gilt das Netzwerk als vollständig dargestellt und die Analyse als abgeschlossen.

In diesem Vorgehen finden sich einige Analogien zur Forschungslogik der Grounded Theory Methodologie. Erinnern wir uns an die Ausführung des Eingangskapitels zur Grounded Theory Methodologie als übergeordnetem Forschungsparadigma (siehe Kapitel 2) stellen wir fest, dass die Forschungslogik der GTM als iterativer Prozess aus Datenerhebung, -auswertung und -interpretation angelegt ist und dieser Prozess so lange wiederholt wird, bis keine neuen Erkenntnisse zur Erklärung des Forschungsgegenstandes mehr aufkommen und somit die zu generierende gegenstandorientierte Theorie als gesättigt gilt.

Dabei ist zunächst jedoch ein zentraler Unterschied zwischen dem von Degele (ebd.) explizit verwendeten Begriff (Analyse)»Schritte« und dem von der GTM verwendeten Begriff »Prozesse« zu verzeichnen, denn (Analyse)»Schritte« assoziieren wir im allgemeinsprachlichen Gebrauch oftmals mit einem »Nacheinander« oder auch mit einer »Schritt-für-Schritt«-Anleitung, die eine festgelegte Reihenfolge mit einem definierten Ende vorgibt. Einem solchen »Schritt-für-Schritt«-Vorgehen würde die GTM jedoch widersprechen, da sie eine Offenheit und Dynamik im Forschungsprozess propagiert, die durch das empirische Datenmaterial geleitet wird (siehe Kapitel 2).

Beide Ansätze adressieren die Wiederholung der Schritte innerhalb der ANT und des Prozesses bei der Grounded Theory Methodologie. Demnach weisen sowohl die ANT als auch die GTM auf eine Zirkularität innerhalb der Erforschung ihres Forschungsgegenstandes hin und widersprechen sich nicht in ihrer Forschungslogik.

Weiter verfolgt die GTM einem stetigen Perspektivwechsel, indem zwischen induktions- und deduktionslogischen Phasen im Forschungsprozess gewechselt wird. Ein ähnliches Prinzip findet sich auch in der ANT mit der *Variation der Beobachtungsperspektive*. Die GTM hat jedoch das Forschungsziel, durch einen stetigen Perspektivwechsel zwischen induktions- und deduktionslogischen Phasen im Forschungsprozess eine gegenstandorientierte Theorie mittels Abduktion zu entwickeln, während die ANT das Ziel verfolgt, eine möglichst vollständige Beschreibung des Netzwerks und keine Abstraktion hin zu einer Theorie vorzunehmen. Die ANT limitiert sich in ihrer Analyse- und Beschreibungsfähigkeit entsprechend selbst und widerspricht dem definierten Ziel der vorliegenden Arbeit.

Auch forschungspraktisch gibt es bei der ANT weitere Limitationen. Es ist im Sinne der ANT nahezu ausgeschlossen, ein Netzwerk in all seinen Verflechtungen zu untersuchen, denn »in der Praxis [...] können wir meistens noch nicht einmal die Komplexität von Netzwerken wahrnehmen«, geschweige denn die Menge an zeitlichen Ressourcen aufbringen, die eine solche Untersuchung nach sich ziehen würde (vgl. Law 2006, 436 [1992]).

Auch die Grounded Theory Methodologie weist Limitationen hinsichtlich geeigneter Forschungsfragestellungen auf, denn laut Strauss und Corbin (1996, 23) sind insbesondere jene forschungsleitenden Fragen für eine Bearbeitung geeignet, die eine Handlungs- und Prozessorientierung aufweisen. Folglich können vor allem Fragestellungen erstellt und untersucht werden, die Interaktionen thematisieren, sich mit organisationalen Prozessen und Strukturen befassen oder sich einem Forschungsgegenstand mit biografisch-historischer Ausrichtung nähern (vgl. Tiefel 2005, 68).

Folglich ist es aus forschungspraktischer Perspektive und Sicht der ANT zum einen notwendig, das zu untersuchende Netzwerk hinsichtlich der Analysetiefe zu beschränken. Zum anderen ist es seitens der GTM notwendig, eine Handlungs- und

Prozessorientierung innerhalb der forschungsleitenden Fragestellungen zu verfolgen. Letzterem wird die vorliegende Arbeit bereits mittels der im vorherigen Kapitel konkretisierten forschungsleitenden Fragestellungen gerecht, indem diese zum einen Akteur:innen und verfolgte Strategien auf der Handlungsebene adressieren, zum anderen die Prozessorientierung durch die zeitliche Komponente der Betrachtung des historischen Verlaufs der Einführung von Infrastrukturen verfolgt. Ausserdem wird ein (Einführungs)Prozess dargestellt.

In Anlehnung an die ANT und unter Berücksichtigung der vorhandenen zeitlichen Ressourcen ist es notwendig, die Analysetiefe innerhalb des Gesamtnetzwerkes zum Umbau der Internetinfrastruktur zu begrenzen, um zum einen innerhalb der Forschung eine ausreichende Analysetiefe hinsichtlich der Komplexität des zu untersuchenden Netzwerks zu gewährleisten, zum anderen den Forschungsgegenstand forschungspraktisch handhabbar zu machen.

Die Festlegung des zu untersuchenden Netzwerks sowie die weiteren von Degele (Degele 2002, 134) genannten forschungspraktischen Prinzipien werde ich im Folgenden darstellen und für die Studie einordnen. Es sei an dieser Stelle nochmals angemerkt, dass die genannten Analyseschritte nicht nacheinander, sondern in einem zirkulär ineinandergreifenden Forschungsprozess erfolgen.

6.5.1 Festlegung des Netzwerks

In der vorliegenden Arbeit werden Teilbereiche des Gesamtnetzwerks des Internets fokussiert, die Erkenntnisse für den Forschungsgegenstand des Umbaus der Internetinfrastruktur erwarten lassen. Um eine ausreichende Tiefe für das Erkenntnisinteresse der vorliegenden Studie und den zu beantwortenden forschungsleitenden Fragestellungen zu erlangen, müssen so wenige Beschränkungen wie möglich und so viele Beschränkungen wie nötig vorgenommen werden. Nur so kann eine dem Gegenstand angemessene Theorie im Sinne der GTM zu entwickelt werden.

Durch dieses forschungspraktische Vorgehen soll eine Sättigung im iterativen Analyseprozess gewährleistet werden, ohne durch Oberflächlichkeit wichtige Aspekte zu vernachlässigen, die zur Sättigung der Beschreibung und Theoriegenerierung im Sinne der GTM erforderlich sind. So legte beispielsweise Callon (Callon 2006b, 144 f. [1986]) in seiner Studie zu Kammuscheln in der Bucht von St. Briec den Fokus auf drei Elemente: Muscheln, Forscher und Fischer. Während die Forscher die Muscheln als solche initiieren und ihre wissenschaftlichen Erkenntnisse erweitern möchten, wollen die Kammuscheln überleben und die Fischer ihre ökonomischen Interessen wahren (ebd.).

Für die Festlegung des in dieser Studie zu untersuchenden Netzwerks wurde daher zunächst ein möglichst offener Bereich des Netzwerks zum Forschungsgegenstand des Umbaus der Internetinfrastruktur bestimmt. Dazu wurden Teilaspekte des Forschungsinteresses identifiziert, deren tiefergehende Untersuchung bestmögliche Erkenntnisse für das Forschungsinteresse versprach.

Im Fall der vorliegenden Untersuchung wurde zur Beschreibung der Muster und Akteur:innenkonstellationen sowie der zur Einführung infrastrukturverändernder Technologien im Internet verwendeten Strategien nach einer infrastrukturverändernden Technologie gesucht, die zum einen eine grundlegende Technologie des Internets darstellt und sich zum anderen in ihrer Einführung befindet. Diese steht beispielhaft für den Umbau der Internetinfrastruktur und bildet einen historischen Verlauf zur höheren Kontrastierung innerhalb der Analysen ab.

Dieser Auswahlprozess und die Definition einer Internetinfrastrukturtechnologie als Fallbeispiel werden in Kapitel 7 ausführlich dargestellt.

Dieser erste Zugang zum Forschungsfeld bzw. zum zu untersuchenden Bereich der ineinander verflochtenen soziotechnischen Netzwerke war sehr aufwendig. Nachlässigkeiten in dieser frühen Phase der Eingrenzung auf eine exemplarische Infrastrukturtechnologie können sich durch die gesamte Analyse ziehen und zum Beispiel dazu führen, dass Phänomene, die wichtig für das Forschungsinteresse sind, nicht erfasst werden können, da die zu untersuchende Technologie dem Forschungsfokus unangemessen ist oder zu eng gewählt wurde.

Nach tiefgehender Einarbeitung in die informationstechnische Funktionsweise des Internets und die Sichtung verschiedener Infrastrukturtechniken wurde die Untersuchung des Internetprotokolls von der Einführung des TCP/IP bis zur Version 6 (IPv6) fokussiert. Der Auswahlprozess des Fallbeispiels wird in Kapitel 7 ausführlich dargelegt und reflektiert.

Im Allgemeinen ist das Internetprotokoll eine grundlegende Infrastrukturtechnologie des Internets, welche IP-Adressen bereitstellt. Internetprotokolle gibt es seit Einführung des Internets, denn ohne funktionsfähiges Internetprotokoll ist die Kommunikation innerhalb des Internets nicht möglich. Ausschlaggebend für die Auswahl dieser Technologie ist also die tatsächliche Grundlage für das Funktionieren des Internets im Sinne einer Infrastrukturtechnologie sowie deren historisch langandauernder Entwicklungsverlauf. In der Logik der ANT und Degeles (2002, 134) Analyseschema beschreibt die Auswahl des Analysebeispiels die Festlegung des Netzwerks.

6.5.2 Identifikation beteiligter Akteur:innen

Das zweite forschungspraktische Prinzip des ANT-Analyseschemas von Degeles (2002, 134) beschreibt die Identifikation der beteiligten Akteur:innen im zu untersuchenden Netzwerk (ebd.). Diese orientiert sich für die vorliegende Arbeit an der für

das Fallbeispiel festgelegten Analysetiefe und somit an der Einführung des TCP/IP bis zu IPv6. Der Fokus liegt auf dem Umbau der Internetinfrastruktur am Beispiel des Internetprotokolls. Dieser ist zunächst ein künstlich festgelegtes Selektionskriterium und greift mit der Sichtung des zu untersuchenden Netzwerks in seinen organisationalen Strukturen und Akteur:innen im Sinne der GTM ineinander. Die Identifikation beteiligter Akteur:innen des Analysebeispiels im Kontext des Umbaus der Internetinfrastruktur wird in Kapitel Forschungsdesign ausführlich dargelegt und reflektiert.

Im Sinne der ANT wurde zur Identifikation der beteiligten Akteur:innen zunächst das Netzwerk gedanklich mehrfach durchschritten und wurden die beteiligten Akteur:innen schriftlich dokumentiert. Dazu wurden insbesondere Memos im Sinne der GTM angefertigt und bereits erste theoretische Implikationen für die gegenstandsorientierte Theorie formuliert. So wurden im Fortlauf eine Vielzahl von Akteur:innen des Netzwerks durch einen iterativen Prozess aus Datenerhebung und Auswertung der Dokumentenanalysen zum Internetprotokoll identifiziert, die eine Relevanz für den Forschungsgegenstand besitzen, und für die Datenerhebung mittels Interviews geclustert. Dieser Prozess wurde innerhalb der Teilkapitel der Forschungsmethoden beim Sampling dargestellt (Kapitel 8.3).

Analog dazu erfolgte die strukturelle Beschreibung des Internets mittels des begrifflichen Instrumentariums des Ansatzes grosstechnischer Systeme, um die strukturellen Besonderheiten des soziotechnischen Systems zu verstehen und Hinweise auf dessen Dynamiken zu erhalten. Die Entstehung der Internetinfrastruktur und der Wandel des Netzwerks seitens der technologischen Struktur hinsichtlich des Grades der Vernetzung und seiner hierarchischen Struktur werden im Ergebniskapitel (Kapitel 9) ausführlich dargestellt und reflektiert.

Um die Sättigung der Beschreibung des ausgewählten Bereichs des Netzwerks zu erreichen, wurden auch unwichtiger erscheinende Akteur:innen aufgenommen. Durch dieses Vorgehen soll sichergestellt werden, dass *alle relevanten Akteur:innen* ausfindig gemacht werden. Diese methodische Vorgehensweise folgt weitgehend der Forschungslogik der GTM, wonach jeder Schritt des Untersuchungsprozesses potenziell neue Anknüpfungspunkte hervorbringen kann. Diese Phase der Untersuchung ist demnach abgeschlossen, sobald keine Verweise auf noch nicht untersuchte Gesichtspunkte und Akteur:innen zu finden sind.

6.5.3 Übersetzungsprozesse

Im dritten forschungspraktischen Prinzip im Sinne des Analyseschemas der ANT (Degele 2002, 134) erfolgt die Herausarbeitung der Übersetzungsprozesse. Dazu wird zunächst ein/e Akteur:in festgelegt, aus dessen/deren Perspektive das zu

analysierende Netzwerk betrachtet und die Übersetzungsprozesse beschrieben werden. Die Gesamtheit der herausgearbeiteten Übersetzungen bildet gemäss der ANT die Beschreibung des Netzwerks (vgl. Callon 2006b, 146 [1986]).

Dem Forschungsparadigma der GTM und den Zielen der vorliegenden Arbeit folgend, reicht die reine Beschreibung des soziotechnischen Netzwerks zur Erfassung der Charakteristika und Muster im historischen Verlauf der Einführung des Internetprotokolls nicht aus, um daran eine gegenstandsorientierte Theorie zum Umbau der Internetinfrastruktur zu entwickeln.

Im Rahmen der Studie entwickelte die Autorin in Anlehnung an das Kodierungsparadigma von Strauss nach Strübing (2004, 28) ein auf den Forschungsgegenstand modifiziertes Modell, welches – dem Prinzip der Abduktion folgend – den Umbau der Internetinfrastruktur am Beispiel des Internetprotokolls unter Berücksichtigung der Kontexte, Ursachen, Bedingungen, Strategien und Konsequenzen analysiert. Das modifizierte Kodierungsparadigma wird in Kapitel 8.5 dargestellt weiterführend modifiziert.

6.5.4 Variation der Beobachtungsperspektive

Um eine möglichst offene Untersuchung zu gewährleisten und keine Assoziationen auszuschliessen, wird die Analyse im Sinne der ANT von einer stetigen Variation der Beobachtungsperspektive begleitet (vgl. Callon 2006b, 168 [1986]). Dies beschreibt nach Degele (2002, 134) das vierte forschungspraktische Prinzip im Analyseschema der ANT.

Dieses Prinzip entspricht im Kern dem des ständigen Vergleichens der GTM. Als Grounded Theory Studie verfolgt die vorliegende Arbeit mit dem Prinzip des ständigen Vergleichens unterschiedlicher Phänomene innerhalb des Fallbeispiels das Ziel, Muster und Charakteristika des Umbaus durch Kontrastierung deutlicher wahrnehmen zu können. Damit sollen möglichst alle Phänomene innerhalb des Fallbeispiels in den Analysen berücksichtigen werden (Kapitel 2.3.3).

Weiter ist die Vorgehensweise aus Variation und ständigem Vergleich für das abduktive Schlussfolgern und die Theoriegenerierung notwendig, da innerhalb des soziotechnischen Systems ein:e Akteur:in aus einer Betrachtungsperspektive als Hauptakteur:in erscheinen kann und gleichzeitig aus einer anderen Perspektive in einer anderen Position erscheint. So kann bspw. eine Bedingung für eine verfolgte Strategie für ein:e entsprechende:n Akteur:in eine andere sein kann als für andere. Folglich werden innerhalb der Analysearbeit die Akteur:innen und deren Konstellationen mit ihren vielfältigen Aktionen, Verflechtungen und verfolgten Strategien innerhalb des Umbauprozesses der Internetinfrastruktur stets als strittig und unbestimmt betrachtet. Diese methodologische Vorgehensweise unterbindet im Sinne

der ANT «a-priori- Kategorie[n] oder -Beziehung[en]» und berücksichtigt dadurch auch unerwartete Beziehungen von Akteur:innen innerhalb der Datenanalyse und -auswertung (vgl. Callon 2006b, 168 [1986]).

Seitens der GTM erfüllt das Prinzip des ständigen Vergleichens zusätzlich eine prüfende Funktion innerhalb der vorliegenden Analyse, indem die generierte gegenstandorientierte Theorie durch das Prinzip des ständigen Vergleichs auf ihre Plausibilität überprüft wird (siehe Kapitel 2.3.3).

Innerhalb der Arbeit werden daher beide Prinzipien in einander ergänzender Funktion angewendet: das forschungspraktische Prinzip der ANT seitens der Akteur:innen, deren Konstellationen und Strategien untersucht werden können und als Rückkopplungsschleife zur Überprüfung des ausgewählten Fallbeispiels und seitens der Vollständigkeitsprüfung der relevanten Akteur:innen im untersuchten soziotechnischen System dienen können. Diesem gegenüber steht das Prinzip des ständigen Vergleichens der GTM zur Überprüfung der generierten Theorie hinsichtlich ihrer Plausibilität und Vollständigkeit für den Umbau der Internetinfrastruktur. Diese genannten Prinzipien finden insbesondere Einzug in Kapitel acht zum Forschungsdesign und der Ergebnisdarstellung in den Kapiteln neun und zehn.

7. Das Internetprotokoll als Fallbeispiel für den Umbau der Internetinfrastruktur

In Anlehnung an das Forschungsparadigma der Grounded Theory Methodologie (Kapitel 2) sowie das Analyseschema der Akteur:innen-Netzwerk-Theorie (Kapitel 6.5) und den Anspruch an eine gute wissenschaftliche Praxis habe ich das Fallbeispiel nicht zufällig ausgesucht. Vielmehr erfolgte die Auswahl einer Internetinfrastruktur-technologie zur Untersuchung des Umbaus der Internetinfrastruktur nach theoretisch und wissenschaftlich hergeleiteten Kriterien. Die Darstellung des Auswahlprozesses erfolgt im Folgenden. Dazu werden zunächst Auswahlkriterien definiert und angewendet sowie das Fallbeispiel daran ausgewählt.

7.1 Auswahlkriterien für die Auswahl des Untersuchungsgegenstandes

In Anlehnung an das Erkenntnisinteresse zum Umbauprozess der Internetinfrastruktur sowie das verfolgte Ziel der Entwicklung einer gegenstandsorientierten Theorie sowie in Anbetracht der im Kontext der systematischen Literaturrecherche identifizierten Forschungslücken zur Internetinfrastrukturforschung hat die Autorin zunächst fünf Kriterien definiert, die das potenzielle Fallbeispiel erfüllen muss. Demnach soll das auszuwählende Fallbeispiel eine technologische Neuerung innerhalb der Internetinfrastrukturtechnik darstellen, eine starke Veränderung und einen historischen Veränderungsprozess beinhalten sowie standardisiert und frei zugänglich sein. Die Kriterien lassen sich wie folgt begründen:

(1) Technologische Neuerung

Es muss sich um eine technologische Neuerung im Bereich der Internetinfrastrukturtechnik handeln, da dem Erkenntnisinteresse folgend der *Umbauprozess* der Internetinfrastruktur, die daran beteiligten Akteur:innen und verfolgten Strategien untersucht werden sollen.

(2) Starke technologische Veränderung

Weiter muss demnach durch die Infrastrukturtechnologie eine *wesentliche Veränderung* der Internetinfrastruktur erfolgen. Es werden dadurch stärkere beobachtbare Phänomene im Umbauprozess der Internetinfrastruktur und die daran beteiligten Akteur:innen erwartet. Dieses Vorgehen entspricht nach der Grounded Theory Methodologie dem Prinzip der Maximierung von Unterschieden (vgl. Strauss und Corbin 1996).

(3) Historischer Veränderungsprozess

Das Interesse, historisch vergleichend Veränderungsprozesse an der Internetinfrastruktur zu untersuchen, bedeutet auch, dass die Internetinfrastrukturtechnologie ein längeres Entwicklungsstadium durchlaufen haben sollte, um den Entwicklungsverlauf untersuchen zu können und mögliche Muster und Charakteristika für die Theoriegenerierung zu erkennen.

(4) Standardisierte Technologie

Darüber hinaus sollte die Internetinfrastrukturtechnologie so weit standardisiert sein, dass die Einführung dieser Technologie von mehreren Akteur:innen verfolgt wird. Dieses Vorgehen erlaubt den Vergleich potenziell unterschiedlicher Einführungsstrategien verschiedener Akteur:innen im Netzwerk und die Herausstellung möglicher Unterschiede und Gemeinsamkeiten.

(5) Frei zugängliche Technologie

Aus Gründen der Forschungstiefe und der forschungspraktischen Durchführbarkeit sollten zudem die Technologie sowie die Daten zum Untersuchungsgegenstand frei zugänglich sein.

7.2 Anwendung der Auswahlkriterien auf das Internetprotokoll

Für die Auswahl des Fallbeispiels wurden verschiedene Internetinfrastrukturtechnologien gesichtet und in Anlehnung an die zuvor definierten Kriterien auf ihre Eignung überprüft.

Neben *Semantic Web Technologien* (wie z. B. RDFa) zur semantischen Annotation wurden auch Technologien des *Internet of Things* (z. B. Schnittstellen) hinsichtlich der Eignung, wie auch Technologien zur *Adressierung* (z. B. IPv6) und Übertragung von Daten innerhalb des Internets gesichtet.

Sowohl die *Semantic Web Technologien* als auch die *Internet of Things Technologien* erfüllen nicht alle fünf definierten Auswahlkriterien. Sie weisen zwar eine grundlegende Idee der Veränderung des Internets auf, fokussieren allerdings die Veränderung von Nutzungspraktiken statt infrastruktureller Veränderung der technologischen Basis des Internets. Sie ändern insofern Strukturen «on top», indem sie zusätzliche Technologien im Sinne einer Neueinführung bereitstellen, die bestehende Struktur des Internets aber nicht im Sinne einer Veränderung verändern bzw. umbauen. Des Weiteren weisen beide Technologien noch keine langanhaltende Entwicklung auf, da diese Technologien neuartige Entwicklungen darstellen.

Infolgedessen wurde für die vorliegende Arbeit das Internetprotokoll von der Einführung des TCP/IP, Zwischenentwicklungen sowie die Weiterentwicklung zum IPv4 und das heutige in der Einführung befindliche IPv6 als Untersuchungsgegenstand ausgewählt. Die Überprüfung hinsichtlich der fünf definierten Auswahlkriterien für den Untersuchungsgegenstand wird im Folgenden vorgestellt:

- (1) Technologische Neuerung
IPv6 ist ein seit Mitte der 1990er Jahre entwickeltes Internetprotokoll und stellt eine Neuerung im Bereich der Internetinfrastruktur dar.
- (2) Starke technologische Veränderung
Durch die IPv6-Technologie werden wesentliche Veränderungen an der Internetinfrastruktur vorgenommen, die Konsequenzen auf unterschiedlichen Ebenen der Internetinfrastruktur nach sich ziehen und Auswirkungen auf das derzeit noch breit verwendete IPv4 haben.
- (3) Historischer Veränderungsprozess
Das Internetprotokoll an sich weist eine lange historische Entwicklungsdauer von den Anfängen des TCP/IP, über die Weiterentwicklung zur Vernetzung mittels IPv4 und dem aktuell in der Einführung befindlichen IPv6 auf.
- (4) Standardisierte Technologie
Das Internetprotokoll (TCP/IP bis IPv6) liegt als standardisierte Technologie vor und wird aktuell von verschiedenen Akteur:innen eingeführt.
- (5) Frei zugängliche Technologie
Schliesslich liegen umfangreiche Daten zum gesamten Entwicklungsverlauf des Internetprotokolls von der Entwicklung des TCP/IP bis IPv6 in Archiven frei zugänglich vor. Dadurch ist sowohl die Forschungstiefe als auch die forschungspraktische Komponente erfüllt.

8. Die Forschungsmethoden der Studie

Zur Untersuchung des Umbaus der Internetinfrastruktur am Fallbeispiel der Entwicklung und Einführung des Internetprotokolls wurde ein Mix aus qualitativen Erhebungs- und Auswertungsmethoden gewählt, um eine ganzheitliche Untersuchung des Forschungsfeldes zu gewährleisten.

Damit einher geht auf der Makroebene das Ziel, die zuvor definierten Charakteristika grosstechnischer Infrastruktursysteme für die Internetinfrastruktur zu überprüfen und ergänzend darzustellen sowie die aktuellen und zurückliegenden Entwicklungen der Einführung des TCP/IP bis zum IPv6 zu rekonstruieren. Weiter sollen auf der Mikroebene die beteiligten Akteur:innen und verwendeten Strategien im historischen Verlauf des Umbaus der Internetinfrastruktur anhand des Fallbeispiels dargestellt werden. Abschliessend sollen Charakteristika beteiligte Akteur:innen und verwendete Strategien zum Umbau der Internetinfrastruktur am Beispiel des Internetprotokolls im historischen Verlauf zu einer gegenstandsorientierten Theorie in Anlehnung an das Forschungsparadigma der Grounded Theory Methodologie abstrahiert und verdichtet werden.

Bei der Auswahl der Erhebungsmethoden ist die *Gegenstandsangemessenheit* das leitende Prinzip dieser Grounded Theory Studie. Demnach sind «die jeweiligen Entscheidungen und methodischen Wahlen bei der Erhebung von Daten (z. B. Wahl der Interviewform) ebenso wie bei der Auswertung [...] am Gegenstand zu begründen» (Helfferich 2011, 26). Letzteres will ich im Folgenden tun.

Durch das Forschungsinteresse auf den gesamten Entwicklungsverlauf des Internetprotokolls von der Entwicklung des TCP/IP bis zum in Einführung befindlichen IPv6 ergibt sich eine Längsschnittperspektive. In dieser Perspektive werden die zurückliegenden Entwicklungen aufgrund ihrer Historizität und der dadurch resultierenden geringen Anzahl erreichbarer Zeitzeug:innen sowie die für das Forschungsinteresse benötigten detaillierten Rekonstruktionen zu Charakteristika und Strategien des Umbaus der Internetinfrastruktur vornehmlich durch die Auswertung historischer Quellen erschlossen.

Aktuelle Entwicklungen hingegen liegen zwar auch in Dokumenten vor, im Verlauf der Studie zeigte sich allerdings, dass sich damit keine ausreichende theoretische Sättigung erzielen lässt. Dies lässt sich vermutlich damit erklären, dass das IPv6 zwar schon seit langen Jahren als technischer Standard vorliegt, dieser aber zunächst schleppend verbreitet wurde und erst seit wenigen Jahren eine Zunahme in der Verbreitung festzustellen ist (Kapitel 9). Weiter zeigten sich Hinweise auf branchenspezifische Unterschiede bei der strategischen Einführung des Internetprotokolls. Folglich gibt es zwar Dokumente zur technischen Seite des Internetstandards, kaum aber Informationen, die Auskunft zu sozialen Momenten beteiligter Akteur:innen und verfolgter Strategien innerhalb der Entwicklung und Einführung des IPv6 liefern.

Für die vorliegende Studie wurde daher eine Mischung aus Dokumentenanalysen und Interviews gewählt, die in Anlehnung an das Analyseschema der ANT und im Sinne des Forschungsparadigmas der GTM in einem iterativen Prozess aus Datenerhebung, -auswertung und Theoriegenerierung erfolgte, um den Umbau der Internetinfrastruktur zu verstehen und zu erklären.

Dabei ist es ein zentrales Anliegen der vorliegenden Studie, den Forschungsprozess transparent und nachvollziehbar zu gestalten sowie dessen Qualität sicherzustellen.

Die Qualität empirischer Studien wird klassischerweise über «Gütekriterien» bestimmt (vgl. Steinke 2000a).

Diese stellen nach Przyborski und Wohlrab-Sahr (2009, 35) «Qualitätskriterien für die Zuverlässigkeit [(Objektivität)] der Datenerhebung, für die Repräsentativität [(Reliabilität)] der Datenauswahl und für die Gültigkeit [(Validität)]» dar, indem diese dazu dienen, die Qualität einer empirischen Studie zu ermitteln.

Die Qualität einer Grounded Theory Studie lässt sich jedoch nicht mittels dieser klassischen Gütekriterien messen (vgl. Strauss und Corbin 1996) Grund dafür ist, dass sie, so Strübing (2004, 87), der Grounded Theory Methodologie in ihrer Eigenlogik widersprechen, sofern «die Forschenden das vorgeschlagene Verfahren [der Grounded Theory Methodologie] situativ an Gegenstand, Forschungsfrage und eigene Kompetenzen anpassen können und sollen». Auch die Begründer:innen der Grounded Theory Methodologie kritisieren die Anwendbarkeit klassischer Gütekriterien, da diese auf die Forschungslogik quantitativer Studien ausgerichtet sind. Sie betonen darüber hinaus zugleich die Bedeutsamkeit der Beachtung der Grundprinzipien der Grounded Theory, um den eigenen Forschungsprozess zu reflektieren sowie durch ständiges Vergleichen zu überprüfen, ob die Theoriegenerierung abgeschlossen und diese im Forschungsgegenstand verankert ist (vgl. Strauss und Corbin 1996, 217f.).

Demnach soll das vorliegende Kapitel dem Anspruch der Qualitätssicherung nachkommen, indem der forschungspraktische Prozess dargestellt, begründet und reflektiert wird. Es erläutert zunächst die Verfahren der Datenerhebung und stellt die Dokumentenanalyse und Interviews als Erhebungsinstrumente des iterativen Forschungsprozesses dar. Anschliessend werden Sampling und Erhebung der Interviewstudie und Dokumentenanalyse zusammenfassend dargestellt sowie daran anknüpfend das daraus resultierende Gesamtsampling der Studie vorgestellt und begründet.

Anschliessend erfolgt eine kurze Erläuterung der Datenaufbereitung durch das Verfahren der Transkription der Interviews, wie auch eine Erläuterung der verwendeten Software zur computergestützten Strukturierung und Auswertung der Forschungsdaten.

Abschliessend wird das Verfahren der Datenauswertung mittels Kodierverfahren der Grounded Theory Methodologie sowie eines modifizierten Auswertungsmodells für den Umbau der Internetinfrastruktur erläutert und ein Zwischenfazit gezogen.

8.1 Verfahren zur Datenerhebung

Wie bereits dargestellt, kombiniert die vorliegende Arbeit zwei Verfahren bei der Datenerhebung: Die Dokumentenanalyse und die Erhebung mittels Interviews.

Im Folgenden werden die Datenerhebungsverfahren dargestellt und im Kontext des Umbaus der Internetinfrastruktur erläutert.

8.1.1 Dokumentenanalyse

Die Dokumentenanalyse ist eine Technik der Datenerhebung (vgl. Hoffmann 2018, 9). Zum besseren Verständnis des Datenerhebungsverfahrens der Dokumentenanalyse möchte ich zunächst eine begriffliche Einordnung vornehmen, um darauf aufbauend die unterschiedlichen Arten von Dokumenten vorzustellen, die im Kontext der vorliegenden Arbeit analysiert werden.

Eine Dokumentenanalyse ist zunächst einmal eine auf Dokumente bezogene Forschung. Der Begriff «Dokument» ist der lateinischen Sprache entlehnt und geht auf das Wort «documentum» zurück. Dieses ist abgeleitet vom lateinischen Verb «docere» und bedeutet ins Deutsche übersetzt so viel wie «lehren, unterrichten, unterweisen, anweisen, belehren, darlegen, instruieren» (vgl. Latein-Online-Wörterbuch Navigium 2023).

Dokumente können entsprechend in vielfältiger Form vorliegen. Zu dieser Datenform gehören laut Wolff (2009, 503), zitiert nach Hoffmann (vgl. 2018, 9) u. a. «Aktentnotizen, Fallberichte, Verträge, Entwürfe, Totenscheine, Vermerke, Tagebücher, Statistiken, Jahresberichte, Zeugnisse, Urteile, Briefe oder Gutachten», aber auch neuere Dokumentarten wie Shopping-Listen, E-Mails oder Webseiten u. a. innerhalb der World Wide Web-Anwendungen.

Dokumente sind in ihrer Vielfalt als Repräsentation der sozialen Wirklichkeit zu betrachten oder «werden als Daten oder Trägersubstanzen von Inhalten verstanden [...] [,] als Medien mit Vermittlungsfunktion, als mehrdeutige Zeichen oder als Widersacher mit eigener Logik» eingeordnet (Hoffmann 2018, 99).

Dieser Grundidee folgend dient die Dokumentenanalyse innerhalb der vorliegenden Forschung dazu, fallspezifische Ordnungen, Muster und Zusammenhänge beim Umbau der Internetinfrastruktur am Beispiel der Einführung des Internetprotokolls historisch vergleichend zu identifizieren und den Umbauprozess möglichst ganzheitlich zu verstehen.

Die vorliegende Arbeit folgt demnach einer qualitativen Forschungslogik, um einen möglichst umfänglichen Eindruck zu Mechanismen und Zusammenhängen von Akteur:innen und Akteur:innenkonstellationen sowie zu Strategien des Umbaus der Internetinfrastruktur zu erhalten. Dazu wurden insbesondere Recherchen innerhalb des Internet-Archivs der Internet Engineering Task Force (IETF) zur Entwicklung des TCP/IP bis IPv6 durchgeführt. So konnten verschiedene Dokumentarten zum Forschungsgegenstand der Internetinfrastrukturforschung am Beispiel des Internetprotokolls erhoben und ausgewertet werden. Zu diesen gehören Mailing-Listen aus Internet-Archiven, Standardisierungs- und Diskussionspapiere, Reporte sowie Website-Inhalte zum Internetprotokoll und den technischen Weiterentwicklungen. Ergänzend dazu wurden zum IPv6 Statistiken zur Verbreitung bei Google-Statistiken erhoben und ausgewertet. Das Sampling und die Analyse und Auswertung werden an anderer Stelle der Arbeit dargestellt (siehe Kapitel 8.3).

8.1.2 Interviews

Als weiteres Verfahren zur Datenerhebung werden qualitative Interviews verwendet. Qualitative Interviews untersuchen «die Konstitution von Sinn, die in standardisierter Forschung bereits als abgeschlossen und pragmatisch als gegebene Verständigungsgrundlage vorausgesetzt wird» (Helfferich 2011, 22). Dieser Grundidee der qualitativen Interviewforschung folgend kann Sinn innerhalb von Interaktionen nicht «objektiv» hergestellt werden. Vielmehr ist «[d]ie soziale Wirklichkeit [...] immer schon interpretierte, gedeutete und damit interaktiv ›hergestellte‹ und konstruierte Wirklichkeit» (ebd.). Die vorliegende Arbeit schliesst sich dieser Perspektive an.

Durch die Entscheidung, qualitative Interviews durchzuführen, eröffnen sich jedoch weitere Entscheidungsmöglichkeiten, da in der empirischen Sozialforschung ganz unterschiedliche Typen von Interviews evozieren, die innerhalb der Literatur zur Interviewforschung uneinheitlich bezeichnet und beschrieben werden (ebd., 35).

Vornehmlich unterscheiden sich diese hinsichtlich «der Prinzipien Offenheit, Kommunikation, Fremdheit und Reflexivität» (vgl. ebd.).

Methodologische Prämissen	Formen des Interviews					
	Narratives Interview	Episodisches Interview	Problem-zentriertes Interview	Fokussiertes Interview	Tiefen-interview	Rezeptives Interview
Offenheit	völlig	weitgehend	weitgehend	nur bedingt	kaum	völlig
Kommunikation	erzählend	erzählend/ zielorientiert fragend	zielorientiert fragend	Leitfaden	fragend/ erzählend	erzählend/ beobachtend
Prozesshaftigkeit	gegeben	gegeben	gegeben	nur bedingt	gegeben	gegeben
Flexibilität	hoch	relativ hoch	relativ hoch	relativ gering	relativ hoch	hoch
Explikation	ja	ja	ja	ja	ja	bedingt
Theoretische Voraussetzungen	relativ ohne Konzept	Konzept vorhanden	Konzept vorhanden	weitgehendes Konzept	Konzept vorhanden	relativ ohne Konzept; nur Vorverständnis
Hypothesen	Generierung	Generierung; Prüfung	Generierung; Prüfung	eher Prüfung; auch Generierung	eher Prüfung; auch Generierung	Generierung; Prüfung
Perspektive der Befragten	gegeben	gegeben	gegeben	bedingt	bedingt	absolut

Abb. 8: Interviewdifferenzierung und -typisierung in Anlehnung an Lamnek (2010: 350).

Lamnek (2010, 350) gliedert die Interviewformen in fünf Typen und differenziert diese anhand verschiedener methodologischer Prämissen, in denen er die von Helfferich (2011, 35) definierten Prinzipien in Teilen aufgreift. Abbildung 8 zeigt die Interviewdifferenzierung und -typisierung in Anlehnung an Lamnek (2010, 350). Die Abbildung zeigt ergänzend einen roten Rahmen um den Typ des narrativen Interviews und den des problemzentrierten Interviews, da die vorliegende Arbeit einen kombinierten Ansatz als Mischform aus narrativem Interview mit teilweise problemzentrierter Ausrichtung mittels eines Leitfadens verfolgt.

Die Interviews für die vorliegende Studie werden insofern als teilstrukturierte Leitfadeninterviews mit Fokus auf die Problemzentrierung von fachkundigen Personen des Forschungsgegenstandes und der Verwendung von Narrationsimpulsen konzipiert. Für die vorliegende Arbeit sind als *fachkundige Personen* oder auch allgemeinsprachlich als *Expert:innen* bezeichnete Personen jene mit spezifischem Wissen im Bereich der Einführung des IPv6 definiert. Zu diesem Kreis gehören Menschen, die an der Entwicklung und Einführung des Internetprotokolls beteiligt waren oder sind und zu den durch die Dokumentenanalysen identifizierten Gruppen

und Organisationen gehören. Der Fokus auf Expert:innen des Forschungsfeldes ist notwendig, da der Umbau der Internetinfrastruktur ausschliesslich von fachlich versierten Personen im Bereich der Informatik bearbeitet werden kann, weil die Einführung solcher Technologien eine weitreichende Expertise voraussetzt.

Diese in der Forschung verfolgte Interviewmischform kann auch als «Expert:inneninterview» bezeichnet werden. Diese Bezeichnung lehnt die Autorin jedoch aufgrund einer unpräzisen Verwendung innerhalb der Literatur ab (vgl. Liebold und Trinczek 2009, 32). Zudem beziehen sich Expert:inneninterviews innerhalb des wissenschaftlichen Diskurses oftmals auf die Zuweisung von Expertise durch die Wissenschaft, die im Sinne einer «auf eine im jeweiligen Feld vorab erfolgte und institutionell-organisatorisch zumeist abgesicherte Zuschreibung» von Wissen als «Funktionseliten» geschieht (ebd., 34). Diese «vorab erfolgte Zuschreibung» widerspricht insbesondere dem offenen und explorativen Charakter der vorliegenden Studie und der Forschungslogik der Grounded Theory, sich durch die Daten leiten zu lassen (siehe dazu Kapitel 2).

Weiter hat die Studie mit der problemzentrierten Interviewausrichtung ein methodologisches Vorgehen gewählt, mit dem Hypothesen zum Forschungsgegenstand einerseits generiert, andererseits theoretische Konzepte überprüft werden können (vgl. Abbildung 8, «Hypothesen»). Diese Vorgehensweise kommt der Forschungslogik der Grounded Theory Methodologie entgegen, welche als iterativer Prozess aus Datenerhebung und -auswertung sowie Konzeptgenerierung und Weiterentwicklung angelegt ist.

Die Kombination problemzentrierter Interviews mit der Vorgehensweise narrativer Interviewformen erlaubt zudem eine offene Begegnung mit den Interviewpartner:innen. Das heisst, Interviewpartner:innen erhalten durch die narrative Interviewform mittels Narrationsimpulsen die Gelegenheit, ausführlich über ihre Erfahrungen zu berichten und diese möglichst authentisch darzustellen (vgl. Abbildung 48, «Offenheit»).

Nach Schütze (1983, 284) können so innerhalb der narrativen Interviewphasen «Prozessstrukturen» im Sinne wiederkehrender Muster zum Forschungsgegenstand aufgedeckt werden. So zeigte er in seinen Biografieforschungen bspw. wiederkehrende Muster und «elementare Formen» innerhalb von Lebensläufen. Demnach können innerhalb solch offener narrativer Interviewphasen Strukturen erfasst werden, die sich einer rein systematischen Vorgehensweise wie bspw. in einem Tiefeninterview verschliessen würden (vgl. Abbildung 8, «Tiefeninterview»). Diese Logik entspricht dem Ziel der vorliegenden Arbeit, Muster und Charakteristika beim Umbauprozess der Internetinfrastruktur aus den Daten heraus zu generieren.

Diese Logik sowie die Ausgestaltung eines teilstrukturierten Leitfadeninterviews mit narrativen und problemzentrierten Phasen hat auch auf der forschungspraktischen Ebene Auswirkungen. Die Autorin ist sich darüber bewusst, innerhalb

der Interviews Kommunikationspartnerin statt nur passiv Zuhörende zu sein. Insofern ist es notwendig, in den Interviews trotz der eher zugewandten Kommunikationssituation eine Distanz «im Sinne einer Zurückstellung eigener Deutungen» herzustellen, «um Reflexionsfähigkeit [zu] erwerben» (Helffferich 2011, 24f.). Dies bedeutet, den Interviewpartner:innen als Kommunikationspartnerin zugewandt zu sein und gleichzeitig möglichst wenig Einfluss auf den Gesprächsverlauf zu nehmen, um dahinterliegende «Prozessstrukturen» im Sinne der Theoriegenerierung zum Umbau der Internetinfrastruktur zu entdecken und diese zu theoretischen Konzepten verdichten zu können. In der Erhebungspraxis verzichtet die Interviewerin daher beispielsweise auf Unterbrechungen und schreitet nur ein, wenn ein:e Interviewpartner:in bspw. innerhalb des eigenen Gesprächsflusses ins «Stocken» gerät oder den «Faden verliert».

Folglich kann durch das Prinzip der Offenheit und einer explorativ erkundenden Haltung der Forscherin gegenüber dem:der Interviewpartner:in und unter Zurückstellung eigener Deutungen ein tiefergehender Zugang zum Forschungsgegenstand ermöglicht werden, der möglichst keine Beschränkungen in Perspektiven und Erklärungsansätzen vornimmt.

Abschliessend gibt es auch qualitätssichernde Momente, die eine Interviewmischform begründen und zu dieser Auswahl führten. So stellt die Ausgestaltung eines teilstrukturierten Leitfadens innerhalb der durchgeführten Interviews auch eine qualitätssichernde Massnahme dar. Schliesslich gibt ein teilstrukturierter Leitfaden Orientierung im Interviewverlauf, indem darin thematische und problemzentrierte Blöcke innerhalb des Leitfadens aufgegriffen werden. Der Leitfaden stellt insofern in unserem Forschungsprozess sicher, dass wesentliche Aspekte zum Umbau der Internetinfrastruktur sowie die dabei verfolgten Strategien in den Interviews thematisiert werden. Zugleich ermöglicht er den Vergleich innerhalb der Interviewreihe, ohne eine strikte Reihenfolge – wie beispielsweise in vollstrukturierten Interviews – vorzugeben (vgl. Bortz und Döring 1995, 289).

Schliesslich unterstützt die Interviewmischform aus narrativen und problemzentrierten Interviewphasen sowie der teilstrukturierten Vorgehensweise mittels eines Leitfadens die Forschungslogik der vorliegenden Arbeit, indem sie induktions- und deduktionslogisches Vorgehen vereint. Insofern begegnet die Forscherin den Interviewpartner:innen zwar mit einem theoretisch-wissenschaftlichen Vorverständnis aufgrund ihrer theoretisch sensibilisierenden und im Sinne des Kodierverfahrens generierten Konzepte, benennt dies ihnen gegenüber jedoch nicht aktiv. Durch die Äusserungen der Interviewpartner:innen werden jedoch weitere Modifikationen der theoretischen Konzepte zum Forschungsgegenstand vorgenommen, die innerhalb problemzentrierter Phasen thematisiert werden können. Zeitgleich wird den Interviewpartner:innen durch Narrationsimpulse Raum für selbst erlebte

Ereignisse, eigene Erfahrungen und Formulierungen eingeräumt, was eine offene Betrachtung des Forschungsgegenstandes erlaubt und die Generierung neuer Konzepte ermöglicht.

Im Folgenden wird ein Ablaufschema für die Interviewerhebungen definiert und der Interviewleitfaden der vorliegenden Arbeit erläutert und begründet.

8.1.2.1 Ablaufschema des Interviews

In Anlehnung an die zuvor dargestellte Mischform aus narrativer und problemzentrierter Interviewform enthält der Leitfaden erzählgenerierende Fragen und problemzentrierte Fragenkomplexe. Letztere wurden anhand der konkretisierten forschungsleitenden Fragestellungen auf der Grundlage der Ausgangslage und des Forschungsfokus sowie des systematischen Literaturreviews und der theoretisch sensibilisierenden Konzepte entwickelt und im Verlauf des iterativen Forschungsprozesses spezifiziert.

Interviewphasen und ihre Funktion		
Phase	Inhalte	Funktionen
Erklärungsphase	<ul style="list-style-type: none"> • Kurze Begrüssung • Informationen zum Interviewablauf • Informationen zur Aufzeichnung und zum Datenschutz • Unterschrift unter der Einwilligungserklärung zum Datenschutz für wissenschaftliche Interviews • Aufklärung zur Audioaufzeichnung 	<ul style="list-style-type: none"> • Warm Up • Klärung von Formalia zum Interviewablauf und Datenschutz/ -aufzeichnung, zur Schaffung einer vertraulichen, transparenten Basis und Wertschätzung • Start der Audioaufzeichnung zur Datensicherung; Aufmerksamkeitserhöhung durch offiziellen Beginn des Interviews
Einleitungsphase	<ul style="list-style-type: none"> • Ausführliche Begrüssung und Dank • Vorstellung der Interviewer:in • Vorstellung des Forschungsthemas und des Erkenntnisinteresses 	<ul style="list-style-type: none"> • Begrüssung und Vorstellung der Interviewer:in zur Schaffung einer angenehmen Gesprächsatmosphäre sowie • Erhöhung des Interesses am Thema

Interviewphasen und ihre Funktion		
Phase	Inhalte	Funktionen
Erzähl- und Fragephase	<ul style="list-style-type: none"> • Allgemeine Angaben • Vorstellung der Interviewpartner:in • Angaben zum Unternehmen • Angaben zur Person und dem beruflichen Tätigkeitsgebiet • Internet Protocol – TCP/IP bis IPv6 • Erfahrungen • Einführung und Umsetzung • Einflussfaktoren und Herausforderungen • Tendenzen und Trends 	<ul style="list-style-type: none"> • Erzählgenerierender Stimulus zur Vorstellung der Interviewpartner:in mit optionalen Nachfragekategorien, die eine Vergleichbarkeit innerhalb der Interviewreihen schaffen sollen und eine Differenz der beschreibenden Organisations- und Personenparameter zum inhaltlichen Teil darstellen • Erzählgenerierender Stimulus zu vier aus den forschungsleitenden Fragen abgeleiteten inhaltlichen Themenfeldern mit optionalen Nachfragekategorien zur Schaffung von Vergleichbarkeit zwischen den Interviews
Abschlussphase	<ul style="list-style-type: none"> • Klärung von Fragen/ Nachfragen • Erfahrungsaustausch • Dank & Verabschiedung • Ende der Audioaufzeichnung 	<ul style="list-style-type: none"> • Thematisierung von ggfs. unklar gebliebenen Fragen/Themen oder Widersprüchlichkeiten im Interview • Angebot zum Erfahrungsaustausch über das Interview zur Reflexion der Fremd- und Selbstwahrnehmung der Interviewbeteiligten und der Forscherin zur wissenschaftlichen Weiterentwicklung • Dank und Verabschiedung zur Wertschätzung des Gegenübers • Durch Beendigung der Audioaufzeichnung: Fixierung des Interview-Endes

Tab. 9: Vier Phasen des Interviews und ihre Funktion für den Forschungsgegenstand.

In Anlehnung an Przyborski und Wohlrab-Sahr (2009, 87f.) lassen sich Interviews in verschiedene Phasen gliedern. Nach ihnen gibt es eine *Smalltalk*-Phase, einen *Eingangsstimulus* und zwei *Nachfragephasen* mit immanenten und exmanenten Fragen sowie eine *Abschlussphase*, in der die interviewende Person der interviewten Person dankt. (ebd.).

Abstrahieren wir die von Przyborski und Wohlrab-Sahr (ebd.) entwickelten Phasen für den Forschungsgegenstand des Umbaus der Internetinfrastruktur am Beispiel des Internetprotokolls weiter, erhalten wir vier grundlegende Phasen, welche die Interviews in der vorliegenden Arbeit strukturieren: Erklärungsphase, Einleitungsphase, Erzähl- und Fragephase sowie die Abschlussphase.

Tabelle 9 stellt diese vier Phasen des Interviews zusammenfassend für den Forschungsgegenstand dar. Hieran anschliessend wird nun der Interviewleitfaden ausführlich erläutert.

8.1.2.2 Interviewleitfaden

Im Folgenden wird der Interviewleitfaden der vorliegenden Arbeit erläutert und werden dessen Themenkomplexe hinsichtlich der definierten Fragen, Impulse und Nachfragekategorien dargestellt und begründet. Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass die Autorin insbesondere die erzählgenerierenden Impulse frei, d. h. ohne abzulesen, gesprochen hat, um eine möglichst authentische Gesprächssituation zu schaffen.

Vor dem Interviewtermin erfolgte eine Kontaktaufnahme zu den Interviewpartner:innen per E-Mail sowie ein telefonisches Vorgespräch. Letzteres wurde zur Erklärung der Bereitschaft für ein Interview und der Darstellung des Forschungsinteresses sowie zur Schaffung einer Vertrauensbasis durchgeführt. Ausserdem wurde in den Telefonaten thematisiert, wie der Zugang zur Kontaktadresse erlangt wurde, ein Termin für die Durchführung des Interviews abgestimmt und über die Interviewaufzeichnung, Datenverwertung und Anonymisierung mittels der Einwilligungserklärung aufgeklärt.

8.1.2.2.1 Interviewheader

Zu Beginn einer jeden Interviewtranskription findet sich ein Header, in dem die laufende Nummer des Interviews, der Name der Interviewten, der Name der zugehörigen Organisation, das Datum, die Interviewlänge und der Durchführungsort eingetragen wird (Abbildung 9).

INTERVIEWLEITFADEN

How To Change A Running System

Interviewleitfaden		Nr.:
Name des Interviewten:		
Name des Unternehmens:		
Datum:		
Dauer:		
Ort:		
Terminvereinbarung:		
Datenschutz/ Anonymisierung		

Abb. 9: Interviewheader, eigene Grafik: Ausschnitt Interviewleitfadens.

Dieser Interviewheader innerhalb des Leitfadens wird sukzessiv im Forschungsprozess ausgefüllt und ergänzt. Dies bedeutet, dass bspw. Informationen zur Terminvereinbarung bereits bei der erfolgten Kontaktaufnahme zur Interviewpartner:in ergänzt sowie die Regelungen zum Datenschutz bzw. der gewünschten Anonymisierung bereits im Vorfeld des Interviewtermins eingetragen werden.

Insofern dient der Interviewheader an dieser Stelle weniger der inhaltlichen Erhebung von thematischen Inhalten als vielmehr der Forschungsorganisation im Kontext der vorliegenden Studie. In deren Rahmen wurde eine Vielzahl unterschiedlichster Daten erhoben, die ein umfangreiches Forschungsdatenmanagement zum Auffinden von Daten sowie zur Schaffung von Transparenz innerhalb der Datenaufbereitung notwendig machen.

8.1.2.2.2 Erklärungsphase

Das Interview beginnt mit der Erklärungsphase. Abbildung 10 zeigt die drei Kernthemen dieser Phase. Sie beinhaltet ausserdem (1) Informationen zum Interviewablauf, zur (2) Aufzeichnung und zum Datenschutz sowie zur (3) Einwilligung zum Datenschutz für wissenschaftliche Interviews.

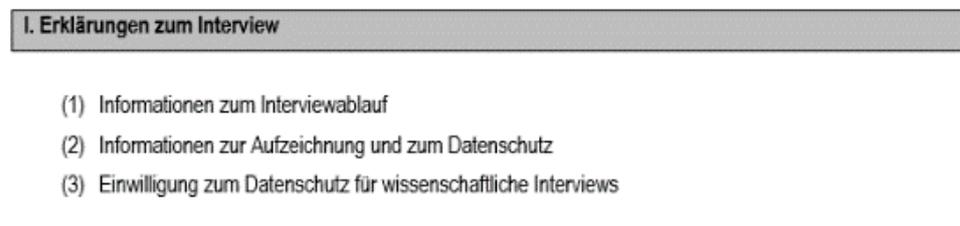


Abb. 10: Erklärungen zum Interview, eigene Grafik: Ausschnitt des Interviewleitfadens.

Diese Informationen, Erklärungen sowie die Vereinbarung zur Einwilligung in die vorgelegte Datenschutzerklärung wurden bereits im Vorfeld des Interviews in einem telefonischen Vorgespräch für die Terminvereinbarung oder via E-Mail-Kontakt thematisiert. Seitens der Einwilligung zum Datenschutz und der Audioaufzeichnung des Interviews wurde eine entsprechende Erklärung aller Interviewpartner:innen vorab per E-Mail übermittelt und diese gebeten, die Erklärung zu lesen sowie unterschrieben an die Autorin zurückzusenden.

Diese Strategie, die Vereinbarungen zu Datenschutz und Aufzeichnung vorzulegen, hat zwei Funktionen innerhalb der vorliegenden Forschung: Zum einen spart es forschungspraktisch am Interviewtermin Zeit, zum anderen ist es eine vertrauensbildende Massnahme für die Interviewpartner:in. Indem die Forscherin am Tag des Interviews noch einmal zusammenfassend auf die Vereinbarung eingeht, schafft sie Vertrauen und Transparenz durch den Akt der wiederholenden Thematisierung.

Dies setzt jedoch voraus, dass die Forscherin vorab wichtige Notizen zum Datenschutz und den Anonymisierungswünschen angefertigt hat, denn fehlerhafte Angaben schaffen Misstrauen, wo Vertrauen erforderlich ist.

Nach einer kurzen Begrüssung und einer Smalltalkphase, bspw. zur Anreise zum vereinbarten Treffpunkt, erfolgen die Erläuterung der Informationen zum Interviewablauf. Zentral ist an dieser Stelle, die zu interviewende Person für die Besonderheiten qualitativer Interviews zu sensibilisieren, indem in Umgangssprache erläutert wird, dass es sich nicht um ein klassisches Frage-Antwort-Interview handelt, sondern von der Interviewenden Gesprächsimpulse gegeben werden, zu denen die Interviewpartner:in eingeladen ist, ihre Erfahrungen zu schildern, wobei ihr die Forscherin aktiv zuhört.

Des Weiteren wird an die bevorstehende Länge des Interviews erinnert und sich rückversichert, dass dieser zeitliche Rahmen eingehalten werden kann. Die Interviews waren mit einer Dauer von 60–90 Minuten anberaumt und eine entsprechende Vorabinformation erfolgte dazu bereits im Erstkontakt mit den Interviewpartner:innen.

Des Weiteren wird in dieser Erklärungsphase die Interviewpartner:in nochmals darüber aufgeklärt, dass bei der Datenerhebung, -speicherung, -verarbeitung und -auswertung und schliesslich bei der Publikation von Untersuchungsergebnissen nach den Vorschriften des Datenschutzgesetzes gearbeitet wird. Es wird an dieser Stelle dargelegt, dass die Interviews mit einem Aufnahmegerät aufgezeichnet und für die Auswertungen verschriftlicht werden sowie dass nach Abschluss der Analysen die Audioaufnahmen vernichtet werden. Weiter wird den Interviewteilnehmenden versichert, dass keine Daten weitergegeben werden, die auf die Teilnehmenden und/oder das Unternehmen schliessen lassen, sofern dies von der Interviewpartner:in gewünscht wird.

Abschliessend wird die Interviewpartner:in nochmals über die Einwilligung zum Datenschutz für wissenschaftliche Interviews aufgeklärt und insbesondere ihre bereits im Vorfeld abgegebene Einwilligungserklärung zusammenfassend dargestellt. Innerhalb dieser Einwilligungserklärung werden der Interviewpartner:in verschiedene Anonymisierungsvariationen vorgestellt, von denen auf freiwilliger Basis eine für sie akzeptable Variante ausgewählt wird. Zur Auswahl innerhalb dieser Erklärung steht die vollständige Anonymisierung. Um diese sicherzustellen, werden der Name der Interviewpartner:in, der Name der Organisation und die im Interview verwendete Variante der Namens- und Unternehmensnennung anonymisiert.

Eine solche Einwilligungserklärung ist notwendig, um einerseits rechtlich abgesichert zu sein, andererseits Transparenz über die getroffene Vereinbarung zum Datenschutz zu schaffen und insbesondere Vertrauen zur Interviewpartner:in

aufzubauen. Letzteres ist essenziell für den Interviewprozess, da nur auf Basis von Vertrauen Gesprächspartner:innen im Interview zu einer umfassenden Auskunft bereit sind.

Es empfiehlt sich, zur Erstellung einer solchen Vereinbarung fachliche Expertise aus dem Bereich des Datenschutzes hinzuzuziehen. Für die vorliegende Studie wurde dazu die universitätsinterne Beratung seitens der Datenschutzbeauftragten eingeholt.

Nach Abschluss der Erklärungen läutet die Forscherin den Interviewbeginn ein, indem sie rückversichernd nach dem Start der Audioaufnahme fragt und nach erfolgter Einwilligung die Aufnahme startet.

8.1.2.2.3 Einleitungsphase

Auf diesen formalen Block der Erklärungsphase folgt dann die Einleitungsphase. Diese ist in Abbildung 11 zu sehen.

Das Interview beginnt mit der offiziellen Begrüssung der Interviewteilnehmer:in sowie mit dem Dank für die Bereitschaft zur Teilnahme. Anschliessend werden Informationen zur Forschung sowie zu den Themen für das Interview gegeben. Die Forscherin erklärt dazu, welche Aspekte am Umbau der Internetinfrastruktur sie besonders interessieren. Sie erläutert: Ziel der Untersuchung ist es, historisch vergleichend den Entwicklungs- und Einführungsprozess des TCP/IP bis zum heutigen Internet Protocol Version 6 (IPv6) zu rekonstruieren sowie Strategien und Muster der Umgestaltung der Internetinfrastruktur durch Entwicklung und Einführung infrastrukturverändernder Technologien herauszuarbeiten und Strategien bei der Umstellung auf das Ipv6 herauszustellen.

II. Einleitung

- (1) Vorstellung des Interviewerin
 - (2) Forschungsthema und Erkenntnisinteresse
-

Abb. 11: Einleitungsphase, eigene Grafik: Ausschnitt Interviewleitfaden.

8.1.2.2.4 Erzähl- und Fragephase

Daran anschliessend folgt der Hauptteil der Interviewerhebung mit der Erzähl- und Fragephase, in deren Fokus die Interviewpartner:in und ihre Erfahrungen im Kontext des Umbaus der Internetinfrastruktur am Beispiel des Internetprotokolls stehen.

Diese Phase untergliedert sich in zwei Hauptthemen: Einmal in den Block «Allgemeine Angaben» (siehe Abbildung 12) und zum anderen in einen gegenstandsspezifischen Block zum Themenbereich «Internetprotokoll – TCP/IP bis IPv6».

III. Allgemeine Angaben

Angaben zum Unternehmen

- Branche des Unternehmens
- Größe des Unternehmens (Mitarbeiter:innen)
- Größe der Netzwerk-Abteilung
- Aufgabengebiete der Netzwerk-Abteilung

Angaben zur Person und dem beruflichen Tätigkeitsgebiet

- Informationen zur Person
- Informationen zum beruflichen Werdegang

Bitte stellen Sie sich kurz vor und geben mir einen Einblick in ihren beruflichen Werdegang und ihre Aufgabengebiete

- Aktuelle berufliche Tätigkeit

Welche Aufgabengebiete umfasst ihre derzeitige Tätigkeit?

- a. Position und Verankerung im Unternehmen
- b. Aufgabengebiete und -inhalte
 - i. Kernaufgaben
 - ii. Nebenaufgaben
- c. Arbeitsorganisation
 - i. Projektarbeit
 - ii. Einzelarbeit/ Teamarbeit
 - iii. Kompetenzen

Abb. 12: Erzähl- und Fragephase Block «Internetprotokoll- TCP/IP bis IPv6», eigene Grafik: Ausschnitt Interviewleitfaden.

Der Block «Allgemeine Angaben» untergliedert sich in die Themenkomplexe «Angaben zum Unternehmen» sowie «Angaben zur Person und dem beruflichen Tätigkeitsgebiet». Ersteres wird sukzessiv anhand der Antworten zu den erzählgenerierenden Impulsen aus dem zweiten Themenkomplex zu «Angaben zur Person und dem beruflichen Tätigkeitsgebiet» gefüllt. Dazu wird die Interviewpartner:in aufgefordert, sich vorzustellen und entsprechende Angaben zum beruflichen Werdegang und Aufgabengebiete zu machen (siehe Abbildung 12, fett gedruckte Ausführungen).

An dieser Stelle wird deutlich, dass der Leitfaden eine Doppelfunktion erfüllt, indem er als Art «Gedankenstütze» für die relevanten zu untersuchenden Themen fungiert und zugleich ein Werkzeug zur Orientierung für die spätere Auswertung

darstellt, indem bereits während des Interviews sowie danach Notizen angefertigt und im Leitfaden notiert werden können. Weiter deuten die Themen des Blocks bereits an, dass hier Angaben zu strukturellen Merkmalen des Unternehmens sowie der untersuchten Person thematisiert werden, da anhand dieser Erkenntnisse zur Makrostruktur des untersuchten Netzwerks in Anlehnung an den Ansatz grosstechnischer Systeme abgeleitet werden sollen (siehe dazu Kapitel 6).

Weiter umfasst der zweite Block «Internetprotokoll TCP/IP bis IPv6» gegenstandsspezifische Fragenkomplexe und Nachfragekategorien zum untersuchten Fallbeispiel (siehe Abbildung 13).

IV. Internetprotokoll – TCP/IP bis IPv6

Erfahrungen

- (1) Beschäftigungszeitraum mit dem Internet Protocol
- (2) Erfahrungen mit dem Internet Protocol
 - a. **Bitte versetzen Sie sich einmal in die Zeit zurück als Sie mit dem Internetprotokoll das erste Mal in Berührung gekommen sind. Bitte erzählen Sie mir von Ihren Erfahrungen. - Starten Sie dabei in der Vergangenheit und enden Sie in der Gegenwart.**

Einführung und Umsetzung

- (1) Gestaltung des Einführungsprozesses
 - Wie hat sich der Einführungsprozess des Internetprotokolls gestaltet?**
- (2) Strategien bei der Einführung/ beim Umbau

Verfolgen Sie bzw. haben Sie während des Einführungsprozesses eine bestimmte Strategie zur Einführung verfolgt?
- (3) Dokumentation

Einflussfaktoren und Herausforderungen

- (1) Einflussfaktoren bei der Einführung und Umsetzung
 - Welche Momente waren einflussnehmend während der Einführung– hemmend, fördernd oder ohne Auswirkung?**
- (2) Standardisierung
 - Welche Bedeutung haben Standards bei der Einführung und Umsetzung?**
- (3) Herausforderungen
 - Gibt es besondere Herausforderungen (Hemmnisse) bei der Einführung?**

Tendenzen und Trends

- (1) Veränderungen im historischen Verlauf
 - Haben Sie Veränderungen im historischen Verlauf feststellen können? Können Sie Tendenzen der Veränderung ausmachen? Bitte schildern Sie einmal ihre Eindrücke.**
- (2) Tendenzen und Trends

Können Sie Zukunftstrends oder Tendenzen ausmachen?

Abb. 13: Erzähl- und Fragephase Block «Internetprotokoll», eigene Grafik: Ausschnitt Interviewleitfadens.

In Abbildung 13 werden vier Themenkomplexe zu Erfahrungen, zur Einführung und Umsetzung sowie zu Einflussfaktoren und Herausforderungen und Tendenzen und Trends im Kontext des Blocks «Internetprotokoll TCP/IP bis IPv6» abgebildet. Diese vier Themenkomplexe wurden anhand der konkretisierten forschungsleitenden Fragen (Kapitel 6.3) abgeleitet und spiegeln insofern bereits erste theoretische Überlegungen zum Umbau der Internetinfrastruktur durch die in diese Themen eingeflossenen theoretisch sensibilisierenden Konzepte im Sinne der Grounded Theory Methodologie wider.

Diese vier Themen bilden in der angegebenen Reihenfolge eine logische inhaltliche Ordnung. Gleichzeitig sind sie jedoch so offen formuliert, dass sie flexibel im Forschungsprozess hinsichtlich ihrer Reihenfolge modifiziert werden können. So startet dieser Block mit einem erzählgenerierenden Impuls zum Erfahrungsaustausch, der eine historische Komponente enthält, indem dazu aufgefordert wird, sich gedanklich in die Zeit zurückzusetzen, in der die Interviewpartner:in erstmalig mit dem Internetprotokoll in Kontakt gekommen ist. Diese zeitliche Komponente ist für das forschungsleitende Interesse essenziell.

Die weiteren Themen beinhalten schwächere erzählgenerierende Impulse (siehe Abbildung 13, fett gedruckte Ausführungen) und zielen auf die problemzentrierte Vorgehensweise innerhalb der verfolgten Interviewmischform. Zusätzlich sind innerhalb der vier Themengebiete optionale Nachfragekategorien zum Teil als explizite Fragen formuliert angefügt. Diese dienen einerseits auch hier als Gedankenstütze sowie zur Schaffung von Vergleichbarkeit zwischen den einzelnen Interviews.

8.1.2.2.5 Abschlussphase

Der Abschluss stellt die letzte Phase im Interview dar. In dieser Phase besteht die Möglichkeit seitens beider Interviewteilnehmenden, Rückfragen oder seitens der Forscherin explizite Nachfragen hinsichtlich Unklarheiten oder nicht behandelte Themenaspekte zu stellen. Dazu werden die angefertigten Notizen während des Interviews aufgegriffen.

Nachdem alle Fragenkomplexe thematisiert wurden, beendet die Interviewerin das Interview und bietet einen Erfahrungsaustausch an. Dieses bietet für die Interviewteilnehmer:in die Möglichkeit, ihre Erfahrungen zu teilen sowie für die Interviewerin, Rückmeldungen über den Interviewprozess zu erhalten, die sie im Fortlauf der Forschung zur Weiterentwicklung nutzen kann. Nach Abschluss des Austauschs bedankt sich die Interviewende von der Interviewpartner:in, verabschiedet sich und stoppt danach das Aufnahmegerät.

8.2 *Sampling und Erhebung*

Die Auswahl der Untersuchungsfälle erfolgte in Anlehnung an das «theoretical sampling» von Glaser und Strauss (1967). Demzufolge ist die Fallauswahl abhängig von den bereits entwickelten theoretischen Konzepten und dient deren Weiterentwicklung. Die vorliegende Arbeit folgt dabei dem Grundgedanken des in Kapitel 2 beschriebenen Forschungsparadigmas der Grounded Theory Methodologie. Demnach wird das Sampling nicht im Vorfeld der Untersuchung festgelegt, sondern entsteht nach theoretischen Gesichtspunkten im Verlauf der Untersuchung und wird prozessual weiterentwickelt.

Przyborski und Wohlrab-Sahr (2009, 177) zufolge «wechseln sich die Auswahl erster Fälle aufgrund einer relativ offenen sozialwissenschaftlichen Fragestellung, Interpretation, erste Hypothesenbildung, erneute Fallauswahl und fortschreitende Theorieentwicklung ab». Dieser Logik folgend ist es nicht entscheidend, welche konkrete Person bspw. innerhalb eines Interviews befragt wird, sondern

«[w]elchen Gruppen oder Untergruppen von Populationen, Ereignissen, Handlungen (um voneinander abweichende Dimensionen, Strategien usw. zu finden) [...] man sich bei der Datenerhebung als nächstes zu[wendet]. Und welche theoretische Absicht [...] dahinter[steckt]? Demzufolge wird dieser Prozess der Datenerhebung durch die sich entwickelnde Theorie kontrolliert» (Strauss 1991, 70; zit. n. Przyborski und Wohlrab-Sahr 2009, 177).

Als forschungspraktisch sinnvoll hat sich für die Theoriegenerierung im Sinne der GTM das «Prinzip der Minimierung und Maximierung von Unterschieden» zur Überprüfung der entwickelten theoretischen Konzepte erwiesen sowie eine Varianz innerhalb des Untersuchungsfeldes. Dieses Vorgehen hält an, bis keine neuen theoretischen Konzepte entwickelt werden können und somit die theoretische Sättigung erreicht ist (Przyborski und Wohlrab-Sahr 2009, 178).

Folglich ist das Sampling der vorliegenden Arbeit eng an die Theoriebildung gekoppelt und wird im Folgenden dargestellt. Dazu wird zunächst eine zusammenfassende Vorstellung des Vorgehens innerhalb des Samplings der Dokumentenanalyse gegeben (Tabelle 10) und dessen Grenzen werden aufgezeigt. Anschliessend wird Gesamtsampling tabellarisch aufbereitet.

Danach wird das Vorgehen innerhalb der Interviewstudien dargestellt und dieses ebenfalls entsprechend aufbereitet (Tabelle 11).

Zum Schluss dieses Teilkapitels wird das Gesamtsampling der Studie grafisch aufgearbeitet und reflektiert (Tabelle 12).

8.2.1 Begründung des Samplings im Kontext der Dokumentenanalyse

Den Startpunkt innerhalb des empirischen Forschungsprozesses stellte die Dokumentenanalyse zum Entwicklungsverlauf des TCP/IP bis zum IPv6 dar. Sie verfolgt das Ziel, historisch vergleichend die allgemeinen Entwicklungen zur Entstehung des Internets zu rekonstruieren und die spezifischen Entwicklungen im Hinblick auf das TCP/IP darzustellen sowie erste beteiligte Akteur:innen zu erkennen. Wie in Kapitel 8.1 zu Verfahren der Datenerhebung erläutert, gelten als Dokumente *alle schriftlich vorliegenden Materialien* wie Homepage-Inhalte, Arbeitsberichte, Dokumentationen, Standardisierungspapiere, Reporte etc., die zum Fallbeispiel innerhalb des Rechercheprozesses aufgefunden werden und zur Theoriegenerierung beitragen. Die Dokumentenanalyse fand in der Zeit von Mitte 2018 bis Anfang 2019 statt. Damit gab es in Teilen Überlappungen mit der Durchführung des systematischen Literaturreviews. In Anlehnung an das Forschungsparadigma der Grounded Theory Methodologie hat die Autorin dies als sehr funktional für die Entwicklung erster Konzepte zur Theoriegenerierung erlebt.

Die Dokumentenanalyse wurde zunächst mit der Erhebung von Dokumenten zur Entstehung des Internets und des TCP/IP begonnen, fortlaufend im Forschungsprozess um die technologischen Entwicklungen erweitert und nach dem «Prinzip der Minimierung und Maximierung von Unterschieden» (Przyborski und Wohlrab-Sahr 2009, 178) kontrastiert. Dadurch wurde beabsichtigt, zum einen das Verständnis zur Historie des Internets und seiner Entwicklungen zu schärfen sowie anhand des Datenmaterials das Internet in seiner Makrostruktur in Anlehnung an die in Kapitel 5.1.4 identifizierten Charakteristika grosstechnischer Systeme zu analysieren. Zum anderen sollte damit die Funktionsweise des Internetprotokolls verstanden werden und dem Forschungsinteresse nach beteiligten Akteur:innen und Akteur:innenkonstellationen und ihren Strategien hinsichtlich der mikroperspektivischen Betrachtungsweise in Anlehnung an das in 5.2 und 6.4 erläuterte Verständnis der ANT und deren Analyseschema (6.5) fokussiert werden, um nach und nach das Netzwerk zu erschliessen.

Innerhalb dieses Erhebungs- und Auswertungsprozesses wurden zunächst die grundlegende Entwicklung des Internets rekonstruiert und beteiligte Akteur:innen, Akteur:innenkonstellationen, Entwicklungen, Ereignisse und Strategien dargestellt. Dazu wurden die Inhalte mittels Recherche, Sichtung und Auswertung von Website-Inhalten und Archiven zentraler Organisationen des Internets, wie der Internet Engineering Task Force (IETF), dem Internet Architecture Board (IAB), der Internet Society (ISOC), dem Réseaux IP Européens (RIPE) und der Defense Advanced Research

Projects Agency (DARPA),⁸⁰ auf wiederkehrend geschilderte Ereignisse, Entwicklungen, Technologien, Strategien und Akteur:innen des Internets untersucht und anhand dessen eine Entwicklungsgeschichte des Internets und des Internetprotokolls erstellt. Weiter wurden fortlaufend im Forschungsprozess theoretische Konzepte zum Umbau der Internetinfrastruktur entwickelt sowie zu einer gegenstandsorientierten Theorie elaboriert.

Im Kontext der frühen Entwicklung stellte insbesondere der «Report No. 4799 – ARPANET Completion Report» (vgl. Heart u. a. 1981) ein für die Analyse zentrales Dokument dar. Ergänzend dazu wurden die identifizierten Ereignisse mit den identifizierten Publikationen des systematischen Literaturreviews sowie den darin geschilderten historischen Entwicklungsereignissen des Internets im Sinne einer überprüfenden Rückkopplungsschleife abgeglichen.

Forschungspraktisch richtete die vorliegende Studie zunächst in einer ersten Phase den Blick auf die DARPA als historisch älteste Organisation in der Entwicklung des Internets und des Internetprotokolls in der Version TCP/IP. Die Recherche fokussierte sich auf die Websites zum Forschungsgegenstand (vgl. «DARPA: ARPA Is Born» 2018; «DARPA: Timeline History» 2018). Innerhalb der untersuchten Inhalte der DARPA wurde vermehrt auf die IETF (2019c) und deren technische Standardisierungspapiere namens Request for Comments (vgl. IETF 2019b) verwiesen. Letztere werden in einem umfänglichen Archiv abgelegt, welches ursprünglich von der DARPA und ISOC gegründet wurde. Innerhalb dieses Archivs namens «RFC-Editor» wurden alle technischen Standardisierungspapiere zum TCP/IP bis zum IPv6 in der Zeit von 1968 bis 2019 nach und nach erhoben, analysiert und mit Blick auf die Theorieentwicklung ausgewertet (vgl. RFC-Editor 2019). Dem «Prinzip der Minimierung und Maximierung von Unterschieden» (Przyborski und Wohlrab-Sahr 2009, 178) folgend richtete die Autorin den Blick zunächst auf weit zurückliegende technologische Entwicklungen, Ereignisse und Akteur:innen, um dann in einer zweiten Auswertungsphase diese mit neueren Entwicklungen, Ereignissen und Akteur:innen zu kontrastieren.

In dieser zweiten Phase der Kontrastierung mit neueren Entwicklungen innerhalb der Analysen zeigten sich verschiedenste Verweise auf Dokumente des IABs. Infolgedessen wurden weitere Erhebungen in Anlehnung an die Grounded Theory Methodologie dort angeschlossen. Dazu wurden die Dokumente und Stellungnahmen des IAB aus der Zeit von 1995⁸¹ bis 2019 hinsichtlich des Internetprotokolls durchsucht und

80 Die DARPA (2018; 2018) wurde ursprünglich unter dem Namen Advanced Research Projects Agency (ARPA) im Jahr 1958 gegründet (näheres dazu im Kapitel 9). Im Lauf der Zeit wurde diese jedoch häufiger umbenannt. Seit 1996 heißt sie nun DARPA, wie bereits in der Zeit zwischen den Anfängen der 1970er-Jahre bis zu den Anfängen der 1990er-Jahre. In den Ausführungen des Samplings werde ich nicht weiter differenzieren, sondern durchgehend von der DARPA sprechen.

81 Das Archiv des IAB stellt erst Inhalte seit dem Jahr 1995 bereit.

das Datenmaterial seitens beteiligter Akteur:innen, Akteur:innenkonstellationen und ihrer Strategien beim Umbau der Internetinfrastruktur untersucht (vgl. IAB 2019).

Innerhalb dieser Analysen kamen weiterführende Verweise und Angaben zu wiederkehrenden Akteur:innen und Gruppen von Akteur:innen auf. Infolgedessen wurde die Erhebung erneut erweitert und um das RIPE ausgeweitet. Anhand der Dokumente dieser Akteur:in konnten die technischen Weiterentwicklungen des TCP/IP zum IPv4 und IPv6 sowie dessen Zwischenentwicklungen tiefergehend analysiert und weitere Akteur:innenkonstellationen und Strategien ausfindig gemacht werden. Dadurch konnten die bereits entwickelten theoretischen Konzepte noch weiter verdichtet, überprüft sowie weiter eine Theorie zum Umbau der Internetinfrastruktur elaboriert werden.

Im Kontext dieser Erhebungen und Auswertungen wurden insbesondere die Jahresberichte des RIPE von 1992 bis 2019 zu Entwicklungen des Internets, zum Internetprotokoll sowie zu den Aktivitäten der Organisation hinsichtlich des Forschungsgegenstandes analysiert. Die Jahresberichte sind im RIPE Archiv archiviert und liegen ab dem Jahr 1992 vor (RIPE 2019a). Weiter wurden insbesondere Mailinglisten der RIPE Arbeitsgruppe zum IPv6 analysiert. Diese sind ebenfalls über ein RIPE-Archiv verfügbar und erstrecken sich für die vorliegende Forschung auf den Zeitraum von 2003 bis 2019 (vgl. RIPE 2019c).

Ergänzend dazu erfolgte die Sichtung und Auswertung weiterer Nachrichten aus dem Mailing-List Archiv der IETF für den Zeitraum 1968 bis 2019 (vgl. IETF 2019a). Nachrichten innerhalb der Mailing-Archive wurden hinsichtlich genannter Akteur:innen, Akteur:innenkonstellationen, Technologien, Ereignissen und Strategien durchsucht und analysiert.

Innerhalb der Nachrichten der Mailinglisten wurden auch Aktivitäten der ISOC benannt. Infolgedessen wurden Special Interest Groups der ISOC (vgl. ISOC 2019a) und ihre Statements hinsichtlich des Forschungsgegenstandes untersucht sowie Website-Inhalte der ISOC (ISOC 2019b) zur Entwicklung des Internets analysiert, um weitere Auskunft zum Verstehensprozess des Umbaus der Internetinfrastruktur zu erhalten und die bestehenden theoretischen Konzepte zu erweitern und zu verdichten.

Nach Sichtung der letzten Dokumente der ISOC konnten in Zusammenschau mit den bereits erfolgten Erhebungen und Auswertungen schliesslich keine neuen Akteur:innen, Akteur:innenkonstellationen, Technologien, Ereignisse und Strategien innerhalb der Dokumentenanalyse gefunden werden, die zur weiterführenden Erklärung des Forschungsgegenstandes hätten beitragen können.

Im Sinne der GTM war zu diesem Zeitpunkt die theoretische Sättigung für die Dokumentenanalyse erreicht und der Prozess der Datenerhebung und -auswertung für diese abgeschlossen.

Allerdings zeigte sich in Erhebungen, Auswertungen und Analysen des Datenmaterials, dass die Dokumente nur unzureichend Auskunft zu den aktuellen Entwicklungen und Strategien bei der Einführung neuerer technologischer Entwicklungen, insbesondere zu denen des IPv6 liefern. Zudem entwickelte ich während der Analyse innerhalb des Prozesses zur Theoriegenerierung die Hypothese, dass verschiedene Strategien zur Einführung branchenspezifisch erfolgen. Letzteres bedeutet im Konkreten, dass sich zu diesem Zeitpunkt der Forschung die theoretische Annahme ergab, dass sich u. a. die strategische Einführung in der öffentlichen Verwaltung anders vollzieht als z. B. in Dienstleistungsunternehmen.

Da sich zu dieser Annahme innerhalb Dokumentenanalyse keine weiteren Erkenntnisse zur Erklärung dieses Phänomens generieren liessen, wurde sich zur weiteren theoretischen Sättigung dazu entschlossen, Interviews mit verschiedenen Akteuren, die an der Einführung des IPv6 arbeiten, durchzuführen sowie die Erhebungen durch Statistiken von Google-Statistik zur Einführung des IPv6 und dessen Verbreitung zu ergänzen.

Sampling der Dokumentenanalyse

Im Rahmen der *Dokumentenanalyse* wurden *insgesamt 118 heterogene Dokumente* recherchiert, gesichtet und ausgewertet. Die Dokumentenanalyse fand in der Zeit von Mitte 2018 bis Anfang 2019 statt.⁸²

Tabelle 10 stellt das Gesamtsampling der Dokumentenanalyse in tabellarischer Form dar und zeigt die zwei inhaltlichen Phasen innerhalb der Erhebung sowie die Anzahl der Dokumente, die Dokumentenarten und Akteur:innen.

Zu den Dokumentarten gehören Website-Inhalte zentraler Organisationen des Internets, Standardisierungspapiere, Protokolle, Empfehlungen, Jahresberichte, Mailing-Listen Inhalte, Arbeitspapiere und Statistiken.

Zu den beteiligten Akteur:innen gehörten die Internet Engineering Task Force (IETF), die Internet Society (ISOC), das Réseaux IP Européens (RIPE), das Internet Architecture Board (IAB) und die Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA).

Der iterative Forschungsprozess aus Datenerhebung, -auswertung und Theoriegenerierung lässt sich in zwei Phasen einteilen: Eine Phase der historischen Betrachtung des Forschungsgegenstandes und eine Phase der Analyse neuerer Entwicklungen.

In der ersten Erhebungsphase zur Historie des Internets sowie den frühen technologischen Entwicklungen wurden insgesamt 58 Dokumente berücksichtigt. Diese gliedern sich wie folgt: Es wurden 30 Dokumente zur Entstehung des Internets,

82 Die Quellenangaben der Dokumentenanalysen sind im Ergebniskapitel aufgeführt.

19 Dokumente zum TCP/IP erhoben sowie angrenzend hieran 9 Mailing-Listen gesichtet, ausgewertet und zur Theoriegenerierung im Sinne der Grounded Theory Methodologie genutzt.

GESAMTSAMPLING DER DOKUMENTENANALYSE N=118	
Phase I: Historische Entwicklungen (n=58)	
30 Dokumente zur Entstehung des Internets 19 Dokumente zum TCP/IP 9 Mailing-Listen	
Phase II: neuere Entwicklungen (n=60)	
30 Dokumente zum IPv6 15 Dokumente zu Zwischenentwicklungen und dem IPv4 15 Mailing-Listen	
Dokumenttypen	Akteur:innen
Website-Inhalte Standardisierungspapiere (RFCs) Protokolle Empfehlungen Jahresberichte Mailing-Listen Inhalte Arbeitspapiere Statistiken	IETF ISOC RIPE IAB DARPA Bundesverwaltungsamt Google-Statistik

Tab. 10: Gesamtsampling der Dokumentenanalyse.

In der zweiten Phase wurden zwecks stetiger Kontrastierung und Variierung der Beobachtungsperspektive neuere Entwicklungen des Internetprotokolls sowie Zwischenentwicklungen analysiert. So wurden 60 Dokumente analysiert. 30 Dokumente zum IPv6, 15 Dokumente zu Zwischenentwicklungen und dem IPv4 wurden erhoben sowie 15 Mailing-Listen gesichtet und nach der Grounded Theory Methodologie analysiert und zu theoretischen Konzepten verdichtet.

8.2.2 Begründung des Samplings im Kontext der Interviewstudie

Wie bereits in Teilkapitel 8.2.1 zur Begründung des Samplings im Kontext der Dokumentenanalysen thematisiert wurde, zeigte die Auswertung des Materials innerhalb der Dokumentenanalyse zwar eine Sättigung auf. Allerdings konnten keine weiteren Akteur:innen, Akteur:innenkonstellationen, Technologien, Ereignisse und Strategien gefunden werden, die zur weiterführenden Erklärung des Forschungsgegenstandes hätten beitragen können.

Allerdings zeigten sich auch Limitationen innerhalb der Dokumentenanalyse. Diese betreffen insbesondere die aktuellen Entwicklungen und Strategien bei der Einführung des Internetprotokolls.

Infolgedessen wurde sich bereits während der Endphase der Dokumentenanalyse dazu entschlossen, ergänzend zur Dokumentenanalyse Interviewerhebungen durchzuführen, die zum einen die neuen Entwicklungen und Strategien umfassen sowie branchenspezifisch erfolgen, um durch Kontrastierung mögliche Muster zu erkennen. Diese methodische Kombination der Erhebungsmethoden stellt nach der Grounded Theory Methodologie kein Problem dar, da nach Glasers Prinzip «All is data» (Glaser 1998, 8) sehr unterschiedliche Formen von Datenmaterial in der Analyse berücksichtigt werden können. Die Interviewreihen fanden Ende 2018 und Mitte 2019 statt. Insofern fanden die ersten Interviews bereits gleichzeitig mit der Endphase der Dokumentenanalyse statt.

Um ein möglichst vollständiges Bild hinsichtlich verschiedener beteiligter Akteur:innen und ihrer Strategien bei der Einführung neuer Entwicklungen des Internetprotokolls zu gewinnen, wurde sich dazu entschlossen, Interviews innerhalb verschiedener Bereiche der Gesellschaft durchzuführen, die sich mit der Einführung des Internetprotokolls und dessen Weiterentwicklung im Sinne des Umbaus der Internetinfrastruktur auf technologischer Ebene selbst beschäftigen. Dazu wurden zunächst in Anlehnung an die Auswertungen und Theoriegenerierung im Kontext der Dokumentenanalyse vier Bereiche fokussiert:

- (1) Forschung (z. B. universitäre und ausseruniversitäre Forschungseinrichtungen)
- (2) öffentliche Verwaltung (z. B. Bildungseinrichtungen, Ministerien etc.)
- (3) Interessenverbände/ Vereine (z. B. Hobbyvereinigungen, Wirtschafts- /Verbraucherverbände)
- (4) Wirtschaft (z. B. Industrie, Dienstleistung, Informationstechnologien)

Innerhalb dieser Bereiche wurde weitergehend kontrastierend und variierend im Sinne des Forschungsparadigmas der Grounded Theory Methodologie vorgegangen (siehe dazu Kapitel 2) und diese nach forschungspraktischen und theoriegeleiteten Gründen weiter differenziert. Anhand dessen wurden die Interviewpartner:innen ausgewählt, die diese Bereiche repräsentieren können.

Diese Bereiche und die dafür ausgewählten Interviewpartner:innen⁸³ werden im Folgenden dargestellt sowie die Auswahlkriterien für die Varianz und Kontrastierung begründet. Anschliessend erfolgt eine tabellarische Aufarbeitung des Gesamt-samplings der Interviewstudie.

83 Weiterführend hat dies jedoch auch forschungsethische Gründe, da keine dieser Personen einer expliziten namentlichen Veröffentlichung zustimmte.

Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass die Darstellung der Akteur:innen sich auf die Funktionen und Aufgaben fokussiert und beschränkt. Dies ist einerseits im Sinne der Grounded Theory Methodologie ausreichend, da diese die Theoriegenerierung fokussiert (siehe dazu Kapitel 2). Weiterführend ist es ausreichend und zielführend, da im Kontext der Arbeit eine gegenstandsorientierte Theorie zum Umbau der Internetinfrastruktur entwickelt wird, die den Fokus auf einzelne Personen nicht notwendig macht.

8.2.2.1 *Forschung*

Ein weiterer Zugang erfolgte über den Forschungsbereich. Dabei zeigten sich bereits während der Dokumentenanalyse starke Forschungsaktivitäten im Kontext der Entwicklung und Einführung des Internetprotokolls sowie der Entwicklung des Internets als Forschungsnetzwerk für militärische Kommunikation.

Explizit zeigten sich bereits Aktivitäten des Fraunhofer Fokus, einer deutschen Organisation zur Förderung der angewandten Forschung im Kontext des IPv6. So wurde Innerhalb dieser Forschungsorganisation eine Forschungsgruppe zum IPv6 mit dem Fokus auf die Einführung des IPv6 in der öffentlichen Verwaltung gegründet, zu der Kontakt aufgenommen wurde. Im Zuge dessen konnte eine Interviewperson gefunden werden, die zudem Mitglied im deutschen IPv6-Rat ist (vgl. Hasso-Plattner-Institut 2022).

Ergänzend zu dem durchgeführten Interview wurden im Forschungsverlauf weitere Dokumente zur Dokumentenanalyse erhoben. Dabei handelt es sich um Arbeitspapiere, die während des Projekts von der Forschungsgruppe erstellt wurden, Dokumente, an denen diese beteiligt waren oder auf die sich der Interviewteilnehmende bezogen hat. Es handelt sich dabei um einen Abschlussbericht des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) zum IPv6 (vgl. BMWi 2012a) und einem Thesendiskussionspapier zum IPv6 des BMWi (vgl. BMWi 2012b) sowie um drei Empfehlungen des Bundesamtes für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) (vgl. BSI 2013a; 2013b; 2018) und einem Leitfaden zum IPv6 des BSI (vgl. BSI 2012). Weiter wurden acht Workshop-Dokumente des Bundesverwaltungsamtes zur Einführung des IPv6 berücksichtigt,⁸⁴ bei deren Erstellung bzw. Durchführung die Interviewteilnehmende beteiligt war.

