

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	Strategien zum Umbau des ARPANETs	206
9.2.4.1	Umbau durch Nichtnutzung	206
9.2.4.2	Bedingung für Umbau im ARPANET	207
9.2.4.2.1	Commitment	207
9.2.4.2.2	Machbarkeit durch Technik	207
9.2.4.2.3	Schliessungsprozesse durch Quantifizierung	208
9.2.4.2.4	Kosten	208
9.3	Zur Rekonstruktion der Entwicklung und Einführung des Internetprotokolls	209
9.4	Die Rekonstruktion des Internetprotokolls: Zwischenentwicklungen host-to-host Protocol bis Transmission Control Protocol (TCP)	211
9.4.1	Die Entwicklung des TCPs	212
9.4.2	Die Demonstration und Verbreitung des TCPs	213
9.4.3	Ausbreitung und kommerzielle Nutzung des TCPs	215
9.5	Zwischenfazit: Das soziotechnische Netzwerk in der Phase der Entstehung und Frühgenese des Transmission Control Protocol (TCP)	218
9.5.1	Rahmenbedingung TCP	219
9.5.2	Soziotechnische Verflechtungen TCP	219
9.5.2.1	Technologische Neuerungen	219
9.5.2.1.1	Räumliche Ausbreitung und technische Ausweitung	220
9.5.2.1.1.1	Nationale technische Ausweitung	220
9.5.2.1.1.2	Globale technische Ausweitung	220
9.5.2.1.1.3	Zwischenentwicklungen	220
9.5.2.1.2	Technikdiffusion und technologische Vermarktung	221
9.5.2.1.3	Interoperabilität von Infrastrukturtechnologien	221
9.5.2.2	Soziale und organisationale Veränderungen durch das TCP	222
9.5.2.2.1	Nutzungseinschränkungen, -visionen und -möglichkeiten	222
9.5.2.2.1.1	Nutzungseinschränkungen und -visionen als Bedingung für Motivation	222
9.5.2.2.1.2	Nutzungsmöglichkeiten: Vermarktung und kommerzielle Nutzung	223
9.5.2.2.2	Organisationale Veränderung – Einrichtung der INWG	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 den 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 interonnected 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	Charakteristika im Umbauprozess des IPv4	254
9.7.4.2.1	Heterogene Interdependenzen sozialer und technologischer Akteur:innen mit zeitlich-räumlichen Elementen	254
9.7.4.2.2	Folgeentwicklungen IPv5/ IPv6	255
9.8	Die Rekonstruktion des Internetprotokolls: Internet Protocol Version 6 (IPv6)	255
9.8.1	Grundlegende Informationen zum Standardisierungsprozess des Internet Protocols Version 6 (IPv6) und dessen Verbreitung	256
9.8.2	Die Rekonstruktion des Entwicklungsverlauf des Internet Protocols Version 6 (IPv6)	258
9.8.3	Migrationsstrategien und Initiativen zur Verbreitung des IPv6	261
9.8.3.1	Migrationsstrategien	262
9.8.3.1.1	Der Anlass und die Gründe für die Einführung des IPv6	263
9.8.3.1.2	Prozesshaftigkeit der Einführung des IPv6	266
9.8.3.1.3	Weitere Migrationsstrategien zur Ausgestaltung der Einführung des IPv6	270
9.8.3.1.3.1	Forschung	271
9.8.3.1.3.2	Öffentliche Verwaltung	274
9.8.3.1.3.3	Interessenverbände/Vereine	279
9.8.3.1.3.4	Wirtschaft	287
9.8.4	Der World-IPv6-Day	294
9.9	Zwischenfazit – Phase der Einführung des IPv6	298
9.9.1	Rahmenbedingung und Ausgangssituation der Einführung des IPv6	298
9.9.2	Soziotechnische Verflechtungen des IPv6	299
9.9.2.1	Technologische Neuerungen	299
9.9.2.1.1	Räumliche Ausbreitung und technische Ausweitung	300
9.9.2.1.1.1	Aufhebung der Limitation des IPv4 durch den IPv6 Adressraum	300
9.9.2.1.1.2	Erweiterung der logischen Struktur der IP-Adressen	300
9.9.2.1.1.3	Übergangstechnologien als Workaround zur Sicherstellung der technologischen Anschlussfähigkeit	301
9.9.2.2	Soziale und organisationale Veränderungen beim IPv6	302
9.9.2.2.1	Forschungsbedarf zur Migration des IPv6	302
9.9.2.2.2	Ausweitung des soziotechnischen Netzwerks durch Nutzer:innen	303
9.9.2.2.3	Initiative zur Verbreitung und Testung des IPv6 – der World-IPv6-Day	303
9.9.2.3	Zeitliche, personelle und finanzielle Ressourcen	304
9.9.2.3.1	Zeitliche und personelle Ressourcen	304
9.9.2.3.2	Finanzielle Ressourcen	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