

Dr. Michael Scharp

IZT – Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung

Materialbestand und Materialflüsse der IuK-Infrastrukturen: Mobilfunk

Meilensteinbericht des Arbeitspakets 2.3 des Projekts
„Materialeffizienz und Ressourcenschonung“ (MaRes)



Wuppertal, Juli 2011

ISSN 1867-0237

Kontakt zu den Autor(inn)en:

Dr. Michael Scharp

IZT – Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung
14129 Berlin, Schopenhauerstraße 26

Tel.: +49 (0) 30 803088 -14, Fax: -88
Mail: m.scharp@izt.de



Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung
Institute for Future Studies and Technology Assessment

**„Materialeffizienz und Ressourcenschonung“
(MaRes) – Projekt im Auftrag des BMU | UBA**

Projektlaufzeit: 07/2007 – 12/2010

Projektleitung:

Dr. Kora Kristof / Prof. Dr. Peter Hennicke

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH
42103 Wuppertal, Döppersberg 19

Tel.: +49 (0) 202 2492 -183 / -136, Fax: -198 / -145
Mail: kora.kristof@wupperinst.org
peter.hennicke@wupperinst.org

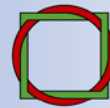
© Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH

Weitere Informationen zum Projekt

„Materialeffizienz und Ressourcenschonung“ (MaRes)
finden Sie unter **www.ressourcen.wupperinst.org**

Gefördert wird das Vorhaben im Rahmen des UFOPLAN
durch das BMU und das UBA, Förderkennzeichen: 3707 93 300

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung
liegt bei den Autor(inn)en.



Wuppertal Institut
für Klima, Umwelt, Energie
GmbH

**Wuppertal Institut
in Kooperation mit**

BASF
Borderstep
CSCP
Daimler
demea – VDI / VDE-IT
ECN
EFA NRW
FhG IAO
FhG UMSICHT
FU Berlin
GoYa!
GWS
Hochschule Pforzheim
IFEU
Institut für Verbraucherjournalismus
IÖW
IZT
MediaCompany
Ökopol
RWTH Aachen
SRH Hochschule Calw
Stiftung Warentest
ThyssenKrupp
Trifolium
TU Berlin
TU Darmstadt
TU Dresden
Universität Kassel
Universität Lüneburg
ZEW



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit

**Umwelt
Bundes
Amt** 
Für Mensch und Umwelt

Inhalt

0	Kurzfassung	7
0.1	Architektur des Mobilfunksystems	7
0.2	Abschätzung der gebundenen Massen	8
0.3	Ressourcenbilanz für ausgewählte Bauteilgruppen und Stoffe	10
0.4	Ressourcenflüsse durch das Mobilfunksystem	10
0.5	Zusammenfassung	12
1	Anwendungen von IuK-Systemen	14
1.1	Vom Kupfer zum Funk und zur Glasfaser	15
1.2	Satellitensysteme	16
1.3	Festnetz	18
1.4	Internet	19
1.5	Wireless Local Area Network WLAN	20
1.6	Öffentlicher Mobilfunk	20
1.7	Spezieller Mobilfunk	21
1.8	Hörfunk	22
1.9	Fernsehen	22
1.10	Parallelität der Infrastrukturen	23
2	Architektur des Mobilfunksystems	24
2.1	Primäre Bestandteile der Mobilfunk-Systemteile	27
2.1.1	Basisstationen (BTS/RNS)	28
2.1.2	Basisstationen Controller (BSC/RNC)	38
2.1.3	Mobile Switching Center (MSC)	40
2.1.4	Operation and Maintenance Center (OMC/NMS)	43
2.1.5	Administration	43
2.2	Weitere Mobilfunknetze	43
2.3	Sekundäre Infrastruktur des Mobilfunks	45
3	Abschätzung der Ressourcenintensität des Mobilfunknetzes	46
3.1	Systemgrenzen	46
3.2	Annahmen für die vier Ebenen des Mobilfunksystems	46
3.2.1	Base Station Subsystem	46
3.2.2	Radio Subsystem	52
3.2.3	Network Switching System	54
3.2.4	Operation and Maintenance Subsystem	55
3.3	Abschätzung der gebundenen Massen	56
3.4	Ressourcenbilanz für ausgewählte Bauteilgruppen und Stoffe	60
3.5	Ergebnisübersicht zur Ressourcenbilanz	65
4	Abschätzung der Ressourcenflüsse im Mobilfunksystem	66
4.1	Einleitung und systemische Problemlagen	66
4.2	Lebens- und Nutzungsdauer von Bestandteilen des BSS und RSS	67
4.3	Lebens- und Nutzungsdauer von Bestandteilen des NSS	70
4.4	Ressourcenflüsse in einem Steady-State-Szenario	71
4.5	Ressourcenflüsse in einem Ausbau-Szenario für UMTS (UMTS 20XX)	74
4.6	Zusammenfassung der Ergebnisse	77
5	Literatur	79