Folglich wurde die Dokumentenanalyse um 14 Dokumente für den Interviewbereich der Forschung erweitert. An dieser Stelle wird bereits deutlich, dass es eine Verflechtung der Forschung mit der Politik gibt, deren Wirkung innerhalb der Analysen zu untersuchen sein wird.

84 Die Workshop-Dokumente sind nicht öffentlich zugänglich und wurden der Autorin von der Interviewpartner:in zur Verfügung gestellt.

8.2.2.2 Öffentliche Verwaltung

Bereits während der Durchführung des Interviews und der darauffolgenden Analyse zeigte sich, dass es ausformulierte Strategien für die Einführung des IPv6 in der öffentlichen Verwaltung gibt. Weiterführend stellt die öffentliche Verwaltung einen starken Kontrast zur Wirtschaft dar.

Für den Bereich der öffentlichen Verwaltung wurde nach dem «Prinzip der Maximierung und Minimierung von Unterschieden» (Przyborski und Wohlrab-Sahr 2009, 178) vorgegangen, indem die öffentliche Verwaltung kontrastierend zur Wirtschaft eingeordnet wurde und entsprechend die Interviews des Bereichs der öffentlichen Verwaltung mit denen im Bereich der Wirtschaft kontrastiert werden können.

Die Untersuchung stützte sich auf die theoretischen Annahmen der Bürokratiethorie Max Webers (1980 [1922]), derzufolge sich Bürokratien u. a. durch eine Hierarchie mit gesetzlicher Ordnung, Schriftlichkeit, Arbeitsteilung und Professionalität sowie durch Trennung von Amt und Person und durch Regelgebundenheit definieren lassen. Diese Eigenschaften sind ein Kontrast zu wirtschaftlich agierenden Unternehmen, welche nach dem Wirtschaftswissenschaftler Erich Gutenberg (1958, 1:381ff.) eine systemunabhängige Wirtschaftseinheit darstellen, die dem Prinzip des Privateigentums folgt, profitorientiert und autonom agiert.

In Anlehnung an diese theoretischen Erklärungen wird auch ein Kontrast der Bereiche hinsichtlich verfolgter Strategien zur Einführung des Internetprotokolls erwartet, der für die weitere Theoriegenerierung dienlich ist.

Diese neuen, im letzten Abschnitt erläuterten Erkenntnisse seitens spezifisch entwickelter Strategien für die öffentliche Verwaltung und deren Besonderheiten im Kontrast zur Wirtschaft führten dazu, dass Interviewpartner:innen gesucht wurden, die sich mit der Einführung des IPv6 in Einrichtungen der öffentlichen Verwaltung beschäftigen, um zu untersuchen, ob und wie die ausformulierten Strategien und Empfehlungen der Forschung und Politik aufgegriffen und umgesetzt werden.

Der Fokus dieses Untersuchungsteils lag auf universitären Verwaltungen. Dieser liegt einerseits nah, da die Autorin als wissenschaftliche Angestellte selbst Universitätsbedienstete ist und der Feldzugang dadurch erleichtert wird. Zum anderen ist dies durch Erkenntnisse des Forschungsprozesses begründet, da sich aus der Dokumentenanalyse und dem bereits durchgeführten Interview mit einem Mitarbeitenden von Fraunhofer Fokus Hinweise auf strategische Aktivitäten an Hochschulen ergaben. Infolgedessen wurden verschiedene Hochschulrechenzentren sowie der Verein «Zentren für Kommunikation und Informationsverarbeitung e.V.» (vgl. «ZKI» 2019) kontaktiert. Das ZKI ist die Vereinigung der IT-Servicezentren der Hochschulen, Universitäten und Forschungseinrichtungen in der Bundesrepublik Deutschland (vgl. ebd.). Weiter wurde die «Deutsche Initiative für Netzwerkinformationen e.V.» (DINI) (vgl. DINI 2019) kontaktiert und bezüglich zur Verfügung stehender Interviewpersonen befragt. DINI wurde gegründet, «um die Verbesserung der

Informations- und Kommunikationsdienstleistungen und die dafür notwendige Entwicklung der Informationsinfrastrukturen an den Hochschulen regional und überregional zu fördern» (ebd.).

Es folgten Vorgespräche und die Durchführung eines Interviews mit einer Person in leitender Position eines Hochschulrechenzentrums. Diese Person ist zudem Mitglied der DINI und beim ZKI involviert. Durch das Interview kamen u. a. Fragen zu der operativen Umsetzung der Einführung des IPv6 auf. Infolgedessen wurden weitere Interviewpersonen im Bereich der universitären Verwaltung mit Fokus auf die operative Umsetzung gesucht.

Es folgte ein weiteres Interview mit einer Mitarbeitenden derselben Einrichtung des Hochschulrechenzentrums, welche operativ in der Netzwerkabteilung arbeitet und die Umstellung vom IPv4 zum IPv6 mit hoher Dringlichkeit fokussiert. Die Interviewperson ist zudem aktiv beim RIPE.

Es wurde ein Vorgespräch geführt sowie ein Interview terminiert und durchgeführt. Während des Gesprächs fielen insbesondere die hohe intrinsische Motivation der Interviewperson, die starke Technikaffinität sowie der vermehrte Verweis auf weitere technikaffine Personen auf, die als Gruppe an der Verbreitung des IPv6 arbeiten. Infolgedessen wurde dieser Personenkreis kontaktiert und hinsichtlich Interviewbereitschaft angefragt.

Eserklärten sich zwei Personen zum Interview bereit. Die Interviewpartner:innen wurden persönlich kontaktiert und zu einem Interview eingeladen. Eine der zwei Interviewpersonen arbeitet beim Landeshochschulnetz der wissenschaftlichen Einrichtungen des Landes Baden-Württemberg (BelWü) (vgl. BelWü 2022) und ist Mitglied im Verein Selfnet e.V., welcher seit 1999 an der selbstverwalteten Vernetzung von Mitgliedern und dem Wissenstransfer im Bereich der Netzwerktechnik arbeitet und ein IPv6-basiertes Netzwerk betreibt (vgl. Selfnet e.V. 2019). Letzteres wird im weiteren Verlauf des Forschungsprozesses unter Interessenverbände und Vereine im Ergebniskapitel dargestellt. Die Hauptschwerpunkte der Tätigkeit beim BelWü liegen in der Bereitstellung von Infrastruktur für Unterorganisationen der öffentlichen Verwaltungen als Landesrechenzentrum sowie der Einführung und Verbreitung des IPv6.

Die zweite Person ist an einem Lehrstuhl einer Universität tätig und dort für die Rechnerbetreuung verantwortlich. Das dortige Netzwerk ist vollständig auf Parallelbetrieb von IPv4 und IPv6 umgestellt worden. Weiter ist diese Person Mitglied im Chaos Computer Club e.V. (CCC). Der CCC ist ein seit ca. 1981 bestehender Verein, der sich u. a. mit Computersicherheit beschäftigt (vgl. CCC – Chaos Computer Club 2019).

Auch aufgrund der vier Interviews im Bereich der öffentlichen Verwaltung wurden Dokumente für die Dokumentenanalyse ergänzt. Diese Dokumente beinhalten zwei Konzeptpapiere⁸⁵ zur Adressvergabe des IPv6, die von zwei der vier Interviewteilnehmenden im Rahmen ihrer Tätigkeit erstellt wurden und während des Interviews thematisiert wurden.

Wie im Fall des Interviewbereichs der Forschung stellen diese Dokumente einen direkten Verweis dar und werden zur theoretischen Sättigung berücksichtigt. Insofern wurde für den Interviewbereich öffentliche Verwaltung das Datenkorpus für die Dokumentenanalyse um zwei Dokumente erweitert.

Durch die vier durchgeführten Interviews aus dem Bereich der öffentlichen Verwaltung war die theoretische Sättigung für diesen Bereich in Ergänzung zu der Dokumentenanalyse abgeschlossen, da sich keine weiteren Erkenntnisse zu Akteur:innen, Akteur:innenkonstellationen, Technologien, Ereignissen und branchentypische Strategien finden liessen, die zur darüber hinaus Theoriegenerierung im Sinne der Grounded Theory Methodologie beitragen.

8.2.2.3 *Interessenverbände/Vereine*

Da innerhalb der Interviews vermehrt auf Aktivitäten des Interessenverbandes RIPE hingewiesen wurde und die Empfehlungen des RIPE eine bedeutende Rolle in der Einführung zu spielen schienen, wurde sich dazu entschlossen, ein Interview mit Beteiligten des RIPE durchzuführen.

Das RIPE repräsentiert den Bereich der im Rahmen dieser Arbeit einschlägigen Interessenverbände, kann allerdings die Vielfalt der unterschiedlich motivierten Interessenverbände nicht alleine abbilden. Es ist anzumerken, dass die unterschiedlichen Interviewpartner:innen in ihrer Doppelfunktion und Einbettung innerhalb verschiedener Arbeitsgruppen und Interessenverbände interviewt wurden. Hierdurch konnte auch der Blick auf weitere Interessenverbände wie CCC, DINI und ZKI gerichtet werden. Innerhalb von DINI und ZKI lässt sich ein Bezug zur Hochschulpolitik feststellen, während RIPE in Teilen durch wirtschaftliche Vertreter:innen motiviert ist und der CCC als zivilgesellschaftliche Organisation unterschiedlichen technisch motivierten Personen einen Raum gibt. In der Zusammenschau dieser Akteur:innen repräsentieren sie den Bereich der Interessenverbände aus unterschiedlichen Spektren.

Hinsichtlich des RIPE wurde Kontakt zu der IPv6 Working Group hergestellt und eine Anfrage für ein Interview gestellt. Daraufhin konnte eine Interviewpartner:in in leitender Position der IPv6 Working Group für ein Interview gewonnen werden. Das Interview wurde terminiert und telefonisch durchgeführt. Die interviewte Person ist hauptberuflich im Consultingbereich tätig und beschäftigt sich dort mit der

85 Die Konzeptpapiere sind nicht öffentlich zugänglich und wurden der Autorin von den Interviewpartner:innen zur Verfügung gestellt.

Beratung zur Umstellung von Netzwerken auf das IPv6. Zu den Kunden gehören u. a. die Deutsche Bahn AG (DB), die Deutsche Telekom, der Soft- und Hardwarehersteller Texas Instruments, die Commerzbank und viele mehr. Weiter ist die Person Mitglied in der German Network Operators Group (DENO) (vgl. DENO 2019), dem deutschen IPv6-Rat (Hasso-Plattner-Institut 2011) sowie der Internet Engineering Task Force (IETF). Die interviewte Person konnte während des Interviews über umfassende Erfahrungen sowohl aus der Tätigkeit innerhalb des RIPE als auch aus der Beratungstätigkeit für Unternehmen verschiedener Branchen berichten.

Das Datenkorpus für die Dokumentenanalyse wurde in Anlehnung an dieses Interview mit dem RIPE nicht erweitert, da alle rezensierten Dokumente durch den Interviewteilnehmenden bereits in der Dokumentenanalyse berücksichtigt wurden. Dieses Phänomen ist an dieser Stelle bereits als ein Hinweis auf eine ausreichende Sättigung im Bereich der untersuchten NGOs zu werten.

8.2.2.4 *Wirtschaft*

Aufgrund des Interviews mit der am RIPE beteiligten Interviewteilnehmenden konnten weitere Kontakte über das 77. RIPE Meeting Amsterdam (Holland) rekrutiert werden. Die Interviewpartner:in verbreitete ein von mir vorbereitetes Anschreiben auf der RIPE Konferenz im Oktober 2018 (vgl. RIPE 77 Conference 2018). Infolgedessen konnten interessierte Kontaktpersonen aus dem Wirtschaftsbereich gewonnen werden. Der Rücklauf war sehr gross und ich wurde von 15 Personen kontaktiert.

Für die Auswahl geeigneter Personen entwickelte die Autorin eine Strategie, die nicht nur methodologischen, sondern auch theoriegeleiteten Prinzipien folgt. Bei der Auswahl von Interviewpartner:innen im Bereich der Wirtschaft wurde sich dabei zunächst anhand der volkswirtschaftlichen «Drei-Sektoren-Hypothese», die auf Colin G. Clark (1940) zurückgeht und von Jean Gottmann (1961) um einen weiteren Sektor erweitert wurde, orientiert. Den Ausführungen folgend lässt sich die Wirtschaft in die vier Sektoren *Agrar*, *Industrie*, *Dienstleistung* und *Information* einteilen (vgl. Clark 1940; Gottmann 1961).

Diese vier Sektoren wurden im Interviewsampling zunächst als offene Rahmung für das Sampling der Interviewstudie im Bereich der Wirtschaft berücksichtigt. Damit wurde das Ziel verfolgt, möglichst alle Sektoren auf Spezifika im Entwicklungs- und Einführungsprozess des Internetprotokolls zu untersuchen und die interessierten Kontaktpersonen diesen zuzuordnen.

Der Agrarsektor wurde im Verlauf des Forschungsprozesses jedoch ausgeschlossen. Zum einen bildete keine der interessierten Personen diesen Bereich ab. Zum anderen arbeiteten nach dem Statistischen Bundesamt im Jahr 2019 nur 510.000

Menschen in diesem Sektor (ca. 1,3% der deutschen Erwerbsbevölkerung). Diese Anzahl ist sehr gering im Vergleich zu anderen Sektoren (z.B. Informationssektor). Allein im Bereich der Information und Kommunikation arbeiten ca. 1,3 Millionen Erwerbstätige (vgl. Statistisches Bundesamt Destatis 2022). Daher werden für den Agrarsektor keine für das Forschungsinteresse signifikanten Erkenntnisse erwartet. Weiter zeigte sich innerhalb von Vorgesprächen mit interessierten Kontaktpersonen, dass grössere Landwirtschaftsbetriebe meist keine eigene Netzwerkabteilung besitzen, die sich mit Netzwerktechnik wie dem Internetprotokoll beschäftigen, sondern solche Themen an IT-Dienstleister ausgelagert werden.

Ähnliche Beobachtungen liessen sich auch in anderen Bereichen ausmachen, insbesondere in der öffentlichen Verwaltung. So befassen sich beispielsweise schulische Bildungseinrichtungen nicht selbst mit der Internetinfrastruktur, sondern lagern diese den Gesprächen mit Schulleitungen zufolge an kommunale Rechenzentren aus.

Für den Bereich der Wirtschaft werden demnach die drei Sektoren *Industrie*, *Dienstleistung* sowie *Information* für das Sampling der Interviewstudie berücksichtigt.

Das erste Interview im Wirtschaftsbereich (Sektor Dienstleistung) fand mit einer Person statt, die bei einem international agierenden Online-Auktionshaus tätig ist. Sie beschäftigt sich bei ihrer Tätigkeit mit der Administration der Netzwerkabteilung des Unternehmens und der Umstellung auf das IPv6 und war mit dem Unternehmen am IPv6-Day im Juni 2011 (vgl. RIPE Labs 2011) beteiligt.

Dem «Prinzip der Minimierung und Maximierung von Unterschieden» (Przyborski und Wohlrab-Sahr 2009, 178) im Forschungsfeld folgend, erfolgte das zweite Interview mit einer Person eines national agierenden Unternehmens deutlich geringerer Grösse. Die Maximierung von Unterschieden findet hier zum einen auf der Ebene international vs. national agierend, zum anderen auch durch Kontrastierung zwischen den Wirtschaftssektoren Dienstleistung und Industrie statt. Das Interview erfolgte mit einer Mitarbeitenden eines Unternehmens im Bereich der Automobilindustrie. Die Person beschäftigt sich dort mit der Umstellung auf das IPv6. Nach einer Vorbesprechung per E-Mail wurde das Interview terminiert und durchgeführt.

Ein drittes Interview fand mit einer Mitarbeitenden eines amerikanischen Softwareunternehmens statt, welches dem Sektor der Informationstechnik zuzuordnen ist. In diesem Unternehmen entwickelt die Person Software und beschäftigt sich zusätzlich mit der Entwicklung von Softwarelösungen für die Umstellung auf das IPv6 für andere Unternehmen, die öffentliche Verwaltung und auch für die eigene Unternehmensinfrastruktur. Zudem ist die Person freiberuflich Consultant im Bereich der IPv6-Einführung und unterstützt deutsche klein- und mittelständische Unternehmen. Nach einem telefonischen Vorgespräch wurde das Interview terminiert und anschliessend durchgeführt.

Diese Person konnte aus einer umfassenden Perspektive zur Umstellung von IPv4 auf IPv6 berichten. Die geschilderten Erfahrungen umfassten sowohl den Sektor der Informationstechnik als auch – aufgrund der Consulting-Tätigkeit – den Bereich Dienstleistungen. Zudem gab es bereits innerhalb des Interviews Ansätze der Kontrastierung sowohl zwischen verschiedenen Branchen als auch aufgrund der Kontrastierung zwischen national und international agierenden Unternehmen, die der weiteren Theoriegenerierung zum Umbau der Internetinfrastruktur dienlich ist.

Zur Informationsgewinnung über die drei Wirtschaftssektoren Industrie, Dienstleistung und Informationstechnik wurden insgesamt drei Interviews durchgeführt. Ergänzend zu den Erkenntnissen aus der Dokumentenanalyse und den bereits erfolgten Interviews konnten umfassende Erkenntnisse zu verfolgten Strategien sowie der Motivation für die Umstellung gewonnen werden. Durch die Orientierung am «Prinzip der Minimierung und Maximierung von Unterschieden» (Przyborski und Wohlrab-Sahr 2009, 178) im Untersuchungsfeld konnte hinsichtlich international und national agierender Unternehmen, in- und ausländischen Unternehmen sowie klein- und mittelständischen Unternehmen vs. Grossunternehmen differenziert und konnten Unterschiede aus der Perspektive des Forschungsinteresses untersucht werden.

Das Datenkorpus für die Dokumentenanalyse wurde in Anlehnung an die drei Interviews im Wirtschaftsbereich nicht erweitert, da alle rezensierten Dokumente durch die Interviewteilnehmenden bereits in der Dokumentenanalyse berücksichtigt wurden. Dieses Phänomen war als Hinweis auf eine ausreichende Sättigung im Bereich Wirtschaft zu werten. Darüber hinaus konnten keine weiteren zur Theoriegenerierung dienlichen Phänomene identifiziert werden, wodurch die Interviewerhebung insgesamt als abgeschlossen eingestuft werden konnte.

8.2.3 Sampling der Interviewstudie

Im Hinblick auf die gesamte Interviewreihe wurden neun Interviews durchgeführt. Die Interviewreihen fanden in dem Zeitraum Ende 2018 bis Mitte 2019 statt.

Tabelle 11 zeigt das Gesamtsampling der Interviewerhebung. Dieses gliedert sich wie folgt: ein Interview im Bereich der Forschung, vier Interviews im Bereich der öffentlichen Verwaltung, ein Interview mit einer NGO sowie je ein Interview in den Wirtschaftssektoren Industrie, Dienstleistung und Informationstechnik.

Insgesamt wurden 14 Dokumente nacherhoben, die explizit innerhalb der Interviews benannt wurden oder selbst entwickelte Konzepte oder Workshop-Dokumente darstellen, die die Interviewpartner:innen entwickelt haben und thematisierten.

In Tabelle 11 sind die Interviews nochmals zu den empirisch und theoretisch definierten Bereichen zugeordnet. Darüber hinaus werden die nacherhobenen Dokumente differenziert nach Anzahl und Dokumenttyp dargestellt.

Zu den Dokumentarten gehörten Abschlussberichte, Thesendiskussionspapiere, Empfehlungen, Leitfäden sowie Workshop-Dokumente.

Zu den beteiligten Akteur:innen innerhalb der Interviewstudie gehörten als interviewte Parteien das Fraunhofer Fokus, Hochschulrechenzentren, Réseaux IP Européens (RIPE), IPv6 Working Group sowie ein Unternehmen aus der Automobilindustrie, ein Online-Auktionshaus und ein Softwareunternehmen.

Ergänzend dazu gaben die Interviewpartner:innen durch unterschiedliche Doppelfunktionen innerhalb verschiedener Interessenverbände/Vereine Auskunft zu folgenden Akteur:innen: Internet Engineering Task Force (IETF), Deutsche Initiative Netzwerk e.V. (DINI), Zentren für Kommunikationsverarbeitung in Forschung und Lehre (ZKI), Chaos Computer Club (CCC), German Network Operators Group (DENOG) sowie dem IPv6-Rat.

Weiter konnten die Interviewpartner:innen ihre Erfahrungen und Strategien zum Umbau der Internetinfrastruktur am Beispiel des Internetprotokolls anhand verschiedener Auftragsarbeiten oder Beratungen schildern. Zu diesen gehören die folgenden Unternehmen: Deutsche Bahn AG, Deutsche Telekom, Texas Instruments und die Commerzbank.

Schliesslich wurde auch auf weitere Akteur:innen innerhalb der Interviews Bezug genommen. So wurde seitens einer Interviewpartner:in die Teilnahme am IPv6-Day sowie die Mitarbeit innerhalb politischer Gremien geschildert. Zu letzteren gehörte das damalige Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) (jetzt: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, BMWK) sowie das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI).

GESAMTSAMPLING DER INTERVIEWERHEBUNGEN (N=9) Gesamtanzahl der nacherhobenen Dokumente (n=14)	
Bereich Forschung (n=1)	
Erhebung weiterer Dokumente (n=14)	Dokumenttypen: Abschlussbericht Thesendiskussionspapier Empfehlungen Leitfaden Workshop-Dokumente
Bereich öffentliche Verwaltung (n=4)	
Erhebung weiterer Dokumente (n=2)	Dokumenttypen: Konzeptpapier
Bereich Interessenverbände/Vereine (n=1)	
Erhebung weiterer Dokumente (n=0)	

Bereich Wirtschaft (n=3)	
Davon: Industriesektor (n=1) Dienstleistungssektor (n=1) Informationssektor (n=1)	
Akteur:innen	
Forschung	Fraunhofer Fokus
Öffentliche Verwaltung	Hochschulrechenzentren
Interessenverbände	RIPE, IPv6 Working Group
Ergänzende Interessenverbände durch Doppelfunktion der Interviewpartner:innen	IETF DINI ZKI CCC DENOG IPv6-Rat
Wirtschaft	
Industrie	Automobilindustrie
Dienstleistung	Online-Auktionshaus
Informationssektor	Softwareunternehmen
Ergänzende Wirtschaftsakteur:innen aufgrund von Doppelfunktion bzw. Auftraggeber:innen der Interviewpartner:innen	Deutsche Bahn AG Deutsche Telekom Texas Instruments Commerzbank
Sonstige (u. a. politische Akteure, Aktionstage)	IPv6-Day BMWi BSI

Tab. 11: Gesamtsampling der Interviewerhebungen.

8.3 Gesamtsampling der Grounded Theory Studie

Zum Abschluss des Teorieteils möchte ich das Gesamtsampling für die vorliegende Grounded Theory Studie zusammenfassend für die Dokumentenanalyse und Interviewstudie darstellen.

Im Rahmen der Dokumentenanalyse wurden insgesamt 118 Dokumente mittels Recherche, Sichtung und Auswertung von Webseiteninhalten zentraler Internet-Akteur:innen, erhoben: Standardisierungspapiere, Protokolle, Empfehlungen, Jahresberichte, Mailing-Listen und Arbeitspapiere der Internet Engineering Task Force (IETF), der Internet Society (ISOC), des Réseaux IP Européens (RIPE), des Internet

Architecture Boards (IAB) und der Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA). Sie wurden in einem iterativen Prozess, ausgewertet und daraus theoretische Konzepte in Anlehnung an die Grounded Theory Methodologie elaboriert.

Die Dokumentenanalyse fokussierte in der ersten Erhebungsphase die Historie des Internets sowie die frühen technologischen Entwicklungen. Dazu wurden insgesamt 58 Dokumente berücksichtigt. Diese gliedern sich in 30 Dokumente zur Entstehung des Internets, 19 Dokumente zum TCP/IP sowie hieran angrenzend neun Mailing-Listen.

In der zweiten Phase wurden neuere Entwicklungen des Internetprotokolls sowie Zwischenentwicklungen analysiert. In diesem Analyseschritt wurden 60 Dokumente berücksichtigt. Hier wurden 30 Dokumente zum IPv6, 15 Dokumente zu Zwischenentwicklungen und dem IPv4 erhoben sowie 15 Mailing-Listen gesichtet und nach der Grounded Theory Methodologie analysiert und zu theoretischen Konzepten verdichtet.

Ergänzend zur Dokumentenanalyse wurden neun Interviews aus den Bereichen Forschung, öffentliche Verwaltung, Interessenverbände/Vereine und der Wirtschaft durchgeführt und ausgewertet. Daraus wurden branchenspezifische Charakteristika für den Umbau der Internetinfrastruktur hinsichtlich Strategien der Entwicklung und Einführung in Anlehnung an die Grounded Theorie Methodologie elaboriert.

Es erfolgte ein Interview im Bereich Forschung mit einer Mitarbeitenden des Fraunhofer Fokus. Vier weitere Interviews fanden mit Mitarbeitenden aus dem Bereich der öffentlichen Verwaltung mit vielfältigen Funktionen in unterschiedlichen NGOs wie dem RIPE, der IETF, dem ZKI, der DINI und dem IPv6-Rat statt.

Weiter wurde ein Interview mit einer Person des Interessenverbandes RIPE in Doppelfunktion als hauptberufliche Consultant:in im Bereich der IPv6-Einführung mit Verbindungen zur Deutschen Telekom, Commerzbank, Deutschen Bahn, Texas Instruments sowie drei Interviews in den Wirtschaftssektoren Industrie, Dienstleistung und Informationstechnik geführt. Beim Industriesektor wurde ein Interview mit einer Person aus einem national agierenden Unternehmen der Automobilindustrie durchgeführt und aus dem Dienstleistungssektor eine Person aus einem international agierenden Online-Auktionshaus, aus dem Sektor der Informationstechnik eine Person aus einem amerikanischen Softwareunternehmen interviewt. Die Interviewteilnehmenden traten in verschiedenen Funktionen – z.B. als zusätzlich freiberufliche Consultant:in, als Softwarehersteller:in oder auch als Teilnehmer:in des IPv6-Days – auf.

Der Korpus der Dokumentenanalyse wurde in Anlehnung an die durchgeführten Interviews um 14 Dokumente ergänzt. Zwölf Dokumente wurden auf Basis des Interviews im Forschungsbereich sowie zwei Dokumente im Anschluss an die Interviews mit der öffentlichen Verwaltung ergänzt.

GESAMTSAMPLING DER GROUNDED THEORY STUDIE		
Dokumentenanalyse (n=132)	Interviewstudie (n=9)	
Phase I: Historische Entwicklungen (n=58) TCP, TCP/IP	Untersuchte Bereiche:	
	Forschung (n=1) Fraunhofer Fokus	Öffentliche Verwaltung (n=4) Hochschulrechenzentrum
Phase II: neuere Entwicklungen (n=60) Zwischenentwicklungen, IPv4, weitere Zwischenentwicklungen, IPv6	Interessenverbände (n=1) RIPE	Wirtschaft (n=3) Industrie: Automobilindustrie Dienstleistung: Online-Auktionshaus Informationssektor: Softwareunternehmen
Nacherhebung durch Interviewstudie (n=14)		
Dokumenttypen (n=13)		
Website-Inhalte Standardisierungspapiere Protokolle Empfehlungen Jahresberichte Mailing-Listen Inhalte Arbeitspapiere	Abschlussbericht Thesendiskussionspapier Empfehlungen Leitfaden Workshopdokumente Konzeptpapiere Statistiken	
Akteur:innen (n=28)		
Öffentliche Verwaltung Hochschulrechenzentren	Interessenverbände/ Vereine IETF ISOC RIPE IPv6 Working Group IAB Bundesverwaltungsamt Google Statistik IETF DINI ZKI CCC DENOG IPv6-Rat	
Politik DARPA BMWi BSI		
Forschung Fraunhofer Fokus	Wirtschaft Deutsche Bahn AG Deutsche Telekom Texas Instruments Commerzbank	

Sonstige IPv6-Day	Technologien TCP IP TCP/IP Zwischenentwicklungen IPv4 IPv6
----------------------	--

Tab. 12: Gesamtsampling der Grounded Theory Studie.

Das Gesamtsampling der Grounded Theory Studie zum Umbau der Internetinfrastruktur wird in Tabelle 12 dargestellt. Es besteht entsprechend aus 132 Dokumenten. 118 davon wurden aus der ursprünglichen Dokumentenanalyse sowie 14 Dokumente aus der Dokumentenanalyse im Anschluss an die Interviews analysiert. Zudem wurden insgesamt neun Interviews durchgeführt.

Innerhalb der Analysen wurden insgesamt 13 verschiedene Dokumententypen von 28 Akteur:innen im Sinne des «symmetrische Anthropologie» der Akteur:innen-Netzwerk-Theorie (siehe Kapitel 5.2.2.1) untersucht. Letztere können den Bereichen öffentliche Verwaltung, Forschung, Interessenverbände, Wirtschaft, Technologie sowie einem Bereich mit der Deklaration «Sonstige» zugeordnet werden. Der letzte Bereich umfasst den IPv6-Day, eine Initiative zur Verbreitung des IPv6.

8.4 Die Methoden zur Datenaufbereitung

Im Folgenden werden die Methoden zur Datenaufbereitung dargestellt, die im Kontext der vorliegenden Arbeit verwendet wurden. Zuerst wird die Datenaufbereitung der Interviewdaten durch Verschriftlichung (Transkription) vorgestellt. Anschließend werden die Gründe für eine computergestützte Verwaltung und Auswertung der Forschungsdaten mittels der Software MAXQDA dargelegt.

8.4.1 Transkription

Audiodaten von Interviews können nur schwierig analysiert und ausgewertet werden, wenn sie ausschliesslich als Tonaufnahme vorliegen. Infolgedessen wurden die erhobenen Interviews in Anlehnung an die Konventionen des Gesprächsanalytischen Transkriptionssystems 2 (GAT II) nach Selting et al. (2009) verschriftlicht und jeweils als Transkript für die Interviews aufbereitet.

Da es im Kontext der vorliegenden Arbeit um die Analyse von Inhalten, nicht zum Beispiel um die Untersuchung von Dialekten geht, wurde eine *Basistranskription mit einer hohen Lesbarkeit* als zielführend erachtet, für die zuvor festgelegte Standards definiert wurden.

Demzufolge enthalten die Transkripte die Wiedergabe des Wortlautes der jeweiligen Sprecherbeiträge und Sprecherwechsel, eine minimale prosodische Transkription, die nötig ist, um Missverständnisse hinsichtlich der semantischen Struktur und pragmatischen Funktion der Einheiten im Gesprächskontext auszuschließen, die Notation von Überlappungen und Simultansprechen, Pausen sowie Kommentare zu paraverbalen und nonverbalen Ereignissen in einfacher Beschreibung. Letzteres umfasst beispielsweise das unterbrechende Anklopfen an der Bürotür oder ein Telefonklingeln sowie Husten. Zudem wurden unverständliche Stellen gekennzeichnet. Nicht enthalten sind die Kenntlichmachungen schneller Wortanschlüsse, Dehnungen, Abbrüche oder auch Dialektisierungen und Tonhöhenbewegungen.

Dem jeweiligen Transkript vorangestellt wird der Interviewheader mit grundlegenden Informationen der Interviewpartner:innen. Als weiteres strukturierendes Merkmal werden Zeilennummerierungen und Zeitmarken eingefügt. Letztere erleichtern das Auffinden von Interviewpassagen sowie die Zitation in der Ergebnisdarstellung.

Folgende aus dem Gesprächsanalytischen Transkriptionssystem 2 (GAT II) verwendete Konventionen und Zeichen werden in Anlehnung an Selting et al. (2009) innerhalb der Transkripte verwendet und zur Sicherung der Transparenz im Folgenden dargestellt. Ein Interviewausschnitt unter der Verwendung von einigen Transkriptionskonventionen findet sich in der darauf folgenden Abbildung 14.

Sprecherwechsel (Turns) werden mit einem Absatz kenntlich gemacht.	
I:	Interviewer
P:	Interviewpartner
Überlappungen und Simultansprechen werden an die Stelle des Textes gesetzt, an der überlappend eingesetzt wird.	
[]	eckige Klammern werden als Kennzeichnung für Kommentare verwendet
Pausen werden durch runde Klammern kenntlich gemacht.	
(.)	Mikropause
(-), (--), (---)	kurze, mittlere und längere geschätzte Pausen
(2.0)	längere Pausen, geschätzte Pausendauer in Sekunden.
Rezeptionssignale werden in einsilbige und zweisilbige untergliedert und gekennzeichnet.	
hm ja nein	Beispiele für einsilbige Signale
nee	

hm=hm ja=a nei=ein	Beispiele für zweisilbige Signale
Verbale und nonverbale Handlungen und Ereignisse werden versprachlicht und mit doppelten runden Klammern gekennzeichnet.	
((hustet))	Charakterisierung
((lacht))	Beschreibung des Lachens
((klopft an der Tür))	Beschreibung des Ereignisses
Unverständliche Stellen innerhalb des Interviews werden mit Zeitmarken versehen und mit Leerraum versehen.	
(12:21Min)	unverständliche Passagen, je nach Länge mit unterschiedlich viel Leerraum, Zeitmarke
(solche/ 12:21Min)	vermuteter Wortlaut, nicht sicher rekonstruierbar
(welche/solche/ 12/21Min)	mögliche Alternativen, zwischen denen nicht sicher entschieden werden kann
Zeitmarken werden im Transkript eingefügt und fett/kursiv formatiert. Die Zeilenzählung wird aktiviert.	

558 **34:11 Min.**
559
560 I: Mhm. Um das einmal zeitlich einzuordnen. Zu welcher Zeit sind Sie mit
561 dem v6 in Berührung gekommen? Wann tauchte das bei Ihnen auf?
562
563 P: (-) So das ist jetzt schwierig. Na, ich würde dann doch sagen, für mich
564 eigentlich zum Forschungsprojekt, zum Beginn des Forschungsprojekts. Das
565 muss so 2010 gewesen sein, so.
566
567 I: Mhm, (---) in Ordnung.
568
569 P: Also, wobei hier denn natürlich einfach aus der Forschungsecke und so
570 weiter, natürlich nen paar Eigenschaften von v6 schon bekannt waren. Aber
571 ich würde sagen v6 dann ab 2010, ja.
572
573 **34:54 Min.**

Abb. 14: Transkriptionsbeispiel, eigener Interviewausschnitt Textverarbeitungsprogramm.

8.4.2 Computergestützte Verwaltung und Auswertung von Forschungsdaten

Die bisherigen Ausführungen lassen bereits erkennen, dass sich im Fortlauf der Studie grosse Mengen von schriftlichem Datenmaterial angesammelt haben. Neben einer Vielzahl von Dokumenten aus den Recherchen zum Entwicklungsprozess des Internetprotokolls wurden Interviewtranskripte erstellt sowie umfangreiche Memos und Codenotizen angefertigt. Das Vorliegen dieser schriftlichen Materialien zum Zweck der Analyse und Auswertung führt zu der Notwendigkeit, diese in eine sinnvolle Ordnung zu bringen und computergestützt zu sortieren.

Bereits zu Studienbeginn wurde sich daher dazu entschlossen, die Daten mittels eines computergestützten Verfahrens zu organisieren. Infolgedessen wurde auf die Software MAXQDA⁸⁶ zurückgegriffen. Diese bietet für die vorliegende Studie die Vorteile, Dokumente zu importieren und diese in *einer* Projektdatei abzulegen. Weiter können die Dokumente in zuvor selbstständig definierten Registern abgelegt werden, sodass eine Ordnungsstruktur entsteht, auf die zur Theoriegenerierung im Sinne der Grounded Theory Methodologie zurückgegriffen werden kann. Für die vorliegende Forschung wurden dazu bspw. Ordner zu den technologischen Entwicklungen des TCP/IP, dem IPv4, Zwischenentwicklungen und dem IPv6 erstellt. Innerhalb dieser Struktur wurden dann Unterordner zu Akteur:innen und dazugehörigen Dokumenten angelegt. Diese Struktur entstand im Verlauf der Analyse als iterativer Prozess.

Abbildung 15 zeigt einen Ausschnitt der Ordnerstruktur innerhalb der Software MAXQDA:

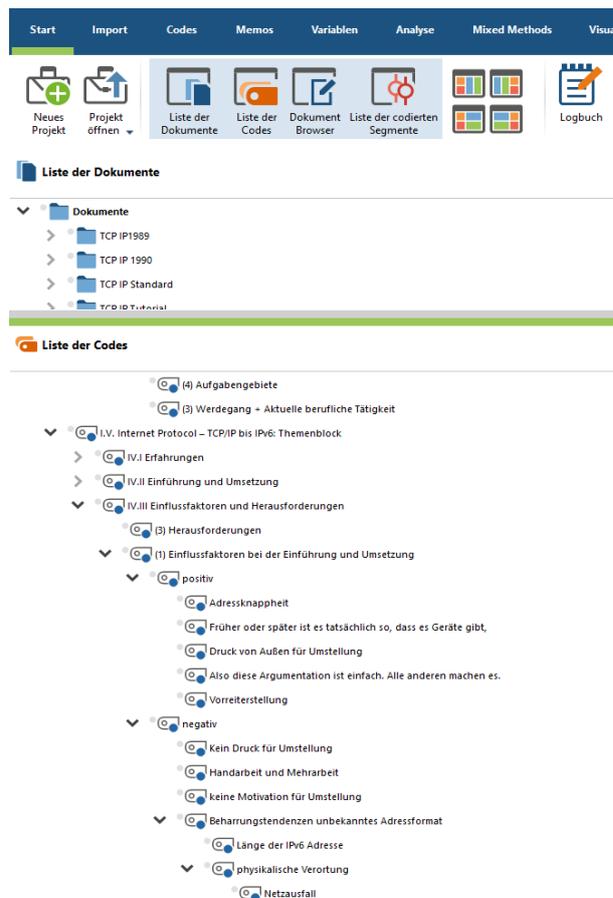


Abb. 15: Ausschnitt der Ordnerstruktur in MAXQDA.

86 Siehe dazu weiterführend auch die Website von MAXQDA: <https://www.maxqda.com/de/warum-maxqda>, letzter Zugriff: 19.01.2023.

Zudem bietet die Software die Möglichkeit, die Dokumente innerhalb der Anwendung zu lesen, zu editieren sowie in Anlehnung an die Grounded Theory zu codieren. Letzteres erfolgte aufgrund der Komplexität des Forschungsgegenstandes jedoch vornehmlich mittels «Pen and Paper».

Ein grosser Mehrwert des Programms für die vorliegende Arbeit ist die Möglichkeit zur Organisation der verschiedenen Textsorten, indem MAXQDA half, den Überblick über das vorhandene Material zu behalten. Insofern leistet MAXQDA einen Beitrag zur Ordnung, Strukturierung und dem Wiederfinden von Daten innerhalb der vorliegenden Studie.

8.5 Verfahren zur Datenauswertung: Kodierung und Memos

Die Auswertung stützt sich auf die Analyse und Interpretation der Interviewtranskripte und Dokumente zum Forschungsgegenstand der im Gesamtsampling dargestellten Daten (Kapitel 8.3). Diese Daten werden vor dem Hintergrund des Forschungsparadigmas der GTM (Kapitel 2) und der theoretisch sensibilisierenden Konzepte (Kapitel 5 und 6) analysiert. Letztere wurden in Anlehnung an die Vorarbeiten zur vorliegenden Arbeit im Sinne der Ausgangslage und des Forschungsfokus der Studie (Kapitel 3) sowie des systematischen Literaturreviews zur Konkretisierung des Forschungsgegenstandes (Kapitel 4) entwickelt. Insofern sind die Verfahren zur Datenauswertung nicht losgelöst von den Vorarbeiten entstanden und wirken sich auf die Analyse aus.

Zur Datenauswertung erweisen sich die Kodierverfahren der Grounded Theory Methodologie sowie Forschungsnotizen im Sinne von Memos als nützlich. Die Grounded Theory Methodologie stellt drei Kodierungsformen zur Anwendung bereit, denen die vorliegende Arbeit folgt: das offene Kodieren, das axiale Kodieren sowie das selektive Kodieren (vgl. Przyborski und Wohlrab-Sahr 2009, 205). Im Folgenden werden diese drei Kodierungsverfahren sowie die Bedeutsamkeit von Memos im Kontext der vorliegenden Arbeit erläutert.

Die Analyse- und Interpretationsarbeit zum Umbau der Internetinfrastruktur am Beispiel des Internetprotokolls beginnt mit dem «Aufbrechen der Daten» durch das Verfahren des offenen Kodierens. Dazu wurden die Forschungsdaten in einem iterativen Prozess aus Datenerhebung und Auswertung kontinuierlich gesichtet und auf Basis der Inhalte von Textausschnitten der Interviews und Dokumentenanalysen Assoziationen, Ideen sowie Präkonzepte und Charakteristika zum Forschungsgegenstand formuliert.

Im Zuge dessen wurden in einem ersten Schritt konzeptuelle Gedanken zu einzelnen Textausschnitten (im Sinne von Ober- und Unterthemen) zum Forschungsgegenstand erfasst und in Form von Memos und der Bezeichnung mittels Codes in Unterordnern innerhalb der Software MAXQDA festgehalten. Dazu wurden

Textausschnitte innerhalb der Daten ausgewählt, die sich durch thematische Relevanz für den Forschungsgegenstand ausweisen oder auch jene innerhalb der Interviews, die eine besonders hohe Dichte im Sinne einer detaillierten Schilderung aufweisen. Dem Forschungsparadigma der Grounded Theory folgend (s. ausführlich Kapitel 2) wird dieser Prozess des offenen Kodierens von einem ständigen Vergleich sowie einer Kontrastierung nach dem «Prinzip der Minimierung und Maximierung von Unterschieden» (Przyborski und Wohlrab-Sahr 2009, 178) innerhalb der Datenerhebung und -auswertung begleitet, um Besonderheiten und wiederkehrende Muster innerhalb des Datenmaterials zu erkennen und daran Präkonzepte zu generieren. Dieses Vorgehen schilderte ich bereits in der Begründung des Samplings der Dokumentenanalyse (Kapitel 8.2.1) sowie der Begründung der Interviewstudie (Kapitel 8.2.2). Innerhalb des Auswertungsprozesses wurden diesem Vorgehen folgend, in Anlehnung an Przyborski und Wohlrab-Sahr (2009, 197), theoretische Hypothesen («Präkonzepte») anhand der Charakteristika einer empirischen Konstellation, anderen empirischen Konstellationen, wie auch mittels systematischer Unterschiede innerhalb der empirischen Konstellationen verifiziert.

Im weiteren Kodierprozess wurden dann diese ersten generierten «Präkonzepte» des offenen Kodierens mithilfe des axialen Kodierens verfeinert und zu ersten Kategorien ausdifferenziert. Dazu wurden die im vorherigen Schritt definierten Ober- und Unterthemen weiterführend zur Erklärung des Forschungsgegenstandes abstrahiert, und zu diesen abstrahierten Kategorien wurden Bezeichnungen definiert. Diese Bezeichnungen wurden in MAXQDA als grössere Überordner angelegt, denen die zuvor definierten «Präkonzepte» als Unterordner hinzugefügt wurden.

Betrachtet bzw. herausgearbeitet wurden in diesem Zusammenhang Bedingungen, Interaktionen zwischen den Akteur:innen und Akteur:innenkonstellationen, Strategien und Ursachen sowie Konsequenzen, die zur Klärung des Forschungsgegenstandes beitragen und somit der Theoriegenerierung dienlich sind. Diese wurden wiederum kontrastiert und auf Ähnlichkeiten und Unterschiede hin untersucht und daran überprüft.

Diese Logik folgt dem von Strauss ausgearbeiteten Kodierparadigma (vgl. Strübing 2004, 28), welches im Kontext der vorliegenden Arbeit auf den Forschungsgegenstand des Umbaus der Internetinfrastruktur am Beispiel des Internetprotokolls übertragen und modifiziert wurde.

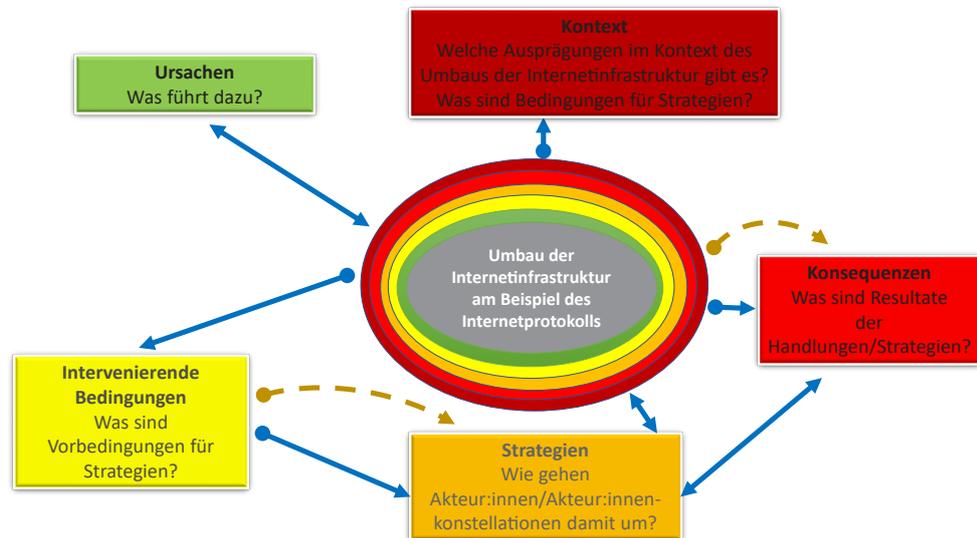


Abb. 16: Kodierparadigma für den Umbau der Internetinfrastruktur, eigene Darstellung.

Abbildung 16 zeigt das angepasste Kodierparadigma für den vorliegenden Untersuchungsgegenstand. Darin zu sehen ist das untersuchte zentrale Phänomen, der Forschungsgegenstand des Umbaus der Internetinfrastruktur am Beispiel des Internetprotokolls, sowie umliegend die Ursachen, intervenierenden Bedingungen, Strategien, Konsequenzen und der Kontext, der einen Ermöglichungsraum als Bedingung für Strategien bereitstellt.

Der Auswertungsprozess wurde durch das Kodierparadigma unterstützt und fortlaufend durch schriftliche Memos ergänzt. Diese enthalten weiterführende Ideen zur Abstraktion und wurden nach und nach zur Verfestigung einer vorläufigen Theorie zum Umbau der Internetinfrastruktur am Beispiel des Internetprotokolls verdichtet.

Auf Basis dieser Kategorien und Memos wurde dann im dritten Kodierschritt, dem selektiven Kodieren, das zentrale Konzept (die sogenannte Kernkategorie) zur Erklärung des Umbauprozesses der Internetinfrastruktur identifiziert, auf dessen Logik die übrigen Bestandteile der bereits identifizierten Kategorien fussen und den Forschungsgegenstand erklären. Als Zwischenschritt wurden «(Prä)Kernkategorien» entwickelt, die im späteren Verlauf zu Kernkategorien des Umbaus der Internetinfrastruktur verdichtet und abstrahiert wurden. Im Folgenden wird der Auswertungsprozess exemplarisch dargestellt und der Kodierprozess anhand einer Datensequenz sowie anhand eines Theorieausschnitts erläutert. Die Darstellung der Gesamtergebnisse im Sinne der entwickelten gegenstandsorientierten Theorie zum Umbau der Internetinfrastruktur am Beispiel des Internetprotokolls erfolgt im Ergebniskapitel (Kapitel 9).

8.5.1 Dokumenten-Steckbrief

Im Folgenden soll zur Veranschaulichung des Auswertungsprozesses einen exemplarischen «Dokumenten-Steckbrief» vorgestellt werden.

Für die Dokumente der Dokumentenanalyse wurden jeweils einzelne «Dokumenten-Steckbriefe» angelegt, welche Abbildung 17 exemplarisch für die Quelle «Heart et al. 1981» zeigt. Die Erstellung solcher Steckbriefe hat sich forschungspraktisch als zielführend erwiesen, da sie dienlich sind, den Forschungsprozess zu organisieren sowie sich innerhalb der Vielzahl erhobener Daten zu orientieren. Insofern sind die Dokumenten-Steckbriefe als Orientierungsrahmen zu verstehen.

Die Dokumenten-Steckbriefe umfassen die Quellenangabe mit ausführlicher Angabe der Autor:innen sowie der Beteiligten. Diese umfassen bspw. Organisationen, die diese veröffentlicht haben bzw. in deren Auftrag das Dokument erstellt wurde, sowie beteiligte Unternehmen oder wissenschaftliche Einrichtungen. Solche Angaben sind für die Untersuchung des Forschungsgegenstandes relevant, da Akteur:innen und Akteur:innenkonstellationen darüber in Teilen identifiziert werden können und somit bereits Hinweise auf wiederkehrende Muster geben.

Weiter umfasst dieser Steckbrief eine historisch/zeitliche und technologische Einordnung. Diese ist essenziell, da die vorliegende Arbeit den Umbau der Internetinfrastruktur im historischen Verlauf untersucht und entsprechend eine Differenzierung innerhalb der Theoriegenerierung vornehmen muss, um mögliche Charakteristika, Gemeinsamkeiten oder Unterschiede unterscheiden zu können.

<p>Quellenangabe: Heart et al. (1981) Heart, F. McKenzie, A; McQuillan; J.; Walden, D. of Bolt Beranek and Newman Inc. (1981) «A History of the ARPANET The First Decade»</p> <p>Beteiligte: ARPA, Newman Inc., Mitarbeitende der ARPA, Entwickler:innen der ARPA, Wissenschaftler:innen</p>
<p>Zusammenfassende Beschreibung der Quelle: Heart et al. (1981) beschreiben im Auftrag und als beteiligte der ARPA die Entwicklung des ARPANET von den frühen Entwicklungsanfängen im Jahr 1969 bis zum Jahr 1975. Der Bericht umfasst 208 Seiten und ist gegliedert in eine Zusammenfassung, drei Hauptteile und einen Anhang. Auf die Zusammenfassung «I. Executive Summary» folgt ein formaler Bericht «II. Formal Completion Report», der über sechs Unterkapitel verfügt. Zunächst wird darin der Bestand des Programms anhand technischer und entwicklungsstrategischer Gründe begründet, das Programm der ARPA beschrieben, die wissenschaftlichen und technologischen Entwicklungen dargelegt, Anwendungen und Planungen für die Zukunft eruiert und Programmauswirkungen und Bewertungen technologischer Entwicklungen vorgenommen. Der dritte Teil «III. A Review of the ARPANET Project» beinhaltet zwei Bereiche mit weiteren Unterkapitel. Teil eins, «History», berichtet über die historischen Entwicklungen und darin über den Hintergrund des ARPANETs, über Gruppen, zentrale Akteur:innen, technologische Strukturen, Aktivitäten und die Grösse des Netzwerks. Teil zwei reflektiert und berichtet über «Observations». Innerhalb verschiedener Unterkapitel wird über soziale Fragen des ARPANETs berichtet und reflektiert sowie über technische Schulungen und Auswirkungen auf andere Forschungsgebiete Auskunft gegeben. Der Bericht endet mit einem Anhang.</p>
<p>Historisch/zeitliche Einordnung Frühgenese TCP/IP Internetentwicklung, 1969–1975</p>
<p>Technologische Einordnung Time Sharing, Packet Switching, TCP, IP, TCP/IP</p>
<p>Keywords TCP, ARPA, ARPANET, Entwickler:innen, Kooperation, technische Entwicklung, soziale Entwicklung, Netzwerkgrösse, Netzwerkerweiterung, Techniknutzung</p>

Abb. 17: Dokumenten-Steckbrief Heart et al. (1981).

Weiter umfasst dieser Steckbrief in den «Keywords» Inhalte, die innerhalb des Dokuments identifiziert werden konnten. Er bietet forschungspraktisch somit eine Orientierungshilfe, identifizierte Inhalte in einen Kontext zum Dokument zu stellen. Weiterführend gilt der Steckbrief als Orientierung zur Kontrastierung gegenüber ähnlichen oder andersartig gelagerten Inhalten anderer Themen innerhalb der untersuchten Dokumente.

8.5.2 Analysebeispiel

Abbildung 18 zeigt ein Analysebeispiel, welches exemplarisch den Auswertungs- und Abstraktionsprozess zur Theoriegenerierung in Anlehnung an den im vorliegenden Kapitel 8.5 erläuterten Kodierungsprozess enthält.

Die Abbildung zeigt zunächst die historische und technologische Einordnung sowie anschließend die Quellenangabe mit Seitenzahlen der Datensequenz anhand von Heart et al. (1981, III-72–73) und enthält eine Einordnung der Datensequenz in die Quellenangabe. Darin wird erläutert, in welchem Kontext des Gesamtdokuments diese Datensequenz eingebettet ist.

Weiter zeigt die Abbildung den Text des originalen Dokuments zur ausgewählten Datensequenz, eine charakterisierende Beschreibung einzelner Passagen und die abstrahierten Präkonzepte in Anlehnung an das offene Kodieren. Zwei Präkonzepte sind zudem innerhalb der Abbildung in Fettschrift formatiert. Die Autorin kommt im Folgenden darauf zu sprechen.

Frühgenese TCP/IP Internetentwicklung, 1969–1975, Time Sharing, Packet Switching, TCP, IP, TCP/IP		
Quellenangabe der Datensequenz Heart et al. (1981: III-72–73)		
Einordnung der Datensequenz in die Quellenangabe: Die Datensequenz ist ein Ausschnitt aus dem Kapitel «1.4.4.3 The Evolution of the Other Host Protocols» des ARPA Completion Reports von Heart et al. (1981: 72–73) mit dem Titel «A History of the ARPANET The First Decade».		
Datensequenz	Charakterisierende Beschreibungen	Abstrahiertes Präkonzept
TCP quickly became ARPA's choice of the host-to-host protocol to be used in situations where the ARPANET host-to-host protocol was insufficient or where inter-networking was required.	TCP als schnelle (Aus)Wahl für das Host-To-Host Protokoll in der ARPA Einsatz TCP, wenn Host-To-Host Protokoll ineffizient ist Einsatz TCP mit Notwendigkeit für Vernetzung verknüpft	Zeitlichkeit im Entscheidungsprozess einer Organisation Einsatz einer technologischen Neuerung aufgrund von Defiziten bei bestehenden Technologien Einsatz einer technologischen Neuerung aufgrund von Vorteilen im Vergleich zu bestehenden Technologien
With ARPA support, several TCP implementations were done and the protocol has come into relatively widespread use within the ARPANET, and its use is still spreading.	Einführung des TCPs erfolgte mit Unterstützung der ARPA TCP ist innerhalb des ARPANETS relativ weit verbreitet [TCP]»use is still spreading»	Einführung in Kooperation Technische Ausweitung TCP Zeitlichkeit in der technischen Ausweitung TCP
It appears that ARPA envisions the day when TCP will replace the ARPANET host-to-host protocol.	«ARPA envisions the day» Zukunftsvision des TCP/ IP als Ersatztechnologie des Host-to-Host Protokolls	Zukunftsvision Im Umbauprozess TCP als Ersatztechnologie

Abb. 18: Analysebeispiel der Datensequenz Heart et al. (1981: 72–72).

Die herausgearbeiteten Präkonzepte dieses Beispiels lassen sich im Prozess des axialen Kodierens zu übergeordneten Kategorien verdichten, indem zu diesen eine übergeordnete Kategorie abstrahiert wird, die die Präkonzepte abbildet.

Für das Beispiel aus Abbildung 18 wurde eine übergeordnete Kategorie gebildet. Diese heisst «Technikdiffusion durch Motivation».

Abbildung 19 zeigt diese Hauptkategorie «Technikdiffusion durch Motivation» sowie, welche Präkonzepte des Beispiels zur Entwicklung der übergeordneten Kategorie führten. Innerhalb des Beispiels wurde anhand zwei aufgeführter Präkonzepte (in Abbildung 18 fett gedruckt) die Hauptkategorie «Technikdiffusion durch Motivation» abstrahiert.

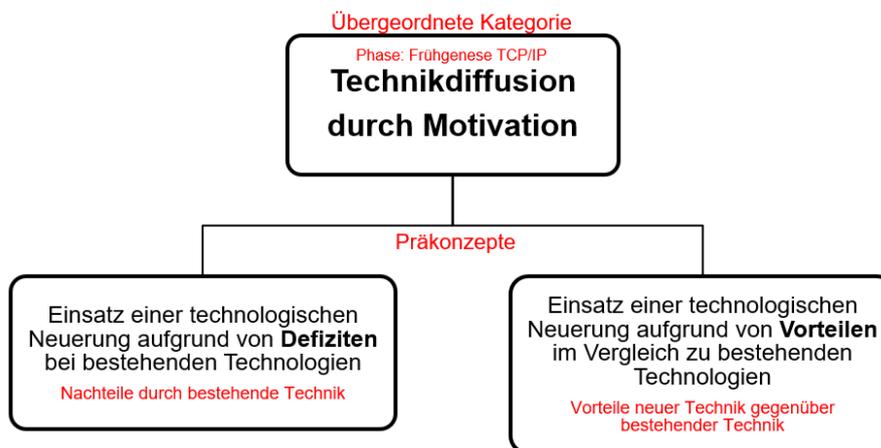


Abb. 19: Analysebeispiel Hauptkategorie.

Beide Präkonzepte referieren auf den Einsatz von Technik sowie weiterführend auf die Motivation, die (hergeleitet auf Ebene der Datensequenz) zum Einsatz des TCPs und somit dessen Verbreitung im Kontext des ARPANETs führten. Daran kann weiterführend ein Zusammenhang zwischen dem Einsatz der Technik in einem Netzwerk,⁸⁷ als Diffusion (Durchsetzung) von Technik und der damit verbundenen Motivation für den Einsatz abgeleitet werden, die durch Defizite in bestehender Technik oder Vorteilen gegenüber bestehender Technik bedingt ist (siehe dazu weiterführend Ergebniskapitel 9).

In der Logik der Forschungsorganisation mittels MAXQDA und der Ordnerstruktur dieser Software (siehe dazu Kapitel 8.4.2) entsprechen die übergeordneten Kategorien einem Oberordner und die Präkonzepte zwei Unterordnern, die dem Oberordner zugewiesen sind.

87 Im Sinne des Datensequenz seitens der organisationalen und technischen Ebene des ARPANETs.

Innerhalb der Theoriegenerierung bilden diese übergeordneten Kategorien Bestandteile der generierten Theorie zum Umbau der Internetinfrastruktur im Kontext der Frühgenese des TCP/IP im Internet ab.

Die Theorie zum Umbau der Internetinfrastruktur besteht wiederum aus vielen einzelnen, innerhalb des Forschungsverlaufs durch Kontrastierung und Varianz identifizierten Phasen des technologischen Entwicklungsverlaufs und entwickelten Kategorien. Diese erklären in ihrer Gesamtheit und ihrem wechselseitigem Zusammenwirken den Forschungsgegenstand. Das wird im Ergebniskapitel hergeleitet und dargestellt sowie innerhalb des Fazits weiterführend methodologisch und theoretisch reflektiert.

Die Theoriegenerierung ist, bedingt durch das Forschungsparadigma der Grounded Theory Methodologie, durch den iterativen Forschungsprozess stark verwoben und im Kontext der vorliegenden Arbeit bedingt durch die historisch kontrastierende Betrachtungsweise des Internets äusserst komplex. Insofern ist es mit den Mitteln der vorliegenden Arbeit unmöglich, die entwickelte Theorie in ihrer Gesamtheit aussagefähig innerhalb einer Textdatei abzubilden. Infolgedessen hat die Autorin versucht, das selektive Kodieren im Kontext der weiteren Theoriegenerierung nachvollziehbar darzustellen, indem sie dies exemplarisch in Anlehnung an das Beispiel aus Abbildung 19 als einen Ausschnitt für den Umbau der Internetinfrastruktur während der Frühgenese des TCP/IP ausführt.

Abbildung 20 zeigt das Ergebnis dieser Bemühungen sowie weitere Abstraktionen im Sinne des selektiven Kodierens. Darin zu sehen ist ein Ausschnitt der Gesamtheorie zum Umbau der Internetinfrastruktur in der Phase der (Entstehung und) Frühgenese des TCP/IP zu «Bedingungen des Umbaus» (siehe ausführlicher im Ergebniskapitel 9.5).

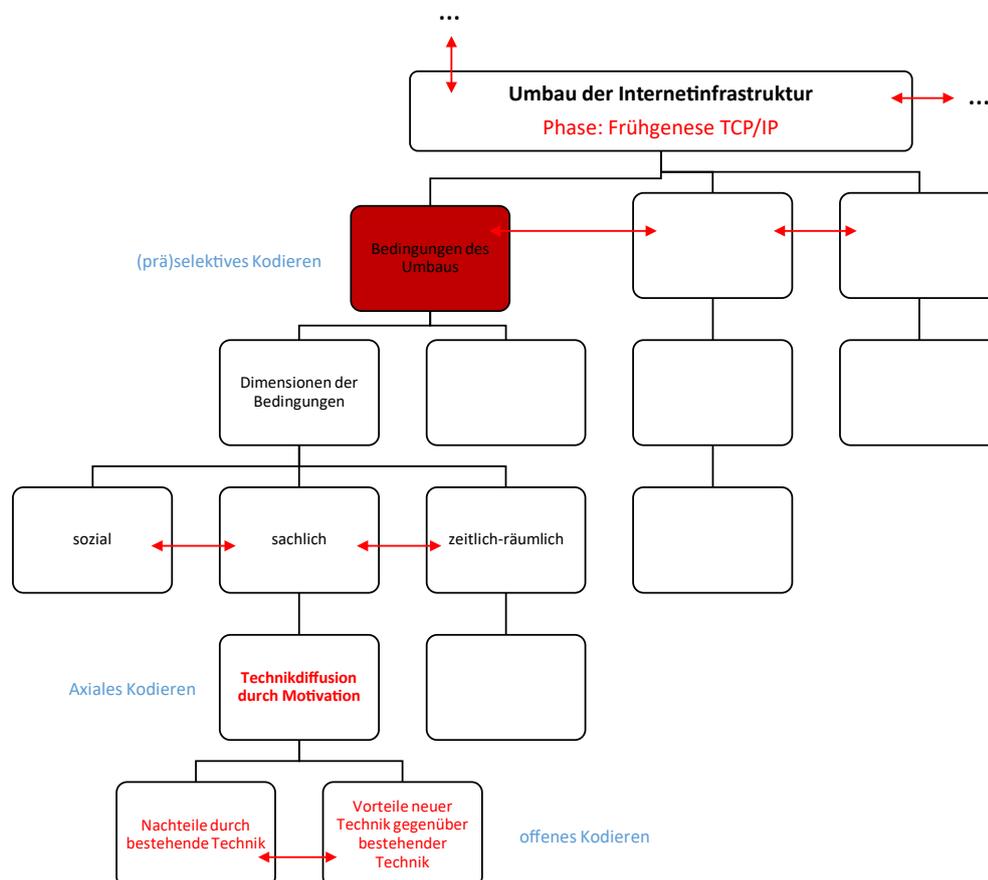


Abb. 20: Ausschnitt der Theoriegenerierung, Frühgenese TCP/IP, eigene Darstellung.

Die Herleitung dieser weiteren Abstraktion möchte ich im Folgenden exemplarisch erläutern: Innerhalb von Abbildung 19 zeigt sich, dass ein Zusammenhang zwischen der Technikdiffusion in einem Netzwerk und der Motivation für den Einsatz einer Technik besteht. Das wird dadurch bedingt, dass die Diffusion einer neuen Technik im Beispiel anhand von Defiziten bestehender Technik oder Vorteilen gegenüber bestehender Technik bedingt ist.

Technikdiffusion durch Motivation ist insofern eine «Bedingung für den Umbau der Internetinfrastruktur» in der Phase der Frühgenese des TCP/IP. Weiter verfügen diese Bedingungen über unterschiedliche Dimensionen hinsichtlich beteiligter Akteur:innen. Im Beispiel zeigte sich eine Verortung der Technikdiffusion auf die Dimension sachlich (im Sinne des technologischen Netzwerks) sowie eine Verknüpfung zum Sozialen (im Sinne der Organisation des ARPANETs). Ergänzend dazu stellen die Doppelpfeile eine Verbindung der Dimensionen dar, indem diese Akteur:innen eine

soziotechnische Verknüpfung ausbilden. Diese Verknüpfung wird im Ergebniskapitel ausführlicher dargestellt und stellte sich innerhalb der weiteren Kontrastierung und Varianz im Forschungsprozesses heraus (siehe Kapitel 9).

Insofern stellen «Bedingungen des Umbaus der Internetinfrastruktur» innerhalb der Phase der Frühgenese des TCP/IP (Abbildung 20) im Sinne des selektiven Kodierens eine von vielen miteinander verflochtenen und/oder abzugrenzenden «(Prä)Kernkategorien» innerhalb der Theorie zum Umbau der Internetinfrastruktur dar. Innerhalb des für den Umbau der Infrastruktur modifizierten Kodierparadigmas (Abbildung 16) stellen sie somit einen Bereich des Kontextes dar. Die Autorin nennt diese «Bedingungen des Umbaus» in der Phase der Entstehung und Frühgenese des TCP/IP und im Kontrast zu den späteren Phasen des Entwicklungsverlaufs auch «(Kontext)Rahmenbedingungen». So waren identifizierte Bedingungen der Frühgenese für diese zentral für den Erfolg des Umbaus. Allerdings bildeten sie in der späteren Migrationsphase des IPv6 nur eine situative (Kontext)Rahmenbedingung und waren nicht essenziell für den Umbau der Internetinfrastruktur wie bspw. die flächendeckende Einführung des IPv4 für das IPv6 (siehe dazu Kapitel 9.9.1). Anhand dieses Beispiels wird bereits die enge Verwobenheit innerhalb des Forschungsprozesses mit der Theoriegenerierung sowie eine Differenz zwischen verschiedenen identifizierten Umbauphasen deutlich.

8.6 Zwischenfazit zu den Forschungsmethoden

Dem Forschungsgegenstand gegenüber nimmt die vorliegende Arbeit in Anlehnung an den theoretisch sensibilisierenden Konzepten (Kapitel 5 und 6) eine Betrachtungsweise ein, die auch nichtmenschlichen Akteur:innen ein Handlungspotenzial zuspricht, indem diese durch ihre Eigenschaften Kontingenzen im Entwicklungsprozess von Infrastrukturtechnologien hervorrufen und an diesem beteiligt sind. Demzufolge sind Infrastrukturtechnologien in ein umfassendes Netz verschiedener Akteur:innen eingebettet, die den Einführungsprozess infrastrukturverändernder Technologien im Internet beeinflussen und diesen selbst mitgestalten (Kapitel 9).

Diese Betrachtungsweise sowie das verfolgte Forschungsparadigma der Grounded Theory Methodologie und das Analyseschema der ANT wirken sich auch auf die Auswahl der Datenerhebungsverfahren und das Sampling aus. Dieses besteht aus einem verwobenen Prozess aus Datenerhebung, -auswertung und Theoriegenerierung. Das vorliegende Kapitel schilderte diesen Prozess seitens der Auswahl der Erhebungsverfahren, der Ausgestaltung der Erhebungen und des Samplings sowie hinsichtlich verfolgter Auswertungsstrategien, um den Forschungsprozess transparent und nachvollziehbar zu schildern und dessen Qualität zu sicherzustellen.

Im Folgenden will ich das forschungsmethodische Vorgehen der vorliegenden Grounded Theorie Studie zum Umbau der Internetinfrastruktur zusammenfassend darstellen und anschliessend ein Zwischenfazit vornehmen.

Innerhalb des Kapitels 8 «Die Forschungsmethoden der Studie» wurde in Anlehnung an das Forschungsparadigma der Grounded Theory Methodologie zunächst die Auswahl der Erhebungsverfahren in Bezug auf ihre Angemessenheit im Hinblick auf den Forschungsgegenstand und die Forschungsfragen dargestellt und begründet.

Dabei wurde gezeigt, dass es zum Verständnis des Umbaus der Internetinfrastruktur am Fallbeispiel des Internetprotokolls in seiner Ganzheit auf Makro- und Mikroebene notwendig ist, neben der Deskription und Explikation auch eine rekonstruktive Herangehensweise zu wählen. Dadurch lassen sich Strategien und Charakteristika in ihren historisch gewachsenen Bedeutungszusammenhängen erschliessen und daran eine gegenstandsorientierte Theorie zum Forschungsgegenstand entwickeln.

Um diese ganzheitliche Untersuchung des Forschungsgegenstands zu gewährleisten, wurde für die Studie ein Mix aus qualitativen Erhebungs- und Auswertungsmethoden gewählt.

Innerhalb des vorliegenden Kapitels wurde daher zunächst der Datenerhebungsmix begründet und daran anschliessend die beiden verwendeten Datenerhebungsverfahren der Dokumentenanalyse (8.1.1) sowie die Erhebung mittels einer Mischform aus narrativen und problemzentrierten Interviews am Forschungsgegenstand (8.1.2) dargestellt.

Weiterführend wurde für die Interviewstudie ein Ablaufschema (8.1.2.1) und ein halbstrukturierter Leitfaden entwickelt. Letzterer wurde inhaltlich dargestellt und hinsichtlich seiner Funktionen begründet (8.1.2.2).

Daran anschliessend erfolgte die Darstellung und Begründung des Samplings für die Dokumentenanalyse (8.2.1) sowie für die Interviewstudien (Kapitel 8.2.2) und die Zusammenfassung des Gesamtsamplings (Kapitel 8.3).

Im Anschluss folgten die Methoden zur Datenaufbereitung (Kapitel 8.4), innerhalb derer die Verschriftlichung der Interviewdaten mittels definierter Transkriptionsregeln (8.4.1) forciert sowie die computerunterstützte Organisation der Daten mittels der Software MAXQDA erläutert wurde (8.4.2).

Abschliessend wurden die Verfahren der Datenauswertung mittels Kodierung und der Anfertigung von Memos fokussiert und darin die innerhalb der vorliegenden Arbeit verwendeten Auswertungsschritte mit Hilfe des offenen, axialen sowie selektiven Kodieren erläutert (Kapitel 8.5) und die Analyse anhand eines Beispiels dargelegt.

Resümierend wurde innerhalb des achten Kapitels zu Forschungsmethoden deutlich, dass die Theoriegenerierung zum Forschungsgegenstand im Sinne der Grounded Theory Methodologie leitendes Prinzip in allen geschilderten Studienabschnitten ist und sowohl bei der Auswahl der Erhebungsmethoden, der Gestaltung des Samplings, der Gestaltung und Durchführung der Interviews, der Datenaufbereitung und Forschungsorganisation als auch insbesondere für die der Datenauswertung entscheidend ist.

So liegt, dem in Kapitel 2 geschilderten Forschungsparadigma der Grounded Theory Methodologie folgend, auch der Schwerpunkt innerhalb der Erhebungs- und Auswertungsverfahren nicht auf der eigentlichen Form der Erhebung oder der Anzahl der analysierten Dokumente oder der interviewten Personen, sondern in der Qualität und Aussagefähigkeit der untersuchten Fälle für die Theoriegenerierung innerhalb eines iterativen Prozesses aus Datenerhebung, -auswertung und Theoriegenerierung begründet.

Demnach ist für die Auswahl des Samplings entscheidend, für welche Akteur:innen diese repräsentativ stehen und inwiefern Aussagen dieser zur Theoriegenerierung beitragen können. Ein Beitrag ist möglich, indem durch Kontrastierung und Varianz unterschiedlicher Daten forschungsgegenstandsspezifische Merkmale und Charakteristika deutlich werden oder sie neue Erhebungen notwendig machen, zu einer theoretischen Sättigung führen oder Limitationen aufzeigen. Insofern ist für die vorliegende Forschung dieser verwobene Prozess der Erhebungs- und Samplingstrategien mit dem Prozess der Theoriegenerierung essenziell.

Demzufolge vollzieht sich die Theorie- und Hypothesenarbeit sowie die Fallauswahl, Erhebung und Auswertung der empirischen Daten als kontinuierlicher und ineinandergreifender Prozess induktions- und deduktionslogischer Schritte.

Abbildung 21 zeigt visualisiert den gesamten iterativen Forschungsprozess in seinen vielfältigen Verbindungen und wechselseitigen Einflüssen sowie die Integration von ANT und GTM für den *gesamten* Forschungsprozess der vorliegenden Arbeit.

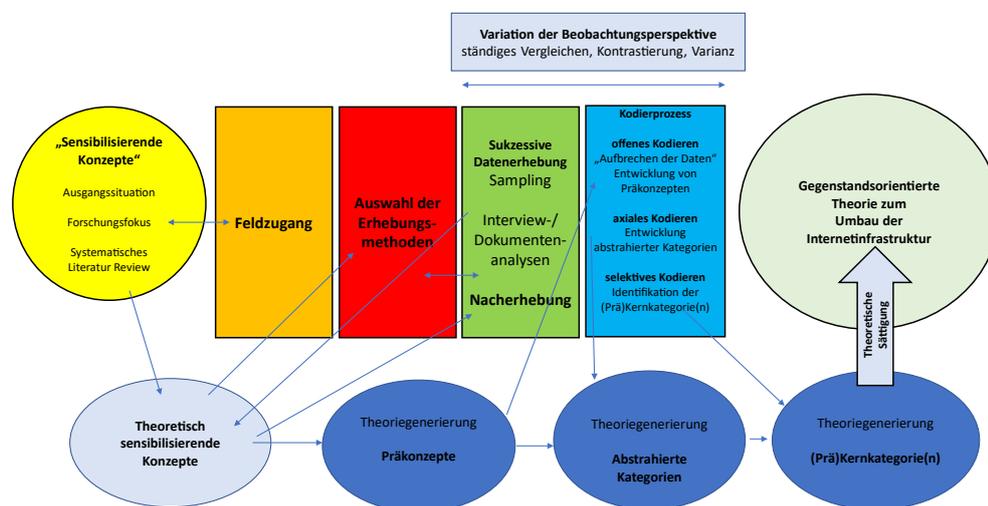


Abb. 21: Iterativer Forschungsprozess mit Integration der ANT und GTM, eigene Darstellung.

Damit einher geht für die Dokumentenanalyse insbesondere das Ziel, aus der Makroperspektive der ANT die Internetinfrastruktur in ihrer historischen Genese rekonstruktiv zu beschreiben sowie die zuvor definierten Charakteristika grosstechnischer Infrastruktursysteme (GTS) für die Internetinfrastruktur zu überprüfen und diese spezifiziert für die Internetinfrastruktur darzustellen. Ergänzt durch die Interviewstudie sollen aktuellere und in Teilen zurückliegende Entwicklungen des Internetprotokolls rekonstruiert und diese mikroperspektivisch in ihren Bedeutungszusammenhängen verstanden werden. Dazu wurden die beteiligten Akteur:innen und verwendeten Strategien analysiert, um daran abschliessend die Charakteristika beteiligter Akteur:innen und verwendeter Strategien zum Umbau der Internetinfrastruktur am Beispiel des Internetprotokolls zu einer gegenstandsorientierten Theorie des «Umbaus der Internetinfrastruktur» zu verdichten.

Insofern ist in Abbildung 21 sowohl der Prozess der Theoriegenerierung in seiner Verschränkung mit dem Auswertungsprozess mittels Kodierung ersichtlich als auch die Ausgangssituation, der Forschungsfokus, das systematische Literaturreview, die Konkretisierung des Forschungsgegenstandes und rechtsseitig die gegenstandsorientierte Theorie, die mittels des Forschungsprozesses entstanden ist.

In Anknüpfung an die vorangegangenen Kapitel umfassen die nachfolgenden Kapitel die Ergebnisse dieses Forschungsprozesses.

9. Ergebnisdarstellung

Die vorliegende Arbeit nutzt als theoretisch sensibilisierende Konzepte im Sinne der Grounded Theory Methodologie (GTM) die Makroperspektive des Ansatzes gross-technischer Systeme (GTS, Kapitel 5.1) und die Mikroperspektive der Akteur:innen-Netzwerk-Theorie (ANT) zur Analyse des Umbaus der Internetinfrastruktur und ihrer beteiligten Akteur:innenkonstellationen sozialer Akteur:innen, sachlicher Elemente und zeitlich-räumlicher Strukturen (Kapitel 5.2).

Unter sozialen Akteur:innen verstehe ich einzelne private oder institutionalisierte Personen oder Gruppen von Personen, die die Einführung infrastrukturverändernder Technologien im Computernetzwerk vorantreiben oder hemmen (siehe dazu auch Kapitel 4.3).

Als sachliche Elemente werden jene materiellen und immateriellen Bestandteile der technologischen Internetinfrastruktur – beispielsweise Hard- und Softwarekomponenten (wie Computer oder Protokolle) oder Gesetze, Standards und Normen – bezeichnet, die am Entwicklungs- und Einführungsprozess beteiligt sind (ebd.).

Letztendlich verstehe ich unter zeitlich-räumlichen Strukturen zum Beispiel die internationale Verteilung und Ausweitung des Computernetzwerks oder zeitlich begrenzte bzw. zyklische Entwicklungsverläufe, die Einfluss auf den Umgestaltungsprozess der Internetinfrastruktur durch Entwicklung und Einführung des Internetprotokolls nehmen (ebd.).

Diese drei genannten «Elementgruppen» bilden heterogene, höchst interdependente Akteur:innenkonstellationen aus, die den Entwicklungs- und Einführungsprozess wechselseitig beeinflussen.

Auf Basis dieses Akteur:innenverständnisses und der methodologischen und theoretischen Implikationen wird im Folgenden anhand der Auswertung empirisch erhobener Daten und mittels des systematischen Literaturreviews identifizierter Literatur eine gegenstandorientierte Theorie zum Umbau der Internetinfrastruktur am Fallbeispiel des Internetprotokolls entwickelt, um die forschungsleitenden Fragestellungen zu beantworten (siehe dazu Kapitel 6.3).

Die elaborierte Grounded Theory zum Umbau der Internetinfrastruktur verschränkt historisch vergleichend makroperspektivische Phänomene und mikroperspektive Entwicklungen in ihren Funktionslogiken und Strategien sozialer, technischer und zeitlich-räumlicher Akteur:innen.

Diese beiden Perspektiven sowie die Kontrastierung technologischer Phasen innerhalb des Entwicklungsverlaufs der Technologien des Internetprotokolls geben erst gemeinsam Erklärungen für den Umbau der Internetinfrastruktur in ihrer Gesamtheit. Demnach sind diese Verschränkungen essenziell für die Theoriegenerierung.

Die *Ergebnisdarstellung* zur Theoriegenerierung des Umbaus der Internetinfrastruktur folgt einem dreistufigen Prozess. In diesem werden:

1. Die Historie des Internets und relevante Vorläufertechnologien des Internetprotokolls rekonstruktiv dargestellt. Dazu werden Daten aus der Dokumentenanalyse hinsichtlich ihrer Charakteristika im Entwicklungsprozess des soziotechnischen Netzwerks, verfolgte Strategien sowie Akteur:innenkonstellationen im Aufbau- und Umbauprozess analysiert und daran Implikationen für die Theorie zum Umbau der Internetinfrastruktur generiert.
2. Der Entwicklungsverlauf des Internetprotokolls (TCP/IP bis IPv6) als Fallbeispiel anhand von Daten aus Dokumentenanalysen und Interviews rekonstruiert, hinsichtlich Charakteristika im Entwicklungsprozess des soziotechnischen Netzwerks, verfolgter Strategien und Akteur:innenkonstellationen analysiert sowie Implikationen für die Theorie zum Umbau der Internetinfrastruktur generiert.
3. Mittels der Zusammenführung dieser Erkenntnisse und einer historisch vergleichenden Kontrastierung eine gegenstandsorientierte Theorie durch Verschränkung makroperspektivischer Phänomene (GTS) und mikroperspektiver Entwicklungen (ANT) entwickelt, welche die Entwicklung des soziotechnischen Netzwerks des Internets darlegt, Umbauphasen, Charakteristika innerhalb dieser sowie Strategien und Funktionslogiken im Umbauprozess der Internetinfrastruktur umfasst.

Dazu folgt die vorliegende Arbeit im Ergebniskapitel einer gleichbleibenden Darstellungslogik: deskriptive Rekonstruktion der Technologien und Weiterentwicklung des Computernetzwerks mit Interpretation und anschließender Abstraktion von Charakteristika des soziotechnischen Netzwerks, Akteur:innenkonstellationen und verfolgter Strategien in Zwischenfazit anhand der im Gesamtsampling dargestellten Daten (siehe dazu Kapitel 8.3).⁸⁸

Zunächst werden dazu im Rahmen der vorliegenden Forschung die Entstehung und Funktionsweise der Vorläufertechnologien des Internets (ARPANET) und der Entwicklungsverlauf des Internetprotokolls (TCP bis IPv6) rekonstruiert.

Daran werden Charakteristika, Akteur:innenkonstellationen sowie Strategien des Umbaus im Kontext der Entwicklung und Ausbreitung des Internets als soziotechnisches Netzwerk erarbeitet sowie dieses in seinem Wandel hinsichtlich der technischen Vernetzung, geografischen Ausweitung und sich verändernder (Nutzungs)Praktiken, Visionen, organisationalen Veränderungen etc. in einem Zwischenfazit dargestellt.

88 Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass nicht alle im Gesamtsampling aufgeführten Datenquellen Einzug in die rekonstruktive Darstellung der Ergebniskapitel gefunden haben. Die zitierten Datenquellen werden zur Steigerung der Transparenz und Nachvollziehbarkeit innerhalb der Ergebniskapitel gesondert aufgeführt.

Dazu werden in den jeweiligen Zwischenfaziten *vier technologische Phasen* für die Rekonstruktion der Entwicklung und Weiterentwicklung des Internets unterschieden:

1. Die Phase der Entstehung des Internets – ARPANET sowie die Rekonstruktion des Internetprotokolls (TCP bis IPv6 mit Zwischenentwicklungen):
2. Phase der Entstehung und Frühgenese des TCPs
3. Phase der Entwicklung (und Einführung) des TCP/IP bis IPv5 (TCP/IX)
4. Phase der Einführung des IPv6

In den Zwischenfaziten zu diesen technologischen Phasen werden die Erkenntnisse des Analysekapitels mittels der Abstraktion zu Kategorien makrostruktureller Besonderheiten des Internets als soziotechnisches Netzwerk im Sinne des Ansatzes der GTS und mikrostruktureller Akteur:innenkonstellationen in Anlehnung an die ANT sowie verwendeter Strategien für die Theorieentwicklung abgeleitet und dargestellt.

Abschliessend werden die Ergebnisse weiterführend miteinander verschränkt und die *gegenstandsorientierte Theorie zum Umbau der Internetinfrastruktur am Fallbeispiel des Internetprotokolls* durch selektives Kodieren im Sinne der GTM entwickelt (siehe dazu Kapitel 8.5 und 8.6). Innerhalb des Theoriekapitels (Kapitel 10) werden drei Umbauphasen elaboriert und typisiert:

1. Innovationsphase
2. Stabilisierungsphase
3. Migrationsphase

Innerhalb dieser drei Phasen deckt die Autorin treibende und hemmende Akteur:innenkonstellationen und Strategien innerhalb des Umbaus historisch vergleichend auf und begründet diese entlang der drei Dimensionen sozialer, sachlicher und zeitlich-räumlicher Aktivitäten und deren heterogenen Interdependenzen, die insbesondere im heutigen Internetprotokoll der Version 6 ein hochgradig interdependentes Netzwerk ausbilden, welches zu einem Momentum im Umbauprozess der Internetinfrastruktur führt.

9.1 Die Rekonstruktion der Historie des Internets

Hughes (1983) und andere Vertreter:innen des Ansatzes grosstechnischer Systeme (vgl. Mayntz 1988; Mayntz und Hughes 1988; Braun und Joerges 1994; Joerges 1988; 1996) haben in ihren Untersuchungen verschiedener Infrastruktursysteme gezeigt, dass nicht ein einzelner technologischer Pfad zum Verstehensprozess eines gross-technischen Systems betont werden muss, sondern das soziotechnische Netzwerk, welches dieses etabliert, stabilisiert und ausweitet (siehe dazu Kapitel 5.1).

Innerhalb der Studien zu grosstechnischen Systemen liessen sich verschiedene wiederkehrende Merkmale zur makrostrukturellen Beschreibung identifizieren. Demnach zeichnen sich Systeme dieser Art durch eine zentrale Entwickler:in (System Builder), hinsichtlich ihrer Grösse, Ausweitung, Vernetzung und Anschlussfähigkeit aus sowie durch ein Momentum, welches zu einer Trägheit des Systems führt (siehe dazu Kapitel 5.1.4).

Dieser Perspektive schliesst sich die ANT insofern an, dass diesem Ansatz folgend eine detaillierte Betrachtung der im Netzwerk stattfindenden heterogenen Übersetzungs- und Einschreibungsvorgänge der beteiligten Akteur:innenkonstellationen nur möglich ist, wenn das untersuchte Akteur:innen-Netzwerk aus der jeweiligen Situation heraus und aus Perspektive der daran beteiligten Akteur:innen betrachtet wird (siehe dazu Kapitel 5.2).

Im Folgenden werde ich das Internet in seiner Historie anhand der Daten des Gesamtsamplings der Dokumentenanalyse in Anlehnung an das Forschungsparadigma der GTM und die o.g. theoretisch sensibilisierenden Konzepte rekonstruieren, für das forschungsleitende Interesse der Studie interpretieren und für die Theoriebildung konkretisieren.

Innerhalb des Ergebniskapitels wurden insbesondere folgende Datenquellen aufgegriffen:

ARPA (1997), Baran (1964), Heart et al. (1981), ISO/IEC 7498-1 (1994), RFC 1 (1969), RFC 3 (1969); RFC 95 (1971), RFC 163 (1971), RFC 171 (1971), RFC 265 (1971), RFC 324 (1972), RFC 542 (1973), RFC 675 (1974), RFC 793 (1981), RFC 959 (1985), RFC 2555 (1999), Stewart (1948).

Daran anschliessend werde ich ein Zwischenfazit ziehen und in diesem die technologische Phase der Entwicklung des Internets – ARPANET – mit ihren Netzwerk-bewegungen hinsichtlich abstrahierter Kategorien zur Beschreibung und Erklärung des soziotechnischen Netzwerks zur Zeit der Anfänge des ARPANETs darstellen.

9.1.1 Forschungsaufgaben und -förderung in den United States of America (USA)

Der Ursprung des Internets ist ebenso stark mit der militärischen und wissenschaftlichen Forschung in den Vereinigten Staaten von Amerika verwoben, wie auch dessen ursprüngliches Verständnis von Funktionen und Aufgaben der Forschung und der Förderkultur von Forschung innerhalb der USA zu dieser Zeit.

Erste Grundsteine wurden bereits zur Zeit des Zweiten Weltkriegs und kurz danach gelegt, indem der amerikanischen Regierung bereits während des Krieges die Bedeutung der Grundlagenforschung für militärische Erfolge deutlich wurde. Infolgedessen wurden diverse Forschungsgruppen mit unterschiedlichen

Forschungsschwerpunkten gegründet. Diese sollten zum einen den Kriegsverlauf günstig beeinflussen sowie nach dem Zweiten Weltkrieg die USA als Wirtschafts- und Wissenschaftsstandort stärken (vgl. Stewart 1948, 117).

So wurde sich neben Forschungsschwerpunkten zur Atomenergie (wie dem Manhattan Project)⁸⁹ auch auf Forschungsverbünde zu medizinischen Themen des Seuchenschutzes sowie Projekte zur Insekten- und Nagetierbekämpfung fokussiert (vgl. Stewart 1948, 120ff.).

Folglich war die wissenschaftliche Forschung eng mit militärischen Themen konfrontiert, insbesondere mit Themen, die infolge des Zweiten Weltkrieges aufkamen, und durch diese bestimmt. Da Forschungsgelder zu dieser Zeit zentral seitens der Regierung vergeben wurden, sollten Forschungsprojekte einen Nutzen für die Gesellschaft aufweisen und waren entsprechend stark an den vorherrschenden Kriegsthemen und -folgen orientiert.

Die Zusammenarbeit von militärischer und wissenschaftlicher Forschung gestaltete sich jedoch schwierig, da Militär und Wissenschaft zwei grundlegend verschiedene Denktraditionen aufweisen. Während das Militär unter anderem durch Traditionspflege, Autorität und Gehorsam geschult wurde, stand die Wissenschaft insbesondere in der Tradition, mit dieser zu brechen, um neue Erkenntnisse zu generieren und diese zu verbreiten. Um ein Verbindungsglied zwischen militärischer und wissenschaftlicher Forschung zu schaffen, gründete die US-Regierung im Juni 1941 das Office of Scientific Research and Development (OSRD) und stellte dieses unter die Leitung von Vannevar Bush, zuvor Leiter des Massachusetts Institute of Technology (MIT) (vgl. Stewart 1948, 115ff.).

Das OSRD arbeitete zunächst als Koordinierungsstelle zur Vergabe finanzieller Mittel für unterschiedliche militärisch relevante Forschungsvorhaben. Im späteren Verlauf entwickelte sich dieses jedoch dahingehend, dass es zur Schnittstelle zwischen der Regierung, dem Militär und der Wissenschaft wurde, indem der Leiter Vannevar Bush die Organisation transformierte: «Bush might have set a pattern and forced all activities into it. Instead he wisely adapted the organization to the task confronting it» (Stewart 1948, 120).

