

Diensteintegrierende Kommunikationsnetze mit teilnehmerüberprüfbarem Datenschutz

Andreas Pfitzmann

Institut für Rechnerentwurf und Fehlertoleranz
Universität Karlsruhe
Postfach 6980, D 7500 Karlsruhe 1

CR Categories

- C.2 COMPUTER-COMMUNICATION NETWORKS;
GENERAL; Security and protection
NETWORK ARCHITECTURE AND DESIGN; Network topology
NETWORK PROTOCOLS; Protocol architecture
LOCAL NETWORKS; Access schemes, Rings
- D.4.6 SECURITY AND PROTECTION; Information flow controls
- E.3 DATA ENCRYPTION; Public key cryptosystems
- H.4.3 INFORMATION SYSTEMS APPLICATIONS;
COMMUNICATIONS APPLICATIONS; Electronic mail, Videotex
- K.4.1 COMPUTING MILLIEUX; COMPUTERS AND SOCIETY;
PUBLIC POLICY ISSUES; Privacy

Vorwort

Menschen und Maschinen kommunizieren immer mehr über öffentliche *Vermittlungsnetze*. *Sensitive Daten* (z. B. personenbezogene Daten, Geschäftsgeheimnisse) können dabei sowohl aus den eigentlichen *Nutzdaten* als auch aus den *Vermittlungsdaten*, z. B. Ziel- und Herkunftsadresse, Datenumfang und Zeit, gewonnen werden.

Deshalb wird in dieser Arbeit untersucht, wie sensitive Daten vor illegalen und legalen Netzbenutzern, dem Betreiber des Netzes und den Herstellern der Vermittlungszentralen sowie ihren Mitarbeitern geschützt werden können. Manche Vermittlungsdaten, z. B. die genauen Netzadressen der Teilnehmer, müssen auch vor Kommunikationspartnern, etwa Datenbanken, geschützt werden, damit sie nicht als Personenkennzeichen verwendbar werden.

Bei der heute üblichen und von der Deutschen Bundespost auch für die Zukunft, nämlich für das **diensteintegrierende** Digitalnetz (ISDN), geplanten Netzstruktur erlauben auch juristische Datenschutzvorschriften und Verschlüsselung allein keinen ausreichenden und mit vernünftigem Aufwand **überprüfbar**en Datenschutz. Die Nutzdaten können zwar durch Ende-zu-Ende-Verschlüsselung in Digitalnetzen effizient, überprüfbar und umfassend geschützt werden. Bei der im Teilnehmeranschlußbereich üblichen vollvermittelten Sternstruktur der Kommunikationsnetze erlauben diese Maßnahmen jedoch keinen überprüfbar Schutz der Vermittlungsdaten vor dem Betreiber des Netzes. Werden – wie vorgesehen – komplexe und zusätzlich frei speicherprogrammierbare Vermittlungszentralen verwendet, die für „Trojanische Pferde“ anfällig sind, können vor ihren Herstellern, deren Mitarbeitern und damit grundsätzlich auch fremden Geheimdiensten die Vermittlungsdaten ebenfalls nicht überprüfbar geschützt werden. Derart strukturierte öffentliche Vermittlungsnetze – insbesondere also das geplante ISDN – gewähren ihrem Benutzer nicht das im Volkszählungsurteil des Bundesverfassungsgerichts vom Dezember 1983 formulierte „Recht auf informationelle Selbstbestimmung ..., grundsätzlich selbst über die Preisgabe und Verwendung seiner persönlichen Daten zu bestimmen“. Zusammen mit dem faktischen Benutzungszwang, der durch immer stärkere Nutzung und das Fernmeldemonopol verursacht wird, wirft dies die Frage auf, ob die Beibehaltung dieser Netzstruktur verfassungsrechtlich zulässig ist.