Glossar

	BSS Base Subsystem	BSS	NSS	Sonstiges	Kommentar
AUC	AuC Authentication Center		X		Datenbank für die Gesprächsverschlüsselung
BG	Billing Gateway			X	Center für Kundendienste (Abrechnung)
BOS	Behörde für Organisation und Sicherheitsaufgaben			X	Name des neuen Behördenfunks
BSC	Base Station Controller		X		Steuerung der GSM-Basisstationen
BSS	Base Subsystem	X			Funkzelle mit Basisstation
BTS	Base Transceiver Station	X			Basisstation im GSM-Netz
EDGE	Enhanced Data Rates for Global Evolution			X	Übertragungsstandard, Übergang von GSM zu UMTS
EIR	Equipment Identity Register		X		Datenbank für die Benutzeridentifikation
GGSN	Gateway GPRS Support Nodes		X		Schnittstelle zu den Datendiensten anderer Netze (Internet)
GMSC	Gateway Mobile Switching Center		X		Vermittlungseinheit in dem MSC als Schnittstelle im eigenen und zu anderen Netzen
GPS	Global Positioning System			X	Ortungssystem auf Basis von Satellitennavigation
GSM	Global System for Mobile Communication			X	Mobilfunkstandard
GSM-R	Global System for Mobile Communications - Rail(way)			X	Mobilfunknetz für die Eisenbahnen
HLR	Home Location Register		X		Datenbank für Benutzerdaten
HSCSD	High Speed Circuit Switched Data			X	Datenübertragung im GSM-Netz mit größerer Bandbreite
LCA	Life-Cycle-Analysis			X	Lebenszyklusanalyse, dient zur Abschätzung der Umweltwirkungen der Untersuchungsgegenstände
MS	Mobile Station (Handy)			X	Mobilgerät
MSC	Mobile Switching Center		X		Vermittlungszentrale im GSM/UMTS-Netz
MSCS	Mobile Switching Center Server		X		MSC im UMTS-Netz
NMC	Network Management Center		X		Steuerungszentrale des Mobilfunknetzes, Teil des OMC
NOC	Network Operation Center		X		Anderer Begriff für NMC
Node B	Identisch zu RNS	X			Basisstation im UMTS-Netz
NSS	Network Switching Subsystem		X		Teilsystembezeichnung im Mobilfunknetz
OMC	Operation and Maintenance Center		X		Ebene des Mobilfunknetzes mit der Steuerung des Netzes
OMC-B	Operation and Maintenance Center – Base Station		X		Steuerung der Basisstationen durch das OMC
OMC-S	Operation and Maintenance Center – Switching Stations		X		Steuerung der Controller-Stationen durch das OMC
Racks	Bauelemente			X	Schränke für die Netztechnik
RNC	Radio Network Controller		X		Steuerung der UMTS-Basisstationen
RNS	Radio Network Subsystem	X			Basisstation im UMTS-Netz
SCP	Service Control Point			X	Center für Kundendienste (u.a. Freischaltung)
SGSN	Serving GPRS Support Nodes		X		Schnittstelle und Steuerung der Datendienste, Ein- und Ausbuchen der Teilnehmer
SOG	Service Order Gateway			X	Verbindung von Switching System und Administration (NMC)
TETRA	Terrestrial Trunked Radio			X	Mobilfunkstandard für unterschiedliche Dienste
TRAU	Transcoding and Rate Adaptation Unit	X			Umwandlung von 13kBit/s in 64 kBit/s, häufig in Vermittlungsstelle integriert
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System			X	Mobilfunkstandard
VLR	Visitor Location Register		X		Datenbank für den Aufenthaltsort des Nutzers

Abstrakt: Infrastruktur des Mobilfunks

Die mobile Kommunikation ist aus unserem Leben nicht mehr wegzudenken. Vor der Jahrhundertwende war das Mobilfunknetz vor allem ein Telefonnetz. Heutzutage ist es ein leistungsfähiges Kommunikationsnetz, das Telefonie und Internet ermöglicht. Fast jeder Deutsche nutzt heutzutage den Mobilfunk. Steigende Bedarfe für noch schnellere Kommunikation führen dazu, dass das Mobilfunknetz immer weiter ausgebaut wird.

Doch welche Ressourcen wurden zum Aufbau der Netze benötigt? Wie hoch sind die jährlichen Stoffflüsse für die Instandhaltung? Welche Ressourcen werden für bundesweite Übertragungen mit hoher Bandbreite benötigt? Diese Fragen wurden vom IZT in einem Teilprojekt des Projektes „Materialeffizienz und Ressourcenschonung“ – gefördert vom BMU und koordiniert vom Wuppertal-Institut – geklärt. Die Untersuchung erbrachte folgende Ergebnisse:

- Es gibt eine Parallelität der Infrastrukturen mit funk- und kabelgebundenen Systemen. In diesen Systemen erfolgen zum Einen gleichartige Nutzungen (z.B. surfen über Mobilfunk oder über Kabel), zum Anderen sind sie mehrfach vorhanden (z.B. Telefonieren über GSM oder UMTS). Diese Parallelität führt zu einer Vervielfachung der Infrastrukturmasse.
- Es fehlt an aussagekräftigen Daten zur Infrastruktur des Mobilfunknetzes. Nur durch eine Vielzahl von Annahmen und Plausibilitätsbetrachtungen ließ sich die Größenordnung der Infrastruktur bestimmen.
- Die Primärinfrastruktur des Mobilfunks liegt in der Größenordnung von 100.000 bis 140.000 t. Hierbei wurde die Technik für die Funkzellen, die Steuerung der Funkzellen und die Netzwerkssteuerung betrachtet. Die sekundäre Infrastruktur (Kundenbetreuung, Verkaufsstellen, Logistik) wurde nicht einbezogen.
- Auch der jährliche Materialfluss für die Instandhaltung ist mit ca. 5.000 bis 12.000 t pro Jahr relativ gering. Zwischen 50 und 70 % dieses Stoffflusses wird durch konstruktive und elektronische Bestandteile bestimmt. Allerdings bestehen erhebliche Unsicherheiten in der Nutzungszeit der Infrastrukturbestandteile.
- Ein deutlicher Ausbau des schnellen UMTS-Netzes um ca. 40% (ca. 14.000 neue Basisstationen, 140 Controllerstationen sowie einigen neuen Steuerzentralen) könnte einen Stofffluss von 13.000 t induzieren.