So wurde unter Bushs Leitung die Idee entwickelt, eine Stiftung zur Unterstützung von Grundlagenforschung an Universitäten einzurichten, um so eine direkte Verbindung zwischen Regierung und militärischer Forschung durch die Bereitstellung von Forschungsgeldern für Forschungsvorhaben zu umgehen und die Forschungsförderung den Universitäten anzugliedern. Diese Entwicklungen stabilisierten das OSRD in seiner Funktion als Verbindungsglied zwischen militärischer

89 Siehe dazu weiterführend «Manhattan Project», U.S. Department of Energy. Online verfügbar unter: <https://www.osti.gov/opennet/manhattan-project-history/People/CivilianOrgs/osrd.html>, letzter Zugriff: 19.01.2023.

und wissenschaftlicher Forschung, indem eine flexiblere Mittelvergabe für unterschiedliche Projekte möglich und die Auswahl förderungswürdiger Projekte an Wissenschaftler:innen übergeben wurde (vgl. Stewart 1948, 189).

Diese Forschungsförderlogik finden wir auch heute noch weltweit innerhalb des Wissenschaftssystems. In Deutschland vergibt beispielsweise die Bundesregierung über verschiedene Ministerien Fördergelder für Forschungsprojekte. Die Auswahl *forschungswürdiger* Projekte wird jedoch ausgelagert, indem diese zum Beispiel an Dienstleister:innen für Projektträgerschaften übergeben wird und die Projektauswahl innerhalb eines Gutachter:innengremiums erfolgt.

Im Zuge dieser Umstrukturierungsprozesse in der Vergabe von Forschungsgeldern entstanden in den USA in der Nachkriegszeit unterschiedliche Forschungsfördermöglichkeiten sowie eine Vielzahl unterschiedlicher Forschungsschwerpunkte. Ein Projekt, welches im Kontext dieser Entwicklungen entstanden ist, stellt die Advanced Research Projects Agency (ARPA) dar, in der massgeblich das Internet konzipiert wurde.

9.1.2 Die Gründung der Advanced Research Projects Agency (ARPA)

Zur Gründung der ARPA führte ein eher welt- als wissenschaftspolitisches Ereignis: Der Start des Satelliten Sputnik I im Jahr 1957 demonstrierte den USA den Fortschritt der Union der Sozialistischen Sowjetrepubliken (UdSSR) in der Raumfahrttechnik und führte zu einer weltweiten politischen Verunsicherung, die unter dem Begriff «Sputnik-Schock»⁹⁰ bekannt ist. Dieser führte u. a. zu einer Vielzahl von Forschungsinitiativen in diesem Bereich, um den wissenschaftlichen Fortschritt auch innerhalb anderer Länder sicherzustellen.

Infolgedessen errichtete die amerikanische Regierung zur langfristigen Sicherung des amerikanischen Fortschritts in der Forschung am 7. Februar 1958 die Advanced Research Projects Agency (ARPA).⁹¹ Die ARPA wurde mit der Überwachung und Weiterentwicklung der Raumfahrttechnik beauftragt (vgl. ARPA 1997).

Die ARPA war dem Verteidigungsministerium (Department of Defense, DoD) unterstellt. Bereits im Gründungsjahr wurden jedoch die ursprünglichen Aufgaben der ARPA an die im Juli 1958 gegründete National Aeronautics and Space Administration (NASA) übergeben und die ARPA mit der Förderung der Grundlagenforschung beauftragt (ebd.).

90 Siehe dazu weiterführend: Paul Dickson (2001).

91 Die (Defense) Advanced Research Project Agency wechselte im Laufe der Zeit mehrfach ihren Namen. So wurde die Institution zunächst am 7. Februar 1958 von dem DoD unter dem Namen ARPA gegründet. Am 23. März 1972 erfolgte die Umbenennung in DARPA und die Etablierung als eigenständige Behörde des DoD. Kurzfristig hieß sie ab dem 22. Februar 1992 ARPA und schlussendlich ab 12. Februar 1996 bis heute wieder DARPA (vgl. ARPA-DARPA 2012). Im weiteren Verlauf werde ich die Schreibweise ARPA verwenden (vgl. ARPA 1997).

Infolgedessen förderte und koordinierte die ARPA von nun an grundlagenorientierte Forschungen. Wegen des breit gefächerten Forschungsansatzes konnten viele Forscher:innen auch ausserhalb des Forschungsgebietes der Raumfahrttechnik Anschluss finden, so auch Projekte zur Entwicklung der Computertechnik und -vernetzung (vgl. ARPA 1997).

In Anlehnung an die Erfahrungen mit dem OSRD stammten sowohl der Direktor der ARPA als auch die Programmleiter:innen (Program Manager) aus der Wissenschaft. Durch diese institutionelle Struktur sollte die ARPA unabhängig von militärisch-politischen Interessengruppen sein und vollständige Autonomie über die Vergabe der zur Verfügung gestellten Mittel erhalten. Insofern stellte die Gründung der ARPA eine institutionelle Rahmung für weitere Forschungsprojekte und -entwicklungen dar (vgl. Heart u. a. 1981).

Eines der bekanntesten Projekte ist das ARPANET, welches an der Vernetzung von Computern arbeitete und das Vorläufernetzwerk des Internets darstellt.

9.1.3 Die Anfänge der technischen Vernetzung – ARPANET

Im Jahr 1969 wurde das bekannteste Projekt «Resource Sharing Computer Networks», das im Rahmen der ARPA finanziert, initiiert wurde, das ARPANET, als Vorläufernetzwerk des heutigen Internets entwickelt. Das ARPANET «has created no less than a revolution in computer technology and has been one of the most successful projects ever undertaken by ARPA» (Heart u. a. 1981, I–2).

Angestossen wurde dieses Projekt in Anlehnung an die Erfahrung und Beobachtung, dass eine kommerzielle Nutzung von Rechenanlagen aufgrund der Grösse der Computer sowie der beträchtlichen Anschaffungs- und Betriebskosten nicht möglich war.

Folglich waren die Rechenanlagen ausschliesslich in militärischen und universitären Forschungseinrichtungen zugänglich und wurden meist für sehr spezifische Zwecke genutzt, die eine intensive Rechenleistung benötigten. Dies führte dazu, nach einer Lösung zu suchen, die Rechenleistung von Computern auf mehrere Nutzer:innen zu verteilen.

Erste Lösungsansätze und wegbereitende Ansätze für spätere Entwicklungen innerhalb des ARPANETs stellten die Experimente zur Computerverbindung im Rahmen des «SAGE system[s], Air Line reservations systems, and time-sharing systems» dar (Heart u. a. 1981, II–5). Innerhalb dieser Projekte wurden einzelne Computer (Terminals) mit einem Bildschirm und einer Tastatur ausgestattet und mittels Telefonleitungen mit einem Haupt-Computer (Mainframe-Computer) innerhalb einer Einrichtung verbunden. Dieser Mainframe-Computer stellte dabei die zentrale Rechenleistung bereit und ermöglichte eine Nutzung durch mehrere Nutzer:innen, was zugleich zu einer besseren Auslastung der Mainframe-Computer führte (vgl. ebd.).

Diese Projekte haben «initiated extensive changes in the Defense Department's use of computers» (Heart u. a. 1981, I-2), da durch das «resource sharing computer network» (Heart u. a. 1981, II-7) der Nutzer:innenkreis der Computertechnik erweitert werden konnte und die Rechenleistung einem grösseren Personenkreis nutzbar gemacht wurde. Allerdings war die Nutzung stark begrenzt und beschränkte sich auf den Zugriff auf Nachrichtensysteme. Weiter waren diese seitens ihrer Transferfähigkeit auf andere Computersysteme eingegrenzt, indem «the techniques used for such message systems [...] were not readily transferable into the general area of inter-computer communications» (Heart u. a. 1981, II-6).

Infolgedessen erarbeiteten zwei Entwickler:innen, Paul Baran und Donald Davies, einige theoretische Probleme bei der physischen kabelbasierten Verbindung von Computern innerhalb einer Einrichtung (subnetworks) heraus, die die ARPA zusammenfasste. Auf dieser Grundlage definierte sie zwei zentrale Herausforderungen und richtete weitere Arbeiten daran aus:

1. «To construct a ›subnetwork‹ consisting of telephone circuits and switching nodes whose reliability, delay characteristics, capacity, and cost would facilitate resource sharing among the computers on the network.
2. To understand, design, and implement the protocols and procedures within the operating systems of each connected computer, in order to allow the use of the new subnetwork by those computers in sharing resources» (Heart u. a. 1981, II-7f.).

An diesen beiden Herausforderungen wird zum einen die Notwendigkeit der Zuverlässigkeit der computerbasierten Infrastruktur sowie deren charakteristische Ausgestaltung im Sinne einer Verringerung der technischen Verzögerung durch die Datenübermittlung und räumliche Ausweitung und die damit verbundenen Kosten des Ausbaus ersichtlich. Zum anderen wird auf den notwendigen «Verstehensprozess» solcher Systeme referiert, um diese neu entstehenden Subnetze innerhalb einer Einrichtung nutzen zu können, auszugestalten sowie Protokolle und Verfahren zu implementieren.

Ersteres referiert somit auf die technologische Ebene und ihre sachlichen Akteur:innen seitens ihrer Funktionalität, Stabilität und Kosten der Verbindungen als Infrastruktur und ihrer räumlichen Ausweitung.

Letzteres hingegen referiert auf soziale Akteur:innen, indem auf Verstehensprozesse verwiesen wird, welche menschlichen Entitäten vorbehalten ist. So ist zur Nutzung und Weiterentwicklung der Technik eine notwendige Bedingung seitens der Entwickler:innen, diese in ihrer technischen Funktionalität zu verstehen.

Zugleich werden anhand dieses Beispiels jedoch auch die Verschränkung sachlicher und sozialer Akteur:innen sowie die Komponente räumlicher Strukturen sichtbar, indem sich diese wechselseitig beeinflussen und im Sinne eines soziotechnischen Netzwerks verschränken.

So zeigt sich insgesamt innerhalb der frühen Entwicklung des Internets, dass die technologische Nutzung seitens der sozialen Akteur:innen stark durch die Technik begrenzt ist. Insofern determiniert Technik in diesem Fall die Nutzung.

Währenddessen zeigt sich bei der Weiterentwicklung der Technik deren soziale Konstruktion, indem Visionen der Nutzung seitens der Entwickler:innen in zukünftige Entwicklungen eingeschrieben werden.

Insofern zeigt dieses Beispiel der Mainframe-Computer-Nutzung innerhalb einer Einrichtung mittels Terminals einen Ausschnitt der soziotechnischen Verschränkung des Akteur:innennetzwerks mit der Vision der sozial konstruierten Weiterentwicklung von Technik.

9.1.4 Die Ausweitung des ARPANETs: Technologie und Nutzung

Im Verlauf der Entwicklung der Computertechnik wurden die Computeranlagen technologisch immer stabiler und konnten vermehrt zur Lösung von Aufgaben innerhalb von militärischen und wissenschaftlichen Forschungsprojekten eingesetzt (vgl. Heart u. a. 1981, II–9).

Insofernweitete sicherstmalgauchdieNutzungsszenarienderEntwickler:innen innerhalb eines Sub-Netzwerks aus und gingen über eine ausschliessliche Nutzung von Nachrichtensystemen zum Austausch innerhalb der Einrichtung hinaus. Allerdings stieg damit auch seitens der Nutzer:innen der Bedarf an Rechenleistung für militärische und wissenschaftliche Zwecke an.

Infolgedessen wurde nach einer Lösung gesucht, mehreren Nutzern gleichzeitig den Zugriff auf einen Computer über eine einzelne Einrichtung hinaus zu ermöglichen, statt die Ressource Computertechnik ausschliesslich innerhalb einer Einrichtung als Kommunikationsmedium zu teilen (vgl. Heart u. a. 1981, II-7f.).

Die Idee, einen Mainframe-Computer nicht nur innerhalb eines durch Kabel verbundenen Computernetzwerks zu nutzen, sondern Geräte über längere Strecken miteinander zu vernetzen, griff die ARPA im Jahr 1966 auf. Dazu finanzierte sie eine Studie über das «Cooperative Network of Time-Shared Computers» von Thomas Marill und Lawrence Roberts. Im Rahmen dieser Forschung wurden «three existing computers, the AN/FSQ-32 at Systems Development Corporation, the IBM 7094 at MIT's Project MAC, and Lincoln Laboratory's TX-2» mittels Telefonleitungen miteinander vernetzt (Heart u. a. 1981, III–9).

Dieser Verbund von physisch durch Kabel verbundenen Computern über drei Einrichtungen hinaus bildete das «Experimental Network», durch dessen Hilfe die Übermittlung von Daten und Nachrichten über weitere Entfernungen hinaus realisiert werden konnte (vgl. ebd.).

Weiterführend wurden erstmalig seitens der Entwickler:innen auch Ziele und Nutzungsvisionen formuliert, die über eine rein auf technische Prozesse der Vernetzung fokussierende Perspektive hinausgingen:

«The installation of an effective network tying these locations together would substantially reduce duplication and improve the transfer of scientific results, as well as develop the network techniques needed by the military» (Heart u. a. 1981, II-9)

Im Fokus dieser Entwicklungen zeigte sich zweierlei. Erstens lässt sich eine Ausweitung eines lokal auf eine Einrichtung begrenzten Netzwerks hin zu einem räumlich verteilten Netzwerk durch Verknüpfung einzelner Zentren miteinander feststellen.

Zweitens zeigt sich an dieser Stelle auch eine Verschiebung vom Fokus der technischen Übertragungs- und Vernetzungstechnik hin zu Nutzungsszenarien und deren Verbindung mit einem Mehrwert für die Forschung, indem Redundanzen minimiert und der Forschungstransfer von Ergebnissen fokussiert wird.

Folglich steht nicht mehr ausschliesslich die bessere Auslastung eines Computers oder die Nutzung von Nachrichtensystemen des Computers als «sharing resources» (Heart u. a. 1981, II-7f.) im Fokus, sondern die Realisierung neuer Nutzungspraktiken wie die Möglichkeit einer Zusammenarbeit verschiedener Einrichtungen im Sinne des kooperativen Arbeitens mit anderen Nutzer:innen durch Verbindung verschiedener Subnetze zu einem «Cooperative Network of Time-Shared Computers» (Heart u. a. 1981, III-9).

Aufgrund der aus dieser Forschung errungenen Erkenntnisse startete die ARPA weitere Forschungen zur Stabilisierung und Ausweitung kooperierender Time-Sharing-Zentren. Technologisch realisiert werden konnte diese Idee mithilfe des *Packet Switchings*, welches Ende der 1960er-Jahre unabhängig voneinander von Paul Baran in den USA und von Donald Davies in Grossbritannien entwickelt wurde.

9.1.5 Packet-Switching – Zur Akteur:innenschaft von Computernetzwerken

Paul Baran war Mitglied der Research and Development Corporation (RAND) der U.S. Air Force und forschte schwerpunktmässig an einer ausfallsicheren und qualitativ hochwertigen Möglichkeit der Datenübertragung innerhalb von Netzwerken (vgl. Heart u. a. 1981, II-7)

In den frühen 1960er-Jahren publizierte Baran die Ergebnisse seiner drei Jahre langen Forschung in verschiedenen Arbeitspapieren unter dem Titel «On Distributed Communications Networks» (Baran 1964, iii).

Der Autor stellte darin heraus, dass sternförmig angelegte Computernetzwerke wie im SAGE Projekt oder auch das im letzten Teilkapitel thematisierte «Experimental Network» eine hohe Fehleranfälligkeit aufweisen, da bei einem Ausfall des Mainframe-Computers alle weiteren Netzteilnehmer:innen von der Datenübertragung abgeschnitten werden.

Insofern referierte Baran auf Nachteile bestehender Vernetzungstechnik und machte weiterführend auf die Notwendigkeit der Weiterentwicklung aufmerksam. Folglich müsse ein

«network with the survivability properties [...] use a switching scheme able to find any possible path that might exist after heavy damage. The routing doctrine should find the shortest possible path and avoid self-oscillatory or ›ring-around-a-rosey‹ switching» (Baran 1964, 23).

Demzufolge sollten in einem ausfallsicheren Netzwerk die Verteilerknoten mehrfach miteinander verbunden sein, um einerseits den kürzesten möglichen Weg zur Datenübertragung zu finden und «Ringschlüsse» zu vermeiden, die zum «Tod» der Datenübertragung führen.

Letzteres stellt innerhalb des Zitates der Vergleich auf das Kinderlied «ring-around-a-rosey» dar, in welchem sich Kinder an den Händen fassen, einen Kreis bilden und im Fortlauf singen «we all fall down».⁹²

In diesem Zitat steckt jedoch bedeutend mehr: zum einen ein erneuter Verweis, dass Netzwerke als Infrastrukturen analog zu den historisch entwickelten Vernetzungstechniken ausfallsicher und somit «überlebensfähig» sein müssen. Zum anderen soll das computerbasierte Netzwerk, von dem Baran schreibt, selbsttätig wirksam werden, indem die Technologie eigene Wege findet, wovon wiederum seine «Überlebensfähigkeit» abhängig ist. Demzufolge wird der Technik in diesem Zitat eine Handlungs- und Entscheidungsfähigkeit zugesprochen und so, im Sinne der von Latour (1995) beschriebenen «symmetrischen Anthropologie», in ihrer möglichen «Akteur:innenschaft» wahrgenommen (siehe dazu auch Kapitel 5.2.2).

92 Das Kinderlied «ring-around-a-rosey» gehört kulturwissenschaftlich betrachtet zu den «Nursery Rhymes». Dieses Lied wurde in Anlehnung an die große Pest in London in 1665 veröffentlicht. «Nursery rhymes are part of long-standing traditions of parody and a popular political resistance to high culture and royalty» (BBC 2023). Demnach befassen sich die unschuldig und fröhlich klingenden Kinderlieder oftmals mit dramatischen Ereignissen, um von den eigentlichen Inhalten gegenüber den Kindern abzulenken, diese aber als Erwachsene wissentlich zu platzieren und sich darüber auszutauschen. Analogien finden sich auch in Wiegenliedern oder den «Worksongs» der afroamerikanischen Bevölkerung zur Zeit der Sklaverei (vgl. ebd.).

Auf technologischer Seite entwickelte Baran (1964, 23ff.) zur Datenübertragung in ausfallsicheren Netzwerken das Verfahren des «Message Switchings», welches er in Anlehnung an eine Idee aus dem Post- und Telegrafendienst zum «Packet-Switching» weiterentwickelte.

Um dieses Prinzip zu verdeutlichen, greift Baran (1964, 25) in seinem Bericht auf die Briefzustellung zurück. Briefe werden zunächst zentral in einem Briefkasten gesammelt, bevor sie zur Sortierung und anschließenden Verteilung auf die Zustellungsbereiche an Zwischenstationen weitergeleitet werden.

Analog dazu beschreibt Baran, dass der Transport von computerbasierten Daten (Messages) nicht zentral über Telefonswitches gesteuert werden soll, wie es beim «Experimental Network» (Heart u. a. 1981, III-9) oder dem «SAGE system, Air Line reservations system[...], and time-sharing system [...]» (Heart u. a. 1981, II-5) der Fall war, sondern «messages are relayed from station-to-station until the best outgoing link is free» (Baran 1964, 24). Dies bedeutet, dass an jedem Knotenpunkt innerhalb des Netzwerks ein Computer angegliedert ist, der den weiteren Weg durch die «Switching»-Technologie festlegt.

So entsteht ein Netzwerk, welches durch viele Knotenpunkte über weitere Computer miteinander vernetzt ist.

Zur Umsetzung eines solchen Netzwerks sollten demnach die Knoten statt aus Telefonswitches aus eigenständigen Rechnern bestehen. Diese «new digital computer techniques» (Baran 1964, 34) des so entstehenden «Distributed Adaptive Message Block Network[s]» (Heart u. a. 1981, III-5) würden, so Baran, einerseits die Übertragungsdauer im Vergleich zur analogen Telefonverbindung deutlich reduzieren, andererseits die Qualität der übertragenen Signale sicherstellen, da die Anzahl der Knoten an Bedeutung verlore (vgl. Baran 1964, 34). Diese Flexibilität sahen Baran und die ARPA als zentrales Element für ein ausfallsicheres Netz (Heart u. a. 1981, III-5).

Infolgedessen entwickelte Baran (Baran 1964, 26) das Prinzip des Message-Switching zum Packet-Switching weiter und stellte dies anhand der «Hot-Potatoe Heuristic Routing Doctrine» dar.

Beim Routing werden die zu übermittelnden Daten zunächst beim absendenden Computer in vordefinierte «message blocks» (Baran 1964, 26) von einem «packet of up to 1024 bits of header and data» (Heart u. a. 1981, III-6) gesplittet und mit einer «Handover Number» (Baran 1964, 26) versehen, um die korrekte Reihenfolge der einzelnen Datenpakete sicherzustellen und diese zum empfangenden Computer über Knoten weiterer Computer an den Empfänger zu übermitteln.

Demnach enthalten «these ideas [...] the improved reliability of a distributed network structure over a centralized or star network and over so-called decentralized networks made up of a collection of smaller star networks» (Heart u. a. 1981, III-5).

Die ARPA resümierte aus Barans Entwicklung des Packet Switchings, dass dieses Verfahren zum einen die Nachrichtensicherheit für das Militär erhöht, da die Spionage aufgrund der Zersplitterung der Daten in einem «distributed network» erschwert werde. Zum anderen führte die ARPA jedoch an:

«One of the most interesting aspects of this study is that it concluded that a large-scale digital transmission network was not only feasible but also highly cost-effective, and proposed that many of the switching functions be implemented in hardware» (Heart et al. 1981: III-5f.).

Auch innerhalb dieses letzten Zitates und aufbauend auf den bisherigen Erkenntnissen der «Historie des Internets» werden mehrere zentrale Themen benannt, die für die vorliegende Studie von Bedeutung sind:

1. die «Machbarkeit» eines «large scale digital transmission network[s]» und die Bezeichnung als eben jenes,
2. die Kosteneffektivität, welche die ARPA als «highly cost-effective» bezeichnet, sowie
3. die Notwendigkeit der Implementierung der Switching-Technologie in der Hardware, welche die ARPA als «proposed that many of the switching functions be implemented in hardware» ausdrückt (ebd.).

Zu 1.: Die Machbarkeit eines «large scale digital» Übertragungsnetzwerkes adressiert zum einen die Möglichkeit, dass die Schaffung eines solchen Netzwerks mit dem Zweck der Datenübertragung möglich ist. Zum anderen verweist der Ausdruck auch auf die Grösse des Netzwerks und seine «Digitalität».

Ersteres zeigt dabei die Verbindung von Zweck (Nutzung zur Datenübertragung) und Mittel (digitale Übertragungstechnik) sowie die Realisierbarkeit durch «Machbarkeit» des Projektes auf. Ein Netzwerk dieser Art ist insofern nicht mehr bloss Vision, wie eingangs von Baran geschildert, sondern mittels Packet Switching Technologie «real» erreichbar. Insofern schafft Technik an dieser Stelle einen Raum zur «Ermöglichung» der zuvor definierten Ziele innerhalb des Entwicklungsprozesses, indem diese durch «Weiterentwicklung der Technologie» (Message Switching/ Packet Switching) umgesetzt werden können.

Letzteres definiert das Netzwerk in seiner Grösse und «Digitalität». Diese Definition zeigt insbesondere eine Äquivalenz zum Ansatz grosstechnischer Systeme auf, wonach sich Systeme dieser Art insbesondere über Grösse und Ausweitung definieren (siehe 5.2.4). Weiter verweist die «Digitalität» des «large scale digital transmission network[s]» (ebd.) zugleich auf die Virtualität des Netzwerks, welches nicht mehr ausschliesslich aus physisch erfahrbaren Kabelverbindungen besteht, sondern über Elemente verfügt, die nicht greifbar sind.

Zu 2.: Die Kosteneffektivität – die ARPA schreibt «highly cost-effective» – referiert auf den Nutzen der Weiterentwicklung und deren Kosteneffizienz. Durch die Hervorhebung innerhalb des anfänglichen Zitats «One of the most interesting aspects of this study is» wird insbesondere die Kosteneffizienz neben der Machbarkeit hervorgehoben und scheint insofern eine Motivation für die Weiterentwicklung des Netzwerks zu sein.

Zu 3.: Die Notwendigkeit der Implementierung der Switching-Technologie in der Hardware, welche die ARPA als «proposed that many of the switching functions be implemented in hardware» (Heart u. a. 1981, III-6) ausdrückt, referiert auf die Notwendigkeit der Anschlussfähigkeit der Technik. Anschlussfähigkeit ist innerhalb des Ansatzes grosstechnischer Systeme (vgl. dazu 5.2.4) ein Kernmerkmal dieser Systeme, indem die Möglichkeit der Verbindung neuer mit bestehender Technologie (in diesem Fall Hardware) entscheidend für den Erfolg und die Ausweitung eines solchen Systems ist.

Insofern ist im Fortlauf der Studie sowie der weiteren Untersuchung der Historie durch Kontrastierung der technologischen (Weiter)Entwicklungen zu prüfen, ob die Funktionalität der Vernetzung der neu entwickelten Technologie mit der bestehenden ein zentrales Moment im Umbauprozess darstellt.

Weiter weist die Implementierung von «Switching functions [...] in hardware» auch auf ein technologisches Wachstum innerhalb des Systems hin (Heart u. a. 1981, III-6).

Nahezu zeitgleich mit Paul Barans Verfahren des «Packet Switchings» entwickelte Donald Davies am britischen National Physical Laboratory (NPL) eine vergleichbare technische Lösung, die ebenfalls die Übertragungsgeschwindigkeit deutlich erhöhen sollte (vgl. Heart u. a. 1981, III-11).

Im Jahr 1965 stellte Davies sein Konzept für ein nationales paketvermitteltes Netzwerk vor, dass im Gegensatz zu Barans (1964, 26) «Hot-Potatoe [...] Routing» über ein hierarchisch strukturiertes Routing und autonome Knoten realisiert werden sollte. Das so entstandene

«NPL Data Network was specified to be a packet-switching network and was to have a hierarchical structure. It was proposed that ›local networks‹ be constructed with ›interface computers‹ which had responsibility for multiplexing among a number of user systems and for communicating with a ›high level network‹» (Heart u. a. 1981, III-11).

Insofern entwickelten Paul Baran und Donald Davies mit dem Packet Switching eine nahezu identische Technologie, welche paketvermittelt Daten über Netzwerkknoten überträgt. Die technologische Differenz der beiden Ansätze ist lediglich die Ausgestaltung des Routings, welches Davies im Unterschied zu Baran hierarchisch strukturiert.

Die politische und soziale Einbettung ihrer Ansätze war jedoch grundlegend unterschiedlich. So entwarfen zwar beide ein Modell für ein nationales Datennetzwerk, Baran richtete sein Interesse jedoch auf ein ausfallsicheres Netzwerk für militärische Zwecke. Dagegen fokussierte Davies die ursprüngliche Idee des «Cooperative Network of Time-Shared Computers» mit dem Ziel, Kooperationsmöglichkeiten innerhalb von Netzwerken zu schaffen, und griff dies im Sinne eines «Interactive Computings» auf (Heart u. a. 1981, III–66).

9.1.6 Die Ausweitung des Netzwerks und Problemlösungen durch Interface Message Processors (IMPs) und Terminal IMPs (TIPs)

Nach einigen Jahren der Vernetzung von Computern kam wiederkehrend die Problematik auf, heterogene Computertechnik miteinander zu verbinden. Infolgedessen gab es ab 1967 Bemühungen, innerhalb der Entwickler:innengemeinschaft des ARPANETs «conventions to be used for exchanging messages between any pair of computers in the proposed network, and also on consideration of the kinds of communications lines and data sets to be used» zu treffen (Heart u. a. 1981, III–14).

Diese Bemühungen können als Ansatz zur Schaffung von Konsens innerhalb des Netzwerks eingeordnet werden. Zur Arbeit an Inhalten dieser Art wurde eine «ad hoc »Communication Group«» gegründet, die von beteiligten Institutionen repräsentiert wurde. Weiter wurde ein «meeting of the group» angesetzt (ebd.).

Innerhalb des anberaumten Meetings, das Program Manager Lawrence Roberts anberaumt hatte, wurde von Wes Clark, Wissenschaftler der Washington University, das Konzept der Interface Message Processors (IMP) vorgestellt, welches die Lösung für die Problematiken der Vernetzung heterogener Computertechnik darstellen sollte:

«A small program in each computer would interface to the data set and phone line and when given a message to another computer, the small interface program would perform a »message-switching« and transmission function, deciding how to actually reach the other computer and transmitting the message to it» (Heart u. a. 1981, III–15).

Weiterführend erfolgte eine Diskussion «with the ARPA staff, and the concept of the Interface Message Processor or IMP was reported in a memo from IPT» (ebd.).

Diese erste Sitzung der «ad hoc Communication Group» bildete die erste von der ARPA dokumentierte Arbeitsgruppensitzung mit beteiligten Akteur:innen der Einrichtungen von Message-Switching Netzwerken ab und diente zum einen der Vorstellung zur Lösung eines technologischen Problems, dem Austausch und der Diskussion sowie der Konsensbildung mit schriftlicher Fixierung durch ein Memo.

Weiterführend kann diese Konsensbildung als erster Versuch der *Standardisierung von Technologien* interpretiert werden, indem Regelungen zur Vernetzung geschaffen wurden, die innerhalb der Beteiligten Akteur:innen umgesetzt werden sollen: «The protocols which were to be established would define the communications formats between the IMPs» (ebd.).

Verbunden mit dieser Lösung entstand die Vision, dass «the IMPs plus the telephone lines and data sets [...] constitute a ›message-switching network« (ebd.).

An dieser Stelle zeigt sich erneut die Notwendigkeit der Anschlussfähigkeit von Technik durch das Ineinandergreifen verschiedener Technologien, die gemeinsam ein «message-switching network» bilden sowie implizit die Funktion der Technik als Lösungsansatz für technische Herausforderungen der Vernetzung heterogener Strukturen innerhalb beteiligter Akteur:innenkonstellationen übernehmen.

IMPs stellten somit eine vorgeschaltete physische Instanz dar, die mittels eines «protocols» als Schnittstelle zwischen Computern definiert wurde und für alle Systeme unabhängig ihrer technologischen Unterschiede zu realisieren war. Die IMPs arbeiteten insofern als Vermittler und Übersetzer zwischen den heterogenen Computern beteiligter Einrichtungen.

Zudem würden IMPs einen Nutzen durch technologische Vereinfachung darstellen: «[They] would be a digital interface of a much simpler sort requiring no host consideration of error checking, retransmission, and routing» (Heart u. a. 1981, III-15). Weiterführend wurde auch ein Mehrwert der IMPs in der Möglichkeit des schnelleren Datentransfers im Vergleich zu vorausgegangenen Entwicklungen gesehen: «50 Kb communications lines would be used because of the vastly improved response time which could be obtained with these lines as opposed to the previously proposed 2.4 Kb lines» (Heart u. a. 1981, III-16f.) .

Zugleich wurde jedoch seitens der ARPA ein negativer Aspekt der IMP-Technologie festgestellt: «[I]t was clearly noted that the major disadvantage of inserting the IMP was the cost of installation of another computer beside each host» (Heart u. a. 1981, III-15f.) .

Es zeigt sich innerhalb dieser dargestellten Rekonstruktion der Anfänge des Internets, dass ein Abwägungsprozess von Vor- und Nachteilen seitens der Entwickler:innen innerhalb der beteiligten Einrichtungen bei der Etablierung und Stabilisierung des Computernetzwerks durch Verwendung von IMPs stattgefunden hat.

Diese betrafen einerseits die Entwickler:innen in ihrer Funktion als soziale Akteur:innen und Anwender:innen der IMPs, da ihre Arbeit durch Verwendung der IMPs vereinfacht wurde und ihre Nutzungs- und Kooperationsmöglichkeiten durch eine grössere Bandbreite der Leitungen erweitert und beschleunigt wurden. Dabei

fällt auf, dass Mehrwert oftmals durch Quantifizierung und Nennung von Zahlen verdeutlicht wurde. Insofern lässt sich vermuten, dass die Messbarkeit von Vorteilen in dieser Phase der Entwicklung ein entscheidendes Moment zu sein scheint.

Andererseits zeigte sich jedoch auch Mehrwert, der sich seitens der beteiligten technologischen Akteur:innen ausdrückt. Das wurde durch die Kommunikation der heterogenen technologischen Akteur:innen untereinander durch IMPs ermöglicht: «hosts began to communicate with each other» (Heart u. a. 1981, III–25).

Insofern konnten nicht nur Entwickler:innen miteinander kommunizieren, sondern auch Technologien (Host-Computer) untereinander, indem die «protocols» (Heart u. a. 1981, III–15) der IMPs ihnen eine Möglichkeit zur Kommunikation und eine «Sprache» gaben. Insofern wurde durch die Verknüpfung verschiedener technologischer Akteur:innen der Begriff «Sprache» im Sinne der ANT in technische Protokolle übersetzt.

Der Einführung der IMPs stand der Kostenfaktor der physischen Technologie gegenüber. Dieser kann jedoch kein Hinderungsgrund für die Einführung der IMPs gewesen sein, da «[t]he first four IMPs were developed and installed on schedule by the end of 1969» (Heart u. a. 1981, III–55).

Insofern lässt sich schlussfolgern, dass der Mehrwert der IMP-Technologie höher eingeschätzt wurde als der Nachteil durch entstehende Kosten. Während dieser frühen Zeit der Entwicklung von Vorläufertechnologien des Internets scheint technologischer Mehrwert und gesteigerter Nutzen eine höhere Wertigkeit im Umbauprozess der bestehenden Infrastruktur zu besitzen als die Kosten für den Umbau.

Im Fortlauf der Entwicklungen innerhalb der ARPA wurden von 1969 bis 1975 «more IMPs and hosts [...] added [to the network], and gradually the ARPANET became an operating entity» (Heart u. a. 1981, III–25).

Das ARPANET weitete sich insofern seitens technologischer Struktur und beteiligter Einrichtungen aus und stabilisierte sich als «operating entity». Letzteres ist ein Begriff der u. a. auch im Kontext des Militärs zur Beschreibung strategisch ausgerichteter Einheiten innerhalb des «Military Departments» verwendet wird (vgl. DoD 2023). Anhand dieser Wortwahl zeigt sich nochmals ein Bezug des Militärs zum ARPANET. Weiterführend kommt darin aber auch der Anspruch auf Funktionsfähigkeit des Netzwerks zu Wort, indem dieses als eine operative Einheit beschrieben wird, was wiederum auf eine Verbindung aller Netzwerkbestandteile und Akteur:innen referiert.

Im Verlauf weiterer Entwicklungsjahre des ARPANETs erfolgten Veränderungen, die sich seitens technologischer Weiterentwicklungen und organisationaler Veränderungen darstellten. Im Folgenden werde ich noch zwei Entwicklungen innerhalb dieses Teilkapitels darstellen, welche die Weiterentwicklung der Vernetzungstechnik betreffen, da sie entscheidende technologische Modifikationen betreffen, die im Verlauf der Entwicklung des Internets entscheidend waren. In weiteren Teilkapiteln

werde ich auch auf organisationale Veränderungen eingehen, die aus diesen technologischen Entwicklungen hervorgingen, indem sie sich durch neue organisationale Strukturen seitens der Entwickler:innen ausdrückten.

Ende der 1960er-Jahre bis Anfang des Jahres 1970 wurden immer mehr IMPs zum ARPANET hinzugefügt. «[T]he IMP program continued to be improved [...] the first 230.4 Kb circuit was tested between two IMPs, and design for a version of the IMP able to support direct terminal connection was begun. The latter was called the Terminal IMP (TIP)» (Heart u. a. 1981, III–55).

Die TIPs stellten eine zentrale Weiterentwicklung dar, indem diese als physische Terminals zur Verfügung gestellt werden und dadurch sonstige Netzwerkknoten in ihrer Arbeit entlasten sollten. TIPs sollten somit die «major problems with the IMP flow control and storage allocation techniques» lösen, die innerhalb eines Meetings der Network Working Group zum Thema ausführlich demonstriert wurden (Heart u. a. 1981, III–56).

Die Probleme mit den IMPs und die Umstellung auf TIPs waren so weitreichend, dass die ARPA beschloss, das Netzwerk seitens der von Fehlern betroffenen Bauteile ungenutzt zu lassen «while improvements were designed and implemented» (ebd.). Zur Umsetzung dieser Umbaustrategie fragten die daran beteiligten Entwickler:innen der ARPA die Entwickler:innen der Host-Technologien und baten sie darum, das Netzwerk nicht zu nutzen: «The hosts were simply asked to not use the network in the way that caused the subnetwork problems, and the hosts did as they were asked» (ebd.).

Robert Lawrence forderte die Entwickler:innen der ARPA auf und «instructed the Network Working Group to ›go back and get it right‹» (Heart u. a. 1981, III–63).

An dieser Stelle zeigt sich eine zentrale Umbaustrategie des ARPANETs, welche eine hohe Relevanz für die vorliegende Studie hat. Der Umbau wurde nicht bei laufendem Betrieb vorgenommen, sondern betreffende Bauteile wurden ungenutzt gelassen, um die Modifikation vorzunehmen. Weiterführend wurde die Strategie seitens der Programmleitung von Robert Lawrence eingefordert. Diese wurde durch die Entwickler:innen innerhalb einer Netzwerk-Arbeitsgruppe ausgeführt und seitens der beteiligten Akteur:innen der Netzwerkstruktur getragen.

Es ist anzunehmen, dass das hohe Comittment der beteiligten Akteur:innen, diese Umbaustrategie zu tragen, insbesondere dadurch zustande kam, dass die Entwickler:innen zugleich die Nutzer:innen der Technologien der ARPANETs waren und so eigene wissenschaftliche Arbeiten zu einem breiten Verständnis der Prozesse und dessen Umbaustrategien führten.

Dies zeigt sich daran, dass es innerhalb der Vorläufertechnologien des Internets keine klassischen «Endnutzer:innen» gab, welche die Techniken ausschliesslich nutzten. Vielmehr war der Stand wie folgt: «[A] number of other individuals [...] have

been involved with the development of the ARPANET. The names of many of these individuals may be found as authors of the papers on the ARPANET which have come out» (Heart et al. 1981: III-63) (Heart u. a. 1981, III-63).

Verbunden wurden diese technologischen Neuerungen durch die TIPs auch mit einem weiterführenden Mehrwert auf technologischer Seite:

«However, its greatest virtue was the separation it put between the IMP and the host. The IMP and host did not have to worry about each other's word size, and they did not have to worry about each other's timing constraints. It seems likely that having to worry about these issues would have delayed network operation» (Heart u. a. 1981, III-56).

Anhand dieser Datensequenz wird deutlich, dass die Differenzierung einzelner Technologien innerhalb des Netzwerks entscheidend ist, um keine Einschränkungen innerhalb der technologischen Struktur zu verursachen und dieses entsprechend funktional auszugestalten.

Zudem zeigt sich an dieser Textstelle insbesondere in dem Ausdruck «to worry about» nochmals eine Zuschreibung personifizierender Eigenschaften auf Technik und die Interaktion technischer Geräte untereinander, die den Ansatz der generalisierten Anthropologie der ANT innerhalb dieser Arbeit erhärtet. Technik interagiert nicht nur mit sozialen Akteur:innen, sondern auch mit anderen sachlichen Akteur:innen und bildet entsprechend (in diesem Fall unerwünschte) Nebenfolgen aus, die Auswirkungen auf das Netzwerk verursachen können.

Weiterführend ist es seitens der Organisation notwendig, Reglementierungen zu schaffen, die einerseits Konsens bilden und andererseits die Komplexität des Netzwerks reduzieren:

«The accessibility of distributed resources carries with it the need for an information service (either centralized or distributed) that enables users to learn about those resources» (Heart u. a. 1981, III-38)

Zentrale organisationale Veränderungen zur Schaffung von Strukturen stelle ich im Folgenden anhand von zwei zentralen Entwicklungen des ARPANETs dar: erstens das Layering in seiner Funktion der Reduzierung von Komplexität und Schaffung von technologischer und sozialer Anschlussfähigkeit, welches innerhalb der Network Working Group (NWG) entwickelt wurde und zu deren Ausdifferenzierung führte, zweitens die RFCs als Austauschmedium der Vorläufertechnologie des Internets sowie ihre spätere Funktion als Standardisierungspapiere.

Insofern wurde die NWG in einer Doppelfunktion gegründet. Zum einen sollte sie ein Austauschformat für Entwickler:innen bieten, zum anderen ggfs. («eventually») auch eine halb-offizielle Vergabeinstanz für Host-Protokolle darstellen.

Die NWG «grew quite large, with representatives from almost every host site in the network participating, and mountains of paper was circulated describing and commenting on various protocols» (Heart u. a. 1981, III-47). In 1972 «the NWG had grown too large, but much of its work was done – large numbers of hosts were communicating over the network» (ebd.).

Es zeigt sich anhand dieser Sequenzen, dass mit dem zunehmenden Ausbau des ARPANETs auch die Anzahl Akteur:innen in der NWG zunahm und dies nicht folgenlos für deren weitere Arbeitsfähigkeit war, was innerhalb der nächsten Sequenz deutlich wird.

«[G]radually the activities of the NWG began to diminish» und Stephan Crocker und andere Entwickler:innen verliessen die Gruppe. «As Crocker's time for the NWG group became increasingly limited, he appointed Alex McKenzie and Jon Postel to serve jointly in his place» und Postel und McKenzie übernahmen somit die Leitung der NWG. Ihre Kernaufgabe sahen die beiden insbesondere in der Koordination und Ausdifferenzierung der Gruppe (ebd., III-48).

Die Zitate zeigen, dass mit der Ausweitung der physisch digitalen Struktur des Netzwerks auch eine Ausweitung der bis dato bestehenden NWG einherging. Dies lässt sich mit der Besonderheit erklären, dass Nutzer:innen des Netzwerks zugleich seine Entwickler:innen waren und nahezu alle an einer Beteiligung innerhalb einer Arbeitsgruppe interessiert waren, um zum einen die Vernetzungstechnik voranzubringen als auch, um sich über diese auszutauschen und Konsens bei verwendeten Technologien zu generieren, um anschlussfähig an das Netzwerk zu bleiben. Diese Ausweitung zeigt sich auch innerhalb der Untersuchungen zu grosstechnischen Systemen und ihren Kernmerkmalen (Kapitel 5.1).

Demnach lässt sich an dieser Stelle der Entwicklung der Vorläufertechnologien des Internets eine Tendenz zu dem von Hughes (1987, 41) beschriebenen Momentum feststellen. Die zunehmende Komplexität aufgrund technologischer und sozialer Ausweitung führt zu Beharrungstendenzen innerhalb der NWG. Die Gruppenaktivitäten liessen nach («[...] begun to diminish» Heart et al.: III-48 (Heart u. a. 1981, III-48)). Insofern weist nicht das gesamte ARPANET eine Trägheit der Entwicklung auf, sondern lediglich eine organisationale Struktur wie die NWG. Die Fokussierung auf Koordinations- und Ausdifferenzierungsaufgaben innerhalb der Gruppe durch Postel und McKenzie scheint eine Strategie innerhalb dieser zeitlichen Phase der Entstehung des Internets zu sein, welche die Netzwerk Gruppe in Bewegung bringt, indem sie die Beharrungstendenzen durch Personalwechsel auf Leitungsebene und Neustrukturierung der Aufgaben aufzubrechen vermögen.

Weiterführend ist im Datenmaterial ersichtlich, dass die Initiativen von Postel und McKenzie zu einer Themenausdifferenzierung führten, die in die Entwicklung eines Layering Modells (Abbildung 23) mündeten (vgl. Heart u. a. 1981, III-61).

Durch das Layering Modell von Postel und McKenzie konnte zudem eine Arbeitsteilung erreicht werden (vgl. ebd.). Nahezu analog zu den Layern konnte im Datenmaterial die Einrichtung weiterer Arbeitsgruppen identifiziert werden, die wiederum die Komplexität der Aufgaben innerhalb der NWG deutlich reduzierten und seitens der vorliegenden Studie zu bedeutenden Erkenntnissen für die Theoriebildung führten.

9.1.8 Das Layering als Vermittler:in zur Reduzierung von Komplexität

Im Folgenden stelle ich die Themendifferenzierung der NWG durch Postel und McKenzie sowie die Mündung dessen in der Entwicklung eines Layering Modells dar.

Abbildung 23 zeigt das Prinzip des Layerings, nach dem das ARPANET in einzelne Protokoll-Schichten (Layer) eingeteilt wird.

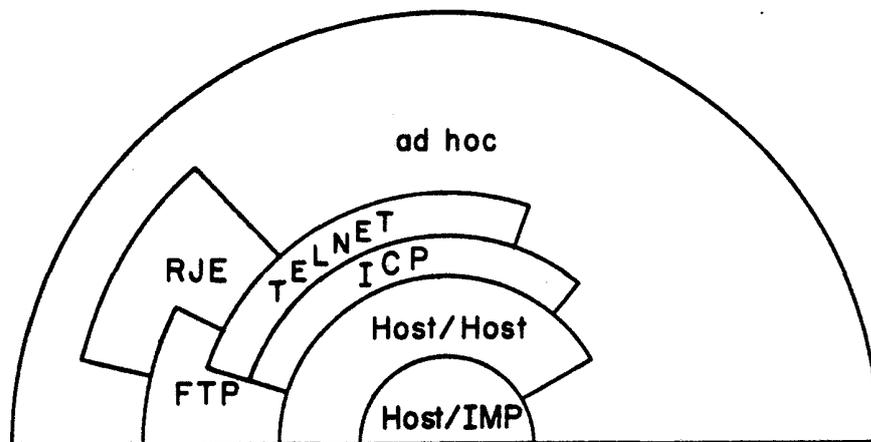


Abb. 23: Layering; «Layered Relationship of the ARPANET Protocols» (Heart et al. 1981: III-61).

Demnach «adopted [the NWG] a ›layered‹ approach to the specification of communications protocols, wherein the higher layers of protocol use the services of lower layers» (Heart u. a. 1981, III-61).

Diese einzelnen Layer stellen zwar voneinander abhängige Schichten dar, sind jedoch unabhängig davon hierarchisch strukturiert. Sie kreisen dazu definierte Themen ein und grenzen diese durch Beschreibung ihrer Funktionalität von anderen ab. Jeder Layer definiert dazu seine verwendeten technologischen Elemente (z. B. RJE, TELNET, IMP etc.) und baut wiederum auf Techniken der darunterliegenden Schicht auf. Dadurch werden Techniken der einzelnen Ebenen voneinander in ihrer Funktion

differenziert, was die Weiterentwicklung erleichtert. Schnittstellen zwischen den einzelnen Layern regeln das Zusammenwirken der einzelnen Schichten. Die technischen Komponenten der Ebenen können dadurch dezentral gestaltet werden.

Insgesamt entwickelte sich das Layering zu einem allgemeinen Denkmodell der allgemeinen Netzwerktechnik. Es wurde im weiteren Verlauf der Entwicklung des Internets zu einem standardisierten Modell ausgearbeitet (vgl. RFC 1122, Braden, und Kale 1989) und zum ISO/IEC-Basic Model erweitert (vgl. ISO/IEC 1994, 7498-1).⁹³

Für das ARPANET wurden sieben Layer festgelegt, wie in Abbildung 23 ersichtlich ist. Um die Funktion der Technologien und die Themen der Arbeitsgruppen greifen zu können, werde ich diese nun in knapper Form ausführen:

1. «The lowest layer is the IMP-to-host protocol» (Heart u. a. 1981, III-61). Dieses regelt die Kommunikation zwischen den IMPs und den Host-Computern der einzelnen Einrichtungen.
2. «The next layer [...] called the host-to-host layer» definiert Verfahren zur Festlegung der Kommunikationspfade zwischen den einzelnen Host-Computern sowie u. a. die Anschlusskommunikation an den Enden einzelner Kommunikationspfade (ebd.).
3. Die dritte Schicht betrifft «the Initial Connection Protocol or ICP» und spezifiziert einen Standard des Remote Users oder Prozesses, d. h. es regelt, welche Benutzer:innenanfrage eines Computers und eine/r Nutzer:in einer externen Einrichtung an welchen IMP einer anderen Einrichtung oder eines Netzwerkknotens geleitet wird (ebd.).
4. «In the next layer is the Telecommunications Network or TELNET protocol». TELNET ist ein «Network Terminal Standard» um den Zugriff auf einen Computer-Terminal mittels Remote-Zugriff zu erlauben. Dieses Protokoll definiert diesen Dienst (ebd.).
5. Der fünfte Layer definiert das «File Transfer Protocol (FTP)». Dieses ist ein «function oriented protocol», welches die Dateiübertragung innerhalb des ARPANETs ermöglicht.
6. Das «Remote Job Entry Protocol (RJE)» ist das zweite funktionsorientierte Protokoll des ARPANETS und bildet die sechste Schicht im Modell.
7. Die siebte Schicht ermöglicht «any point in the layering process, it is possible to superimpose ad hoc protocols» (ebd.).

Insofern dient das Layering in seiner Funktion in zweifacher Weise als Strategie im Aufbau und Weiterentwicklungsprozess des ARPANETs. Zum einen reduziert es durch die strukturelle Differenzierung einzelner Schichten die Komplexität der

93 Im 1994 entwickelten ISO/IEC-Basic-Model folgend gibt es sieben Schichten: Anwendungsschicht, Darstellungsschicht, Sitzungsschicht, Transportschicht, Vermittlungsschicht, Sicherungsschicht und Bitübertragungsschicht (siehe weiterführend ISO/IEC 1994).

Netzwerkstruktur und die darin zu behandelnden Themen und Probleme. Dadurch erleichtert es die Weiterentwicklung sowie die soziale Komplexität der NWG Arbeitsgruppe, indem durch das Layering ein Anstoss zu deren Ausdifferenzierung gegeben wird.

Zum anderen liegt in dieser Strategie jedoch auch ein verbindendes Element des Akteur:innennetzwerks. Das Layering führt zu technischer und sozialer Anschlussfähigkeit, indem die einzelnen Technologien der Layer in ihrer Gesamtheit des ARPANETs eine Relevanz für dieses aufweisen. Dadurch werden auch soziale Akteur:innen innerhalb des Entwicklungsprozesses miteinander vernetzt, indem diese aufgrund der wechselseitigen Abhängigkeit der Layer miteinander kooperieren müssen. Im Sinne der ANT weist das Layering die Funktion einer Vermittler:in zwischen Technik und Sozialem auf (siehe dazu 5.2.2.1).

Die sieben Layer dienten insofern einer strukturellen und arbeitsteiligen strategischen Funktion innerhalb des ARPANETs und boten durch den siebten Layer «ad hoc» Freiräume für eine offene Gestaltung.

Weiterführend zeigen sich innerhalb dieser Entwicklungen aber auch bezeichnende mikrostrukturelle Aspekte sozialer Akteur:innenkonstellationen innerhalb des Entwicklungsprozesses sowie Momente der Stabilisierung und Ausweitung des Netzwerks.

Innerhalb des Datenmaterials wurde ersichtlich, dass sich nahezu analog zum Layering Modell Abbildung 23 eine Ausdifferenzierung von Arbeitsgruppen und Meetings entwickelt hat. Weiter zeigte sich, dass die einzelnen Arbeitsgruppen durch das Layering zur Arbeitsteilung befähigt wurden, voneinander unabhängig Probleme lösen konnten und zugleich durch persönlich kollegiale Beziehungen über Technologien miteinander verbunden waren.

Ausdifferenzierung der Arbeitsgruppen und mikrostrukturelle Besonderheiten

Im Folgenden werde ich die Ausgestaltung von Akteur:innenkonstellationen anhand der Identifizierung einzelner ausdifferenzierter Arbeitsgruppen analog zum Layering mittels Daten der Dokumentenanalyse rekonstruieren und diese hinsichtlich ihrer mikrostrukturellen Besonderheiten und bezeichnender Charakteristika für die Vorläufertechnologien des Internets beleuchten.

Im Datenmaterial der Dokumentenanalyse wurde während des Analyseprozesses deutlich, dass sich die Arbeitsgruppen nahezu analog zum Layering-Modell ausdifferenzierten. Sie gestalteten sich wie folgt:

Die NWG setzte sich mit der Entwicklung der Host Software auseinander, die die Übertragung verschiedenartiger Daten zwischen zwei Rechnern erlaubte (vgl. RFC 3 und Crocker 1969). Demnach beschäftigte sich die NWG mit dem ersten und zweiten Layer des Modells und mit den technischen Spezifikationen und Weiterentwicklungen des «IMP-to-host protocol» sowie dem «host-to-host protocol» (Heart

u. a. 1981, III-61). Letzteres wurde in der Zeit von 1970 bis 1971 sukzessiv weiterentwickelt und auf diversen Arbeitsgruppen-Meetings und Konferenzen diskutiert sowie schliesslich im Oktober 1971 von Alex McKenzie spezifizierend dokumentiert (vgl. ebd., III-64).

Die IMP Technologie des dritten Layers war nach der Entwicklung von TIPS, wie in Kapitel 9.1.6 beschrieben, stabil und wurde bereits innerhalb einer «ad hoc »Communication Group« von Entwickler:innen der Message-Switching Netzwerke bearbeitet (vgl. Heart u. a. 1981, III-14).

Die Entwickler:innen der BBN arbeiteten mit John T. Melvin und Richard W. Watson zusammen. Die beiden waren Mitarbeiter des Stanford Research Institute (SRI), der vierten Layer Schicht. Im Jahr 1971 entwickelten sie das TELNET Protocol, welches die Steuerung entfernter Rechner über das Netz ermöglichte und somit die Nutzung entfernter Hardwareressourcen erlaubte (vgl. RFC 97, Melvin, und Watson 1971).

Mithilfe dieses Protokolls konnten auch Institutionen die Rechenleistung anderer Einrichtungen im ARPANET mittels TELNET nutzen, die keine eigenen Rechnerkapazitäten besaßen. Diese Entwicklung war ein grosses Verdienst im Bereich der Vernetzungstechnik und führte zu erneuten Ausweitungen des ARPANETs (vgl. Heart u. a. 1981, III-69).

Weiterführend beschäftigten sich Forschergruppen mit dem fünften und sechsten Layer und entwickelten in diesem Rahmen zwei funktionsorientierte Protokolle: Das File Transfer Protocol (FTP) und das Remote Job Entry Protocol (RJE).

Funktionsorientierte Protokolle stellen Anwendungen innerhalb des Netzwerks bereit und betreffen nicht die Vernetzung von Netzwerkkomponenten. Sie sind entsprechend austauschbar. Protokolle dieser Art werden aus diesem Grund heutzutage unter der Anwendungsschicht im ISO/IEC Basic Model geführt (vgl. ISO/IEC 7498-1 1994) (vgl. ISO/IEC 1994, 7498-1).

Richten wir zunächst den Blick auf das FTP, die fünfte Layer Schicht im ARPANET, und dessen Akteur:innenkonstellationen, welche dieses innerhalb einer Arbeitsverbundes entwickelten (Abbildung 23).

«The File Transfer Protocol started out as two protocols, a Data Transfer Protocol and a File Transfer Protocol» (Heart u. a. 1981, III-70).

Das Data Transfer Protocol wurde ursprünglich von Vinton Cerf mit der Spezifikation RFC 163 (vgl. RFC 163 und Cerf 1971) entwickelt und von Mitarbeitenden des MIT, der University of California, Los Angeles (UCLA), der BBN, dem RAND, dem SRI und der Harvard University zur Spezifikation RFC 171 (vgl. RFC 171 1971) weiterentwickelt. Daran beteiligte Wissenschaftler:innen waren Abhay Bhushan, Bob Braden, Will Crowther, Eric Harslem, John Heafner, Alex McKenize, John Melvin, Bob Sundberg, Dick Watson und John White (vgl. ebd.).

Das ursprünglich im ARPA erwähnte File Transfer Protocol wurde von Abhay Bushan, einem Mitarbeiter des MIT im Jahr 1971 mit dem RFC 114 erstmalig spezifiziert und nach und nach unter Mitarbeit weiterer der zuvor genannten Wissenschaftler:innen modifiziert (vgl. RFC 114 und Bushan 1971).

Der Zusammenschluss des Data Transfer Protocols mit dem ursprünglichen File Transfer Protocol zu einem späteren Zeitpunkt, hier im Layer Modell ausschliesslich als File Transfer Protocol (FTP) dargestellt, für das ARPANET (vgl. Abbildung 23), erfolgte erstmals durch Nancy N. Neigus, eine Mitarbeiterin des BBN im August 1973 mit dem RFC 542 (vgl. RFC 542 1973)

Schliesslich wurde das FTP, welches wir zum Teil noch heutzutage nutzen, von Jonathan Postel in 1980 (vgl. RFC 765 1980) sowie 1985 in Zusammenarbeit von Postel und Joyce Reynolds (vgl. RFC 959, Postel, und Reynolds 1985) spezifiziert.⁹⁴

Anhand des Beispiels des FTP zeigt sich, dass – ähnlich wie bei anderen technologischen Entwicklungen der Vorläufertechnologien des Internets –, zunächst einzelne Entwickler:innen eine Technologie entwarfen und diese mittels eines Request for Comments (RFC) zur Diskussion stellten. Im Fortlauf dessen schlossen sich ihnen weitere Wissenschaftler:innen an, die Interesse an der Technologie innerhalb ihrer Einrichtung hatten, um die Technologie weiterzuentwickeln.

Weiterführend zeigt sich, dass die frühe Entwicklung des Internets deutlich durch männliche Entwickler geprägt war. Innerhalb der vorliegenden Forschung tauchten erstmalig im Kontext der untersuchten Entwicklung des ARPANETs weibliche Entwickler:innen im Entwicklungsprozess auf.

Es lässt sich daher eine überwiegend männlich geprägte Entwickler:innengemeinschaft für diese frühen Entwicklungen des Internets identifizieren.

Das zweite funktionsorientierte Protokoll, welches auf der sechsten Ebene des Layers entwickelt wurde, stellt das Remote Job Entry Protocol (RJE) dar. Das RJE «could be defined by the NWG as a whole, UCLA's IBM 360/91 host» (Heart u. a. 1981, III–73).

Entgegen der Aussage des «Completion Reports» der ARPA (ebd.) können innerhalb der Dokumentanalysen Hinweise ausdifferenzierte Arbeitsgruppenstrukturen bzw. spezifische Themen-Meetings identifiziert werden, indem auf «previous RJE Meeting[s]» von Jon Postel von der UCLA in einer Meeting-Ankündigung verwiesen wird (RFC 324 1972). Postel verschickte mit dem (RFC 324 1972) Anfang April 1972 eine Ankündigung an alle ARPANET beteiligten Akteur:innen: «There will be a meeting to discuss Remote Job Entry (RJE) protocols in the ARPA Network on Friday 21 April 72» (RFC 324 1972).

94 Weiterführend zum Entwicklungsverlauf: RFC Editor – FTP. Online verfügbar unter: https://www.rfc-editor.org/search/rfc_search_detail.php?title=file+transfer+protocol&pubstatus%5B%5D=Any&ub_date_type=any, letzter Zugriff: 19.01.23.

Diese Datensequenz bezeichnet zum einen eine Ankündigung für ein Arbeitstreffen zum RJE, zum anderen wird anhand dieser Sequenz jedoch auch deutlich, dass die Mitarbeit und Weiterentwicklung des ARPANETs offen gestaltet war, d. h. es konnten potenziell alle interessierten Entwickler:innen des ARPANETs daran teilnehmen.

Die «offene Gestaltung» ist insofern ein entscheidender Hinweis auf ein Charakteristikum der Entwicklungsdynamiken innerhalb der frühen Phase des Internets. Dieses wird im Fortlauf der vorliegenden Studie weiterführend diskutiert und mit späteren Entwicklungen im Umbauprozess der Internetinfrastruktur kontrastiert.

Insgesamt zeigt sich, dass das Layering Modell zur Problemlösung eingesetzt wurde, somit eine Strategie zur Reduzierung von technischer und sozialer Komplexität innerhalb des ARPANETs darstellte und analog zum Layering eine Ausdifferenzierung von Arbeitsgruppen innerhalb der NWG stattfand. Insofern ist das Layering im Sinne der ANT eine Vermittler:in zwischen Technik und Sozialem und führt durch organisationale Veränderung der NWG zur Bewegung innerhalb des Netzwerks. Schliesslich löst das Momentum die vorherrschende Überkomplexität im Akteur:innen-Netzwerk durch technische und soziale Reduzierung von Komplexität auf, um das ARPANET weiterzuentwickeln zu können.

Eine weitere Entwicklung seitens einer organisationalen Veränderung und Strukturbildung stellten Requests for Comments (RFCs) dar. Diese reduzierten die technologische und soziale Komplexität durch Dokumentation in RFCs.

9.1.9 Request for Comment (RFC) als Austauschmedium

Eine weitere Strategie im Aufbau- und Umbauprozess zur Reduktion von Komplexität im ARPANET stellten Requests for Comments (RFCs) dar. Während der Analysen zeigte sich, dass die Requests for Comments (RFC) nicht nur, wie im heutigen Internet, Standardisierungspapiere sind, sondern auch eine Strukturbildung und organisationale Veränderung mit der Entwicklung und Verbreitung dieser im ARPANET einherging. Diese werde ich im Folgenden darstellen.

Die Ausweitung der sozialen und technischen Struktur des ARPANETs führte zu einer grossen Anzahl von Dokumenten: «[M]ountains of paper was circulated describing and commenting on various protocols» (Heart u. a. 1981, III–47).

Der Datensequenz und den Erkenntnissen des Layerings folgend lassen sich entsprechend technische Lösungen innerhalb der Arbeitsgruppen der NWG erarbeiten. Allerdings führte deren schriftliche Fixierung zu «Bergen» von Papier.

Infolgedessen setzte sich Steve Crocker, ehemaliger Leiter der NWG, dafür ein, die Inhalte der regelmässigen Arbeits-Meetings in einer strukturierten Form zu protokollieren. Diese Dokumente wurden ab April 1969 als RFCs bezeichnet und

innerhalb des ARPANETs über das Nachrichtensystem zirkuliert. Dies geschah mit dem Ziel «to let others know what they were doing and to obtain the reactions and involvement of other interested parties» (Heart u. a. 1981, III–47).

Das erste Dokument, «RFC 1 (1969)», wurde am 7. April 1969 von Steve Crocker selbst veröffentlicht. Es befasste sich mit der Host Software und der Kommunikation von Hosts und IMPs (vgl. RFC 1 und Crocker 1969). Insofern ist die Technologie, über die innerhalb des RFCs 1 berichtet wird, dem ersten Layer zuzuordnen. (vgl. RFC 1 und Crocker 1969; sowie Abbildung 23) .

Im Vergleich verschiedener RFCs im Kontext der Analysen konnte eine wiederkehrende Dokumentenstruktur festgestellt werden. Diese stellte sich aus einem Header mit Nummer des RFC, beteiligten Entwickler:innen unter Angabe der zugehörigen Organisation sowie einem Betreff als Titel innerhalb des oberen Teils des Dokuments dar. Weiterführend umfassen alle RFCs eine Einleitung mit inhaltlicher Zusammenfassung und längere Dokumente ein Inhaltsverzeichnis. Alle RFCs sind somit logisch durch Verwendung von Überschriften oder Inhaltsverzeichnissen strukturiert.

Die RFCs sollten im Sinne von Crocker dazu beitragen, Gesprächsinhalte der Sitzungen zu protokollieren und als technische Spezifikationen festzuhalten (vgl. Heart u. a. 1981, III–47). Weiterführend enthalten diese Dokumente auch Inhalte und Ausführungen zu technologischen Ideen und Visionen, Vorschläge und Anregungen zur Entwicklung, Verbesserung oder Modifikationen von Techniken und Einladungen zu Meetings oder Adressdaten. Exemplarisch zeigte ich dies bereits im Kontext des Layerings anhand der funktionsorientierten Protokolle FTP und RJE sowie anhand der Meeting Einladung zum RJE Meeting (siehe 9.1.8).

Folglich dokumentieren RFCs nicht nur technische Spezifikationen, sondern auch den vorherrschenden Diskurs der jeweiligen Zeit im ARPANET von einzelnen Entwickler:innen oder Gruppen von Entwickler:innen.

Der Heterogenität der Inhalte entsprechend sind RFCs offen gestaltet und bieten einen Raum für die Zirkulation vielfältiger Informationen sowie eine Rückkopplungsmöglichkeit, indem vorherige Dokumente als updatet oder obsoleted gekennzeichnet werden können: «Each document was given a unique identifying number, so it was easy to track. These features were useful in a fast-moving environment» (RFC 2555 u. a. 1999, 11).

Mithilfe der RFCs konnten so technische Lösungen unter fortlaufender Prüfung anderer teilnehmender Entwickler erarbeitet, optimiert und als Konsensbildung etabliert werden.

Weiter verschob sich die Funktion der RFCs von einem Diskussionspapier zu einer Norm: «RFCs slowly became conclusions rather than debates» (RFC 2555 u. a. 1999, 6).

Zusammenfassend lässt sich für diese Datensequenzen konstatieren, dass sich mithilfe der RFCs für die Computertechnik im ARPANET ein System etablierte, das eine diskursive Ordnung für die Entwickler:innen schaffte.

Die RFCs ermöglichten, technologische Probleme zu entpersonalisieren, mit «identifying number[s]» (RFC 2555 u. a. 1999, 11) zu quantifizieren und im Fortgang als Norm zu stabilisieren. Demnach mussten die Entwickler:innen einer einzelnen Einrichtung die technologische Spezifikation einbinden, um Teil des ARPANETs zu sein.

Diese Funktion der RFCs scheint essenziell für die Zeit der Entwicklung der Vorläufertechnologien zu sein, denn die RFCs entwickelten sich im Verlauf der Entwicklung des Internets von einer Norm zu einem informellen Standard. Diesen Status haben die Dokumente, die mittlerweile durch die Internet Engineering Task Force (IETF) entwickelt werden, auch heute noch. Ich führe diese Beobachtungen weiterführend im späteren Verlauf aus und kontrastiere diese Besonderheiten in der Grounded Theory zum Umbau der Internetinfrastruktur (Kapitel 10).

Wie eingangs erläutert zirkulierten die RFCs innerhalb der Entwickler:innen Gruppe des ARPANETS. Crockers RFC 95 vom 4. Februar 1971 listete alle Akteur:innen des ARPANETs auf, die die RFCs zur Verfügung gestellt bekamen, und veröffentlichte damit eine «Mailing-List» mit insgesamt 27 Personen (vgl. RFC 95 und Crocker 1971).

Die NWG nutzte zur Bereitstellung der RFCs den Netzwerkknoten (namens NIC) des Stanford Research Institute (SRI). Dem RFC 2555 (1999) folgend, welcher anlässlich des 30-jährigen Bestehens der RFC unter dem Titel «30 Years of RFCs» von allen Editoren des RFC-Editors herausgegeben wurde, war die bereitgestellte Struktur des SRI eine Revolution: «The SRI NLS Journal was revolutionary for the time» (RFC 2555 u. a. 1999, 11).

Grund dafür war, dass die RFCs in digitaler Form mittels des «NLS Journals» zur Verfügung gestellt und darin weiterentwickelt wurden. Die Dokumente konnten jedoch nicht geändert werden: «[A]ny document submitted to the journal could not be changed. New versions could be submitted, and these superceded old versions, but again the new versions could not be changed» (RFC 2555 u. a. 1999, 11).

Auf das Journal an sich konnten die Entwickler:innen mittels einer Remote-Sitzung über das TELNET Protokoll auf den NIC Netzwerkknoten des Stanford Research Institutes (SRI) und darüber auf das «NLS Journal» zugreifen. Weiterführend stellte dieses «a list of network participants and distribution lists for various special interest groups within the network community» bereit (Heart u. a. 1981, III–38).

In diesem Ansatz liegt vielleicht eine Vorreiter:in des digitalen kollaborativen Arbeitens. Insofern stellt dieser Ansatz innerhalb der Vorläufertechnologien der Entwicklung des Internets eine Innovation in der Mediennutzung dar.

Innerhalb der Analysen liessen sich jedoch auch Probleme mit dem NLS Journal feststellen, die weitreichende Konsequenzen für die Verteilung der RFCs hatten.

«[H]owever, access to it online presented several operational problems. Host computers were small and crowded, and the network was growing by leaps and bounds; so connections had to be timed out and broken to give everyone a chance at access. Also, the rest of the world was still a paper world (and there were no scanners or laser printers, folks!), so the NIC still did a brisk business sending out paper documents to requestors» (RFC 2555 u. a. 1999, 11).

Dieser Datensequenz kann entnommen werden, dass das SRI NLS Journal aufgrund der wachsenden Anzahl an Hostrechnern in seiner technologischen Funktion eingeschränkt war. Demnach waren Verbindungsabbrüche zu verzeichnen sowie die Zugriffsmöglichkeiten aufgrund der Vielzahl beteiligter Entwickler:innen beschränkt. Letzteres lässt sich aufgrund der bereitgestellten Ressourcen des TELNET-Protocols zurückführen. Schliesslich führte dies dazu, dass RFCs auf dem postalischen Weg verschickt wurden. Ab 1975 wurden die RFCs dann per E-Mail-Dienst versendet (vgl. ebd., 12). Es angemerkt, dass es diese Anwendung vorher noch nicht gab.

Anhand der zuvor erläuterten Datensequenzen zeigt sich nicht nur die technologische Erschöpfung des SRI NLS, sondern auch die Folgen auf die sozialen Akteur:innen und deren Verflechtungen seitens weiterer sachlicher Elemente. Bei Letzteren war insbesondere die Limitation durch Technik entscheidendes Moment für den Wechsel des «Mediums» innerhalb der Entwicklung, Editierung und Verbreitung der RFCs (online Zugriff – digitales Medium versus postalische Sendung der RFCs als Brief).

Weiterführend ist zu vermuten, dass die postalische Zustellung im Vergleich zu dem Online-Zugriff deutlich mehr Zeit in Anspruch genommen hat. Es sei an dieser Stelle jedoch angemerkt, dass die Übertragungs- und Zugriffsgeschwindigkeiten zur damaligen Zeit, verglichen mit den heutigen, sehr, sehr langsam waren. Allerdings wurden die RFCs damals auch nicht heruntergeladen. Es erfolgte lediglich ein Zugriff mittels physischer Verbindung über den NIC Knotenpunkt des SRIs.

Es lässt sich aufgrund der geringeren Publikationszahlen der RFCs bis 1975 vermuten, dass die Umstellung des «Mediums» zur Verringerung der Veröffentlichungen und somit zu einer Abnahme der Partizipation sozialer Akteur:innen innerhalb des ARPANET Diskurses geführt haben könnte.

9.2 Zwischenfazit – Das soziotechnische Netzwerk in der Phase der Entstehung des Internets – ARPANET

Im Folgenden werde ich ein Zwischenfazit zur Entwicklung des soziotechnischen Netzwerks der Vorläufertechnologien des Internets ziehen, bevor ich auf einen zentralen Wendepunkt innerhalb des untersuchten Computernetzwerks durch die

Entwicklung und Einführung des Internetprotokolls beim Umbau der Internetinfrastruktur eingehe. Dies wird in Kapitel 9.4 anhand der Entwicklung des Transmission Control Protocols (TCP) sowie dessen Weiterentwicklungen (Zwischenentwicklungen, IPv4, IPv6) geschildert werden.

Betrachtet man «das ARPANET und die Vorläufertechnologien» als Phase der Entstehung des Internets sowie seiner Weiterentwicklung als ein soziotechnisches Netzwerk, so weitete es sich aus, indem es im Fortlauf der Entwicklung auf verschiedene Probleme, Herausforderungen, Visionen etc. sozialer, sachlicher und/oder zeitlich-räumlicher Akteur:innen in einer produktiven Weise reagierte, was wiederum zu Bewegungen im Netzwerk führte.

Dabei habe ich zentrale Wendepunkte innerhalb der Rekonstruktion der Historie des Internets, die das soziotechnische Netz in Bewegung brachten und zur Veränderung seiner Form führten, durch Analyse zentraler Dokumente innerhalb der Dokumentenanalyse in Anlehnung an die Forschungsmethodologie der GTM und unter Bezug zu den theoretisch sensibilisierenden Konzepten des Ansatzes grosstechnischer Systeme und der Akteur:innen-Netzwerk-Theorie analysiert.

Ich zeigte in den Analysen, dass diese drei genannten «Akteur:innengruppen» (sozial, sachlich, zeitlich-räumlich) heterogene, höchst interdependente Beziehungen ausbildeten, die den Entwicklungs- und Umbauprozess des untersuchten Computernetzwerks wechselseitig beeinflussten.

So wurden durch verschiedenartige Übersetzungsprozesse im soziotechnischen Netzwerk der «Phase der Entstehung des Internets» und dem so entstandenen ARPANET Neuerungen eingeschrieben, die wiederum selbst zu Spannungen und Bewegungen im soziotechnischen Netzwerk führten und andere Akteur:innen und Akteur:innenkonstellationen innerhalb des Netzes ausbildeten.

Insgesamt liessen sich neben der zunehmenden Verflechtung der technologischen Netzwerkelemente des ARPANETs auch die Übersetzung von Problemen in neue Techniken, die Ausweitung der beteiligten Akteur:innen und Beziehungen der Akteur:innenkonstellationen sowie Strategien des Aus- und Umbaus ausmachen.

Wie sich innerhalb der Analysen zeigte, waren diese Veränderungen keineswegs isolierter Art, sondern sie beeinflussten das untersuchte soziotechnische Netzwerk in der Phase der Entstehung des Internets in einem solchen Mass, dass sie nicht intendierte Nebenfolgen innerhalb des ARPANETs erzeugten, die die Basis für weitere Entwicklungen innerhalb des Netzwerks ausbildeten und bspw. zu organisationalen Veränderungen führten.

Insofern hat sich dieses soziotechnische Netzwerk während der Entwicklung des Internets wechselseitig geformt, verflochten sowie im Lauf der Entstehung des Internets/ARPANETs in seiner Form verändert.

Diese Entwicklungen im Entstehungs- und Umbauprozess des soziotechnischen Netzwerks in der Phase der Entstehung des Internets möchte ich im Folgenden zusammenfassend nachzeichnen und die Ergebnisse des selektiven Kodierens nach der GTM (siehe Kapitel 8.5) in Anlehnung an die theoretisch sensibilisierenden Konzepte der GTS und ANT (siehe Kapitel 5) durch Überführung in theoriegenerierende Kategorien darstellen.

Zur Beschreibung und Erklärung der Veränderung im soziotechnischen Netzwerk innerhalb der Phase der «Entstehung des Internets» unterscheide ich zwischen vier zentralen Kategorien, die sich weiterführend durch eine Vielzahl von Unterpunkten ausdifferenzieren:

- (1) Rahmenbedingungen im ARPANET
- (2) Soziotechnische Verflechtungen im ARPANET
 - a. Technologische Neuerungen
 - b. Soziale und organisationale Veränderungen
- (3) Entwickler:innen und Entwicklungsprozesse im ARPANET
- (4) Strategien zum Umbau des ARPANETs

Diese vier Kategorien werden auch an späterer Stelle (ab Kapitel 9.3) zur Analyse weiterer technologischer Phasen des Internetprotokolls und des damit verbundenen Umbaus des bestehenden Systems aufgegriffen, am Gegenstand orientiert modifiziert und weiterführend für die Grounded Theory zum Umbau der Internetinfrastruktur spezifiziert.

9.2.1 Rahmenbedingungen im ARPANET

Zur Entwicklung des soziotechnischen Netzwerks in der Phase der Entstehung des Internets waren zwei Rahmenbedingungen für die Entwicklung des ARPANETs essenziell.

Die eine betrifft die Schaffung von Autonomie seitens der universitären Forschung sowie die Etablierung einer von der Regierung losgelösten Forschungskörkultur, die andere die Etablierung einer institutionellen Rahmung.

9.2.1.1 Autonomie von Forschung und Förderkultur

Während der Phase der Entstehung des Internets waren die militärische und die wissenschaftliche Forschung sowie deren Denktraditionen in den USA eng miteinander verwoben. Da Forschungsgelder zentral seitens der Regierung vergeben wurden, befasste sich die wissenschaftliche Forschung zu dieser Zeit nahezu ausschliesslich mit militärischen Themen, insbesondere solchen, die infolge des Zweiten Weltkrieges aufgekommen waren, da diese eine hohe gesellschaftliche Relevanz aufwiesen.

Zu einer weitestgehenden Entkoppelung von Militär und Wissenschaft kam es erst im Juni 1941 mit der Gründung des Office of Scientific Research and Development (OSRD) und der Änderung der Forschungsförderkultur durch den Leiter Vannevar Bush.

Dazu gliederte er die Forschungsförderung den Universitäten an und umging dadurch eine direkte Verbindung zwischen Regierung und militärischer Forschungsförderung. Das OSRD war insofern eine weitgehend unabhängige Basis, welche einen Ermöglichungsraum für wissenschaftliche Forschungen durch eine offene Forschungsförderkultur erlaubte.

Die Entkoppelung von Militär und Wissenschaft durch die Schaffung neuer Forschungsförderstrukturen war insofern ein zentrales Moment für die Entwicklung des ARPANETs und Grundvoraussetzung für Innovationen wie die Idee der Vernetzung von Computern. Demnach ist die Autonomie von wissenschaftlicher Forschung für Innovationen innerhalb dieser Phase essenziell.

9.2.1.2 *Institutionelle Einbettung*

Ein weiteres Moment in der Entwicklung und Etablierung des soziotechnischen Netzwerks in der Phase der Entstehung des Internets stellte die institutionelle Einbettung des ARPANETs an der Advanced Research Projects Agency (ARPA) dar.

Angestossen wurde die Schaffung der ARPA am 7. Februar 1958 seitens der U.S.-Regierung aufgrund des Sputnik-Schocks. Dieser veranlasste die Regierung, grundlagenorientierte Forschungsprojekte durch die ARPA zu fördern.

Durch Lernen aus Vorerfahrungen mit dem OSRD und dem damit verbundenen Ziel der Unabhängigkeit und Offenheit von Forschung sowie der Forschungsförderung an Universitäten stammten sowohl der Direktor der ARPA als auch die Programmleiter:innen aus der Wissenschaft.

Im Rahmen der ARPA wurde im Jahr 1969 das Projekt «Resource Sharing Computer Networks» initiiert und infolgedessen das ARPANET entwickelt.

9.2.2 **Soziotechnische Verflechtungen im ARPANET**

Innerhalb der Phase der Entstehung des Internets erfolgte die Ausgestaltung und Weiterentwicklung des soziotechnischen Netzwerks auf zwei unterschiedlichen Ebenen, die eng miteinander verwoben waren und wechselseitig aufeinander Einfluss nahmen.

Zum einen war der Einfluss auf der technologischen Seite der Infrastruktur bemerkbar, wo eine Vielzahl technologischer Innovationen entwickelt wurde. Zum anderen entstand er auf der Ebene sozialer und organisationaler Momente im Einführungs- und Entwicklungsprozess, die seitens der Nutzung und der Organisation Neuerungen hervorbrachten.

9.2.2.1 *Technologische Neuerungen*

Richten wir zunächst unseren Blick auf die technologische Ebene der innovativen Entwicklungen und deren Verflechtungen und Wirkungen im ARPANET.

Innerhalb des vorherigen Kapitels führte ich zentrale technologische Entwicklungen aus, die in der Phase der Entstehung der Internets technologische Innovationen darstellten. Zu diesen sachlichen Elementen gehörten neben physischen Kabelverbindungen zur Vernetzung von Computernetzwerken, Computer-Terminals, IMPs, TIPs, Computer sowie Vernetzungsprotokolle wie das host-to-host Protokoll oder funktionsorientierte Protokolle wie FTP und RJE, die in der Zeit von 1969 bis in die frühen 1970er-Jahre innerhalb des ARPANETs durch Entwickler:innen hervorgebracht wurden.

Die Entwicklung und Weiterentwicklung dieser sachlichen Elemente war eng mit der räumlichen Ausbreitung und technischen Ausweitung der Computertechnik innerhalb des Computernetzwerks des ARPANETs verwoben.

9.2.2.1.1 *Räumliche Ausbreitung und technische Ausweitung des ARPANETs*

So führten die technologischen Entwicklungen innerhalb des ARPANETs zu immer mehr Netzwerkknoten und einer Verteilung des Netzwerks innerhalb der USA (Abbildung 22). Quantifizieren wir die Infrastruktur des ARPANETs in Anlehnung an Abbildung 22, stellen wir fest, dass 16 IMPs, 9 TIPs und 40 Computer zu dieser Zeit das Computernetzwerk bildeten.

Es zeigt sich, dass die Komplexität der Infrastruktur des ARPANETs im Entwicklungsverlauf kontinuierlich zunahm und abhängig von den technologischen Entwicklungen war. Diese wiederum brachten weitere soziale Momente – wie Nutzungsmöglichkeiten, Visionen und organisationale Veränderungen – hervor, die sich wiederum auf die technologischen Weiterentwicklungen auswirkten. Ich führe dies im weiteren Verlauf der Darstellung der zweiten Ebene «soziale Momente und organisationale Veränderungen» (9.2.2.2) weiter aus.

9.2.2.1.2 *Technologische Zuverlässigkeit und Funktionalität*

Die technisch-räumliche Ausweitung und Weiterentwicklung war stark abhängig von der Notwendigkeit der technischen Zuverlässigkeit des ARPANETs hinsichtlich seiner Funktionalität.

Die technologische Ausweitung und Verbreitung des ARPANETs konnte nur fortgeführt werden, sofern technische Funktionalität und Zuverlässigkeit gegeben waren. Die Notwendigkeit der technologischen Zuverlässigkeit und Funktionalität zeigte sich an vielerlei Stellen innerhalb der Analysen der Phase der Entstehung des Internets. Zu nennen sind an dieser Stelle die Entwicklung der IMPs sowie deren Weiterentwicklung zu TIPs, die u. a. zu einer Verringerung der technischen Verzögerung der Datenübermittlung führten und so Verbindungsabbrüche minimierten.

Räumliche Ausbreitung und physische Ausweitung von Technik sowie die technische Zuverlässigkeit und Funktionalität sind in der Phase der Entstehung des Internets insofern zentrale Momente der Entwicklung und Etablierung des soziotechnischen Netzwerks und führen im weiteren Verlauf der Entwicklung zu steigender Komplexität technischer Elemente, die u. a. zu organisationalen Veränderungen seitens der Zusammenarbeit der Entwickler:innen führte.

9.2.2.1.3 *Parallelentwicklung*

Innerhalb der Analysen zeigte sich eine technologische Parallelentwicklung.

Nahezu zeitgleich zu Paul Barans Verfahren des «Packet Switchings», entwickelte Donald Davies am britischen National Physical Laboratory (NPL) in 1965 eine vergleichbare technische Lösung.

Technologische Parallelentwicklungen konnten während der Phase der Entstehung des Internets nicht vermieden werden, da Austausch und Kooperationsmöglichkeiten noch stark begrenzt waren.

Hinter dieser Parallelentwicklung lagen jedoch unterschiedliche Nutzungsvisionen der Vernetzung von Computertechnik, weil Davies auf Kooperationsmöglichkeiten statt auf Datenaustausch zielte.

9.2.2.2 *Soziale und organisationale Veränderungen*

Im Folgenden richte ich den Blick auf die Ebene sozialer Momente und organisationaler Veränderungen im Einführungs- und Entwicklungsprozess in der «Phase der Entstehung des Internets – APRANET».

Innerhalb der Analysen zeigten sich verschiedene Momente, die soziale Akteur:innen zu Entwicklungen und Weiterentwicklungen innerhalb des soziotechnischen Netzwerks motivierten.

9.2.2.2.1 *Motivation: Nutzungseinschränkungen, -visionen und möglichkeiten*

Es lassen sich zunächst zwei Arten der Motivation von Entwickler:innen feststellen:

Erstens die zentrale Motivation für das Projekt des ARPANETs, dass die kommerzielle Nutzung von Rechenanlagen aufgrund der Größe der Computer sowie der beträchtlichen Anschaffungs- und Betriebskosten nicht möglich war. Demnach waren die Nutzungsmöglichkeiten sozialer Akteur:innen zunächst seitens der bestehenden technologischen Strukturen determiniert und die Entwicklung von Lösungen durch diese motiviert. Diese Art der Motivation durch erlebte Einschränkungen der Nutzer:innen wurde u. a. auch an der Entwicklung von IMPs deutlich.

Zweitens zeigt sich die Motivation zur technologischen Entwicklung und Weiterentwicklung anhand verschiedener Nutzungsvisionen, die zur Ent- und Weiterentwicklung führten und in diese eingeschrieben sind. Dies zeigte sich u. a. in den Anfängen des Aufbaus von Computernetzwerken innerhalb des ARPANETs anhand des

Packet Switchings. So war die Vision des «kooperativen Zusammenarbeitens» innerhalb des Projekts der «Cooperative Network of Time-Shared Computers» zentraler Anstoss für die Entwicklung des Message Switchings und dessen Weiterentwicklung zum Packet Switching. An dieser Stelle wird die soziale Konstruktion von Technik deutlich, wonach Nutzungsvisionen der Entwickler:innen in zukünftige technologische Entwicklungen eingeschrieben werden.

Insofern lässt sich festhalten, dass Motivation ein entscheidendes Moment für die Entwicklung und Weiterentwicklung in der frühen Phase der Entstehung des Internets darstellt. Weiter zeigt sich, dass technisdeterministische Momente und die soziale Konstruktion von Technik für die Motivation der Entwickler:innen bezeichnend sind.

Weiterhin zeigt sich in den Analysen jedoch auch, dass sich Phasen der Technikdetermination mit solchen der sozialen Konstruktion von Technik abwechseln und dass sich heterogene Interdependenzen ausbilden.

So wurden im Kontext der Phase der Entstehung des Internets zunächst Nutzungseinschränkungen durch Technik erlebt, die zu technischen Neuerungen führten. Diese wiederum stellten neue, insbesondere technologische Probleme der Anschlussfähigkeit in bestehenden Technologien heraus oder erwiesen sich als instabil (Beispiel: IMPs). Daraufhin wurden neue Visionen der Technik entwickelt (Beispiel: TIPs), die zur sozialen Konstruktion von neuen Techniken und der Ausweitung des ARPANETs (Beispiel: Packet Switching) oder auch zur Handlungsbefähigung technischer Elemente (Beispiel: Routing) und zu organisationalen Veränderungen (Beispiel: Layering & RFCs) führten.

Letztere fasse ich im Folgenden zusammen und abstrahiere diese weiterführend zu Kategorien der Beschreibung und Erklärung des soziotechnischen Systems in der Phase der Entstehung des Internets.

9.2.2.2 Organisationale Veränderungen im ARPANET

Insbesondere die zuletzt genannten organisationalen Veränderungen stellten in der Phase der Entstehung des Internets eine Bedingung für die Entwicklung und Ausbreitung von Neuerungen im Bereich der Vernetzungstechnik dar.

9.2.2.2.3 Verstehensprozesse von Technik

Damit verbunden sind zunächst «Verstehensprozesse» von Technik, die Entwickler:innen zur Weiterentwicklung eines soziotechnischen Netzwerks befähigen. In den Analysen stellte sich heraus, dass insbesondere Paul Baran und Donald Davies auf diese «Verstehensprozesse» aufmerksam machten, indem sie in ihrer Reflexion von «Resource Sharing Networks» darlegten, dass Entwickler:innen die verwendeten Technologien verstehen müssen, um diese neu entstehenden Subnetze innerhalb einer Einrichtung zu nutzen, auszugestalten sowie Protokolle und

Verfahren implementieren zu können. Somit sind «Verstehensprozess» ein wichtiges Moment für die Entwicklung eines soziotechnischen Netzwerks in der Phase der Entstehung des Internets.

Störungen und Irritationen

In den Analysen zur Phase der Entstehung des Internets konnte aufgezeigt werden, dass der Verstehensprozess von Technik, die Konsensbildung und die Arbeitsfähigkeit von Entwickler:innen aufgrund der Ausweitung des soziotechnischen Netzwerks, der bestehenden technischen Entwicklungen und beteiligten Entwickler:innen zunehmend gestört war.

Dies zeigte sich u. a. an der Ausweitung der Network Working Group (NWG) und ihrer Einschränkung seitens der Konsensbildung von technischen Neuerungen und Entwicklungen, da ihre Sitzungen durch die grosse Anzahl beteiligter Akteur:innen zu «Massenveranstaltungen» und «diminished» wurden.

Störungen und Irritationen innerhalb der Phase der Entstehung des Internets sind durch heterogene Akteur:innen und Akteur:innenkonstellationen geprägt und korrelieren insbesondere mit der Grösse und Ausweitung des soziotechnischen Netzwerks hinsichtlich seiner beteiligten sachlichen Elemente und sozialen Akteur:innen.

Beharrungstendenzen -Momentum für Organisationsveränderung

Anhand der Störungen und Irritationen in der soziotechnischen Entwicklung wurde die Ausbildung eines Momentums nachgezeichnet, welches nach Hughes (1987, 41) ein soziotechnisches Netzwerk stabilisiert, indem es eine Trägheit im System auslöst.

Innerhalb der Phase der Entwicklung des Internets bildete sich ein Momentum im Kontext der NWG aus. Im Rahmen der Analysen wurde dazu aufgezeigt, dass Beharrungstendenzen zu massiven Dysfunktionalitäten innerhalb der Entstehung des Internets führen können. Dies wurde u. a. an unmöglich werdenden Entscheidungsprozessen zur Konsensbildung in der NWG dargelegt. Zugleich sind Dysfunktionalitäten und die Ausbildung eines Momentums in der Phase der Entstehung des Internets funktional für die Organisationsveränderung.

Dies wurde u. a. an dem Personalwechsel seitens der NWG dargelegt. Demnach wurde Crocker von Postel und McKenzie abgelöst. Weiterführend sahen Postel und McKenzie ihren Auftrag aufgrund der Dysfunktion der NWG in der Koordination und Themenausdifferenzierung.