Nach dieser Problemanalyse werden zunächst die zur Abhilfe geeigneten bekannten Grundverfahren – sie machen **Datenschutz** weitgehend sogar **teilnehmerüberprüfbar** – zusammen mit einigen Überlegungen zu ihrer effizienten Realisierung dargestellt. In reiner Form sind sie beim in den nächsten zwei Jahrzehnten zu erwartenden Stand der Technik nur als Spezialnetze für geringe Teilnehmerzahlen oder Leistungsanforderungen zu vertretbaren, aber bezogen auf die Kommunikationsleistung hohen Kosten realisierbar. Um die bezüglich Teilnehmerzahl, Zuverlässigkeit und Verkehrslast hohen Anforderungen eines diensteintegrierenden Kommunikationsnetzes zu erfüllen und damit teilnehmerüberprüfbaren Datenschutz auch in offenen Kommunikationsnetzen – durch die Diensteintegration sogar preiswert – zur Verfügung stellen zu können, werden die Grundverfahren durch Implementierung verschieden geschützter Verkehrsklassen, hierarchische Unterteilung des Kommunikationsnetzes sowie mit Datenschutz verträgliche Fehlertoleranztechniken praktikabel gemacht. Anschließend wird gezeigt, wie diese praktikablen Grundverfahren zur (ausgehend von den heutigen Kommunikationsnetzen) evolutionären Gestaltung eines Datenschutz garantierenden offenen, zunächst schmalbandigen, später breitbandigen diensteintegrierenden Digitalnetzes verwendet werden können. Überlegungen zur Netzbetreiberschaft und Verantwortung für die Dienstqualität sowie zur

datenschutzgerechten Abrechnung der Netznutzung schließen die Betrachtung dienstintegrierender Kommunikationsnetze im engeren Sinne ab.

Um einen Ausblick auf die Nutzung solcher Kommunikationsnetze zu geben, skizziere ich, wie die wichtigsten Transaktionsprotokolle, nämlich solche für *Zahlungen*, *Warentransfer* (d. h. digitale Ware gegen Geld) und *Dokumente* (z. B. Nachweis einer Qualifikation), und *statistische Erhebungen* so gestaltet werden können, daß teilnehmerüberprüfbarer Datenschutz und Rechtssicherheit gewährleistet werden. Um die Anwendbarkeit der Verfahren für teilnehmerüberprüfbaren Datenschutz in dienstintegrierenden Kommunikationsnetzen auf andere Problemstellungen zu demonstrieren, gebe ich einen Ausblick auf eine datenschutzgerechte Gestaltung von *öffentlichem mobilem Funk* (z. B. Autotelefon, Verkehrsleitsysteme) und *Fernwirken* (TEMEX) sowie auf eine Lösung des *Einschränkungsproblems* in verteilten Systemen, d. h. die Frage, wie ein Programm, das ein „Trojanisches Pferd“ enthält, daran gehindert werden kann, Information über verdeckte Kanäle weiterzugeben.

Danksagung

Diese von der Fakultät für Informatik der Universität Karlsruhe (Technische Hochschule) genehmigte Dissertation entstand am Institut für Rechnerentwurf und Fehlertoleranz (früher: Institut für Informatik IV). Sie wurde der Fakultät am 20. Mai 1988 vom Autor zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Naturwissenschaften vorgelegt. Die mündliche Prüfung fand am 1. Februar 1989 statt.

Prof. Dr.-Ing. *Winfried Görke* übernahm das Referat, Prof. Dr. *Otto Spaniol* (RWTH Aachen) nach intensiven und sehr anregenden Gesprächen, der Lektüre der bis dahin geschriebenen Arbeiten und einem in Aachen gehaltenen Kolloquiumsvortrag das Korreferat. Als dritter Gutachter wurde Prof. Dr.-Ing. *Paul J. Kühn* (Univ. Stuttgart) bestimmt. Für die viele investierte Zeit danke ich ihnen sehr.