Abstract: Infrastructure of Mobil Communication

Modern life is unthinkable without mobile communication. Before the turn of the 20th century the mobile network was mainly a telephone network. Today it is a high-capacity communication network allowing for mobile telephone networking and internet. Almost every German uses the mobile telephone system. New developments and demands will cause an expansion of the system.

However, which resources are required for network construction? What is the extent of the annual material flow for the maintenance of equipment? What resources are required for nationwide transmission with high bandwidth? IZT worked on these questions within the joint research project "Material Efficiency and Resource Protection" (MaRes, funded by the BMU Federal Ministry of Environment, co-ordinated by the Wuppertal-Institute). The research delivered the following results:

- There is a parallelism between infrastructure of wire-less and hard-wired cable systems. Also, in both systems occur similar utilizations (e.g. surfing via mobile service or cable network). The cable system is divided into a television system and a telecommunication system, but nowadays both are used for similar purposes (e.g. internet). The wire-less system is formed by a GSM and an UMTS-System which also doubles parts of the infrastructure.
- There is a significant lack of data about the mobile network infrastructure. The dimension of the existing infrastructure could be estimated only based on numerous assumptions and plausibility considerations.
- The primary infrastructure of the mobile telephone system has a weight of 100,000 to 140,000 t. This includes the infrastructure for cells, the control system and the network controlling system. The secondary infrastructure (customer support, selling points, logistics) was not considered.
- The annual material flow for maintenance is relatively low with around 5,000 to 12,000 t per year. Between 50 up to 70% of this material flow refer to constructive and electronic components. But significant uncertainties exist for the service life of infrastructure components.
- Upgrading the existing infrastructure for the fast UMTS network by around 40% (ca. 14,000 new base stations, 140 controller stations as well as some new control centers) could induce an additional material flow of about 13,000 t.

0 Kurzfassung

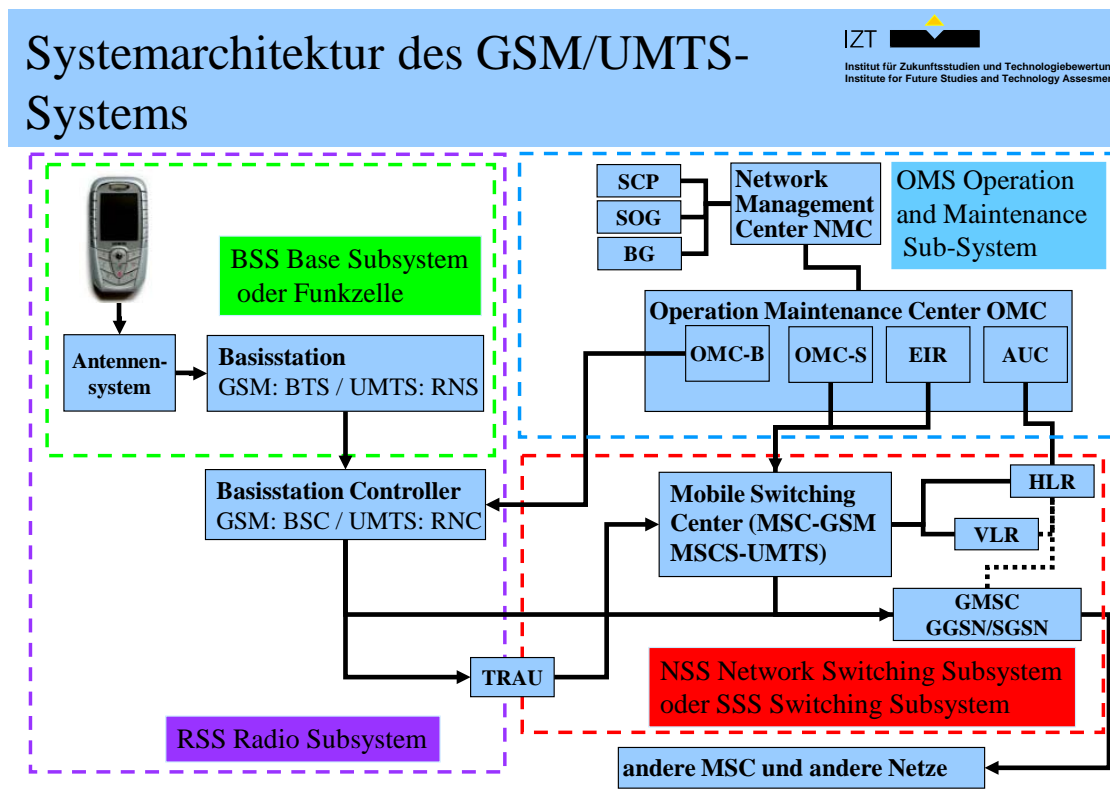
Im Arbeitspaket 2.3 des MaRes-Projektes (2007-2010) wurde der Ressourceneinsatz in wichtigen Infrastrukturbereichen untersucht. Das IZT unterstützte hierbei das Wuppertal-Institut durch seine Mitarbeit an der Untersuchung der Ressourcenintensität des Telekommunikationssektors. Hierbei bearbeitete das IZT den Mobilfunkbereich indem es eine Grundlagenuntersuchung zur Struktur des Mobilfunksektors durchführte. Darauf aufbauend wurde ansatzweise abgeschätzt, welche Ressourcen in der Infrastruktur vorkommen und welche Stoffflüsse durch die Mobilfunkinfrastruktur induziert werden.