9.2.2.2.4 *Reduktion von Komplexität und Steigerung der Anschlussfähigkeit*

In den Analysen liessen sich zwei zentrale organisationale Veränderungen für die Phase der Entstehung des Internets identifizieren: Das Layering in seiner Funktion der Reduzierung von Komplexität und Schaffung von technologischer und sozialer Anschlussfähigkeit sowie RFCs als Austauschformat und ihrer späteren Funktion der Standardisierung als Strategien zur organisationalen Veränderung.

9.2.2.2.4.1 *Layering – strukturelle Differenzierung und soziale Ausdifferenzierung*

Das Layering-Modell von Postel und McKenzie reduziert durch die strukturelle Differenzierung einzelner Schichten die Komplexität der Netzwerkstruktur auf zu behandelnde Themen und Probleme.

Ausserdem erleichtert es dadurch die Weiterentwicklung des ARPANETS sowie die soziale Komplexität der NWG Arbeitsgruppe, indem dadurch ein Anstoss zur Ausdifferenzierung von Arbeitsgruppen und dessen Arbeitsteilung zustandekam.

Demnach stellt das Layering für die Phase der Entstehung des Internets eine strukturelle Differenzierung seitens der Technologien des ARPANETS dar sowie eine soziale Ausdifferenzierung für Arbeitsgruppen der NWG.

9.2.2.2.4.2 *RFCs – diskursive Ordnung, Austauschforum, Medienwechsel*

Zu RFCs wurde innerhalb des Analysekapitels dargelegt, dass damit ein innovatives organisationales Dokumentensystem (NLS Journal) am ARPANET etabliert wurde, welches eine diskursive Ordnung durch Entpersonalisierung, Quantifizierung und Dokumentierung im Entwicklungsprozess des soziotechnischen Netzwerks schaffte.

Die Ausbildung einer diskursiven Ordnung wurde anhand des strukturierten Aufbaus von RFCs, der Quantifizierung durch Kennzahlen sowie der beinhaltenden Rückkopplungsmöglichkeiten durch Status-Kennzeichnungen im Ergebniskapitel dargelegt.

Weiter dienten RFCs der Konsensbildung und Schliessung im Entwicklungsprozess, indem Entwickler:innen innerhalb des NLS Journals eine technische Spezifikation aushandelten, die in einer Empfehlung zur Implementierung mündete. RFCs gewannen dadurch den Charakter einer Norm.

Zudem etablierten RFCs auf dem Dokumentensystem NLS Journal ein Austauschforum für die Entwickler:innen des ARPANETS. Diese konnten sich in RFCs bzw. über das Medium RFC miteinander kommunizieren.

Die Funktion der RFCs als Austauschforum wurde anhand der heterogenen Inhalte dargelegt, die u. a. aus Einladungen zu Gruppen-Meetings, technische Spezifikationen sowie Verbesserungsvorschläge oder Modifikationen von Techniken und Adressdaten von Entwickler:innen bestanden. Insofern ermöglichten die RFCs auch eine Verteilung technologischen Wissens, wodurch Partizipation am Entwicklungsprozess ermöglicht wurde.

Weiterführend wurde anhand des «NLS Journals» ein technisch bedingter Medienwechsel von digitalen Medien zum Medium des Briefes wie auch eine innovative Mediennutzung einer Frühform des «digitalen kollaborativen Arbeitens» dargestellt.

9.2.2.2.5 Organisationale Veränderung durch Bottom-up Strategien

Insgesamt zeigt sich für die Kategorie «organisationale Veränderungen des ARPANETs», dass Veränderungen seitens der Organisation für die dessen Weiterentwicklung zentral waren und die Konsensbildung (im Kreis der nutzenden Expert:innen) ein zentrales Moment innerhalb der Phase der Entstehung des Internets darstellte.

Zugleich zeigte sich jedoch, dass die Strategien der organisationalen Veränderung (Layering und RFCs) nicht «Top-down» seitens der ARPA geplant und initiiert wurden, sondern zur sozialen und technologischen Anschlussfähigkeit des ARPANETs aus der inneren Praxis heraus entstanden. Sie erfolgten als «Bottom-up» Strategie mit dem Ziel, die soziale und technische Komplexität zu reduzieren.

9.2.3 Entwickler:innen und Entwicklungsprozesse im ARPANET

Weiterführend liessen sich innerhalb der Untersuchungen des Layering-Modells, der Ausdifferenzierung der NWG Arbeitsgruppen sowie der RFCs Merkmale zu Entwickler:innen-Gruppen und der Gestaltung von Entwicklungsprozessen des ARPANETs innerhalb der Ausführungen identifizieren.

9.2.3.1 (Männliche) Entwickler=Nutzer:innen

Die NWG und ihre im Entwicklungsprozess ausdifferenzierten Arbeitsgruppe bestand in Anlehnung an den RFC 95 (1971) von Steve Crocker, dem damaligen Leiter der NWG, aus 27 beteiligten Entwickler:innen in der Mailing-Liste.

Weiterführend zeigte sich in den Analysen deutlich, dass die Phase der Entstehung des Internets durch männliche Entwickler geprägt war, die durch gemeinsame Visionen oder Nutzungsmöglichkeiten der Vernetzung oder durch Nutzungseinschränkungen bestehender Technologien motiviert waren. Innerhalb der vorliegenden Forschung tauchten erstmalig im Kontext der *Weiterentwicklung des FTP-Protokolls* weibliche Entwickler:innen im Entwicklungsprozess auf.

Innerhalb des Analysekapitels wurde herausgearbeitet, dass die Entwickler:innen des ARPANETs zeitgleich die Nutzer:innen der Technologie waren, indem diese die Mitarbeitenden der am Netzwerk beteiligten Organisationen abbildeten und an Entwicklungen des ARPANETs beteiligt waren.

Insofern gibt es keinen zentralen System Builder, wie im Ansatz grosstechnischer Systeme (5.1.4.3) vorgesehen. Vielmehr agierten die Entwickler:innen in kleinen Gemeinschaften.

Es lässt sich daher eine überwiegend männlich geprägte Entwickler:innengemeinschaft für die Phase der Entstehung des Internets identifizieren. Diese setzte sich 1971 aus 27 Entwicklern in (RFC 95 und Crocker 1971) zusammen, die zugleich die Technologien nutzten.

9.2.3.2 Merkmale zur Gestaltung von Entwicklungsprozessen des ARPANETs

Weiter zeigten sich essenzielle Merkmale der Gestaltung von Entwicklungsprozessen innerhalb der Phase der Entstehung des Internets als ARPANET. Im Analysekapitel konnten drei Merkmale identifiziert werden: Die Entwicklung ist offen gestaltet, erfolgt innerhalb von Entwickler:innen-Gemeinschaften und ist durch einen iterativen innovationsgenerierenden Prozess geprägt.

9.2.3.2.1 Offene Gestaltung und Partizipation

Der Entwicklungsprozess in der Phase des Internets folgt einer offenen Entwicklungslogik. Dies zeigte sich in den Analysen u. a. in der Untersuchung der RJE Meetings und der Mailing-Liste der RFCs.

Darin liess sich erkennen, dass die Entwicklungsprozesse der Phase der Entstehung des Internets offen gestaltet sind. Alle interessierten Entwickler:innen wurden zur Partizipation an Arbeitsmeetings eingeladen oder alle beteiligten Entwickler:innen konnten Zugriff auf die RFCs (zunächst digital, später postalisch) erhalten und diese als Austauschforum nutzen.

9.2.3.2.2 Entwickler:innen-Gemeinschaften statt System Builder

Zudem erfolgte die Entwicklungsarbeit innerhalb kleinen Arbeitsgruppen, denen sich die 27 beteiligten Entwickler:innen seit 1971 zuordneten. Demnach fand die Entwicklung primär in Entwicklungsgemeinschaften statt, die stark durch gemeinsame Visionen motiviert waren.

Somit gab es keinen zentralen System Builder, der wie im Ansatz grosstechnischer Systeme das soziotechnische Netzwerk etabliert oder stabilisiert hätte (Kapitel 5.1.4.3).

Iterativer innovationsgenerierender Gestaltungsprozess

In den Entwickler:innengemeinschaften der Arbeitsgruppen entwickelte oftmals zunächst eine einzelne Entwickler:in oder eine kleine Gruppe eine Technologie, spezifizierte diese mittels eines RFCs und übergab diese dadurch zur Diskussion und Modifikation. Dieser iterative und innovationsgenerierende Gestaltungsprozess ist bezeichnend für die untersuchte Phase.

Es sei an dieser Stelle jedoch angemerkt, dass alle technologischen Entwicklungen zur Zeit des ARPANETs eine Innovation darstellten, da die Computertechnik insgesamt ein neues Forschungsfeld darstellte und innerhalb dieser die Vernetzungstechnik eine neuartige Nutzungsform der Geräte erlaubte. Insofern war sowohl die Computertechnik als auch die Nutzungsform zu dieser Zeit neu.

Innerhalb des Analysekapitels zeigte sich der iterative Entwicklungs- und Gestaltungsprozess von Technik u. a. an der Entwicklung des FTPs. Innovationen zeigten sich in Form der physischen Kabelverbindungen mittels Telefonleitungen, der IMPs, der unterschiedlichen Protokolle etc.

Demnach lässt sich insgesamt für die Phase der Entstehung des Internets (Kapitel 9.2.3) eine männlich geprägte Entwickler:innen-Gemeinschaft mit offen gestalteten Entwicklungsprozessen identifizieren, die zugleich die Nutzer:innengemeinschaft des ARPANETs darstellte und die technologische Entwicklung in einem iterativen innovationsgenerierenden Prozess stattfand.

9.2.4 Strategien zum Umbau des ARPANETs

Bei der Analyse der Phase der Entstehung des Internets zeigte sich eine zentrale Umbaustrategie, die Ausgestaltung des Umbaus durch Nichtnutzung sowie die Bedingung eines Commitments seitens der Entwickler:innen und Nutzer:innen innerhalb des Umbauprozesses.

So wurden Netzwerkbestandteile, für die ein Umbau durch Neueinführung einer Technologie relevant waren, zur Zeit des Umbaus seitens der Entwickler:innen und Nutzer:innen nicht genutzt.

Innerhalb des Analysekapitels wurde diese Umbaustrategie anhand der Problematik der Umstellung der IMPs auf TIPs identifiziert.

9.2.4.1 Umbau durch Nichtnutzung

Die Probleme mit den IMPs und bei der Umstellung auf TIPs waren so weitreichend, dass die ARPA beschloss, die betroffenen Bauteile des Netzwerks ungenutzt zu lassen, und dazu die beteiligten Organisationen und deren Entwickler:innen und Nutzer:innen um Nicht-Nutzung bat.

Demnach wurde der Umbau des ARPANETs nicht im laufenden Prozess vorgenommen, sondern betreffende Bauteile wurden ungenutzt gelassen, um die Modifikation der Infrastruktur vorzunehmen und bestehende Probleme durch Neuentwicklung zu lösen.

Diese Strategie der Nichtnutzung wurde seitens der Programmleitung von Robert Lawrence eingefordert, durch die Entwickler:innen innerhalb einer Netzwerk-Arbeitsgruppe der NWG ausgeführt und seitens der beteiligten Akteur:innen

der Netzwerkstruktur getragen. Ich führte dies innerhalb der Analysen anhand der dokumentierten Vorgehensweise des ARPA Completion Reports von Heart et al. (1981) aus.

Das Commitment seitens der Entwickler:innen war so gross, dass diese tatsächlich die betroffenen Netzwerkkomponenten bis zur Fertigstellung des Umbaus ungenutzt liessen. Ich führe dies im Folgenden aus.

9.2.4.2 Bedingung für Umbau im ARPANET

Die Analyse der Phase der Entstehung des Internets ergibt vier Bedingungen für den Umbau des ARPANETs:

Zum einen, dass Umbaumassnahmen durch Commitments der beteiligten Akteur:innen getragen wurden sowie zum anderen, dass Entwicklungen im ARPANET technisch machbar waren. Weiterführend zeigte sich, dass Quantifizierung und Messbarkeit eine Rolle innerhalb des Umbauprozesses der Infrastruktur des ARPANETs spielten und die Kosten eine untergeordnete Position einnahmen.

Ich führe die identifizierten Bedingungen für den Umbau im Folgenden näher aus.

9.2.4.2.1 Commitment

Commitment war in der Phase der Entstehung des Internets eine zentrale Bedingung für den Umbau der Infrastruktur des ARPANETs und die Umstellung der IMPs auf TIPs.

Dieses hohe Commitment lässt sich in der Phase der Entstehung des Internets insbesondere mit der Besonderheit der Nutzer:innenstruktur des ARPANETs in Verbindung bringen, da die Entwickler:innen zugleich die Nutzer:innen des Systems waren und eigene wissenschaftliche Arbeiten zu einem breiten Verständnis der Prozesse und verfolgten Umbaustrategien innerhalb des ARPANETs führten. Des Weiteren wurden Probleme mit bestehenden Technologien im Vorfeld der Entwickler:innen-Meetings vorgestellt und diskutiert, sodass ihnen eine hohe Relevanz zugesprochen werden konnte. Weiterführend wurde die Umbaustrategie von Robert Lawrence als Netzwerk-Gruppen Leiter eingefordert, sodass auch auf formaler Ebene eine Weisung stattfand und der Umbauprozess hierarchisch strukturiert eingefordert wurde.

9.2.4.2.2 Machbarkeit durch Technik

Die Machbarkeit der Weiter-/Entwicklung des Umbaus ist für das soziotechnische System in der Phase der Entstehung des Internets zentral.

Im Analysekapitel wurde dies an unterschiedlichen Stellen, unter anderem an der Entwicklung der IMPs, der TIPs sowie des Packet Switchings deutlich.

In diesem Rahmen zeigte sich weiterführend, dass es zu einer Verbindung von Zwecken (z.B. Nutzung zur Datenübertragung) und Mitteln (z.B. digitale Übertragungstechnik) kam und «Machbarkeit» durch Realisierbarkeit ausgedrückt wurde. Insofern ist Machbarkeit im Kontext der Entwicklung des ARPANETs an Technik gekoppelt.

Technik schafft demnach einen Raum zur «Realisierung» der daran gekoppelten Visionen, Ziele, Nutzungszwecke etc.

Die Machbarkeit durch Technik ist somit eine Bedingung für die Weiter-/Entwicklung und den Umbau der Infrastruktur des ARPANETs.

Zugleich weist diese Kategorie Verbindungen zu den in 9.2.1.6 geschilderten Motivationen auf. Während Letztere jedoch auf die Ebene der Entwickler:innen referieren, fokussiert die Machbarkeit durch Technik die Ebene der Umbaustrategien.

9.2.4.2.3 *Schliessungsprozesse durch Quantifizierung*

Quantifizierung durch Ausdruck von Performanzleistungen ist innerhalb der Phase der Entstehung des Internets eine Bedingung für den Umbau, in dessen Verlauf diese zur Schliessung von Abwägungsprozessen innerhalb der Entwickler:innen-Gruppen führen.

Es zeigt sich innerhalb der dargestellten Rekonstruktion der Anfänge des Internets, dass ein Abwägungsprozess von Vor- und Nachteilen seitens der Entwickler:innen in der beteiligten Organisation bei der Weiter-/Entwicklung und dem Umbau des ARPANETs stattgefunden hat und die Schliessung dieses Prozesses an unterschiedlichen Stellen durch Quantifizierung der Leistungsfähigkeit von Technologien erreicht wurde.

Innerhalb des Analysekapitels zeigte sich dies insbesondere am Beispiel des Ausdrucks von Zahlen der Messungen von Performance-Leistungen verschiedener Technologien im Computernetzwerk (u. a. IMPs, TIPs, NLS Journal).

Somit scheint die Messbarkeit von Vorteilen zu dieser Phase der Entwicklung des Internets ein entscheidendes Moment für die Schliessung von Entscheidungsprozessen zu sein.

9.2.4.2.4 *Kosten*

Mit den Analysen zeigte sich, dass die Kosten und Kosteneffizienz neben der technologischen Machbarkeit genannt werden und als eine Bedingung für Aus- und Umbau eingeordnet werden können. Im Fall des ARPANETs äussert sich das darin, dass die Kosten keine Hinderungsgründe für die Entwicklung und den Umbau darstellen.

Das zeigte sich im Kontext der technologischen Entwicklung des ARPANETS anhand von Paul Barans und Donald Davies' Reflexion zu «Resource Sharing Networks» sowie seitens der Einordnung der ARPA innerhalb des «Completion Reports» (vgl. Heart u. a. 1981).

Der Mehrwert der Technologie und deren Machbarkeit wiegen insofern für die Phase der Entstehung des Internets höher als der Kostenaufwand und deren Effizienz. Somit sind Kosten in dieser Phase bei der Entwicklung und dem Umbau des ARPANETs zwar zu berücksichtigen, sind aber kein Hinderungsgrund für die Weiterentwicklung und Einführung von Technologien.

Insbesondere dem Aspekt Kosten und Kosteneffizienz kommt im weiteren Verlauf der Entwicklung des Internets am Beispiel des Internetprotokolls zentrale Bedeutung zu.

9.3 Zur Rekonstruktion der Entwicklung und Einführung des Internetprotokolls

Im Folgenden werden die Weiterentwicklung der Vernetzungstechnik des ARPANETs und die Ausweitung des soziotechnischen Netzwerks zum Internet sowie dessen Umbau exemplarisch anhand der Analyse und Auswertungen des Internetprotokolls (TCP – IPv6) dargestellt.

Auch dieses Kapitel folgt der zu Beginn von Kapitel 9 dargestellten Logik:

Zuerst die deskriptive Rekonstruktion der Technologien und Weiterentwicklungen mit Interpretation und Abstraktion von Charakteristika soziotechnischer Netzwerke im Kontext des Ansatzes der GTS, dann Akteur:innenkonstellationen und verfolgte Strategien in Anlehnung an die ANT für die Theoriebildung mittels der GTM.

Zunächst wird das Internetprotokoll in seiner grundlegenden Funktion für das Internet dargestellt, um einen Eindruck von dessen Funktion innerhalb dieser Infrastruktur zu erhalten.

Anschliessend wird das Transmission Control Protocol (TCP) als Vorläufertechnologie des Transmission Control Protocols/Internet Protocols (TCP/IP) untersucht sowie die Entwicklung des soziotechnischen Netzwerks zur Zeit dieser technologischen Entwicklungsphase in einem Zwischenfazit dargestellt. Danach werden das TCP/IP inklusive Zwischenentwicklungen und das Internet Protocol Version 4 (IPv4) rekonstruiert und ein Zwischenfazit zu dieser technologischen Phase des soziotechnischen Netzwerks gegeben. Abschliessend werden neuere Entwicklungen des Internetprotokolls anhand der Version 6 (IPv6) seitens verfolgter Umbaustrategien und der Entwicklung des soziotechnischen Netzwerks beleuchtet und auch dieses in einem Zwischenfazit zusammengefasst.

Die Darstellung innerhalb des jeweiligen Zwischenfazits erfolgt in Anlehnung, Ergänzung und Modifikation der im Analyseprozess identifizierten Kategorien aus Kapitel 9.2. Weiterführend enthalten diese die Bezeichnung *technologische Phase*. Diese dient lediglich der Differenzierung für die spätere Kontrastierung innerhalb der entwickelten Grounded Theory.

Die zitierten Datenquellen zum TCP setzen sich aus den Requests for Comments (RFCs), Arbeitspapieren und Berichten beteiligter Entwickler:innengemeinschaften und Organisationen zusammen. Zu diesen gehören:

Heart et al. (1981), ICCS (1972), ICCS (1972), Kahn et al. (1971), RFC 675 (1974), RFC 793 (1981).

Für Zwischenentwicklungen bis zum IPv5 (TCP/IX) werden insbesondere folgende Datenquellen des Gesamtsamplings zitiert:

Cerf (1978), Cerf (1980), Heart et al. (1981), RFC 761 (1980), RFC 791 (1981), RFC 793 (1981), RFC 796 (1981), RFC 1475 (1993), RFC 1883 (1995), TCP/IP Digest (1981), TCP/IP Digest (1982).⁹⁵

Weiterführend erfolgt die Analyse zur Rekonstruktion der Entwicklungen und Strategien des Umbaus anhand des IPv6 mittels Dokumentenanalyse und der Auswertung von neun Interviews:

Interview 1 bis Interview 9. Diese werden im Ergebnisteil jeweils unter der Angabe der Interviewnummer und Zeilennummer(n) zitiert (z. B. Interview 1: 233–244).

Des Weiteren wurden die folgenden Datenquellen im Kontext des Ergebniskapitels zitiert:

BMWi (2012b), BSI (2013a), Bundesverwaltungsamt (2013), FAZ (2011), Google Statistik (2023), Hasso-Plattner Institut (2011), Heise (2011), PC Magazin (2011), RFC 1883 (1995), RFC 1886 (1995), RFC 2460 (1998), RFC 2893 (2000), RFC 3449 (2002), RFC 4241 (2005), RFC 5095 (2007), RFC 5211 (2008), RFC 5722 (2009), RFC 5871 (2010), RFC 6180 (2011), RFC 6437 (2011), RFC 6564 (2012), RFC 6935 (2013), RFC 6946 (2013), RFC 7045 (2013), RFC 7112 (2014), RFC 7381 (2014), RFC-Editor (2023), RIPE 63 (2011), RIPE (2019a), RIPE (2019c), RIPE (2019b), RIPE Labs (2011), taz (2011), Welt (2011), WorldIPv6-Day (2011), WorldIPv6Launch (2011).

Funktion des Internetprotokolls

Bevor ich die Analyseergebnisse zum Internetprotokoll darstelle, möchte ich zunächst eine Einordnung des Internetprotokolls in seiner Funktion für das Internet vornehmen.

Zur Verbindung einzelner Rechner zu einem *Interconnected Network* (kurz: Internet) werden verschiedene grundlegende Infrastrukturtechnologien benötigt. Ich stellte einige dieser bereits in Kapitel 9.1 anhand des ARPANETs und anhand ihrer Funktion für das Internet im Kontext des Layering-Modells dar (vgl. Abbildung 23).

95 Die Mailinglist TCP/IP Digest (1981b) umfasst 236 Mailings und ist vollständig digital archiviert. Innerhalb des Textes wird das Digest unter Angabe der jeweiligen Nummer (Vol.) der jeweiligen Quelle zitiert.

Eine der wichtigsten Infrastrukturtechnologien des Internets, welche die Verbindung, Kommunikation und Datenübertragung der einzelnen Rechner vereinbart, war in den Anfängen des ARPANETs das host-to-host Protokoll, welches auf der zweiten Layer-Ebene im Layering-Modell angesiedelt war und die Kommunikation von einem Host-Rechner zu einem anderen regelte.

Im Zuge der weiteren Ausbreitung des ARPANETs stellte sich dieses jedoch als unzureichend heraus, um die Stabilität und Funktionalität des wachsenden Computernetzwerks sicherzustellen (vgl. Heart u. a. 1981, III-72f.).

Infolgedessen wurde von der Entwickler:innengemeinschaft des ARPANETs zunächst das Transmission Control Protocol (TCP) und später das Transmission Control Protocol in Verbindung mit dem Internet Protocol (TCP/IP) erstellt (vgl. RFC 675 u. a. 1974; RFC 793 und Postel 1981) sowie zu Zwischenentwicklungen und Folgeversionen weiterentwickelt. Zu Letzteren gehören insbesondere das Internet Protocol Version 4 (IPv4) und das Internet Protocol Version 6 (IPv6).

Vereinfacht zusammengefasst haben diese Protokolle die Funktion, die Vernetzung der Rechner auf der Infrastrukturebene zu ermöglichen und die Kommunikation der Rechner untereinander zu regeln.

Das Internetprotokoll hat demnach sowohl die Funktion, die eigentlichen Daten von einem zu einem anderen im Internet (oder Computernetzwerk) angeschlossenen Gerät zu transportieren, als auch, dem technologischen Netzwerk verschiedene Metainformationen bereitzustellen. Besonders wichtig sind die Absender- und die Zieladresse (IP-Adresse) der am Internet angeschlossenen Geräte (oder Computernetzwerke), damit Datenpakete von einer Adressat:in bei einer Empfänger:in mittels technologischer Geräte ankommen und letztere Antwortpakete verschicken kann. Diese Adressierung wird vom Internet Protocol vorgenommen, welches im Folgenden in Anlehnung an die Zwischenentwicklungen von Vorläufertechnologien rekonstruiert wird.

9.4 Die Rekonstruktion des Internetprotokolls: Zwischenentwicklungen host-to-host Protocol bis Transmission Control Protocol (TCP)

Entwickelt wurde das Internetprotokoll zunächst in Anlehnung an die Entwicklungen des Transmission Control Protocols (TCP) Anfang der 1970er-Jahre von der Advanced Research Projects Agency (ARPA) des US-Verteidigungsministeriums (Department of Defense, DoD) mit Unterstützung des National Bureau of Standards (NBS) und einer kleinen Gruppe von Entwickler:innen der Network Working Group (NWG) (Heart u. a. 1981, III-97).

Das von der NWG initiierte Projekt zielte zunächst auf die Entwicklung eines Protokolls für die aufgrund der Nutzungsausweitung des Computernetzwerkes überlasteten Interface Message Processors (IMPs) des ARPANETs ab (Kapitel 9.2).

Weiterführend prognostizierte Lawrence Roberts, damaliger Leiter der NWG, anhand von «traffic growth»-Berechnungen für das ARPANET, dass «the hosts ran out of capacity while the network still has capacity left» (Heart u. a. 1981, III-75) sowie, dass «based on this rapid rate of growth [...] the network would run out of capacity in nine months» (Heart u. a. 1981, III-76).

Dies führte er auf die zunehmende und schnelle Nutzungsausweitung innerhalb der Netzwerkinfrastruktur (ausgedrückt in Traffic – dt. Datenverkehr des ARPANETs) zurück, wodurch die IMPs und Terminal IMPs (TIPs) zunehmend überlastet würden mit der Folge wiederkehrender Verbindungsabbrüche sowie einer Verlangsamung bei der Datenübertragung (vgl. ebd.).

Es zeigt sich innerhalb der o. g. Datensequenzen weiter, dass das Nutzungsverhalten des ARPANETs im Sinne der Akteur:innen-Netzwerk-Theory in Zahlen übersetzt wird. Diese Quantifizierung stellt einen Übersetzungsprozess dar, der zur Schliessung im Entwicklungsprozess führt. Durch die zeitlich ausgedrückte Prognose von Roberts, dass das ARPANET *in neun Monaten* nicht mehr nutzbar sein werde, wird implizit der Druck auf die Entwickler:innen zur technologischen Weiterentwicklung der Protokolle erhöht. Durch Quantifizierung wird die Dringlichkeit erfahrbar und vorstellbar.

Datenanalysen zeigten, dass «a number of alternative protocols were suggested by various members of the NWG», bspw. das MSG, welches «as part of the ARPA-sponsored National Software works project, [from] Robert Thomas, Stuart Schaffner, and their colleagues» entwickelt wurde (Heart u. a. 1981, III-71)

9.4.1 Die Entwicklung des TCPs

Erst das von Robert Kahn, Vinton Cerf und Lawrence Roberts entwickelte TCP löste das bis Anfang der 1970er-Jahre verwendete host-to-host Protocol im ARPANET ab: «TCP quickly became ARPA's choice of the host-to-host protocol to be used in situations where the ARPANET host-to-host protocol was insufficient or where internet-working was required» (Heart u. a. 1981, III-72).

Die technischen Neuerungen sollten die bestehenden Probleme lösen, zugleich das ARPANET bekannter machen und zur internationalen Ausweitung der Vernetzung im Sinne einer «network interconnection» beitragen (Heart u. a. 1981, III-72).

Weiterführend wurde erstmalig die Idee der «network interconnection» adressiert. Insofern stellte dies die Nutzungsvision des ARPANETs als interconnected network (Kurzform: Internet) dar, welches technologisch mittels eines «standard inter-network protocol[s]» realisiert werden sollte (ebd.).

Diese benannte Nutzungsvision der Entwickler:innen forcierte erstmals die Idee einer internationalen Ausweitung durch ein standardisiertes Netzwerkprotokoll, welches die Kommunikation zwischen (inter) Computern ermöglichen sollte. Diese Idee war eine neuartige Nutzungsvision, die über eine technologische Innovation umgesetzt werden sollte.

Parallel zu den Entwicklungsarbeiten arbeiteten Robert Kahn und Lawrence Roberts an der Verbreitung und Bekanntmachung ihrer Forschungsergebnisse, indem sie die Demonstration ihres Netzwerks auf Konferenzen planten.

9.4.2 Die Demonstration und Verbreitung des TCPs

Die ersten Demonstrationen des TCPs erfolgten auf zwei Fachkonferenzen der Computertechnik im Jahr 1972.

Robert Kahn demonstrierte dazu im Mai 1972 gemeinsam mit Howard Frank und Leonard Kleinrock gemeinsame Forschungsergebnisse auf der «Spring Joint Computer Conference» unter dem Titel «Computer communication network design: experience with theory and practice» (Kahn, Frank, und Kleinrock 1971) sowie Lawrence Roberts im Oktober 1972 auf der ersten «International Conference on Computer Communication (ICCC72)» (vgl. ICC 1972).

Zeitlich kam die Präsentation der Forschungsergebnisse des TCPs zu einer Zeit «when the TIP had not been available for a very long time, when only a limited number of terminals had been tried with the ARPANET, and when many hosts had completed the initial implementation of the necessary host software but few had had it running for very long» (Heart u. a. 1981, III-100).

Innerhalb dieser Datensequenz werden verschiedene Beharrungstendenzen innerhalb des ARPANETs und beteiligter Organisationen sowie deren implizite Unzufriedenheit deutlich. Zum einen wird auf die Folge der Umbaustrategie referiert, welche, wie ich im vorigen Kapitel bereits darstellte, zur Nichtnutzung betreffender Netzwerkbestandteile führte. Zum anderen wird darin aber auch auf die lange Dauer der Nichtnutzung sowie auf die Limitation des bis dahin durchgeführten Transfers auf andere Host-Rechner und die technologische Notwendigkeit der Implementierung neuer Host-Software verwiesen. Die Host-Software konnte erst von wenigen Hosts zur Funktionalität gebracht werden.

Der Zeitpunkt der Demonstrationen der technologischen Neuerungen durch das TCP von Kahn und Roberts markiert einen Moment im Netzwerk der Entwickler:innen, in dem ein technologischer Durchbruch zur Weiterentwicklung des soziotechnischen Netzwerks essenziell zu sein scheint.

Zur Demonstration am Konferenzort fertigten die Entwickler:innen ein «relatively thick booklet [...] and many copies» an, durch welches «visitors to the demonstration area could follow ›do-it-yourself‹ directions to use programs on many network hosts» (Heart u. a. 1981, III-100).

Darüber hinaus wurde ein «twenty or thirty minute motion picture about the ARPANET and the promise of computer communications [...] produced and shown at the conference» (Heart u. a. 1981, III-100).

An diesen Datensequenzen werden einige bezeichnende Charakteristika des soziotechnischen Netzwerkes sowie verfolgte Strategien des ARPANETs deutlich, zum einen dass die Entwickler:innen durch die Demonstration die Sichtbarkeit des ARPANETs und seiner Vernetzungstechnik erhöhen und diese dadurch das Commitment der «communication community» ausbauen wollten. Zum anderen stellt diese Demonstration einen strategischen Prozess dar, der explizit im Vorfeld der Konferenz geplant wurde. Das beinhaltete Material in Gestalt eines Booklets, welches zur «do-it-yourself» Anwendung befähigte, und einen Imagefilm.

Der Imagefilm gab Auskunft über das ARPANET sowie «the promise of computer communication» (ebd.). Dieses impliziert die Vision des ARPANETs der «network interconnection» und überführt es durch die Abgabe eines Versprechens von der Vision in den Zustand technologischer Machbarkeit und Umsetzbarkeit.

Die technologische Machbarkeit und Umsetzbarkeit der Vision der Entwickler:innen des ARPANETs wird auch in den folgenden Datensequenzen deutlich, wo auf den erstaunlichen Erfolg der Demonstration sowie einer «wahren» Operationalisierbarkeit verwiesen wird:

«The demonstration itself was a spectacular success; with everything working amazingly well, many visitors remarked that the ARPANET technology ›really is real‹ and carried this impression back home with them» (Heart u. a. 1981, III-100).

Zugleich beinhaltet die Demonstration auch soziale und technologische Momente der Anschlussfähigkeit. So gab die «demonstration [...] an important stimulus for the ARPANET community to pull together and get the network in true operational shape» (ebd.).

Für die technologische Demonstration der Machbarkeit planten und installierten die Entwickler:innen auf der Konferenz in einjähriger Vorbereitungszeit eine Netzwerkstruktur:

«Robert Kahn undertook the task of marshalling resources and personnel and with several key members of the ARPANET community planned and managed the full-year effort which culminated in a successful demonstration. Fifty kilobit phone lines were leased from existing network sites to the conference site at the Washington Hilton Hotel, and an ARPANET TIP was set up in a demonstration room in the hotel for the duration of the conference. Dozens of members of the ARPANET community were involved. Manufacturers of all manner of computer terminals were invited to connect their terminals to the demonstration TIP» (ebd.).

Zusammenfassend zeigt sich innerhalb der letzten beiden Datensequenzen eine Repräsentation der technologischen Anschlussfähigkeit sowie die Schaffung einer Grundlage für soziale Anschlussfähigkeit des ARPANETs und seiner technologischen Entwicklungen.

Die *soziale Anschlussfähigkeit* zeigt sich, indem innerhalb der ersten Daten-sequenz auf den wichtigen Impuls für die Communitybildung bzw. Vertiefung der Beziehungen verwiesen wird und berichtet wird, dass die Teilnehmer:innen der Konferenz die Eindrücke mit nach Hause in ihre Einrichtungen genommen haben. Ausserdem zeigt sich diese in der zweiten Datensequenz durch die Involvierung dutzender Entwickler:innen des ARPANETs sowie in der Ausweitung der beteiligten Akteur:innen durch die Einladung und Öffnung für Hersteller von Computer Terminals.

Die *technologische Anschlussfähigkeit* zeigt sich, indem die eigenen Technologien der Entwickler:innen am dafür eingerichteten Netzwerk anschliessen können, um dessen Interoperabilität und Funktionalität mit dem TCP zu testen.

Demnach stellte die Demonstration des TCPs auf der Konferenz die technologische Neuerung einem internationalen Fachpublikum vor. Dieses konnte sich von der technologischen Anschlussfähigkeit durch Nutzung des Testnetzwerks überzeugen und es in die eigenen Einrichtungen sowie die eigene Hardware einfügen.

Somit stellte nicht nur die technologische Innovation des TCPs einen Wendepunkt in der Entwicklung des ARPANETs dar, sondern auch die strategische Ausgestaltung der Demonstration als «Testumgebung» markierte einen entscheidenden Moment für die weitere Verbreitung der Vernetzungstechnik.

Dem «ARPANET Completion Report» zufolge war die Demonstration von Kahn und Roberts ein «key turning point in ARPANET development», der zu einer internationalen Sichtbarkeit führte und den bisherigen Skeptizismus innerhalb der Community beseitigte: «It gave international visibility until then, had been viewed largely with scepticism by the communications community» (Heart u. a. 1981, III–99).

9.4.3 Ausbreitung und kommerzielle Nutzung des TCPs

Es folgten weitere internationale Demonstrationen des TCPs auf formeller und informeller Ebene, die dazu führten, dass es zu weitreichenden Übertragungen der Netzwerktechnik des ARPANETs auf andere Computernetzwerke kam und die Technologie auch auf andere Computernetzwerke des DoD ausgeweitet wurde (Heart u. a. 1981, III–101).

Zudem kam es zu einer kommerziellen Nutzung der Netzwerktechnik des ARPANETs: «[S]mall experimental networks are being built, and a few examples of other government and commercial networks are already apparent» (Kahn, Frank, und Kleinrock 1971, 256).

Um das Jahr 1972 waren in den USA sechs Netzwerke in Anlehnung an die Vernetzungstechnik des ARPANETS und insbesondere dessen paketvermittelte Kommunikation mittels TCP aufgebaut worden. «Telenet Communications Corporation (for which BBN arranged the financing and Lawrence Roberts was President and is now Chairman of the Board), Tymnet, Graphnet, IT&T, and AT&T» (Heart u. a. 1981, III-102) sowie «Citibank of New York City has constructed (by contract to BBN) a private network very similar to the ARPANET» (ebd., III-103).

Die kommerzielle Nutzung zeigt sich innerhalb der Datensequenz als Verweis auf BBN als IT-Dienstleister. BBN baute für die Citibank New York ein Computernetzwerk auf (vgl. ebd.). Dies ist nicht nur ein Beispiel für eine kommerzielle Nutzung des Netzes, sondern darin lässt sich auch eine Auftragsarbeit durch das Soft- und Hardwareunternehmen BBN erkennen.

Die kommerzielle Nutzung stellt insofern einen Weg der Technikdiffusion in den Bereich des Finanzwesens und zugleich eine Vermarktung der Technologie dar.

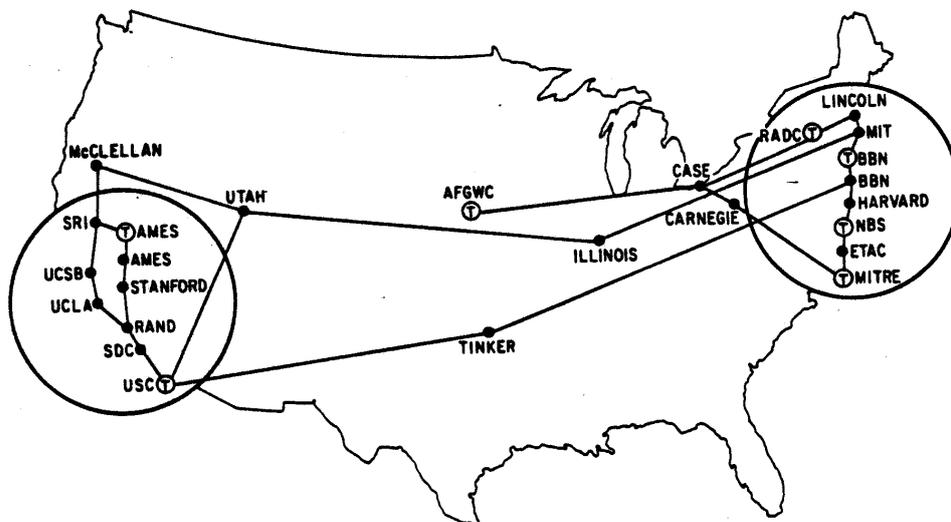


Abb. 24: Vernetzung des ARPANETS in den USA, März 1972 (Heart et al.: 1981: III-83).

Von der Demonstration des TCPs 1972 auf der ICCC bis zur Spezifikation im Dezember 1974 von Vinton Cerf, Yogen Dalal und Carl Sunshine – der NWG mit dem RFC 675 (vgl. RFC 675 u. a. 1974) – erfolgte der Aufbau weiterer Netzwerkknoten und physischer Kabelverbindungen in den USA und deren Anschluss an erste internationale Knotenpunkte (vgl. Heart u. a. 1981, III-85)

Abbildung 24 zeigt die Vernetzung im März 1972 in den USA. Darauf zu sehen sind die Netzwerkknoten der Hosts sowie die physischen Kabelverbindungen zwischen diesen und sechs TIPs, gekennzeichnet mit «T».

Vergleichen wir Abbildung 24 mit Abbildung 25, fallen die Neueinrichtung einer physischen Kabelverbindung, der «third cross-country line», und die Erweiterung auf neun TIPs auf (vgl. Heart u. a. 1981, III-84). Weiterhin ist ersichtlich, dass die TIPs in «four geographic areas, Boston, Washington, D.C., San Francisco, and Los Angeles» angesiedelt sind (vgl. ebd.).

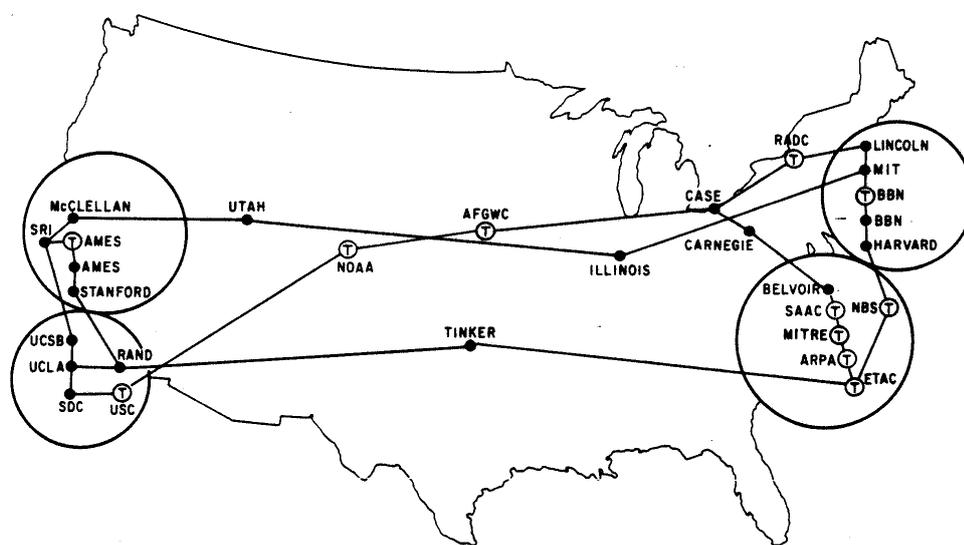


Abb. 25: Vernetzung des ARPANETs in den USA, August 1972 (Heart et al. 1981: III-84).

Knapp ein Jahr später, im September 1973, ist ein weiterer deutlicher Ausbau der Vernetzung innerhalb des ARPANETs zu sehen, ebenso wie Verbindungen nach Hawaii und internationale Verbindungen Richtung London.

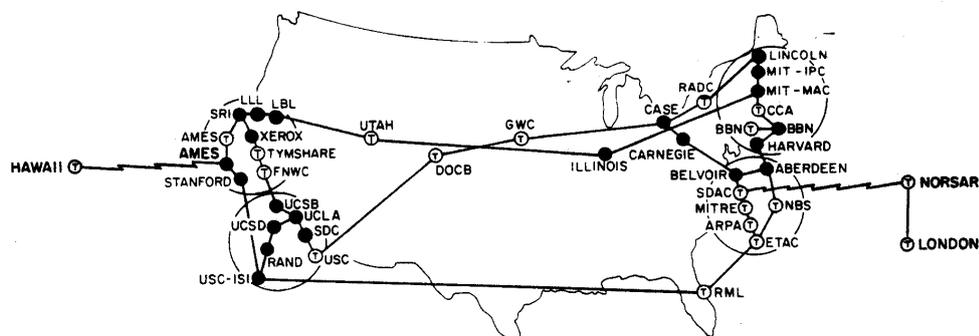


Abb. 26: Vernetzung des ARPANETs in den USA & internationale Ausweitung, September 1973 (Heart et al. 1981: III-85),

Im internationalen Kontext wurde die ARPANET-Technologie innerhalb unterschiedlicher Länder aufgegriffen.

Dazu gehören die Netzwerke CIGALE und RCP der französischen Regierung, EPSS des United Kingdom of England, CTNE der Post- und Telegraphenbehörde Spaniens, Datapac der Trans-Canada Telephone Systems, JIPNET in Japan, EIN als europäisches Netzwerk der Schweiz, England und Frankreich und dessen Post- und Telegraphenbehörden (vgl. Heart u. a. 1981, 104).

Zusammenfassend zeigt sich, dass die Ausweitung des ARPANETs innerhalb der USA sowie dessen kommerzielle Nutzung nach der Entwicklung des TCPs und dessen Demonstration(en) deutlich zugenommen haben.

Weiterhin wird deutlich, dass die internationalen Adaptionen des ARPANETs vornehmlich im europäischen Raum erfolgten und insbesondere bei den staatlichen Post- und Telegraphenbehörden angesiedelt waren.

Insofern zeigt sich im Kontext der Entwicklung des TCPs, dass die Zahl der beteiligten Akteur:innen im Bereich der Vernetzungstechnik deutlich zugenommen hat. Ausserdem wird deutlich, dass mit der Ausweitung in den internationalen Kontext eine Verschiebung von militärischen und wissenschaftlichen Einrichtungen des ARPANETs zu staatlich organisierten Post- und Telegraphen Anbietern stattgefunden hat.

Zudem zeigt sich, dass die Vision eines «interconnected networks» innerhalb kürzester Zeit – insbesondere von 1972 bis zur Spezifikation des TCPs im Jahr 1974 – realisiert werden konnte.

Schliesslich erfolgte auch eine Erweiterung seitens der Arbeitsgruppen des NWG, indem diese zu einer internationalen Network Working Group (INWG) ausgeweitet wurde, in der sich «representatives of various countries and institutions interested in computer networks met informally to discuss their experience and to consider possible standards» (vgl. Heart u. a. 1981, III–105).

9.5 Zwischenfazit: Das soziotechnische Netzwerk in der Phase der Entstehung und Frühgenese des Transmission Control Protocol (TCP)

Die «Rekonstruktion des Internetprotokolls: Zwischenentwicklungen host-to-host Protocol bis Transmission Control Protocol (TCP)» bezeichne ich im Folgenden als «Phase der Entstehung und Frühgenese des Transmission Control Protocols (TCP)». Die Bezeichnung stellt die technologische Entwicklung und Frühgeschichte des TCPs dar und dient als Differenzierung für die spätere Kontrastierung der einzelnen technologischen Entwicklungsphasen innerhalb der Grounded Theory zum Umbau der Internetinfrastruktur am Beispiel des Internetprotokolls.

Innerhalb der «Phase der Entstehung und Frühgenese des Transmission Control Protocols (TCP)» greife ich auf die in Anlehnung an die im Zwischenfazit zur «Phase der Entstehung des Internets – ARPANET» (Kapitel 9.2) generierten Kategorien zur Beschreibung und Erklärung der Veränderung im soziotechnischen Netzwerk zurück und modifiziere diese in Anlehnung an die Analyseergebnisse des Kapitels 9.4.

Im Folgenden stelle ich entscheidende Charakteristika der Entwicklung und Weiterentwicklung des soziotechnischen Netzwerks sowie verfolgte Strategien und soziotechnische Verflechtungen der Akteur:innenkonstellationen dar.

9.5.1 Rahmenbedingung TCP

Zur Entwicklung des soziotechnischen Netzwerks in der Phase der Entwicklung der Frühgenese des TCPs hatte eine Rahmenbedingung für die Entwicklung des ARPANETs eine wesentliche Bedeutung.

Folgen wir den dargelegten Erkenntnissen des Ergebniskapitels zur Rekonstruktion der Zwischenentwicklungen des host-to-host Protocols bis zur Entwicklung des TCPs, war insbesondere die überwiegende Unzufriedenheit der Entwickler:innen mit der zu dieser Zeit vorherrschenden technologischen Struktur des ARPANETs und den damit erlebten Einschränkungen bezeichnend.

9.5.2 Soziotechnische Verflechtungen TCP

In der technologischen Phase der Entwicklung der Frühgenese des TCPs erfolgte die Ausgestaltung und Weiterentwicklung des soziotechnischen Netzwerks auf zwei unterschiedlichen Ebenen, die eng ineinander verwoben waren und wechselseitig aufeinander Einfluss nahmen.

Dieser Einfluss zeigte sich zum einen auf der Ebene der technologischen Infrastruktur, in der das TCP entwickelt wurde, zum anderen auf der Ebene sozialer und organisationaler Momente im Einführungs- und Entwicklungsprozess, die seitens der Nutzung und Organisation Neuerungen und Veränderungen hervorbrachten.

9.5.2.1 Technologische Neuerungen

Richten wir unseren Blick zunächst auf die technologische Ebene der Entwicklung des TCPs und dessen Verflechtung und Wirkung im ARPANET.

In dem Ergebniskapitel rekonstruierte ich die Weiterentwicklung des host-to-host Protocol zum TCP. Ich zeigte dabei auf, dass das TCP eine Innovation war, weil es eine neuartige Vernetzung der TIPs im Computernetzwerk erlaubte, somit bestehende Probleme mit dem host-to-host Protocol löste und die Nutzungsvision eines «interconnected network» ermöglichte.

9.5.2.1.1 *Räumliche Ausbreitung und technische Ausweitung*

Die Entwicklung des TCPs als ein sachliches Element der Infrastruktur des ARPANETs war eng mit der räumlichen und technischen Ausweitung innerhalb des Computernetzwerks des ARPANETs und dessen Subnetzen anderer Organisationen verwoben. Damit führte die Entwicklung zu einer nationalen und globalen Ausweitung.

9.5.2.1.1.1 *Nationale technische Ausweitung*

Seitens der nationalen technischen Ausweitung zeigte sich, dass die technologische Entwicklung des TCPs zu einer nationalen Ausweitung der Infrastruktur der am ARPANET beteiligten Computernetzwerke innerhalb der USA auf der Ebene von vier Bundesstaaten führte. Diese Ausweitung wird anhand der Abbildung 24 und 25 im Ergebniskapitel dargestellt.

Darin zeigt sich neben der Ausweitung der physischen Kabelverbindungen innerhalb der USA auch eine Zunahme der beteiligten Verteilerknoten (TIPs) und daran angeschlossener IMPs mit ihren Subnetzwerken beteiligter sozialer Akteur:innen.

Die technische Ausweitung auf nationaler Ebene erfolgte sehr schnell, innerhalb knapp eines Jahres (vgl. Abbildung 24 und Abbildung 25).

Folglich nahm die Komplexität der Infrastruktur innerhalb des ARPANETs durch das TCP weiterhin zu.

Diese räumlich-technische Komplexität des soziotechnischen Netzwerks führte wiederum zu weiteren sozialen und organisationalen Vernetzungen, welche sich auch auf die technologische Weiterentwicklung und globale Ausweitung des Computernetzwerks auswirkten.

9.5.2.1.1.2 *Globale technische Ausweitung*

Durch die Entwicklung des TCPs und dessen Lösung der Probleme seitens der TIPs kam es auch zu einer fortschreitenden globalen Ausweitung und Adaption der Technologien in Ländern ausserhalb der USA.

Ich zeigte dies exemplarisch im Ergebniskapitel zur Rekonstruktion des TCPs am Beispiel der überwiegend europäischen Entwicklungen der staatlichen Post- und Telegrafienbehörden, die diverse Computernetzwerke wie das CIGALE und RCP (Frankreich), EPSS (England), CTNE (Spanien) und weiterer Länder (9.4.1.1.2).

9.5.2.1.1.3 *Zwischenentwicklungen*

Die Analysen zeigten technologische Zwischenentwicklungen auf dem Weg zur Entwicklung des TCPs. Hier ist das MSG zu erwähnen, welches im Kontext des von der ARPA finanzierten Projektes «National Software works project» von Robert Thomas, Stuart Schaffner und anderen Entwickler:innen hervorgebracht wurde.

Hinter diesen Zwischenentwicklungen verbargen sich keine anderen Nutzungsvisionen wie bei den Parallelentwicklungen in der Phase der Entstehung des Internets-ARPANETS, sondern lediglich technologische Entwicklungen, die zur Lösung der Probleme mit den TIPs beitragen sollten. Diese erwiesen sich jedoch nicht als zielführend.

9.5.2.1.2 Technikdiffusion und technologische Vermarktung

Innerhalb der Analysen zeigten sich Momente der Technikdiffusion in kommerzielle Bereiche nach der Entwicklung des TCPs, die zur Einrichtung eines Computernetzwerks führten.

So konnte durch die technische Problemlösung mit den TIPs des ARPANETS, durch die Entwicklung des TCPs, ein Netzwerk für den Bereich des Finanzwesens seitens der IT-Dienstleister:innen entwickelt werden.

Ich beschrieb diese Technikdiffusion bereits innerhalb der Analysen am Beispiel des für die Citibank New York entwickelten Computernetzwerks der BBN.

Technikdiffusion stellt somit ein Merkmal für die Ausbreitung des soziotechnischen Netzwerks dar und wird im Kontext der Ausführungen sozialer und organisationaler Veränderungen aufgegriffen. Darüber hinaus zeigt sich darin auch die Vermarktung der Technologie als Dienstleistung der Einrichtung eines Computernetzwerks. An der Vermarktung zeigt sich wiederum sehr deutlich die soziotechnische Verflechtung.

9.5.2.1.3 Interoperabilität von Infrastrukturtechnologien

In der Phase der Entwicklung und Frühgenese des TCPs kam wiederkehrend die Notwendigkeit der Interoperabilität von Technologien innerhalb der Infrastruktur des ARPANETS auf.

Ich legte dies u. a. anhand von Beharrungstendenzen dar, die aufgrund nicht vorhandener Interoperabilität von Technologien entstanden, sowie anhand der Übertragung der Netzwerktechnik auf andere Computernetzwerke in Europa. Ausserdem zeigte ich dies anhand der verfolgten Strategie, das TCP auf anderen Computern zu testen. Dies führte ich anhand der Demonstrationen am Beispiel der Einladung von Computerherstellern zur Partizipation aus.

Insbesondere die Idee eines «standard inter-network protocol» war richtungsweisend, da es dem Anspruch eines standardisierten Protokolls als Netzwerkprotokoll genügte. Dies zeigt auch die Spezifizierung des TCPs auf, indem sie Schnittstellen zu anderen Layern definiert, welche an diesem anschliessen und die Interoperabilität zwischen Protokollen gewährleisten sollen.

9.5.2.2 Soziale und organisationale Veränderungen durch das TCP

Im Folgenden richte ich den Blick auf die Ebene sozialer Momente und organisationaler Veränderungen im Einführungs- und Entwicklungsprozess des TCPs innerhalb des soziotechnischen Netzwerks.

Auch innerhalb der Analysen des TCPs zeigten sich verschiedene Momente, die soziale Akteur:innen zu Entwicklungen und Weiterentwicklungen innerhalb des soziotechnischen Netzwerks motivierten sowie zu organisationalen Veränderungen führten.

9.5.2.2.1 Nutzungseinschränkungen, -visionen und -möglichkeiten

Nutzungseinschränkungen, -visionen und -möglichkeiten beziehen sich im Kontext des TCPs nicht mehr überwiegend auf die Motivation von Entwickler:innen für die Weiterentwicklung des Computernetzwerks, wie in der Phase der Entstehung des Internets-ARPANETs. Stattdessen sind sie auch in einer von Entwickler:innen losgelösten Form innerhalb der Analysen zur Phase der Entstehung und Frühgenese des TCPs identifiziert worden. Demnach sind neue Nutzungsmöglichkeiten auch für die Erschließung neuer Märkte durch Softwarehersteller und die kommerzielle Nutzung zentral.

9.5.2.2.1.1 Nutzungseinschränkungen und -visionen als Bedingung für Motivation

Zur Entwicklung des TCPs führte insbesondere die erlebte technologische Einschränkung der TIPs, welche die Nutzung weiter Teile der technologischen Infrastruktur des ARPANETs einschränkte.

Daran gekoppelt waren in der Phase der Entstehung der Frühgenese des TCPs insbesondere Nutzungsvisionen innerhalb der ARPA und der Entwickler:innengemeinschaft des ARPANETs. Diese waren zentral für die Entwicklungsarbeit und die weitere Ausgestaltung und Verbreitung des ARPANETs auf nationaler und globaler Ebene.

Nutzungseinschränkungen und -visionen referieren auf die Kategorie der Motivation als Bedingung für die Weiterentwicklung des Computernetzwerks, indem diese den Entwickler:innen Anreize für die Entwicklung von Technik geben sollten.

Innerhalb der Phase der Frühgenese des TCPs wurde erstmalig die Nutzungsvision der «Interconnection» zwischen den am ARPANET beteiligten Computern seitens der Entwickler:innen verwendet. Damit wurde die globale Ausweitung des Netzwerks verfolgt.

Die Bezeichnung des «interconnected networks» bezeichnet dabei eine umfänglichere Vernetzung und Nutzung als die der «cooperative networks» in der Phase der Entstehung des Internets im Kontext des ARPANETs. Demnach meint die *Interconnection* den Ausbau von Verbindungen zwischen Computern und die damit verbundene Ermöglichung der Nutzungsausweitung durch Verbindung einer Vielzahl von

Endgeräten mit dem Computernetzwerk. Die Idee kooperativer Netzwerke zielte hingegen auf das Teilen des Computers als Ressource für eine festgesetzte Zeit nach dem *Time-Sharing* Prinzip ab.

Im Ergebniskapitel zur Rekonstruktion der Entwicklung und Einführung des TCPs zeigte sich, dass Nutzungsvisionen der Entwickler:innen über die Technologie des TCPs realisiert werden konnten.

Innerhalb dieser Phase ist eine soziale Konstruktion von Technik ersichtlich. Die Vision wird demnach im Fortlauf der Entwicklung des TCPs in die Technik eingeschrieben, indem dieses die Vision der Interconnection erlaubt und zu einer globalen Ausweitung führt. Das TCP nimmt im Sinne der ANT demnach eine Vermittler:innenposition ein.

9.5.2.2.1.2 *Nutzungsmöglichkeiten: Vermarktung und kommerzielle Nutzung*

Neue Nutzungsmöglichkeiten konnten innerhalb der Analyse der Phase der Entstehung und Frühgenese des TCPs identifiziert werden. Durch die vereinfachte Möglichkeit der Vernetzung mittels des TCPs konnten erste kommerzielle Nutzungen erfolgen, in denen Softwarehersteller ein Netzwerk für das Finanzwesen entwickelten.

Ich lege dies am Beispiel des Unternehmens BBN dar, welches für die Citibank New York ein Computernetzwerk entwickelte. Erstmals kam damit innerhalb der Analysen die Idee der Vermarktung der Technologie auf. Dies wirkte wiederum auf die beteiligten sozialen Akteur:innen des soziotechnischen Netzwerks, wie ich im Folgenden schildern werde.

9.5.2.2.2 *Organisationale Veränderung – Einrichtung der INWG*

Durch die erfolgreichen Demonstrationen des TCPs in seiner technologischen Funktionalität und Interoperabilität mit anderen Technologien kam es zur weiteren technologischen Ausweitung und Beteiligung sozialer Akteur:innen aus anderen Ländern, die die Technologie des ARPANETs als Anwender:innen nutzten (9.5.3.2.1).

Infolgedessen kam es zu einer organisationalen Veränderung innerhalb des soziotechnischen Netzwerks. Diese zeigte sich innerhalb der Analysen der Phase der Entstehung und Frühgenese des TCPs durch die Neueinrichtung einer internationalen Arbeitsgruppe bei der Gründung der INWG. In dieser Arbeitsgruppe bekamen sowohl die Anwender:innen der Technologien des ARPANETs als auch die Entwickler:innen der ARPA die Möglichkeit zum Austausch und darüber hinaus die Option, globale Standards zu entwickeln (9.5.4.3.1).

9.5.3 Entwickler:innen und Nutzer:innen des TCPs

Anzahl und Art der am soziotechnischen System beteiligten sozialen Akteur:innen nehmen während der Phase der Entstehung der Frühgenese des TCPs zu. Neben am Entwicklungsprozess beteiligten Entwickler:innen gibt es auch Nutzer:innen mit fachlicher Expertise als Anwender:innen der ARPANET-Technologien sowie erstmalig auch eine dokumentierte kommerzielle Endnutzer:in.

9.5.3.1 *Entwickler:innen und Entwicklungsprozesse*

Weiter zeigte sich eine Ausweitung seitens der Entwickler:innen des TCPs. So wird in den Daten eine Zunahme der beteiligten Entwickler:innen ersichtlich, indem neue soziale Akteur:innen in den RFCs benannt werden, die an der Entwicklung des TCPs sowie dessen Verbreitung im Rahmen der Demonstrationen beteiligt sind. Darüber hinaus zeigte sich die Ausweitung auch innerhalb der Analysen durch beteiligte Organisationen und deren IMPs in Abbildung 23.

Die Entwicklungsprozesse des TCPs gestalten sich ähnlich wie diejenigen in der Phase der Entstehung des Internets-ARPANETs.

Die Entwicklung des TCPs erfolgte innerhalb einer Entwickler:innengemeinschaft und in einem iterativen Prozess mittels RFCs. Dies lässt sich an den Publikationen der RFCs erkennen, aber auch an den Konferenzbeiträgen der ICCC (ICCC 1972).

Einzelne Entwickler:innen, die eine Technologie zunächst alleine entwickelten, wie für die Phase der Entstehung des Internets-ARPANETs beschrieben, konnten hingegen nicht identifiziert werden.

9.5.3.2 *Nutzer:innen des TCPs*

Ergänzend zu den Entwickler:innen werden erstmalig auch Nutzer:innen bei der Anwendung des TCPs identifiziert. So werden einerseits Nutzer:innen mit fachlicher Expertise im Sinne von Anwender:innen innerhalb der Datenanalyse erkannt sowie kommerzielle Nutzer:innen im Sinne von Endnutzer:innen identifiziert.

9.5.3.2.1 *Nutzer:innen mit fachlicher Expertise als Anwender:innen*

Nutzer:innen mit fachlicher Expertise als Anwender:innen der ARPANET-Technologie tauchten erstmalig im Analyseprozess der Phase der Entstehung der Frühgenese des TCPs auf. Diese Anwender:innen adaptierten das ARPANET innerhalb ihrer technologischen Infrastruktur. Zu diesen zählen demnach insbesondere die Post- und Telegrafienbehörden der überwiegend europäischen Netzwerke, die nach dem Vorbild des ARPANETs ein Computernetzwerk ausserhalb der USA errichteten.

Anders als bspw. die BBN oder das SRI waren diese Anwender:innen bis zum untersuchten Zeitpunkt des TCPs nicht am Entwicklungs- und Weiterentwicklungsprozess beteiligt.

9.5.3.2.2 *Kommerzielle Nutzer:innen als Endnutzer:innen von Technik*

Erstmalig kamen durch die BBN und deren Entwicklung eines Computernetzwerks für das Finanzwesen kommerzielle Nutzer:innen im soziotechnischen Netzwerk auf.

Anders als Anwender:innen sind diese nicht am Entwicklungsprozess beteiligt, sondern nutzen die Technologien als Endnutzer:innen.

9.5.4 **Strategien und Charakteristika für dem Umbau beim TCP**

In der Analyse der Phase der Entstehung und Frühgenese des TCPs waren einige Entwicklungen innerhalb des soziotechnischen Netzwerks zentral für den Umbau der Netzwerkinfrastruktur. Grund dafür war, dass sie Strategien und Charakteristika zum Umbau darstellten, die u. a. zu einer technologischen Ausweitung, räumlichen Ausbreitung sowie einer Erweiterung der Nutzungsmöglichkeiten führten.

Diese drückten sich u. a. durch Bedingungen für den Umbau sowie durch charakterisierende Merkmale aus, die bezeichnend für die Phase der Entstehung und Frühgenese des TCPs sind.

9.5.4.1 *Bedingung für Umbau des TCPs*

Innerhalb der Phase der Entstehung und Frühgenese des TCPs konnten verschiedene Momente im Umbauprozess durch die Entwicklung neuer Technologien, Ausweitung des Netzwerks etc. identifiziert werden, die diesen erst ermöglichten.

Einige dieser sind vollständig neu wie die Strategie der Demonstration. Andere hingegen konnten bereits in ähnlicher Weise in der Phase der Entstehung des Internets-ARPANETs identifiziert werden wie Schliessungsprozesse durch Quantifizierung.

9.5.4.1.1 *Schliessungsprozesse durch Quantifizierung*

Es zeigt sich innerhalb der o. g. Datensequenzen, dass das Nutzungsverhalten im ARPANET im Sinne der Akteur:innen-Netzwerk-Theorie in Zahlen übersetzt wird. Diese Quantifizierung stellt einen Übersetzungsprozess dar, der im Entwicklungsprozess zur Schliessung führt. Ich legte dies anhand von Roberts' zeitlicher Prognose dar, wonach das Computernetzwerk in neun Monaten nicht mehr umfänglich nutzbar sei. Durch diese Äusserung wird implizit der Druck auf die Entwickler:innen der Protokolle erhöht, weil durch die Quantifizierung die Dringlichkeit erfahrbar und vorstellbar wird.

9.5.4.1.2 *Demonstration und praktische Erprobung*

Die Demonstration des TCPs auf zwei Fachkonferenzen für Computertechnik im Jahr 1972 stellte eine neuartige Strategie der Entwickler:innen und der Programleiter:in des ARPANETs dar, um die neue Technologie sowie deren Funktionalität sichtbar zu machen und die Ausbreitung durch Commitment von Konferenzteilnehmer:innen anzukurbeln.

In der Analyse der Phase der Entstehung und Frühgenese des TCPs zeigte sich dies anhand der Demonstrationen von Robert Kahn, Howard Frank und Leonard Kleinrock auf der «Spring Joint Computer Conference» im Mai 1972, der «International Conference on Computer Communication (ICCC72)» und der Präsentation von Lawrence Roberts im Oktober 1972.

9.5.4.1.3 *Praktische Umsetzung als strategischer Prozess*

Die praktische Umsetzung der Demonstrationen erfolgte als strategischer Prozess. Dies zeigt sich in den Analysen der Phase der Entstehung und Frühgenese des TCPs anhand der langfristigen Planung der Demonstrationen und der technologischen Installation eines Testnetzwerks für die praktische Anwendung. Es zeigt sich ausserdem in der Erstellung eines Imagefilms und eines Booklets für die «do-it-yourself» Anwendungen.

Darüber hinaus war die praktische Umsetzung insgesamt eine Strategie, um die vorherrschenden Beharrungstendenzen innerhalb des Netzwerks auszuhebeln.

9.5.4.1.3.1 *Demonstrationsnetzwerk als Testumgebung*

Zur Demonstration des TCPs wurde ein Testnetzwerk eingerichtet, welches als Testumgebung diente. In den Analysen der Phase der Entstehung und Frühgenese des TCPs zeigte sich die Einrichtung eines Computernetzwerks am Konferenzort. Dies sollte die Funktionalität der Technologien des ARPANETs unter Beweis stellen sowie die Konferenzteilnehmer:innen zum Ausprobieren einladen und dadurch einen Anreiz zur Einführung in den eigenen Netzwerken schaffen.

9.5.4.1.3.2 *«do-it-yourself»-Anwendungen und Booklets*

Darüber hinaus wurden von den Entwickler:innen Booklets erstellt, die Hinweise zur Umsetzung der Vernetzungstechnik enthielten und zur Unterstützung der «do-it-yourself» Anwendungen der Konferenzdemonstration(en) in der installierten Testumgebung dienten.

Es zeigte sich innerhalb der Analysen der Phase der Entstehung und Frühgenese des TCPs, dass diese zum einen die technologische Machbarkeit und Umsetzbarkeit dokumentierten, zum anderen als Handreichung transportabel waren. Sie konnten daraufhin von den Konferenzteilnehmer:innen in den eigenen Einrichtungen genutzt und verteilt werden.

9.5.4.1.3.3 *Imagefilm*

Es wurde ein Imagefilm von den Entwickler:innen erstellt, der im Konferenzkontext vorgestellt wurde. Dieser gab Auskunft über das ARPANET und stellte die Vision des ARPANETs der network interconnection und deren Entwickler:innen dar.

Bei den Analysen zeigte sich ein besonderes Wording: Die Vision wurde als *Versprechen* bezeichnet. Dadurch wurde zugleich auf deren technologische Machbarkeit referiert.

Der Ausdruck des *Versprechens* verwies auf die Ausgangslage des Computernetzwerks, welches zu dieser Zeit insbesondere durch Beharrungstendenzen geprägt war. Diese mussten für den weiteren Umbau der Infrastruktur aufgebrochen werden und sind in diesem Fall funktional für den Umbau gewesen.

9.5.4.2 *Aufbrechen von Beharrungstendenzen durch soziale und technische Anschlussfähigkeit beim TCP*

Das ARPANET war vor der Entwicklung des TCPs durch soziale und technische Beharrungstendenzen gekennzeichnet, die durch das TCP und dessen Demonstrationen ausgehebelt werden sollten (Vision) und konnten (technologische Machbarkeit, Ausweitung), indem eine soziale und technische Anschlussfähigkeit durch das TCP geschaffen werden sollte.

Soziale und technische Anschlussfähigkeit ist insofern essenziell für den Umbau des soziotechnischen Netzwerks im Sinn der Neueinführung des TCPs in die bestehende Infrastruktur des ARPANETs.

9.5.4.2.1 *Stagnierende Ausgangslage – TCP als «key turning point»*

Die beteiligten Entwickler:innen und Organisationen konnten aufgrund von technologischen Problemen Netzwerkbestandteile nicht nutzen. Dies lässt sich insgesamt auf die Ausgangslage der Nichtnutzung von Netzwerkbestandteilen durch die verfolgte Umbaustrategie in der Phase der Entstehung des Internets-ARPANETs erklären, welche ich in Kapitel 9.2.4 ausführte.

Weiter zeigten sich im analysierten Datenmaterial der Phase der Entstehung und Frühgenese des TCPs, dass die Nichtnutzung eine lange Dauer aufwies und diese Zeit durch Limitationen seitens des Transfers auf andere Host-Rechner und die schwierige Implementierung neuer Host-Software gekennzeichnet war.

Diese Entwicklungen bildeten Beharrungstendenzen im Netzwerk aus, die zu Unzufriedenheit und Skeptizismus sozialer Akteur:innen (der Entwickler:innen) sowie zu einer Stagnation der räumlich-technischen Ausweitung des Netzwerks führten. Dadurch konnte lediglich ein geringes Wachstum seitens beteiligter sozialer Akteur:innen ausgemacht werden.

Der Zeitpunkt der Demonstrationen der technologischen Neuerungen durch das TCP von Kahn und Roberts sowie die strategische Umsetzung dessen durch praktische Selbsterfahrung der Konferenzteilnehmer:innen markiert insofern einen «key turning point» durch das TCP. Durch die technologische Neuerung des TCPs konnte das soziotechnische Netzwerk wieder in Bewegung gebracht werden und weitete sich sozial, räumlich und technisch aus (vgl. Abbildung 25).

Somit führen Demonstration und Umbau der Infrastruktur zu einer sozialen und technischen Anschlussfähigkeit innerhalb des soziotechnischen Netzwerks.

9.5.4.2.2 Soziale Anschlussfähigkeit durch Communitybildung/ -vertiefung

Die soziale Anschlussfähigkeit zeigt sich im Rahmen der Analyse der Phase der Entstehung und Frühgenese durch Impulsgebung für die Communitybildung bzw. Vertiefung der Beziehungen.

Dies zeigte sich innerhalb des Datenmaterials daran, dass Konferenzteilnehmer:innen die Eindrücke mit in ihre Einrichtungen nehmen sollten und durch das Booklet auch konnten. Weiter zeigte sich dies auch anhand der Involvierung dutzender Entwickler:innen des ARPANETs an den Demonstrationen, durch die Einladung von Hersteller:innen von Computerterminals auf der Konferenz sowie durch Einrichtung einer internationalen Network Working Group (INWG) nach der Konferenz.

9.5.4.2.3 Technologische Anschlussfähigkeit

Die technologische Anschlussfähigkeit für den Umbau zeigt sich, indem die Konferenzteilnehmer:innen ihre eigenen Technologien in der dafür eingerichteten Testumgebung anschliessen konnten, um die technologische Interoperabilität zwischen der eigenen Hardware und dem ARPANET sowie deren Funktionalität im Zusammenspiel mit dem TCP testen zu können.

Innerhalb der Analysen zeigte sich, dass die Demonstrationen ein Erfolg waren, komplikationslos verliefen und sich daraufhin das soziotechnische Netzwerk ausweitete.

9.5.4.3 Charakteristika im Umbauprozess beim TCP

Im Umbauprozess des ARPANETs zeigten sich während der Phase der Entstehung der Frühgenese des TCPs Charakteristika zum global verteilten Computernetzwerk.

Diese betreffen zum einen die Ebene der sozialen Organisation, zum anderen die Geschwindigkeit der Umsetzung.

9.5.4.3.1 Globale Standards durch INWG

Schliesslich erfolgte eine Erweiterung seitens der INWG Arbeitsgruppen auch durch die globale Ausweitung des ARPANETs (nach London, vgl. Abbildung 26) sowie die Adaption der Technologien in anderen Ländern, indem die Arbeitsgruppen um eine internationale Network Working Group (INWG) ausgeweitet wurden.

Die INWG stellt zum einen eine soziale und organisationale Erweiterung des soziotechnischen Netzwerks dar. Zum anderen ist die Internationalisierung der NWG auch ein funktionaler Prozess für den Umbau der Netzwerkinfrastruktur durch die Möglichkeit, durch Erfahrungsaustausch und Diskussion globale Standards zu entwickeln.

Ich verdeutlichte dies innerhalb des Analysekapitels anhand der Zielsetzung der INWG. Demnach sollten durch die INWG mögliche Standards im Sinne global übergreifender Normungen innerhalb des länderübergreifenden Austauschprozesses entwickelt werden.

9.5.4.3.2 Geschwindigkeit der Umsetzung

Es zeigt sich, dass die Vision eines «interconnected networks» innerhalb kürzester Zeit und insbesondere von 1972 bis zur Spezifikation des TCPs im Jahr 1974 realisiert werden konnte (vgl. Abbildung 25).

Demnach ist eine bezeichnende Charakteristik für die Phase der Entstehung und Frühgenese des TCPs die hohe Geschwindigkeit der Umsetzung einer Vision zur technologischen Realisierung.

9.6 Die Rekonstruktion des Internetprotokolls: Transmission Control Protocol/ Internet Protocol (TCP/IP) und Weiterentwicklungen bis Internet Protocol Version 5 (IPv5/ TP/IX)

Die Rekonstruktion des Internetprotokolls in seiner Entwicklung zum heute gebräuchlichen Internet Protocol Version 4 (IPv4) ist die Geschichte der Weiterentwicklung des TCPs und des IP in der Zeit nach den Demonstrationen des TCPs in 1972 bis zur Standardisierung des TCPs (vgl. RFC 793 und Postel 1981) und des IPs (vgl. RFC 791 und Postel 1981) im Jahr 1981.

Diese beiden Protokolle greifen in ihrer Funktion der Datenübertragung (TCP) und Adressierung (IP) stark ineinander und wurden zeitgleich miteinander weiterentwickelt. Mit der zunehmenden Vernetzung des ARPANETs und der «interconnected networks» kam die Notwendigkeit auf, den Datenverkehr nicht nur transportieren zu können, sondern diesen auch an einen Empfänger (Computer) mittels IP adressieren zu können und damit zuordbar zu machen.

Ich schildere im Folgenden zunächst das TCP in seiner Spezifikation von 1981, welches dem TCPv4 entspricht. Danach folgt das IP in seiner Spezifikation aus 1981, welches ebenfalls der Version 4 (IPv4) entspricht. Anschliessend rekonstruiere ich die Zwischenentwicklungen bis zu diesen beiden Versionen und gebe abschliessend einen Ausblick auf die Folgeversion des IPs in der Version 5 (TCP/IX).

Diese umgekehrte chronologische Darstellung ist der Verständlichkeit innerhalb der analogen Entwicklung der zwei Protokolle und ihrer Funktionen dienlich.

9.6.1 Das standardisierte TCPv4 im Jahr 1981

Das TCP wurde im September 1981 mit dem RFC 793 von Jon Postel, Wissenschaftler der Universität von Kalifornien in Los Angeles für die Defense Advanced Research Projects Agency, als Standardisierungspapier spezifiziert und der Netzwerkgruppe der NWG zur Verfügung gestellt (vgl. RFC 793 und Postel 1981).

Postel beschreibt das TCP darin in seiner Funktion für den Transport eines Datenpakets an einen Rechner sowie das IP, als angrenzende Schicht im Protocol Layer (siehe Abbildung 27) zur Adressierung von Datenpaketen für deren Zustellung an einen Empfänger (Computer) (vgl. RFC 793 und Postel 1981, 2).

Das in Abbildung 27 dargestellte Protocol Layering stellt eine weitere Ausdifferenzierung des entwickelten Layering-Modells für das Gesamtnetzwerk dar. Das Protocol Layering differenziert die zweite Ebene des Layering-Modells (Abbildung 23) weiter und differenziert darin das «communication network», das «internet protocol», «TCP» und «higher-level» Protokolle (Abbildung 27).

Protocol Layering

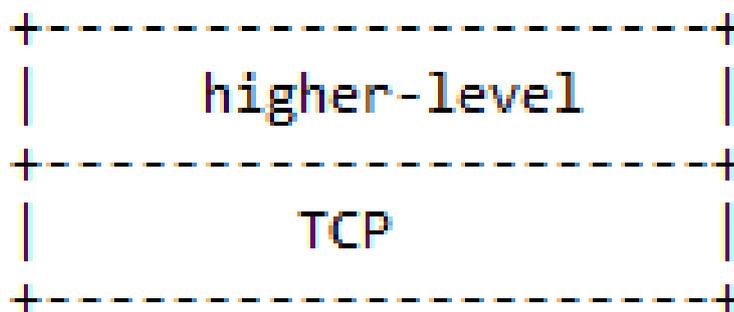


Abb. 27: Protocol Layer (RFC 793 1981: 2).

Das TCP ist insofern auf der zweiten Ebene des Protocol Layers angesiedelt (vgl. RFC 793 und Postel 1981, 2). Es regelt innerhalb des Computernetzwerks den Transport von Datenpaketen.

Weiter werden Prüfsummen (checksums) übermittelt, damit der Zielrechner die übertragene Datei auf Fehler überprüfen kann und gegebenenfalls die Übertragung des Datenpakets erneut veranlasst (vgl. RFC 793 und Postel 1981, 4).

Das TCP nutzt dazu «retransmission (after a timeout) to ensure delivery of every segment. Duplicate segments may arrive due to network or TCP retransmission» (RFC 793 und Postel 1981, 40). «This retransmission is essential to guarantee [...] [reliably reported to the other]» (ebd. 42). Demnach erhöht das TCP die Zuverlässigkeit der Datenübertragung und des Empfangs im Computernetzwerk.

9.6.2 Das standardisierte IPv4 im Jahr 1981

Die Entwicklung des IP wurde zeitlich analog zum TCP ebenfalls im September 1981 mit dem RFC 791, von Jon Postel spezifiziert. Im Protocol Layering (Abbildung 27) befindet sich das Internetprotokoll auf der zweiten Ebene.

«The internet protocol provides for transmitting blocks of data called datagrams from sources to destinations, where sources and destinations are hosts identified by fixed length addresses» (RFC 791 und Postel 1981, 1).

Demnach (RFC 791) hat das IP die Funktion, die Adressierung der zu übermittelnden Datenpakete von einem Sender (Host-Computer) zu einem Empfänger (Host-Computer) zu regeln, indem Letzterem eine feste Adresse zugewiesen wird und dieser dadurch aufgefunden werden kann.

«The internet protocol is specifically limited in scope to provide the functions necessary to deliver a package of bits (an internet datagram) from a source to a destination over an interconnected system of networks. There are no mechanisms to augment end-to-end data reliability, flow control, sequencing, or other services commonly found in host-to-host protocols» (ebd.).

Demnach bietet das IP neben der Adressierung keine weiteren Funktionen an. Die Adressierung erfolgt mittels eines Internet Headers über das Verfahren des Routings. Das Prinzip des Routings innerhalb paketvermittelter Computernetzwerke erläuterte ich bereits anhand der Vorläufertechnologien (9.1.5). Der Internet Header beinhaltet eine festgelegte Zahlenabfolge: «Addresses are fixed length of four octets (32 bits). An address begins with a network number, followed by local address (called the ›rest‹ field)» (RFC 791 und Postel 1981, 7).

Demnach sind IP-Adressen 4x8 Oktette = 32 Zeichen lang⁹⁶ und bestehen aus einer Zahlenabfolge, die mit einer Netzwerknummer beginnt und der sich eine lokale Adresse anschließt. Dieser logische Aufbau dient insbesondere der Wiedererkennung und Lokalisierung von Hosts innerhalb eines Netzwerks. Demnach wissen die Entwickler:innen anhand der «Network Number», an welchem geografischen Ort sich die Netzwerkbestandteile befinden (ebd.).

Vereinfachend lässt sich das mit Telefonnummern vergleichen, welche aus einer Vorwahl und einer Teilnehmer:innennummer bestehen. Oftmals wissen wir bereits anhand der Vorwahl, woher ein Anruf stammt.

Die IP-Adressen wurden weiterführend im RFC 791 für die Vergabe differenziert und in drei Klassen zugeordnet:

«[I]n class a, the high order bit is zero, the next 7 bits are the network, and the last 24 bits are the local address; in class b, the high order two bits are one-zero, the next 14 bits are the network and the last 16 bits are the local address; in class c, the high order three bits are one-one-zero, the next 21 bits are the network and the last 8 bits are the local address» (RFC 791 und Postel 1981, 7).

Zur weiterführenden Erläuterung wird beim RFC 791 auf das «Address Mapping» verwiesen, welches in RFC 796, ebenfalls im September 1981 von Jon Postel erschienen ist und die Adressvergabe weiterführend erklärt (vgl. RFC 796 und Postel 1981).

Innerhalb des Address Mappings beschreibt Postel die Adressvergabe der Klassen A, B und C und führt diese anhand der Adresse des ARPANETs, dem Distributed Computing Network (DCN) sowie dem Experimental Data Network (EDN) aus (vgl. RFC 796 und Postel 1981, 3f.).

Insgesamt erlauben IP-Adressen nach dem Prinzip des Address Mappings (vgl. ebd.) und der Länge von 32 Bits (RFC 791 und Postel 1981, 7) die Vergabe von « $2^{13} = 8192$ fragments of 8 octets each for a total of 65,536 octets» (RFC 791 und Postel 1981, 25).

Dies entspricht einer Gesamtanzahl von 2 hoch 32 Adressen, was wiederum 4.294.967.296 möglicher Adressen insgesamt entspricht und demnach eine Anzahl von 4 Milliarden möglicher IP-Adressen bedeutet⁹⁷

96 Zur weiterführenden Information siehe Fußnote 97.

97 Die ausführliche Erläuterung dieser Berechnung wäre an dieser Stelle zu umfangreich. Es sei daher weiterführend auf Schnabel (2014) verwiesen. Demnach bezeichnet ein Bit ein Zeichen aus dem Binärsystem, welches wiederum nur zwei Möglichkeiten bietet (0 und 1). Eine IP-Adresse wird von einem Computer mit 32 Stellen aus Nullen und Einsen dargestellt. Für uns Menschen wird eine IP-Adresse jedoch in 4 Zahlengruppen zu je 8 Bit (unterteilt durch Punkte, z. B. 192.158.1.38) dargestellt. Die jeweilige Zahlengruppe nennt man Oktett. «Rein rechnerisch ergibt sich aus einer 32-Bit-Adresse eine Anzahl von 2 hoch 32 Adressen» (vgl. Schnabel 2014).

9.6.3 Der Entwicklungs- und Verbreitungsverlauf des Transmission Control Protocols/Internet Protocols (Version 1–3)

Die Darstellung der Spezifizierung zu TCP und IP aus 1981 stellt die beiden Protokolle in der Version 4 dar. Sie sind das Endprodukt eines Aushandlungsprozesses der Entwickler:innen zur Modifikation und Verbesserung dieser Technologien, der sich etwa von 1972 bis 1981 vollzog. In den Vorworten («Preface») zu beiden Protokollen finden sich dazu Hinweise:

«This document describes the DoD Standard Transmission Control Protocol (TCP). There have been nine earlier editions of the ARPA TCP specification on which this standard is based, and the present text draws heavily from them. There have been many contributors to this work both in terms of concepts and in terms of text (RFC 793 und Postel 1981, iii).

Im Vorwort zum Internet Protocol wurde folgendes angeführt:

«This document specifies the DoD Standard Internet Protocol. This document is based on six earlier editions of the ARPA Internet Protocol Specification, and the present text draws heavily from them. There have been many contributors to this work both in terms of concepts and in terms of text» (RFC 791 und Postel 1981, iii).

Beide Vorworte verweisen auf die jeweilige technologische Spezifikation, auf neun überarbeitete Vorläufer RFCs im Fall des TCPs sowie auf sechs frühere RFCs zum IP. Diese führten jedoch nicht zwangsläufig zu einer veränderten Version der Protokolle. Das führe ich im Fortgang der Darstellungen aus.

Beide Vorworte verweisen auf die Beteiligung einer Vielzahl von Entwickler:innen bei der Erstellung des technologischen Konzeptes sowie auf Teile früherer Texte. Jonathan Postel war allerdings in beiden Fällen der Editor der RFCs, da dieser zur damaligen Zeit der Leiter der INWG war.

Beide Vorworte referieren zudem auf die Spezifikation als DoD Standard. Dies wird weiterführend in der Einleitung unter «Motivation» innerhalb der Spezifikation des TCPs ausgeführt und wie folgt begründet:

«Computer communication systems are playing an increasingly important role in military, government, and civilian environments. This document focuses its attention primarily on military computer communication requirements, especially robustness in the presence of communication unreliability and availability in the presence of congestion, but many of these problems are found in the civilian and government sector as well» (RFC 793 und Postel 1981, 1).

Anhand dieser Datensequenz wird ein deutlicher Bezug zur militärischen Nutzung aufgezeigt sowie weiterführend die Wichtigkeit des TCPs für die Regierung und der Verwendung der Technologien im Kontext der Zivilgesellschaft betont. Weiterführend wird auf die Anforderungen an militärische Computernetzwerke verwiesen, die technologische Stabilität, Robustheit (bei Kommunikationsunzuverlässigkeit) und Verfügbarkeit sowie Ausfallsicherheit (bei Überlastung) aufweisen sollen.

Innerhalb der Spezifikation zum IP hingegen wird kein direkter Bezug zu Regierung und Militär benannt, sondern dessen Funktionalität für «interconnected systems» und deren Realisierung thematisiert:

«The Internet Protocol is designed for use in interconnected systems of packet-switched computer communication networks. [...] The internet protocol provides for transmitting blocks of data called datagrams from sources to destinations, where sources and destinations are hosts identified by fixed length addresses» (RFC 791 1981: 1).

Dabei erfüllt das TCP die zuvor definierten Anforderungen an militärische Computernetzwerke:

«In anticipation of the need for such standards, the Deputy Undersecretary of Defense for Research and Engineering has declared the Transmission Control Protocol (TCP) described herein to be a basis for DoD-wide inter-process communication protocol standardization» (RFC 793 und Postel 1981, 1).

Diese Aussage verweist zudem darauf, den TCP-Standard im gesamten DoD einzuführen und diesen insofern als DoD Internet Standard (dem «inter-process communication protocol») zu verwenden. Dies verweist auf einen hierarchisch veranlassten «Top-down»-Prozess.

Im Folgenden möchte ich diesen Verbreitungs- und Umbauprozess rekonstruieren sowie die beteiligten Akteur:innen, Akteur:innenkonstellationen sowie verfolgte Strategien darlegen.

Bis zur Standardisierung von 1981 durch Jon Postel, den damaligen Leiter der NWG (vgl. RFC 793 und Postel 1981), wurde das TCP auf sehr unterschiedlichen Hardwareinstanzen des ARPANETs sowie von weiteren in Kapitel 9.5.3.2.1 benannten Anwender:innen eingeführt, innerhalb der INWG diskutiert und weiterführend spezifiziert.

Zunächst implementierte die ARPA unter der Leitung der Entwickler:innen Robert Kahn und Vinton Cerf das Protokoll auf der Hardware des ARPANET innerhalb des Projektes «catenet» (vgl. Cerf 1978).

Vinton Cerf stellte die Ergebnisse der Implementierungen, die innerhalb des catenet-Projektes stattfanden, im Jahr 1978 vor. Darin stellte er den Einführungsprozess auf die Infrastruktur des ARPANETs und im Speziellen für das DARPA dar (vgl. ebd.).

Wenig später erfolgte die Einpassung auf weiteren Plattformen (Hosts). Zu diesen gehörte ein SDS SIGMA-7 an der Universität von Kalifornien in Los Angeles (UCLA), ein SDS-940 beim SRI, ein IBM 360/75 an der Universität Kalifornien in Santa Barbara (UCSB) sowie ein DEC PDP-10 an der Universität Utah. Weiter hat die Stanford University mithilfe von Richard Karp, Mitglied der CERN Forschungsgruppe, das TCP/IP auf einem TENEX/PDP-11 implementiert. Ein weiteres Mitglied war das University College London, an dem unter der Leitung von Peter Kirstein das TCP/IP auf einem PDP-9 eingepasst wurde. Weiter begannen Bill Plummer und Ray Tomlinson mit der Implementierung des TCPs bei dem Hardwarehersteller BBN (vgl. Heart u. a. 1981, 93).

Weiterführend gab es in der Zeit von 1973 bis 1975 das «Stanford TCP Project», welches seitens der DARPA gefördert wurde. Innerhalb dieses Projekts erfolgte im Jahr 1975 unter der Leitung von Robert Kahn und Vinton Cerf ein erster Test der TCP/IP-Verbindung mithilfe eines Satellitennetzwerks zwischen der Stanford University und dem University College London. Dieser Versuch, zwei Netzwerke mit unterschiedlicher Hardware zwischen den USA und Europa zu verbinden, verlief weitestgehend erfolgreich (vgl. Cerf 1980, 4).

Infolge dieses ersten Tests wurden noch einige Modifizierungen des Protokolls vorgenommen und die Versionen TCPv1 und TCPv2 verabschiedet, die u. a. zur Vereinfachung des Verbindungsaufbaus führten und sicherheitsrelevante technologische Modifikationen enthielten: «This edition incorporates the addition of security, compartmentation, and precedence concepts into the TCP specification» (RFC 761 und Postel 1980, iii).

Die Einrichtung der TCP/IP Digest mailing list

Zum Austausch der Entwickler:innen wurde im Oktober 1981 eine erste Mailing-List von Mike Muuss vom U.S. Army Ballistic Research Laboratory (BRL), mit dem Titel «TCP/IP Digest mailing list»⁹⁸ eingerichtet (vgl. TCP/IP Digest 1981b).