Den Anstoß zu dieser Arbeit verdanke ich Dipl.-Ing. *Peter Mahnkopf*, der am 31. Januar 1983 im Informatik-Kolloquium der Karlsruher Fakultät voller Begeisterung über „Neue bildschirmorientierte Telekommunikationsformen – eine Darstellung der neuen Medien“ vortrug und auf meine Frage, ob er jemals über die durch das von ihm angepriesene BIGFON-Konzept (Vermittlung von allen Diensten, auch von Fernsehen) verursachten Datenschutz-Probleme und deren technische Lösung nachgedacht habe, klar antwortete: „Nein, und ich kenne auch niemand, der bisher darüber nachgedacht hat.“ Dies und die durch die damals bevorstehende Volkszählung verursachte, sehr lebhaft Diskussions über Datenschutz brachten mich dazu, mich nicht nur um Fehlertoleranz, sondern nebenbei auch etwas um Datenschutz zu kümmern. Darin bestärkt wurde ich dadurch, daß Dr. *Ruth Leuze* im Sommersemester 1983 in Karlsruhe eine vielbesuchte und eindrucksvolle Vorlesung über (juristischen) „Datenschutz“ hielt. Dankenswerterweise verschwieg sie nicht, wie wenig sie und ihre Mitarbeiter von technischem Datenschutz verstünden und wie dringend erforderlich originäre Lösungen in diesem Bereich seien.

Ich danke Prof. Dr.-Ing. *Winfried Görke* für die mir gewährte Freiheit, in seiner bisher ausschließlich mit Zuverlässigkeit elektronischer Geräte, Fehlerdiagnose und Fehlertoleranz beschäftigten Arbeitsgruppe mich zunächst „nebenbei“, und wie sich durch das lebhaft Echo nach und nach ergab, später „hauptsächlich“ mit Technischem Datenschutz zu beschäftigen. Es war sehr angenehm, mit ihm und meinen Kollegen, insbesondere Dr. *Klaus Echte*, über ein für uns alle neues Gebiet zu diskutieren und gemeinsam manches zu lernen.

Für meine Themenentscheidung fundierende Gespräche und menschliche Begleitung danke ich Dr. *Klaus Dittrich*, Dr. *Hermann Härtig* und Prof. Dr.-Ing. *Detlef Schmid*.

Zahlreiche Studenten haben durch fruchtbare Zusammenarbeit diese Arbeit gefördert: *Gabriele Bürle* durch Arbeiten über vergleichende Leistungsbewertung zwischen Ringnetzen mit verschiedenen Zugriffsverfahren und Sternnetzen, *Michael Waidner* durch eine grundlegende Arbeit über die Anonymitätserhaltung von Ringzugriffsverfahren sowie durch eine erste wichtige Systematisierung der Datenschutzmaßnahmen in Kommunikationsnetzen, *Gunter Höckel* durch eine mustergültige und weitgehend abschließende Arbeit über die Anonymitätserhaltung von Ringzugriffsverfahren, *Andreas Mann* durch Entwicklung und Bewertung von Datenschutz erhaltenden Fehlertoleranzmaßnahmen in Ringnetzen, *Holger Bürk* durch Programmieren der Formeln in Abschnitt 5.3.4, *Axel Burandt* durch Erfinden eines originellen Codes, *Eckhard Marchel* durch eine sehr sorgfältige Leistungsbewertung von überlagerndem Empfangen bei Mehrfachzugriffsverfahren mittels Kollisionsauflösung, *Arnold Niedermaier* durch die Bewertung von Zuverlässigkeit und Senderanonymität einer fehlertoleranten Kommunikationsstruktur für das DC-Netz, *Manfred Böttger* durch sorgfältige Untersuchungen zur Sicherheit von asymmetrischen Kryptosystemen und MIX-Implementierungen gegen aktive Angriffe und *Ralf Aßmann* durch die bei weitem effizienteste Implementierung von verallgemeinertem DES sowie das zuverlässige Realisieren, Integrieren und Pflegen von Programmen zur komfortableren Textbearbeitung und Literaturstellenverwaltung. *Manfred Böttger* und *Dirk Fox* lasen Teile dieser Arbeit; ihre Kritik führte zu zahlreichen Verbesserungen der Darstellung.