Hinsichtlich des Ressourceneinsatzes ist der Telekommunikationssektor zunächst einmal durch eine Parallelität der Infrastrukturen gekennzeichnet. Man kann sowohl über den Festnetzanschluss telefonieren als auch über Mobilfunk. Man kann über den Mobilfunk, über Kabel- oder DSL-Anschluss surfen. Auf der einen Seite stehen deshalb die leitungsgebundenen Systeme mit Kupfer- und Glasfasernetzen, auf der anderen Seite stehen die vielfältigen Funknetze. Beide Systeme werden zunehmend für gleichartige Nutzungen (Internet, Fernsehen, Hörfunk, Telefonie) eingesetzt. Diese Aussage ist insofern relevant, als dies eine Vervielfachung der Infrastruktur bedeutet vor allem auf der Netzebene (Funknetze für Telefonie, Internet, Fernsehen und Hörfunk sowie Festnetze für die Telekommunikation, Internet und Kabel), aber auch auf der Ebene der Sendesysteme.

0.1 Architektur des Mobilfunksystems

Das Mobilfunksystem ist ein sehr komplexes technisches System, welches am besten durch seine vier Ebenen beschrieben wird. Diese vier Ebenen sind für die vier Netzbetreiber in Deutschland gleich. Die vier Ebenen sind das BSS Base Subsystem, das RSS Radio Subsystem, das NSS Network Switching System und das OMS Operation and Maintenance Sub-System.

Abbildung 1: Architektur des Mobilfunksystems



Im BSS ist die Basisstation das wesentliche technische Element. Basisstationen werden in Gebäuden untergebracht, benötigen zumeist nur einen Raum im Keller oder unter dem Dach. Sie können aber auch freistehend in einem kleinen Container untergebracht werden. Die Basisstation BTS¹ empfängt die eingehenden Nachrichten eines Mobiltelefons oder sendet übermittelte Nachrichten über eine Antenne an den jeweiligen Empfänger. Basisstationen bestehen zumeist aus Transceivern und Verstärkern (Vermittlungstechnik in sogenannten Racks), einer Kühlung, der Stromversorgung, dem Antennensystem mit einer Blitzschutzeinrichtung sowie der Verkabelung. Die Anzahl der Basisstationen beträgt mehrere tausend Einheiten pro Mobilfunknetz. Für das GSM-Netz dürfte die Anzahl zwischen 60.000 und 70.000 liegen und für das UMTS-Netz bei ca. 40.000. Die Stationen werden jedoch - wenn möglich - innerhalb eines Netzes und auch mit Netzen anderer Betreiber zusammengefasst um die Anzahl der Standorte zu minimieren.

Das RSS ist die nächste Ebene, die die Basisstationen miteinander durch die Basisstationen-Controller vernetzt. Diese sind wie schon zuvor die Vermittlungstechnik der Basisstationen eigentlich nur Transceiver, Verstärker und Steuerrechner zur Vermittlung der Gespräche und Steuerung des BS-Subsystems. Das Equipment des RSS ist zumeist in Basisstationen untergebracht. Neben den Racks der Vermittlungs- und Steuerungstechnik umfassen die Stationen des RSS noch häufig eine Notstromversorgung mit Batterien, Kühlanlagen, Anschlüsse an das Festnetz sowie oftmals auch Richtfunkverbindungen. Das RSS nutzt aber auch die technischen Systeme des BSS wie z.B. den Stromanschluss oder vorhandene Kühlanlagen. Die Anzahl der RSS-Stationen ist nur schwierig zu schätzen, da hierbei kaum Informationen vorliegen und die Stationen bis zu 500 Basisstationen miteinander vernetzen können. Im Rahmen dieser Studie wird die Anzahl der RSS-Stationen grob auf 900 bis 2.100 geschätzt

Das RSS (3. Ebene) ist an das Mobil Switching Center (MSC) angeschlossen. Dieser Vermittlungsknoten stellt die Verbindungen zwischen den Teilnehmern her und regelt auch Übergänge zu Partnernetzen sowohl für Mobil- als auch Festnetzgespräche. Am besten stellt man sich das MSC als Rechenzentren vor, das vor allem von Computertechnik geprägt sind. Hierdurch bedingt gibt es weiteres technisches Equipment wie eine aufwändige Kühltechnik, Feuerlöscheinrichtungen und Notstromversorgungen. In einem Mobilfunknetz gibt es nur wenige MSC. Die Anzahl der MSC für die vier Netze in Deutschland wird auf ca. 140 bis 200 geschätzt

Die vierte Ebene des Mobilfunksystems ist das Operation and Maintenance Sub-System (OMS). In dem OMS ist die zentrale Steuerung, Verwaltung und elektronische Kundenbetreuung eines Mobilfunknetzes angesiedelt. Ebenso liegen hier die Schnittstellen zu den anderen Telekommunikationssystemen wie dem Internet oder dem Festnetz. Durch die Nutzerverwaltung, die international zu einer Authentifizierung der Gesprächsteilnehmer verfügbar sein muss, gibt es hier auch die zentrale Datenbanksysteme der Netzbetreiber. Das OMS ist wie das MSC vergleichbar mit einem Rechenzentrum. Die Anzahl für die vier Netze in Deutschland wird auf 10 geschätzt.