In der Nachricht von Mike Muuss am 13.10.1981 mit dem Betreff «Please add to your List...» forderte dieser interessierte Nutzer:innen zur Einschreibung in die TCP/IP Digest mailing list auf. Abbildung 28 zeigt den Ausschnitt der E-Mail.⁹⁹

98 Ein vollständiges Archiv TCP/IP-Digest findet sich online verfügbar unter: <https://groups.google.com/g/fa.tcp-ip/http://securitydigest.org/tcp-ip/>, letzter Zugriff: 19.01.23.

99 Dieser Eröffnungsbeitrag von Mike Muuss hat noch keine Nummer, daher ist das Datum in der Quellenangabe aufgeführt zur Differenzierung.

Please add to your list...



ucbvax!tcp-ip

an

>From tcp-ip@bri Tue Oct 13 21:38:19 1981
Geoff (et.al.) -

Greetings, and welcome to the TCP/IP Digest mailing list.
Please send submissions to "TCP-IP @ BRL", and address
any requests to "TCP-IP-REQUEST @ BRL".

Enjoy!
-Mike Muuss
U.S. Army Ballistic Research Laboratory

PS: If you desire a copy of Vol 1, #1 (the only issue to date),
send a note to TCP-IP-REQUEST@BRL.

Abb. 28: TCP/IP Digest Eröffnungsbeitrag, Screenshot (TCP/IP Digest 1981: 13.10.1981).

Das Digest sammelt zunächst einzelne Beiträge und versendet diese in einem voreingestellten Rhythmus an die Empfänger:innen der Mailing-Liste mittels der Freigabe des Mailing-Listen Inhabers, im Fall der TCP/IP Digest mailing list ist dies Mike Muuss.

Das Digest folgt einer gleichbleibenden Logik in Aufbau und Darstellung. Eingangs werden die Themen (Topics) des Digests aufgelistet und anschliessend die einzelnen E-Mails der beteiligten Entwickler:innen als Nachrichten aufgeführt. Abbildung 29 zeigt den Aufbau eines TCP/IP Digests.

Die fettgedruckte Schrift stellt den Betreff der Mailing-Liste dar. In diesem Fall «TCP-IP Digest, Vol. 1 #8». Darunter sind Absender:in und die Empfänger:in aufgeführt sowie die Themen, welche hier als «Today's topics» aufgeführt sind.

TCP-IP Digest, Vol 1 #8



ucbvax!tcp-ip

an

>From tcp-ip@brl Fri Dec 11 18:15:56 1981
TCP/IP Digest Friday, 11 Dec 1981 Volume 1 : Issue 8

Today's Topics:

TCP/IP for CDC CYBER Mainframes

Mail Between NCP and TCP Hosts – RFC801 Excerpts

Relating ArpaNet Protocols to the ISO Reference Model

TCP/IP Conversion Timetable & Documents – RFC801 again

Tidbit about UK INDRA Project

Abb. 29: Aufbau der Darstellung TCP/IP Digest mailing list, Screenshot (TCP/IP Digest: Vol. 1 #8).

Das TCP/IP Digest wurde von Muuss mit der Funktion eingerichtet, «[a] new discussion Group» zu sein (TCP/IP Digest 1981b, Vol. 1 #1).

Im ersten Mailing Digest (Abbildung 30) schreibt Muuss:

From: Michael Muuss <Mike @ BRL>
Subject: A New Discussion Group

Greetings Earthlings!

This is the first issue of a new digest which purports to discuss TCP and IP, the "DoD Standard Networking Protocols for the Eighties". Comments will probably center around UNIX implementations, but any technical networking or implementation discussions too specific for HUMAN-NETS is fair game here. Please send submissions to "TCP-IP @ BRL", requests to "TCP-REQUEST @ BRL" or "TCP-IP-REQUEST @ BRL".

This is sort of a spur-of-the-moment thing; it started with our trying to find out about TCP/IP implementations, and wound up with dozens of letters asking for a report of what I found. This list may die stillborn, or it may flourish. Only time will tell!

Cheers,
-Mike

Abb. 30: Mike Muus, Screenshot (TCP/IP Digest 1981: Vol. 1 #1).

Die E-Mail beginnt mit einer Begrüssung und der Begründung, wieso das neue Digest eingerichtet wurde. Das Digest soll die Möglichkeit bieten, mittels Kommentaren über TCP und IP zu diskutieren. Weiterhin wird das TCP/IP von Muuss als DoD «Standard Networking Protocols for the Eighties» bezeichnet. Dies verweist auf die zeitliche Einordnung des TCP/IPs als Standardprotokoll für die 1980er-Jahre. Zugleich offeriert diese Aussage eine anhaltende Dauer der Verwendung, da diese Mail bereits 1981 geschrieben wurde.

Weiter verweist die Datensequenz auf soziale Umgangsformen, in denen ein «fair game» erwünscht ist. Die Verwendung einer lockeren Ausdrucksweise (z. B. «Greetings Earthlings») verweist auf einen informellen Austausch im Kreis der beteiligten Entwickler:innen des Digests.

Zudem werden auch technische Regeln definiert, indem die Adressen für die Einreichungen innerhalb der Datensequenz benannt werden.

Die E-Mail endet mit dem Hinweis, dass das Digest eine ad hoc Einrichtung war: «[a] sort of a spur-of-the-moment thing» (TCP/IP Digest 1981b, Vol. 1 #1).

Darüber hinaus wird in der Datensequenz deutlich, dass die Weiterentwicklung des Digests unklar ist und die Zeit zeigen wird, wie sich die Diskussionsgruppe entwickeln wird: «This list may die stillborn, or it may flourish. Only time will tell» (ebd.). Diese Ausdrucksweise offeriert ein «anything goes». Demnach ist die Entwicklungsrichtung des Digests nicht festgeschrieben.

Im Verlauf der Entwicklung der TCP/IP Digest mailing list zeigte sich, dass sich das TCP/IP Digest von einer ad hoc eingerichteten Diskussionsgruppe zu einem wichtigen Austauschmedium innerhalb der Entwickler:innengemeinschaft der interconnected networks (kurz: Internet) entwickelte und darüber wichtige Nachrichten an die Entwickler:innen versendet wurden. Letztere betrafen insbesondere den weiteren Umbau der Internetinfrastruktur durch Einführung technologischer Neuerungen des TCPs und IPv4s. Diese Entwicklungen und insbesondere die Umbaustategie führe ich im Folgenden weiter aus.

9.6.4 Der Entwicklungs- und Verbreitungsverlauf des Transmission Control Protocols/Internet Protocols (Version 4)

Die von 1978 bis 1983 durchgeführten Tests der verschiedenen Protokollversionen im Rahmen der ARPA-Projekte von Vinton Cerf verliefen erfolgreich:

«This project successfully developed, implemented, documented and tested a reliable, internet work» (Cerf 1980, 5).

Infolgedessen wurden die Protokolle im Jahr 1981 zum Internet Protocol Version 4 (IPv4) (vgl. RFC 791 und Postel 1981, 34) sowie zum Transmission Control Protocol Version 4 (vgl. RFC 793 und Postel 1981) spezifiziert und eine weitreichende Adaption der Technologien im ARPANET angestrebt (vgl. Cerf 1980, 5).

Das TCPv4 und das IPv4 wurden infolgedessen auf weiteren Hardwareinstanzen des ARPANETs und anderer beteiligter Organisationen wie der BBN eingeführt (vgl. TCP/IP Digest 1982a, Vol.1#21).

Die Verbreitungen belegen diverse Kommunikationen innerhalb des TCP/IP Digests. Die Nachrichten zu Neueinführungen und dem Techniktransfer auf andere Hardwareinstanzen überschlugen sich. In nahezu jedem TCP/IP Digest des ersten Jahrgangs werden Neueinführungen in Netzwerken und anderen Hardwareinstanzen gemeldet. Ich möchte dazu im Folgenden exemplarisch ein paar aufführen:

- So informierte u. a. Jack Sax die TCP/IP Digest Abonnet:innen, «BBN has developed TCP/IP software for the HP3000 computer» (TCP/IP Digest 1982a, Vol.1#21).
- Auch Bill Joy berichtete von TCP/IP Implementierungen, indem er einen kompletten Netzwerkaufbau nach dem Vorbild der DARPA schilderte und Performance-Messungen am TCP/IP vornahm:
- «As an experiment to investigate the performance of the resulting TCP/IP implementation, we transmitted 4 Megabytes of data between two user processes on different machines» (TCP/IP Digest 1981c, Vol.1#6).
- Weiter berichtete Rich Sitnik über Tektronix, welches ein Hard- und Softwarehersteller, ähnlich BBN war, das TCP/IP innerhalb der bestehenden Netzwerkinfrastruktur einführte:
- «Tektronix has implemented TCP/IP on their CDC CYBER mainframe» (TCP/IP Digest 1981a, Vol.1.#8).
- Vinton Cerf meldete wie viele andere direkt mehrere Implementierungen innerhalb einer Nachricht:
- «UC Berkeley has been developing a paging UNIX^(TM) for the VAX based on V7 UNIX (TM-Western Electric). BBN has been developing a TCP/IP for this VAX UNIX^(TM) and UCB recently reported data bandwidths of Mb/sec over a 3 Mb/s Ethernet running TCP/IP to TCP/IP including checksumming. This figure obtained on VAX 11/750 using 1 kilobyte packets» (TCP/IP Digest 1981c, Vol.1#6).

Die vorbezeichneten Datensequenzen thematisieren die technologische Verbreitung und Verwendung des TCP/IP auf unterschiedlichen Hardwareinstanzen sowie innerhalb verschiedener Netzwerke, die dem ARPANET als IMPs angeschlossen sind.

Weiter zeigten sich auch Verunsicherungen seitens der Entwickler:innen bei der Einführung des TCPv4s/IPv4.

So gab es bspw. von einer RAND-Netzwerk Entwickler:in eine Nachricht, die einen Aufruf zur Stellungnahme des BBN oder der ARPA Entwickler:innen zu gehörter Kritik am TCP/IP enthielt:

«I have often heard criticisms of TOPS 20 TCP/IP implementation, but never a defense. Does anyone from BBN or ARPA care to defend their implementation or do they agree with the criticisms?» (TCP/IP Digest 1981c, Vol.1#6).

Zudem kamen viele Fragen zum Umbau der Infrastruktur auf. Im Folgenden möchte ich exemplarisch einige davon aufführen:

«Namely, who has TCP up? How is it connected to the ARPAnet (or even another ether, if the problems/ solutions are similar)? What problems were encountered? How fast is it? How does it compare in simplicity/performance/transparency/completeness/functionality/limitations/etc. with the other possibilities?» (ebd.).

Die Datensequenzen zeigen insgesamt einen regen Austausch über Implementierungen, Verbreitungen, kritische Momente des TCP/IP sowie viele offene Fragen zum Umbauprozess.

Zudem zeigen sich in weiteren Beiträgen innerhalb des TCP/IP Digests auch viele Antworten auf aufkommende Fragen sowie Stellungnahmen der Entwickler:innen der ARPA und des BBNs (vgl. TCP/IP Digest 1981: Vol. 1 #7).

So beantwortet der Entwickler Vinton Cerf die Frage «who has TCP up?» (TCP/IP Digest 1981c, Vol.1#6) der letzten Datensequenz mit der Bereitstellung eines Dokuments, welches eine «list of TCP-capable hosts» (TCP/IP Digest 1981d, Vol.1#7) enthält.

Immer wieder kommen allerdings Diskussionen und Abschweifungen zu anderen Themen auf, die der Mailing-List Inhaber Mike Muuss begrenzen muss, indem er auf die Funktion, des TCP/IP Digest verweist:

«I had intended the Digest as more of a discussion on IMPLEMENTATION issues of networking (as opposed to Philosophical discussions as get found in HUMAN-NETS)» (TCP/IP Digest 1981d, Vol. 1#7).

Schliesslich enthielten Diskussionen innerhalb des TCP/IP Digests auch einen konkreten Termin für die bevorstehende Komplettumstellung des ARPANETs auf das TCPv4/IPv4. Diese wurde auf den 1. Januar 1983 datiert (vgl. TCP/IP Digest: Vol. 1 #2). Jonathan Postel, Leiter der NWG, schrieb dazu:

«It is really very important for everyone to notice the deadline for completing the cutover to IP/TCP and the elimination of NCP from use in the ARPANET. The deadline is: 1 January 1983. That is 14 and a half months from now. Really not much more than a year» (ebd.).

Dies ist ein entscheidender Hinweis auf die verfolgte Umbaustrategie der ARPA zur Zeit der technologischen Entwicklung und Einführung des TCPv4/IPv4.

Im Fortlauf der Konversationen des TCP/IP Digests wird die bevorstehende Komplettumstellung immer wieder randläufig in den Berichten zur Implementierung des TCPv4/IP4 aufgegriffen. So schrieb Jon Postel, Leiter der NWG:

«There has been some talk of ›forcing‹ the move to TCP by various administrative and policy measures» (TCP/IP Digest 1981c, Vol.1#6).

Postel thematisiert damit die Gespräche zu einer politisch und administrativ erzwungenen Umstellung.

Auch im Kontext der folgenden Datensequenz wird eine bevorstehende Umstellung aufgegriffen, indem darin eine Deadline adressiert wird: «[O]ur mutual interest is getting our machines running TCP before the deadline» (TCP/IP Digest 1981c, Vol.1#6).

Infolgedessen wurden seitens der Entwickler:innen und Anwender:innen der ARPA-Technologien immer mehr Implementierungen des TCPv4/IPv4 auf verschiedenen Hardwareinstanzen vorgenommen.

Bis 1983 kam es zu einer weitreichenden Verbreitung des TCPv4/IPv4. Immer mehr beteiligte Akteur:innen des ARPANETs implementierten die Technologie, welche, terminiert auf den 01. Januar 1983, einen flächendeckenden und ausschliesslichen Einsatz im gesamten ARPANET als «DoD standard internet protocol» erhalten sollte (vgl. RFC 791 und Postel 1981).

Die endgültige Komplettumstellung auf das TCPv4 und IPv4 von der ARPA wurde am 1. Januar 1983 durchgeführt. Diese Umstellung führte zur weiteren Ausbreitung des ARPANETs, welches nunmehr als *Internet* bezeichnet wird.

Diese zentrale Information wurde über das TCP/IP Digest Vol. 2 # 1 verkündet: «With the cutover to TCP/IP on January 1 many more hosts now have Internet capability» (TCP/IP Digest 1982b, Vol. 2#1).

Weiterführend wurde im Kontext der Komplettumstellung auch der «topic oft the [TCP/IP] digest» in «Inter-Net Networking – Design and Impl[e]mentation Issues» geändert. Dies verkündete Mike Muuss zusammen mit seinen Neujahrswünschen in einer Nachricht (TCP/IP Digest 1982b, Vol. 2#1).

Infolge dieser Entwicklungen und der Komplettumstellung des interconnected Networks wurde das IPv4 in Verbindung mit dem TCPv4 das meistverwendete Kommunikationsprotokoll für den Datenaustausch im Internet.

Demnach stellt das Internetprotokoll der Version 4 eine bereits seit 1981 standardisierte technologische Entwicklung zur Adressierung innerhalb des Internets dar, welche seit 1983 und auch noch heute verwendet wird. Diese lange Zeit der stabilen Verwendung ist beachtlich im Vergleich zu den vorherigen Entwicklungen, die ich als Vorläufertechnologien schilderte.

Es zeigte sich jedoch bereits Ende der 1980er, dass der vom IPv4 zur Verfügung gestellte Adressraum von über 4 Milliarden Adressen aufgrund der massiv ansteigenden kommerziellen Nutzung des Internets in Zukunft nicht ausreichen würde:

«First, the address space of version 4 is now seen to be too small. While it was viewed as being almost impossibly large when version 4 was designed. [...] [S]econd major problem is a perceived routing explosion» (RFC 1475 und Ullmann 1993, 3).

Infolgedessen begannen bereits im Jahr 1989 durch die IETF erste Bemühungen, ein Nachfolgeprotokoll für das IPv4 zu entwickeln.

Dieses sollte die vorhandenen Defizite des IPv4 durch Bereitstellung einer ausreichenden Anzahl von Adressen sowie Sicherheitslücken und Routingprobleme beheben.

Ein erster Entwurf für einen Standard namens «Experimental Protocol for the Internet (TP/IX)» wurde 1993 von dem Entwickler Ullmann im RFC 1475 vorgestellt (RFC 1475 und Ullmann 1993). In der Logik der Versionsbezeichnungen stellt das TP/IX das TPv5/IPv5 dar (vgl. RFC 1475 und Ullmann 1993).

Dieses wurde jedoch wenig später zugunsten des Internet Protocol Version 6 (IPv6) verworfen, welches erstmals in 1995 spezifiziert wurde (vgl. RFC 1883 u. a. 1995).

9.7 Zwischenfazit – Phase der Entwicklung des TCP/IP bis IPv5 (TP/IX)

Die «Rekonstruktion des Internetprotokolls: Transmission Control Protocol/Internet Protocol (TCP/IP) und Weiterentwicklungen bis Internet Protocol Version 5 (IPv5/TP/IX)» bezeichne ich im Folgenden als technologische «Phase der Entwicklung des TCP/IP bis IPv5 (TP/IX)».

Die Bezeichnung als technologische Phase dient auch hier zur Differenzierung für die spätere Kontrastierung der einzelnen technologischen Entwicklungsphasen innerhalb der Grounded Theory zum Umbau der Internetinfrastruktur am Beispiel des Internetprotokolls.

Innerhalb der «Phase der Entwicklung des TCP/IP bis IPv5 (TP/IX)» greife ich erneut auf die (in Anlehnung an die im Zwischenfazit zur «Phase der Entstehung des Internets – ARPANETs») generierten Kategorien zur Beschreibung und Erklärung der Veränderung im soziotechnischen Netzwerk zurück und modifiziere diese in Anlehnung an die Analyseergebnisse des Kapitels 9.6.

Im Folgenden stelle ich entscheidende Charakteristika bei der Entwicklung und Weiterentwicklung des soziotechnischen Netzwerks sowie verfolgte Strategien und soziotechnische Verflechtungen der Akteur:innenkonstellationen dar.

9.7.1 Rahmenbedingungen für interonnected networks (kurz: Internet)

Die Besonderheit dieser Phase ist insbesondere der Umbau der bestehenden Infrastruktur am Beispiel der Einführung des IPv4 und somit die Umstellung auf ein interconnected network (kurz: Internet).

Zum Umbau des soziotechnischen Netzwerks in der Phase der Entwicklung des TCP/IP bis IPv5 (TP/IX) hatte die zeitliche Terminierung der Komplettumstellung durch die Entwickler:innen der ARPA eine zentrale Bedeutung und war eine grundlegende Rahmenbedingung und zugleich zentrale Umbaustrategie dieser Phase.

9.7.2 Soziotechnische Verflechtungen im Internet

Im Kontext der Phase der Entwicklung des TCP/IP bis IPv5 (TP/IX) zeigten sich sehr unterschiedliche soziotechnische Verflechtungen.

Im Folgenden möchte ich diese erneut zunächst entlang der identifizierten technologischen Neuerungen in abstrahierter Form und deren Bedeutung für das soziotechnische Netzwerk darstellen. Daran anschliessend gehe ich auf soziale und organisationale Veränderungen ein. Während der Differenzierung verweise ich zudem wiederkehrend auf die soziotechnischen Verflechtungen einzelner technologischer und sozial organisationaler Veränderungen, da diese für die Entwicklung, Ausweitung und Stabilisierung des ARPANETs und das dadurch während dieser technologischen Phase entstandene Internet bezeichnend sind.

9.7.2.1 Technologische Neuerungen

Auf der technologischen Ebene der Entwicklung des TCP und IPs weisen die beiden Protokolle starke Abhängigkeiten voneinander auf und wurden aufeinander abgestimmt weiterentwickelt. Auch war eine räumliche Ausbreitung und technische Ausweitung durch die Komplettumstellung zu identifizieren.

Zudem stellt das TCP/IP eine technologische Innovation dar, indem es die Adressierung innerhalb des Computernetzwerks durch Vergabe einer IP-Adresse erlaubt und das IPv4 durch Ausgestaltung der Adressierung eine Lokalisierung der Technologie im Netzwerk ermöglicht, welche wiederum essenziell für die Entwickler:innen und Anwender:innen ist.

Im Folgenden stelle ich diese Momente innerhalb des soziotechnischen Netzwerks in der Phase der Entwicklung des TCP/IP bis IPv5 dar.

9.7.2.1.1 Zeitlich analoger Entwicklungsprozess des TCPs und IPs

TCP und IP wurden in in gegenseitiger Abstimmung entwickelt. Beide Protokolle wurden innerhalb von RFCs zur Version 4 (TcP4 und IPv4) zeitlich analog im Jahr 1981 spezifiziert. Die gegenseitige Abhängigkeit stellt sich wie folgt dar.

9.7.2.1.1.1 *TCPv4/IPv4 als voneinander abhängige technologische Innovationen*

Das TCPv4 hat die Funktion, den Transport eines Datenpaketes zu übernehmen und dieses durch Prüfsummen auf Vollständigkeit zu überprüfen. Die Datenübertragung ist wiederum von der Adressierung mittels des IPv4 durch Vergabe einer IP-Adresse abhängig. Die beiden Technologien in ihrem Zusammenwirken sind insofern funktional und essenziell für die Vernetzungstechnik des ARPANETs/Internets.

Innerhalb der Entwicklung des TCP/IP bis TCPv4/IPv4 gab es insgesamt vier Versionsänderungen. Diese stellten Spezifikationen der Protokolle dar, die zur Verbesserung der Technologie seitens der Entwickler:innen der NWG vorgenommen wurden. Sie betrafen insbesondere die Verbesserung der erneuten Übertragung von Datenpaketen (retransmission) und die Spezifikation der Adressierung mittels IP-Adresse.

Beide Entwicklungen sind voneinander in ihrer Funktionalität abhängig. Zudem stellten die Neuübertragung von Datenpaketen und die Adressierung mittels IP-Adresse zwei zentrale Innovationen in der Entwicklung des Internets dar, die eine neuartige Vernetzung von interconnected networks erlaubte.

9.7.2.1.1.2 *Stabilisierung und Reduktion von Unsicherheit durch Vermessung und Quantifizierung der Datenübertragung (retransmission/checksums)*

Das Prinzip der «retransmission» stellte nicht nur eine technologische Innovation innerhalb der Datenübertragung dar, sondern durch diese fand auch eine Vermessung und Quantifizierung der Datenübertragung statt.

Im Ergebniskapitel legte ich dies anhand der Prüfsummen (Checksums) des TCPv4 dar. Durch Checksums konnten Datenpakete auf Vollständigkeit überprüft und bei Unvollständigkeit eine Neuübertragung (retransmission) durch das Protokoll veranlasst werden.

Der technologische Prozess der Vermessung und Quantifizierung innerhalb der Phase der Entwicklung des TCP/IP bis IPv5 scheint insofern im Protokoll verankert zu sein. Er reduziert Unsicherheit innerhalb des Netzwerks, indem er die Datenübertragung durch Prüfsummen transparent macht.

Insofern trägt die Verwendung von Retransmission und Checksums zur Stabilisierung des soziotechnischen Netzwerks bei, indem die Zuverlässigkeit der Datenübertragung überprüft und durch Rückmeldung des Systems transparent gemacht wird und dies seitens der Entwickler:innen Unsicherheiten während der Datenübertragung reduziert. Entwickler:innen können sich aufgrund dieses Verfahrens sicher sein, dass die übermittelten und adressierten Daten mittels der Kommunikationsprotokolle an einen spezifischen Empfänger übertragen werden und vollständig sind.

Demnach zeigt sich wiederum die Verflechtung und wechselseitige Abhängigkeit von Technologien untereinander sowie die Interdependenzen von Technik und Sozialem.

9.7.2.1.1.3 Akteur:innenschaft von Technik – Zur Selbstkontrolle der Technik

Zugleich verweist diese in Checksums und Retransmission eingeschriebene Vermessung und Quantifizierung erneut auf die Akteur:innenschaft von Technik in Anlehnung an die ANT (siehe Kapitel 5.2).

Es zeigt sich am Beispiel von Checksums und Retransmission, dass Technik selbsttätig wirksam wird, Datenpakete auf Vollständigkeit prüft und ggf. eine Neuübertragung veranlasst. Insofern kontrolliert Technik sich an dieser Stelle selbst durch die in sie eingeschriebenen technologischen Prozesse.

9.7.2.1.2 IP-Adresse zur Adressierung und Lokalisierung von Technologien im soziotechnischen Netzwerk

Weiter ist den Ergebnissen der Datenanalyse zu entnehmen, dass mittels des Internetprotokolls die zu übermittelnden Datenpakete von einem Sender (Host-Computer) zu einem Empfänger (Host-Computer) adressiert werden können, indem Letzterem eine feste Adresse zugewiesen wird, anhand deren der Empfänger innerhalb des Computernetzwerks aufgefunden werden kann.

Diese Adressierung ist nicht nur eine technologische Innovation, sondern bedingt zugleich die Lokalisierung der Technologien innerhalb des soziotechnischen Netzwerks.

Die Adressierung dient somit der räumlichen Verortung (Lokalisierung) von Technik innerhalb des Computernetzwerks, indem Netzwerkbestandteile durch Bezeichnung mittels einer IP-Adresse aufgefunden werden können.

Zugleich ist durch die IP-Adresse auch eine soziale und organisationale Veränderung innerhalb des soziotechnischen Netzwerks identifiziert worden. Diese betrifft die Bedeutung der Adressierung und Lokalisierung für die Entwickler:innen. Ich führe dies weiter im Teilkapitel zu sozialen und organisationalen Veränderungen aus (9.7.2.2).

9.7.2.1.2.1 Ausgestaltung der IP-Adresse

In den Analysen stellte sich heraus, dass die Ausgestaltung der IP-Adresse eine entscheidende Bedeutung innerhalb des soziotechnischen Netzwerks zur Lokalisierung und Adressierung einnimmt. Innerhalb der IP-Adresse ist nämlich die notwendige technische Lokalisierung für die Datenübertragung sowie die notwendige soziale Verortung von Technik innerhalb des Aufbaus der IP-Adresse eingeschrieben. In Anlehnung an die ANT (siehe Kapitel 5.2) zeigt sich dieser Übersetzungsprozess durch den Aufbau der IP-Adresse.

Innerhalb der Datenanalyse der Phase der Entwicklung des TCP/IP bis IPv5 zeigte sich, dass jede IPv4-Adresse aus einer festgelegten Zahlenabfolge in der Länge von 32 Bit besteht. Zudem beginnt jede IP-Adresse mit einer «network number» (Netzwerknummer), auf die eine «local adress» (Lokaladresse) folgt.

9.7.2.1.2.2 Quantifizierung und Limitation durch die Gesamtanzahl bereitgestellter IP-Adressen durch das IPv4

Anhand der Zeichenlänge kann die maximale Anzahl der bereitgestellten IP-Adressen durch das IPv4 ausgedrückt werden. Demnach stellt das IPv4 über 4 Milliarden IP-Adressen (4.294.967.296) bereit. Diese Gesamtzahl konnte durch eine komplexe Darstellung in einer Datensequenz in RFC 791 (1981) abgeleitet werden.

Zugleich bedeutet diese Quantifizierung durch die Gesamtanzahl der bereitgestellten IP-Adressen jedoch eine technologische Limitation des Netzwerks. Es können insgesamt «nur» ca. 4,2 Milliarden Endgeräte an das «interconnected network» (Internet) angeschlossen werden.

9.7.2.1.2.3 Address Mapping – Differenzierung des Adressraums des IPv4 zur Adressvergabe

Es konnte eine Differenzierung des bereitgestellten Adressraums durch das Address Mapping und dessen Konzept zur Adressvergabe identifiziert werden. Durch das «Address Mapping» (RFC 796 und Postel 1981, 1) wurden hierzu verschiedene Klassen innerhalb des Adressraums des IPv4 definiert. Demnach erhalten Computernetzwerke durch eine hierarchische Differenzierung unterschiedliche Klassen (class A–C). Die IP-Adressen wurden im RFC 791 für die Vergabe differenziert und drei hierarchisch differenzierten Unterklassen zugeordnet.

Zur weiterführenden Erläuterung wird innerhalb des RFCs 791 auf das «Address Mapping» verwiesen, welches in RFC 796 ebenfalls im September 1981 von Jon Postel veröffentlicht wurde und die Adressvergabe weiterführend erklärt (vgl. RFC 796 und Postel 1981).

9.7.2.1.2.4 Protocol Layering als Ausdruck technologischer Komplexität

Darüber hinaus wurde innerhalb der Phase der Entwicklung des TCP/IP bis IPv5 das *Protocol Layering* entwickelt. Anders als das Layering Modell in der Phase der Entstehung des Internets-ARPANETs dient das Protocol Layering nicht zur Reduzierung von sozialer und technologischer Komplexität (siehe Kapitel 9.2.2.4).

Vielmehr zeigt es die Komplexität innerhalb der Kommunikationsprotokolle auf und macht auf deren Vernetzung aufmerksam. Dazu stellt es diese durch Differenzierung einzelner Schichten und deren wechselseitige Beeinflussung dar. Insofern zeigt es durch strukturelle Differenzierung der Schichten technologische Komplexität auf. Somit ist die technologische Komplexität in das Protocol Layering eingeschrieben.

9.7.2.1.2.5 *Räumliche Ausbreitung und technische Ausweitung*

Durch die Komplettumstellung der Infrastruktur des ARPANETs im Jahr 1983 wurden alle Host Rechner auf die neue Vernetzungstechnologie zur Datenübertragung und Vernetzung mittels der Einführung des TCPv4/IP4 umgestellt.

Das bedeutet, dass alle Bestandteile des Netzwerks umgestellt worden sind. Im Umkehrschluss heisst es aber auch, dass alle Netzwerkkomponenten, die nicht auf das TCPv4/IP4 umgestellt wurden, vom Computernetzwerk des ARPANETs ausgeschlossen wurden, da die Host-Rechner nur noch mittels dieser Technologie miteinander kommunizieren konnten.

Da es zu dieser Zeit keine umfassenden Netzwerkkarten mehr gab, die die Gesamtstruktur des Computernetzwerks darstellten, lassen sich diese Entwicklungen – im Unterschied zu den Vorläufertechnologien – nicht mehr anhand der Anzahl der Netzwerkknotenpunkte ausdrücken. Es ist jedoch davon auszugehen, dass keine Netzwerkknoten durch die Komplettumstellung ausgeschlossen wurden, da die Umstellung als erfolgreich deklariert wurde. Letzteres zeigte auch die eingangs zitierte Datensequenz von Anfang Januar 1983 im TCP/IP Digest.

9.7.2.1.3 *Technikdiffusion*

Dem Ergebniskapitel ist zu entnehmen, dass es zu einer Diffusion der Vernetzungstechnik seitens kommerzieller Netzwerkanbieter:innen kam.

Dies zeigte sich im Analysekapitel anhand der Ausweitung des BBN und seiner Transferleistungen bei der Implementierung des TCPv4/IPv4 auf neuen Hardwareinstanzen sowie bei den vielen Akteur:innen, die das TCP/IP implementierten. Darüber hinaus konnten innerhalb des TCP/IP Digests auch neue Netzwerkentwickler:innen identifiziert werden. Diese werden noch unter dem Punkt *Entwickler:innen* (siehe Kapitel 9.7.3) dargestellt werden.

9.7.2.1.4 *Technologische Anschlussfähigkeit durch Interoperabilität von Infrastrukturtechnologien*

Die Interoperabilität von Infrastrukturtechnologien ist ein entscheidendes Moment für die Entwicklung und Ausbreitung des soziotechnischen Netzwerks. Innerhalb der Phase der Entwicklung des TCP/IP bis IPv5 stellte sich diese Notwendigkeit insbesondere dadurch dar, dass die unterschiedlichen Host-Computer innerhalb des Computernetzwerks miteinander interoperieren müssen, um kommunizieren zu können.

Das heisst, für die Kommunikation der unterschiedlichen technologischen Netzwerkbestandteile sind Kommunikationsprotokolle notwendig, die den Datenaustausch sowie die Adressierung innerhalb des Computernetzwerks regeln. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass ohne ein funktionsfähiges Kommunikationsprotokoll kein interconnected network entstehen kann. Somit ist Interoperabilität

Bedingung für Vernetzung in Computernetzwerken, indem sie die technologische Anschlussfähigkeit herstellt. Wie in den zuvor untersuchten Phasen scheint auch die Anschlussfähigkeit ein zentrales Charakteristikum soziotechnischer Infrastruktursysteme zu sein.

9.7.2.1.5 Technologische Stabilisierung

Das wohl bedeutendste Moment der Phase der Entwicklung des TCP/IP bis IPv5 (TP/IX) ist die Stabilisierung des soziotechnischen Netzwerks durch Technik.

Nach der Komplettumstellung des IPv4s im Jahr 1983 war das interconnected Network (kurz: Internet) für lange Zeit hinsichtlich seiner verwendeten Infrastrukturtechnologien stabil. Die Protokolle zur Datenübertragung und Adressierung wurden also lange Zeit unverändert im soziotechnischen Netzwerk verwendet. Insofern war zu dieser Zeit das IPv4 innerhalb des soziotechnischen Netzwerks Konsens und alternativlos bis zur Entwicklung des IPv6 im Jahr 1995 mit der Spezifikation RFC 1883 gültig.

Zugleich war diese technologische Stabilisierung in Verbindung mit der Komplettumstellung essenziell für die Stabilisierung, Etablierung und Ausbreitung des soziotechnischen Systems. Entsprechend ist zu eruieren, ob sich seitens der Weiterentwicklung des soziotechnischen Netzwerks durch das IPv6 ein Momentum für das IPv4 ausbildet (Kapitel 9.8).

9.7.2.2 Soziale und organisationale Veränderungen im Internet

In der Phase der Entwicklung des TCP/IP bis IPv5 (TP/IX) gab es zentrale soziale und organisationale Veränderungen innerhalb des soziotechnischen Netzwerks. Diese betrafen insbesondere die Entwickler:innen durch die Neueinrichtung eines Austauschmediums, dem TCP/IP Digest, die Lokalisierung von Netzwerkbestandteilen durch das IPv4 sowie durch die Reduzierung von Unsicherheit mittels Checksums.

Im Folgenden führe ich zunächst die Entwicklung des TCP/IP Digest aus, welches für die Entwickler:innen ein informelles Austauschmedium etablierte.

9.7.2.2.1 Das TCP/IP Digest – informelles Austauschmedium

Das TCP/IP Digest stellt in der Phase der Entwicklung des TCP/IP bis IPv5 (TP/IX) ein zentrales Austauschmedium dar. Es wurde ad hoc als Mailing Liste eingerichtet und im Lauf der weiteren Entwicklung des soziotechnischen Netzwerks zu einem zentralen Austauschmedium.

Innerhalb des Analysekapitels legte ich dazu die Struktur des Digests dar und verwies auf die unterschiedlichen Inhalte. Diese betrafen Fragen der Implementierung, abschweifende Diskussionen sowie die Einforderung von Stellungnahmen beteiligter Entwickler:innen und konkrete Ankündigungen zur Umstellung auf das IPv4.

Insbesondere die verwendete Sprache verweist darauf, dass das TCP/IP Digest ein *informelles* Austauschmedium war. Entsprechend weist es Analogien zum «Flurfunk» auf, den wir aus dem Face-to-Face Arbeitsalltag kennen. Dies zeigt auch ein zentrales Differenzierungsmerkmal des TCP/IP Digest Mailing-Liste zu den RFCs auf.

RFCs wurden zwar im Ursprung als Austauschmedium genutzt, entwickelten sich im Fortlauf der Entwicklung des ARPANETs jedoch zum Dokumentationsmedium technologischer Entwicklungen und im späteren Verlauf zu Standardisierungspapieren. Demnach führen RFCs zu schliessenden Momenten im Entwicklungsprozess, indem sie durch Definition einer technologischen Spezifikation einen Entwicklungsprozess vorerst beenden.

Hingegen öffnet das TCP/IP Digest als Medium den Austausch innerhalb der Entwickler:innengemeinschaft und gegenüber den Anwender:innen, indem beide Seiten sich auf einer informellen Ebene offen austauschen und so gegenseitig von ihren Erfahrungen partizipieren können.

9.7.2.2 *Lokalisierung von Netzwerkbestandteilen durch Entwickler:innen mittels IP-Adresse*

Die Lokalisierung von Netzwerkbestandteilen war nicht nur für die technologischen Akteur:innen des soziotechnischen Netzwerks zentral, sondern auch für die beteiligten sozialen Akteur:innen, denn die Lokalisierung der Netzwerkbestandteile durch Adressierung mittels IP und der Ausgestaltung der IP-Adressen erleichtert auch den Entwickler:innen das Auffinden von Technologien innerhalb des Computernetzwerks.

Entwickler:innen können anhand der vorgeschalteten Nummer der IP-Adresse, welche das Netzwerk bezeichnet, und der lokalen Adresse des hinteren Teils innerhalb der IP-Adresse den genauen physischen Standort der absendenden Seite bestimmen.

Der logische Adressaufbau dient der Wiedererkennung und Lokalisierung von Hosts innerhalb eines Netzwerks. Demnach wissen die Entwickler:innen anhand der «Network Number», an welchem geografischen Ort sich die Netzwerkbestandteile befinden.

Ich erläuterte die Adressvergabe anhand der Analogie zu Telefonnummern, welche aus einer Vorwahl und einer Teilnehmer:innennummer bestehen. Oftmals wissen wir bereits anhand der Vorwahl, woher ein Anruf stammt. Entsprechend gestaltet sich auch das Auffinden von Netzwerkbestandteilen innerhalb des Internets.

Das Address Mapping als Adressvergabekonzept stellt eine weitere Differenzierung innerhalb des Internets/ARPANETs dar, welche durch hierarchische Klassifizierung von Gruppen das Netzwerk für die Entwickler:innen differenziert.

Dieses Beispiel verdeutlicht insbesondere die in Technik eingeschriebene Bedeutung der Lokalisierung für Entwickler:innen. Schliesslich ist die Klassifizierung des Address Mappings keine Notwendigkeit für die Vernetzung und das Auffinden der Technologien untereinander, sondern lediglich ein Differenzierungsmerkmal für Entwickler:innen.

Lokalisierung von Netzwerkbestandteilen durch Entwickler:innen mittels IP-Adressen scheint somit ein zentrales Charakteristikum innerhalb des soziotechnischen Netzwerks in der Phase der Entwicklung des TCP/IP bis IPv5 zu sein.

9.7.3 Entwickler:innen und Entwicklungsprozesse im ARPANET/Internet

In den Analysen zur Phase der Entwicklung des TCP/IP bis IPv5 konnte eine Ausweitung des Kreises der Anwender:innen festgestellt werden. Diese führte zu einer weiteren Ausdifferenzierung durch Abstraktion mittels des selektiven Kodierens der GTM. Insofern wurden Anwender:innen der ARPANET-Technologien selbst zu Netzwerkhersteller:innen.

9.7.3.1 Anwender:innen als Netzwerkhersteller:innen

Im vorherigen Zwischenfazit zur Phase der Frühgenese und Entwicklung des TCPs stellte ich heraus, dass Nutzer:innen mit fachlicher Expertise als Anwender:innen am soziotechnischen Netzwerk beteiligt waren. Diese Anwender:innen wendeten die Technologien des ARPANETs an und nutzten sie als Entwickler:innen mit fachlicher Expertise innerhalb ihrer Einrichtung.

Diese Anwender:innen der ARPANET-Technologien wurden in der Phase der Entwicklung des TCP/IP bis IPv5 jedoch zu eigenen Netzwerkhersteller:innen, indem ihre selbst installierten Netzwerke als Subnetze des ARPANETs so gross wurden wie das gesamte ARPANET in seinen Anfängen.

Durch die Komplettumstellung auf das TCPv4/IPv4 wurden weitreichend alle Subnetze des Internets/ARPANETs auf die neuen Kommunikationsprotokolle umgestellt. Zugleich zeigte sich dabei innerhalb des Analysekapitels, dass in der Phase der Entwicklung des TCP/IP bis IPv5 die technologischen Anwendungen des ARPANETs weiterführend in anderen Netzwerken adaptiert wurden, sich ausweiteten und eigene Vernetzungsprojekte analog zum ARPANET Projekt entstanden. Letzteres zeigte ich in den Analysen anhand der geschilderten Experimente von Bill Joy sowie durch den Soft- und Hardwarehersteller Tektronix.

Computernetzwerke in Organisationen weiteten sich die immer weiter aus, so dass die Netzwerke der Anwender:innen selbst so gross wurden wie die Netzwerkinfrastruktur des frühen ARPANETs. Folglich nutzen die Anwender:innen der ARPANET-Technologien die Entwicklungen und standardisierten Protokolle der ARPA, etablierten in ihren Einrichtungen jedoch ein eigenes Netzwerk und sind in diesem Kontext selbst zu Netzwerkentwickler:innen geworden. Dieses Spezifikum wird in

der weiteren Ergebnisdarstellung der Phase der Entwicklung des IPv6 noch von zentraler Bedeutung sein. Ich führe dies an späterer Stelle der vorliegenden Arbeit weiter aus.

9.7.3.2 Entwicklungsprozesse

Für die Entwicklungsprozesse zeigte sich, dass die Spezifikationen des TCPv4 sowie IPv4 jeweils vom Leiter der INWG, Jon Postel, als RFC publiziert wurden. Darin wurde jeweils auf weitere Entwickler:innen verwiesen, die als Entwickler:innengemeinschaft am Entwicklungsprozess der Technologie sowie dessen Dokumentation und Standardisierung mittels RFCs beteiligt waren.

9.7.4 Strategien und Charakteristika im Umbau des ARPANETs zum Internet

In der Phase der Entwicklung des TCP/IP bis IPv5 waren einige Entwicklungen innerhalb des soziotechnischen Netzwerks für die vorliegende Arbeit zentral in dem Sinne, dass es sich bei ihnen um Strategien und Charakteristika innerhalb des Umbauprozesses des ARPANETs zum interconnected Network (kurz: Internet) durch flächendeckende Einführung des TCPv4/IPv4 handelte.

Im Folgenden stelle ich zunächst die zentrale Umbaustrategie in der Phase der Entwicklung des TCP/IP bis IPv5 dar und abstrahiere identifizierte Folgen innerhalb der Komplettumstellung des Netzwerks auf das TCP/IPv4. Anschliessend führe ich weitere bezeichnende Charakteristika für die Phase der Entwicklung des TCP/IP bis IPv5 aus.

9.7.4.1 Verfolgte Umbaustrategie – terminierte und hierarchisch angeordnete Umstellung auf das TCPv4/IPv4

Die terminierte Umstellung des ARPANETs zum Internet stellte die zentrale Umbaustrategie in der Phase der Entwicklung des TCP/IP bis IPv5 dar. Dieser wurde im TCP/IP Digest mit 14 Monaten Vorlaufzeit im Jahr 1981 verkündet und erfolgte am 01.01.1983.

Der Umbau der Internetinfrastruktur erfolgte somit in einem 14 Monate andauernden Prozess, indem nach und nach alle Subnetze des ARPANETs eigenverantwortlich auf das TCPv4/IPv4 umgestellt wurden. Die endgültige Umstellung des Netzwerks der ARPA verlief erfolgreich. Ich legte dies anhand entsprechender Datenssequenzen aus dem TCP/IP Digest dar.

Insgesamt zeigte sich an der Ankündigung der Umstellung durch Jon Postel, Leiter der INWG der ARPA, dass dieser Prozess politisch initiiert war. Der Prozess wurde hierarchisch strukturiert und administrativ angekündigt und durchgeführt, indem die ARPA das ARPANET umstellte, wodurch Anschlusskommunikationen mit anderen Subnetzen nur noch mittels des TCPv4/IPv4 erfolgen konnten. Er erfolgte insofern in Ausführung einer «Top-down» Strategie.

Letzteres erhöhte den Druck auf die Anwender:innen und Netzwerkhersteller:innen der Subnetze, da diesen bewusst war, dass sie ohne Umstellung auf das TCPv4/IPv4 ab dem 01.01.1983 von der Kommunikation im Gesamtnetzwerk abgeschnitten sein würden.

Dies wurde im Ergebniskapitel insbesondere anhand verschiedener Diskussionen zum Umbauprozess im TCP/IP Digest dargelegt.

So wurde die Dringlichkeit der Umstellung durch die Deadline stark erhöht und zugleich die Verbreitung der Technologien des TCPv4/IPv4 rasant beschleunigt. Somit war die Umbaustrategie durch Terminierung einer Gesamtumstellung funktional für den Umbau der Infrastruktur, indem dieser zu einer flächendeckenden Verbreitung im Gesamtnetzwerk führte.

9.7.4.1.1 Folgen des Umbaus

In den zuletzt genannten Schilderungen zur Umbaustrategie wurden bereits Folgen des Umbaus der Internetinfrastruktur benannt. Diese lassen sich weiterführend differenzieren, da sie zum einen die Technologien betreffen. Zum anderen ergeben sich jedoch durch die technologische Umstellung Folgen, die zu organisationalen Veränderungen führten.

9.7.4.1.1.1 Technologische und soziale Ebene

Auf der technologischen Ebene liess sich eine zentrale Folge des Umbaus der Internetinfrastruktur in der Phase der Entwicklung des TCPv4/IPv5 identifizieren. Diese betrifft die Kommunikationsmöglichkeiten der Technologien untereinander sowie die Kommunikationsmöglichkeiten der beteiligten sozialen Akteur:innen der Subnetze mit anderen sozialen Akteur:innen innerhalb des Gesamtnetzwerks.

9.7.4.1.1.1.1 Ein-/Ausschluss durch Nutzung/Nichtnutzung von Standards: Folgen für die Kommunikation der Technologien untereinander

Aufgrund der Komplettumstellung konnten nur noch Technologien untereinander kommunizieren, die das als DoD Internet Standard spezifizierte TCPv4/IPv4 verwendeten. Folglich konnten Computernetzwerke nicht mehr miteinander kommunizieren, die diese als konsensualen Standard bestehenden Protokolle nicht verwendeten.

Demnach beinhaltet der Umbauprozess als Folge der Umstellung Momente des Einschlusses und der Partizipation am Gesamtnetzwerk durch technologische Verwendung des TCPv4/IPv4-Standards sowie Ausschlussmomente durch Nicht-Nutzung der als DoD Standardprotokolle spezifizierten Technologien.

9.7.4.1.1.1.2 Ein-/Ausschluss durch Nutzung/Nichtnutzung von Standards: Folgen für die Kommunikationsmöglichkeiten sozialer Akteur:innen

Analog zu den Ein-/Ausschlussmomenten durch Nutzung/Nichtnutzung von Standards und deren Folgen auf die Kommunikation der Technologien untereinander wirkt sich der Umbauprozess durch die Komplettumstellung des Netzwerks auch auf die Kommunikationsmöglichkeiten der beteiligten sozialen Akteur:innen innerhalb des soziotechnischen Netzwerks aus, denn soziale Akteur:innen konnten nur noch über die technologische Infrastruktur miteinander kommunizieren, wenn diese auf TCPv4/IPv4 umgestellt war.

Demnach wirkte sich der Umbauprozess auch auf die Kommunikationsmöglichkeiten der sozialen Akteur:innen aus, indem diese durch Umstellung weiterhin befähigt waren, über das interconnected Network mit anderen sozialen Akteur:innen zu kommunizieren – oder aber diese von Kommunikationsmöglichkeiten durch Nichtumstellung technisch ausgeschlossen wurden.

9.7.4.1.1.2 Organisationale Veränderungen

Auch zeigten sich organisationale Veränderungen, die durch die Komplettumstellung des ARPANETs mittels TCPv4/IPv4 zu einem interconnected Network bedingt waren.

9.7.4.1.1.2.1 Verschiebung von staatlicher Verantwortlichkeit zur Eigenverantwortung der Netzwerkhersteller:innen als Subnetzwerkbetreiber:innen

Während der Umstellung des ARPANETs zum interconnected Network durch Einführung des IPv4 kam es zu einer Verschiebung der Verantwortlichkeiten innerhalb des soziotechnischen Netzwerks.

Der Umbau des staatlich geprägten ARPANETs zu einem interconnected Network brachte zugleich die Abgabe der Verantwortlichkeit der ARPA bezüglich der Entscheidung zur Einführung des IPv4 und dessen Funktionalität in den Subnetzen an die Netzwerkhersteller:innen mit sich, indem die Entscheidung zur Einführung durch diese getroffen und das IPv4 von diesen eigenverantwortlich innerhalb ihrer Netzwerkinfrastruktur eingeführt wurde. Insofern kam es durch den Top-down initiierten Umbau der Gesamtnetzwerkstruktur zu einer Verschiebung der Verantwortlichkeit im soziotechnischen Netzwerk, die sich von einer staatlichen Verantwortlichkeit seitens der DARPA innerhalb des ARPANETs zu einer Eigenverantwortlichkeit der Netzwerkhersteller:innen der Subnetze im interconnected Network vollzog. Folglich waren die Netzwerkhersteller:innen – bedingt durch die zuvor erläuterte Dringlichkeit des Umbaus zur Erhaltung der Anschlusskommunikation – an einem Umbau interessiert. Die Entscheidung, dies zu tun, oblag aber ihnen selbst und erfolgte insofern aus ihrer Eigenverantwortung als Subnetzwerkbetreiber:innen.

9.7.4.1.1.2.2 Umbenennung des TCP/IP Digests «Inter-Net»

Als Folge der Umstellung der Infrastruktur auf das TCPv4/IPv4 wurde das TCP/IP Digest durch Mike Muuss unbenannt und hiess ab Januar 1983 «Inter-Net Networking – Design and Impl[e]mentation Issues» (TCP/IP Digest 1982b, Vol.2 #1).

9.7.4.2 Charakteristika im Umbauprozess des IPv4

Darüber hinaus zeigte sich ein zentrales Charakteristikum im Umbauprozess des soziotechnischen Netzwerks. Im Umbauprozess der Internetinfrastruktur und in den Weiterentwicklungen des IPv4 zum IPv5 und IPv6 zeigten sich heterogene Interdependenzen zwischen beteiligten sozialen und technologischen Akteur:innen sowie den sich ausbildenden zeitlich räumlichen Strukturen des Computernetzwerks. Diese führten wiederum zur Stabilisierung, Etablierung und Ausbreitung des soziotechnischen Netzwerks.

9.7.4.2.1 Heterogene Interdependenzen sozialer und technologischer Akteur:innen mit zeitlich-räumlichen Elementen

Wechselseitige Abhängigkeiten innerhalb der Entwicklung, Ausbreitung und Entstehung des interconnected Networks in der Phase der Entstehung des TCP/IP bis zum IPv5 waren ein zentrales Moment im soziotechnischen Netzwerk. Sehr deutlich wurden die heterogenen Interdependenzen sozialer und technologischer Akteur:innen am Beispiel des Ein-/Ausschlusses durch Nutzung/Nichtnutzung von Standards (siehe 9.7.4.1.1).

Die reziproke Abhängigkeit zwischen Technologien wurde am Beispiel der Interoperabilität erläutert (siehe 9.7.2.1.3), ebenso die wechselseitige Abhängigkeit am Beispiel der Entwicklung des TCPs und dessen Verbindung und Abhängigkeit vom IP (siehe 9.7.1.1.1.1).

Auch zeigten sich Interdependenzen seitens der technischen Adressierung mittels des Internetprotokolls (IPv4) und sozialen Akteur:innen sowie der räumlich-geografischen Verortung von Teilen des Gesamtnetzwerks. Exemplarisch demonstrierte sich dies am Beispiel der Ausgestaltung der IP-Adressen und des Address Mappings (siehe 9.7.2.1.2.5) sowie der Lokalisierung von Netzwerkbestandteilen durch Entwickler:innen mittels der IP-Adressen (siehe 9.7.2.2.2).

Schliesslich zeigte auch das Protocol Layering (siehe 9.7.2.2.4) technologische Wechselwirkungen. Durch das Modell des Protocol Layerings konnte eine Darstellungsform der Entwickler:innen technologische Komplexität ausdrücken.

Stabilisierung, Etablierung und Ausbreitung des soziotechnischen Netzwerks

Insgesamt zeigte sich, dass die Protokolle die meistverwendeten Kommunikationsprotokolle für den Datentransport/Adressierung im so entstandenen interconnected Network (kurz: Internet) wurden. Dies geschah infolge der zuvor benannten technologisch bedingten Neuerungen und organisationalen Veränderungen durch das TCPv4/IPv4 sowie die Komplettumstellung des Gesamtnetzwerks.

Die Gesamtheit beteiligter Akteur:innenkonstellationen sowie deren Wirkungen und heterogene Interdependenzen innerhalb des Computernetzwerkes waren somit entscheidend für die Stabilisierung, Etablierung und Ausbreitung des soziotechnischen Netzwerks.

9.7.4.2.2 Folgeentwicklungen IPv5/ IPv6

Es zeigte sich im Analyseprozess, dass bereits im Jahr 1989 – als Folge der enormen geografischen und technologischen Ausweitung des Gesamtnetzwerks – der maximal vom IPv4 zur Verfügung gestellte Adressraum von ca. 4 Milliarden Adressen als Limitation des Netzes wahrgenommen wurde. Dies begründete ich anhand der Quantifizierung der IP-Adressen (siehe 9.7.2.1.1.1).

Infolgedessen wurde eine Weiterentwicklung des Internetprotokolls seitens der ARPA fokussiert, die «IP Next Generation» angeregt sowie durch den Entwickler Ullmann im Jahr 1993 mit dem RFC 1475 als TP/IX spezifiziert. TP/IX stellte demnach Version 5 des Internetprotokolls dar und wurde vom 1995 standardisierten IPv6 (vgl. RFC 1883 u. a. 1995) abgelöst.

Diese Wahrnehmung der Limitation der Technologie des IPv4 ist demnach auch Motivation für die Weiterentwicklung des Internetprotokolls gewesen. Zugleich konnte die Limitation von den Entwickler:innen erst durch die räumliche Ausweitung des Computernetzwerks wahrgenommen werden, da erst dadurch die zunächst grosse Anzahl von 4 Milliarden IP-Adressen zunehmend als weniger gross wahrgenommen wurde.

9.8 Die Rekonstruktion des Internetprotokolls: Internet Protocol Version 6 (IPv6)

In diesem Teilkapitel werde ich die Entwicklung des IPv6 als neuste Version des Internetprotokolls rekonstruieren und insbesondere den Einführungsprozess dieser Programmversion beschreiben.

Im Unterschied zu den zuvor rekonstruierten Entwicklungen in der Historie des Internets am Beispiel der Entstehung des ARPANETs sowie der Rekonstruktion der Vorläufertechnologien des IPv6 anhand des TCPs und des TCP/IP bis zum IPv5 (TP/IX) werden innerhalb dieses Ergebniskapitels nicht nur Datenssequenzen aus Mailinglisten, RFCs und Berichten enthalten sein, sondern auch, wie am Anfang von Kapitel 9 aufgelistet, auch Ausschnitte aus neun Interviews zur Rekonstruktion der

Akteur:innenkonstellationen, Charakteristika und verfolgter Strategien hinzugezogen. Darüber hinaus werde ich Statistiken zur Verbreitung des IPv6 hinzuziehen, welche die Nutzung dieses Protokolls darstellen, sowie Statements der Entwickler:innen des ARPANETs aufgreifen.

9.8.1 Grundlegende Informationen zum Standardisierungsprozess des Internet Protocols Version 6 (IPv6) und dessen Verbreitung

Im Folgenden stelle ich den Standardisierungsprozess des IPv6 sowie dessen Spezifizierungen zusammenfassend dar, benenne zentrale Migrationsleitfäden und Initiativen für die Verbreitung und gebe einen Überblick zum Verbreitungsprozess.

Das IPv6 stellt die Nachfolge des IPv4 dar. Bedeutendster Unterschied ist die nahezu unbegrenzte Anzahl von rund 340 Sextillionen IP-Adressen, welche das IPv6 zur Verfügung stellt (vgl. Schnabel 2014).

Das IPv6 wurde 1995 erstmalig durch die IETF im RFC 1883 (vgl. RFC 1883 u. a. 1995) standardisiert und bis 1998 weiterführend mit dem RFC 2460 spezifiziert (vgl. RFC 2460 u. a. 1998). Seither gab es bis zuletzt im Jahr 2014 weitere Änderungen. Diese betrafen allerdings nicht die zugrunde liegende zur Verfügung gestellte Anzahl von IP-Adressen oder die ursprünglichen zur Verfügung gestellten Funktionen des IPv6, sondern stellten kleinere Spezifikationen dar (vgl. dazu RFC 5095 u. a. 2007; RFC 5722, Krishnan, und Baker 2009; RFC 5871, Arkko, und Bradner 2010; RFC 6437 u. a. 2011; RFC 6564 u. a. 2012; RFC 6935 u. a. 2013; RFC 6946 u. a. 2013; RFC 7045 u. a. 2013; RFC 7112 u. a. 2014)

Letztere waren wie bspw. Spezifikationen zu «Routing Headers in IPv6» (RFC 5095 u. a. 2007, 1) oder «Implications of Oversized IPv6 Header Chains» (RFC 7112 u. a. 2014, 1). Letztere Spezifikationen weisen insbesondere auf die Notwendigkeit zur Erneuerung und Modifikation physischer Geräte hin, welche auch bereits im RFC 1883 (1995) und RFC 2460 (1998) aufgegriffen wurden. Demnach werden für das Routing Geräte (Router) benötigt, die das IPv6 unterstützen (vgl. RFC 1883 u. a. 1995, 4; sowie auch RFC 5095 u. a. 2007; RFC 5722, Krishnan, und Baker 2009; RFC 5871, Arkko, und Bradner 2010; RFC 6437 u. a. 2011; RFC 6564 u. a. 2012; RFC 6935 u. a. 2013; RFC 6946 u. a. 2013; RFC 7045 u. a. 2013; RFC 7112 u. a. 2014).

Weiterführend zeigt sich nach Sichtung der o.g. Spezifikationen (Stand: 02/2023), dass seitens der Entwickler:innen der IETF seit 2007 nahezu jährlich bis 2014 eine Spezifikation für das IPv6 vorgenommen worden ist. Ausserdem zeigt sich, dass seit 1998 keine essenziellen Änderungen der grundlegenden Funktionen des IPv6 Standards in der Urfassung von 1998 (RFC 1883 u. a. 1995; RFC 2460 u. a. 1998) unternommen worden sind (vgl. RFC-Editor 2023). Weiter zeigt sich, dass bereits seit 1998 mit dem Versuch der flächendeckenden Implementierung des IPv6 begonnen worden ist und verschiedene Migrationsstrategien verfolgt wurden (vgl. RFC 3449 u. a. 2002).

Die Einpassung in die bestehende Infrastruktur durch Umbau der Subnetze erweist sich jedoch aufgrund verschiedenartiger Probleme und Hemmnisse als äußerst schwierig, sodass noch immer Migrationsleitfäden wie «Guidelines for Using IPv6» (RFC 6180, Arkko, und Baker 2011) oder «Enterprise IPv6 Deployment Guidelines» (RFC 7381 u. a. 2014) entwickelt und seitens der IETF und der beteiligten Entwickler:innen als «Best Practices» verbreitet werden.

Weiter gibt es verschiedene Initiativen, die weltweit oder länderspezifisch insbesondere seit 2011 erfolgen und die Verbreitung des IPv6 vorantreiben sollen. Zu nennen ist insbesondere der World-IPv6 Day, welcher erstmalig am 8. Juni 2011 durch die Internet Society (ISOC) initiiert wurde («WorldIPv6Launch 2011» 2011).

Es zeigte sich jedoch, dass trotz Bemühungen seitens der Migrationsleitfäden und Initiativen zur Verbreitung auch die zunehmende Adressknappheit weltweit und die Vergabe der letzten zur Verfügung stehenden IP-Adressen des IPv4 des Réseau IP Européens Network Coordination Centre (RIPE) nicht zu einer vollständigen Umstellung von IPv4 auf IPv6 führen konnten (RIPE 2019c).

Letztere verkündete das RIPE, welches für die europäische IP-Adressvergabe verantwortlich ist, am 25.11.2019 mit der Meldung auf ihrer Homepage: «We have now run out of IPv4 addresses» (ebd.).

Auch ein Blick in die aktuelle IPv6-Statistik von Google-Statistik (2023) bestätigt, dass weltweit am 19.01.23 nur 38,62% aller Google-Zugriffe über das IPv6 erfolgten und auch innerhalb Europas die Verbreitung des IPv6 bei unter 50% liegt (vgl. Google-Statistik 2023). Demzufolge ist bis heute noch keine flächendeckende Umstellung des IPv4 auf das IPv6 erfolgt.

Allerdings lässt sich ein deutlicher Zuwachs seitens der Umstellung auf das IPv6 verzeichnen, welcher sich u. a. durch die vorliegende Erschöpfung der IPv4 Adressen erklären lässt. Abbildung 31 zeigt die weltweite IPv6-Durchdringung von 2008 bis Februar 2023.

Demzufolge zeigt sich insbesondere seit dem Jahr 2011 ein kontinuierlicher Zuwachs der Implementierung des IPv6 sowie eine Verdopplung der Einführungsquote des IPv6 in den letzten sechs Jahren (2017–2023).

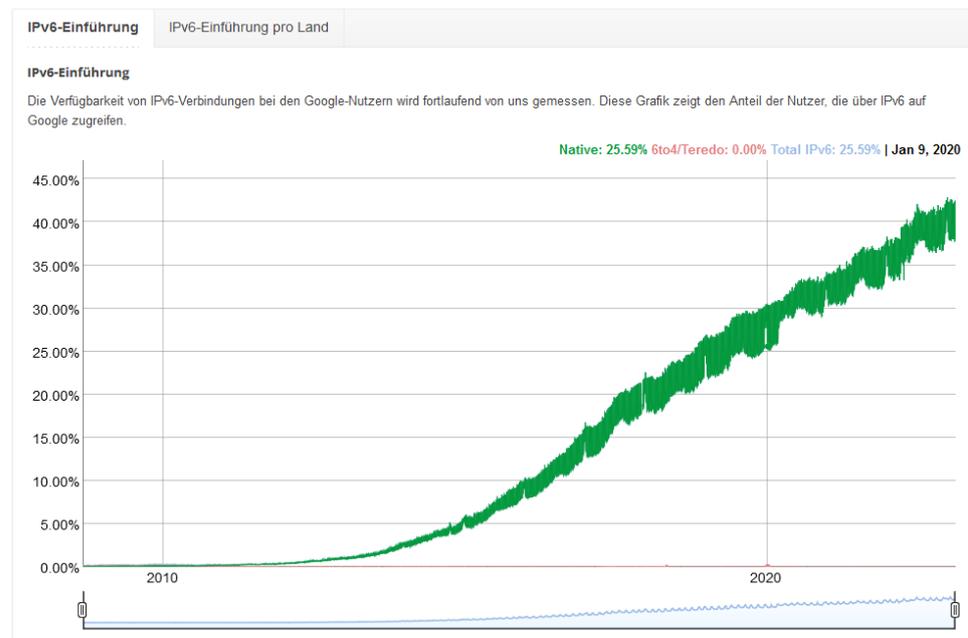


Abb. 31: IPv6 Einführung weltweit, 2008 bis Februar 2023 (Google Statistik 2023: IPv6 Statistik).

Nach dem Ansatz der GTS ist diese eingeschränkte Nutzung der technologischen Neuerung des IPv6 ein Hinweis auf ein Momentum innerhalb des bestehenden soziotechnischen Netzwerks, welches zu Beharrungstendenzen in diesem führt. Das erschwert wiederum eine Komplettumstellung des IPv4 auf das IPv6 (siehe dazu Kapitel 9.8.3).

Im Folgenden soll daher durch die Rekonstruktion des Entwicklungsverlaufs begründet werden, wie sich Entwicklungs- und Umbauprozesses gestalten. Daran anschliessend werden im Zwischenfazit Charakteristika und Strategien innerhalb der technologischen Phase identifiziert, die das soziotechnische System und dessen eingeschränkten Umbau erklären.

9.8.2 Die Rekonstruktion des Entwicklungsverlauf des Internet Protocols Version 6 (IPv6)

Im Folgenden rekonstruiere ich den Entwicklungsverlauf des IPv6 und stelle danach zentrale Strategien und Charakteristika im Umbauprozess der Internetinfrastruktur im Zwischenfazit dar (siehe dazu Kapitel 9.9).

Folgen wir der ersten zentralen Spezifikation des IPv6 von 1995 anhand von RFC 1883 (1995), so ist das IPv6 «designed as a successor to IP version 4 (IPv4) [RFC-791]» (vgl. RFC 1883 u. a. 1995, 3). Die IPv6-Spezifikation soll also insbesondere fünf zentrale Neuerungen mit sich bringen, die in einer identischen Form im RFC 2460 von 1998 aufgegriffen werden (vgl. RFC 2460 u. a. 1998, 2–3): 1. «Expanded Addressing

4. «Flow Labeling Capability» (RFC 1883 u. a. 1995, 3)

Flow Labeling beschreibt im IPv6 eine Neuentwicklung innerhalb des Protokolls. Dazu wird ein Feld im IP Header des IPv6, namens «Flow Label» eingefügt, welches dem Router erlaubt, Datenpakete nach Priorität zu bearbeiten, um beispielsweise «real-time service» (ebd., 3) zu ermöglichen (vgl. ebd., 28). Das Flow Label Feld ist in Abbildung 33 ersichtlich.

Demzufolge wird in der Datensequenz das «Flow Labeling» als eine technologische Neuerung innerhalb des IPv6 beschrieben.

5. «Authentication and Privacy Capabilities» (RFC 1883 u. a. 1995, 3)

Schliesslich bietet das IPv6 Erweiterungen zu Datenschutz und Authentifizierung an (vgl. ebd.).

Anhand dieser fünf Kategorien werden zum einen auf technologischer Ebene die Neuerungen des IPv6, zum anderen die Modifikationen – Erweiterungen oder Reduzierungen – der IPv6-Technologie gegenüber IPv4 ersichtlich. Darüber hinaus wird der Zweck der Entwicklung des IPv6 deutlich, indem das IPv6 als «successor» (Nachfolger) des IPv4 bezeichnet wird.

Die technologische Beschreibung des IPv6 erbringt eine Vielzahl von Verbesserungen und Vereinfachungen, die den Mehrwert der IPv6 Spezifikation im Vergleich zum IPv4 beschreiben.

Dies wird durch die Ausdrucksweise als Vergleich und die Verwendung von Adjektiven innerhalb der Datensequenz unterstützt, indem Begriffe wie «a much greater number of addressable nodes», «simpler auto-configuration of addresses», «more efficient forwarding», «less stringent limits» (ebd.) verwendet werden.

9.8.3 Migrationsstrategien und Initiativen zur Verbreitung des IPv6

Im Folgenden schildere ich Migrationsstrategien und Initiativen, die zur Verbreitung des IPv6 verfolgt wurden. Dazu stelle ich die Inhalte der Migrationsstrategien anhand unterschiedlicher Migrationsleitfäden vor und stelle entlang dieser Quellen Charakteristika bei der Planung und Einführung des IPv6 heraus, die zur Verbreitung des IPv6 von unterschiedlichen Akteur:innen innerhalb des soziotechnischen Netzwerks führen sollten.

Darüber hinaus stelle ich Initiativen zum IPv6 dar, die die Verbreitung des Protokolls seitens der Entwickler:innen der Subnetze des Internets betreiben sollten.

9.8.3.1 Migrationsstrategien

Infolge der Ausbreitung des Internets und seiner Anwendungsgebiete wurden bereits in den 1990er-Jahren Versuche unternommen, die Einführung des IPv6 zu forcieren, um der Adressknappheit zu begegnen sowie den Mehrwert der neueren Technologie nutzen zu können.

So erfolgten erste Migrationen bereits drei Jahre nach der Spezifikation des IPv6 (RFC 1883 u. a. 1995) im Jahr 1998 seitens der IETF, indem diese das IPv6 innerhalb von Subnetzen des ARPANETs in Testumgebungen einführte und eine erste Migrationsstrategie zur flächendeckenden Verbreitung des IPv6 mit Veröffentlichung des RFC 3449 durch die NWG unternommen wurde (vgl. RFC 3449 u. a. 2002).

Trotz der Definition von Richtlinien zur Einführung des IPv6 erfolgte die Einpassung in die bestehenden Subnetze – der Infrastruktur des Internets – jedoch nur schleppend und noch immer ist die Umstellung auf das IPv6 nicht flächendeckend erfolgt (vgl. Abbildung 31).

Infolgedessen wurden immer wieder «Guidelines» zur Nutzung des IPv6 und dessen Einführung im Sinne von Migrationsstrategien entwickelt. Diese thematisieren die Notwendigkeit der Umstellung, indem sie auf das weitere Wachstum der Internetinfrastruktur und die Adressknappheit des IPv4 verweisen: «The Internet continues to grow beyond the capabilities of IPv4» (RFC 6180, Arkko, und Baker 2011, 1). Dabei stellen sie heraus, dass sich Entwickler:innen weltweit in unterschiedlichen Phasen der Einführung des IPv6 befinden: «Enterprise network administrators worldwide are in various stages of preparing for or deploying IPv6 into their networks» (RFC 7381 u. a. 2014, 1).

Beide Zitate stehen exemplarisch für eine Vielzahl weiterer Datenquellen der Interview- und Dokumentenanalysen und zeigen zwei zentrale Charakteristika innerhalb der technologischen Entwicklung und Einführung des IPv6 (RFC 1886 u. a. 1995; RFC 2893 u. a. 2000; RFC 5095 u. a. 2007; RFC 5722, Krishnan, und Baker 2009; 2009; RFC 6180, Arkko, und Baker 2011; RFC 7381 u. a. 2014; RIPE 2019c; «WorldIPv6Launch 2011» 2011).

Sie referieren auf:

1. den Anlass und die Gründe für die Einführung des IPv6 und
2. die Prozesshaftigkeit der Einführung des IPv6.

Diese beiden Charakteristika führe ich im Folgenden aus. Dazu rekonstruiere ich zunächst den *Anlass für die Entwicklung* und die Gründe, welche ich anhand der Kategorien Zeit, Arbeitsaufwand und Kosten differenziere.

Danach rekonstruiere ich die *Prozesshaftigkeit der Einführung* des IPv6, indem ich ein zentrales Modell der IETF zur Einführung und zu Umbaustrategien anderer beteiligter Akteur:innen darstelle.

9.8.3.1.1 *Der Anlass und die Gründe für die Einführung des IPv6*

Als Anlass für die Notwendigkeit der Einführung des IPv6 wird in einer Vielzahl der untersuchten RFCs auf die Adressknappheit verwiesen. Diese wird innerhalb der analysierten Dokumente als Kapazitätsproblem des IPv4, der Limitierung von Adressen, durch eine Adressknappheit oder einen Zustand der Erschöpfung von Internetadressen bezeichnet (vgl. RFC 1883 u. a. 1995; RFC 2460 u. a. 1998; RFC 5095 u. a. 2007; RFC 5722, Krishnan, und Baker 2009; RFC 5871, Arkko, und Bradner 2010; RFC 6437 u. a. 2011; RFC 6564 u. a. 2012; RFC 6935 u. a. 2013; RFC 6946 u. a. 2013; RFC 7045 u. a. 2013; RFC 7112 u. a. 2014)

Die Adressierung der «Adressknappheit» zeigt sich auch in den Interviews, z. B.: «Wir haben ne begrenzte Anzahl von IP-Adressen» (Interview 5: 534–535). Oder es werden Beispiele für die Adresserschöpfung in anderen Ländern genannt und die Adressknappheit explizit als Grund der Verbreitung des IPv6 im Bereich der Telefondiensteanbieter benannt: «[G]erade im Pazifik und afrikanischen Raum, glaube ich, gibt es ja schon gar keine neuen IPv4 Adressen mehr» (Interview 2: 122–123). In Interview 3 wurde dazu Folgendes gesagt: «[d]adurch, dass einfach ja die IPv4 Adressen knapp werden, man sieht's bei Telekommunikationsanbietern, die mittlerweile nur noch IPv6 wirklich verteilen» (Interview 3: 709–712).

Weiterführend wird die «Adressknappheit» in den Dokumentenanalysen und insbesondere in den RFCs in Korrelation mit der Ausweitung der Internetinfrastruktur adressiert, wie in RFC 6180 (2011, 1) beschrieben. Die Fraunhofer Fokus Arbeitsgruppe beruft sich in ihrem Leitfaden für das Bundesverwaltungsamt auf den Adressbedarf, etwa für Smart-Home-Konzepte:

«Mit dem steigenden Adressbedarf für alle Klein- und Großgeräte, vom Sensor über Smartphones bis zur Waschmaschine, die über IP-Netze kommunizieren müssen, verschärft sich das Problem der zur Neige gegangenen IPv4-Adressräume» (Bundesverwaltungsamt u. a. 2013, 7).

Auch wird neben dem Mehrwert der technologischen Neuerungen, die ich bereits im Kapitel 9.8.2 anhand der technologischen Funktionen des IPv6 darlegte, auf einen «Migrationszwang» verwiesen: «Es gibt einen Migrationszwang, der auf die jetzt schon (in Asien) nicht mehr verfügbaren IPv4-Adressen zurückführen ist» (Bundesverwaltungsamt u. a. 2013, 7).

Den Mehrwert der IPv6 Technologie thematisieren auch die Interviewpartner:innen entlang einiger neuer Funktionen des IPv6 (siehe Kapitel 9.8.2).

Dabei ist ein zentrales Thema innerhalb der Interviews der Datenschutz und die «Netzsicherheit» (Interview 3: 408) sowie die bereitgestellten Möglichkeiten der Authentifizierung von Daten durch das IPv6 (vgl. Interview 4: 939–941).

Die dargestellten Mehrwerte innerhalb der technologischen Standardisierungspapiere sowie die dargestellten und zum Teil erlebten Mehrwerte des IPv6 innerhalb der Interviews stellen zudem einen Anreiz für die Einführung des IPv6 seitens der Entwickler:innen als Netzwerkhersteller:innen der Subnetze dar (vgl. Interviews 2, 3, 4, 6, 7, 8).

Darüber hinaus werden von der IETF die Gründe für den Umbau der Internetinfrastruktur als heterogen und einzigartig für die Netzwerkhersteller:innen der Subnetze eingestuft: «The business reasons for spending time, effort, and money on IPv6 will be unique to each enterprise» (RFC 7381 u. a. 2014, 4). Das Zitat verweist implizit auf anfallende *Zeit, Mühe und Geld*, die die Einführung des IPv6 verursacht (vgl. ebd.).

Diese drei Momente im Umbau der Internetinfrastruktur durch die Einführung des IPv6 werden auch seitens der Interviewpartner:innen umfänglich und zugleich in heterogener Art und Weise thematisiert (vgl. Interviews 1–9). Ich führe diese drei Momente weiterführend aus.

Zeit, Mühe und Geld stellen im Analyseprozess des IPv6 zentrale Kategorien dar, mit denen der Umbau der Internetinfrastruktur funktional bzw. dysfunktional strukturiert wird, d. h. mit denen der Umbau durch Einführung des IPv6 gefördert oder gehemmt wird.

Zum Argument der *Zeit* wird in unterschiedlichen Kontexten der Interviews auf die Notwendigkeit zeitlicher Ressourcen für die Einführung des IPv6 verwiesen und werden mangelnde zeitliche Ressourcen als möglicher Hinderungsgrund für die Einführung des IPv6 angeführt (vgl. ebd.).

Letzteres zeigt sich wie folgt im Datenmaterial: «Also wen-wenn jemand selber keine Zeit hat oder keine Motivation hat, es gibt ja beides, sich damit zu beschäftigen, dann-dann fliegt es halt auch nicht» (Interview 8: 788–790).

Demnach können Zeit und Motivation Gründe der Nichteinführung des IPv6 sein.

Die Einführung des IPv6 ist auch mit Mühe und Arbeitsaufwand verbunden, welcher wiederum zeitliche Ressourcen in Anspruch nimmt.

Innerhalb der Interviews drückt sich Arbeitsaufwand u. a. durch den Planungsbedarf der Umstellung auf das IPv6 sowie durch die Beschreibung des Parallelbetriebs des IPv6 mit dem IPv4 (Dual-Stack Betrieb) aus.

Der Planungsbedarf wird innerhalb aller Interviews benannt, u. a. in Bezug auf die Planung der Beschaffung von Hardware (vgl. Interview 4: 623) und Adresskontingenten (vgl. Interview 5: 679–681), welche im Vorfeld der IPv6 Einführung erfolgen muss, sowie seitens der IP-Adresse des IPv6, die eine Planung von Adressvergabe-konzepten notwendig macht (Interview 2: 645–649). Darüber hinaus werden Abläufe für die Einführung des IPv6 beschrieben und innerhalb dieser wird auch auf Charakteristika seitens der Entwickler:innen verwiesen:

«In der Form, dass man zukünftige Geräte kauft, die schon IPv6 tauglich sind, auch wenn man IPv6 noch gar nicht einsetzt oder das man sagt, dann und dann steht sowieso eine größere Umstrukturierung an, ab da berücksichtigen wir dann auch v6» (Interview 4: 623–626).

In diesem Zitat werden Merkmale einer Entwickler:in beschrieben, die auf Kompetenzen des unternehmerischen Handelns verweisen. So belegt der Kauf IPv6-fähiger Geräte, obwohl diese noch nicht genutzt werden (können), Zukunftsorientierung und strategische Planung. Dies berührt zugleich die Wirtschaftlichkeit, indem die IPv6-Fähigkeit bei Neuanschaffung mitgedacht wird und insofern nicht nochmals erfolgen muss. Auch findet eine Bezugnahme auf Projektplanung und Terminierung statt, welche die strategische Planung und Beschaffung von Geräten erst ermöglicht, indem grössere zukünftige Umstrukturierungen bedacht werden bzw. «im Hinterkopf» sind.

Weiterführend verweisen alle Interviews auf einen Arbeitsaufwand, der durch den Dual-Stack Betrieb entsteht (vgl. Interviews 1–9).

Zugleich wird durch die Beschreibung des Dual-Stack Betriebes eine entscheidende Umbaustrategie benannt, die innerhalb aller Interviews (1–9) wie auch in technologischen Spezifikationen aufgeführt wird. Insbesondere RFC 4241 aus dem Jahr 2005 thematisiert «[a] Model of IPv6/IPv4 Dual-Stack Internet Access Service» (RFC 4241 u. a. 2005, 1).

Mit dem Dual-Stack Betrieb erfolgt keine Komplettumstellung des Subnetzes einer Netzwerkhersteller:in, sondern das IPv6 wird als parallele Netzwerkinfrastruktur eingeführt. Dies führt dazu, dass zwei technologische Infrastrukturen parallel betrieben werden müssen. Das heisst Wartung, Überwachung etc. erfolgen doppelt (vgl. ebd., 2ff.).

Somit führt das IPv6 durch die infrastrukturelle Veränderung des Dual-Stack Betriebes und den damit verbundenen Parallelbetrieb der Protokolle zu einem Mehraufwand: «v6, wird prinzipiell, zieht einen erhöhten Aufwand für eine gewisse Zeit mit sich» (Interview 4: 630–633). Zugleich wird der Mehraufwand als Hinderungsgrund für die Einführung des IPv6 dargestellt: «Das ist am Anfang schon bisschen gewöhnungsbedürftig, den Aufwand scheuen viele Leute.» (Interview 2: 194–196).

Seitens der *Kosten* der IPv6-Umstellung stellen sich die Meinungen in den Interviews unterschiedlich dar. Während einige Interviewpartner:innen diese als Hinderungsgrund für die Umstellung auf das IPv6 erleben, verweisen andere darauf, dass im Fall guter Vorausplanung keine Mehrkosten entstünden (vgl. Interview 1, 4, 5, 6).

Ersteres zeigt sich beispielhaft an der folgenden Sequenz. Hier wird auf die hohen Anschaffungskosten der Router referiert, welche für die Einführung des IPv6 notwendig sind: «Und das Problem bei, bei dieser, bei diesem Router (-), bei diesem Router-Ding dann, das sind Router. Die richtig Schweinekohle kosten. (3) Und sie nehmen dir den Platz weg in diesem Router-System» (Interview 6: 827–829).

Diese Datensequenz referiert auch auf die Grösse der Router, bezieht sich allerdings nicht auf die physisch räumliche Grösse, sondern auf die digitale Einnahme von *Raum* in der Infrastruktur eines Subnetzwerkes (vgl. ebd., 829ff.).

Aufkommende Kosten werden mit der Notwendigkeit der Umstellung auf das IPv6 abgewogen und durch diese relativiert: «[D]ie Kosten sind jetzt nicht besonders herausgehoben, sondern es ist eher so, dass man sagt: Okay, wenn es denn nötig ist, also Geld hat man ja sowieso keins, aber wenn es nötig ist, dann muss man es halt machen» (Interview 4: 1604–1607).

Demnach ist die Einführung an den Nutzen der Technologie gekoppelt. Wird dieser Nutzen als entsprechend hoch empfunden, wird der Umbau zum IPv6 trotz entstehender Kosten vorgenommen.

Die Interviewpartner:in Nr. 1 verweist auf die Vorausplanung der Umstellung auf das IPv6, wodurch im Fall der Netzwerkinfrastruktur der Interviewpartner:in (aktuell) keine Mehrkosten entstehen, da Geräte bereits «IPv6-fähig» sind: «Also wir werden mit Sicherheit nicht ein Euro mehr ausgeben, weil wir IPv6 machen. Weil wir (--). Es ist ja nicht so, dass wir morgen IPv6 machen und wir haben erst vorgestern darüber angefangen nachzudenken. Sondern wir haben schon seit Jahren darauf geachtet, dass unsere Geräte IPv6 fähig sind» (Interview 1: 785–789).

Diese Datensequenz relativiert die Kosten, da sie durch strategische Planung bereits bedacht worden sind. In Interview Nr. 1 wird deutlich, dass Kosten kein Hinderungsgrund für eine Einführung des IPv6 im Kontext dieser Interviewpartner:in darstellen. Weiterführend zeigt die Sequenz einen erneuten Hinweis auf strategische Planung im Kontext unternehmerischen Handelns.

Insgesamt wird innerhalb der Dokumenten- und Interviewanalysen – insbesondere in den dargestellten Datensequenzen – im Kontext von Kosten, Zeit und Geld der Einführung und Planung des IPv6 deutlich, dass darin immer wieder Verweise auf die Planung und Einführung des IPv6 als ein Prozess vorgenommen werden oder wie im eingangs besprochenen Zitat, die Entwickler:innen in verschiedenen Phasen im Umbauprozess stehen. Demnach adressieren diese die Prozesshaftigkeit der Einführung des IPv6, welche ich nun weiter darstellen werde.

9.8.3.1.2 Prozesshaftigkeit der Einführung des IPv6

Das zweite Charakteristikum, welches innerhalb der Datenanalysen der Interviews und in einer Vielzahl von RFCs thematisiert wurde, ist die Prozesshaftigkeit der Einführung des IPv6.

Zunächst einmal zeigt sich innerhalb der Dokumentenanalysen, dass der Umbau der Subnetze nicht vom einen auf den anderen Tag erfolgen kann, sondern als Teil eines zeitlich länger gestreckten Prozesses erfolgt (vgl. RFC 1883 u. a. 1995; RFC 2460 u. a. 1998; RFC 6564 u. a. 2012; RFC 6946 u. a. 2013; RFC 7045 u. a. 2013; RFC 6180, Arkko, und Baker 2011; RFC 7381 u. a. 2014).

Dieser Perspektive schliesst sich auch explizit eine Entwickler:in der RIPE IPv6-Workinggroup an: «Man kann also nicht an einem Tag umstellen» (Interview 4: 633).

Zudem verweisen alle Interviews auf die Prozesshaftigkeit der Einführung, indem sie eine schrittweise Migration des Ipv6 beschreiben, die in einen Dual-Stack Betrieb mündet bzw. münden soll (alle Interviews ausser 3 und 5) oder die komplette Umstellung von Subnetzen auf IPv6 forciert (vgl. Interview 3, 5).

Darauf referieren auch die meisten Leitfäden zur Migration auf IPv6 seitens der an der Entwicklung, Standardisierung und Adressierung beteiligten Organisationen, z. B. der NWG des IETF (vgl. RFC 5211 und Curran 2008), der ISOC (vgl. ISOC 2019b) und des RIPE (vgl. RIPE Labs 2011). Sie alle verweisen auf die zeitliche Dauer des Einführungsprozesses des IPv6 innerhalb der Subnetze. In den Unterlagen wird dieser u. a. als «long-term» (RFC 7381 u. a. 2014, 5) oder «likely be long» (RFC 6180, Arkko, und Baker 2011, 3) beschrieben.

Weiterführend verweisen diese beiden Zitate ähnlich wie die Interviews auf Ablaufprozesse und Phasen innerhalb der Migration des IPv6 und entwickeln Einführungsmodelle (vgl. RFC 5211 und Curran 2008; RFC 6180, Arkko, und Baker 2011; RFC 7381 u. a. 2014).

Ein Modell zum Umbau der Internetinfrastruktur durch Einführung des IPv6 steht exemplarisch für diese zuvor beschriebene Prozesshaftigkeit und Dauer des Einführungsprozesses. Der RFC 5211 mit dem Titel «An Internet Transition Plan» beschreibt den Umbauprozess anhand des Ablaufs verschiedener Phasen (vgl. RFC 5211 und Curran 2008) und wird auch innerhalb des untersuchten Datenmaterials aufgegriffen (vgl. RFC 7381 u. a. 2014).

Ich stelle im Folgenden zunächst dieses Modell (vgl. RFC 5211 2008) (vgl. RFC 5211 und Curran 2008) als schrittweise Migrationsstrategie vor, die den Umbau im laufenden Prozess in die Infrastruktur des Internets und seiner Subnetze verfolgt. Anschliessend führe ich weitere Einführungsstrategien aus, die innerhalb der Interviews aufgezeigt wurden.

«An Internet Transition Plan»

Der RFC 5211 aus dem Juli 2008 von John Curran, Entwickler:in und Vertreter:in der NWG des IETF ist «[a]n Internet Transition Plan» für das IPv6. Dieser Plan gibt Auskunft zu Phasen innerhalb des Einführungsprozesses des IPv6 für Diensteanbieter (Service-Provider) und Entwickler:innen der Subnetze in Organisationen. Curran adressiert darin zum einen Netzwerke, die infrastrukturelle Dienste für das Internet

bereitstellen sowie Subnetze, die diesen bspw. angegliedert sind. Weiter definiert Curran im Auftrag der IETF darin den zeitlichen Rahmen, den eine Umstellung nach diesem Modell benötigt (vgl. RFC 5211 und Curran 2008).

Dazu entwickelt er einen «Internet Transition Plan». Dieser «provides one possible plan for transitioning the Internet from a predominantly IPv4-based connectivity model to a predominantly IPv6-based connectivity model» (ebd., 2).

Demnach kann der Umbau der Subnetze der Internetinfrastruktur immer in drei Phasen stattfinden, allerdings wird «the specific timeline and mechanisms utilized for a given network [...] be unique» (ebd., 2).

Curran definierte dazu die 1. «Preparation Phase – Present to December 2009», 2. «Transition Phase – January 2010 to December 2011» und die 3. «Post-Transition Phase – January 2012 to the Future» (ebd., 3).

Seinem Modell folgend kann demnach die Umstellung des Netzwerks von IPv4 auf das «predominantly IPv6-based connectivity model» (ebd., 2) innerhalb von dreieinhalb Jahren erfolgen (Juli 2008-Dezember 2011).

Für die erste vorbereitende Phase (1) setzt Curran eineinhalb Jahre an und zweieinhalb Jahre für die Einführungsphase des IPv6 (2). Die dritte Phase der Nachbereitung erstreckt sich in die Zukunft.

Innerhalb der Phasen definiert Curran Empfehlungen und Handlungsanweisungen, die nach Notwendigkeit und Dringlichkeit der Umsetzung formuliert werden. Diese differenziert er innerhalb der Phasen nach dem, was gemacht werden *muss*, *soll*, *kann und darf*.

In der «Preparation Phase» (1) sind drei Prinzipien formuliert, die danach differenziert sind, was die Entwickler:innen in den Organisationen und Dienstleister:innen (Service-Provider) machen *sollen* und dem, was sie machen *dürfen*:

1. Service-Provider *sollen* Übergangnetzwerke für ihre Kund:innen einrichten, die die Erreichbarkeit der Netzwerkinfrastruktur der Subnetze sicherstellen. Diese *dürfen* mittels Übergangstechnologien oder eines direkten Anschlusses (native IPv6) realisiert werden (vgl. RFC 5211 und Curran 2008, 3).
2. Die Entwickler:innen der Organisationen sollen die Konnektivität aller technologischen Netzwerkbestandteile vorbereiten, indem diese auf IPv6-Fähigkeit überprüft werden. Server Adressen *sollen* angepasst werden (vgl. ebd., 4).
3. Organisationen *dürfen* interne Benutzer:innengemeinschaften erstellen (vgl. ebd.).

Für die Einführungsphase (2) führt er drei Empfehlungen und Handlungsanweisungen zur Einführung des IPv6 aus und differenziert, was die Entwickler:innen in den Organisationen sowie die Service-Provider machen *dürfen* von dem, was sie machen *müssen* und können.