Ganz besonders anregend waren Artikel von sowie Begegnungen und Telefonate mit Dr. *David Chaum*, der mich seit 1985 über seine Arbeiten auf dem laufenden hält und an unseren kritischen Anteil nimmt.

Prof. *Herbert Kubicek* habe ich für über den Datenschutz hinausgehende Diskussionen über ISDN zu danken, *Michael Kühn* für beharrliches Fragen, was im Datenschutzkontext denn mit den Breitbandkabelverteilsnetzen anzufangen sei.

Ganz besonders danke ich meinen schärfsten, beharrlichsten, aber auch konstruktivsten Kritikern: Zuallererst meiner Frau *Birgit Pfitzmann*, dann dem Kollegen, mit dem ich die letzten Jahre am engsten zusammengearbeitet habe, Dipl.-Inform. *Michael Waidner*.

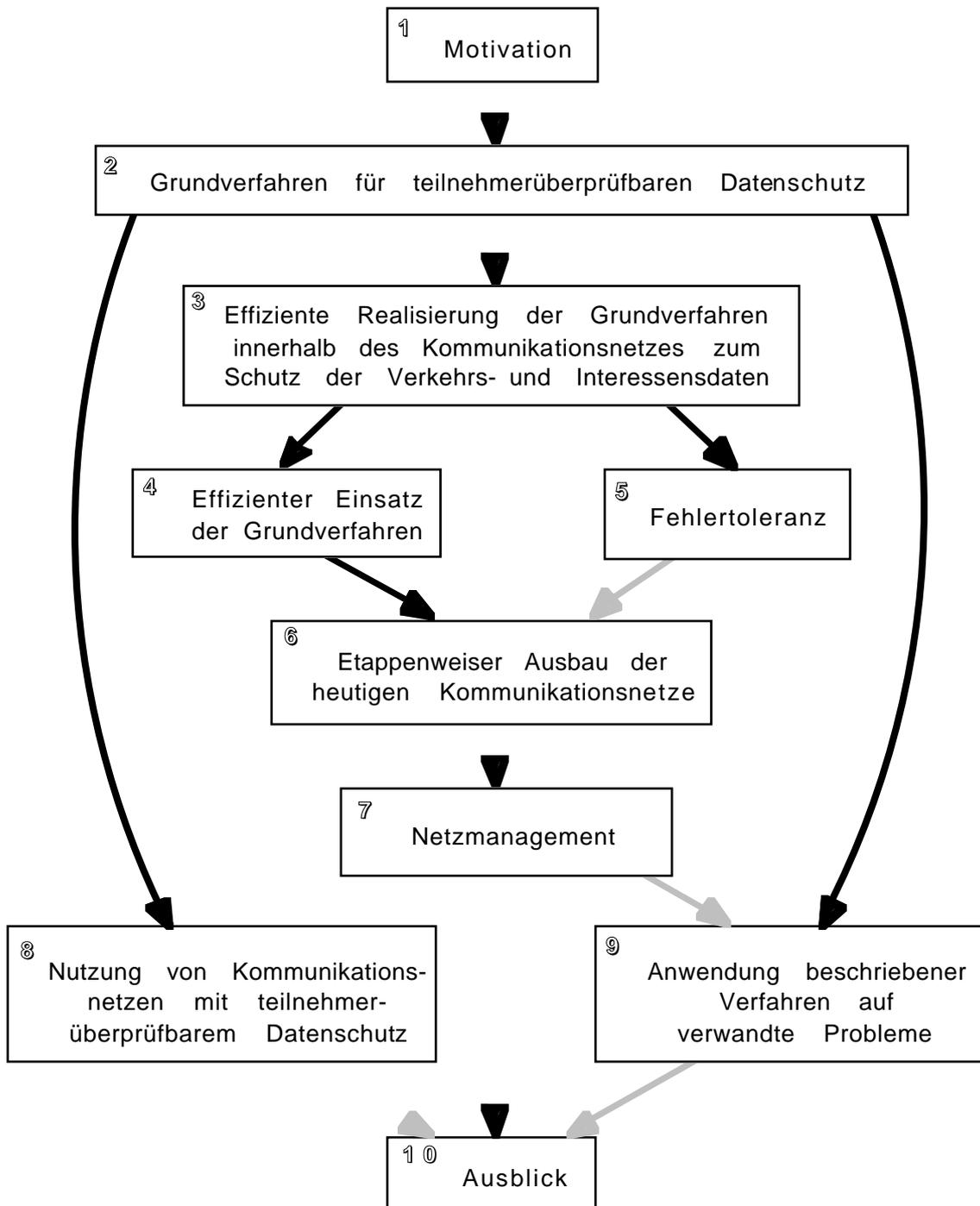
Hinweise für den Leser

Literaturangaben mit Jahreszahl 89 wurden kurz vor Drucklegung und nur mit kurzem Hinweis auf ihren Inhalt nachträglich eingefügt. Entsprechendes gilt für alle Referenzen in Kapitel 8, das nur einen skizzenhaften Ausblick auf die Nutzung von Kommunikationsnetzen mit teilnehmerüberprüfbarem Datenschutz gibt. Alle anderen Referenzen stehen nach Sachverhalten, die für das Verständnis dieser Arbeit ausreichend ausführlich dargestellt sind. Dies gilt insbesondere für Arbeiten, deren Autor oder Koautor ich bin.

Diese Arbeit verdeutlicht einige der im fachlich sehr weit gespannten Bereich „Kommunikationsnetze“ vorhandenen technischen Gefahren und weist Möglichkeiten zu ihrer Abwendung mit den Mitteln der „Telematik“ (Telekommunikation und Informatik) nach. Sie bedient sich der in der Informatik üblichen Betrachtungsebenen und beschränkt sich auf sie. Das Erarbeiten und Darstellen von Lösungen setzt voraus, daß die zu lösenden Probleme klar und prägnant formuliert werden. Damit dies nicht mißverstanden wird: Wenn ich hervorhebe, daß jemand etwas tun *kann*, will ich damit nicht unterstellen, daß er es getan *hat* oder tun *wird*.

VIII

Das folgende Diagramm stellt die inhaltliche Abhängigkeit der Kapitel dar. Ein schwarzer bzw. grauer Pfeil von Kapitel x zu Kapitel y bedeutet, daß das Verständnis von y das Verständnis von x voraussetzt bzw. durch es erleichtert wird.