0.2 Abschätzung der gebundenen Massen

Die Abschätzung der Mengen und der Massen für die Infrastruktur ist auf eine Vielzahl von Annahmen und Plausibilitätsbetrachtungen aufgebaut, da es nur wenige Studien zur Thematik des Mobilfunks gibt. Selbst zentrale Basisdaten wie die Anzahl der Basisstationen sind nicht wissenschaftlich auswertbar bzw. verfügbar. Darüber hinaus sind kaum Informationen über die aktuell verwendete Technik – die einen erheblichen Einfluss auf die gebundenen Ressourcen hat – vorhanden, so dass Abschätzungen vorgenommen werden mussten und deshalb immer mit Minimal- und Maximalwerten für das GSM- und das UMTS-Netz gearbeitet wurde. Insgesamt wurde der Versuch unternommen, für das Mobilfunksystem die folgenden Bestandteile abzuschätzen:

¹ BTS = Base Transceiver Stations, im UMTS-System werden diese auch Radio-Network-System RNS genannt.

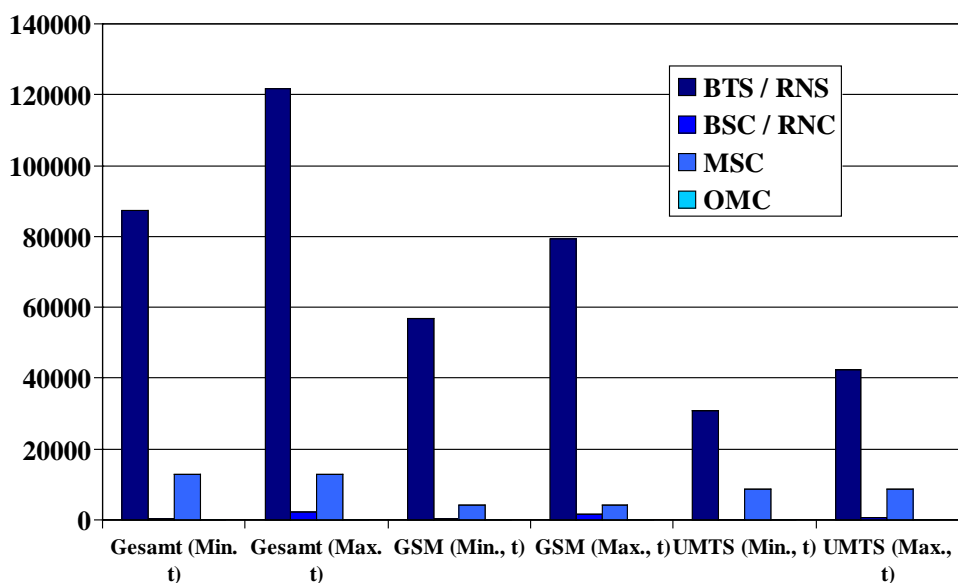
Tabelle 1: Systembestandteile der Bilanz.

BSS mit BTS und RNS	RSS mit BSC und RNC	NSS mit MSC	OSS mit OMC
Racks-Technik	Racks-Technik	Racks Gehäuse	Technik: Gateways / Switches, Server, ACP, Dispatch-PC
Racks-Gehäuse	Racks-Gehäuse	Kühlanlagen	
Stromversorgung: DC-Stromversorgung, freistehende Stromverteiler, Stromverteiler in Gebäuden, Notstromversorgung	Stromversorgung: DC- und Notstromversorgung	Schnittstellen-systeme: GMSC, SGSN, GGSN, GGSN	Racks Gehäuse
Verkabelung: in Gebäuden, freistehend, Verkabelung für Richtfunk, und Stromanschluss, Kabelschienen, Verteilerstationen	Verkabelung	Datenbanksysteme: VLR, HLR, AuC, Ei	
Antennen: GSM/UMTS sowie Richtfunkantennen jeweils mit RCU, CCU, Verstärker, Elektroinstallation und Befestigung	Kühlanlagen	weitere Systeme	
Container		Verkabelung	
Masten: auf Gebäuden, freistehend und als Anbau, Stahlrohr- und Gittermasten			
Blitzschutz: Ableitung, Halterung, Verkabelung, Elektroinstallation			
Kühlung: innen und außen			

Im Ergebnis zeigte sich, dass die Masse der in der Infrastruktur des Mobilfunksystems gebundenen Materialien in einem Rahmen von 100.000 bis 134.000 t liegen könnte, wobei sich die größten Massen in den Basisstationen befinden (zwischen 87.000 und 121.000 t) gefolgt mit weiten Abständen von der MSC (ca. 13.000 t). Die Controller-Stationen (BSC und RNC) mit 300 bis 2.300 t sowie die OMC mit etwa 40 t haben keine besondere Bedeutung. Aufgrund der Vielzahl der Annahmen und Abschätzungen sind diese Werte nur als große Richtwerte und Größenordnungen anzusehen.

Abbildung 2: Verteilung der Massen auf die einzelnen Ebenen des Mobilfunks.

Vergleich der Infrastruktur für GSM und UMTS nach Netzebenen [t]



Dr. Michael Scharp/MaRes

Quelle: Eigene Berechnung.

In einem weiteren Schritt wurde abgeschätzt, welche Anteile Elektronik (die eigentliche Vermittlungstechnik mit BTS/RNS, BSC/RNC, Antennen sowie MSC), Elektrik (Stromversorgung, Kühlanlagen), Kabel, Batterien sowie Konstruktionsmaterialien haben könnten. Hierbei zeigte sich, dass die Konstruktionsmaterialien den größten Anteil stellen dürften.