1. Service-Provider *müssen* für ihre Kund:innen IPv6 anbieten, es *sollte* ein direkter Anschluss sein (native IPv6). Die Anschlüsse *dürfen* jedoch über Übergangstechnologien erfolgen, sofern dies notwendig erscheint (vgl. RFC 5211 und Curran 2008, 4).
2. Die Entwickler:innen in den Organisationen *müssen* die Konnektivität mit allen technologischen Netzwerkbestandteilen und Diensten (Web, E-Mail, Domain Name Server) in ihrem Netzwerk herstellen. IPv6 *sollte* innerhalb des Netzwerks angewendet werden (vgl. ebd.).
3. Die Entwickler:innen der Organisationen *sollten* IPv6 Benutzer:innengemeinschaften erstellen. Diese *dürfen* über Übergangstechnologien oder direkte Anschlüsse (native IPv6) realisiert werden (vgl. ebd.).

Für die Phase der Nachbereitung (3) werden vier Prinzipien formuliert, welche ebenfalls Empfehlungen und Handlungsanweisungen für Service-Provider und Entwickler:innen in Organisationen darstellen. Hier wird differenziert zwischen dem, was gemacht werden *muss* und dem, was gemacht werden *soll* und *darf*.

1. Service-Provider *müssen* für ihre Kund:innen IPv6 anbieten, es *sollte* ein direkter Anschluss sein (native IPv6) (vgl. RFC 5211 und Curran 2008, 4).
2. Die Entwickler:innen in den Organisationen *müssen* die Konnektivität aller Netzwerkbestandteile und Dienste innerhalb des Netzwerkes vorweisen (Web, E-Mail, Domain Name Server). IPv6 *sollte* innerhalb des Netzwerkes angewendet werden (vgl. RFC 5211 und Curran 2008, 5).
3. Die Entwickler:innen in den Organisationen *sollten* die Konnektivität mit allen Benutzer:innengemeinschaften herstellen und mittels Übergangstechnologien unterstützen (vgl. ebd.).
4. Service-Provider *dürfen* weiterhin IPv4-basiertes Internet anbieten. Die Entwickler:innen *dürfen* ebenfalls weiterhin IPv4-basiertes Internet anbieten (vgl. ebd.).

Mit seinem «Transition Plan» im Auftrag des IETF legt Curran einen Zeitplan mit fester Datierung für die Umstellung eines IPv4-basierten Netzwerks auf ein «predominantly IPv6-based» Internet vor. In diesem räumt er jedoch eine zeitliche Abweichung aufgrund netzwerkspezifischer Charakteristika ein.

Darüber hinaus wird von Curran insgesamt eine schrittweise Ausweitung innerhalb der Einführung des IPv6 in drei Phasen empfohlen, die im laufenden Betrieb der Subnetze stattfinden kann.

Innerhalb dieser Phasen verschieben sich die Handlungsanweisungen und Notwendigkeiten von der Vorbereitung über die Einführung bis zur Nachbereitung der Migration des IPv6 analog zur technischen Ausbreitung des IPv6 im Computernetzwerk der Service-Provider und Entwickler:innen der Organisationen und nehmen

in ihrer Dringlichkeit zu. Das heisst, das Netzwerk wird bis Phase 3, Punkt 3 immer weiter auf IPv6 umgebaut, wobei jedoch kontinuierlich auf Übergangslösungen verwiesen wird. Demnach sind Schritte im Umbauprozess in Phase 1 noch optional und *können* oder *sollen* gemacht werden, während sie in Phase 3 gemacht werden *müssen* (vgl. RFC 5211 und Curran 2008, 2).

Allerdings wird ab Phase 3, Punkt 4 eingeräumt, dass Service-Provider und Entwickler:innen weiterhin IPv4-basiertes Internet anbieten *dürfen* (vgl. RFC 5211 und Curran 2008, 2).

Insofern zeigt sich insgesamt, dass die Empfehlungen und Handlungsanweisungen für die drei Phasen trotz der Zielsetzung einer überwiegenden Komplettumstellung der Computernetzwerke über alle Phasen hinweg auf Übergangnetzwerke und -technologien hinweisen und schliesslich in Phase 3, Punkt 4 in eine «Relativierung» der Umstellung münden, indem dort Service-Providern sowie Entwickler:innen die Möglichkeit eingeräumt wird, weiterhin IPv4 anzubieten.

Diese Massnahmen innerhalb des Umbauprozesses des Netzwerkes referieren alle auf eine Zwischenlösung statt auf eine Komplettumstellung und auf eine schrittweise Implementierung des IPv6 innerhalb der Subnetze statt einer Komplettumstellung der gesamten Internetinfrastruktur.

Allerdings ist die Gliederung in schrittweise Massnahmen zur Einführung innerhalb des laufenden Betriebs der Netzwerke zugleich notwendig. Grund dafür ist, dass diese die Stabilität und Verfügbarkeit des Subnetzes sichern und die Funktionalität der Infrastruktur seitens der Nutzer:innen (hier: Kund:innen) gewährleisten, indem durch Bereitstellung des IPv4 die Anschlusskommunikation mit anderen Netzwerk-/Seitenbetreiber:innen sichergestellt wird (vgl. RFC 5211 und Curran 2008).

9.8.3.1.3 Weitere Migrationsstrategien zur Ausgestaltung der Einführung des IPv6

Innerhalb der Dokumenten- und Internetanalysen zeigten sich Einführungsschritte und Planungen, die sich analog zu den exemplarisch an Currans Beispiel dargelegten Phasen darstellten (vgl. RFC 5211 und Curran 2008). Diese unterscheiden sich jedoch hinsichtlich ihrer Ausgestaltung der Einführung des IPv6, da die Entwickler:innen eine Auswahl für Übergangstechnologien (z. B. Dual-Stack) treffen oder ein Subnetzwerk komplett auf das IPv6 (IPv6 only) umstellen.

Dadurch stellen die Phasen zugleich fördernde und hemmende Momente im Umbauprozess der Subnetze des Internets dar, die zur Wahl der entsprechenden Umbaustategie führten.

Im Folgenden stelle ich diese Ausgestaltung und den Entscheidungsprozess innerhalb des Umbauprozesses zum IPv6 mit Fokus auf die Interviewanalysen und die in diesem Kontext erhobenen und ausgewerteten Dokumente dar.

Das Gesamtsampling der Interviewstudie, wie in Kapitel 8.2.2 erläutert, bildet vier Teilbereiche ab: (1) Forschung (vgl. Interview 1), (2) öffentliche Verwaltung (vgl. Interview 1, 2, 3, 8), (3) Interessenverbände/Vereine (vgl. Interview 7, 8), (4) Wirtschaft (vgl. Interview 4, 5, 9).¹⁰⁰

Ich differenziere im Folgenden nach diesen vier Sektoren und lege anhand dieser Beispiele verfolgte Umbaustrategien sowie fördernde und hemmende Momente für den Umbau dar.

9.8.3.1.3.1 Forschung

Im Bereich der Forschung, welche nach den Interviewanalysen insbesondere den Fokus auf die Entwicklung von Empfehlungen für die Politik und öffentliche Verwaltung richtet, werden insbesondere Übergangslösungen adressiert, die auf Parallelbetrieb durch Dual-Stack mittels Einrichtung von VPN-Tunneltechnologien (BSI 2013b, 1) und IPv6-Tunneltechnologien (BSI 2013b, 2) referieren. Zudem verweisen die verfolgten Strategien der Forschungsprojekte auf das langfristige Ziel der Komplettumstellung der Subnetzwerke. Es besteht «Bedarf an einer Exit-Strategie, die verhindert, dass Doppelinfrastrukturen unnötig lange betrieben werden» (BMW 2012a, 10). Dazu wurde innerhalb eines Forschungsprojektes des Fraunhofer Fokus ein Profil für die Einführung des IPv6 in der öffentlichen Verwaltung erstellt (vgl. Bundesverwaltungsamt u. a. 2013).

Laut der Interviewpartner:in wurde das Projekt seitens des «Bundesministeriums» angeregt, da «das Problem der Einführung von IPv6 in der öffentlichen Verwaltung [...] dort bekannt [war]» (Interview 4: 189–190). Infolgedessen wurde eine Arbeitsgruppe eingerichtet

«die sich zusammensetzt aus Vertretern von Bund, Ländern, Kommunen, großen Organisationen. Also praktisch alles Fachleute, die in den verschiedenen Bereichen der öffentlichen Verwaltung mit halt Netzinfrastruktur zu tun haben, also aus den ganz verschiedenen Blickwinkeln» (Interview 4: 190–194).

Die Forscher:innen des Fraunhofer Fokus bekamen zwei zentrale Aufgaben innerhalb des Forschungsprojekts, welches seitens des BMWi gefördert wurde. Erstens «ein Profil für die öffentliche Verwaltung» (Interview 4: 205–207) zum IPv6 zu entwickeln sowie zweitens auf Basis dessen einen Migrationsleitfaden für die Einführung des IPv6 zu entwickeln (vgl. Interview 4, Bundesverwaltungsamt u. a. 2013, 8).

Punkt zwei stellt der Interviewpartner:in zufolge

100 Viele interviewte Akteur:innen haben zudem eine Doppelfunktion, weil sie in weiteren Interessenverbänden und Vereinen tätig sind oder Auftragsarbeit und Beratung für andere Unternehmen erledigen. Zu diesen Interessenverbänden, Vereinen und Unternehmen gehören: Selfnet e.V., IPv6-Rat, CCC, IETF, DENOG, ZKI, DINI sowie die Deutsche Bahn AG, Texas Instruments und die Deutsche Telekom (siehe weiterführend Kapitel 8.2.2).

«[...] konkrete Unterstützung [dar], so Hilfe zur Selbsthilfe. Wenn man diesen Migrationsleitfaden in die Hand nimmt, kann man also jetzt typischerweise eine Organisation, also eine Behörde in irgendeiner Form, wie kann man die umstellen. Also man muss dann ja irgendwo, jetzt nochmal exemplarisch, man muss ja dann irgendwo eine IP-Adresse herkriegern oder aus diesem Adressplan eine IP-Adresse kriegen, muss eine[m] Provider Bescheid sagen, dass man IPv6 haben will und so weiter und wie führe ich das dann ein. Also dieses typische Vorgehen eben von außen nach innen» (Interview 4: 219–228).

Auch der entwickelte Migrationsleitfaden referiert auf die Prozesshaftigkeit der Einführung, die bereits im Transition Model von Curran (siehe 9.8.3.1.2) adressiert wurde. Darüber hinaus wird darin die Wichtigkeit der Beschaffung eines Adressblocks benannt, welche auch innerhalb des Forschungsberichts betont wird: «Mit der Beschaffung eines Adressblocks, der für die gesamte öffentliche Verwaltung dimensioniert ist, wurde durch das Ministerium des Innern in 2009 der erste Schritt getan» (Bundesverwaltungsamt u. a. 2013, 7).

Neben dieser Beschaffung wird auch die ausreichende Menge thematisiert und erläutert, dass damit der «erste Schritt [durch das Ministerium] getan» (ebd.) ist. Letzteres adressiert eine Rahmenbedingung für die Implementierung, ohne die eine Migration des IPv6 nicht möglich wäre, und weist diese Handlung dem Ministerium als übergeordneter Leitungsebene zu. Auch diese Interviewsequenz referiert insofern auf eine «Top-down» Struktur des Umbaus, die für die öffentliche Verwaltung von den Forscher:innen empfohlen wird.

Weiter verweist die Interviewpartner:in auf die Notwendigkeit einer einheitlichen Adressierung innerhalb eines Netzwerks sowie auf die bundesweite Verteilung von IPv6-Adressen:

«[...] zum Beispiel in dieser IPv6 Arbeitsgruppe dann erarbeitet wurde, ein Adressplan erarbeitet wurde. Also wie dieser einheitliche IPv6-Adress-Präfix in Deutschland dann verteilt wird. Also auf die Bundesländer und von da runter wieder die Unterorganisationen und so weiter» (Interview 4: 198–202).

Hieran wird nochmals deutlich, dass dieser Prozess hierarchisch strukturiert ist, indem die Adressen «Top-down» von den Bundesländern auf Unterorganisationen (z. B. den Kommunen) verteilt werden.

Zudem soll durch die «einheitlichen IPv6-Adress-Präfixe» (ebd.) sichergestellt werden, «dass in Zukunft Verwaltungseinheiten nur noch mit eindeutigen Adressbereichen kommunizieren und die Kommunikation so direkter, einfacher und effizienter wird» (Bundesverwaltungsamt u. a. 2013, 7).

An dieser Stelle zeigt sich, dass die Adressvergabe mit der Verbesserung der Kommunikation und «Zuordnungsfähigkeit» durch Definition eines Adressbereiches gekoppelt wird. Dies ist also ein Hinweis auf die Lokalisierung von Netzwerkbestandteilen und referiert zugleich auf einen Sicherheitsaspekt, der durch die technologische Neuerung des IPv6 (end-to-end-Verschlüsselung und eindeutige Adressierung) erlaubt wird (siehe dazu Kapitel 9.8.1).

Weiterführend wird in dem Migrationsleitfaden der «Beschaffungsprozess neuer Geräte, die Evaluierung vorhandener Hardware und Software» dargestellt, um «bei der Einführung von und der Migration zu IPv6» zu unterstützen (Bundesverwaltungsamt u. a. 2013, 7).

Dazu wird auf das erarbeitete «IPv6-Profil» des Forschungsprojekts verwiesen, welches Anforderungen für Hardware definiert, an denen sich Entwickler:innen der Unterorganisationen mit ihren Subnetzen orientieren können (Bundesverwaltungsamt u. a. 2013, 7). Dieses wurde anhand existierender IPv6-Profile des RIPE, der IETF und dem DoD erstellt (Bundesverwaltungsamt u. a. 2013, 12–17; Interview 4: 211–218)

Anders als in Currans Transitionsplan (vgl. 9.8.3.1.2) werden diese jedoch anwendungsorientiert und benutzerspezifisch ausdefiniert statt nur zu benennen, dass Ipv6-Fähigkeit der Hard- und Software überprüft werden muss.

Diese Anwendungsorientierung wird auch innerhalb des Interviews deutlich. Demnach legt das Ipv6-Profil fest, «welche Ipv6 Standards [...] bestimmte Geräte unterstützen [müssen], damit sie IPv6-fähig im Sinne der öffentlichen Verwaltung sind» (Interview 4: 209–211).

Weiter stellt der Bericht auch eine «Vorlage für die Erfassung von Software-Abhängigkeiten» bereit (Bundesverwaltungsamt u. a. 2013, 100). Darauf aufbauend wurde ein modularisiertes «Schulungsprogramm» entwickelt:

«Und das ganze wird abgerundet durch Module. Das sind Power-Point- also sie haben sich das Material ja heruntergeladen. Das sind Vortragsfoliensätze in Form von einzelnen Modulen, die also dafür geeignet sind, dass man dieses Thema selber oder mithilfe eines Trainers aufarbeiten kann» (Interview 4: 232–237).

Das modularisierte «Schulungsprogramm» stellt jedoch kein in pädagogisch-didaktische Konzepte eingebettetes Schulungsprogramm dar, sondern stellt Vortragsfolien für den Selbstlernprozess bereit. Alternativ können die Präsentationsfolien in Verbindung mit einer Trainer:in genutzt werden.

Kritisch betrachtet werden dadurch lediglich die Ergebnisse des IPv6-Profiles Leitfadens komprimiert dargestellt. Ich führe die Notwendigkeit von Weiterbildungsmaßnahmen im Fortlauf der Arbeit noch weiter aus (siehe Kapitel 9.9).

Es sei jedoch angemerkt, dass durch den Migrationsleitfaden «ein begleitendes Dokument vor[liegt], das die schrittweise Einführung von IPv6 beschreibt», während darin explizit auf die Bedarfe der öffentlichen Verwaltungen referiert wird und «die Größe der Verwaltungen, ihre Aufgaben und Infrastrukturvarianten» berücksichtigt werden (Bundesverwaltungsamt u. a. 2013, 8).

Insgesamt erarbeitete das Team des Fraunhofer Fokus Instituts eine umfassende, praxisorientierte Dokumentation zur Einführung des IPv6 in der öffentlichen Verwaltung und empfiehlt darin eine schrittweise Implementierung des IPv6 mittels Übergangstechnologien, die zukunftsweisend zugunsten einer Komplettumstellung zur Vermeidung von Doppelstrukturen (durch Dual-Stack Betrieb) weichen sollen. Weiterführend beschreibt Fraunhofer Fokus einen Umbauprozess, der «Top-down» strukturiert ist. Das Bundesministerium das Projekt hat veranlasst, die Adressblöcke bereitzustellen sowie diese bundesweit an Unterorganisationen der öffentlichen Verwaltungen zu verteilen.

9.8.3.1.3.2 Öffentliche Verwaltung

Seitens der öffentlichen Verwaltung lässt sich innerhalb der Interviewanalyse einheitlich die Forcierung auf die Strategie des Parallelbetriebes durch Dual-Stack feststellen (vgl. Interview Nr. 1, 2, 3, 8).

Allerdings lässt sich der Dual-Stack Betrieb in zwei zeitliche Phasen gliedern, die sich zudem seitens der Motivation sowie weiterer hemmender und förderlicher Momente im Einführungsprozess unterscheiden. (vgl. Interview Nr. 1, 2, 3, 8):

1. Laufender Dual-Stack Betrieb
2. Schrittweise Einführung mittels Dual-Stack

9.8.3.1.3.2.1 Laufender Dual-Stack Betrieb

Zum einen gibt es seitens einer Interviewpartner:in, die an einem Lehrstuhl einer Hochschule mit der Netzwerkadministration beschäftigt ist, den Bericht zu einer Umstellung des internen Subnetzes des Arbeitsbereiches auf Dual-Stack-Betrieb (vgl. Interview 3).

Zum Zeitpunkt des Interviews war die Einführung des Parallelbetriebs abgeschlossen. Dieser Prozess war entgegen dem im Teilkapitel zur Forschung beschriebenen Umstellungsprozess nicht seitens einer übergeordneten Ebene (bspw. Hochschulleitung oder dem Rechenzentrum) initiiert, sondern erfolgte aus einer intrinsischen Motivation des Arbeitsbereichs heraus (ebd.):

«Das war eigentlich, ja, nen Wunsch von uns. Es war eigentlich eher so, ja, warum machen wir es eigentlich nicht? Da haben wir kurz überlegt, ja, eigentlich gibt es kein Hinderungsgrund, zumindest keinen, der jetzt wirklich sagen würde, ja, dann funktioniert hier alles nicht mehr» (Interview 3: 274–276).

Darin wird deutlich, dass der erste Impuls zur Umstellung ad hoc erfolgte und seitens der Arbeitsgruppe initiiert wurde. Auch zeigt sich in dem Interview, dass die Einführung als ein Prozess verlief. Es werden ausserdem Gründe und notwendige Schritte innerhalb der Vorbereitungen der Einführung benannt wie die nicht IPv6-fähige Hard- und Software, was diverse Anpassungen und Mehrarbeit zur Folge hatte:

«In der Mathematik war dann eigentlich das Hauptproblem, dass unsere Infrastruktur eigentlich noch nicht Ipv6 fähig war. Also man hat sich halt nur mit Ipv4 beschäftigt, dementsprechend die ganzen Serverdienste waren überhaupt nicht für v6 konfiguriert. Dann das Firewall-System konnte kein Ipv6. Da wir in der Mathematik nen eigenes, ja, was heißt selbst geschriebenes System haben, was dann die Regeln generiert, musste es noch an das System angepasst werden. Das hat entsprechend Arbeitszeit verschlungen. Damit halt die Firewall mit Ipv6 umgehen konnte. Und ja die Dienste mussten nach und nach angepasst werden, der DNS Server musste halt auch die Ipv6 Einträge verwalten. Das konnte die Software alles schon, klar, war halt einfach noch nicht konfiguriert und es musste halt angepasst werden, sodass erstmal überhaupt ne Bestandsaufnahme dann, ja plötzlich gemacht werden musste: Was kann überhaupt schon v6 alles? Wo treten Probleme auf? Gerade das, da wir ja ein Parallelbetrieb fahren, von beiden Protokollen, wo müssen wir überhaupt anfassen? (--) Und muss dann halt alles umgesetzt werden» (Interview 3: 251–267).

Zudem zeigt sich innerhalb dieser Schilderungen ein «learning-by-doing» oder auch «trial and error». Demnach kam bspw. die Überlegung zu einer Bestandsaufnahme erst «plötzlich» (Interview 3: 264) auf. Dies geschah über die Erfahrungen innerhalb der ersten Konfigurationen und wurde dann nachträglich systematisch durchgeführt. Weiterführend zeigt sich darin auch eine wechselseitige Abhängigkeit von einzelnen Prozessen sowie der Einfluss einzelner technischer Komponenten auf die Entwicklung des Einführungsprozesses. Letzteres zeigt sich im obigen Interviewausschnitt bspw. an dem eigenen Server, der infolge des IPv6 umfangreich neu konfiguriert werden muss (vgl. Interview 3: 251–267).

9.8.3.1.3.2.2 Schrittweise Einführung mittels Dual-Stack

In den Interviews haben drei Teilnehmer:innen über die schrittweise Einführung des IPv6 mittels Dual-Stack gesprochen (vgl. Interview 1, 2, 8). Zwei dieser drei Interviewteilnehmer:innen sind Vorgesetzte (vgl. Interview 1, 2) der in der zur rekonstruierten Phase «laufender Dual-Stack Betrieb» interviewten Person (Interview 4, siehe 9.8.3.1.2) und arbeiten in einem Hochschulrechenzentrum, welches für Mitarbeitende und Studierende die informationstechnische Infrastruktur bereitstellt, wartet und ausbaut (vgl. Interview 1, 2).

Die dritte Person (Interview 8) arbeitet in einem Landesrechenzentrum des öffentlichen Dienstes sowie bei Selfnet e.V. Sie stellt Infrastruktur für Entwickler:innen von Subnetzen öffentlicher Einrichtungen (z. B. Hochschulrechenzentren) bereit (vgl. Interview 8).

Alle drei Interviewpartner:innen weisen in den Interviews darauf hin, dass ihre eigene Hard- und Software bereits IPv6-fähig ist und insofern die vorbereitenden Massnahmen abgeschlossen sind. Weiterhin verweisen sie auf förderliche und hinderliche Momente innerhalb des Einführungsprozesses (vgl. Interview 1, 2, 8). Diese führe ich nun anhand von Interviewsequenzen weiter aus.

Interviewpartner:in 1 schildert mangelnde personelle Ressourcen als ein hinderliches Moment im Einführungsprozess des IPv6: «Da wir sehr wenige Leute sind, ist natürlich die Motivation, jetzt schnell alles auf IPv6 umzustellen, sehr klein, weil wir einfach nicht die Zeit dafür haben» (Interview 1: 447–449).

Demnach korrelieren knappe personelle und zeitliche Ressourcen in diesem Fall mit der Motivation der Interviewpartner:in.

Interviewpartner:in 2 weist ergänzend zur Problematik knapper personeller Ressourcen auf eine enge zeitliche Taktung und eine grosse Aufgabenfülle hin, welche schliesslich zu einem Zeitproblem hinsichtlich der Einführung des IPv6 führen, wie sie mit Bedauern feststellt:

«Ja, das ist halt neu und kompliziert und damit müsste man sich beschäftigen. Also einerseits die Unlust, sich damit gerade zu beschäftigen, ist wahrscheinlich ein bisschen unfair, stellenweise auch ein Zeitproblem. Also wir arbeiten relativ eng getaktet. An uns werden von außen immer neue Baustellen herangetragen, sprich wir haben auch nicht so richtig viel Zeit um uns nebenbei noch mit solchen Dingen wie IPv6 zu beschäftigen. Leider!» (Interview 2: 556–562)

Weiter schildert Interviewpartner:in 1 soziale Beharrungstendenzen, die sie auf ihre lange Vorerfahrung mit dem IPv4 und insbesondere darauf zurückführt, dass in IPv6 Adressen strukturell anders aufgebaut sind.

«Das ist eigentlich das Problem. Man muss sich natürlich auch umstellen. Das ist ja, also von der Idee her, dass die Rechner weiterhin eine IP-Adresse haben, die IP-Adressen sind dann natürlich dramatisch anders aus. Für mich als ein Mensch, der mit IPv4 groß geworden ist und fast jeden Rechner hier im Netz persönlich kennt, ich kann ja ganz genau sagen, wo eine IP-Adresse, wenn mir jemand mir eine sagt, ich habe einen Rechner mit dieser IP-Adresse, dann weiß ich ganz genau, ach das ist das Netz im [...] Gebäude und das muss da irgendwo Arbeitsgruppe die und die sein. Das ist für mich natürlich jetzt eine

riesen Umstellung, wenn ich da so eine ewig lange IP-Adresse vor mir sehe und nicht auf Anhieb erkennen kann, wo diese IP-Adresse gehört» (Interview 1: 455–465).

In diesem Ausschnitt wird die physische Lokalisierung von Netzwerkbestandteilen anhand des IPv4 adressiert, die unter IPv6 nicht mehr in einer einfachen Form anhand der IP-Adresse erkannt werden kann. Dies impliziert, dass durch den strukturellen Aufbau der IPv6 Adressen Netzwerkbestandteile nicht mehr so einfach zugeordnet werden können. Dabei referiert die Interviewteilnehmer:in auf eine Abhängigkeit seitens der Zuweisung von der IP-Adresse, anhand derer sie einen Rechner und seinen Ort lokalisieren kann und somit auf soziale Akteur:innen – z. B. Arbeitsgruppen – schliessen kann. Insofern dient die Technologie der IP-Adresse nicht nur als Vermittler zwischen Technologien, sondern auch als ein Vermittler für die Identifikation von Räumen und sozialen Akteur:innengruppen durch Technik.

Somit sieht Interviewpartner:in 1 insbesondere die Adressvergabe durch das IPv6 als hinderlich für die Einführung an. Weiter betont sie jedoch, dass kaum ein Bedarf nach IPv6 an der Hochschule besteht: «so richtig Bedarf jetzt grossartig von den Arbeitsgruppen ist an uns eigentlich noch nicht irgendwie angekommen» (Interview 1: 408–409).

Interviewpartner:in 2 sieht hingegen kein Problem seitens der Adressvergabe, da dazu bereits eine Strategie entwickelt worden sei, die hochschulweit umgesetzt werde:

«Es wurde in der Netzwerkbesprechung mal durchgekaut, wie wir das machen wollen. Die Strategien zur Adressvergabe, also welche Adressen werden wo genutzt, auf welchen Verbindungen, die gab es schon vorher. Die war auch schon dokumentiert, von einem der Vorgänger. Und es wurde dann entschieden, es uniweit durchzuziehen. Zumindest halt bis in die Gebäude» (Interview 2: 646–650).

Demnach ist das Adressvergabekonzept zur Umsetzung gekommen, indem es in einer Netzwerkgruppen-Besprechung «durchgekaut» (Interview 2: 645) wurde. Der Begriff «durchgekaut» weist zudem auf einen eher unangenehmen Prozess und eine übermäßige Beschäftigung mit dem Thema hin; dies kann jedoch nicht weiter interpretiert werden.

Allerdings sieht Interviewteilnehmer:in 2 ein Generationsproblem als Hinderungsgrund: Die Interviewpartner:in findet Beharrungstendenzen eher bei den Personen im höherem Alter. Dies wird beispielhaft in der folgenden Datensequenz deutlich:

«Ich glaube, da gibt es auch son bisschen, Generationenunterschied; ist jetzt wahrscheinlich unfair, aber irgendwas in der Richtung sehe ich häufiger. Wenn man nicht gerade aktiv ein Netzwerk-Crack ist und sich nicht jeden Tag ernsthaft damit beschäftigt, ist die Hürde meistens dann anscheinend sehr hoch. Meiner Wahrnehmung nach» (Interview 2: 591–595).

Hier wird implizit ausgeführt, dass es einer Auseinandersetzung mit der Technologie und einer bedeutenden Expertise bedarf.

Weiterführend berichteten Interviewpartner:in 1 und 2 über den Anlass, der zum Beginn der Einführung des IPv6 geführt hat. Interviewpartner:in 1 führt dazu aus:

«Das ist ja, es gibt ja so ein Fortschritt, wo man einfach dabei sein muss, um an einer Uni um eben den Leuten die Technologie zur Verfügung zu stellen, die schneller, besser und was weiß ich ist. Teilweise wird dann ja auch geforscht an den Protokollen und so weiter und so fort. Deswegen ist man vielleicht in dieser Hinsicht gezwungen, was Neues zu machen. Aber IPv6 ist im Prinzip, bis jetzt in wenigsten Fällen von unseren Arbeitsgruppen hier gefordert worden» (Interview 1: 395–401).

Innerhalb dieser Sequenz wird zum einen ein Migrationszwang thematisiert, welcher bereits im Migrationsleitfaden des Bundesverwaltungsamtes (2013) für den Bereich der Forschung dargestellt wurde, allerdings wurde dort auf Adressknappheit plädiert. Hingegen fühlt sich die Interviewpartner:in 1 veranlasst, das IPv6 einzuführen, weil es ein Fortschritt ist, «wo man dabei sein muss». Sie koppelt dies an den Mehrwert der Technik des IPv6, indem sie diese als «schneller, besser» (Interview 1: 397) darstellt. Demnach stellt dies keinen seitens einer Leitungsebene eingeforderten «Top-down»-Prozess seitens einer Leitungsebene dar, sondern referiert auf eine traditionelle Aufgabe der Universität, «neues Wissen zu fördern». Dem folgt die weitere Begründung der Interviewpartner:in 1 über die Notwendigkeit, als Universität diese Protokolle breitstellen zu müssen, da an diesen geforscht werde. Dies wird allerdings zum Teil in ihrem letzten Satz durch Nennung einer geringen Nachfrage seitens der Arbeitsgruppen relativiert.

Weiterführend berichtete die Interviewteilnehmer:in 2 auch über einen Anlass, der zu einer Forcierung einer schrittweisen Implementierung von Dual-Stack geführt hat. Entgegen der letzten Datensequenz referiert diese auf Adressknappheit. Demnach gab es eine Adressknappheit im W-LAN der Hochschule, welche jedoch über Umwege gelöst werden konnte:

«[H]aben halt bisschen anders gezaubert, dass wir noch mehr IPv4 Adressen im WLAN haben. Das gab's tatsächlich als Entscheidung. Daher auch die Idee, jetzt mal so langsam Dual Stack zu machen. Aber IPv6 Only wird es an dieser Stelle nicht geben» (Interview 2: 849–852).

Zugleich verweist die Interviewpartner:in auf die Nichtnutzung eines IPv6-basierten Systems, «[w]eil es vermutlich auch auf Handys und auf Laptops noch einige Applikationen gibt, die nicht wissen, was IPv6 ist» (Interview 2: 844–845).

Letztere Aussage ist zentral für das Forschungsinteresse der vorliegenden Arbeit, da dies erneut auf die Interoperabilität innerhalb des Internets verweist und es sich erhärtet, dass dies ein entscheidendes Moment für den Umbau ist bzw. dass entsprechend erwartete Einschränkungen der Kompatibilität zur Nichtnutzung führen.

Dem schliesst sich auch eine andere Datensequenz an, die die Funktionalität der Infrastruktur an das Wissen der Entwickler:innen knüpft und dieses als essenziell für die Nutzung von IPv6 und die Funktionalität eines Netzwerks definiert:

«Und ein, so ein Projekt ist so diese Geschichte, dass ich vor ein paar Wochen, habe ich ja schon erzählt, plötzlich irgendwie ganz viele Anfragen bekommen habe von Kunden, die IPv6 ausrollen wollen. Und uns nach Unterstützung gefragt haben. Und seitens uns als Dienstleister ist das kein Problem. Unsere Hardware kann das alles. Aber die müssen halt lernen, so lernen, wies geht, damit sie das können und alles funktioniert und es nicht zu Ausfällen kommt. Und wo ich jetzt grad dabei bin, so einen kleinen Workshop zu organisieren damit die auch umstellen wollen» (Interview 8: 195–204).

Somit müssen die Entwickler:innen lernen, wie das IPv6 und dessen Einführung funktioniert. Dazu bietet die Interviewteilnehmer:in einen «kleinen Workshop» (ebd.) an. Implizit verweist «klein» ggf. auf den Umfang des Workshops oder auch auf einen eher informellen Charakter des Workshops.

Letztendlich koppelt die Interviewpartner:in die Notwendigkeit der Kenntnisse zum IPv6 an einen Workshop. Dieser soll mit der Absicht geplant werden, die Entwickler:innen «umstellen [zu] wollen» (Interview 3: 204). Insofern referiert diese Schulungsmassnahme zugleich darauf, Hinderungsgründe für die Einführung des IPv6 auszuräumen.

Somit scheint Wissen über die Migration des IPv6, wie auch bereits im Teilbereich der Forschung thematisiert wurde, zentral für den Umbauprozess der Netzinfrastruktur zu sein. Weiterführend scheinen Schulungsmassnahmen nicht didaktisch oder pädagogisch aufbereitet zu sein, sondern diese erfolgen «on top», wie beim Bereich der Forschung oder «ad hoc» auf Nachfrage der Entwickler:innen im Bereich der öffentlichen Verwaltung.

9.8.3.1.3.3 *Interessenverbände/Vereine*

Seitens der Akteur:innen der Interessenverbände und Vereine lässt sich eine sehr starke Fokussierung auf das IPv6 und dessen Einführung und Verbreitung im soziotechnischen Netzwerk verzeichnen.

Berücksichtigt werden an dieser Stelle besonders zwei Interviews. Das eine erfolgte im Kontext der RIPE IPv6 Working Group und der Tätigkeit als Consultant (vgl. Interview 7), das andere erfolgte mit einer Mitarbeiter:in der öffentlichen Verwaltung, welche parallel zu ihrer Tätigkeit im Landesrechenzentrum im Selfnet e.V. aktiv ist und dort eine Netzwerkumstellung auf Dual-Stack Betrieb erlebte (vgl. Interview 8).

Interviewpartner:in 7 richtet den Blick insbesondere auf organisationale Momente der Planung und Einführung des IPv6 im Kontext des RIPE, das als zentrale Organisation die Vergabe von IP-Adressen in Europa steuert. In den Interviews mit der Akteur:in des Selfnet e.V. und der Interviewpartner:in 8 zeigt sich ein Fokus auf die intrinsische Motivation und den Aspekt der Technikaffinität als Begründung für eine Komplettumstellung auf IPv6.

Im Folgenden stelle ich zunächst die organisationalen Momente dar, die im Kontext der Planung und Einführung des IPv6 zum Umbau der Internetinfrastruktur von Bedeutung sind, sowie anschliessend die Ergebnisse aus Interview 8 zur intrinsischen Motivation von Akteur:innen für eine Komplettumstellung auf das IPv6.

9.8.3.1.3.3.1 Organisationale Momente in der Planung und Einführung des IPv6

Die Interviewpartner:in des RIPE verfolgt das zentrale Ziel, IPv6 flächendeckend einzusetzen und IPv4 perspektivisch abzulösen:

«Eigentlich geht es darum, IPv4 zu entsorgen. (-) So lang ich IPv4 noch in irgendeiner Weise weiterlaufen lassen muss mit, habe ich damit nur zusätzlichen Ärger, zusätzliche Arbeit, zusätzliche Kosten. (-) Da komme ich teilweise nicht drum herum. Aber das ist nicht das Ziel! Das Ziel ist, tatsächlich da hinzukommen, dass ich IPv4 abschalten kann. Vielleicht noch nicht überall, aber wenigstens in der breiten Masse» (Interview 7: 2131–2139).

Um dieses Ziel zu erreichen, forciert das RIPE Beratungen zur Einführung des IPv6 und diskutiert innerhalb von Arbeitsgruppenmeetings und Konferenzen Themen zur Einführung und Adressierung. Die Interviewpartner:in richtet ihren Fokus insbesondere auf die organisationale Ebene innerhalb der Planung und Einführung des IPv6.

Sie führt aus, dass diese Einführung, egal ob als Parallelbetrieb oder als IPv6-basiertes Netz, keine Frage der Technik sei, sondern ein organisatorisches Thema: «IPv6 ist immer weniger ein technisches Thema und immer mehr ein organisatorisches Thema» (Interview 7: 1913–1914).

Demnach geht es für die Planung der Einführung des IPv6 innerhalb eines Unternehmens zentral darum, der Unternehmensführung die Notwendigkeit und Dringlichkeit der Planung und Einführung des IPv6 zu vermitteln, um ein Commitment

seitens der Unternehmensführung für Veränderung zu schaffen und für das Thema zu sensibilisieren: «Das größte Problem ist, wie bringe ich einem Management bei, »wir müssen uns (--) um das Thema kümmern« (Interview 7: 1900–1902).

Die Interviewpartner:in führt anschliessend Gründe aus, die diesen Vermittlungsprozess der Notwendigkeit der Veränderung durch die Einführung des IPv6 erschweren. Ein behinderndes Moment ist auf Charakteristika der Internetinfrastruktur zurückzuführen:

«Ja? Also ich habe heute im Zweifelsfall die Situation, erstens, wie bekomme ich es dem Management beigebracht, dass wir uns drum kümmern müssen. Das ist schwierig, weil auf Management-Sicht schwer zu sehen ist, dass es da Handlungsbedarf gibt. Das funktioniert doch alles. Warum soll ich mich darum kümmern» (Interview 7: 1918–1923).

Demzufolge sind Infrastrukturen so lange «unsichtbar», wie sie ihre Funktion erfüllen. Weiterhin wird für die Unternehmensleitung, solange IPv4 funktioniert, die Investition zeitlicher und finanzieller Ressourcen für IPv6 nicht nachvollziehbar:

«Warum sollen wir da Geld reinstecken. Warum sollen dafür andere Sachen warten. Ja? Es ist doch viel wichtiger, dass wir Windows 10 überall ausgerollt kriegen. Oder (-) ähnliches» (Interview 7: 1922–1925).

Anschliessend schildert die Interviewpartner:in einen Entscheidungsprozess, der durch Priorisierung seitens der Unternehmensführung erfolgt und zur «Nicht-Priorisierung» des IPv6 führt.

Diese aktuelle «Nicht-Priorisierung» des IPv6 mündet der Interviewpartner:in zufolge in ein wirtschaftliches Problem, welches wiederum zur Einführung unter Zeitdruck führt. Letzteres wird in der folgenden Interviewsequenz deutlich:

«Das ist ein riesengroßes Problem. Und das wird irgendwann auch noch mal innerhalb dieser dieser Management-Thematik umkippen. Denn wenn dann tatsächlich klar ist, wir müssen IPv6 jetzt schon machen (--) und Management das bewusst wird, dann liegt das in den meisten Fällen daran, wir haben ein akutes Problem, sprich, wir haben ein wirtschaftliches Problem. Wir verlieren grade Geld! (-) Das heißt aber wiederum, jetzt muss es ganz schnell gehen. Das ist ein, ein weit verbreitetes Phänomen. Das hat, ist nicht IPv6-spezifisch. Das ist grundsätzlich immer dran, dann, wenn Leute irgendwelche Sachen managen, die sie nicht verstehen. Und einfach erst dann reagieren, wenn Verluste entstehen. Sprich, es eigentlich schon zu spät ist. Und dann wird IPv6 deswegen zum Management-Thema, weil es dann wirklich schnell gehen muss. Und IPv6-Einführung unter Zeitdruck (--) wird spannend. (-) Das ist, das ist was, das ist wirklich nicht ohne» (Interview 7: 1925–1939).

Es zeigt sich, dass der Mehrwert der IPv6-Technologie derzeit in der Unternehmensleitung «noch» nicht gesehen wird. Die Interviewpartner:in prognostiziert jedoch, dass dies seitens der Unternehmensleitung «umkippen» wird, sobald aufgrund der Nicht-Einführung «akute Probleme» (Interview 7: 1932) aufkommen, die zu finanziellen Verlusten führen, welche wiederum seitens der Unternehmensleitung die Forderung nach einer sofortigen Einführung von IPv6 zur Folge haben.

Als Ursache für fehlerhafte Priorisierung wird benannt, dass die Unternehmensführung über Veränderungen entscheidet, die sie durch mangelnde Kenntnisse nicht überblicken kann. Die Interviewpartner:in verallgemeinert ihre Aussage und verweist darauf, dass dies nicht IPv6-spezifisch ist.

Insgesamt führt folglich eine fehlerhafte Priorisierung durch die Unternehmensleitung zu einer aktuellen «Nicht-Einführung» des IPv6, die in eine Einführung unter Zeitdruck münden wird, sobald die Dringlichkeit (durch z. B. spürbare Adressknappheit) und die Notwendigkeit der Einführung durch finanzielle Verluste des Unternehmens erfahrbar wird.

Weiter legt die Interviewpartner:in dar, dass die Einführung unter Zeitdruck für Unternehmer:innen kostenintensiv ist, da es an der Anzahl der Expert:innen mangelt. Dies führt wiederum zu steigenden Preisen in der Beratung:

«Es wird, also andersrum. Teurer. Ich erkläre Managern das dann, wenn ich gute Laune habe und mich traue, sodass ich dann sage, also ich weiß nicht, ob das 2003 damals eine gute Entscheidung, dass ich mich auf IPv6 als Schwerpunkt eingelassen habe, aber wenn ich das erste Mal einen vierstelligen Stundensatz mit ihnen aushandele, dann weiß ich, dann werden die immer blass. Aber letztendlich ist es so. Ja? Also (-) Leute, die sich mit dem Thema auskennen, sind knapp. Das sehen wir hier beim RIPE. Je größer der Bedarf wird, desto weiter geht der Preis hoch» (Interview 7: 1947–1955).

Ergänzend wird innerhalb des Interviews 7 jedoch auch deutlich, dass es deutschlandweit nur eine geringe Anzahl von Expert:innen mit umfangreichem Wissen zum IPv6 gibt und der Bedarf gross ist:

«wenn ich mit jemand sage, »ich brauche jemanden mit zehn Jahren IPv6«, dann gibt es deutschlandweit vielleicht 50 Leute. (-) So. Das heißt, da haben wir einen riesengroßen Bedarf. Und wir haben im Prinzip die gleiche Situation, wie wir sie (-) in den 90er Jahren hatten. Alle Welt wollte ins Internet. Kein Mensch wusste, was es ist und wie es funktioniert» (Interview 7: 2012–2017).

Das Ausmass des Bedarfs führt die Interviewpartner:in anhand von Charakteristika des IPv6 als Infrastrukturtechnologie aus und ordnet diese im Kontext der Ausweitung des Internets aus:

«Ich brauche, ich brauche ja nicht nur, also zentral ist da ja also ich rede ja hin (-) bis da zu, wie kriege ich beim letzten Steuerberater (-) und der letzten Anwaltskanzlei und Arztpraxis, wie bekomme ich da IPv6 ans Laufen. Ganz extrem. Also es geht ja von den zentral, mehr oder weniger zentralen Strukturen bei den großen Carriern bis am Ende bis in die Privathaushalte, bis zum Endgerät. Und das wird natürlich noch mal eine Riesenbaustelle. Und das Internet ist im Vergleich zu damals deutlich größer geworden. In den 90er Jahren, da hat man vielleicht einen Rechner im Haus gehabt. Also in einem Haushalt. Heute ist das schon deutlich mehr. Heute hat so ziemlich jeder, wenn nicht einen Rechner dann mindestens ein Smartphone. Und einen internetfähigen Fernseher. Und, und, und, und. Das heißt, wir haben heute da eine ganz andere Größenordnung» (Interview 7: 2035–2047).

Weiterhin wirken sich die zuvor benannten Herausforderungen des Umbauprozesses des Internets auch auf den Einführungsprozess innerhalb der Subnetze aus, indem die Fehleranfälligkeit aufgrund von Zeitdruck, erhöhtem Arbeitsaufkommen und mangelnder Expertise zunimmt.

Dies verdeutlicht die Interviewpartner:in anhand einer Einführung des IPv6 im Unternehmen. Dabei differenziert sie nach Gründen, die zu Fehlern seitens der Expert:innen und seitens der Netzwerkhersteller:innen im Unternehmen führen:

«Ja? Also ich als Experte da im Unternehmen (--) schätze Sachen falsch ein, weil ich über das Unternehmen zu wenig weiß. Leute, die im Unternehmen IPv6 einführen und die das Unternehmen kennen, die kennen IPv6 zu wenig und treffen dadurch Fehleinscheidungen. Das heißt, das Risiko, dass es nicht funktioniert, geht deutlich hoch. Und selbst (--) wenn die Fehler nicht so gravierend sind, bedeutet das, wenn ich unter Zeitdruck arbeite, dass ich früher oder später an einen Punkt komme, wo ich sage, hm, das hätte ich mal besser anders gemacht. Aber ich keine Zeit mehr habe, um einfach noch mal (--) einen Schritt zurückzugehen, und Sachen richtig zu machen» (Interview 7: 1960–1970).

Demnach kommen seitens der Expert:innen Fehler in der Einführung auf, die als Folge zu geringer Kenntnis zum Netzwerk des Unternehmens entstehen. Seitens der Netzwerkhersteller:innen im Unternehmen entstehen hingegen Fehler, die – trotz Bekanntheit des Netzwerks – aufgrund mangelnder Kenntnisse zum IPv6 (Interview 7: 1964) zu «Fehlentscheidungen» im Einführungsprozess führen.

Schliesslich prognostiziert die interviewte Person des RİPEs, dass die Kompletumstellung auf das IPv6 rasant eintreten wird und an Kostenentwicklungen für Internetanschlüsse der Provider gekoppelt ist, die einem Preisdruck mit der Konkurrenz ausgesetzt sind:

«Und da kommen die Provider nicht ganz drum herum. Das hat nichts mit Technik zu tun. Das ist rein kaufmännisch. IPv4 verursacht zu, verursacht zunehmend mehr Kosten als IPv6. Für einen Provider ist heute jedes Paket, das per IPv6 läuft, billiger als jedes Paket auf IPv4. (-) Das heißt, grade bei dem Preisdruck, den wir in diesem Geschäft haben, grad bei den Privatkunden, Massenprovidern, die werden irgendwann (-) ankommen und sagen, nã, ›liebe Kunden, gute Nachricht, Ihr Internetzugang wird billiger«. Stern, Stern, Stern, Stern, Stern, Stern, Stern. Und dann irgendwo im Kleingedruckten, IPv4 kostet aber jetzt drei Euro im Monat extra. Und je nach dem, wann die das machen und wie aggressiv die da dran gehen, wird das bedeuten, dass dann IPv4 natürlich sehr schnell zusammenbricht» (Interview 7: 2206–2218).

Demnach wird das IPv4 abgelöst, sobald Netzbetreiber:innen höherer Strukturen, d.h. Service-Provider, die Infrastruktur für Unternehmen oder Privatkund:innen anbieten, die Preise für Internetanschlüsse erhöhen. Dann werden IPv6-Anschlüsse günstiger vertrieben und für IPv4 Anschlüsse werden Aufpreise erhoben. Dies führt die Interviewpartner:in auf Wirtschaftlichkeitserwägungen der Service-Provider zurück. Demnach ist der Datenversand über das IPv6 preiswerter und führt zu einer Dringlichkeit der Preismstellung, die wiederum seitens der Kund:innen (z.B. Unternehmen, Privatkund:innen) zu einer erfahrbaren Dringlichkeit in der Umstellung auf IPv6 führen.

Insgesamt zeigt sich exemplarisch anhand der Untersuchung des RIEPs, dass der Interessenverband als zentrale Organisation für die Adressvergabe von IP-Adressen in Europa an einer perspektivischen Komplettumstellung ein starkes Interesse hat. Zentrale Momente für den Umbau der Internetinfrastruktur liegen dem RIEP folgend auf der Seite der Organisationen und insbesondere ihrer Leitungen. Innerhalb der Analysen wird deutlich, dass die Leitungsebene die Dringlichkeit zur Umstellung wahrnehmen muss, um eine Veränderung durch Einführung des IPv6 einzuleiten. *Demnach ist das Commitment von erfahrbarer Dringlichkeit abhängig.* Zugleich wird innerhalb der Analysen deutlich, dass die Charakteristik der Internetinfrastruktur dies erschwert, da sie unsichtbar ist, solange sie ihre Funktion erfüllt. Demnach wird Dringlichkeit in Unternehmen erst erfahrbar, wenn finanzielle Verluste eintreten und «es eigentlich zu spät ist» (Interview 7: 1935–1936).

Letzteres führt zu einer Implementierung unter Zeitdruck (vgl. Interview 7: 1925–1939), die aufgrund einer komplexer gewordenen technologischen Internetinfrastruktur (vgl. Interview 7: 2035–2047) vor dem Hintergrund einer geringen Anzahl von IPv6-Expert:innen (vgl. Interview 7: 1947–1955) den flächendeckenden Einführungsprozess erschwert. Hierdurch wird dieser fehleranfälliger (vgl. Interview 7: 1960–1970) und verursacht zudem höhere Kosten (vgl. Interview 7: 1947–1955, Interview 7: 2206–2218).

9.8.3.1.3.3.2 *Dual-Stack Betrieb aufgrund intrinsischer Motivation*

Der Selfnet e.V. stellt, repräsentiert durch das Interview 8, ein Beispiel für einen Dual-Stack Betrieb der Infrastruktur eines Subnetzes dar, welches innerhalb einer Nacht und ad hoc bei «Bier und Pizza» umgestellt worden ist (Interview 8: 465). Es ist anzumerken, dass auch der Selfnet e.V. ad hoc innerhalb des Interviews 8 auftaucht, indem die Interviewpartner:in über Aktivitäten ausserhalb des Landesrechenzentrums berichtete. Zunächst erzählte die Interviewpartner:in im Narrativ einer Geschichte, wie es zur Einrichtung des Selfnet kam:

«Also das ist so ein Studentennetz. Das hat damit angefangen, dass in den 90er Jahren Internetzugänge in Studentenwohnheimen ein absolutes Drama waren. Also es gab entweder gar nichts. Wenn man Glück hatte, einen Telefonanschluss, wo man sich ein 56K-Modem anschließen konnte. Und wenn man Pech hatte, gab es da nur Kabel von so einer Firma, die nenne ich jetzt nicht. Da war es dann halt so, dass das ganze Wohnheim mit ein paar hundert Leuten ein 2Megabyte Kabelnetzseg Segment war» (Interview 8: 314–321).

An dieser Erzählung wird deutlich, dass die bestehende Netzwerkinfrastruktur von erfahrbaren technologischen Defiziten geprägt war. Demnach referiert die Erzählung insbesondere auf die mangelnde Geschwindigkeit der damals gebräuchlichen Modems. Defizite waren innerhalb der bestehenden Infrastruktur des Studentenwohnheimes Anlass für eine Veränderung. Infolgedessen

«haben Leute einfach wild Kabel im Wohnheim verlegt. Das war natürlich dem Studentenwerk nicht so richtig recht, wenn da Leute einfach irgendwie Löcher in die Wände bohren. Und aus dieser Not heraus hat sich dann irgendwann Selfnet gegründet und hat sich halt zum Ziel gesetzt, wir können Netzwerk aus Langeweile, aus aus weil wir ein anständiges Netz haben wollen, können wir das selber besser machen als irgendeine Firma. Die es nur macht, weil sie halt irgendwie mit wenig Einsatz viel Geld verdienen will» (Interview 8: 336–343).

Der Ausschnitt schildert, wie die Defizite der Vernetzungstechnik und des Service-Providers Studierende dazu motiviert haben, ein eigenes Netzwerk aufzubauen, welches zur Verbesserung der alten Infrastruktur beitragen sollte.

Infolgedessen wurde der Selfnet e.V. gegründet, der alle Wohnheime der Hochschule mit dem Internet vernetzt, und Studierende «können dann über eine kleine Mitgliedsgebühr die Vereinsleistung, also den Netzwerkzugang benutzen» (Interview 8: 363–364).

Weiterführend verweist die Interviewpartner:in auf die technologischen Besonderheiten des Netzwerks, indem jedes Wohnheimzimmer über einen eigenen Adressbereich verfügt: «Das heißt, jedes Zimmer hat wirklich einen kleinen eigenen Adressbereich, der geroutet wird. Da gibt es keine VLANs, da gibt es kein Switching» (Interview 8: 411–412).

Durch diese technischen Spezifikationen innerhalb des Netzwerkes werden zudem Freiräume geschaffen, die den Nutzer:innen das Experimentieren im Netzwerk erlauben:

«Ja, und man kann dann halt auch mal Sachen bauen, die irgendwie absurd (-), die, die für eine für eine kommerzielle Firma irgendwie absurd wären, die aber irgendwie interessant sind. Wo man was dabei lernen kann. Und, ja, ich sage mal, weil es geht, kann man Dinge tun» (Interview 8: 414–418).

Darüber hinaus wird auch Hardware bereitgestellt, die zum Testen verwendet werden kann, mit der aufkommende Ideen der Studierenden ausprobiert werden können, und welche schliesslich zur Einführung des IPv6 führte:

«Es gibt auch immer irgend so ein paar Test-Switche, die rumstehen, die so auch halb am Netz hängen. Wo man einfach mal damit spielen kann. Und einfach mal eine blöde Idee ausprobieren. Also es gibt irgendwie so den Spruch, ›blöde Ideen müssen unbedingt ausprobiert werden« ((lacht)) Und ich glaube, aus so einer Laune heraus ist dann auch dieser IPv6-Rollout passiert damals» (Interview 8: 437–442).

Zudem beschreibt die Interviewpartner:in die ad hoc Einrichtung des Dual-Stack Betriebes innerhalb der Netzwerkinfrastruktur des Selfnets, welche innerhalb einer Nacht erfolgte:

«Und saß dann da halt mal abends rum. Und hat dann irgendwie bei einem Bier und einer Pizza drüber geredet und drüber berichtet. Und dann war das halt auch so, ja, das können wir eigentlich mal machen. Und dann wurde nachgeguckt, kann die Hardware das. Und dann waren das halt CISCO 3560-Switche. Und die können das. Und die können das auch routen. Und dann gab es da eigentlich so hardwaremäßig keine Beschränkungen und keine kein Grund, das nicht zu tun.» (Interview 8: 464–471)

«Und und dann saßen die da halt und haben sich gedacht, ›ja, könnten wir eigentlich mal machen«. Und haben sich hingesetzt, haben die Datenbank zu-rechtgehackt. Haben da ein paar Tabellen neu eingefügt IPv6. Haben das in die Tablets eingefügt. Und dann nach nach so einer durchzechten Nacht aus so einer, ich sage mal, Bierlaune heraus, gab es dann einfach plötzlich IPv6 bei Selfnet» (Interview 8 483–489).

Schliesslich zeigt sich anhand dieser beiden aufeinanderfolgenden Datensequenzen der gesamte Einführungsprozess des Dual-Stack Betriebes innerhalb einer Nacht, bei Bier und Pizza. Anlässlich der spontanen Idee kam eine kleine Gruppe von Netzwerkentwickler:innen in den Einführungsprozess des Dual-Stack Betriebes und setzte diesen direkt für das Netzwerk des Selfnet e.V. um.

Dabei zeigt sich jedoch ein entscheidendes Charakteristikum innerhalb des Einführungsprozesses: Es gab zum einen Expertise, die dies seitens der sozialen Akteur:innen ermöglichte. Zum anderen waren die technischen Elemente des Netzwerks IPv6-fähig. Entscheidend innerhalb dieses Prozesses war auch die intrinsische Motivation und die Neugier der Entwickler:innen, die zu dieser rasanten Protokolleinführung führte. Somit zeigt sich erneut, dass intrinsische Motivation den Umbau der Internetinfrastruktur befördern kann, wie es bereits im Fall des Netzwerks am Lehrstuhl einer Universität war (siehe 9.8.3.1.3.2.1). Allerdings erfolgte die Einführung an der Universität schrittweise, während das Selfnet ad hoc innerhalb einer «durchzechten Nacht» (Interview 8: 487) aufgebaut wurde.

9.8.3.1.3.4 *Wirtschaft*

Für den Bereich der Wirtschaft wurden in Anlehnung an die verfolgte Samplingstrategie der Sektorendifferenzierung verschiedene Branchen untersucht, da zunächst eine branchenspezifische Differenz bei der Einführung des IPv6 erwartet wurde. Im Sinne der GTM geht es dabei nicht um den Ausdruck von statistisch signifikanten Unterschieden innerhalb der untersuchten Branchen, sondern um eine möglichst hohe Kontrastierung innerhalb der GTM-Studie. Ich führte dieses, als «Prinzip der Minimierung und Maximierung von Unterschieden» (Przyborski und Wohlrab-Sahar 2009, 178) beschriebene Vorgehen, bereits umfänglich im Kontext der Samplingstrategie aus (siehe Kapitel 8.2).

Es erfolgte ein Interview mit einem international agierenden Online-Auktionshaus (Dienstleistungssektor, vgl. Interview 5), ein Interview aus dem Industriesektor, welches ein national agierendes Unternehmen aus dem Bereich der Automobilindustrie darstellte (vgl. Interview 9) und ein Interview mit einer Mitarbeitenden eines amerikanischen Softwareunternehmens, welches den Sektor der Informationstechnik repräsentierte (vgl. Interview 6).

Insgesamt zeigten sich innerhalb der vorliegenden Studie keine branchenspezifischen Unterschiede im Hinblick auf den Einführungsprozess des IPv6 und auch keine Unterschiede, die sich seitens der Ausrichtung des Unternehmens (national vs. international) oder aufgrund der Grösse (Mitarbeiter:innenzahlen, Umsatz etc.) verorten liessen. Ich möchte an dieser Stelle nochmals in Anlehnung an das Forschungsparadigma der GTM (Kap. 2) betonen, dass das Ausloten von möglichen

Differenzen zur Kontrastierung für die gegenstandsorientierte Theoriegenerierung verfolgt wurde und nicht statistisch signifikante Ergebnisse damit beschrieben werden sollen

Allerdings zeigte sich bei einem Unternehmen (vgl. Interview 5) eine Orientierung an Initiativen zur Verbreitung des IPv6 (vgl. «WorldIPv6Launch 2011» 2011) und seitens der Interviewpartner:in 5 ein Motivationsmoment, welches durch Fortschrittlichkeit und Innovationsgeist geprägt ist und zum Umbau der Unternehmensinfrastruktur führte.

Darüber hinaus forcierte Interviewpartner:in 6 hemmende Momente sozialer Akteur:innen im Einführungsprozess.

9.8.3.1.3.4.1 *Ja, wir (--), ja wir verstehen uns als Leading Edge!*

Interviewpartner:in 5 ist Leiterin der Netzwerkabteilung eines international agierenden Online-Auktionshauses und implementierte bereits vor ihrer derzeitigen Tätigkeit erfolgreich in einem Tochterunternehmen im Bereich des Onlinehandels den Parallelbetrieb von IPv4 und IPv6 (Dual-Stack) (vgl. Interview 5). Die Netzwerkinfrastruktur des Unternehmens ist sehr umfangreich. Dieses drückt sich anhand der folgenden Datensequenz aus:

«Also wir sind unser eigener Internetknoten quasi. Und unter diesem autonomen System avancieren wir mittlerweile sieben verschiedene IPv4 Blöcke. Wobei die Zuteilung des siebten, das war quasi irgendwie (--) in 2014 der letzte, oder einer der letzten bevor das RIPE gesagt hat, jetzt machen wir keine [g]anzen [IPv4-Adressblöcke mehr]» (Interview 5: 545–549).

Entgegen der Annahme, die in dieser Interviewsequenz geschilderte Adressknappheit habe zur Einführung von IPv6 geführt, distanziert sich die Interviewpartner:in von dieser und referiert auf intrinsische Motivation. Demnach wollte das Unternehmen, für welches die Person arbeitet, eine Vorreiter:innenposition einnehmen:

«Wie gesagt, es wäre falsch zu sagen, wir mussten das machen, weil wir keine Adressen mehr hatten. Es ist so, wir wollten das machen, weil es geht. Ja, wir (--), ja wir verstehen uns als Leading Edge! Wir machen hier coole Sachen und IPv6 war halt so eine coole Sache» (Interview 5: 608–611).

Dieser Interviewausschnitt zeigt, dass in diesem Fall keine Adressknappheit zur Einführung des IPv6 geführt hat, sondern die Unternehmensphilosophie, eine «Leading Edge» (Interview 5: 605) einzunehmen. Weiterführend wird darin eine Identifikation mit dem Unternehmen deutlich, welche sich in «wir machen coole Sachen» (Interview 5: 606) ausdrückt. Auch wird die Technologie des IPv6 als eine «coole Sache» (Interview 5: 606) ausgedrückt und insofern als Identifikationsfaktor erlebt.

Anlass für die tatsächliche Implementierung des IPv6 war dann der World-IPv6-Tag und ein Treffen mit der Mitarbeitenden eines Softwareunternehmens, welche innerhalb der Studie in Interview 6 interviewt wurde:

«Das war eher so, dass wir uns mit diesem IPv6 Tag auseinandergesetzt hatten und zu dem Zeitpunkt war auch zufällig der [Person x, Interviewpartner:in 6] im Haus, der da schon immer Vorreiter war. Der hat hier bei uns dann (--) gearbeitet. Und (-) aus technischer Sicht kam dann halt die Überzeugung auf, naja, es ist schon die Richtung, in der sich die Industrie hin entwickelt und wir sollten oder wir schreiben uns auf die Fahnen, dort ein Vorreiter zu sein. Und von daher sollten wir uns das mal angucken. Ernsthaft» (Interview 5: 592–599).

Hier weist Interviewperson 5 zudem auf die Vorreiterrolle von Interviewperson 6 hin. Darüber hinaus führte die Arbeit mit ihm aus technologischer Sicht zu der Einsicht, dass das IPv6 zukunftsweisend ist und das Unternehmen in seiner Vorreiterstellung als «Leading Edge» (Interview 5: 605) sich entsprechend «ernsthaft» mit dieser Thematik auseinandersetzen sollte (Interview 5: 599).

Infolgedessen hat sich die Netzwerkabteilung des Unternehmens intensiv mit der Thematik des IPv6 beschäftigt, Hard- und Softwarekomponenten auf IPv6-Fähigkeit überprüft sowie Performanzmessungen durchgeführt:

«Und da haben wir uns dann, weiß nicht, früh in 2012 drangesetzt. Um mal rauszufinden, ja, was es genau bedeutet fürs Unternehmen, also (---) einen richtigen Benefit konnten wir nicht feststellen. Also, dass es, wir hatten gehofft, dass es eventuell zu einem, wenn es überhaupt funktioniert, das war ja noch nicht sicher. Dass es vielleicht zu einer (--), dass die Seite schneller aufgebaut wird. Also Site-Speed ist immer ein Thema für uns. Wir möchten natürlich dem Kunden eine gute Erfahrung bieten. Und wir dachten, dass v6 vielleicht darauf einzahlen könnte.» (Interview 5: 610–618)

Die Performancemessungen quantifizierten demnach das IPv6 in seiner technischen Leistungsfähigkeit. Allerdings konnte keine messbare Verbesserung identifiziert werden. Die Interviewpartner:in referierte insbesondere auf «Site-Speed» (Interview 5: 616), um den Kund:innen einen schnellen Seitenaufbau zu ermöglichen, welcher jedoch nicht verbessert werden konnte. Letzteres zeigt die folgende Datensequenz, indem die Interviewte auf erhoffte Mehrwerte der Performanceleistung adressiert:

«Und da hatten wir uns halt Gewinne erhofft, weil gleichzeitig dann, naja, das kostet uns keine Investitionskosten. Nur quasi Zeit unserer Ingenieure. Das aufzusetzen. Und wir würden gerne bei diesem Tag da partizipieren. Und es ist generell ne gute Sache. Und dort liegt die Zukunft. Und wir sind die ersten

[...]. Ja, nicht die 12 anderen Webseiten. Und von daher war die Motivation im Team hoch. Genau, dann haben wir das halt (-), sind wir das angegangen» (Interview 5: 638-645).

Darüber hinaus wird die Entscheidung zur Einführung des IPv6 an entfallende Investitionskosten gekoppelt. Demnach müssen keine finanziellen Mittel aufgewendet werden, sondern *lediglich* zeitliche Ressourcen von Ingenieur:innen, die jedoch auch bezahlt werden.

Zugleich wird innerhalb der Datensequenz nochmals die Partizipation am World-IPv6-Day thematisiert sowie der Mehrwert dieser IPv6-Technologie, die von der Interviewpartner:in als gut und zukunftsweisend eingestuft wird. Letzteres unterstreicht nochmals die Überzeugung der Interviewpartner:in in Bezug auf die Technologie.

Zentrales Moment ist jedoch in der Zusammenschau der Datensequenzen zur Performancemessung (vgl. Interview 5: 610–618), dass die Technologie trotz geringen technologischen Mehrwerts für das Unternehmen eingeführt worden ist. Es zeigt sich, dass der ideologische Wert der Einführung, im Sinne einer Vorreiter:innenstellung «wir sind die ersten» (Interview 5: 643) im Vergleich zu «12 anderen Webseiten» (Interview 5: 643) überhebt und damit die Motivation des gesamten Teams hebt, um die Einführung anzugehen (vgl. Interview 5: 644–645). Zudem ist darin eine unternehmerische Handlung ersichtlich, indem im Planungs- und Einführungsprozess auf die Kundenorientierung verwiesen wird, auch wenn kein Mehrwert festgestellt werden konnte. Weiter verweist die Vorreiter:innenstellung und der Vergleich zu anderen Webseiten auf eine Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens, welches sich von anderen durch die Einführung des IPv6 abhebt sowie auf Innovationsgeist hinweist.

Schliesslich wurde der Umbauprozess durch eine Vermessung im Kontext des World-IPv6-Days abgeschlossen:

«Wir wollten, also wir haben dann auch, wir sind dann auf ein paar Webseiten gegangen, wo man dann seine IPv6 Verfügbarkeit testen konnte. Da gabs eine, die mit dem IPv6-Day zu tun hatte. Naja, und da haben wir dann irgendwie unsere Infos gegeben, da wurden dann die Kisten grün und dann haben wir uns alle gefreut, ja, so. Und mehr war da auch nicht, um jetzt, also. Das läuft jetzt seit vier Jahren wir haben WENIG (---) Beschwerden von Kunden» (Interview 5: 1087–1094).

Die Datensequenz verdeutlicht insofern den Abschluss des Migrationsprozesses in der Infrastruktur des Subnetzes und zeigt, dass die Entwickler:innen darüber erfreut waren.

Die Interviewleiterin war an dieser Stelle irritiert, dass die Einführung schliesslich so «unspektakulär» verlaufen ist, und fragte an dieser Stelle nach. Darauf entgegnete die Interviewpartner:in:

«Also diese, diesen Badge, dass man jetzt IPv6 Day ist von diesem IPv6-Tag, der erscheint nirgendwo auf unserer Webseite. Und ja ja für mich als Ingenieur, klar, das ist, das ist ein Accomplishment. Da haben wir wirklich was erreicht. Das haben damals noch nicht viele gemacht. Aber unsere Kunden wissen das nicht wertzuschätzen und unser Business weiß es eigentlich auch nicht einzuordnen» (Interview 5: 1129–1134).

Schliesslich verweist dieser Ausschnitt zum einen auf ein «Badge» (dt. Abzeichen) des World-IPv6-Days, welches ich in Teilkapitel 9.8.4 als ein «Belohnungsinstrument» weiterführend thematisiere, wie auch die persönliche Bedeutung des Umbaus als «Accomplishment» (dt. Leistung) (Interview 5: 1131). Darüber hinaus setzt die Interviewpartner:in letzteres in Relation zu der Zeit, in der diese Leistung erbracht wurde. Demnach waren zur Zeit der Einführung in ihrem Auktionshaus (vgl. «WorldIPv6Launch 2011» 2011) noch nicht viele andere Unternehmen mit der Umstellung beschäftigt. Insofern stellte die Einführung eine Innovation dar.

Zudem referiert die Interviewteilnehmer:in erneut auf Kund:innen und das Business, welche diese Leistung nicht einordnen können. Letzteres verweist implizit auf die bereits in dem vom RIPE (vgl. Interview 7) adressierten Aspekt innerhalb der Einführung, wonach Unternehmensleitungen zu geringe Kenntnisse über das IPv6 haben. Diese Einordnung der Interviewperson 5 könnte wiederum den Verzicht der Sichtbarmachung des IPv6-Badges auf der Webseite des Unternehmens erklären.

Zusammenfassend zeigt sich, dass die Interviewpartner:in IPv6 nicht aufgrund eines technologischen Mehrwertes implementiert, sondern aufgrund der Partizipation am World-IPv6-Day in Verbindung mit unternehmerisch orientierten Gründen einer Vorreiter:innenstellung und der Zukunftsorientierung des Unternehmens.

Demnach stellt die Interviewpartner:in 5 innerhalb der Netzwerkabteilung in Anlehnung an den Ansatz grosstechnischer Systeme einen «system builder» (Hughes 1987, 10) im Sinne eines «inventor-entrepreneur» (Joerges 1988, 12) dar, der ein soziotechnisches Netzwerk etabliert. Die Interviewpartner:in etablierte dieses innerhalb eines Unternehmens im Sinne eines Subnetzes des Dual-Stack Betriebs. Insofern agiert sie als eine Art «Intra»-inventor-entrepreneur.

9.8.3.1.3.4.2 Hemmende Momente sozialer Akteur:innen im Einführungsprozess und Weiterbildungsbedarfe

Die Interviewpartner:in 6 arbeitet für ein internationalagierendes Softwareunternehmen und begleitet in diesem Kontext viele verschiedene Unternehmen bei der Einführung des IPv6.

Die Interviewpartner:in berichtet innerhalb des Interviews über herausfordernde Momente ihrer Beratungs- und Einführungsarbeit im Kontext diverser Netzwerkhersteller:innen. Während dieser Zusammenarbeit mit Netzwerkhersteller:innen zeigten sich soziale Charakteristika, die im Einführungsprozess des IPv6 eine hemmende Wirkung hatten. Darüber hinaus können daran notwendige Kompetenzen der Netzwerkhersteller:innen abgeleitet werden, welche in den bisher vorgestellten Interviews in dieser Form nicht thematisiert wurden. Außerdem können Weiterbildungsbedarfe eruiert werden.

Interviewpartner:in 6 verweist auf die Notwendigkeit des Lernens von neuen Inhalten seitens der sozialen Akteur:innen, die das IPv6 einführen (vgl. Interview 6: 971–977). Das Thema, neue Inhalte zu erlernen und Kenntnisse über die IPv6-Technologie seitens der Netzwerkhersteller:innen zu haben, wurde auch bereits innerhalb anderer Teilbereiche der Interviewanalysen aufgeführt, zum Beispiel in den Bereichen der Forschung (Selbstlernen und Selbsttraining), der öffentlichen Verwaltung (Landesrechenzentrum) sowie bei Interessenverbänden.

Lernen wird im Kontext von Interviews 6 jedoch damit verbunden, dass der Lernprozess erschwert ist, da IPv6 als Inhalt nicht ansprechend ist:

«Also man muss halt was Neues lernen. Und das, das ist jetzt nicht schön und bunt. Also ich glaube, wenn es IPv6 mit schöner bunter Verpackung gäbe, würde sie es sofort kaufen. Weil neue Security-Produkte oder irgendwelche neuen Applications werden ja auch sofort gekauft. Aber das ist halt ein Thema, wo man sich mit beschäftigen muss. Man muss Gehirnschmalz reinstecken. Und eventuell muss man auch abteilungsweit übergreifend miteinander reden» (Interview 6: 971–977).

Sie legt dar, dass «mit schöner bunter Verpackung» (Interview 6: 973) die Attraktivität von IPv6 erhöht werden könnte und Netzwerkhersteller:innen (Kund:innen) dieses Produkt «sofort kaufen» würden (Interview 6: 973). Dennoch müsse man sich jedoch mit dem Thema beschäftigen, um es zu durchdringen.

Implizit verweist das auf die Aufbereitung der Lerninhalte, da die Technologie an sich nicht attraktiver gestaltet werden kann. Die ansprechende Verpackung könnte der Autorin dieser Arbeit folgend ein pädagogisch-didaktisch aufbereitetes Lernkonzept sein.

Darüber hinaus wird in der letzten Datensequenz die Notwendigkeit der abteilungsweiten Kommunikation benannt, welche insofern eine notwendige Kooperation meint, weil viele verschiedene Bereiche (wie E-Mail, Server, Router etc.) auf das IPv6 umgestellt werden müssen (siehe 9.8.3.1.2). Letzteres erfordert insofern die Kompetenz seitens der beteiligten sozialen Akteur:innen, miteinander zu kooperieren und zu kommunizieren.

Die Kooperation und Kommunikation scheint der Interviewpartner:in zufolge herausfordernd zu sein, da dazu vielfältige Abstimmungsprozesse notwendig sind wie z. B. Terminierung und Dokumenteneinsicht. Dies zeigt sich innerhalb des Interviews 6 an vielen Stellen. Exemplarisch dafür steht die folgende Datensequenz:

«Das ist teilweise auch sehr schwer. (--) Also die Versicherung hatte da auch so, also ich war bei den Netzwerkern aufgehängt. Und die haben Netzwerk und Security gemacht. Die haben miteinander geredet, aber wenn man dann gesagt hat, die, wenn ich dann gesagt habe, ›die Frage kann ich nicht beantworten; da müssten Sie jetzt mal die Windows-Leute fragen oder die Server-Leute fragen‹, ›ja, nein, da müssen wir erst das Dokument so haben, damit wir dann über unsere Prozesse intern einen Termin mit den Windowsleuten da machen können; damit wir dann mit denen das Problem bereden können‹» (Interview 6: 981–989).

Zuletzt wird in der Interviewsequenz eine Besprechung von Problemen benannt, was eine notwendige Problemlösekompetenz anspricht. Diese wiederum referiert im Kontext des IPv6 und der notwendigen Abstimmungsprozesse auf eine praktische Auseinandersetzung im Team.

Somit reicht die bloße Wissensvermittlung von technologischen Inhalten des IPv6 nicht aus. Stattdessen muss sie weiterführend mit Praxis der Anwendung und der Praxis der Einführung im Sinne der technologischen Aushandlung innerhalb des Teams der beteiligten Entwickler:innen ergänzt werden. Exemplarisch wird dies in der folgenden Sequenz deutlich:

«Ja, mit den, mit den Schulungen, klappt das nicht, nicht. Die können dann zwar vielleicht oberflächlich was. Das könnten sie mit IPv6 auch. Aber so richtig sinnvoll ist das nicht, wenn du die Leute nur auf eine Schulung schickst. Die müssen auch Praxis haben und Praxis und im Team haben. Und wenn du die Leute vor drei Jahren auf eine Schulung geschickt hast, dann kannst du nicht erwarten, dass sie heute das noch können. Du muss musst dich halt mit dem Thema beschäftigen» (Interview 6: 1240–1247).

Weiterführend wird in dieser Datensequenz deutlich, dass die Aktualität des Wissens und die Aktualität der Anwendung miteinander verknüpft sind.

Zudem weist die Interviewpartner:in auf die Wahrnehmung der Leitungsebene hin, indem diese annimmt, dass nach einer Schulung das Wissen verfügbar und insofern anwendbar ist:

«Also ich habe häufiger schon die Aussage gehört, ›meine Leute gehen auf eine Schulung und dann können die das‹. So grade im öffentlichen Dienst und bei der Bundeswehr. (--) ›Der Schmidt geht jetzt auf 'ne Schulung und dann ist er unser Netzwerkadministrator‹. Obwohl der Schmidt vorher noch nie einen

Computer gesehen hat. Und das ist halt bei bei vielen Chefs so der Glaube, dass man irgendwie jemanden auf eine Schulung schickt oder das Buch in die Hand drückt, und dann kann er diese neue Technologie. Das geht so aber nicht» (Interview 6: 1227–1234).

Schiesslich verweist die letzte Interviewsequenz auch auf die notwendige Aktualität von Wissen zum IPv6, die für dessen Anwendung in der Praxis – durch Einführung mit anderen Abteilungen – notwendig ist.

Insgesamt zeigt das Interview hemmende Momente seitens der Netzwerkhersteller:innen beim Einführungsprozess des IPv6 auf, die auf Weiterbildungsbedarfe hinweisen. Diese sollten zum einen Wissen zum IPv6 vermitteln, um Unsicherheiten gegenüber der Technologie zu beseitigen und eine fundierte Wissensbasis zu schaffen. Weiter sollten diese praxisorientiert ausgestaltet sein und notwendige Kompetenzen wie die Kommunikation und Kooperation in Teams beinhalten, um Problemlösekompetenzen zu fördern und Hinderungsgründe bei der Einführung auszuräumen, die aufgrund von Abstimmungsprozessen innerhalb des Teams entstehen.

Darüber hinaus könnten pädagogisch-didaktisch aufbereitete Lehr-/Lernmaterialien zum IPv6 genutzt werden, um den Lernprozess zum IPv6 ansprechender zu gestalten. Infolgedessen könnten Anreize zum Lernen seitens der Netzwerkhersteller:innen etabliert werden, die den Einführungsprozess des IPv6 und die Verbreitung dieser Innovation begünstigen.

9.8.4 Der World-IPv6-Day

Innerhalb der Interviews wurden von verschiedenen Interviewpartner:innen der World-IPv6-Tag als Initiative zur Verbreitung des IPv6 benannt (vgl. Interview 5, 6, 7). Zudem waren Interviewpartner:in 5 und 7 daran beteiligt. Interviewpartner:in 7 durch das RIPE als mitausrichtendem Interessenverband sowie Interviewpartner:in 5, die ein teilnehmendes Unternehmen vertrat. Weiter verfolgt Interviewpartner:in 6 die Initiative als Beobachter:in und verweist ihre Kund:innen darauf (vgl. Interview 5, 6, 7).

Im Folgenden werde ich den World-IPv6-Day 2011 darstellen und prüfen, inwiefern durch diese Initiativen Anreize zur Verbreitung des IPv6 geschaffen werden konnten.

Die ISOC startete am 8. Juni 2011 in Zusammenarbeit mit mehreren Internet-Service-Providern und unter angekündigter Teilnahme der Unternehmen Facebook, Google, Yahoo, Akamai Technologies und Limelight Networks in Zusammenarbeit mit den RIPE und weiteren Internetinteressenverbänden den World-IPv6-Day. Laut

Internetauftritt war das Ziel, das bereits seit 1998 standardisierte IPv6 auf seine Zuverlässigkeit und Leistungsfähigkeit hin zu *testen* sowie dieses *bekannt zu machen* (vgl. «WorldIPv6Launch 2011» 2011).

Der erste von der ISOC initiierte World-IPv6-Day begann am 08. Juni 2011 um 0:00 UTC und endete um 23:59 UTC desselben Tages. Es war ein demnach ein eintägig angelegter Test zum IPv6 (vgl. ebd.).

Das RIPE hat einen Bericht mit dem Titel «World IPv6 Day – What did we learn?» zum World-IPv6-Day 2011 verfasst, welcher Auskunft zu beteiligten Akteur:innen gibt sowie Messungen zur Inbetriebnahme des Dual-Stacks darlegt. Laut RIPE nahmen «53 participant or already dual-stacked sites» teil (RIPE 63 2011, 2).

Am Testtag stellten die Teilnehmer:innen ihre auf Dual-Stack vorbereiteten Netzwerke aktiv und es erfolgten parallel dazu sehr unterschiedliche Performanzmessungen wie Erreichbarkeit, Seitenaufbau-Geschwindigkeit, Nutzer:innenzugriffe über IPv6, etc (siehe weiterführend RIPE 63 2011, 9–18).

Am IPv6-Day nahmen zentrale Akteur:innen mit sehr grosser Reichweite teil. Zu diesen gehörten Service-Provider wie AOL, AT&T, Telecom sowie Soft-/Hardwarehersteller:innen wie CISCO und Microsoft und Diensteanbieter wie Yahoo und Google (vgl. RIPE NCC 2011). Der Test endete ohne nennenswerte Probleme und Ausfälle: «IPv6/dual-stack works just fine» (RIPE 63 2011, 19). Infolgedessen konnte ein Zuwachs der Zugriffszahlen über das IPv6 auf Google verzeichnet werden (vgl. Abbildungen 35–37).

Schauen wir uns auf Google-Statistik die Zahlen aller Google-Zugriffe über IPv6 an, sehen wir, dass im Vorjahr des Tests am 01.06.2010 0,22 Prozent (vgl. Abbildung 35) das IPv6 nutzten und über dieses auf Google zugegriffen.

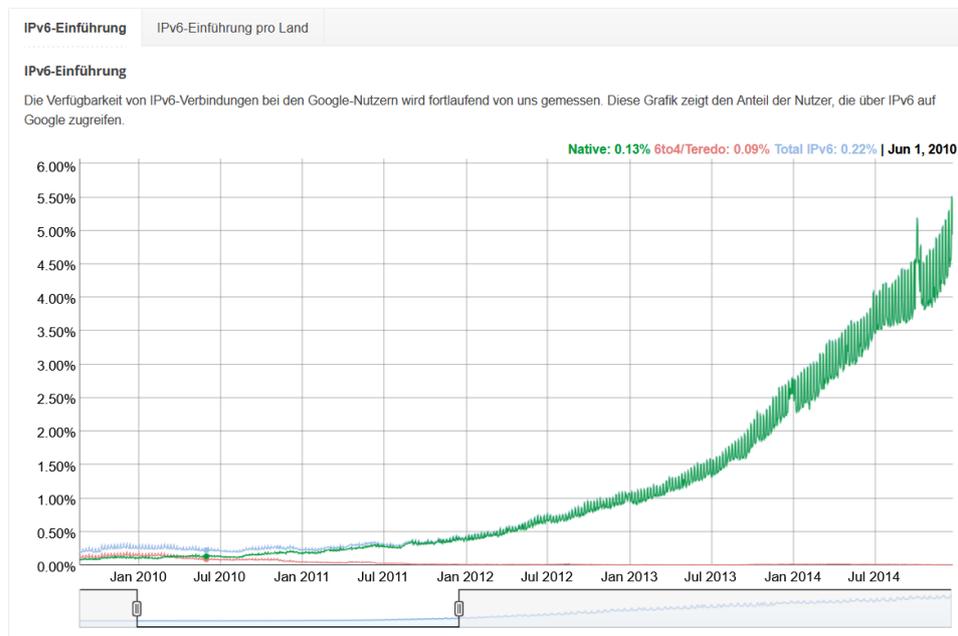


Abb. 35: Google IPv6 Statistik vom 01.06.2010. Online verfügbar: <https://www.google.de/ipv6/statistics.html>, letzter Zugriff: 19.01.23.

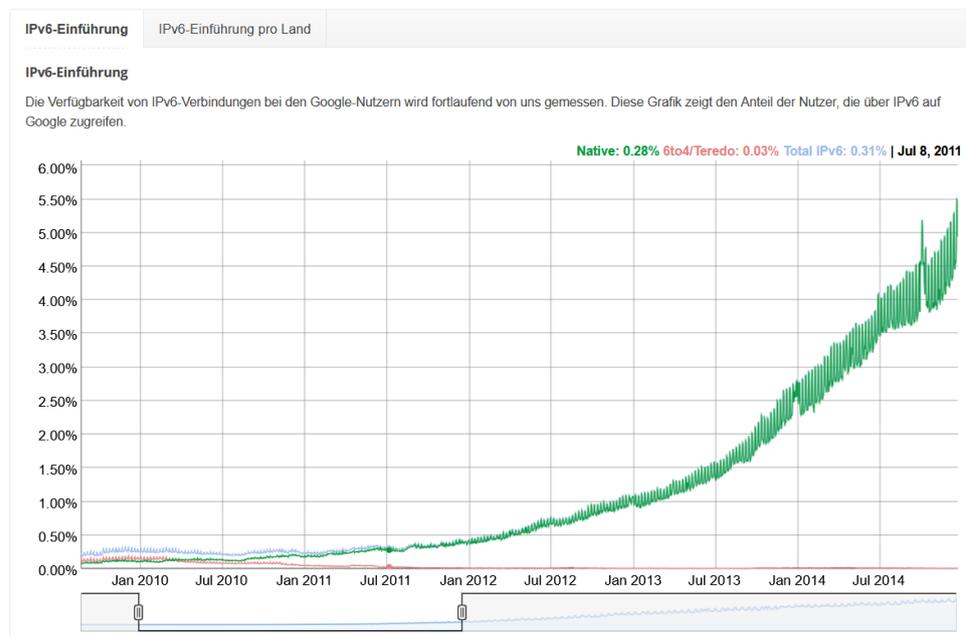


Abb. 36: Google IPv6 Statistik vom 08.07.2011. Online verfügbar: <https://www.google.de/ipv6/statistics.html>, letzter Zugriff: 19.01.23.

Einen Monat nach dem World-IPv6 Day, am 08. Juli 2011, liefen 0,31 Prozent (vgl. Abbildung 36) aller Google Zugriffe über das IPv6, am World-IPv6 Day am 08. Juni 2011 0,34 % (vgl. Abbildung 37).

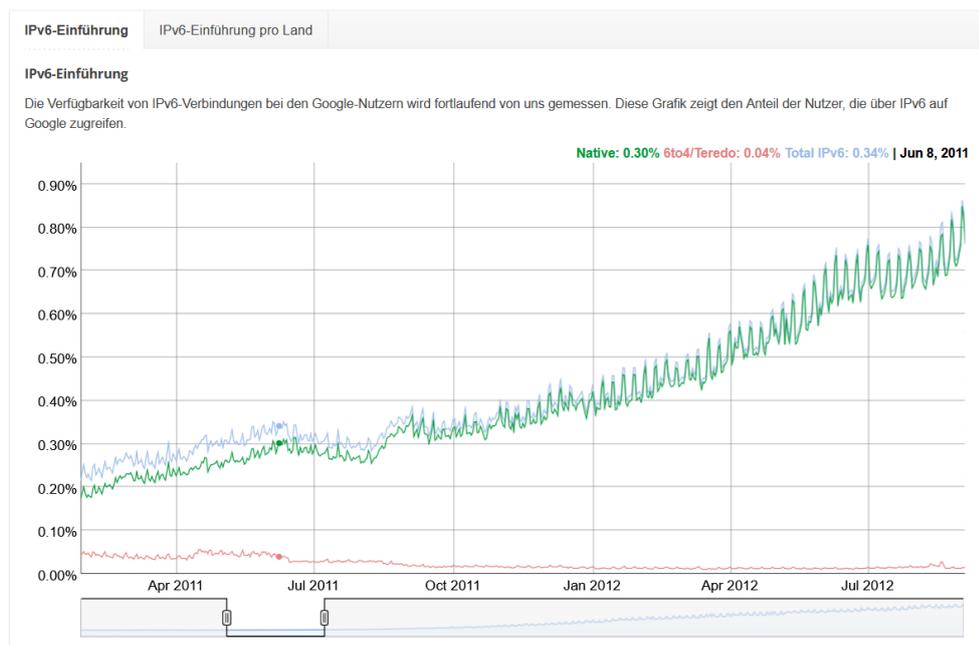


Abb. 37: Google IPv6 Statistik vom 08.06.2011. Online verfügbar: <https://www.google.de/ipv6/statistics.html>, letzter Zugriff: 19.01.23.

Dies entspricht vom Juni 2010 (0,22 % ca. 1 Jahr vor dem Test) zum Juli 2011 (0,31 % 1 Monat nach dem Test) einer Differenz von 0,09 Prozent sowie zu «Höchstzeiten» am IPv6-Tag eine Differenz von 0,12% Zuwachs.

Insgesamt zeigt sich anhand des quantitativen Vergleichs der Zugriffszahlen auf Google ein deutlicher Zuwachs, auch wenn die Verbreitung des IPv6 insgesamt als «noch gering» einzustufen ist. Darüber hinaus ist ein deutlicher Aufwärtstrend in den Monaten nach dem IPv6 Day zu verzeichnen.

Weiterf fiel innerhalb der Analyse eine vermehrte Berichterstattung in den Medien sowie seitens beteiligter Akteur:innen auf.

So berichtete eine Vielzahl von Medien (digital und print) über den IPv6 Day. Exemplarisch können die Tageszeitungen taz (vgl. Kleinz 2011), Welt (vgl. Clauß 2011) und FAZ (vgl. Kleinz 2011) genannt werden sowie (digitale) Fachmagazine aus dem Bereich der Computertechnik wie das PC Magazin (vgl. Ziemann 2011) und Heise (vgl. Heise und Kaps 2011).

Darüber hinaus berichtete eine Vielzahl der an der Einführung des IPv6 beteiligten Akteur:innen weiterführend über den IPv6 Day. Zu diesen gehören unter anderem der IPv6-Rat (vgl. Hasso-Plattner-Institut 2011) und die IETF (vgl. RFC 6949, Flanagan, und Brownlee 2013).

Zusammenfassend kann der von der ISOC initiierte World-IPv6-Day als Initiative zur Verbreitung identifiziert werden, die zu einer Zunahme der technischen Verbreitung des IPv6 führte und andere Akteur:innen dazu veranlasste, über diesen Tag zu berichten. Somit konnte durch den World-IPv6-Day mediale Aufmerksamkeit erreicht werden, welche Expert:innen und die allgemeine Presse veranlasste, über den IPv6-Tag zu berichten. Schliesslich wurde dadurch die Sichtbarkeit des IPv6 zumindest temporär während eines Tages gesteigert.

9.9 Zwischenfazit – Phase der Einführung des IPv6

Die «Rekonstruktion des Internetprotokolls: Internet Protocol Version 6 (IPv6)» bezeichne ich im Folgenden als technologische «Phase der Einführung des IPv6 (IPv6)».

Innerhalb der «Phase der Einführung des IPv6 (IPv6)» greife ich erneut auf die (in Anlehnung an die im Zwischenfazit zur «Phase der Entstehung des Internets – ARPANETs») generierten und im Fortlauf der vorliegenden Arbeit modifizierten Kategorien zur Beschreibung und Erklärung der Veränderung im soziotechnischen Netzwerk zurück und modifiziere diese weiterführend in Anlehnung an die Analyseergebnisse des Kapitels 9.8.

Im Folgenden stelle ich entscheidende Charakteristika bei der Einführung des IPv6 in das soziotechnische Netzwerk des Internets dar und lege verfolgte Strategien sowie förderliche und hemmende Momente im Umbauprozess des Internets fest, indem ich technologische und soziale Veränderungen aufzeige sowie soziotechnische Verflechtungen der Akteur:innenkonstellationen darstelle.