Inhaltsverzeichnis

1	Motivation	1
1.1	Heutige und geplante Kommunikationsnetze	1
1.2	Welche Beobachtungsmöglichkeiten bieten diese Netze?	3
1.3	Notwendigkeit vorbeugenden Datenschutzes als Gegenmaßnahme	9
1.4	Diskussion möglicher Einwände	10
2	Grundverfahren für teilnehmerüberprüfbaren Datenschutz.....	14
2.1	Informatische Problemstellung und Lösungsansätze.....	14
2.1.1	Informatische Problemstellung.....	14
2.1.2	Diskussion von Lösungsansätzen	16
2.2	Hilfsmittel aus der Kryptographie	19
2.2.1	Kryptosysteme und ihre Schlüsselverteilung	19
2.2.1.1	Symmetrische Kryptosysteme	21
2.2.1.2	Asymmetrische Kryptosysteme.....	24
2.2.1.2.1	Asymmetrische Konzelationssysteme	26
2.2.1.2.2	Signaturssysteme	28
2.2.2	Eigenschaften von Kryptosystemen.....	30
2.2.2.1	Betriebsarten: Blockchiffre, Stromchiffre	30
2.2.2.2	Sicherheit: informationstheoretisch, komplexitätstheoretisch	41
2.2.2.3	Realisierungsaufwand bzw. Verschlüsselungsleistung	47
2.2.2.4	Registrierung geheimer oder Standardisierung und Normung öffentlicher Kryptosysteme?	50
2.3	Einsatz und Grenzen von Verschlüsselung in Kommunikationsnetzen	53
2.3.1	Einsatz von Verschlüsselung in Kommunikationsnetzen	53
2.3.1.1	Verbindungs-Verschlüsselung	53
2.3.1.2	Ende-zu-Ende-Verschlüsselung	54
2.3.2	Grenzen von Verschlüsselung in Kommunikationsnetzen.....	57
2.4	Grundverfahren außerhalb des Kommunikationsnetzes zum Schutz der Verkehrs- und Interessensdaten	59
2.4.1	Öffentliche Anschlüsse.....	59
2.4.2	Zeitlich entkoppelte Verarbeitung	60
2.4.3	Lokale Auswahl.....	61
2.5	Grundverfahren innerhalb des Kommunikationsnetzes zum Schutz der Verkehrs- und Interessensdaten	62
2.5.1	Schutz des Empfängers (Verteilung)	63
2.5.2	Schutz der Kommunikationsbeziehung (MIX-Netz)	67
2.5.2.1	Grundsätzliche Überlegungen über Möglichkeiten und Grenzen des Umcodierens	68
2.5.2.2	Senderanonymität	70
2.5.2.3	Empfängeranonymität.....	73
2.5.2.4	Gegenseitige Anonymität	76
2.5.2.5	Längentreue Umcodierung	77
2.5.2.6	Effizientes Vermeiden wiederholten Umcodierens	85
2.5.2.7	Kurze Vorausschau	86
2.5.2.8	Notwendige Eigenschaften des asymmetrischen Konzelations- systems und Brechen der direkten RSA-Implementierung	87
2.5.3	Schutz des Senders	90
2.5.3.1	Überlagerndes Senden (DC-Netz).....	92
2.5.3.1.1	Ein erster Überblick.....	92
2.5.3.1.2	Definition und Beweis der Senderanonymität	95