Tabelle 2: Massen unterschiedlicher Bestandteile eines Mobilfunksystems.

Gesamte Infrastruktur	Gesamt (t, unterer Wert)	Gesamt (t, oberer Wert)	GSM Min. [t]	GSM Max. [t]	UMTS Min. [t]	UMTS Max. [t]
Elektronik	12.700	14.800	6.900	8.100	5.800	6.700
Elektrik	10.600	12.400	6.400	7.500	4.200	4.900
Batterien	3.700	4.800	1.200	1.900	2.500	2.900
Kabel	18.800	32.600	11.800	20.800	7.000	11.800
Konstruktion	54.800	72.400	34.700	46.700	20.100	25.700
Summe	101.000	137.000	61.000	85.000	40.000	52.000

Quelle: Eigene Berechnung.

0.3 Ressourcenbilanz für ausgewählte Bauteilgruppen und Stoffe

Anschließend wurde der Versuch unternommen, Aussagen zur stofflichen Zusammensetzung von Bestandteilen des Mobilfunknetzes zu treffen. Im Ergebnis lassen sich nur sehr grobe Schätzungen über die Mengen einiger Stoffe machen. Die Aussagekraft ist sehr beschränkt, da zum einen die zugrundegelegten Stückzahlen sehr unsicher sind und zum anderen nur wenige Komponenten des Mobilfunksystems hinsichtlich ihrer stofflichen Zusammensetzung untersucht und die Ergebnisse in der Literatur dargestellt wurden.

Fasst man die Ergebnisse zusammen, so sollte der weitaus größte Anteil von schätzungsweise 53 % bzw. ca. 64.000 t durch Stahl abgedeckt werden. Dies ergibt sich vor allem aus den Mastkonstruktionen, Installationsmaterialien und den Rack-Gehäusen. An zweiter Stelle dürften Kupfer mit ca. 16.000 t bzw. 14 % stehen. Die Elektronik – die selbst nicht weiter aufgeschlüsselt werden konnte – steht mit ca. 9.000 t bzw. 8 % an dritter Stelle. Unter Sonstiges mit schätzungsweise 18.000 t bzw. 15 % wurden Blei (Notstromversorgung, Schätzung 3.000 t), Kunststoffe in Kabeln (Schätzung: 14.000 t) sowie Kühlmittel (Schätzung: 40 t) subsummiert. Diese Werte sind sehr grob geschätzt, geben aber zumindest Hinweise über einige Materialien. Die Werte für die Kunststoffe dürften noch deutlich höher liegen, da die Kunststoffe in der Elektronik oder als baukonstruktive Anteile nicht berücksichtigt wurden.

0.4 Ressourcenflüsse durch das Mobilfunksystem

Mobilfunk induziert wie jede andere Technik oder Dienstleistung Materialflüsse, da technische Geräte nur eine endliche Lebensdauer haben. Darüber hinaus gibt es jedoch vier spezifische Entwicklungen, durch die der Mobilfunksektor quasi „getrieben“ wird:

- Zum einen ist der Mobilfunksektor einem stetigen Prozess der technischen Weiterentwicklung und der Einführung neuer Technologien unterworfen, da er wie kaum ein anderer Sektor maßgeblich von der Computertechnik abhängig ist.
- Zum anderen führt die Weiterentwicklung der Nutzerbedarfe sowie die Entwicklung neuer Angebote für die Nutzer zu einem kontinuierlichen Prozess des Ausbaus der Mobilfunknetze und der anderen Telekommunikationsnetze, bei dem mehrere Systeme gleichzeitig mit unterschiedlichen Ausbaustandards „online“ sind.
- Weiterhin gibt es einen deutlichen Trend der Miniaturisierung und der Vereinheitlichung von Computertechnologien, so dass moderne BSC-Systeme sowohl GSM als auch UMTS gleichzeitig vermitteln können.
- Letztendlich führt der Bedarf nach immer höheren Übertragungsleistungen dazu, dass die Basisstationen, wie am Beispiel des UMTS-Systems zu sehen ist, immer dichter an den Endkunden heranrücken und die Anlagenanzahl aufgrund der notwendigen Mikrosysteme zunehmen wird.

Wie zuvor skizziert, mussten eine Vielzahl von Annahmen und Abschätzungen aufgrund von Plausibilitätsüberlegungen getroffen werden. Unter methodischen Aspekten wurden für die Bestand-

teile der Netzinfrastruktur zwischen der Lebens- und Nutzungsdauer unterschieden werden, da viele Bestandteile wie die Stromanschlüsse oder der Blitzschutz lebensdauerorientiert und die Elektronik nutzungsdauerorientiert betrachtet werden müssen. Nach diesen Überlegungen wurden zwei unterschiedliche „Szenarien“, ein „Steady-State-Szenario“ und ein „UMTS-Ausbauszenario 20XX“, betrachtet.

Das erste Szenario geht davon aus, dass kein Ausbau des Mobilfunknetzes erfolgt. In dem Steady-State-Szenario wurden unterschiedliche Zeiten der Verweildauer „Min“ und „Max“ für Systembestandteile angenommen. Diese liegen zwischen 2 Jahren z.B. für die Mobilfunkelektronik und 30 Jahren z.B. für Kabelschienen und Befestigungsmaterialien. Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der Abschätzung:

Tabelle 3: Jährliche Stoffflüsse durch unterschiedliche Bestandteile der Mobilfunkinfrastruktur (GSM und UMTS, gerundet).