9.9.1 Rahmenbedingung und Ausgangssituation der Einführung des IPv6

Zentrale Ausgangssituation ist, dass das IPv6 als Kommunikationsprotokoll entwickelt wurde, welches das IPv4 ablösen sollte.

Demgegenüber steht das IPv4 als langjährig etablierter technologischer Standard, der flächendeckend und vollumfänglich im Internet eingesetzt wird. Er wurde innerhalb eines «Top-down» initiierten Umbauprozesses seitens der führenden Organisation DARPA im ARPANET eingeführt und von den Netzwerkhersteller:innen als Subnetzbetreiber:innen eigenverantwortlich die Einführung des IPv4 innerhalb ihrer Subnetze des Internets veranlassten, um Anschlussfähigkeit zu behalten (siehe Kapitel 9.7).

Essenziell für die Einführung des IPv6 ist demnach zum einen die Besonderheit, dass es zu keinem Zeitpunkt im Gesamtverlauf der Entwicklung des Internets eine so lange Phase technologischer Stabilität zu verzeichnen gab. Zum anderen ist zentral, dass Netzbetreiber:innen nunmehr zur Eigenverantwortlichkeit durch die DARPA befähigt waren und somit über technologische Einführungsprozesse selbst entschieden.

Folglich ist die Rahmenbedingung für das IPv6 durch ein Momentum in Anlehnung an die GTS gekennzeichnet (siehe 5.1.4.4), welches sich durch das IPv4, dessen flächendeckende «Top-down» initiierten Einführung der DARPA im ARPANET und durch die eigenverantwortliche Einführung seitens der Netzbetreiber:innen entwickelte. Weiterführend bildeten sich durch die Einführung und den Betrieb von IPv4 Beharrungstendenzen im soziotechnischen Netzwerk aus, die eine Kompletumstellung des Internets auf IPv6 erschwerten und noch immer erschweren. Die Momente der Akteur:innenkonstellationen des soziotechnischen Netzwerks, die dazu führen, konkretisiere ich im Kontext dieses Zwischenfazit. Dazu stelle ich die verfolgten Umbaustراتيجien sowie hemmende und fördernde Wirkungen innerhalb des soziotechnischen Netzwerks des Umbaus der Internetinfrastruktur am Beispiel des IPv6 heraus.

9.9.2 Soziotechnische Verflechtungen des IPv6

An soziotechnischen Verflechtungen zeigte sich in der Phase der Einführung des IPv6 eine zunehmende Komplexität innerhalb des soziotechnischen Netzwerks des Internets, welche sich seitens der beteiligten Akteur:innen und deren Konstellationen ausbildete.

Im Folgenden stelle ich zunächst die technologischen Neuerungen durch das IPv6 dar und thematisiere in Anlehnung hieran wechselseitige Auswirkungen seiner technologischen Entwicklung und der sozialen sowie organisationalen Momente im Sinne von Veränderungen im soziotechnischen Netzwerk.

9.9.2.1 Technologische Neuerungen

Die technologischen Neuerungen des IPv6 wurden erstmalig mit dem RFC 1883 (vgl. RFC 1883 u. a. 1995) standardisiert, bis 1998 weiterführend spezifiziert und infolgedessen als RFC 2460 (vgl. RFC 2460 u. a. 1998) den beteiligten Akteur:innen des Internets zur Verfügung gestellt.

Innerhalb des Ergebniskapitels legte ich in Anlehnung an das Standardisierungspapier RFC 1883 fünf zentrale Neuerungen des IPv6 im Vergleich zum IPv4 dar: 1. «Expanded Addressing Capabilities», 2. «Header Format Simplification», 3. «Improved Support for Extensions and Options», 4. «Flow Labeling Capability» und 5. «Authentication and Privacy Capabilities» (RFC 1883 u. a. 1995, 3).

Diese fünf Neuerungen wurden seitens der RFCs als technologischer Mehrwert dargestellt, welcher u. a. technische Lösungen zur Adressknappheit liefern sollte.

9.9.2.1.1 *Räumliche Ausbreitung und technische Ausweitung*

Im Ergebniskapitel legte ich dar, dass neue Nutzungsmöglichkeiten und Anwendungsfelder des Internets in den 1990er-Jahren durch das WWW (= World Wide Web) zu einer räumlichen, technologischen und sozialen Ausweitung des soziotechnischen Netzwerks führten. So nahmen die Nutzer:innenzahlen des Internets zu, was wiederum zu einer Ausweitung der technischen Netzwerkbestandteile des Internets führte sowie die Weiterentwicklung des Internetprotokolls begünstigte, indem dadurch die Adressknappheit der IPv4 als Limitation wahrgenommen werden konnte (siehe Kapitel 9.8.2).

Das IPv6 stellte insofern über die technologische Neuerung der Adressraumerweiterung eine extrem grosse Anzahl von IP-Adressen bereit. Damit wurde eine Technologie zur Lösung der Adressknappheit im soziotechnischen Netzwerks des Internets erstellt und öffentlich zugänglich gemacht.

9.9.2.1.1.1 *Aufhebung der Limitation des IPv4 durch den IPv6 Adressraum*

Bedeutendster Unterschied des IPv6 zum IPv4 ist der nahezu unbegrenzte Adressraum, mit der Möglichkeit, rund 340 Sextillionen ($340 \cdot 10^{36}$) IP-Adressen anzusprechen.

Folglich hatte die Entwicklung des IPv6 zunächst die technologische Funktion, das Problem der Adressknappheit zu lösen und zur Aufhebung der physischen Limitation der IP-Adressen aufgrund der Begrenzung des IPv4, im Sinne der Anzahl möglicher anzuschliessender Netzwerkbestandteile des Internets, zu überwinden.

9.9.2.1.1.2 *Erweiterung der logischen Struktur der IP-Adressen*

Übersetzt wurde im Sinne der ANT (siehe Kapitel 5.2) die Adresserweiterung in die Ausgestaltung der logischen Struktur der IP-Adressen durch die Entwickler:innen des IPv6. Ich legte dazu innerhalb des Ergebniskapitels die logische Struktur der IP-Adresse des IPv6 anhand der «Header Format Simplification» dar.

Letztere wurde von den Entwickler:innen mit dem Vorteil der Reduktion des Datenverarbeitungsaufwands seitens der Rechner sowie einer allgemeinen Simplifizierung des Headers für die Entwickler:innen in Verbindung gebracht.

Somit sollte der Header des IPv6 zur einer Reduktion der technologischen Komplexität der beteiligten Technologien führen sowie eine Vereinfachung für die Entwickler:innen darstellen. Im Fortlauf der Analysen zeigte sich in der Interviewstudie jedoch, dass die Umgestaltung des Headers eine hemmende Bedingung für

den Umbau der Netzwerkinfrastruktur seitens der Netzwerkhersteller:innen darstellt, weil sie Netzwerkbestandteile innerhalb des Computernetzwerks nur noch erschwert lokalisieren können (siehe 9.8.3.1.3.2.2).

9.9.2.1.1.3 Übergangstechnologien als Workaround zur Sicherstellung der technologischen Anschlussfähigkeit

Weiterhin zeigte sich innerhalb der Analysen, dass das IPv6 nicht das IPv4 ablöst bzw. dieses nicht ablösen kann, da IPv6 und IPv4 nicht zur Kommunikation untereinander befähigt sind. Das heisst, ein rein auf IPv6 basiertes Computernetzwerk kann nicht mit einem IPv4-Computernetzwerk kommunizieren, ebenso wenig wie ein IPv4-Netzwerk mit einem IPv6-Netzwerk kommunizieren und Daten austauschen kann. Demnach hat das IPv6 keine Interoperabilität mit dem IPv4 (siehe Kapitel 9.8.1).

Infolgedessen verwies bereits der Transition Plan (siehe 9.8.3.1.2) auf die Verwendung von Übergangstechnologien, die einen Parallelbetrieb des IPv4 und IPv6 (Dual-Stack Betrieb) mittels Einrichtung von VPN und IPv6 Tunneltechnologien ermöglichen.

Ich legte dies innerhalb des Ergebniskapitels zur Rekonstruktion des IPv6 anhand der Migrationsstrategien der Entwickler:innen des Transition Plans (siehe 9.8.3.1.2) sowie seitens der untersuchten Teilbereiche bei der Einführung des IPv6 mittels Dual-Stack Betrieb (siehe Kapitel 9.8.3.1.3) dar.

Übergangstechnologien stellen insofern Workarounds (dt. Behelfslösungen) des soziotechnischen Netzwerkes dar, um die technologische Anschlussfähigkeit innerhalb des Internets sicherzustellen. Diese Workarounds sind somit hochgradig funktional für das Bestehen des soziotechnischen Netzwerkes des Internets und für die technologischen und sozialen Akteur:innen essenziell.

9.9.2.1.1.3.1 Technologische Ausweitung durch Übergangstechnologien

Zugleich weitete sich durch die Einführung von Übergangstechnologien die technologische Infrastruktur des Internets und seiner Subnetze aus, indem sie technologische Neuerungen darstellten.

Dies zeigte sich, wie im Punkt zuvor erläutert, innerhalb der Analysen des Transition Plans (siehe 9.8.3.1.2) sowie weiterer untersuchter Teilbereiche, wie zum Beispiel der Forschung und dessen empfohlenen Dual-Stack Betrieb (siehe 9.8.3.1.3.1).

9.9.2.1.1.3.2 Technologische Komplexität durch Doppelstrukturen

Darüber hinaus steigert der Dual-Stack Betrieb die technologische Komplexität in einem solchen Ausmass, dass durch Parallelbetrieb von IPv4 und IPv6 Doppelstrukturen entstehen, welche wiederum nicht nur eingerichtet, sondern auch gewartet werden müssen.

Dies zeigte sich u. a. im Ergebniskapitel anhand des Teilkapitels zum Anlass und zu den heterogenen Gründen für die Einführung des IPv6 (siehe 9.8.3.1.1).

Weiterführend ist die technologische Komplexität eng mit sozialen Momenten innerhalb der Phase der Einführung des IPv6 verwoben und führt zu Weiterbildungsbedarfen und notwendigen Kompetenzen, welche ich unter 9.9.3.2.3.5.2 darstelle.

9.9.2.1.1.3.3 Interoperabilität von technologischen Netzwerkkomponenten

Die Analyseergebnisse zeigen, dass die Interoperabilität seitens der verwendeten Netzwerkkomponenten auf Soft- und Hardware sehr wichtig ist, um technologische Anschlussfähigkeit zu gewährleisten.

Wie eingangs erläutert, ist das IPv4 nicht befähigt, mit dem IPv6 zu kommunizieren. Hierdurch ist die Anschlussfähigkeit des IPv6 durch flächendeckende Verbreitung des IPv4 im Internet eingeschränkt, und deswegen müssen Übergangstechnologien als Workarounds für die Implementierung des IPv6 eingefügt werden.

Das IPv6 bedarf technologischer Hard- und Software, die mit dem IPv4 kommunizieren kann. Somit muss jede Hard- und Software, die mit der Umwelt eines Subnetzes kommuniziert, IPv6-fähig sein.

Schliesslich zeigt sich auch im Kontext der Phase des IPv6 die Notwendigkeit der Interoperabilität technologischer Bestandteile im Internet. Im Speziellen ist diese eine Grundvoraussetzung für die Einführung von IPv6 und insofern essenziell für den Umbauprozess des soziotechnischen Netzwerks.

9.9.2.2 Soziale und organisationale Veränderungen beim IPv6

In der Phase der Einführung des IPv6 gab es soziale und organisationale Veränderungen innerhalb des soziotechnischen Netzwerks.

Diese betrafen einen aufkommenden Forschungsbedarf zur Einführung des IPv6, das Aufkommen von Nutzer:innen im soziotechnischen Netzwerk des Internets und die Einrichtung des World-IPv6-Days als Initiative zur Verbreitung des IPv6.

9.9.2.2.1 Forschungsbedarf zur Migration des IPv6

Innerhalb der Phase der Einführung des IPv6 zeigte sich, dass Forschungsbedarf zur Einführung des IPv6 in der öffentlichen Verwaltung besteht. Infolgedessen berichtete Interviewpartner:in 4 über ein seitens der Bundesregierung gefördertes Projekt zur Einführung des IPv6 in der öffentlichen Verwaltung. Im Kontext des Projekts wurde ein IPv6-Profil für die öffentliche Verwaltung erstellt sowie ein Leitfaden und Material zum Selbstlernen oder dem Lernen mit einer Trainer:in veröffentlicht (vgl. 9.8.3.1.3.1).

Des Weiteren ergaben sich anhand der Ausführungen aus dem Forschungsbereich Hinweise zur Ausgestaltung von Weiterbildungsmaßnahmen, welche ich unter 9.9.3.2.3.5.2 erläutere.

9.9.2.2.2 *Ausweitung des soziotechnischen Netzwerks durch Nutzer:innen*

Die Ausweitung des soziotechnischen Netzwerks in der Phase der Einführung des IPv6 drückt sich über den steigenden Adressbedarf und damit auch durch die daraus resultierende Adressknappheit aus.

So zeigt das Ergebniskapitel den steigenden Adressbedarf aufgrund der Ausweitung des soziotechnischen Netzwerks seitens beteiligter sozialer Akteur:innen. Letztere werden als *Nutzer:innen* der Internetinfrastruktur bezeichnet. Es zeigt sich weiter, dass durch das WWW und seine Nutzungsmöglichkeiten auch die Anzahl der Internetnutzer:innen gestiegen ist und dadurch immer mehr Endgeräte mit der Internetinfrastruktur verbunden werden.

Dies findet seinen Niederschlag an unterschiedlichen Stellen in den RFCs (vgl. etwa RFC 6180, Arkko, und Baker 2011) sowie u. a. in Ergebnissen der Fraunhofer Fokus Forschungsgruppe im untersuchten Teilbereich der Forschung (siehe 9.8.3.1.3.1) oder auch innerhalb des Teilkapitels «Der Anlass und die Gründe für die Einführung des IPv6» (vgl. 9.8.3.1.1).

9.9.2.2.3 *Initiative zur Verbreitung und Testung des IPv6 – der World-IPv6-Day*

Mit der Einrichtung des jährlichen World-IPv6-Days im Jahr 2011 wurde eine erste Initiative zur Verbreitung des IPv6 innerhalb der Phase der Einführung des IPv6 entwickelt, indem ein eintägiges weltweites soziales Event ausgerichtet wurde. Aus diesem Anlass war eine Vielzahl bedeutender Unternehmen und Service-Provider des Internets eingeladen. Vorbereitet und durchgeführt wurde die Veranstaltung von Organisationen wie der ISOC und dem RIPE (siehe Kapitel 9.8.4).

Weiterführend diente der IPv6 Day der Testung des IPv6 hinsichtlich seiner Stabilität und Leistungsfähigkeit. Deswegen war der Tag von Performancemessungen begleitet (vgl. ebd.).

Der IPv6 Day weist insofern Analogien zu den Demonstrationen des TCPs in der Phase der Entwicklung und Frühgenese des TCPs auf (vgl. 9.5.4.1.3.1), indem er ebenfalls durchgeführt wurde, um die Funktionalität des IPv6 darzustellen.

Folglich zeigt sich für die technologische Phase der Einführung des Ipv6, dass der Ipv6 Day als weltweiter Test des Ipv6 mit dem Ziel initiiert wurde, das IPv6 zu verbreiten.

IPv6 Day Badges als Anreizsystem und zur Schaffung von Sichtbarkeit

Des Weiteren wurde im Rahmen des World-IPv6-Day von den Veranstalter:innen ein Anreizsystem durch *Badges* etabliert, die im Rahmen der Teilnahme an dem Tag bereitgestellt wurden. Diese Badges können sichtbar für andere bspw. auf der Homepage eines beteiligten Unternehmens eingebunden werden (Kapitel 9.8.4).

Im Ergebniskapitel stellte sich dies durch die Berichterstattung der Interviewteiler:in 5 dar, welche das Badge erstmalig thematisierte, es jedoch nicht auf der Homepage verwendete (vgl. 9.8.3.1.3.4).

Insofern lässt sich das Badge als ein Anreizsystem für die Einführung des IPv6 identifizieren. Ob dieses Badge jedoch als tatsächlicher Anreiz zur Einführung des IPv6 funktioniert oder als z. B. eine Belohnung, eine Möglichkeit zur Sichtbarmachung etc. von den Teilnehmer:innen wahrgenommen wird, kann im Kontext der vorliegenden Studie nicht eruiert werden.

Schlussendlich zeigt sich jedoch in Anlehnung an die ANT (Kapitel 5.2) daran, dass die von den Veranstalter:innen des IPv6-Days verfolgte soziale Funktion des Anreizsystems in das Teilnahme Badge als sachliches Element übersetzt wird.

9.9.2.3 *Zeitliche, personelle und finanzielle Ressourcen*

Die Zunahme der technologischen Komplexität durch Doppelstrukturen geht mit sozialen und organisationalen Veränderungen einher, welche auch Überlegungen zu finanziellen Ressourcen betreffen.

9.9.2.3.1 *Zeitliche und personelle Ressourcen*

Durch die Einführung des IPv6 entsteht ein erhöhter Arbeitsaufwand. Ich legte dazu im Kontext des Ergebniskapitels dar, dass zum einen ein Arbeitsaufwand aufgrund der Auseinandersetzung mit der neuen Technologie des IPv6 entsteht. Zum anderen benötigt die Planung und Einführung des IPv6 zeitliche und personale Ressourcen bspw. für die Erstellung eines Adressvergabekonzepts, die Adressraumbeschaffung, die Überprüfung der Hard- und Software auf IPv6-Fähigkeit sowie deren Konfiguration. Alle diese verschiedenen Momente gehen mit einem Arbeitsaufwand einher und nehmen Arbeitszeit in Anspruch (siehe dazu 9.8.3.1.1).

Weiterführend zeigte sich, dass zeitlich knappe Ressourcen die Einführung des IPv6 behindern können (vgl. ebd.). Zu wenig zeitliche Ressourcen als Hinderungsgrund für die Einführung des IPv6 führe ich unter 9.9.3.2.2 weiter aus.

9.9.2.3.2 *Finanzielle Ressourcen*

Finanzielle Ressourcen werden insbesondere im Kontext der IPv6-fähigen Hardware thematisiert. Sie werden seitens der Interviewteiler:innen unterschiedlich eingeschätzt. Insgesamt zeigt sich, dass Kosten entstehen, diese allerdings durch vorausschauende Planung in zurückliegenden Jahren, z. B. durch Anschaffung IPv6-fähiger Hardware im Rahmen einer ohnehin gebotenen Erneuerung weitgehend bedacht werden konnten. Allerdings wurde auch angemerkt, dass diese Hardware in der Anschaffung sehr kostenintensiv ist (vgl. Kapitel 9.8.3.1.1).

Im Folgenden wird auf Kosten seitens der Einführung des IPv6 verwiesen, welche ich weiterführend im Teilkapitel zu den Bedingungen des Umbaus thematisiere.

9.9.2.4 Entwickler:innen und Entwicklungsprozesse IPv6

In den Analysen zur technologischen Phase der Einführung des IPv6 konnte eine Ausweitung des Kreises der Entwickler:innen festgestellt werden.

Infolgedessen wurden Netzwerkhersteller:innen zu Netzbetreiber:innen ausdifferenziert, indem diese ein Computernetzwerk nicht nur für sich selbst oder im Auftrag anderer (Citibank New York, siehe 9.4.1.1.2) erstellen, sondern ein Computernetzwerk als Diensteanbieter für alle Nutzer:innen des Internets betreiben.

Ich führe im Folgenden zunächst die Netzbetreiber:innen und gehe danach auf die Charakteristika verschiedener Typen ein.

9.9.2.4.1 Netzwerkhersteller:innen als Netzbetreiber:innen

In Anlehnung an das selektive Kodieren in Anlehnung an die GTM (siehe Kapitel 8.5.1) wurde eine weiterführende Abstraktion der Netzwerkhersteller:innen der technologischen Phase der Entwicklung des TCP/IP bis IPv5 (TP/IX) zu Netzbetreiber:innen in der Phase der Einführung des IPv6 vorgenommen.

Wie im Teilkapitel zuvor erläutert, zeigte sich innerhalb der Analysen, dass die Netzwerkhersteller:innen, die in der technologischen Phase der Entwicklung des TCP/IP bis IPv5 (TP/IX) als Anwender:innen der ARPANET Technologien Computernetzwerke für sich oder im Auftrag anderer herstellten, in der Phase der Einführung des IPv6 in Teilen zu Netzbetreiber:innen werden, indem sie als Diensteanbieter:innen Computernetzwerke betreiben oder als Service-Provider Oberstrukturen der Gesamtinternetinfrastruktur bereitstellen.

Im Ergebniskapitel zeigte sich dies anhand der Analyse von Interview 5, dessen Interviewpartnerin eine Netzwerkinfrastruktur für Online-Auktionen betreibt (siehe 9.8.3.1.3.4.1) oder auch innerhalb des Teilbereichs der Interessenverbände mit dem Interview 7 des mit einer Vertreter:in von RIPE und Interview 8 mit einer Vertreter:in von Selfnet e.V. (siehe 9.8.3.1.3.3).

9.9.2.4.2 Charakteristika von Netzbetreiber:innen

Anhand der untersuchten Teilbereiche (siehe 9.8.3.1.3) wurden Charakteristika von Netzbetreiber:innen identifiziert, welche das IPv6 einführten. Dazu wurden eine kontrastive Charakteristik und ein Gamer Changer ausgemacht, die zu einer flächendeckenden Einführung des IPv6 führen könnten.

9.9.2.4.2.1 Innovator:innen im Einführungsprozess des IPv6

Entgegen einer Vielzahl verhaltener Einführungsversuche des IPv6 innerhalb der untersuchten Akteur:innen konnten zwei Migrationen des IPv6 identifiziert werden, die innovativ waren, indem sie zum einen aufgrund unternehmerischen Handelns, zum anderen ad hoc erfolgten.

Die folgenden zwei Typen stellen exemplarisch Innovator:innen im Einführungsprozess des Dual-Stack Betriebes dar.

9.9.2.4.2.1.1 *Leading Edge: Bottom-up*

Im Analysekapitel zeigte sich, dass eine Akteur:in das IPv6 frühzeitig einführte, weil sie unternehmerisch und innovativ motiviert handeln wollte.

Anhand eines Beispiels aus der Wirtschaft (siehe 9.8.3.1.3.4.1) legte ich dar, dass die Interviewpartner:in 5, ohne ein Problem aufgrund der Adressknappheit in ihrem Unternehmen das IPv6 einführte und am World-IPv6-Tag teilnahm.

Innerhalb des Analysekapitels wies sich die Akteur:in des Unternehmens als unternehmerisch handelnd aus, indem sie den Einführungsprozess strategisch plante, die Einführung in Kooperation mit anderen Abteilungen vornahm und darin einen Wettbewerbsvorteil für das Unternehmen sah.

Für diese Akteur:in war der Anlass zur Einführung, ein Leading Edge (Vorreiter:in) ihrer Branche zu sein. Dieser Anlass motivierte sie so weit, dass sie frühzeitig vor vielen anderen Unternehmen das IPv6 im Dual-Stack Betrieb einführte. Zudem wurde durch ihre Äusserungen eine hohe Identifikation mit dem Unternehmen deutlich, indem sie darlegte, dass dieses «coole Sachen» macht und auch das IPv6 eine ebensolche sei (vgl. ebd.).

Insofern ist die Einführung des IPv6, um Leading Edge zu sein, über eine Identifikation der Akteur:in mit dem Unternehmen motiviert erfolgt.

9.9.2.4.2.1.2 *Tekkies – Bottom-up*

Innerhalb des Ergebniskapitels der Phase der Einführung des IPv6 zeigte sich eine Interviewpartner:in, die in Zusammenarbeit mit anderen Akteur:innen das IPv6 in einer ad hoc initiierten Aktion innerhalb einer Nacht im Selfnet e.V. in einem «Bottom-up» Prozess das IPv6 im Dual-Stack-Betrieb einführte .

Es zeigte sich, dass sich diese Akteur:innen durch hohe Technikaffinität, intrinsische Motivation und grosse Experimentierfreude auszeichneten (siehe 9.8.3.1.3.3.2).

Diese Typik einer Innovator:in bezeichne ich als *Tekkie*. Dieser Begriff bezeichnet innerhalb der Computertechnik «Tüftler:innen» und Erfinder:innen, die aufgrund ihrer Technikaffinität neue Technologien erproben und sich durch eine ausgeprägte Kreativität und Begeisterungsfähigkeit auszeichnen. Diese Eigenschaften finden sich in einem hohen Mass in den Reihen des Selfnet e.V.s, welchen ich im Ergebniskapitel vorstellte (vgl. ebd.).

9.9.2.4.3 *Kontrastive Charakteristik: Top-down*

Als kontrastive Charakteristik zeigte sich im Ergebniskapitel das Bundesverwaltungsamt, für welches im Kontext des Teilbereichs der Forschung ein Migrationsleitfaden sowie ein IPv6 Profile erstellt worden ist (siehe 9.8.3.1.3.1).

Entgegen der beiden zuvor als «Bottom-up» dargestellten Typiken innerhalb der Gruppe der Innovator:innen im Einführungsprozess des IPv6, zeichnet sich das Bundesverwaltungsamt durch eine hierarchisch strukturierte Einführungsstrategie für die öffentliche Verwaltung aus. Somit soll die Migration als «Top down» Prozess gestaltet werden.

Letzteres zeigte sich insbesondere an der Adressvergabe. Demnach sollen die IPv6 Adressen zentral für übergeordnete Bundesverwaltungseinrichtungen an untergeordnete Verwaltungseinrichtungen vergeben werden.

Darüber hinaus sollen Mitarbeiter:innen der IT-Abteilungen mittels Selbstlernprozessen oder Trainer:innen dazu befähigt werden, mithilfe eines Migrationsleitfadens die Einführung des IPv6 im Dual-Stack Betrieb einzuführen.

Insofern soll das gesamte Roll-out (Einführung) des IPv6 zentral gesteuert werden (vgl. ebd.). Diese «Top-down»-Charakteristik weist eine Analogie zur Einführung des IPv4 auf, welches seitens des DoD über die DARPA veranlasst wurde (siehe Kapitel 9.7.4). Entscheidender Unterschied ist jedoch, dass das Bundesverwaltungsamt als Netzbetreiber:in die Umstellung der Subnetze des Bundesverwaltungsamtes adressiert und nicht, wie das DoD und die DARPA, die Gesamtstruktur des Netzwerks.

Letzteres ist auch unmöglich, da das Internet nicht mehr hierarchisch strukturiert ist wie das ARPANET. Dies führe ich weiterführend in Kapitel 9.9.3.2 aus.

9.9.2.4.4 Service-Provider als mögliche Game Changer

Während des Interviews mit dem RIPE (siehe 9.8.3.1.3.3) wurde eine Akteur:in benannt, welche als Game Changer zur beschleunigten Verbreitung des IPv6 führen könnte.

Im Ergebniskapitel wurde dazu dargelegt, dass Service-Provider als Netzbetreiber:innen von grossen Netzwerkinfrastrukturen für den Datenversand mittels IPv6 geringere Kosten verzeichnen und daher IPv6-basierte Internetanschlüsse für Kundinnen günstiger anbieten könnten (und jene IPv4 basierten teurer). Dies könnte der Interviewpartner:in zufolge zu einer raschen Einführung des IPv6 führen (vgl. ebd.).

Somit haben grosse Service-Provider durch die Bereitstellung zentraler Technologien der Internetinfrastruktur eine zentrale Position im Einführungsprozesses von IPv6 inne.

9.9.2.5 Entwicklungsprozesse – Einführung des IPv6 als schrittweise Migration

Der Einführungsprozess des IPv6 ist durch Prozesshaftigkeit und schrittweise Migration des Kommunikationsprotokolls gekennzeichnet.

Dies zeigte sich innerhalb der Analysen anhand der frühen Darstellung von Phasen des Einführungsprozesses anhand des Transition Plans (siehe 9.8.3.1.2) sowie durch Schilderung aller Interviewpartner:innen im Kontext der Planungen und Einführungen als Parallelbetrieb des IPv4 und IPv6, welche den Prozess beispielsweise als «long term» bezeichnen (ebd.).

Die schrittweise Migration, die lange zeitliche Dauer sowie die Prozesshaftigkeit bei der Einführung des IPv6 stellt eine Besonderheit in der untersuchten Gesamtentwicklung dar. Demnach gibt es kein zeitlich befristetes Ende der Einführungsphase wie beim IPv4 (siehe Kapitel 9.4.1).

Transition Plan

Der Transition Plan von Curran (siehe 9.8.3.1.2) stellt zentrale Besonderheiten des Einführungsprozesses des IPv6 dar. So verweist dieser zum einen auf die Prozesshaftigkeit des Einführungsprozesses im laufenden Betrieb des Computernetzwerkes, stellt eine schrittweise Migration phasenweise dar und verweist zum anderen auf die Dauer des Einführungsprozesses (vgl. ebd.).

Darüber hinaus legt der Transition Plan Empfehlungen und Handlungsanweisungen für die Komplettumstellung des Netzwerks anhand von drei Phasen seitens Netzwerkhersteller:innen in Unternehmen und Netzwerkbetreiber:innen, fokussiert auf Service-Provider fest. Allerdings relativiert der Plan zugleich die Komplettumstellung, indem innerhalb der letzten Phase den Netzwerkhersteller:innen und Netzwerkbetreiber:innen weiterhin die Möglichkeit des Weiterbetriebs des IPv4 gegeben wird.

Schliesslich verweist der Transition Plan durch Einrichtung eines Backup-Netzwerks auf die Notwendigkeit der Sicherstellung der Funktionalität eines Computernetzwerks als Internetinfrastruktur. Demnach ist ein Backup notwendig, um die Stabilität und Ausfallsicherheit zu gewährleisten (vgl. ebd.). Letzteres führe ich in den folgenden Teilkapiteln genauer aus.

Eine schrittweise prozessorientierte Einführung ist innerhalb der Phase der Einführung des IPv6 demnach essenziell für die Sicherstellung und Stabilisierung des soziotechnischen Netzwerks. Darüber hinaus ist der Einführungsprozess in seiner konkreten Ausgestaltung und Dauer heterogen, indem er von der Konstitution des jeweiligen Computernetzwerks abhängig ist.

9.9.3 Strategien und Charakteristika beim Umbau von IPv4 auf IPv6

In der Phase der Einführung des IPv6 geschahen einige für die vorliegende Arbeit zentrale Entwicklungen innerhalb des soziotechnischen Netzwerks. Diese stellten Strategien und Charakteristika innerhalb des Umbauprozesses des Internets durch die Einführung des IPv6 dar.

Im Folgenden stelle ich zunächst die zentrale Umbaustrategie in der Phase der Einführung des IPv6 dar und abstrahiere in Anlehnung an die GTM anschliessend charakteristische Bedingungen für den Umbau der Internetinfrastruktur in der Phase der Einführung des IPv6.

9.9.3.1 Umbaustrategie(n)

Im Einführungsprozess des IPv6 gab es seitens der Entwickler:innen sowie seitens der Forschung eine zentral verfolgte Umbaustrategie durch den Parallelbetrieb von IPv4 und IPv6. Weiter zeigten sich Hinweise auf eine ausschliessliche Verwendung des IPv6, als *IPv6 only Strategie*.

9.9.3.1.1 Dual-Stack

Die ausschliessliche Verwendung des Parallelbetriebes von IPv4 und IPv6 zeigte ich in Kapitel 9.8.

Zugleich verdeutlicht sich daran, dass (nunmehr) keine Komplettumstellung der Internetinfrastruktur angestrebt wurde und wird, sondern durch Verwendung des Dual-Stack Betriebs schrittweise eine Doppelstruktur im laufenden Netzwerkbetrieb der Subnetze des Internets aufgebaut wird, welche folglich eine Zwischenlösung im Sinne eines Workarounds darstellt.

9.9.3.1.1.1 Testumgebungen zur Schaffung von Sicherheit

Die Einrichtungen von Testumgebungen zur Schaffung von Sicherheit innerhalb des soziotechnischen Netzwerks in der Phase der Einführung des IPv6 haben sich bewährt.

Die Einrichtung von Testumgebungen wurde innerhalb des Ergebniskapitels u. a. seitens des Transition Plans der IETF von Entwickler Curran sowie seitens aller weiteren untersuchten Akteur:innen verfolgt.

Im Ergebniskapitel erwies sich die Einrichtung von Testumgebungen durch die Einführung des IPv6 als Parallelstruktur. Diese wurde zunächst im Hintergrund als Subnetzwerkinfrastruktur betrieben und erst nach erfolgreicher Überprüfung der Funktionalität durch Performancemessungen und Überprüfung auf IPv6-Testseiten eingeführt (siehe u. a. 9.8.3.1.3.4.1).

Demnach sind Testumgebungen im Kontext der Einführung des IPv6 im Entwicklungsprozess des Parallelbetriebes durch Dual-Stack essenziell. Testumgebungen stellen ein Backup zur Vermeidung von Unsicherheit dar und stellen die Stabilität der Subnetzwerkinfrastruktur sicher.

9.9.3.1.1.2 Performancemessungen und Tests als Kontrollinstrumente zur Reduktion von Unsicherheit

Ein weiteres Moment zur Schaffung von Sicherheit innerhalb des Internets stellen Performancemessungen und Tests auf IPv6-Testseiten dar. Diese reduzieren als Kontrollinstrumente die Unsicherheit im Einführungsprozess, indem mittels Vermessung von IPv6 Testumgebungen deren Funktionalität überprüft werden kann und der Erfolg einer Einführung für beteiligte Akteur:innen sichtbar wird (siehe 9.8.3.1.3.4.1).

Performancemessungen und Tests dienen im Kontext der Phase der Einführung des IPv6 als Kontrollinstrument für Netzwerkhersteller:innen und Netzbetreiber:innen zur Sichtbarmachung des Erfolgs im Einführungsprozess des IPv6.

In ihrem Verlauf wird die Funktionalität der Testumgebung in Zahlen übersetzt und beteiligte Akteur:innen können nach einem erfolgreichen Testergebnis sicher sein, dass das umgestellte Netzwerk funktionsfähig und insofern bereit zur Umstellung auf Dual-Stack Betrieb ist.

9.9.3.1.2 IPv6 only

Es wurde seitens keiner der untersuchten Akteur:innen eine ausschliessliche Verwendung des IPv6 verfolgt. Allerdings zeigten sich Hinweise auf die ausschliessliche Verwendung des IPv6 aufgrund einer Adressausschöpfung im asiatischen Raum (vgl. Interview 2, 7, 8). Letzteres thematisiere ich nochmals im Fazit als eine Grenze der vorliegenden Forschung (Kapitel 11).

9.9.3.2 Charakteristika im Umbauprozess des Internets

Im Umbauprozess des Internets zeigten sich charakteristische Besonderheiten in der Phase der Einführung des IPv6. Diese konnten zu Bedingungen für den Umbau der Internetinfrastruktur mittels des selektiven Kodierens abstrahiert werden (siehe Kapitel 2).

9.9.3.2.1 Bedingungen für den Umbau

Innerhalb der Planung und Einführung des IPv6 wurden im Ergebniskapitel fördernde und hemmende Bedingungen für den Umbau der Internetinfrastruktur identifiziert. Diese führe ich im Folgenden aus.

9.9.3.2.2 Hemmende Bedingungen für den Umbau

In der Phase der Einführung des IPv6 konnten drei hemmende Bedingungen für den Umbau der Internetinfrastruktur festgestellt werden.

9.9.3.2.2.1 *IP(v6) Adresse – erschwert Lokalisierung von Netzwerkbestandteilen*

Eine hemmende Bedingung für den Einführungsprozess des IPv6 stellt die Ausgestaltung der IP-Adresse dar.

Ich legte dazu im Ergebniskapitel dar, dass die Ausgestaltung der logischen Struktur der IPv6 Adresse von der früheren Darstellung abweicht. Es zeigte sich, dass die Adresse deutlich länger wird und der Gesamtaufbau eine andere Form annimmt (Kapitel 9.8.2).

In den Interviews wurde explizit auf die erschwerte Lokalisierung von Netzwerkbestandteilen bei Verwendung des IPv6 im Vergleich zum IPv4 verwiesen.

Während das IPv4 eine eindeutige Lokalisierung der Netzwerkbestandteile durch den Aufbau der IP-Adresse aus «network number» (Netzwerknummer) und «local adress» (Lokale Adresse) erlaubte (siehe 9.7.2.1.1.2) entfällt diese Gliederung in IPv6.

Innerhalb der Interviews wird deutlich, dass die physische Lokalisierung von Netzwerkbestandteilen nicht mehr in einer einfachen Form in die IP-Adresse des IPv6 übersetzt werden kann. Dadurch wird die Lokalisierung von Netzwerkbestandteilen in Bauteilen und Räumen innerhalb der eigenen Netzwerkinfrastruktur erschwert. Infolgedessen müssen umfangreiche Adressvergabekonzepte für die Subnetze erstellt werden (siehe 9.8.3.1.3.2.2).

Dieses Problem wird in allen Interviews benannt. Die Adressvergabe stellt insgesamt ein Konzept zur Lösung des Problems einer erschwerten Lokalisierung von Bestandteilen in einem IPv6 Subnetzwerk dar und kann die hemmende Bedingung für den Umbau dadurch mildern.

9.9.3.2.2.2 *Doppelstruktur*

Eine weitere hemmende Bedingung innerhalb der Einführung des IPv6 bildet die entstehende Doppelstruktur durch den Dual-Stack Betrieb des IPv4 und IPv6. Dabei ist der Dual-Stack Betrieb für die Einführung des IPv6 funktional und stellt die zentrale Umbaustrategie in der Phase der Einführung des IPv6 dar. Jedoch entsteht dadurch eine Doppelstruktur innerhalb der Netzwerke, die auch doppelt gewartet werden muss.

Im Analysekapitel wurde dies u. a. anhand der Ausführungen der Forschung deutlich, welche eine Komplettumstellung als notwendig erachtet, um Doppelstrukturen und den damit verbundenen erhöhten Arbeitsaufwand zu vermeiden (siehe 9.8.3.1.3.1).

9.9.3.2.2.3 *Internet als verteiltes Subnetzwerk ohne zentrale, hierarchische Struktur*

Mit dem Umbau des ARPANETs zum Internet entfiel der Einfluss der DARPA auf die Netzwerkhersteller:innen des neuen Internets. Infolgedessen stellt sich dieses als ein Gesamtnetzwerk, bestehend aus verteilten Subnetzwerken ohne zentrale hierarchische Struktur dar. Die Netzwerkbetreiber:innen und -hersteller:innen sind insofern für die Weiterentwicklung ihrer Netzwerke selbst verantwortlich.

Ich zeigte dazu für die Phase der Entwicklung und Einführung des TCP/IP zum IPv5 (TP/IX), dass die Netzwerkhersteller:innen damals erstmalig selbstständig entscheiden konnten, IPv4 – terminiert von der DARPA als Netzwerkbetreiber:in zentraler TIPS – bis zum 01. Januar 1983 einzuführen, um mit den Netzwerkknoten des ARPANETs technologisch und sozial anschlussfähig zu bleiben (9.7.4.1).

Innerhalb der Analysen konnte rekonstruiert werden, dass alle Netzwerkhersteller:innen zum Januar 1983 das IPv4 in ihren Subnetzen einführten, sodass das IPv4 zu einem flächendeckenden Einsatz innerhalb des damaligen Internets kam, welches durch die Netzwerkknoten des ARPANETs verbunden war (vgl. ebd.).

In der Phase des IPv6 zeigt sich jedoch, dass es keine Terminierung zur Umstellung gibt, da es diese (in Ermangelung einer Zentralinstanz) gar nicht geben kann. Dies ist auf die Struktur des Internets zurückzuführen: Das Internet besteht als Gesamtnetzwerk – anders als das ARPANET – aus einer Vielzahl von Netzwerken, die z. B. von Service-Providern bereitgestellt werden und die wiederum von Netzwerkhersteller:innen für ihre Subnetze verwendet werden, um sie bspw. Nutzer:innen zur Verfügung zu stellen.

Insofern gibt es keine zentral hierarchisch übergeordnete Netzwerkbetreiber:in wie die DARPA, die eine Komplettumstellung in einem «Top-down» Prozess anordnen kann.

Allerdings zeigte sich, dass Akteur:innen, die einen grossen Anteil der Internetinfrastruktur entwickeln und bereitstellen, zur Einflussnahme befähigt zu sein scheinen, indem sie durch das Angebot, von teureren IPv4 Internetanschlüssen die Motivation auf IPv6 umzusteigen, den Druck zur Umstellung erhöhen könnten. Dadurch würde eine raschere Einführung des IPv6 begünstigt werden (siehe 9.8.3.1.3.3.1).

Insofern könnte die Grösse eines Subnetzwerkes mit dessen Einflussnahme innerhalb des Gesamtnetzwerkes (Internetinfrastruktur) kollidieren.

Insgesamt zeigt sich, dass die dezentrale Struktur des Internets die Einführung des IPv6 hemmt, da der Dual-Stack Betrieb oder eine Komplettumstellung nicht von einer zentralen Organisation hierarchisch angeordnet werden kann.

Darüber hinaus begünstigen jedoch gewisse charakteristische Merkmale von Netzwerkhersteller:innen oder Initiativen von Interessenverbänden des Internets die Einführung des IPv6. Sie stellen insofern fördernde Bedingungen für den Umbau der Internetinfrastruktur dar, welche ich im Folgenden ausführe.

9.9.3.2.3 Fördernde Bedingungen für Umbau

Aufgrund der Erkenntnisse des Ergebniskapitels und der weiterführenden Abstraktion des Zwischenfazits konnten fördernde Bedingungen für den Umbau der Internetinfrastruktur identifiziert werden. Kehren wir die fördernden Bedingungen um, ist ein Mangel jeder einzelnen Bedingung zugleich ein hemmendes Moment im Einführungsprozess des IPv6.

9.9.3.2.3.1 Intrinsische Motivation

Anhand der Innovator:innen, dargestellt durch die Typen *Leading Edge* und *Tekkie*, wird eine intrinsische Motivation als förderlich für die Einführung des IPv6 identifiziert. Demnach zeichnen sich beide Typen durch eine hohe technologische Affinität, Innovationsgeist und Ideenreichtum aus (9.9.2.4.1).

9.9.3.2.3.2 Unternehmerisches Handeln

Am Typus *Leading Edge* sowie in den Ausführungen des Interviews 7 des RİPEs zeichnete sich ab, dass unternehmerisches Handeln einer einzigen Akteur:in innerhalb eines Unternehmens zur Einführung des IPv6 führen kann (9.9.2.4.1).

9.9.3.2.3.3 Dringlichkeit

Während der Grund für die Dringlichkeit der Entwicklung des IPv6 insbesondere technologische Defizite waren – wie die Adressknappheit und Limitierung des Internets –, zeigten sich bei der Einführung des IPv6 heterogene Momente im Planungs- und Einführungsprozess des IPv6, die beteiligte Akteur:innen eine Dringlichkeit zur Einführung wahrnehmen liessen.

Seitens des Teilbereichs der Forschung drückte sich die Dringlichkeit zur Beauftragung des Fraunhofer Fokus für die Entwicklung eines IPv6 Profils und eines Migrationsleitfadens für die öffentliche Verwaltung durch wahrnehmbare Probleme bei der Einführung des IPv6 aus (siehe 9.8.3.1.3.1).

Vonseiten der Unternehmensleitung konnten perspektivisch bevorstehende Mehrkosten zur Einführung des IPv6 führen sowie einen «Top-down» initiierten Einführungsbetrieb von Dual-Stack anstossen. Somit zeigte sich, dass das Commitment der Unternehmensleitung zentral von Aspekten der Wirtschaftlichkeit abhängig ist (siehe 9.8.3.1.3.3.1).

9.9.3.2.3.4 Adressausschöpfung

Eine Bedingung für die Komplettumstellung (IPv6 only) des Subnetzwerkes ist die vollständige Adressausschöpfung. Diese wurde seitens interviewter Akteur:innen der öffentlichen Verwaltung benannt. Demzufolge führte dieses Problem im asiatischen Raum zur vollständigen Umstellung von Subnetzwerken (siehe 9.8.3.1.3.2).

9.9.3.2.3.5 Wissen

Im Ergebniskapitel zeigte sich, dass Wissen eine zentrale Bedingung für die Einführung des IPv6 ist. Demnach kann Wissen zur Einführung des IPv6 führen oder mangelndes Wissen die Einführung behindern, indem diese nicht stattfinden kann oder durch Fehleranfälligkeit gekennzeichnet ist. Sehr eindrücklich zeigte sich dies am Beispiel der Forschung (siehe 9.8.3.1.3.1) und im Interview mit dem RIPE (siehe 9.8.3.1.3.3.1).

Die Vermeidung von Fehlern ist allerdings zentral, um die Funktionalität des soziotechnischen Systems des Internets zu gewährleisten und die Stabilität der Internetinfrastruktur sicherzustellen (siehe 9.9.3.1.1.1).

Während der Analysen zeigte sich, dass Wissen entweder bei einer Akteur:in bereits vorhanden ist, die ein Subnetz umstellen will, wie z. B. bei den Innovator:innen (siehe 9.9.2.4.2.1). Wissen muss extern eingekauft (z. B. Beratungs- Dienstleistungsauftrag) oder zur Erweiterung des eigenen Wissens (z. B. Personalentwicklung, Schulung) hinzugekauft werden, wie sich am Beispiel des RIPE-Interviews zeigte (siehe 9.8.3.1.3.3.1). Alternativ muss Wissen durch Weiterbildung der beteiligten Mitarbeitenden im Rahmen der Einführung erweitert werden, wie das Beispiel der Forschung darlegte (siehe 9.8.3.1.3.1).

9.9.3.2.3.5.1 Expert:innen

Während der Phase der Einführung des IPv6 zeigte sich, dass Akteur:innen als Expert:innen über umfangreiches Wissen verfügen und ein Subnetz eigenständig auf Dual-Stack Betrieb umstellen können (siehe 9.9.2.4.2.1).

Zudem zeigten sich externe Expert:innen, wie im Fall des RIPEs, die bspw. Unternehmen ihr Wissen zur Verfügung stellen und als Dienstleitung oder Beratung anbieten (siehe Kapitel 9.8.3.1.3.3.1).

Dieses kann entweder der Erweiterung des Expert:innenwissens innerhalb einer Organisation führen, indem deren Mitarbeitende bei der Einführung unterstützt werden, oder die externe Expert:in übernimmt die Einführung des IPv6 in Eigenleistung und agiert insofern als Dienstleistende.

Es zeigte sich jedoch, dass es nur eine sehr begrenzte Anzahl von externen Expert:innen (etwa 50 Personen in Deutschland) gibt (siehe Kapitel 9.8.3.1.3.3.1). Demzufolge ist Expert:innenwissen als Kapazität im Kontext der Einführung des IPv6 stark begrenzt.

Schliesslich führt dies sowie die Notwendigkeit zur kontinuierlichen Wartung eines laufenden Dual-Stack Betriebs nach der (Teil-)Einführung des IPv6 zu einem erhöhten internen Weiterbildungsbedarf.

9.9.3.2.3.5.2 *Weiterbildung*

Im Ergebniskapitel zeigte sich u. a. im Kontext des untersuchten Teilbereichs der Forschung, dass Weiterbildung notwendig ist, um Mitarbeitenden Wissen zu vermitteln.

Weiterbildung kann, der Interviewpartner:in 4 und dem Datenmaterial des Bundesverwaltungsamtes (2013) zufolge, vorhandenes Wissen mittels Schulungsmaterial zum Selbststudium oder mittels einer Trainer:in vertiefen oder neues Wissen zu IPv6 vermitteln (siehe 9.8.3.1.3.1).

Darüber hinaus erwähnte Interviewpartner:in 7 Defizite bei den Weiterbildungen und bei den beteiligten Akteur:innen innerhalb der Abteilungen, die das IPv6 einführen (siehe 9.8.3.1.3.3.1).

Die Autorin der vorliegenden Arbeit leitete daraus ab, dass Weiterbildungen zum IPv6 praxisorientiert und zeitlich aktuell sein müssen, damit das vermittelte Wissen innerhalb einer Organisation zur Einführung des IPv6 in der Netzwerkinfrastruktur anwendbar ist. Darüber hinaus sollten sie mittels pädagogisch-didaktischer Methoden ansprechend aufbereitet werden, um die oftmals als schwierig empfundenen Lerninhalte zu vermitteln (vgl. ebd.).

Zusätzlich sollten in Weiterbildungen Kompetenzen vermittelt werden, die durch technologische Herausforderungen des IPv6 entstehen. Zu diesen gehört u. a. die vollständige Abstimmung zwischen verschiedenen Abteilungen einer Netzwerkabteilung. Die Autorin legte dazu dar, dass Abstimmungsprozesse auf Problemlösekompetenzen verweisen. Diese sollten in Weiterbildungen durch Kommunikationstrainings und Methoden für die kooperative Zusammenarbeit gefördert werden (vgl. ebd.).

Insgesamt zeigt sich, dass die beteiligten Akteur:innen des untersuchten sozio-technischen Netzwerks des Internets bereits den Bedarf nach Weiterbildung adressieren und auf notwendig zu vermittelnde Kompetenzen referieren. Allerdings ist die Ausgestaltung von Weiterbildung innerhalb des untersuchten Datenmaterials noch nicht ausgereift, wodurch die Autorin eine erhöhte Dringlichkeit seitens der pädagogisch-didaktischen Ausgestaltung von Weiterbildungen zum IPv6 sieht.

Schliesslich ist Weiterbildung eine Bedingung für die Einführung des IPv6, da zum einen Expert:innen in ihrer Anzahl und somit ihrer Verfügbarkeit begrenzt sind sowie zum anderen das IPv6 zukünftig das zentrale Kommunikationsprotokoll des Internets sein wird und dieses seitens der Mitarbeitenden der Netzwerkabteilungen gewartet und vollständig betreut werden muss.

Demnach sollten weiterführende Überlegungen für Weiterbildungsformate forciert werden.

9.9.3.2.3.6 Sichtbarkeit

Die Erhöhung der Sichtbarkeit des IPv6 ist in der Phase der Einführung des IPv6 zentral, weil diese zur Verbreitung des IPv6 beitragen kann. Die Steigerung der Sichtbarkeit erfolgte zum einen über eine Initiative der ISOC, zum anderen über Medien.

Über Initiativen und Medien

Innerhalb der Phase der Einführung des IPv6 zeigte sich der World-IPv6-Tag als eine zentrale Initiative der ISOC, des RIEPs und der beteiligten grossen Netzwerkhersteller:innen, wie Google und Microsoft unter der Beteiligung von Netzbetreiber:innen, z. B. der Service-Provider AOL, ATT und Telecom (siehe Kapitel 9.8.4). Dieser World-IPv6-Tag führte zu einer erhöhten Sichtbarkeit und Verbreitung des IPv6.

Ich zeigte dazu anhand statistischen Werte, dass der World-IPv6-Tag im Jahr 2011 zur Verbreitung des IPv6 (vgl. ebd.) und von sozialen Akteur:innen weitgehend als Anreizmoment zur Einführung des IPv6 wahrgenommen wurde (siehe 9.8.3.1.3.4.1).

Insofern war der IPv6-Day eine Bedingung für die Einführung des IPv6, indem er die Sichtbarkeit erhöhte und die Leistungsfähigkeit demonstrierte. Weiter zeigte sich durch die Performancemessungen am IPv6-Day eine Analogie zu den Demonstrationen des TCPs in der Phase der Entwicklung und Frühgenese des TCPs (siehe 9.5.4.2.1.2).

Weiter führte der World-IPv6-Day zu einer Sichtbarmachung des IPv6 in der Presse, v. a. der Fachpresse, indem hierüber in Tageszeitungen und Fachmagazinen berichtet wurde (siehe 9.8.3.1.3.4.1).

9.9.3.2.3.7 Quantifizierung

Quantifizierung stellt eine zentrale Bedingung in der Phase der Einführung des IPv6 dar. Ich legte bereits umfänglich am Beispiel der Performancemessungen und Tests innerhalb des Kapitels zum Dual-Stack im Rahmen dieses Fazits dar, dass erst nach erfolgreich bestandenen Performancemessungen und Tests die Einführung des IPv6 ausserhalb einer Testumgebung erfolgte (siehe 9.9.3.1.1.1).

Es zeigt sich, dass Quantifizierung zur Schliessung im Entscheidungsprozess der Einführung des IPv6 führt, indem der Erfolg oder Misserfolg in Zahlen übersetzt wird. Zugleich wird dadurch der Entscheidungsprozess von der subjektiven Empfindung sozialer Akteur:innen in einem soziotechnischen Netzwerk des Internets losgelöst.

10. Grounded Theory zum Umbau der Internet-Infrastruktur

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Entwicklungs- und Einführungsprozesse von Internetinfrastrukturtechnologien am Beispiel des historischen Verlaufs des Internetprotokolls zu rekonstruieren, um darüber Erkenntnisse zu Charakteristika und Besonderheiten im Umbauprozess der Internetinfrastruktur zu erhalten.

Dazu wurde auf Basis der GTM und in Anlehnung an die Ansätze der GTS und der ANT der Fokus der Untersuchung auf das soziotechnische Netzwerk des Internets in seiner historischen Entwicklung, Etablierung, Stabilisierung und Ausweitung auf einer makrostrukturellen Ebene gelegt. Diese wurde durch eine mikrostrukturelle Untersuchung soziotechnischer Verflechtungen der beteiligten Akteur:innen ergänzt. Dadurch konnten heterogene Übersetzungs- und Einschreibungsvorgänge sowie Interdependenzen innerhalb des Akteur:innen-Netzwerkes identifiziert werden.

Die empirischen Analyseergebnisse in Kapitel 9 zeigen, dass es innerhalb der vier untersuchten technologischen Phasen Spezifika hinsichtlich beteiligter Akteur:innen/-konstellationen und Strategien gab, die das soziotechnische Netzwerk des Internets in Bewegung brachten und so zu einer Veränderung der soziotechnischen Netzwerkstruktur führten.

Nachfolgend werden anhand der Zusammenschau der Analyseergebnisse der vier technologischen Phasen die Gesamtentwicklung des Internets als soziotechnisches Netzwerk in Anlehnung an die ANT und GTS als theoretisch sensibilisierende Konzepte (Kapitel 5) der vorliegenden GTM-Studie (Kapitel 2) eruiert. Dazu werden die (Kern)Merkmale der GTS (Kapitel 5.1.4) mit den Elementen der ANT (Kapitel 5.2.2) und ihrem Blick auf mikrostrukturelle Besonderheiten verschränkt und am Beispiel der GTM-Analyse der Gesamtentwicklung des Internetprotokolls dargelegt.

Daran anschliessend werden drei Phasen des Umbaus der Internetinfrastruktur am Beispiel des Internetprotokolls durch Zusammenschau des Ergebniskapitels mit dem Kondensat der Entwicklung des soziotechnischen Netzwerkes des Internets am Fallbeispiel des Internetprotokolls vorgestellt.

10.1 Die Entwicklung des soziotechnischen Netzwerkes des Internets

Die Entwicklung des Internetprotokolls in seiner historischen Genese vom ARPANET bis zum heutigen IPv6 stellt einen Transformationsprozess von einem staatlich reglementierten soziotechnischen Netzwerk (Kapitel 9.2.1 und Kapitel 9.2.2) zu einem global verteilten soziotechnischen Netzwerk dar (Kapitel 9.9.2). Letzteres ist dezentral strukturiert und zeichnet sich durch wenig staatliche Reglementierung aus (ebd. und Kapitel 9.7.4.1.1.2.1).

10.1.1 Soziotechnische Verflechtungen

Richten wir den Blick in Anlehnung an die identifizierten (Kern)Merkmale gross-technischer Systeme (Kapitel 5.1.4) zunächst auf die soziotechnischen Verflechtungen des Internets, stellen wir fest, dass das Internet von einer geringen Anzahl von Entwickler:innen der ARPA entwickelt wurde (Kapitel 9.2.3). Die Weiterentwicklung zeichnet sich durch eine zunehmende Verflechtung von sozialen und technologischen Akteur:innen aus, die im Fortlauf der Entwicklung heterogene Interdependenzen ausbildeten, die technologische Weiterentwicklungen hervorbrachten (z. B. TCP – Kapitel 9.5, TCP/IP – Kapitel 9.7.2.1.1.1, IPv4 – Kapitel 9.7.2.1.1.1 etc.), zu Ausdifferenzierungen seitens der organisationalen Strukturen des Internets führten (z. B. NWG – Kapitel 9.1.7, TCP/IP-Digest – Kapitel 9.6.3, RFCs – 9.2.2.2.4.2 etc.) und nicht intendierte Nebenfolgen produzierten (z. B. Layering – Kapitel 9.2.2.2.4.1, Protocol Layering – Kapitel 9.7.2.1.2.5).

Innerhalb der Analysen zeigte sich, dass Technik determinierend wirken kann, indem sie – wie am Beispiel der logischen Ausgestaltung der IPv6 Adresse erläutert – Beharrungstendenzen im Einführungsprozess hervorruft (Kapitel 9.8.3.1.3.2.2 und Kapitel 9.9.2.1.1.2). Die Analysen zeigten jedoch auch, dass durch bestehende technologische Defizite technologische Neuentwicklungen seitens der Entwickler:innen generiert wurden (z. B. IPv4 – Kapitel 9.7.2.1 und IPv6 – Kapitel 9.9.2.1) und insofern Technik sozial konstruiert wird, um Probleme zu lösen. Darüber hinaus wurde auch deutlich, dass in Technologien Soziales eingeschrieben wird, indem sie (wie z. B. beim IPv4) zur Lokalisierung von Netzwerkbestandteilen genutzt werden können, was wiederum sozialen Akteur:innen als Orientierung dienen kann (Kapitel 9.7.2.1.1.2).

10.1.2 Grösse und Ausweitung

In den Analysen zeigte sich die Verschiebung eines lokal begrenzten und staatlich reglementierten soziotechnischen Netzwerks (ARPANET) zu einem technologisch, sozial und räumlich ausgeweiteten Netzwerk (Zwischenentwicklungen) und die Entstehung eines expansiven soziotechnischen Netzwerks (Internet), welches durch hohe soziale, technische und räumliche Komplexität gekennzeichnet ist.

Übersetzen wir in Anlehnung an die ANT (Kapitel 5.2.2.2) das (Kern)Merkmal der GTS, Grösse und Ausweitung der GTS (Kapitel 5.1.4.1), in eine Grafik zeigt sich innerhalb der Historie des Internets in der frühen Phase des ARPANETs zunächst eine sternförmige, zentralisierte Netzwerkinfrastruktur (Abbildung 38). In dieser frühen Historie des ARPANETs gelingt Entwickler:innen mittels Time-Sharing der Zugriff von Terminals auf einen Mainframe-Computer (Kapitel 9.1.3).

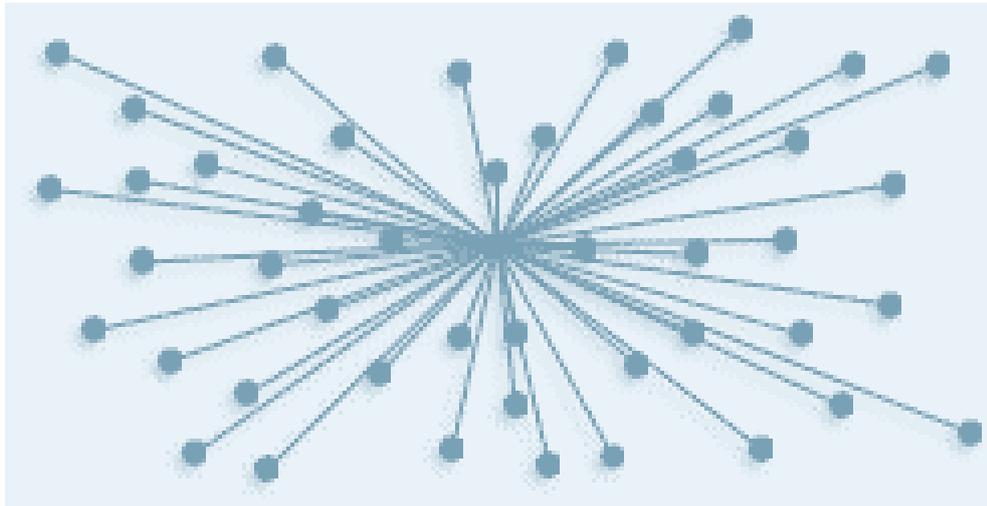


Abb. 38: Sternförmige zentralisierte Netzwerkstruktur des ARPANETs, eigene Darstellung.

Darüber hinaus führten weitere technologische Neuerungen wie das Packet-Switching Prinzip zur Verbindung von IMPs über weit entfernte Strecken der USA, später, zu Zeiten des TCP/IP auch über Landesgrenzen hinaus nach Europa (Kapitel 9.2.2.1 und Kapitel 9.2.2.2.2).

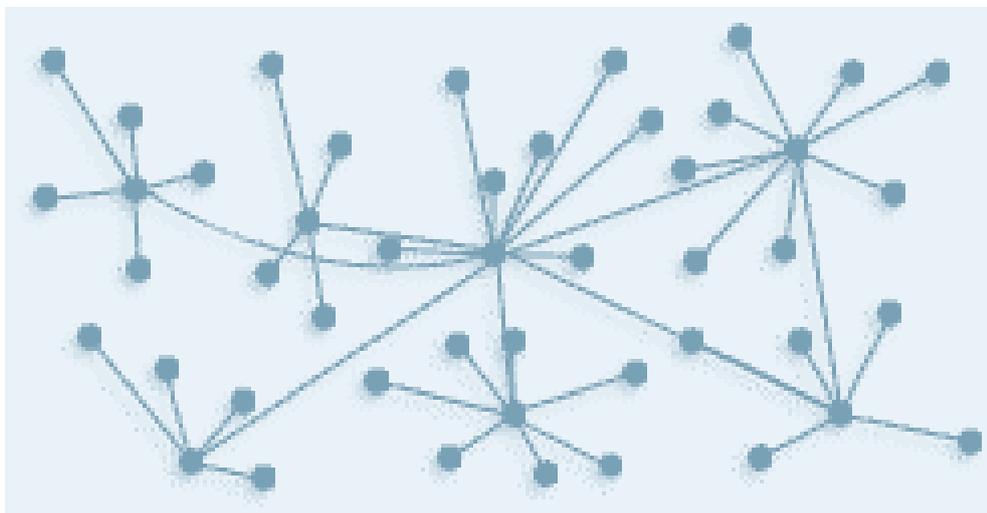


Abb. 39: Dezentrale Netzwerkinfrastruktur, eigene Darstellung.

Infolgedessen entstand eine dezentrale Netzwerkinfrastruktur (Abbildung 39). Im weiteren Verlauf der Entwicklungen, insbesondere nach der staatlich angeordneten Komplettumstellung des Netzwerks im Jahr 1983 auf IPv4 (Kapitel 9.7.4.1) zeigte sich, dass die Steuerungsfähigkeit des Internets nahezu analog zur Ausweitung

seiner technologisch-räumlichen Struktur des Internets als verteiltes Netzwerk abnimmt (Kapitel 9.7.4.1.1.2.1). Abbildung 40 zeigt die verteilte Netzwerkstruktur als grafische Aufbereitung.

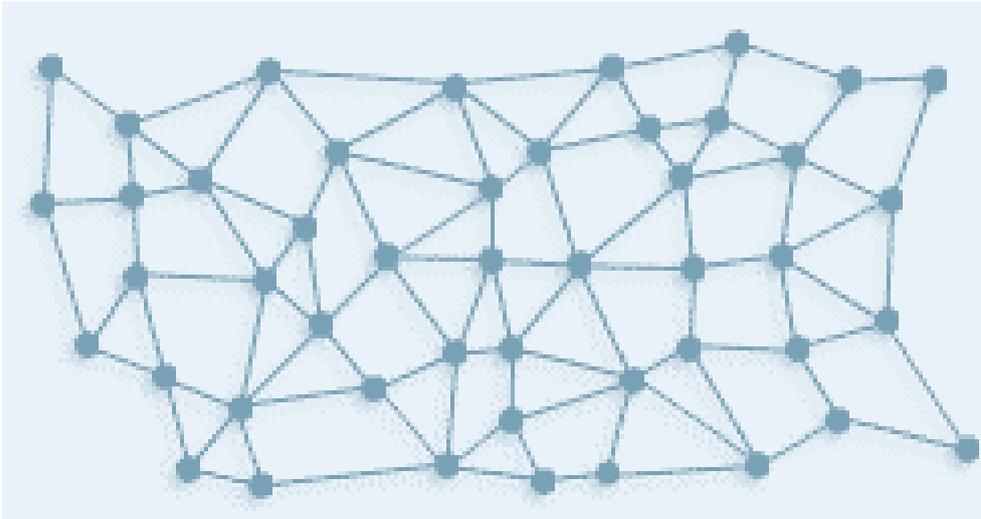


Abb. 40: Verteilte Netzwerkstruktur, Internet, eigene Darstellung.

Es zeigt sich, dass seit der Einführung des IPv4 im Jahr 1983 NetzwerkhHersteller:innen innerhalb ihrer Subnetze eigenständig agieren können. Das heisst, dass jedes Subnetzwerk durch Eigenständigkeit gekennzeichnet ist und NetzwerkhHersteller:innen innerhalb ihrer Netzwerkinfrastruktur in Anlehnung an die vorliegenden Technologien oder eigenen Entwicklungen entscheiden und die Netzwerkinfrastruktur ihren Bedarfen entsprechend ausbauen können (Kapitel 9.7.4.1.1.2.1).

Darüber hinaus zeigte sich, dass Service-Provider als Netzwerkbetreiber:innen grosse Oberstrukturen innerhalb des Internets etablierten, indem sie zentrale Knotenpunkte im Gesamtnetzwerk betreiben. Diese wiederum sind dazu befähigt, Entscheidungen zu treffen, die Folgen für die Gesamtnetzwerkinfrastruktur des Internets haben können, indem sie zu einem Umbruch innerhalb des soziotechnischen Systems führen können (z. B. durch Verteuerung von IPv4 Internetanschlüssen) (Kapitel 9.9.2.4). Somit ist für die Weiterentwicklung des Internets als verteiltes dezentrales Netzwerk zu beobachten, wie Grosstrukturen zur Ungleichheitsproduktion durch bspw. die Ausbildung von Machtstrukturen führen und Service-Provider dadurch ein möglicher Game Changer im Umbauprozess der Netzwerke auf das IPv6 werden können (Kapitel 9.9.2.4.4).

Damit verbunden ist zudem ein expansives Wachstum der Internetinfrastruktur. So besteht die heutige Internetinfrastruktur aus einer nahezu unüberschaubaren Anzahl beteiligter Subnetze. Deren Komplexität steigt kontinuierlich durch wachsende Internetnutzer:innenzahlen sowie durch eine Vielzahl heterogener Geräte, die mit dem Internet verbunden werden (Kapitel 9.9.2.1.1).

Darüber hinaus zeigte sich anhand des IPv6, dass Internetinfrastrukturen für Nutzer:innen unsichtbar sind, solange sie ihre Funktionalität erfüllen. Dies führt dazu, dass das Commitment für einen Umbau der Internetinfrastruktur seitens der Nutzer:innen begrenzt ist, bis sie eine Dringlichkeit erfahren (z. B. Dysfunktionalitäten wie Ausfälle, Seitenladegeschwindigkeit etc.). Ich lege dies Anhang der Abstraktion im Sinne der GTM am Beispiel von Bedingungen für den Umbau dar und differenzierte dabei nach hemmenden Bedingungen (Kapitel 9.9.3.2.2) und fördernden Bedingungen für Umbau (Kapitel 9.9.3.2.3).

Seitens der Netzwerkinfrastrukturen von Unternehmen kann diese Besonderheit der Internetinfrastruktur jedoch zu einer verhaltenen Umbaumotivation führen, da die Leitungsebene eines Unternehmens Dringlichkeit oftmals über entstehende Kosten aufgrund einer Nichteinführung erlebt und somit ein Commitment für die Weiterentwicklung der Internetinfrastruktur erst spät entwickelt wird (Kapitel 9.9.3.2.2 und Kapitel 9.9.3.2.3).

10.1.3 Vernetzung und Anschlussfähigkeit

Vernetzung und Anschlussfähigkeit als ein (Kern)Merkmal der GTS (Kapitel 5.1.4.2) sind innerhalb des soziotechnischen Netzwerks des Internets eine zentrale Eigenschaft und essenziell für die Weiterentwicklung des Internets. Anschlussfähigkeit innerhalb des soziotechnischen Netzwerks des Internets drückt sich seitens der Technologie über Interoperabilität aus (z. B. über Kompatibilität von Hard- und Software beim IPv6 – Kapitel 9.9.2.1.1.3.3, TCP und IP als voneinander abhängigen Technologien – Kapitel 9.7.2.1.1).

Zentrale Funktion der Interoperabilität ist, die Funktionalität und Stabilität des Internets als Infrastruktur für beteiligte soziale und technologische Akteur:innen herzustellen.

Die Funktionalität und Stabilität sind wiederum für die soziale Anschlussfähigkeit der Internetinfrastruktur entscheidend, da über sie die Kommunikation sozialer Akteur:innen gewährleistet wird und bspw. Dienste der Internetinfrastruktur genutzt werden können (z. B. E-Mail) (Kapitel 9.7.4.1.1.1).

Weiterführend ist Quantifizierung zur Vermessung der Internetinfrastruktur und der Funktionalität des Netzes entscheidend für die Weiterentwicklung und Funktionserhaltung des soziotechnischen Netzwerks des Internets, indem diese

Erfolge und Misserfolge für Entwickler:innen sichtbar macht (Kapitel 9.9.3.2.3.7 und 9.9.3.1.1.1) und durch Prüfsummen die Funktionalität von Technologien nachweisbar werden (Kapitel 9.7.2.1.1.2).

10.1.4 System Builder als Visionär:innen und unternehmerisch handelnde Akteur:innen/-konstellationen

Bereits innerhalb des ARPANETs zeigt sich – entgegen dem Ansatz der GTS (Kapitel 5.1.4.3), dass Entwickler:innen als Entwickler:innengemeinschaften technologische Neuerungen in einem iterativen Prozess entwickeln (z. B. Lawrence Roberts und Robert Kann – TCP). Mit dem Blick der ANT (Kapitel 5.2) gelang es, den Blick auf die beteiligten Akteur:innen und damit auf die Mikroperspektive innerhalb des soziotechnischen Netzwerks zu richten. Mittels des Kodierverfahrens der GTM (Kapitel 8.5) zeigte sich in den Analysen, dass die Entwickler:innen des frühen Internets sich durch grosse Visionen und einen hohen Innovationsgeist auszeichneten (z. B. Vision der interconnected networks – Kapitel 9.5.2.2.11). Sie entwickelten nicht nur Technologien, sondern etablierten auch organisationale Strukturen (wie die bereits o. g. RFCs und das Layering) und erschufen neue Formate zur Präsentation von Ergebnissen zur Verbreitung von Technologien (z. B. «do it yourself»-Anwendungen Kapitel 9.5.4.1.3.2, Imagefilme – Kapitel 9.5.4.1.3.3).

Darüber hinaus zeigten sich im Fortlauf der Entwicklungen des Internets unternehmerisch handelnde Akteur:innen, die – im Anklang an den von Joerges (1988, 12) definierten «inventor-entrepreneur» (Kapitel 5.1.4.3) – als «Intra-inventor-entrepreneur» agierten (Kapitel 9.8.3.1.3.4.1). Diese initiierten strategisch, wettbewerbsorientiert und aus dem Inneren einer Unternehmensabteilung heraus die Weiterentwicklung der Unternehmensinfrastruktur (ebd.).

Analog dazu zeigten sich weitere, besonders intrinsisch und innovativ orientierte Akteur:innen, die eine Weiterentwicklung des Internets in einer ad hoc initiierten Aktion umsetzten, indem sie es «einfach versuchten» und eine bestehende Subinfrastruktur eines Vereines umbauten. Im Ergebniskapitel der GTM-Studie wurden diese Innovator:innen identifiziert und als «Tekkies» und «Leading Edge» bezeichnet (Kapitel 9.9.2.4.2.1).

Schliesslich gab es auch innerhalb der aktuelleren Entwicklungen «Top-down» initiierte Einführungsprozesse am Beispiel des IPv6 zu verzeichnen, die seitens des Staates für öffentliche Verwaltungsnetzwerke erfolgten und als kontrastive Charakteristik der Innovator:innen identifiziert wurden (Kapitel 9.9.2.4.3). Ausserdem konnte eine Vielzahl weiterer Akteur:innen aufgeführt werden, die das IPv6 schrittweise innerhalb eines zeitlich andauernden Migrationsprozesses einführten (Kapitel 9.9.2.5).

10.1.5 Momentum und Prozesshaftigkeit

Innerhalb von zwei technologischen Entwicklungsstufen konnten Momenta in Anlehnung an ein (Kern)Merkmal der GTS (Kapitel 5.1.4.4) identifiziert werden. Diese führten zu Beharrungstendenzen bezüglich der Weiterentwicklung der Gesamtinfrastruktur des Internets oder zu einer Trägheit seitens organisationaler Strukturen des soziotechnischen Netzwerks des Internets indem dadurch Störungen und Irritationen ausgelöst wurden (Kapitel 9.2.2.2.3 und Kapitel 9.5.4.2).

Zu einer lang andauernden und noch anhaltenden Trägheit des Gesamtnetzwerkes führte die flächendeckende Komplettumstellung des Internets auf das IPv4. Dieses beschreibt das erste identifizierte Momentum in der vorliegenden Studie. Nie zuvor in der Rekonstruktion des Entwicklungsverlaufs des Internetprotokolls konnte eine solch lang andauernde Phase der technologischen Stabilität des soziotechnischen Netzwerks seitens der Anwendung einer Technologie identifiziert werden. Diese Besonderheit stellt eine zentrale Rahmenbedingung für den Umbauprozess der Internetinfrastruktur auf das IPv6 dar (Kapitel 9.8.3).

Die technologische Stabilität des IPv4 (Kapitel 9.7.2.1.4) führte schliesslich zu Beharrungstendenzen sozialer Akteur:innen bei der Einführung des IPv6 (Kapitel 9.8.3). Durch das ausgebildete Momentum des IPv4 wird das IPv6 trotz seines mittlerweile über 20-jährigen Bestehens und seiner beabsichtigten Ablösung des Vorgängerprotokolls, nicht flächendeckend im soziotechnischen Netzwerk des Internets eingesetzt (ebd.).

Darüber hinaus zeigte sich ein zweites Momentum, welches sich durch eine zunehmende technologische und soziale Komplexität innerhalb der NWG ausbildete und diese entscheidungsunfähig werden liess. Dieses zuletzt geschilderte Momentum wirkte sich nur bedingt auf die Makroebene der Gesamtnetzwerkinfrastruktur, wie beim IPv4, aus, sondern zeigte seine Auswirkungen vornehmlich auf der Mikroebene der beteiligten Entwickler:innen (siehe Kapitel 9.2.2.2.3).

Entgegen dem ersten dargestellten Momentum konnte letzteres jedoch auf der Mikroebene innerhalb des soziotechnischen Netzwerks aufgelöst werden, indem organisationale Veränderungen der NWG vorgenommen wurden. So wurde das Layering entwickelt und analog dazu erfolgte eine Ausdifferenzierung der NWG in Anlehnung an die im Layering Modell dargelegten Protokollschichten. Somit reduzierte das Layering Dysfunktionalitäten des soziotechnischen Netzwerks des Internets und reduzierte als nicht intendierte Nebenfolge nicht nur die technologische Komplexität, sondern ebenso die soziale Komplexität der NWG. Diesen im Kontext der ANT als Übersetzung geschilderten Prozess legte ich in Kapitel 9.2.2.2.4 dar.

Schliesslich zeigt sich als Ergänzung zu den (Kern)Merkmalen der GTS (Kapitel 5.1.4), dass der gesamte Entwicklungsprozess des Internets nach der Entwicklung und Einführung des IPv4 in 1983, insbesondere nach Beginn der Einführung des IPv6 in die bestehende stabilisierte Gesamtnetzwerkinfrastruktur durch Prozesshaftigkeit charakterisiert ist.

Entgegen der Komplettumstellung auf IPv4 – durch ein zentralisiertes Umschalten der IMPs und TIPs der DARPA – erfolgt der Umbau der Internetinfrastruktur durch die Einführung des IPv6 im laufenden Betriebsprozess des Gesamtnetzwerks und seiner Subnetze mittels (lokaler) Testumgebungen und Performancemessungen (Kapitel 9.9.3).

Weiterhin erfolgt eine schrittweise Migration, die durch verschiedene Phasen gekennzeichnet ist (z. B. Transition Plan – Kapitel 9.9.2.5). Demnach muss bei der Einführung des IPv6 immer die Interoperabilität mit der bestehenden Hardware überprüft und müssen IPv6-Adressblöcke beschafft werden. Darüber hinaus müssen ein Adressvergabekonzept entwickelt sowie Soft- und Hardware-Modifikationen für die Einführung des IPv6 im Dual-Stack Betrieb und für die Komplettumstellung vorgenommen werden (ebd.).

10.2 Die Phasen des Umbaus der Internetinfrastruktur

Anhand der zuvor erfolgten Darstellung der Gesamtentwicklung des Internets als soziotechnisches Netzwerk und in Zusammenschau mit den Ergebnissen der GTM-Studie aus Kapitel 9 konnten am Beispiel des Internetprotokolls drei Phasen im *Umbau der Internetinfrastruktur* identifiziert werden. Diese zeigen die Verschiebungen und Ausweitungen des soziotechnischen Netzwerks auf der Makro- und Mikroebene in einer kondensierten und abstrahierten Form im Sinne der GTM (Kapitel 2) und dem dargelegten Kodierverfahren, welches in der vorliegenden Arbeit verfolgt wurde (Abbildung 21).

Innerhalb des soziotechnischen Netzwerks des Internets konnten am Beispiel des Internetprotokolls die folgenden drei Umbauphasen identifiziert werden:

1. Innovationsphase,
2. Stabilisierungsphase und
3. Migrationsphase

Abbildung 41 zeigt die drei Phasen des Umbaus des Internets am Beispiel des Internetprotokolls. Darin zu sehen sind jeweils die *Dimensionen des Umbaus* im Sinne sozialer Akteur:innen/-konstellationen, sachlicher Elemente und räumlicher Strukturen sowie die *Zeitlichkeit des Umbaus* anhand der technologischen

Entwicklungsphasen des Internetprotokolls. Darüber hinaus werden darin verfolgte Umbaustrategien und für die Phasen charakterisierende Besonderheiten dargestellt und Verflechtungen dargestellt, die aus Kapitel 10.1 weiterführend kondensiert wurden

10.2.1 Innovationsphase

Die (1) Innovationsphase in Abbildung 41 umfasst die Vorläufertechnologien des Internets seit der Zeit des ARPANETs und dessen Weiterentwicklung bis zum TCP.

Für die Innovationsphase des Umbaus der Internetinfrastruktur zeigte sich, dass die frühe Entwicklung des Internets insbesondere durch Innovationen im Sinne von technologischen Neuerungen durch Internetpionier:innen und Visionär:innen geprägt war.

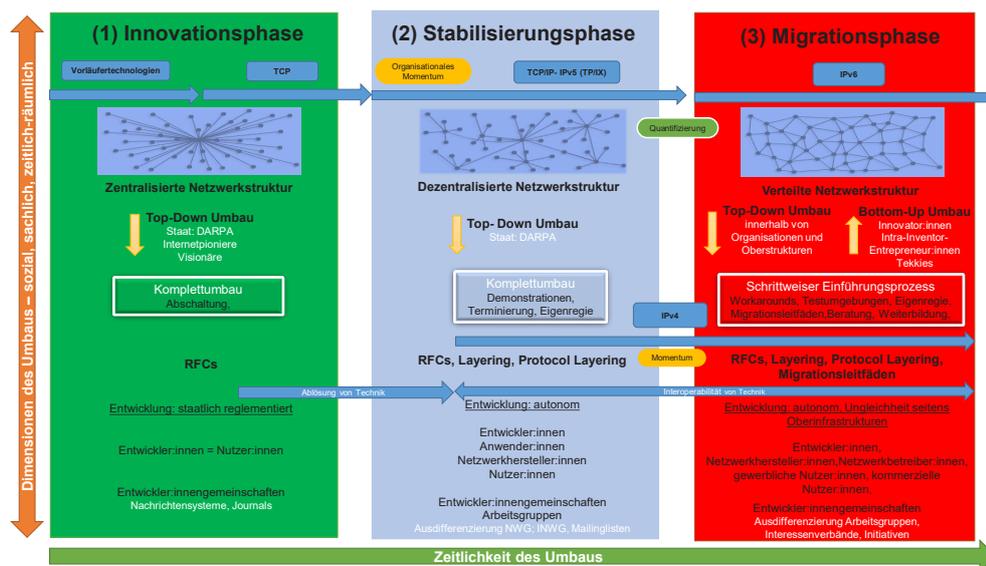


Abb. 41: Grounded Theory zum Umbau der Internetinfrastruktur.

Die Vernetzungstechnologien stellten radikale Innovationen dar und wurden als Vision einer militärisch genutzten Kommunikationsinfrastruktur durch die DARPA des DoD in einer Entwickler:innengemeinschaft der militärischen und wissenschaftlichen Forschung entwickelt (Kapitel 9.2.3). Dabei ist jedoch anzumerken, dass zu dieser Zeit Technologien aufgrund mangelnder technologischer Alternativen als *In-sellösungen* entwickelt wurden. An dieser Stelle sei auf die Ansätze der GTS verwiesen, welche nahezu alle technologische In-sellösungen untersuchten. Zu benennen sind hier u. a. die Analysen zur Entstehung des Eisenbahnnetzes, des Flugverkehrsystems in den USA oder des deutschen Telefonnetzes (vgl. Mayntz 1988; Mayntz und Hughes 1988; Braun und Joerges 1994; Hughes 1983; 1987; Joerges 1988; 1996) (siehe dazu Kapitel 5.1).

Darüber hinaus lässt sich eine starke Begrenzung seitens der Nutzung und technischen Ausbreitung feststellen, die auf militärische und wissenschaftliche Einrichtungen beschränkt war und zunächst auf die Teilung von Computer-Ressourcen abzielte. Auch die wenigen beteiligten sozialen Akteur:innen der Entwickler:innengemeinschaft stammten aus dem militärischen und wissenschaftlichen Umfeld.¹⁰¹

Zudem zeigte sich, dass die Entwickler:innen zugleich die Nutzer:innen der ARPANET Technologien waren. Dies ist damit zu begründen, dass es keinerlei öffentliche Verbreitung gab und diese Technologien im Ursprung zur alleinigen Nutzung seitens der militärischen und wissenschaftlichen Einrichtungen entwickelt wurden (Kapitel 9.2.1).

Auch die beteiligten sachlichen Elemente begrenzten sich auf einige wenige. Die technologische Begrenzung lässt sich darauf zurückführen, dass die Technologien in ihren bereitgestellten Funktionen zur Verbindung noch nicht weit fortgeschritten waren und sich zunächst auf die Verbindung zwischen Mainframe Computern und Terminals über die Telefonleitung einer Einrichtung beschränkten (Kapitel 9.1 und Kapitel 9.2).

Auch wurden Technologien in Abfolge zueinander von den Entwickler:innen entwickelt, welche wiederum in einem Komplettumbau der Infrastruktur des ARPANETs mündeten. Dazu wurden im ARPANET – veranlasst durch die DARPA in einem «Top-down» initiierten Prozess – neue Technologien eingeführt und infolgedessen das Computernetzwerk wieder hochgefahren und auf seine Funktionsfähigkeit überprüft (ebd.).

Durch Entwicklung des Packet Switchings und dessen Weiterentwicklung zum Message Packet Switching wurde das TCP entwickelt. Dadurch kam es zu einer ersten bedeutsamen organisationalen Veränderung sowie zu einem weiteren technologischen Durchbruch in der Vernetzungstechnik (Kapitel 9.4 und Kapitel 9.5).

Diese technologische Entwicklung führte auf dem Weg zu einer nicht intendierten Nebenfolge zur Entwicklung der RFCs als heutige Standardisierungspapiere. In der Historie des Internets dienten die RFCs dazu, technologische Entwicklungen zu dokumentieren und weiterzuentwickeln. Sie führten dazu zu einer Reduktion der Komplexität im soziotechnischen Netzwerk und steigerten die soziale und technische Anschlussfähigkeit (Kapitel 9.2.2.4). Dazu wurden die RFCs mittels eines internen Nachrichtensystems verfasst und innerhalb des NLS Journals bereitgestellt sowie im weiteren Verlauf auf dem Postweg verschickt (ebd.).

Insgesamt zeigt sich für die Innovationsphase, dass sie durch eine geringe Komplexität seitens sozialer und technologischer Akteur:innen besteht und über eine geringe Ausbreitung verfügt. Darüber hinaus zeigt sich, dass die entwickelten Technologien radikale Innovationen in der Computertechnik darstellten, ihre Anzahl

101 Zum Akteur:innenverständnis siehe Kapitel 6.3.

jedoch überschaubar war. Weiterhin bauen diese Technologien aufeinander auf und werden in einem Erneuerungsprozess, den die DARPA als Komplettumbau steuert, als Ablösung einer anderen Technologie eingesetzt. Schliesslich lässt sich eine geringe Anzahl von Normen und Standards ausmachen, die von militärischen und wissenschaftlichen Einrichtungen verabschiedet werden.

10.2.2 Stabilisierungsphase

Die (2) Stabilisierungsphase (Abbildung 41) umfasst die technologische Entwicklung des TCP/IP als Nachfolger des TCPs und host-to-host protocols und dessen Weiterentwicklungen bis zum IPv4 und IPv5 (TP/IX). Für diese Phase im Umbau der Internetinfrastruktur ist insbesondere durch technologische Stabilität spezifiziert.

Stabilität bezieht sich, wie Abbildung 41 zeigt, insbesondere auf die Zeit nach der Entwicklung des TCP/IP zum IPv4. Darin löste das IPv4 das TCP/IP innerhalb eines von der DARPA veranlassten zeitlich terminierten «Top-down» Prozesses vollständig ab (Kapitel 9.7.4.1).

Insgesamt zeigt sich in der Stabilisierungsphase, dass die Komplexität der technologischen, räumlichen und sozialen Struktur des soziotechnischen Netzwerks eine massive Zunahme erfahren hat und durch eine dezentrale Netzwerkstruktur geprägt ist, die erstmalig seit der Entstehung auch global ausgeweitet wurde.

Infolge der räumlichen Ausweitung und technologischen Ausbreitung zeigt sich eine Zunahme der sozialen und technologischen Komplexität des Netzwerks. Diese führt zu einer organisationalen Trägheit durch Ausbildung eines Momentums (siehe Abbildung 41: organisationales Momentum), welches wiederum durch organisationale Veränderungen aufgebrochen wird. So werden seitens der technologischen Komplexität RFCs als Standardisierungspapiere zur Konsensbildung eingesetzt und in der Kommunikationstechnik ein Layering Modell und Protocol Layer-Modell zur Reduktion technologischer Komplexität entwickelt. Diese führen zu einer lang anhaltenden Stabilisierung des Netzwerks und einem flächendeckenden Einsatz des IPv4 als ein globaler Internetstandard.

Darüber hinaus differenzierten sich soziale Akteur:innen innerhalb dieser Phase analog zum Layering Modell aus, sodass nationale (NWG) und internationale (INWG) Arbeitsgruppen entlang der Schichten des Modells geründet wurden (Kapitel 9.1.8) und diese Mailinglisten als Austauschmedium nutzten (Kapitel 9.7.2.2.1).

Spezifisch für diese Phase ist, dass Entwickler:innen eigene Computernetzwerke durch Adaption der ARPANET-Technologien entwickeln, zu welchen diese mittels Demonstrationen befähigt werden (Kapitel 9.5.4.1.3.1). Dadurch werden die Entwickler:innen zu Anwender:innen und sorgen für eine Ausweitung des Netzwerks (Kapitel 9.5.3).

Weiter zeigt sich, dass Anwender:innen innerhalb der Stabilisierungsphase wiederum selbst technologische Netzwerke für Nutzer:innen entwickeln und somit zu Netzwerkhersteller:innen werden, die in Eigenregie technologische Netzwerke innerhalb eines zeitlich andauernden Prozesses entwickeln und diese durch Einführung des IPv4 um- und ausbauen (Kapitel 9.7.3).

Schliesslich wird anhand der Stabilisierungsphase deutlich, dass diese durch eine zunehmende soziale und technologische Komplexität spezifiziert wird und durch Interoperabilität gekennzeichnet ist. Diese Komplexität führt wiederum in Verbindung mit der notwendigen Interoperabilität zu einer entsprechenden Ausdifferenzierung des soziotechnischen Netzwerkes, um dessen Funktionalität zu gewährleisten. Das führt wiederum zu Beharrungstendenzen im Umbauprozess der Internetinfrastruktur (Kapitel 9.6 und 9.7).

Die lange andauernde technologische Stabilisierung des IPv4 führt zur Ausbildung eines Momentums, welches auf das Gesamtnetzwerk wirkt (siehe Abbildung 41: Momentum). Dieses ist dysfunktional für den Umbau der Internetinfrastruktur und erschwert die Einführung des IPv6. Stabilisierung und Ausbildung eines Momentum sind bezeichnende Charakteristika der (2) Stabilisierungsphase.

10.2.3 Migrationsphase

Die (3) Migrationsphase innerhalb Abbildung 41 umfasst das IPv6 innerhalb einer expansiv ausgebreiteten und verteilten Gesamtnetzwerkstruktur.