2.5.3.1.3	Überlagerndes Empfangen	98
2.5.3.1.4	Optimalität, Aufwand und Implementierungen	99
2.5.3.2	Unbeobachtbarkeit angrenzender Leitungen und Stationen sowie digitale Signalregenerierung	101
2.5.3.2.1	Ringförmige Verkabelung (RING-Netz)	102
2.5.3.2.2	Kollisionen verhinderndes Baumnetz (BAUM-Netz)....	107
2.6	Einordnung in ein Schichtenmodell	108
3	Effiziente Realisierung der Grundverfahren innerhalb des Kommunikationsnetzes zum Schutz der Verkehrs- und Interessensdaten.....	115
3.1	Anonymität erhaltende Schichten: effiziente implizite Adressierung und effizienter Mehrfachzugriff	116
3.1.1	Implizite Adressierung bei Verteilung nur in wenigen Kanälen	118
3.1.2	Mehrfachzugriff beim DC-Netz für Pakete, Nachrichten und Kanäle	119
3.1.2.1	Kriterien für die Erhaltung von Anonymität und Unverkettbarkeit ..	119
3.1.2.2	Klasseneinteilung von Anonymität und Unverkettbarkeit erhaltenden Mehrfachzugriffsverfahren.....	120
3.1.2.3	Beschreibung und ggf. Anpassung der in Klassen eingeteilten Mehrfachzugriffsverfahren	122
3.1.2.3.1	Direkte Übertragung, bei Kollision nochmaliges Senden nach zufälliger Zeitdauer (slotted ALOHA).....	123
3.1.2.3.2	Direkte Übertragung, bei Kollision Kollisionsauflösung (splitting algorithm)	123
3.1.2.3.3	Direkte Übertragung, bei Kollision nochmaliges Senden nach zufälliger, aber angekündigter Zeitdauer (ARRA)	136
3.1.2.3.4	Direkte Übertragung, bei Erfolg Reservierung (R-ALOHA).....	136
3.1.2.3.5	Reservierungsschema (Roberts' scheme)	137
3.1.2.3.6	Verfahren für einen Kanal mit kurzer Verzögerungszeit	138
3.1.2.4	Eignung für das Senden von Paketen, Nachrichten und kontinuierlichen Informationsströmen (Kanäle)	140
3.1.2.5	Einsatz von paarweisem überlagernden Empfangen	140
3.1.2.6	(Anonyme) Konferenzschaltungen	141
3.1.2.7	Resümee	142
3.1.3	Mehrfachzugriff beim BAUM-Netz auch für Kanäle	142
3.1.4	Mehrfachzugriff beim RING-Netz	142
3.1.4.1	Angreifermodelle, grundlegende Begriffe und Beweismethoden....	143
3.1.4.2	Ein effizientes 2-anonymes Ringzugriffsverfahren.....	147
3.1.4.3	Effiziente Kanalvermittlung und Konferenzschaltung	148
3.1.4.4	Unkoordinierter Zugriff während des ersten und koordinierter Nichtzugriff während des zweiten Umlaufs	150
3.1.4.5	Klassifikation und Anonymitätseigenschaften der Ringzugriffsverfahren	154
3.2	Anonymität schaffende Schichten	156
3.2.1	Kanäle bei Verteilung	156
3.2.2	MIX-Netz.....	157
3.2.2.1	Schalten von Kanälen beim MIX-Netz	157
3.2.2.2	Längenwachstum der bisherigen Umcodierungsschemata	161