Jährliche Stoffflüsse	Gesamt (t, unterer Wert)	Gesamt (t, oberer Wert)	GSM Min. [t]	GSM Max. [t]	UMTS Min. [t]	UMTS Max. [t]
Elektronik	2.000	5.500	1.100	3.100	900	2.400
Elektrik	500	900	300	500	200	400
Batterien	300	400	100	100	200	300
Kabel	600	1.600	400	1.000	200	600
Konstruktion	1.800	3.200	1.100	2.000	700	1.200
Summe	5.200	11.600	3.000	6.700	2.200	4.900

Im Ergebnis wird deutlich, dass der Materialfluss aufgrund der angenommenen Verweildauer zwischen 5.200 und 11.600 t pro Jahr liegen kann. Bei einer Schätzung der Masse der Mobilfunkinfrastruktur von ca. 101.000 t (unterer Wert) erfolgt ca. 70 % des jährlichen Stoffflusses durch konstruktive und elektronische Bestandteile. Nimmt man die höheren Schätzwerte der Mobilfunkinfrastrukturmasse mit ca. 137.000 t und legt die geringere Verweildauer der Bestandteile zugrunde, so dominiert der Austausch von Elektronik mit ca. 50 % gefolgt von konstruktiven Bestandteilen (vor allem Gehäuse) mit ca. 25 %.

Das zweite Szenario „UMTS 20XX“ geht davon aus, dass das UMTS-Netz zur besseren Netzabdeckung ausgebaut wird und die Anzahl der Basisstationen von ca. 36.000 auf 50.000 erweitert wird. Es wurde angenommen, dass alle Stationen neu gebaut werden, d.h. dass sie nicht in bestehende GSM-Stationen aufgenommen werden. Der Ausbau des UMTS-Systems führt in diesem Szenario nicht nur zur Erweiterung des Radio Subsystems, sondern es wurde auch angenommen, dass 14 MSC und 1 OMC neu errichtet werden. Im Unterschied zu den vorangegangenen Untersuchungen wurden keine Minimal- und Maximalwerte genutzt, da es nur um eine Vorstellung von Größenordnungen bei dieser Abschätzung geht.

Im Ergebnis zeigt sich, dass ein deutlicher Ausbau des UMTS-Netzes mit einem Stofffluss von ca. 13.000 t verbunden ist. Der Ausbau liegt somit deutlich über den geschätzten jährlichen Stoffflüssen auf Basis der Nutzungszeiten für die einzelnen Baugruppen des Mobilfunknetzes. Allerdings würde ein weiterer Ausbau nicht im bedeutenden Maße die Bestandsmassen erhöhen, sondern nur – wie in diesem Beispiel gezeigt – mit zusätzlichen Massen in der Größenordnung von 12 bis 17 % liegen. Einen wesentlichen Anteil an der Massenerhöhung hätten konstruktive Elemente mit ca. 50 % und ca. 25 % Kabelanteil. In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse noch einmal im Vergleich zum Bestand und zum Steady-State-Szenario dargestellt.

Tabelle 4: Infrastrukturmassen und jährliche Stoffflüsse von 2007/2008 im Vergleich mit dem Szenario UMTS-20XX [t]

	Bestand 2007/08 (unterer Wert)	Bestand 2007/08 (oberer Wert)	Jährliche Stoffflüsse ges. Infrastruktur (unterer Wert)	Jährliche Stoffflüsse ges. Infrastruktur (oberer Wert)	Szenario UMTS-20XX
Elektronik	12.700	14.800	2.000	5.500	2.000
Elektrik	10.600	12.400	500	900	1.000
Batterien	3.700	4.800	300	400	1.400
Kabel	18.800	32.600	600	1.600	-
Konstruktion	54.800	72.400	1.800	3.200	8.300
Summe	101.000	137.000	5.200	11.600	13.000

0.5 Zusammenfassung

Die mobile Kommunikation ist aus unserem Leben nicht mehr wegzudenken. Vor der Jahrhundertwende im Jahre 2000 war das Mobilfunknetz vor allem ein Telefonnetz. Heutzutage ist es ein sehr leistungsfähiges Kommunikationsnetz, das Telefonie, Internet mit Webseiten und Mails sowie auch die Videokommunikation ermöglicht. Es wird nicht mehr lange dauern, bis es auch die Unterhaltungskommunikation wie z.B. das Fernsehen erreicht hat.

Eine Betrachtung der Funktionen der verschiedenen funk- und kabelgebundenen Systeme zeigt aber auch eine Parallelität der Infrastrukturen. Man kann sowohl über den Festnetzanschluss telefonieren als auch über Mobilfunk. Man kann über den Mobilfunk, über Kabel- oder DSL-Anschluss surfen. Es besteht somit eine Vervielfachung der Infrastruktur für gleichartige Zwecke. Auch innerhalb des Mobilfunksystems gibt es Verdoppelungen. Angefangen hat das mobile Telefonieren mit GSM, dem einfachen Funknetz. Die Bandbreite des Systems ist – aus heutiger Perspektive – so gering, dass Surfen im Web ein langwieriges Unterfangen ist. Zur Verbesserung der Bandbreite wurde UMTS etabliert, was nicht nur einen schnellen Zugang zum Internet sondern auch datenaufwändige Videokommunikation ermöglicht. Diese Parallelität führt dazu, dass beispielsweise zwei Empfangssysteme in den Funkzellen vorhanden sein müssen.