Die Migrationsphase ist durch eine schrittweise und prozessorientierte Einführung durch Workarounds, Testumgebungen und einen Parallelbetrieb der technologischen Entwicklung von IPv4 und IPv6 spezifiziert (Kapitel 9.9).

Innerhalb der Migrationsphase ist die Quantifizierung durch Performancemessungen und Tests essenziell für die Überprüfung der Funktionalität des Dual-Stack Betriebs von IPv4 und IPv6 und zentral für die Entscheidung der beteiligten sozialen Akteur:innen zur Einführung des IPv6 (Kapitel 9.9.3).

Weiter zeigt sich beim Umbau der Internetinfrastruktur in der heutigen Migrationsphase eine gestiegene Diversität unter den sozialen und technologischen Akteur:innen sowie dessen Ausweitung durch Initiativen und Netzwerkbetreiber:innen, die an der technologischen Entwicklung der RFCs als Herausgeber:innen beteiligt sind sowie Oberinfrastrukturen z. B. als Service-Provider:innen für Nutzer:innen bereitstellen (Kapitel 9.8 und Kapitel 9.9).

Darüber hinaus zeigt sich in der Migrationsphase eine klare Trennung zwischen Entwickler:innen, die Technologien innerhalb von Entwickler:innengemeinschaften produzieren, und Nutzer:innen, die das Internet für gewerbliche oder kommerzielle Zwecke verwenden (Kapitel 9.9.2.4).

Die Entwickler:innen befinden sich ausschliesslich in wirtschaftlichen Unternehmen der Netzwerkhersteller:innen und Netzbetreiber:innen oder innerhalb wissenschaftlicher Einrichtungen. Sie arbeiten an der Standardisierung von Internettechnologien mit und nehmen dadurch an der Gesamtentwicklung der Internetinfrastruktur teil (ebd.).

Weiterführend zeigt sich, dass die Entwickler:innengemeinschaften hochgradig komplex und technologisch differenziert sind (ebd.).

Zudem sind die verwendeten Technologien innerhalb der Migrationsphase heterogen und werfen teils schwerwiegende Kompatibilitätsprobleme auf, indem sie zu heterogenen Interdependenzen führen und die Kommunikation zwischen IPv4 und IPv6 verhindern. Interoperabilität ist insofern zentrales Moment für Umbau und leitendes Prinzip in der Migrationsphase, um die Stabilität und Funktionalität der sich ausweitenden Internetinfrastruktur zu sichern (Kapitel 9.9.2).

Infolgedessen wird der Entwicklungs- und Einführungsprozess zunehmend komplexer und macht umfangreiches Wissen notwendig, welches über Migrationsleitfäden, RFCs und Beratungen bereitgestellt wird oder über Weiterbildungen vermittelt werden soll (Kapitel 9.9.3.2).

Darüber hinaus ist eine weitreichende Koordination und Kooperation innerhalb des Einführungsprozesses notwendig, die innerhalb Top-down gesteuerter Einführungsprozesse innerhalb von Organisationen vorgegeben werden oder durch Entscheidung von Oberstrukturen (Internet Service-Provider) strukturiert werden könnten, indem diese das IPv6 forcieren und dadurch eine Komplettumstellung des Netzwerks bewirken könnten (Kapitel 9.9.2.4).

Zudem zeigen sich Bottom-up orientierte Umbauprozesse von Innovator:innen, die als Intra-Inventor-Entrepreneur:innen, mittels unternehmerischen Handelns durch oder als Tekkies durch Technikaffinität die Migration des IPv6 vorantreiben (ebd.).

Insgesamt zeigt sich für die Migrationsphase, dass die zentralistische militärische Steuerung der Historie des Internets zugunsten einer Dezentralität verschoben wurde. Diese sowie das expansive Wachstum des Internets führen zu einer immer komplexer werdenden Gesamtstruktur des soziotechnischen Netzwerks, welche eine Ablösung des IPv4 verhindert und dadurch zu einer schrittweisen und prozessorientierten Einführung von Workarounds zum Parallelbetrieb von IPv6 und IPv4 führt.

10.3 Schlussfolgerungen aus dem Ergebniskapitel und der Grounded Theory

Am Beispiel des Internetprotokolls zeigten sich im Rahmen der GTM-Studie Verschiebungen und Ausweitungen innerhalb des soziotechnischen Netzwerkes durch soziale und technologische Verflechtungen. Ebenso zeigte sich die Funktion im und

für das soziotechnische Netzwerk beteiligter Akteur:innen-konstellationen durch Ausweitung und Differenzierung. Diese mündeten schliesslich in Umbaustrategien, die sich durch Ausgestaltung differenzieren liessen.

Es zeigte sich anhand des Ergebniskapitels (Kapitel 9), in der Zusammenschau der Entwicklung des soziotechnischen Netzwerks (Kapitel 10.1) des Internets sowie anhand der abstrahierten Umbauphasen (Kapitel 10.2), dass Internetinfrastrukturen durch die Ausbildung heterogener Akteur:innenkonstellationen hochgradig komplexe soziotechnische Netzwerke sind.

Jene bestehen, wie ich in den Ergebnissen des Kapitels 9 zeigte, aus sozialen Akteur:innen, sachlichen Elementen und zeitlich-räumlichen Strukturen. Diese bilden heterogene, höchst interdependente und verschiedenartige Konstellationen aus, welche den Umbauprozess der Internetinfrastruktur wechselseitig beeinflussen sowie zu organisationalen und technologischen Veränderungen führen und nicht intendierte Nebenfolgen ausbilden.

So zeigte sich innerhalb der ersten Umbauphase – (1) Innovationsphase – eine soziale, sachliche und zeitlich-räumliche Homogenität, welche sich in der zweiten Phase – (2) Stabilisierungsphase – ausweiteten und Beharrungstendenzen ausbildeten. In der dritten Phase – (3) Migrationsphase – zeigte sich eine expansive Ausweitung der Akteur:innenkonstellationen, die in eine Heterogenität mündete, welche u. a. Workarounds zum Umbau notwendig werden liess.

In der Kontrastierung der drei Phasen zum Umbau der Internetinfrastruktur (Abbildung 41) zeigt sich eine signifikante Verschiebung der Dimensionen der sozialen, sachlichen und zeitlich-räumlichen Konstellationen.

So lässt sich anhand der Kontrastierung der drei Umbauphasen festhalten, dass sich die zeitlich-räumliche, soziale sowie sachliche Homogenität in der Innovationsphase (1) zu einer zeitlich-räumlichen, sozial sowie sachlichen Heterogenität in der Migrationsphase (3) verschoben hat.

Diese Entwicklungen führen dazu, dass sich die Umbaustrategien von einer staatlich initiierten Komplettumstellung und Abschaltung des alten Netzwerks in der Innovationsphase zu einer prozessorientierten quantifizierbaren Migrationsphase innerhalb von Testumgebungen vollziehen und im laufenden Prozess des Gesamtnetzwerks erfolgen.

Die erste Umbaustrategie der Komplettumstellung und Abschaltung kann mit den Begriffen Technikablösung und radikale Umstellung beschrieben werden. Diese Umbaustrategie bezeichnet sich durch Visionen der Entwickler:innen und referiert auf die Entwicklung und Einführung als Experiment. Insofern entscheidet sich erst nach erneutem Hochfahren des Computernetzwerks, ob der Umbau funktional war.

Die zweite Umbaustrategie der schrittweisen Migration erfolgt prozessorientiert und wird durch eine kontrollierte und gesteuerte Entwicklung und Einführung zur Vermeidung von Fehlern und Ausfällen begleitet, die mittels Performancemessungen und Tests quantifiziert und dadurch reglementiert werden kann.

Resümierend lässt sich anhand dieser Kontrastierung der Umbaustrategien festhalten, dass die Entwicklung und Einführung des Internetprotokolls im zeitlichen Verlauf reflexiv geworden ist und infolge der Komplexität des soziotechnischen Netzwerks zunehmend durch Quantifizierung reglementiert wird.

Schliesslich wird daran deutlich, dass es einen signifikanten Wandel im Verlauf der Entwicklung des Internetprotokolls gibt, der nicht ausschliesslich historisch-technologisch bedingt ist, sondern durch die ansteigende Komplexität des soziotechnischen Netzwerks in seiner Gesamtheit entsteht und mit der Fehleranfälligkeit der komplexer werdenden Internetinfrastruktur, den daran beteiligten sozialen und technologischen Akteur:innen und den zeitlich-räumlichen sowie organisationalen Strukturen erklärt werden kann.

11. Fazit

In diesem letzten Kapitel werde ich zunächst ein Fazit ziehen und anschließend eine forschungsmethodologische und theoretische Bilanzierung vornehmen, Grenzen, Limitationen und Forschungsbedarfe darstellen.

Die vorliegende Arbeit verfolgte das Ziel auf Basis des Forschungsparadigmas der GTM (Kapitel 2), durch einen explorativen Zugang den Fokus auf den bisher wenig untersuchten Umbau der Internetinfrastruktur zu legen. Wie wenig untersucht der Forschungsgegenstand des Umbaus der Internetinfrastruktur ist, legte die Autor anhand eines systematischen Literaturreviews dar, in welchem sie – dem eigenen Anspruch nach Transparenz und Nachvollziehbarkeit folgend – den Auswahlprozess der Datenbanken und die Methodik der Literaturrecherche darlegte und Ergebnisse vorstellte sowie diskutierte (Kapitel 4).

Die Erkenntnisse nutzte die Autorin in Kombination mit den theoretisch sensibilisierenden Konzepten des Ansatzes der GTS und ANT (Kapitel 5), um durch Zusammenschau und Reflexion der Ausgangslage und mit dem Forschungsfokus die forschungsleitenden Fragestellungen im Sinne der GTM, zur Generierung einer am Gegenstand orientierten Theorie, zu konkretisieren (Kapitel 6)

Es sollten demnach Erkenntnisse über Charakteristika und Akteur:innenkonstellationen von Umbauprozessen innerhalb der Internetinfrastruktur generiert und ein Beitrag zur methodologischen und theoretischen Arbeit der Internetinfrastrukturforschung geleistet werden.

Diesem Anspruch konnte die vorliegende Arbeit gerecht werden, indem die Autorin (in Anlehnung an das Forschungsparadigma der GTM und unter Verschränkung der Makroperspektive der GTS mit der Mikroperspektive der ANT) den Forschungsfokus auf das soziotechnische Netzwerk des Internets legte. Damit verbunden war die Zielsetzung, die Strukturen und verfolgten Strategien des Umbaus der Internetinfrastruktur zu identifizieren und das soziotechnische Netzwerk in seinen Verflechtungen seitens der Akteur:innen zu begreifen.

Die Autorin definierte dazu Kriterien für die Fallauswahl und wählte das Internetprotokoll und seine historische Entwicklungsgeschichte als Fallbeispiel aus (Kapitel 7).

Daran anschließend fertigte die Autorin dichte Beschreibungen und Rekonstruktionen des Umbaus der Internetinfrastruktur am Beispiel des Internetprotokolls an, stellte Charakteristika beteiligter Akteur:innenkonstellationen heraus, die eine hemmende oder fördernde Wirkung auf die Entwicklung des soziotechnischen Netzwerks des Internets am Beispiel der Internetprotokolls hatten, und benannte Umbaustrategien und Spezifika anhand von verschiedenen Umbauphasen (Kapitel 9 und 10).

Dazu verfolgte sie einen qualitativen Methodenmix aus Dokumentenanalyse und Interviewstudie am Fallbeispiel des Internetprotokolls (Kapitel 8) und rekonstruierte daran die Entwicklung seiner Vorläufertechnologien und daran anknüpfend das Internetprotokoll vom TCP/IP bis IPv6 (Kapitel 9).

Die Analysen richteten das Augenmerk auf die Entwicklung und den Umbau des soziotechnischen Netzwerks des Internets von den späten 1960er-Jahren bis heute.

In den Analysen zeigte sich die Entwicklung eines einzigen experimentellen Computernetzwerks der USA zu einem Netzwerk, welches heutzutage Milliarden von Computern und weiteren digitalen Endgeräten mittels des IPv4 und IPv6 verbindet.

Während der Rekonstruktionen und theoretischen Abstraktionen mittels des Kodierverfahrens der GTM entfalteten sich heterogene Verflechtungen beteiligter Akteur:innen. Diese führten zur Entwicklung, Weiterentwicklung und zum Umbau der Internetinfrastruktur. Darüber hinaus legte die Autorin auch organisationale Veränderungen und Nebenprodukte dar, welche das soziotechnische Netzwerk in seinen heterogenen Verflechtungen entstehen liessen, die soziale und technologische Komplexität reduzieren konnten, zur sozialen und organisationalen Ausdifferenzierung führten, eine physische Ausweitung der Netzwerkinfrastruktur verursachten oder zur Lokalisierung von Netzwerkbestandteilen seitens der Entwickler:innen verwendet wurden.

In Zwischenfazit abstrahierte die Autorin technologische Phasen, in denen sie Charakteristika des soziotechnischen Netzwerks, Akteur:innenkonstellationen und verfolgte Umbaustrategien mittels des Kodierverfahrens der GTM abstrahierte und theoretische Kategorien zu Spezifika von Akteur:innen/-konstellationen und Strategien in einer umfänglichen Form daraus ableitete.

Infolge dieses methodologischen und theoretischen Vorgehens konnten sehr umfängliche Beschreibungen und Abstraktionen im Sinne der GTM zum soziotechnischen Netzwerk des Internets am Beispiel des Internetprotokolls angefertigt werden. Diese mündeten in Kapitel 10 in eine Zusammenschau der Ergebnisse zur Entwicklung des Internets als soziotechnisches System und werden darin zu drei Phasen im Umbau der Internetinfrastruktur abstrahiert.

11.1 Forschungsmethodologische und theoretische Bilanzierung

Anhand des Forschungsparadigmas der GTM konnte ein exploratives Vorgehen im Forschungsprozess verfolgt und zur Generierung einer gegenstandsorientierten Theorie mittels des dargelegten Kodierverfahrens zu Phasen des Umbaus der Internetinfrastruktur am Beispiel des Internetprotokolls kondensiert werden (Kapitel 8.6 und Abb. 41).

Der gesamte Forschungsprozess ist auf Transparenz und Nachvollziehbarkeit ausgelegt, um theoretische und methodologische Anschlussfähigkeit seitens der wissenschaftlichen Community für diesen bisher wenig untersuchten Forschungsgegenstand zu liefern.

Der Forschungsprozess war insgesamt durch einen hohen Aufwand geprägt, da kontinuierlich Entscheidungen getroffen, reflektiert und entsprechend nach dem Forschungsinteresse modifiziert werden mussten.

Die Forschungsvorbereitung sowie das systematische Literaturreviews zur Sichtung von Vorarbeiten und der Konkretisierung der forschungsleitenden Fragestellungen im Sinne der GTM waren durch einen hohen Aufwand gekennzeichnet. So ging das Literaturreview mit der Konstruktion von Einschlussfaktoren für Datenbanken, die mit dem Review einhergehende Definition eines Suchstrings sowie die Durchführung des Literaturreviews und dessen Auswertung einher.

Seitens theoretisch sensibilisierender Konzepte wurden Ansätze und Theorien gesichtet, die den Blick auf soziotechnische Netzwerke richten, da das Literaturreview sowie die begriffliche Einordnung und Relevanz von Infrastrukturen (Kapitel 3) darauf hinwiesen haben, dass diese aus weit mehr als aus technologischen Bestandteilen bestehen.

Infolgedessen wurde vor dem Hintergrund des Forschungsparadigmas der GTM und der Ergebnisse des Literaturreviews der Ansatz der GTS als theoretisch sensibilisierendes Konzept eruiert, und anhand der GTS-Studien wurden zentrale Charakteristika grosstechnischer Systeme herausgearbeitet (Kapitel 5.1). Diese wurden mit der ANT und deren Analyseschema sowie deren symmetrischer Anthropologie verknüpft (Kapitel 5.2).

Durch Verschränkung all dieser Erkenntnisse erfolgte die Konkretisierung der forschungsleitenden Fragestellungen und die Vorbereitung des empirischen Feldzuges (Kapitel 6).

Auch diese war von grossem Aufwand gekennzeichnet, da Kriterien und Durchführung der Fallauswahl sowie die Konstruktion eines angemessenen Datenerhebungs- und Auswertungsdesigns erfolgen mussten, um ein den forschungsleitenden Fragestellungen angemessenes Fallbeispiel auswählen zu können (Kapitel 7).

Die anschliessende Datenerhebung und Auswertung in Anlehnung an das Forschungsparadigma der GTM erfolgte in einem iterativen Prozess, welcher bis zum Einsetzen einer theoretischen Sättigung durchgeführt und durch Memos, im Sinne von theoretischen Notizen, ergänzt wurde. Weiterführend wurde ein Kodierverfahren entwickelt und dargestellt, um die Datenauswertung nachvollziehbar zu gestalten und durchzuführen (Kapitel 8.6).

Schliesslich wogen all jene methodologisch und theoretisch aufwendigen Auswahl- und Definitionsverfahren durch ihre Nähe zum konkreten Handlungsgeschehen in Verbindung mit den theoretisch sensibilisierenden Konzepten den Zeitaufwand auf:

Dieses Vorgehen machte eine makroperspektivische Betrachtung des soziotechnischen Netzwerks und die Identifikation mikrostruktureller Besonderheiten hinsichtlich beteiligter Akteur:innenkonstellationen und Strategien des Umbaus möglich.

11.2 Grenzen und Limitationen

Seitens der Rekonstruktion des Umbaus der Internetinfrastruktur am Beispiel des Internetprotokolls wurden Grenzen, Limitationen und Forschungsbedarfe ersichtlich, welche ich abschliessend darstellen möchte.

Eine Grenze und Limitation der vorliegenden Forschung ergibt sich seitens der GTM, welche zum Ziel hat, eine gegenstandsorientierte Theorie zu entwickeln, die nicht auf andere Fälle übertragbar ist.

Zugleich ist diesem Einwand entgegenzustellen, dass die GTM diesen Anspruch auch nicht hat (siehe Kap. 2 und 8). Ihr Ziel und zugleich ihre Eigenheit ist es, eine am Gegenstand orientierte Theorie zu entwickeln. Letzteres bedingt zugleich nicht die Aussagefähigkeit über die Qualität der empirischen Studie (ebd.).

Wie ich bereits im Kapitel 8 umfänglich ausführte, wird die Qualität einer empirischen Studie i.d.R. über «Gütekriterien» bestimmt (vgl. Steinke 2000a). Bei GTM-Studien kann die Qualität nicht mittels dieser klassischen Gütekriterien gemessen werden (vgl. Strauss und Corbin 1996). Wie ich ausführte, ist der Grund dafür laut Strübing (2004, 87), dass diese der GTM in ihrer Eigenlogik widersprechen (siehe Kapitel 8).

Zur Messung der Qualität einer GTM-Studie ist demnach unerlässlich, dass Forschende die in Kapitel 2 erläuterten Grundprinzipien der GTM beachten. Die Autorin der vorliegenden Arbeit folgte den Grundprinzipien vollumfänglich, indem sie den eigenen Forschungsprozess durch Zwischenfazite kontinuierlich reflektierte, Ergebnisse und Fälle durch das Prinzip des ständigen Vergleichs überprüfte und die Theoriegenerierung am Gegenstand verankert bis zum Erreichen einer theoretischen Sättigung verfolgte. Mit diesem Vorgehen wird die Autorin demnach auch den Ansprüchen der Mitbegründerinnen der GTM Strauss und Corbin (Strauss und Corbin 1996, 217f.) gerecht. Die Forscherin möchte damit verdeutlichen, dass sie sich insofern der Grenze der Übertragbarkeit und der Gültigkeit ihrer Ergebnisse bewusst, ist und möchte an dieser Stelle nochmals darauf hinweisen, dass im Kontext der vorliegenden Arbeit in Anlehnung an das Forschungsparadigma der GTM eine am Gegenstand des Internetprotokolls orientierte Theorie zum Umbau der

Internetinfrastruktur entwickelt wurde, deren Gültigkeit auf den Untersuchungszeitraum begrenzt ist und zudem durch theoretisch sensibilisierende Konzepte in ihren Denkheuristiken geprägt ist.

Folglich hat die in der vorliegenden Arbeit entwickelte Theorie mit den Phasen des Umbaus der Internetinfrastruktur am Beispiel des Internetprotokolls keinen Anspruch auf Gültigkeit innerhalb anderer Forschungskontexte.

Eine weitere Grenze und Limitation wurde innerhalb der Analysen deutlich. Innerhalb des Ergebniskapitels zeigte sich, dass kein reines auf IPv6-Technik basiertes Netzwerk untersucht werden konnte.

Letzteres erwies sich trotz Recherchen und Gesprächen mit beteiligten Akteur:innen des RIPE für den deutsch- und englischsprachigen Raum als schwierig, denn innerhalb Europas werden keine ausschließlich IPv6-basierten Netzwerke betrieben.

Dies lässt sich insbesondere mit der eingeschränkten Anschlussfähigkeit IPv6-basierter Netzwerke mit IPv4-basierten Netzwerken begründen. Infolgedessen war es in der vorliegenden Arbeit nicht möglich, eine Netzwerkbetreiber:in für ein Interview zu generieren.

Seitens des Forschungsprozesses ergibt sich dadurch eine weniger starke Kontrastierung. Dieser steht jedoch eine eingängige Untersuchung der Anschlussfähigkeit des soziotechnischen Netzwerks entgegen und relativiert in einem gewissen Umfang diese Limitation in der Forschung.

11.3 Forschungsbedarfe

Auch wurden Forschungsbedarfe innerhalb der Analysen deutlich. Diese betreffen zum einen die notwendige Weiterbildung, die sich durch den voraussetzungsvollen Prozess des Parallelbetriebes vom IPv4 und IPv6 ergibt (Kapitel 9.9.3.2.3.5.2 und 9.9.3.2.2.2) und deren Dringlichkeit perspektivisch durch Ablösung des IPv6 (u. a. aufgrund der Adressausschöpfung – Kapitel 9.9.3.2.3.4 und möglichen Game Changer durch Internet Service Provider – Kapitel 9.9.2.4.4) weiter zunehmen wird.

Innerhalb der Analysen zeigte sich, dass die beteiligten Akteur:innen auf die Notwendigkeit von Wissen als Bedingung für den Umbau der Internetinfrastruktur durch Einführung des IPv6 referieren.

Zudem zeigte die Autorin bereits innerhalb ihrer Analysen, dass Weiterbildungen zum IPv6 praxisorientiert und zeitlich aktuell sein müssen, damit das vermittelte Wissen innerhalb einer Organisation zur Einführung des IPv6 in der Netzwerkinfrastruktur anwendbar ist. Zusätzlich legte sie dar, dass in Weiterbildungen Kompetenzen vermittelt werden sollten, die seitens technologischer Herausforderungen des IPv6 entstehen. Zu diesen gehören Kommunikations- und Problemlösekompetenzen (Kapitel 9.9.3.2.3.5.2).

Schliesslich zeigten sich Grenzen innerhalb der bisherigen Weiterbildungsmaßnahmen der untersuchten Akteur:innen. Diese betreffen die pädagogisch-didaktische Ausgestaltung von Weiterbildungen sowie deren Aufbereitung (ebd.).

Die Autorin sieht dadurch einen erhöhten Forschungsbedarf zur pädagogisch-didaktischen Ausgestaltung von Weiterbildungen zum IPv6, denn für die Aufrechterhaltung und Weiterentwicklung der Internets, als in nahezu allen gesellschaftlichen Bereichen zentraler Infrastruktur ist Wissen über das IPv6, gerade auch Anwendungswissen und praktische Erprobung, essenziell (ebd.).

Diese Dringlichkeit verschärft sich weiterführend dadurch, dass innerhalb der Analysen deutlich wurde, dass eine starke Begrenzung der Anzahl vorhandener Expert:innen innerhalb Deutschlands besteht (Kapitel 9.9.3.2.3.5.1).

Demnach sollten in weiterführenden Forschungen Überlegungen für Weiterbildungsformate forciert werden. Diese sollten auch die Besonderheiten der identifizierten Typen der Innovator:innen berücksichtigen, indem diese durch eine hohe Innovationsbereitschaft und, wie im Fall der Tekkies, durch Experimentierfreudigkeit gekennzeichnet sind und als «Early Adopter» eingestuft werden können (Kapitel 9.9.2.4.2.1).

Ein solcher Ansatz für zukünftige Forschungen könnte sein, die Einrichtung und Evaluation von IPv6-»Innovationlabs« als Weiterbildungsmaßnahme zu verfolgen, um diese zur Einrichtung einer geschützten Testumgebung des IPv6 weiter zu entwickeln (vgl. Schöpke u. a. 2018).

Dazu könnte in modifizierten Innovationlabs der gesamte Einführungsprozess des IPv6 simuliert und durch Phasen der Wissensvermittlung von technologischen Spezifika des IPv6 praktisch erprobt und erlernt werden.

Weiterführend wird anhand der Weiterbildung und des Titel der vorliegenden Arbeit der Fokus auf «Change»-Prozesse gerichtet. Diesem Ziel schliesst sich u. a. die Organisationspädagogik an, indem sie «organisationales Lernen» adressiert (vgl. Klimecki und Thomas 1997).

Insofern ergibt sich weiterführend aus den vorliegenden Forschungsergebnissen der Bedarf zu eruieren, wie Organisationen bei der Einführung des IPv6 durch Weiterentwicklung ihrer Subnetze unterstützt werden können.

Dazu bietet es sich an, an identifizierten förderlichen und hemmenden Bedingungen des Umbaus der Internetinfrastruktur anzusetzen und hieraus Bedarfe für das organisationale Lernen abzuleiten.

Literatur

- Abbate, Janet. 1999. *Inventing the Internet*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Alheit, Peter. 1999. «Grounded Theory: Ein alternativer methodologischer Rahmen für qualitative Forschungsprozesse», 1–19. http://www.global-systems-science.org/wp-content/uploads/2013/11/On_grounding_theory.pdf.
- ARD/ZDF-Onlinestudie, Wolfgang Koch, und Beate Frees. 2017. «Ergebnisse aus der Studienreihe »Medien und ihr Publikum« (MiP). ARD/ZDF-Onlinestudie 2017». *Media Perspektiven*, Nr. 9/2017, 434–46. http://www.ard-zdf-onlinestudie.de/files/2017/Artikel/917_Koch_Frees.pdf.
- ARD/ZDF-Onlinestudie, Natalie Von Beisch, und Wolfgang Koch. 2022. «Aktuelle Aspekte der Internetnutzung in Deutschland. ARD/ZDF-Onlinestudie: Vier von fünf Personen in Deutschland nutzen täglich das Internet». Herausgegeben von ARD/ZDF-Onlinestudie. *Media Perspektiven*, Nr. 10, 460–70. https://www.ard-zdf-onlinestudie.de/files/2022/2210_Beisch_Koch.pdf.
- ARPA. 1997. «DARPA Over The Years». 2022 1997. <https://www.darpa.mil/Timeline/index>.
- ARPA-DARPA. 2012. «DARPA: The Name Chronicles». 2012. https://www.darpa.mil/About/History/ARPA-DARPA_The_Name_Chronicles.aspx.
- Ausschuss für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung. 2011. «Deutscher Bundestag: Bericht des Ausschusses für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung (18. Ausschuss) gemäß § 56a der Geschäftsordnung. Drucksache 17/5672». Berlin. <http://dipbt.bundestag.de/dip21/btd/17/056/1705672.pdf>.
- Baran, Paul. 1964. ««On Distributed Communications: I. Introduction to Distributed Communications Networks» RAND Corp. Memo RM-3420-PR». https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/research_memoranda/2006/RM3420.pdf.
- Bateson, Gregory. 1978. *Steps to an Ecology of Mind*. New York: Ballantine Books.
- Belliger, Andréa, und David J. Krieger, Hrsg. 2006. *ANThology. Ein Einführendes Handbuch Zur Akteur-Netzwerk-Theorie*. Bielefeld: transcript Verlag. <https://oro.open.ac.uk/21473/>.
- BelWü. 2022. «BelWü. Koordination:Die Geschichte des BelWü». 2022. <https://www.belwue.de/ueberuns/geschichte.html>.
- Bijker, Wiebe E., Thomas Parke Hughes, und Trevor Pinch, Hrsg. 1987. *The Social construction of technological systems: new directions in the sociology and history of technology*. Cambridge, Mass: MIT Press.
- BMWi. 2012a. «BMWi: Das Internetprotokoll Version 6 (IPv6) – Chancen und Herausforderungen für den Wirtschaftsstandort Deutschland. Abschlussbericht». https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Technologie/internetprotokoll-version6-abschlussbericht.pdf?__blob=publicationFile&v=1.

- BMWi. 2012b. «BMWi: Das Internetprotokoll Version 6 (IPv6) – Chancen und Herausforderungen für den Wirtschaftsstandort Deutschland Thesen für die Diskussion auf dem Workshop des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie am 26. Januar 2012 in Berlin». https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Technologie/internetprotokoll-version6-thesen.pdf?__blob=publicationFile&v=3.
- Booth, Andrew, Anthea Sutton, und Diana Papaioannou. 2016. *Systematic Approaches to a Successful Literature Review*. Second edition. Los Angeles London New Delhi Singapore Washington DC Melbourne: SAGE.
- Bortz, Jürgen, und Nicola Döring. 1995. *Forschungsmethoden und Evaluation für Sozialwissenschaftler*. Springer-Lehrbuch. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-07301-8>.
- Bowker, Geoffrey C. 1994. *Science on the Run: Information Management and Industrial Geophysics at Schlumberger, 1920–1940*. Inside Technology. Cambridge, Mass. London: MIT Press.
- Braun, Ingo. 1993. *Technik-Spiralen: vergleichende Studien zur Technik im Alltag*. Berlin: Edition Sigma.
- Braun, Ingo, und Bernward Joerges, Hrsg. 1994. *Technik ohne Grenzen*. 1. Aufl. 1165. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Breitenbach, Andrea. 2021. «Digitale Lehre in Zeiten von Covid-19: Risiken und Chancen». Marburg. <https://doi.org/10.25656/01:21274>.
- BSI. 2012. «BSI: Leitfaden für eine sichere IPv6-Netzwerkarchitektur (ISi-L-IPv6) BSI-Leitlinie zur Internet-Sicherheit (ISi-L)». https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/Internetsicherheit/isi_lana_leitfaden_ipv6_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=1.
- BSI. 2013a. «BSI: BSI-CS 057, Empfehlung: IT im Unternehmen und IT-Dienstleister, Zur Konzeption von IPv6-Netzen». https://www.allianz-fuer-cybersicherheit.de/SharedDocs/Downloads/Webs/ACS/DE/BSI-CS/BSI-CS_057.pdf?__blob=publicationFile&v=1.
- BSI. 2013b. «BSI: BSI-CS 058, Empfehlung: IT im Unternehmen und IT-Dienstleister, Effekte von IPv6 auf reine IPv4 Netze». https://www.allianz-fuer-cybersicherheit.de/SharedDocs/Downloads/Webs/ACS/DE/BSI-CS/BSI-CS_058.pdf?__blob=publicationFile&v=1.
- BSI. 2018. «BSI-CS 073, Empfehlung: Internet-Dienstleister, IPv6 für Internet-Service-Provider Hinweise zur Einführung von IPv6 für ISPs». https://www.allianz-fuer-cybersicherheit.de/SharedDocs/Downloads/Webs/ACS/DE/BSI-CS/BSI-CS_073.pdf?__blob=publicationFile&v=1.
- Bundesministerium des Inneren, Hrsg. 2009. «Bundesministerium des Inneren: Nationale Strategie zum Schutz Kritischer Infrastrukturen (KRITIS-Strategie)». https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/themen/bevoelkerungsschutz/kritis.pdf;jsessionid=689D8CAAD0790F803652F75D89534E4C.2_cid364?__blob=publicationFile&v=4.

- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Hrsg. 2020. «Luftverkehrssicherheitsprogramm der Bundesrepublik Deutschland mit dem Ziel einer stetigen Verbesserung der Sicherheit im Luftverkehr». https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/LF/luftverkehrssicherheitsprogramm.pdf?__blob=publicationFile.
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Hrsg. 2022. «Digitalstrategie». https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/K/presse/063-digitalstrategie.pdf?__blob=publicationFile.
- Bundesverwaltungsamt, Jens Tiemann, Gabriele Goldacker, Joachim Kaeber, Carsten Schmoll, Tahar Schaa, und Constanze Bürger. 2013. «Migrationsleitfaden. IPv6-Profil für die Öffentliche Verwaltung. Projektphase II». Herausgegeben von Bundesverwaltungsamt. https://www.bdbos.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/LIR/ipv6_profile.pdf?__blob=publicationFile&v=2.
- Callon, Michel. 2006a. «Die Soziologie Eines Akteur-Netzwerkes: Der Fall Des Elektrofahrzeugs». In *ANTHology. Ein Einführendes Handbuch Zur Akteurs-Netzwerke-Theorie*, herausgegeben von Andréa Belliger und David J. Krieger, 175–94. Bielefeld: transcript. <https://oro.open.ac.uk/21473/>.
- Callon, Michel. 2006b. «Einige Elemente Einer Soziologie Der Übersetzung: Die Domestikation Der Kammuscheln Und Der Fischer Der St. Brieuc-Bucht». In *ANTHology. Ein Einführendes Handbuch Zur Akteurs-Netzwerke-Theorie*, herausgegeben von Andréa Belliger und David J. Krieger, 175–94. Bielefeld: transcript. <https://oro.open.ac.uk/21473/>.
- Callon, Michel, und Bruno Latour. 2006a. «Die Demontage Des Großen Leviathans: Wie Akteure Die Makrostruktur Der Realität Bestimmen Und Soziologen Ihnen Dabei Helfen». In *ANTHology. Ein Einführendes Handbuch Zur Akteurs-Netzwerke-Theorie*, herausgegeben von Andréa Belliger und David J. Krieger, 75–102. Bielefeld: transcript. <https://oro.open.ac.uk/21473/>.
- Callon, Michel, und Bruno Latour. 2006b. «Techno-Ökonomische Netzwerke Und Irreversibilität». In *ANTHology. Ein Einführendes Handbuch Zur Akteurs-Netzwerke-Theorie*, herausgegeben von Andréa Belliger und David J. Krieger, 309–42. Bielefeld: transcript. <https://oro.open.ac.uk/21473/>.
- Caron, François. 1988. «The evolution of the technical system of railways in France from 1832 to 1937». In *The Development of large Technical systems*, herausgegeben von Renate Mayntz und Thomas Parke Hughes, 69–103. Cambridge: University Press.
- CCC – Chaos Computer Club. 2019. «CCC: Informationen zum Chaos Computer Club». 2019. <https://www.ccc.de/de/>.
- Cerf, Vinton. 1978. «The Catenet Model for Internetworking, Information Processing Techniques Office, Defense Advanced Research Projects Agency». IEN 48. <https://www.rfc-editor.org/ien/ien48.txt>.
- Cerf, Vinton. 1980. «Final Report of the Stanford University TCP Project». IEN 151. Stanford University. <https://www.rfc-editor.org/ien/ien151.txt>.
- Clark, Colin. 1940. *The Conditions of Economic Progress*. London: Macmillan.

- Clauß, Ulrich. 2011. «World Ipv6 Day: Der Tag, an dem das Internet neu nummeriert wird». *DIE WELT*, 6. Juni 2011. <https://www.welt.de/wirtschaft/webwelt/article13415532/Der-Tag-an-dem-das-Internet-neu-nummeriert-wird.html>.
- Corbin, Juliet M., und Anselm L. Strauss. 1990. «Grounded Theory Research: Procedures, Canons, and Evaluative Criteria». Herausgegeben von H. Best, H. Kalthoff, K. Kurz, I. Kusche, A. Scheele, und I. Schulz-Schaeffer. *Zeitschrift Für Soziologie* Jg. 19 (Heft 6): 418–27.
- DAK-Gesundheit. 2022. «DAK-Gesundheit: Internetsucht: So schützen Sie Ihre Kinder». DAK Gesundheit Home. 2022. https://www.dak.de/dak/gesundheit/psychische-gesundheit/sucht/internetsucht-so-schuetzen-sie-ihre-kinder_11446.
- «DARPA: ARPA Is Born». 2018. DARPA. 2018. <https://www.darpa.mil/about-us/timeline/dod-establishes-arpa>.
- «DARPA: Timeline History». 2018. 2018. <https://www.darpa.mil/Timeline/index>.
- Degele, Nina. 2002. *Einführung in die Techniksoziologie*. UTB 2288. [Stuttgart] München: UTB W. Fink.
- Deleuze, Gilles, und Félix Guattari. 1977. *Rhizom*. Nachdr. Merve-Titel. Berlin: Merve.
- DENOG. 2019. «German Network Operators Group – Charta». DENOG e.V. 2019. <https://www.denog.de/de/charta.html>.
- Der Beauftragte der Bundesregierung für Sucht- und Drogenfragen. 2022. «Computerspiel- und Internetabhängigkeit». 2022. <https://www.bundesdrogenbeauftragter.de/themen/suchstoffe-und-suchtformen/computerspiel-und-internetabhaengigkeit/>.
- Deutsche Bahn AG. 2021. «Deutsche Bahn AG: Infrastrukturzustands- und -entwicklungsbericht 2020». Berlin. https://www.eba.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Finanzierung/IZB/IZB_2020.pdf;jsessionid=DDB71E968CED59CC5DF46E10A76FB605.live11311?__blob=publicationFile&v=2.
- Deutscher Städte- und Gemeindebund, Hrsg. 2018. «Stadt und Handel – Allianz für Innenstädte». <https://einzelhandel.de/component/attachments/download/10280>.
- Deutscher Städte- und Gemeindebund, Hrsg. 2022. «Bilanz 2022 + Ausblick 2023». <https://www.dstgb.de/publikationen/dokumentationen/bilanz-2022-ausblick-2023/bilanz-22-23-final-web.pdf?cid=tzv>.
- Dickson, Paul. 2001. *Sputnik: the shock of the century*. New York: Walker Pub.
- DINI. 2019. «DINI: Deutsche Initiative für Netzwerkinformation e. V. – Über uns». 2019. <https://dini.de/dini/ueber-uns/>.
- DoD. 2023. «Military Departments of Defends». U.S. Department of Defense. 2023. <https://www.defense.gov/Resources/Military-Departments/>.
- Edwards, Paul N. 2003. «Infrastructure and Modernity: Force, Time, and Social Organization in the History of Sociotechnical Systems». In *Modernity and Technology*, herausgegeben von Thomas J. Misa, Philip Brey, und Andrew Feenberg, 185–225. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/4729.003.0011>.

- Edwards, Paul N., Steven J. Jackson, Geoffrey C. Bowker, und Cory P. Knobel. 2007. «Understanding Infrastructure: Dynamics, Tensions, and Design. Report of a Workshop on «History & Theory of Infrastructure: Lessons for New Scientific Cyberinfrastructures»». In . <http://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/2027.42/49353/3/UnderstandingInfrastructure2007.pdf>.
- Galambos, Louis. 1988. «Looking für the Boundaries of Technological Determinism: A Brief History of the U.S. Telephone System». In *The Development of large Technical systems.*, herausgegeben von Renate Mayntz und Thomas Parke Hughes, 135–53. Cambridge: University Press.
- Gerhardts, Lara, Anna-Maria Kamin, Dorothee M. Meister, Lea Richter, und Jeannine Teichert. 2020. «Lernen auf Distanz – Einblicke in den familialen Alltag des Homeschoolings und Formen der Bewältigung». *Medienimpulse* 58 (2): 26 Seiten Seiten. <https://doi.org/10.21243/MI-02-20-30>.
- Glaser, Barney G. 1998. *Doing Grounded Theory: Issues and Discussions*. Mill Valley: Sociology Press.
- Glaser, Barney G., und Anselm L. Strauss. 1967. *The Discovery of Grounded Theory: Strategies for Qualitative Research*. Chicago: Aldine. http://www.sxf.uevora.pt/wp-content/uploads/2013/03/Glaser_1967.pdf.
- Google-Statistik. 2023. «Google-Statistik: IPv6 Statistik weltweit/ länderspezifisch, Zeiträume». 2023. <https://www.google.de/ipv6/statistics.html>.
- Gottmann, Jean. 1961. *Megalopolis or the Urbanization of the Northeastern Seaboard*. New York: The Twentieth Century Fund.
- Granovetter, Mark S. 1973. «The Strength of Weak Ties». *American Journal of Sociology* 78 (6): 1360–80. <https://doi.org/10.1086/225469>.
- Gutenberg, Erich. 1958. *Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre. Die Produktion*. Bd. 1. Berlin, Heidelberg: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-42461-2>.
- Hanseth, Ole. 2010. «From systems and tools to networks and infrastructures – From design to cultivation: Toward a design theory of information infrastructures». In *Industrial Informatics Design, Use and Innovation: Perspectives and Services*, herausgegeben von Jonny Holmström, Mikael Wiberg, und Andreas Lund, 122–56. IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-61520-692-6>.
- Hanseth, Ole, und Kristen Braa. 2001. «Hunting for the Treasure at the End of the Rainbow: Standardizing Corporate IT Infrastructure». In *New Information Technologies in Organizational Processes. Field Studies and Theoretical Reflections on the Future of Work*, herausgegeben von Ojelanki Ngwenyama, Lucas D. Introna, Michael D. Myers, und Janice I. DeGross, 20:121–40. Boston, MA: Springer US. http://link.springer.com/10.1007/978-0-387-35566-5_9.
- Hanseth, Ole, und Kalle Lyytinen. 2010. «Design Theory for Dynamic Complexity in Information Infrastructures: The Case of Building Internet». *Association for Information Technology Trust. Journal of Information Technology* 25 (1): 1–19. <https://doi.org/10.1057/jit.2009.19>.

- Hanseth, Ole, und Eric Monteiro. 1997. «Inscribing Behaviour in Information Infrastructure Standards». *Accounting, Management and Information Technologies* 7 (4): 183–211. [https://doi.org/10.1016/S0959-8022\(97\)00008-8](https://doi.org/10.1016/S0959-8022(97)00008-8).
- Hanseth, Ole, Eric Monteiro, und Morten Hatling. 1996. «Developing Information Infrastructure: The Tension Between Standardization and Flexibility». *Science, Technology, & Human Values* 21 (4): 407–26. <https://doi.org/10.1177/016224399602100402>.
- Hasso-Plattner-Institut. 2011. «Hasso-Plattner-Institut: World IPv6 Day». 2011. <https://hpi.de/ipv6council/events-medien/veranstaltungen/ipv6day.html>.
- Hasso-Plattner-Institut. 2022. «Willkommen beim Deutschen IPv6 Rat». 2022. <https://hpi.de/ipv6council/ueber-uns.html>.
- Hauben, Michael, und Ronda Hauben. 1997. *Netizens: on the history and impact of Usenet and the Internet*. Los Alamitos, Calif: IEEE Computer Society Press.
- Heart, F., A. McKenzie, J. McQuillan, und D. Walden. 1981. «A HISTORY OF THE ARPANET – The First Decade». 4799. <https://walden-family.com/bbn/arpamet-completion-report.pdf>.
- Heinze, G. Wolfgang, und Heinrich H. Kill. 1988. «The development of the German railroad». In *The Development of large Technical systems.*, herausgegeben von Renate Mayntz und Thomas Parke Hughes, 105–34. Cambridge: University Press.
- Heise, und Reiko Kaps. 2011. «Heise: World IPv6 Day». heise online. 25. Mai 2011. <https://www.heise.de/hintergrund/World-IPv6-Day-1250059.html>.
- Helfferrich, Cornelia. 2011. *Die Qualität qualitativer Daten. Manual für die Durchführung qualitativer Interviews*. 4. Auflage. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften. <https://doi.org/10.1007/978-3-531-92076-4>.
- Higgins, Julian, James Thomas, Jaqueline Chandler, Miranda Cumpston, Tianjing LI, Matthew Page, und Vivian Welch. 2022. *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions*. <https://training.cochrane.org/handbook/current>.
- Hoffmann, Nicole. 2018. *Dokumentenanalyse in der Bildungs- und Sozialforschung: Überblick und Einführung*. 1. Auflage. Grundlagentexte Methoden. Weinheim Basel: Beltz Juventa.
- Hughes, Thomas Parke. 1983. *Networks of Power: Electrification in Western Society, 1880–1930*. Baltimore, Md: Johns Hopkins university press.
- Hughes, Thomas Parke. 1987. «The Evolution of Large Technical Systems». In *The Social Construction of Technological Systems: New Directions in the Sociology and History of Technology*, herausgegeben von Wiebe E. Bijker, Thomas Parke Hughes, und Trevor Pinch, 1–82. Cambridge, Massachusetts: Macmillan.
- Hughes, Thomas Parke. 1989. *Rescuing Prometheus. Four Monumental Projects That Changed the Modern World*. 1. Vintage Books ed. New York, NY: Pantheon Books.
- Hughes, Thomas Parke. 1994. «Technological Momentum». In *Does technology drive history? the dilemma of technological determinism*, herausgegeben von Merritt Roe Smith und Leo Marx, 101–14. Cambridge, Mass: MIT Press.
- IAB. 2019. «IAB: IAB Dokumente Archiv». 2019. <https://www.iab.org/documents/correspondence-reports-documents/>.

- ICCC. 1972. «ICC: International Conference on Computer Communication. 72ICCC. Washington Hilton Hotel. IEEE Computer Society». In . <https://csdl-downloads.ieeeecomputer.org/mags/co/1972/04/01641562.pdf>.
- IETF. 2019a. «IETF: Mail-Archiv». 2019. <https://mailarchive.ietf.org/arch/advsearch/>.
- IETF. 2019b. «IETF: RFCs». 2019. <https://www.ietf.org/standards/rfcs/>.
- IETF. 2019c. «IETF: Website der IETF». 2019. <https://mailarchive.ietf.org/arch/advsearch/>.
- ISOC. 2019a. «ISOC: Special Interests Groups». Internet Society. 2019. <https://www.internetsociety.org/sigs/>.
- ISOC. 2019b. «ISOC: Website «About the Internet» and How It Works». Internet Society. 2019. <https://www.internetsociety.org/internet/>.
- ISO/IEC. 1994. «ISO/IEC 7498-1:1994 Information Technology – Open Systems Interconnection – Basis Reference Model: The Basic Model». ISO. 1994. [https://standards.iso.org/ittf/PubliclyAvailableStandards/s020269_ISO_IEC_7498-1_1994\(E\).zip](https://standards.iso.org/ittf/PubliclyAvailableStandards/s020269_ISO_IEC_7498-1_1994(E).zip).
- Jochimsen, Reimut. 1966. *Theorie der Infrastruktur. Grundlage der marktwirtschaftlichen Entwicklung*. Tübingen: Paul Siebeck. <https://orlis.difu.de/handle/difu/454976>.
- Jochimsen, Reimut, und Knut Gustafsson. 1970. «Grundlage der marktwirtschaftlichen Entwicklung». In *Infrastruktur. Theorie und Politik.*, herausgegeben von U.E. Simonis, 38–53. Köln: Kiepenheuer und Witsch.
- Joerges, Bernward. 1988. «Large technical Systems: Concepts and Issues». In *The Development of large Technical systems.*, herausgegeben von Renate Mayntz und Thomas Parke Hughes, 9–36. Cambridge: University Press.
- Joerges, Bernward. 1989. «Soziologie und Maschinerie – Ansätze zu einer «realistischen» Techniksoziologie». In *Technik als sozialer Prozeß*, herausgegeben von Peter Weingart, 44–89. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Joerges, Bernward. 1996. *Technik – Körper der Gesellschaft: Arbeiten zur Techniksoziologie*. 1. Aufl. [Suhrkamp-Taschenbuch / Wissenschaft] Suhrkamp-Taschenbuch Wissenschaft 1254. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Kahn, Robert E., Howard Frank, und Leonard Kleinrock. 1971. «Computer Communication Network Design: Experience with Theory and Practice». In *Proceedings of the November 16–18, 1971, Fall Joint Computer Conference on – AFIPS '71 (Fall)*, Vol. 40 Spring Joint:255–70. Atlanta City, New Jersey: AFIPS Press. <https://doi.org/10.1145/1478873.1478907>.
- Kelle, Udo. 2007. «„Emergence“ oder „Forcing“? Einige methodologische Überlegungen zu einem zentralen Problem der Grounded-Theory». In *Grounded Theory Reader*, herausgegeben von Günter Mey und Katja Mruck. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Kiss, Gabor, und Talcott Parsons. 1975. «Strukturfunktionalismus». In *Einführung in die soziologischen Theorien II*, vol.27:164–213. Studienbücher zur Sozialwissenschaft. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften. https://doi.org/10.1007/978-3-322-86537-3_4.
- Klein, Torsten. 2011. «Mangel an IP-Adressen: Das Internet ist voll». *Die Tageszeitung: taz*, 28. Januar 2011. <https://taz.de/!5127835/>.

- Klimecki, Rüdiger, und Markus Thomas. 1997. «Organisationales Lernen: eine Bestandsaufnahme der Forschung, Management Forschung und Praxis». <http://kops.uni-konstanz.de/handle/123456789/3989>.
- Knorr-Cetina, Karin. 1984. *Die Fabrikation von Erkenntnis: zur Anthropologie der Naturwissenschaft*. Rev. und erw. Fassung, 1. Aufl. Theorie. Suhrkamp.
- Kubicek, Herbert. 1994. «Steuerung in die Nichtsteuerbarkeit. Paradoxien in der Entwicklung der Telekommunikation in Deutschland». In *Technik ohne Grenzen*, herausgegeben von Ingo Braun und Bernward Joerges, 1. Aufl, 107–65. Suhrkamp-Taschenbuch Wissenschaft 1165. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- La Porte, Laura M., und Ralph H. Todd. 1988. «The United States air traffic control system: increasing reliability in the midst of rapid growth». In *The Development of large Technical systems*, herausgegeben von Renate Mayntz und Thomas Parke Hughes, 215–44. New York: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780429309991>.
- Lamnek, Siegfried, und Claudia Krell. 2010. *Qualitative Sozialforschung: Lehrbuch*. 5., Überarbeitete Auflage. Weinheim Basel: Beltz.
- Latein-Online-Wörterbuch Navigium. 2023. «Latein-Online-Wörterbuch Latein-Online-Wörterbuch. Stichwort: <docere>». 2023. <https://www.navigium.de/latein-woerterbuch/docere?wb=gross&nr=1>.
- Latour, Bruno. 1987. *Science in Action*. Cambridge (Mass.): Harvard University press.
- Latour, Bruno. 1995. *Wir sind nie modern gewesen: Versuch einer symmetrischen Anthropologie*. Berlin: Akademischer Verlag.
- Latour, Bruno. 2001. «Eine Soziologie ohne Objekt?: Anmerkungen zur Interobjektivität». *Berliner Journal für Soziologie* 11 (2): 237–52. <https://doi.org/10.1007/BF03204016>.
- Latour, Bruno. 2002. *Die Hoffnung der Pandora: Untersuchungen zur Wirklichkeit der Wissenschaft*. Übersetzt von Gustav Roßler. 7. Auflage. Suhrkamp-Taschenbuch Wissenschaft 1595. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Latour, Bruno. 2006a. «Die Vermischung von Menschen Und Nicht-Menschen: Die Soziologie Eines Türschließers. Genealogie». In *ANThology. Ein Einführendes Handbuch Zur Akteurs-Netzwerke-Theorie*, herausgegeben von Andréa Belliger und David J. Krieger, 237–58. Berlin: transcript. <https://oro.open.ac.uk/21473/>.
- Latour, Bruno. 2006b. «Gebt Mir Ein Laboratorium Und Ich Werde Die Welt Aus Den Engeln Heben». In *ANThology. Ein Einführendes Handbuch Zur Akteurs-Netzwerke-Theorie*, herausgegeben von Andréa Belliger und David J. Krieger, 103–34. Bielefeld: transcript. <https://oro.open.ac.uk/21473/>.
- Latour, Bruno. 2006c. «Sozialtheorie Und Die Erforschung Computerisierter Arbeitsumgebungen». In *ANThology. Ein Einführendes Handbuch Zur Akteurs-Netzwerke-Theorie*, herausgegeben von Andréa Belliger und David J. Krieger, 529–44. Bielefeld: transcript. <https://oro.open.ac.uk/21473/>.
- Latour, Bruno. 2006d. «Technik Ist Stabilisierte Gesellschaft». In *ANThology. Ein Einführendes Handbuch Zur Akteurs-Netzwerke-Theorie*, herausgegeben von Andréa Belliger und David J. Krieger, 370–97. Bielefeld: transcript. <https://oro.open.ac.uk/21473/>.

- Latour, Bruno. 2006e. «Über Den Rückruf Der ANT». In *ANThology. Ein Einführendes Handbuch Zur Akteurs-Netzwerke-Theorie*, herausgegeben von Andréa Belliger und David J. Krieger, 561–76. Bielefeld: transcript. <https://oro.open.ac.uk/21473/>.
- Latour, Bruno. 2010. *Eine neue Soziologie für eine neue Gesellschaft: Einführung in die Akteur-Netzwerk-Theorie*. Übersetzt von Gustav Roßler. Suhrkamp-Taschenbuch Wissenschaft 1967. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Law, John. 2006. «Notizen Zur Akteur-Netzwerk-Theorie: Ordnung, Strategie Und Heterogenität». In *ANThology. Ein Einführendes Handbuch Zur Akteurs-Netzwerke-Theorie*, herausgegeben von Andréa Belliger und David J. Krieger, 429–46. Berlin: transcript Verlag. <https://oro.open.ac.uk/21473/>.
- Law, John, und Michel Callon. 2006. «Leben Und Sterben Eines Flugzeugs: Ein Netzwerkanalyse Technischen Wandels». In *ANThology. Ein Einführendes Handbuch Zur Akteurs-Netzwerke-Theorie.*, herausgegeben von Andréa Belliger und David J. Krieger, 447–82. Berlin: transcript Verlag. <https://oro.open.ac.uk/21474/>.
- Liebold, Renate, und Rainer Trinczek. 2009. «Experteninterview». In *Handbuch Methoden der Organisationsforschung. Quantitative und Qualitative Methoden*, herausgegeben von Stefan Kühl, Petra Strodtholz, und Andreas Taffertshofer, 32–56. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften. https://doi.org/10.1007/978-3-531-91570-8_3.
- Mayntz, Renate. 1988. «Zur Entwicklung technischer Infrastruktursysteme». In *Differenzierung und Verselbständigung: Zur Entwicklung gesellschaftlicher Teilsysteme*, herausgegeben von Renate Mayntz, B. Rosewitz, U. Schimank, und R. Stichweh, 233–60. Frankfurt/Main; New York: Campus. <https://hdl.handle.net/21.11116/0000-0006-8318-B>.
- Mayntz, Renate. 1997. «Große technische Systeme und ihre gesellschaftstheoretische Bedeutung». In *Soziale Dynamik und politische Steuerung: Theoretische und methodologische Überlegungen*, herausgegeben von Renate Mayntz, 70–85. Schriften des Max-Planck-Instituts für Gesellschaftsforschung 29. Frankfurt, New York: Campus.
- Mayntz, Renate, und Thomas Parke Hughes. 1988. *The Development of Large Technical Systems*. New York: Routledge.
- Mayntz, Renate, und Volker Schneider. 1995. «Die Entwicklung technischer Infrastruktursysteme zwischen Steuerung und Selbstorganisation». In *Gesellschaftliche Selbstregulung und politische Steuerung*, herausgegeben von Renate Mayntz und F.W. Scharpf, 73–100. Campus Verlag. http://www.mpifg.de/pu/mpifg_book/mpifg_bd_23.pdf#page=73.
- Mey, Günter, und Katja Mruck, Hrsg. 2011. *Grounded Theory Reader*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften. <https://doi.org/10.1007/978-3-531-93318-4>.
- Mills, Charles. 1959. «The Sociological Imagination». *Oxford University Press*. https://www.academia.edu/28609942/_C_Wright_Mills_The_Sociological_Imagination_40_aniversario_.
- Mol, Annemarie, und John Law. 1994. «Regions, Networks and Fluids: Anaemia and Social Topology». *Social Studies of Science* 24 (4): 641–72. <https://doi.org/10.1177/030631279402400402>.

- Monstadt, Jochen. 2008. «Der räumliche Wandel der Stromversorgung und die Auswirkungen auf die Raum- und Infrastrukturplanung». In *Infrastrukturnetze und Raumentwicklung: zwischen Universalisierung und Differenzierung*, herausgegeben von Timothy Moss, Matthias Naumann, und Markus Wissen, 187–224. Ergebnisse sozial-ökologischer Forschung 10. München: Oekom.
- Moss, Timothy. 2011. «Raumrelevante Trends der Wasserver- und Abwasserentsorgung». In *Zukunftsfähiger Umgang mit Wasser im Raum*, herausgegeben von Christina von Haaren, Carolin Galler, und Kirsten Adamczak, 54–60. Forschungs- und Sitzungsberichte der ARL 234. Hannover: Akad. für Raumforschung und Landesplanung. https://www.arl-net.de/system/files/media-shop/pdf/fus/fus_234.pdf.
- Nordhausen, Thomas, und Julian Hirt. 2018. *RefHunter. Manual zur Literaturrecherche in Fachdatenbanken. Version 2.0*. Herausgegeben von Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg und FHS St. Gallen. <https://refhunter.eu/manual/>.
- ORACLE Deutschland B.V. & Co. KG. 2022. «Was versteht man unter Internet of Things (IoT)?» ORACLE. 2022. <https://www.oracle.com/de/internet-of-things/what-is-iot/>.
- Orlikowski, Wanda J., Geoff Walsham, Matthew R. Jones, Janice I. Degross, und Jones Degross, Hrsg. 1996. *Information Technology and Changes in Organizational Work: Proceedings of the IFIP WG8.2 Working Conference on Information Technology and Changes in Organizational Work, December 1995*. IFIP Advances in Information and Communication Technology. London: Chapman & Hall on behalf of the International Federation for Information Processing (IFIP). <https://doi.org/10.1007/978-0-387-34872-8>.
- Patig, Susanne. 2009. «IT-Infrastruktur». In *Enzyklopädie der Wirtschaftsinformatik Online-Lexikon*. München: Oldenbourg. <http://www.oldenbourg.de:8080/wi-enzyklopaedie/lexikon/daten-wissen/Informationsmanagement/IT-Infrastruktur/index.html>.
- Peirce, Charles Sanders. 1979. «The Collected Papers of Charles Sanders Peirce Reproducing Vols. I–VI». In *Cambridge, MA: Harvard University Press. Vols. VII–VIII Ed. Arthur W. Burks (Same Publisher, 1958)*, herausgegeben von Charles Hartshorne und Paul Weiss, 5. [printing], 1931–35. Collected Papers of Charles Sanders Peirce / Ed. by Charles Hartshorne ., Vol. 1/2. Cambridge, Mass.: Belknap Press of Harvard Univ. Press. <https://colorysemiotica.files.wordpress.com/2014/08/peirce-collectedpapers.pdf>.
- Przyborski, Aglaja, und Monika Wohlrab-Sahr. 2009. *Qualitative Sozialforschung: ein Arbeitsbuch*. 2., korr. Aufl. Lehr- und Handbücher der Soziologie. München: Oldenbourg.
- Rammert, Werner. 1993. *Technik aus soziologischer Perspektive. Forschungsstand – Theorieansätze – Fallbeispiele. Ein Überblick*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften. <https://doi.org/10.1007/978-3-322-99559-9>.
- Rammert, Werner und Deutsche Gesellschaft für Soziologie, Hrsg. 1998. *Technik und Sozialtheorie*. Theorie und Gesellschaft, Band 42. Frankfurt New York: Campus Verlag.
- Rammert, Werner, und Ingo Schulz-Schaeffer, Hrsg. 2002. *Können Maschinen handeln? Soziologische Beiträge zum Verhältnis von Mensch und Technik*. Frankfurt/Main: Campus-Verl.

- Reichertz, Jo. 2011. «Abduktion: Die Logik der Entdeckung der Grounded Theory». In *Grounded Theory Reader*, herausgegeben von Günter Mey und Katja Mruck, 207–79. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Relevo, Rose. 2012. «Chapter 4: Effective Search Strategies for Systematic Reviews of Medical Tests». *Journal of General Internal Medicine* 27 (S1): 28–32. <https://doi.org/10.1007/s11606-011-1873-8>.
- RFC 1, und Steve Crocker. 1969. «RFC 1: Host Software». 1969. <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc1.txt>.
- RFC 3, und Steve Crocker. 1969. «RFC 3: Documentation Conventions». 1969. <http://tools.ietf.org/html/rfc3>.
- RFC 95, und Steve Crocker. 1971. «RFC 95: Distribution of NWG/RFCs through the NIC». 1971. <http://tools.ietf.org/html/rfc3>.
- RFC 97, John T. Melvin, und Richard W. Watson. 1971. «RFC 97: A first cut at a proposed Telnet Protocol». 1971. <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc97>.
- RFC 114, und Abbay Bushan. 1971. «RFC 114: A File Transfer Protocol». 1971. <https://www.rfc-editor.org/rfc/pdf/rfc114.txt.pdf>.
- RFC 163, und Vinton Cerf. 1971. «RFC 163: Data Transfer Protocol». 1971. <https://www.rfc-editor.org/rfc/pdf/rfc163.txt.pdf>.
- RFC 171. 1971. «RFC 171: The Data Transfer Protocol». Request for Comments RFC 171. Internet Engineering Task Force. <https://doi.org/10.17487/RFC0171>.
- RFC 265. 1971. «RFC 265: The File Transfer Protocol». Request for Comments RFC 265. Internet Engineering Task Force. <https://doi.org/10.17487/RFC0265>.
- RFC 324. 1972. «RFC 324: RJE Protocol meeting». Request for Comments RFC 324. Internet Engineering Task Force. <https://doi.org/10.17487/RFC0324>.
- RFC 542. 1973. «RFC 542: File Transfer Protocol». Request for Comments RFC 542. Internet Engineering Task Force. <https://doi.org/10.17487/RFC0542>.
- RFC 675, Vinton Cerf, Yogen Dalal, und Carl Sunshine. 1974. «RFC 675: Specification of Internet Transmission Control Program». 1974. <https://www.ietf.org/rfc/rfc0675.txt>.
- RFC 761, und Jonathan Postel. 1980. «RFC 761: DoD Standard Transmission Control Protocol». 1980. <https://datatracker.ietf.org/doc/rfc761/>.
- RFC 791, und Jonathan Postel. 1981. «RFC 791: Internet Protocol». 1981. <https://www.ietf.org/rfc/rfc791.txt>.
- RFC 793, und Jonathan Postel. 1981. «RFC 793: Transmission Control Protocol». 1981. <https://www.ietf.org/rfc/rfc793.txt>.
- RFC 796, und Jonathan Postel. 1981. «RFC 796 Address Mappings». RFC 796. RFC Editor. <https://doi.org/10.17487/rfc0796>.
- RFC 959, Jonathan Postel, und Joyce K. Reynolds. 1985. «RFC 959: File Transfer Protocol». Request for Comments RFC 959. Internet Engineering Task Force. <https://doi.org/10.17487/RFC0959>.

- RFC 1122, Robert Braden, und Claudia Kale. 1989. «RFC 1122: Requirements for Internet Hosts – Communication Layers. Network Working Group». 1989. <https://www.ietf.org/rfc/rfc1122.txt>.
- RFC 1475, und Robert L. Ullmann. 1993. «RFC 1475. TP/IX: The Next Internet». 1993. <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc1475.txt>.
- RFC 1883, Stephen E. Deering, Robert Hinden, Steve Crocker, Vinton Cerf, Jake Feinler, und Celeste Anderson. 1995. «RFC 1883: Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification». 1995. <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc1883.txt>.
- RFC 1886, Susan Thomson, Christian Huitema, Steve Crocker, Vinton Cerf, Jake Feinler, und Celeste Anderson. 1995. «RFC 1886:DNS Extensions to support IP version 6». 1995. <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc1886.txt>.
- RFC 2460, Steve Deering, Bob Hinden, Steve Crocker, Vinton Cerf, Jake Feinler, und Celeste Anderson. 1998. «RFC 2460: Internet Protocol Version 6 (IPv6) Specification». 1998. <https://www.ietf.org/rfc/rfc2460.txt>.
- RFC 2555, Robert Braden, Joyce K. Reynolds, Steve Crocker, Vinton Cerf, Jake Feinler, und Celeste Anderson. 1999. «RFC 2555: 30 Years of RFC». 1999. <http://tools.ietf.org/html/rfc2555>.
- RFC 2893, Robert Gilligan, Erik Nordmark, Hesham Soliman, John Loughney, und Juha Wiljakkka. 2000. «RFC 2893: Transition Mechanisms for IPv6 Hosts and Routers». 2000. <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc2893.txt>.
- RFC 3449, Mahesh Sooriyabandara, Hari Balakrishnan, Venkata Padmanabhan, und Gorry Fairhurst. 2002. «RFC 3449: TCP Performance Implications of Network Path Asymmetry». 2002. <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc3449.txt>.
- RFC 4241, Shin Miyakawa, Ayako Takenouchi, Toshiyuki Yamasaki, und Yasuhiro Shirasaki. 2005. «RFC 4241: A Model of IPv6/IPv4 Dual Stack Internet Access Service». Request for Comments RFC 4241. Internet Engineering Task Force. <https://doi.org/10.17487/RFC4241>.
- RFC 5095, Jow Abley, Pekka Savola, und George Neville-Neil. 2007. «RFC 5095: Deprecation of Type 0 Routing Headers in IPv6». 2007. <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc5722.txt>.
- RFC 5211, und John Curran. 2008. «RFC 5211: An Internet Transition Plan». Request for Comments RFC 5211. Internet Engineering Task Force. <https://doi.org/10.17487/RFC5211>.
- RFC 5722, Suresh Krishnan, und Fred Baker. 2009. «RFC 5722: Handling of Overlapping IPv6 Fragments». 2009. <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc5722.txt>.
- RFC 5871, Jari Arkko, und Scott Bradner. 2010. «RFC 5871: IANA Allocation Guidelines for the IPv6 Routing Header». 2010. <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc5871.txt>.
- RFC 6180, Jari Arkko, und Fred Baker. 2011. «RFC 6180: Guidelines for Using IPv6 Transition Mechanisms during IPv6 Deployment». 2011. <https://www.rfc-editor.org/rfc/pdf/rfc6180.txt.pdf>.
- RFC 6437, Shane Amante, Brian Carpenter, Sheng Jiang, Jarno Rajahalme, James Hoagland, und Manav Bhatia. 2011. «RFC 6437: IPv6 Flow Label Specification». 2011. <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc6437.txt>.

- RFC 6564, Suresh Krishnan, James Woody, Erik Kline, James Hoagland, und Manav Bhatia. 2012. «RFC 6564: A Uniform Format for IPv6 Extension Headers». 2012. <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc6564.txt>.
- RFC 6935, Marshall Eubanks, Philip Chimento, und Magnus Westerlund. 2013. «RFC 6935: Pv6 and UDP Checksums for Tunneled Packets». 2013. <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc6935.txt>.
- RFC 6946, Fernando Gont, Jari Arkko, und Ronald Bonica. 2013. «RFC 6946: Processing of IPv6 «Atomic» Fragments». 2013. <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc6946.txt>.
- RFC 6949, Heather Flanagan, und Nevil Brownlee. 2013. «RFC Series Format Requirements and Future Development». Request for Comments RFC 6949. Internet Engineering Task Force. <https://doi.org/10.17487/RFC6949>.
- RFC 7045, Brian Carpenter, Sheng Jiang, und Ronald Bonica. 2013. «RFC 7045: Transmission and Processing of IPv6 Extension Headers». 2013. <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc7045.tx>.
- RFC 7112, Fernando Gont, Vishwas Manral, und Ronald Bonica. 2014. «RFC 7112: Implications of Oversized IPv6 Header Chains». 2014. <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc7112.txt>.
- RFC 7381, Kiran Chittimaneni, Tim Chown, Lee Howard, Victor Kuarsingh, Yanick Pouffary, und Eric Vyncke. 2014. «RFC 7381: Enterprise IPv6 Deployment Guidelines». 2014. <https://www.rfc-editor.org/rfc/pdf/rfc7381.txt.pdf>, letzter Zugriff: 19.01.23.
- RFC-Editor. 2019. «RFC-Editor: RFC Archiv». 2019. https://www.rfc-editor.org/search/rfc_search.php.
- RFC-Editor. 2023. «RFC 2460 und Verlaufsdocumentation der Spezifikationen». 2023. https://www.rfc-editor.org/search/rfc_search_detail.php?rfc=2460&pubstatus%5B%5D=Any&ub_date_type=any.
- RIPE. 2019a. «RIPE Annual Report Archiv». v6day.ripe. a 2019. https://www.ripe.net/publications/ripe-ncc-organisational-documents/reports?b_start:int=20.
- RIPE. 2019b. «RIPE: The RIPE NCC has run out of IPv4 Addresses». v6day.ripe. c 2019. <https://www.ripe.net/publications/news/about-ripe-ncc-and-ripe/the-ripe-ncc-has-run-out-of-ipv4-addresses>.
- RIPE. 2019c. «RIPE Working Group IPv6 Archiv». v6day.ripe. b 2019. <https://www.ripe.net/ripe/mail/archives/ipv6-wg/>.
- RIPE 63. 2011. «World IPv6 Day – What did we learn? Emile Aben». v6day.ripe. 2011. <https://ripe63.ripe.net/presentations/15-v6day-lessons-ripe63.pdf>.
- RIPE 77 Conference. 2018. «RIPE Konferenzreport». v6day.ripe. 2018. <https://ripe77.ripe.net/programme/report/>.
- RIPE Labs. 2011. «RIPE Labs: Measuring Worlds IPv6 Day – Comparing IPv4 and IPv6 Performance». v6day.ripe. 2011. <https://labs.ripe.net/author/emileaben/measuring-world-ipv6-day-comparing-ipv4-and-ipv6-performance/>.
- RIPE NCC. 2011. «RIPE NCC: World IPv6 Day Measurements». v6day.ripe. 2011. <https://v6day.ripe.net/>.

- Salsbury, Stephen. 1988. «The emergence of an early large-scale technical system: The American railroad network». In *The Development of large Technical systems.*, herausgegeben von Renate Mayntz und Thomas Parke Hughes, 37–68. Cambridge: University Press.
- Schäpke, Niko, Matthias Bergmann, Franziska Stelzer, Daniel J. Lang, und Guest Editors. 2018. «Labs in the Real World: Advancing Transdisciplinary Research and Sustainability Transformation: Mapping the Field and Emerging Lines of Inquiry». *Gaia – Ecological Perspectives for Science and Society* 27 (1): 8–11. <https://doi.org/10.14512/gaia.27.S1.4>.
- Schmidt, Holger. 2011. «FAZ: „IPv6-Tag“: Das Internet probt die Revolution». FAZ.NET. 8. Juni 2011. <https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/netzwirtschaft/ipv6-tag-das-internet-probt-die-revolution-1654362.html>.
- Schmidt, Jan-Hinrik. 2009. *Das neue Netz: Merkmale, Praktiken und Folgen des Web 2.0*. Kommunikationswissenschaft. Konstanz: UVK-Verlagsges.
- Schnabel, Patrick. 2014. «Elektronik-Fibel». In *Elektronik-Kompendium*, herausgegeben von Patrick Schnabel. 8. Edition. <https://www.elektronik-kompendium.de/sites/net/2011211.htm>.
- Schütze, Fritz. 1983. «Biographieforschung und narratives Interview». In *Neue Praxis*, herausgegeben von H. Thiersch und Hans-Uwe Otto, 283–93. 13(3). <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-53147>.
- Segaller, Stephen. 1998. *Nerds 2.0.1: A Brief History of the Internet*. New York: TV Books. <https://s3.us-west-1.amazonaws.com/p-library/books/01ea587e0c2f4ef8a1a011e64719db53.pdf>.
- Selfnet e.V. 2019. «Selfnet e.V. – Selfnet – Willkommen bei Selfnet». 2019. <https://www.selfnet.de/index.html>.
- Selting, Margret, Peter Auer, Birgit Barden, Jörg Bergmann, Elizabeth Couper-Kuhlen, Susanne Günthner, Uta Quasthoff, Christoph Meier, Peter Schlobinski, und Susanne Uhmann. 2009. «Gesprächsanalytisches Transkriptionssystem 2 (GAT II)». *Gesprächsforschung – Online-Zeitschrift zur verbalen Interaktion*, Nr. 10, 353–402.
- Star, Susan Leigh. 1999. «The Ethnography of Infrastructure». *American Behavioral Scientist* 43 (3): 377–91. <https://doi.org/10.1177/00027649921955326>.
- Star, Susan Leigh, und Karen Ruhleder. 1994. «Steps towards an ecology of infrastructure: complex problems in design and access for large-scale collaborative systems». In *Proceedings of the 1994 ACM conference on Computer supported cooperative work*, herausgegeben von Susan Leigh Star und Karen Ruhleder, 253–64. CSCW '94. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/192844.193021>.
- Star, Susan Leigh, und Karen Ruhleder. 1996. «Steps Toward an Ecology of Infrastructure: Design and Access for Large Information Spaces». Herausgegeben von A. Gupta. *Information Systems Research* 7 (1): 111–34. <https://doi.org/10.1287/isre.7.1.111>.
- Statista. 2021a. «Anzahl der Internetnutzer weltweit in den Jahren 2005 bis 2020 sowie eine Schätzung für 2021 bis 2022». Statista. 2021. : <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/805920/umfrage/anzahl-der-internetnutzer-weltweit/>.

- Statista. 2021b. «Schätzung zur Anzahl der Internetnutzer weltweit nach Regionen 2023». Statista. 2021. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/39490/umfrage/anzahl-der-internetnutzer-weltweit-nach-regionen/>.
- Statistisches Bundesamt Destatis. 2021. «Umsätze Online-Handel». Text. 2021. https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2021/11/PD21_N067_45.html.
- Statistisches Bundesamt Destatis. 2022. «Anzahl der Erwerbstätigen im Bereich Land- und Forstwirtschaft, Fischerei». Text. 2022. <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=previous&levelindex=1&step=1&titel=Ergebnis&levelid=1675184390589&accEptscookies=false#abreadcrumb>.
- Steinke, Ines. 2000a. «Gütekriterien qualitativer Forschung». Herausgegeben von Uwe Flick, Ernst von Kardorff, und Ines Steinke. *Qualitative Forschung. Ein Handbuch*. Rowohlt's Enzyklopädie. 3990. Reinbek: Rowohlt.
- Steinke, Ines. 2000b. «Qualitative Forschung. Ein Handbuch». Herausgegeben von Uwe Flick, Ernst von Kardorff, und Ines Steinke. Rowohlt's Enzyklopädie. 3990. Reinbek: Rowohlt.
- Stewart, Irvin. 1948. *Organization Scientific Research for War: The Administrative History of the Office of Scientific Research and Development*. Bostonm: Little Brown and Company. Online verfügbar unter: <https://ia800300.us.archive.org/33/items/organizingscient-00stew/organizingscient00stew.pdf>.
- Stohler, Jaques. 1965. «Zur rationalen Planung der Infrastruktur». Herausgegeben von Simonis, U. E. *Infrastruktur. Theorie und Politik. Konjunkturpolitik: Zeitschr. für angewandte Wirtschaftsforschung*, 279–308.
- Strauss, Anselm L. 1991. *Grundlagen qualitativer Sozialforschung. Datenanalyse und Theoriebildung in der empirischen soziologischen Forschung*. München: Wilhelm Fink.
- Strauss, Anselm L., und Juliet M. Corbin. 1990. *Basics of qualitative research: Grounded theory procedures and techniques*. Basics of qualitative research: Grounded theory procedures and techniques. Thousand Oaks, CA, US: Sage Publications, Inc.
- Strauss, Anselm L., und Juliet M. Corbin. 1996. *Grounded theory: Grundlagen qualitativer Sozialforschung*. Weinheim: Beltz.
- Strübing, Jörg. 2004. *Grounded theory: zur sozialtheoretischen und epistemologischen Fundierung des Verfahrens der empirisch begründeten Theoriebildung*. 2., Überarb. und erw. Aufl. Qualitative Sozialforschung 15. Wiesbaden: VS Verl. für Sozialwissenschaften. <https://doi.org/10.1007/978-3-531-91968-3>.
- TCP/IP Digest. 1981a. «TCP/IP Digest, Vol 1 #8». 1981. https://groups.google.com/g/fa.tcp-ip/c/igASYeMdOog/m/_LVGpQF6JiQJ.
- TCP/IP Digest. 1981b. «TCP/IP Digest: Vol. 1#1». *TCP/IP Digest 1 (1)*. https://groups.google.com/g/fa.tcp-ip/c/fJv8O8e1rok/m/91_PfWbOQAcJ.
- TCP/IP Digest. 1981c. «TCP/IP Digest: Vol. 1#6». *TCP/IP Digest 1 (6)*. https://groups.google.com/g/fa.tcp-ip/c/WNE_j4mAbAE/m/3nCB79uvNcUJ.
- TCP/IP Digest. 1981d. «TCP/IP Digest: Vol. 1#7». *TCP/IP Digest 1 (7)*. https://groups.google.com/g/fa.tcp-ip/c/HQ1fvTjcRZ4/m/v1_fy2UT2VMJ.

- TCP/IP Digest. 1982a. «TCP/IP Digest: Vol. 1#21». *TCP/IP Digest* 1 (21). <https://groups.google.com/g/fa.tcp-ip/c/pFciAtp6-X4/m/sTW-xKZCKT0J>.
- TCP/IP Digest. 1982b. «TCP/IP Digest: Vol. 2#1». *TCP/IP Digest* 2 (1). https://groups.google.com/g/fa.tcp-ip/c/OT29NZOy_ac/m/PxAtzerJPWUJ.
- Thomas, Frank. 1988. «The Politics of Growth: The German Telephone System». In *The Development Of Large Technical Systems*, herausgegeben von Renate Mayntz und Thomas Parke Hughes, 179–213. Frankfurt: Cambridge University Press.
- Tiefel, Sandra. 2005. «Kodierung nach der Grounded Theory lern- und bildungstheoretisch modifiziert: Kodierleitlinien für die Analyse biographischen Lernens». *Zeitschrift für qualitative Bildungs-, Beratungs- und Sozialforschung*, 2005, 6(1) Auflage. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-279183>.
- Universität Regensburg. 2022a. «Datenbank-Infosystem (DBIS). Gesamtbestand in DBIS. Fachübersicht». 2022. https://dbis.ur.de/fachliste.php?bib_id=alle&colors=3&ocolors=40&lett=l.
- Universität Regensburg. 2022b. «Datenbank-Infosystem (DBIS). Gesamtbestand in DBIS. Informationen zum Datenbank-Infosystem (DBIS)». 2022. https://dbis.ur.de/index.php?bib_id=alle&colors=3&ocolors=40&ref=about.
- Universität Regensburg. 2022c. «DBIS Projektseite». 2022. <https://dbis.ur.de/projekt/de/>.
- Weber, Max. 1980. *Wirtschaft und Soziales. Grundriss der verstehenden Soziologie*. Herausgegeben von Johannes Winckelmann. 5. Aufl. Tübingen: Mohr Siebeck.
- Weingart, Peter. 1988. «Großtechnische Systeme – ein Paradigma der Verknüpfung von Technikentwicklung und sozialem Wandel?». In *Technik als sozialer Prozeß*, 174–96. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Weisser, Alexander. 2020. «International Taxation of Cloud Computing – Permanent Establishment, Treaty Characterization, and Transfer Pricing». Lausanne: Editions juridiques libres. <https://papers.ssrn.com/abstract=3708122>.
- Weyer, Johannes. 1994. «Größendiskurse: Die strategische Inszenierung des Wachstums soziotechnischer Systeme». In *Technik ohne Grenzen*, herausgegeben von Ingo Braun und Bernward Joerges. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Weyer, Johannes. 1997. *Vernetzte Innovationen – innovative Netzwerke. Airbus, Personal Computer, Transrapid*. Herausgegeben von Werner Rammert und Gotthard Bechmann. Technik und Gesellschaft, Jahrbuch 9: Innovation – Prozesse, Produkte, Politik, Jahrbuch 9. Frankfurt am Main: Campus. <https://doi.org/10.17877/DE290R-16406>.
- Winner, Langdon. 1985. «Do artifacts have politics?». In *The Social Shaping of Technology*, herausgegeben von Donald MacKenzie und Judy Wajcman, 26–38. Open University Press. <https://doi.org/10.1080/08109028508629013>.
- Wolff, Stephan. 2009. «Dokumenten- und Aktenanalyse». In *Qualitative Forschung*, herausgegeben von Uwe Flick, Ernst von Kardorff, und Ines Steinke, 502–13. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt.

«WorldIPv6Launch 2011». 2011. *WorldIPv6Day 2011* (blog). 2011. <https://www.worldipv6launch.org/blog/page/18/>.

Ziemann, Frank. 2011. «PC Magazin Hacker-Angriffe auf IPv6-Test erwartet». *PC-Magazin*, 2011. <https://www.pc-magazin.de/news/hacker-angriffe-auf-ipv6-test-erwartet-1145750.html>.

«ZKI». 2019. Information und Vernetzung. Zentren für Kommunikation und Informationsverarbeitung. 2019. <https://www.zki.de/ueber-den-zki/>.

Danksagung

Ich danke Euch von tiefem Herzen und widme Euch, meinen Liebsten, Wegbegleiter:innen und Unterstützer:innen meine Arbeit.

Jede Zeit hat sein Licht und seinen Schatten,
wichtig ist es,
die leuchtenden Momente wahrzunehmen
und diese im Herzen zu tragen.

Vlotho, im Februar 2023
Melanie Wilde

Fachliche Abkürzungen

Abk.	Ausschreibung
ANT	Akteur:innen-Netzwerk Theorie
ARPA	Advanced Research Projects Agency, heute DARPA
BASE	Bielefeld Academic Search Engine
BBN	Unternehmen – Bolt, Beranek and Newman Inc.
BelWü	Landeshochschulnetz der wissenschaftlichen Einrichtungen des Landes Baden-Württemberg
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
BRL	United States Army Ballistic Research Laboratory
BSI	Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik
CCC	Chaos Computer Club e.V.
CIGALE	Computernetzwerk in Frankreich
CTNE	Post- und Telegraphenbehörde Spaniens
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency

Abk.	Ausschreibung
Datapac	Computernetzwerk der Trans-Canada Telephone Systems
DCN	Distributed Computing Network
DENOG	German Network Operators Group
DINI	Deutsche Initiative für Netzwerkinformationen e.V.
DoD	Department of Defense
EDN	Experimental Data Network
EIN	Europäisches Netzwerk der Schweiz, England und Frankreich und dessen Post- und Telegraphenbehörden
EPSS	Computernetzwerk des United Kingdom
FTP	File Transfer Protocol
GTM	Grounded Theory Methodologie
GTS	Ansatz großtechnischer Systeme
IAB	Internet Architecture Board
ICCC72	International Conference on Computer Communication
IETF	Internet Engineering Task Force
INWG	International Network Working Group
IPv4	Internet Protocol Version 4
IPv5 (TP/IX)	Internet Protocol Version 5 (TP/IX)
IPv6	Internet Protocol Version 6
ISOC	Internet Society
JIPNET	Computernetzwerk in Japan
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MSG	Message Protocol
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NBS	National Bureau of Standards
NPL	National Physical Laboratory (GB)
NWG	Network Working Group
OSRD	Office of Scientific Research and Development
RAND	Research and Development Corporation
RCP	Computernetzwerk in Frankreich
RFC	Request for Comments
RIPE	Réseaux IP Européens

Abk.	Ausschreibung
RJE	Remote Job Entry Protocol
Selfnet e.V.	Gemeinnütziger Studentenverein
SRI	Stanford Research Institute
TCP	Transmission Control Protocol
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
UCLA	University of California, Los Angeles
ZKI	Zentren für Kommunikation und Informationsverarbeitung e.V.

Abbildungen

Abb. 1: Der wechselseitige Einflussprozess von Datenerhebung, Kodierung und Memoschreiben (orientiert an Strauss und Corbin 1996, 39).	23
Abb. 2: Schlagwortsuche nach Publikationsformaten in BASE, Screenshot.	51
Abb. 3: Suchmaske von BASE.	55
Abb. 4: Scopus Suchmaske.	56
Abb. 5: BASE Suchergebnisse mit englisch- und deutschsprachigen Suchtreffern, Zeitraum 1960–2019.	58
Abb. 6: Scopus Suchergebnisse mit englisch- und deutschsprachigen Suchtreffern, Zeitraum 1986–2019.	59
Abb. 7: Publikationsselektion.	60
Abb. 8: Interviewdifferenzierung und -typisierung in Anlehnung an Lamnek (2010: 350).	118
Abb. 9: Interviewheader, eigene Grafik: Ausschnitt Interviewleitfadens.	123
Abb. 10: Erklärungen zum Interview, eigene Grafik: Ausschnitt des Interviewleitfadens.	124
Abb. 11: Einleitungsphase, eigene Grafik: Ausschnitt Interviewleitfaden.	126
Abb. 12: Erzähl- und Fragephase Block «Internetprotokoll- TCP/IP bis IPv6», eigene Grafik: Ausschnitt Interviewleitfaden.	127
Abb. 13: Erzähl- und Fragephase Block «Internetprotokoll», eigene Grafik: Ausschnitt Interviewleitfadens.	129
Abb. 14: Transkriptionsbeispiel, eigener Interviewausschnitt Textverarbeitungsprogramm.	151
Abb. 15: Ausschnitt der Ordnerstruktur in MAXQDA.	152
Abb. 16: Kodierparadigma für den Umbau der Internetinfrastruktur, eigene Darstellung.	155
Abb. 17: Dokumenten-Steckbrief Heart et al. (1981).	157
Abb. 18: Analysebeispiel der Datensequenz Heart et al. (1981: 72–72).	158
Abb. 19: Analysebeispiel Hauptkategorie.	159
Abb. 20: Ausschnitt der Theoriegenerierung, Frühgenese TCP/IP, eigene Darstellung.	161
Abb. 21: Iterativer Forschungsprozess mit Integration der ANT und GTM, eigene Darstellung.	165
Abb. 22: ARPANET, Dezember 1971 (vgl. Heart et al. 1981: III-146).	185
Abb. 23: Layering; «Layered Relationship of the ARPANET Protocols» (Heart et al. 1981: III-61).	187
Abb. 24: Vernetzung des ARPANETs in den USA, März 1972 (Heart et al.: 1981: III-83).	216
Abb. 25: Vernetzung des ARPANETs in den USA, August 1972 (Heart et al. 1981: III-84).	217

Abb. 26: Vernetzung des ARPANETs in den USA & internationale Ausweitung, September 1973 (Heart et al. 1981: III-85),	217
Abb. 27: Protocol Layer (RFC 793 1981: 2).	230
Abb. 28: TCP/IP Digest Eröffnungsbeitrag, Screenshot (TCP/IP Digest 1981: 13.10.1981).	236
Abb. 29: Aufbau der Darstellung TCP/IP Digest mailing list, Screenshot (TCP/IP Digest: Vol. 1 #8).	237
Abb. 30: Mike Muus, Screenshot (TCP/IP Digest 1981: Vol. 1 #1).	237
Abb. 31: IPv6 Einführung weltweit, 2008 bis Februar 2023 (Google Statistik 2023: IPv6 Statistik).	258
Abb. 32: «Options» im Extension Header (RFC 1883: 9).	259
Abb. 33: IPv6 Header Formal (RFC 1883 1995: 5).	260
Abb. 34: IPv6 Extension Header (RFC 1883 1995: 6).	260
Abb. 35: Google IPv6 Statistik vom 01.06.2010. Online verfügbar: https://www.google.de/ipv6/statistics.html , letzter Zugriff: 19.01.23.	296
Abb. 36: Google IPv6 Statistik vom 08.07.2011. Online verfügbar: https://www.google.de/ipv6/statistics.html , letzter Zugriff: 19.01.23.	296
Abb. 37: Google IPv6 Statistik vom 08.06.2011. Online verfügbar: https://www.google.de/ipv6/statistics.html , letzter Zugriff: 19.01.23.	297
Abb. 38: Sternförmige zentralisierte Netzwerkstruktur des ARPANETs, eigene Darstellung.	319
Abb. 39: Dezentrale Netzwerkinfrastruktur, eigene Darstellung.	319
Abb. 40: Verteilte Netzwerkstruktur, Internet, eigene Darstellung.	320
Abb. 41: Grounded Theory zum Umbau der Internetinfrastruktur.	325

Tabellen

Tab. 1: Gesamtanzahl der Fachdatenbanken auf DBIS (vgl. Universität Regensburg 2022b).	32
Tab. 2: Gesamtanzahl der fächerübergreifenden Datenbanken (vgl. Universität Regensburg 2022b).	33
Tab. 3: Meta-Suchmaschinen zum Einschlussfaktor (1) multidisziplinär.	37
Tab. 4: Meta-Suchmaschinen zum Einschlussfaktor (2) reichhaltig.	43
Tab. 5: Meta-Suchmaschinen zum Einschlussfaktor (3) global.	44
Tab. 6: Meta-Suchmaschinen zum Einschlussfaktor (4) vielfältig.	49
Tab. 7: Einschlussfaktoren in der Gesamtansicht.	53
Tab. 8: Gesamtübersicht der eingeschlossenen Publikationen.	64
Tab. 9: Vier Phasen des Interviews und ihre Funktion für den Forschungsgegenstand.	122
Tab. 10: Gesamtsampling der Dokumentenanalyse.	136
Tab. 11: Gesamtsampling der Interviewerhebungen.	146
Tab. 12: Gesamtsampling der Grounded Theory Studie.	149