3.2.2.3	Minimal längenexpandierendes längentreues Umcodierungsschema	163
3.2.2.4	Anzahl der pro Kommunikationsbeziehung benutzbaren MIXe und ihr möglicher Anteil an der Gesamtheit aller Stationen	164
3.2.3	DC-Netz	173

3.2.4	RING-Netz	178
3.2.5	BAUM-Netz	181
3.3	Ohne Rücksicht auf Anonymität realisierbare Schichten	183
3.3.1	Verteilung	183
3.3.2	MIX-Netz	183
3.3.3	Übertragungstopologie und Multiplexbildung beim DC-Netz	184
4	Effizienter Einsatz der Grundverfahren	187
4.1	Vergleich der bzw. Probleme mit den Grundverfahren	187
4.2	Heterogene Kommunikationsnetze: verschieden geschützte Verkehrsklassen in einem Netz	189
4.2.1	Asymmetrische Kommunikationsnetze für Massenkommunikation	190
4.2.2	Aufwandsreduktion bei nicht sensitivem Verkehr im MIX-, DC-, RING- und BAUM-Netz	191
4.2.3	Verschieden sichere Realisierung der Grundverfahren innerhalb des Kommunikationsnetzes zum Schutz der Verkehrs- und Interessensdaten	193
4.2.3.1	Fest vorgegebene MIX-Kaskaden beim MIX-Netz	193
4.2.3.2	Verschieden sichere Schlüsselerzeugung beim DC-Netz	194
4.2.4	Kombination von Grundverfahren für besonders sensitiven Verkehr	194
4.2.4.1	MIX-Netz und Verteilung	194
4.2.4.2	Überlagerndes Senden auf RING- und BAUM-Netz	195
4.3	Hierarchische Kommunikationsnetze	195
4.3.1	Statisch feste Hierarchiegrenze	196
4.3.1.1	Eine Anonymitätsklasse bezüglich Hierarchiegrenze	196
4.3.1.1.1	Vermittlungs-/Verteilnetz	197
4.3.1.1.2	Verteil-/Verteilnetz	200
4.3.1.2	Mehrere Anonymitätsklassen bezüglich Hierarchiegrenze	202
4.3.2	Dynamisch an Verkehrslast adaptierbare Hierarchiegrenze	202
4.3.2.1	Eine Anonymitätsklasse bezüglich Hierarchiegrenze	203
4.3.2.1.1	Dynamisch partitionierbares DC-Netz	204
4.3.2.1.2	Dynamisch adaptierbares Vermittlungs-/DC-Netz	206
4.3.2.1.3	Dynamisch adaptierbares DC-/DC-Netz	208
4.3.2.2	Mehrere Anonymitätsklassen bezüglich Hierarchiegrenze	209
5	Fehlertoleranz	210
5.1	Verschlüsselung	217
5.2	Verteilung	218
5.3	MIX-Netz	219
5.3.1	Verschiedene MIX-Folgen	220
5.3.2	Ersetzen von MIXen	222
5.3.2.1	Das Koordinations-Problem	223
5.3.2.2	MIXe mit Reserve-MIXen	225
5.3.2.3	Auslassen von MIXen	227
5.3.2.3.1	Nachrichten- und Adreßformate	227
5.3.2.3.2	Datenschutz-Kriterien	233
5.3.2.3.3	Auslassen von möglichst wenig MIXen	234
5.3.2.3.4	Auslassen von möglichst vielen MIXen	238
5.3.2.4	Verschlüsselung zwischen MIXen zur Verringerung der nötigen Koordinierung	240
5.3.3	Besonderheiten beim Schalten von Kanälen	243
5.3.4	Quantitative Bewertung	244
5.4	DC-Netz	254
5.5	RING-Netz	259

5.6	BAUM-Netz	264
5.7	Hierarchische Netze	266
5.8	Tolerierung aktiver Angriffe	267
5.9	Konzepte zur Realisierung von Fehlertoleranz und Anonymität	271
6	Etappenweiser Ausbau der heutigen Kommunikationsnetze.....	272
6.1	Digitalisierung des Teilnehmeranschlusses und Ende-zu-Ende-Verschlüsselung ...	273
6.2	Schmalbandiges diensteintegrierendes Digitalnetz mit MIX-Kaskaden	274
6.3	Schmalbandiges diensteintegrierendes Digitalnetz mit Verteilung auf Koaxialkabelbaumnetzen	277
6.4	Schmalbandiges diensteintegrierendes Digitalnetz durch anonymes Senden und Verteilung auf Koaxialkabelbaumnetzen.....	278
6.5	Ausbau zu einem breitbandigen diensteintegrierenden Digitalnetz.....	279
6.6	Teilnehmerüberprüfbarer Datenschutz bei Kommunikation zwischen Teilnehmern in verschieden weit ausgebauten Kommunikationsnetzen	281
7	Netzmanagement.....	283
7.1	Netzbetreiberschaft: Verantwortung für die Dienstqualität vs. Bedrohung durch Trojanische Pferde	283
7.1.1	Ende-zu-Ende-Verschlüsselung und Verteilung	285
7.1.2	MIX-Netz.....	285
7.1.3	DC-Netz.....	286
7.1.4	RING- und BAUM-Netz	286
7.1.5	Kombinationen sowie heterogene Netze	287
7.1.6	Verbundene, insbesondere hierarchische Netze.....	287
7.2	Abrechnung	288
8	Nutzung von Kommunikationsnetzen mit teilnehmerüberprüfbarem Datenschutz	290
8.1	Digitale Zahlungssysteme	291
8.2	Warentransfer	292
8.3	Dokumente	293
8.4	Statistische Erhebungen	294
9	Anwendung beschriebener Verfahren auf verwandte Probleme	295
9.1	Öffentlicher mobiler Funk.....	295
9.2	Fernwirken (TEMEX)	297
9.3	Einschränkungsproblem (confinement problem)	297
9.4	Hocheffizienter Mehrfachzugriff	298
10	Ausblick.....	299
	Anhang: Modifikationen von DES.....	301
	Literatur.....	304
	Bilderverzeichnis.....	325
	Stichwortverzeichnis (inkl. Abkürzungen).....	328