Eine Analyse der Ressourcenverwendung und der Ressourcenbedarfe des Mobilfunksystems orientiert sich am besten an den vier Ebenen des Mobilfunknetzes: Die erste Ebene ist das BSS Base Subsystem mit den eigentlichen Empfangs- und Sendesystemen, der BTS für das GSM-Netz und der RNS für das UMTS-System. Wesentliche Bauteile dieser Systeme sind die Vermittlungstechnik, Kühltechnik, Stromanschluss und Antennensysteme. Das BSS wird vom RSS Radio Subsystem (2. Ebene) überwacht und gesteuert. Die Systeme sind eigentlich nur die Controllerstationen (BSC für GSM und RNC für UMTS). Wesentliche Bauteile dieser Systeme sind die Vermittlungstechnik, häufig auch Richtfunktechnik sowie Notstromversorgung. Das RSS ist zumeist baulich in das BSS integriert. Die dritte Ebene ist das NSS Network Switching System, das das RSS vernetzt und auch die Anbindung an die anderen Netze (Festnetz und Internet sowie die anderen Funknetze) herstellt. Das NSS besteht vor allem aus zahlreichen MSC, die mit Rechenzentren vergleichbar sind. Neben der Vermittlungs-, Steuer- und Wartungstechnik, die im Prinzip vor allem Computer und Datenbanktechnik ist, finden sich hier vor allem zusätzliche Kühltechnik und Notstromversorgungen. Die MSC werden schließlich von dem OMS Operation and Maintenance Sub-System (4. Ebene) überwacht und gesteuert. Das OMS ist mit einem Rechenzentrum vergleichbar.

Auf Basis dieser Architektur lassen sich Schätzungen für die primäre Infrastruktur von Basisstationen, Controller-Stationen und Vermittlungsstationen treffen. Nicht erfasst wurden die sekundäre Infrastruktur (NMC mit Kundenbetreuung) sowie die Räumlichkeiten, die zur Bedienung des Geschäftsfeldes notwendig sind, wie auch Flächen und Räumlichkeiten zur Aufstellung der Infrastruktur. Bei der Abschätzung sind zudem folgende Unsicherheiten zu berücksichtigen:

- Nicht betrachtet wurde die sekundäre Infrastruktur wie z.B. Verkaufsstellen sowie Räumlichkeiten und bauliche Maßnahmen (Fundamente, Zäune) zur Aufstellung der Infrastruktur. Die Einbeziehung dieser Infrastruktur würde die Massenbilanzen mehr als nur verdoppeln.
- Die rasante technische Weiterentwicklung – wie z.B. duale Vermittlungstechnik sowohl für GSM als auch für UMTS – führt dazu, dass mit weniger Material die gleichen Funktionen übernommen werden.
- Auf allen Ebenen vom BSS hin zum NSS gibt es hinsichtlich der Anzahl der Stationen sowie auch hinsichtlich der Ausstattung der Stationen (z.B. mit Kühleinrichtungen oder Notstromversorgungen) hohe Unsicherheiten.
- Auch unzureichende Basisdaten über die Bauteilverwendung führen zu großen Unsicherheiten. Beispielsweise ist nicht bekannt, in welchem Umfang große Masten verwendet werden. Derartige Masten können die Massenbilanzen deutlich verändern.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Primärinfrastruktur mit 100.000 bis 140.000 t für die Mobilfunknetze im Vergleich zu anderen Infrastrukturen wie Gas, Wasser oder Elektrizität nicht besonders hoch sind. Bei diesen Infrastrukturen liegen die verbauten Massen im dreistelligen Millionen-Tonnen-Bereich. Auch der jährliche Materialfluss aufgrund der angenommenen Zeiten der Verweildauer ist mit ca. 5.000 bis 12.000 t pro Jahr relativ gering. Zwischen 50 und 70 % dieses Stoffflusses wird durch konstruktive und elektronische Bestandteile bestimmt. Bei einem deutlichen Ausbau des UMTS-Netzes um ca. 40% - d.h. durch die Schaffung von ca. 14.000 neuen Basisstationen, 140 Controllerstationen sowie einigen neuen MSC und OMC - könnte der induzierte Stofffluss in der Größenordnung von 13.000 t liegen. Der Ausbau liegt somit deutlich über den geschätzten jährlichen Stoffflüssen auf Basis der Nutzungszeiten für die einzelnen Baugruppen des Mobilfunknetzes. Allerdings würde ein weiterer Ausbau nicht im bedeutenden Maße die Bestandsmassen erhöhen, sondern nur – wie in diesem Beispiel gezeigt – mit zusätzlichen Massen in der Größenordnung von 12 bis 17 % liegen. Einen wesentlichen Anteil an der Massenerhöhung hätten konstruktive Elemente mit ca. 50 % und ca. 25 % Kabelanteil.

Vor diesem Hintergrund lassen sich folgende Ergebnisse hinsichtlich des Ressourceneinsatzes festhalten:

- Mobilfunk ist essentiell von der Computertechnik abhängig und die Nutzung der besten Technologien ist sehr wettbewerbsrelevant. Es ist anzunehmen – und es wird auch von Mobilfunkexperten bestätigt – dass die Computertechnik bedarfsorientiert und nicht lebensdauerorientiert genutzt wird. Die Elektronik ist somit ein relevanter Faktor bei den jährlichen Stoffflüssen.
- Es gibt einen kontinuierlichen Ausbau der Netze hin zu höheren Mobilfunk-Standards, so dass mehrere Netze parallel existieren. Noch immer erfolgt der Ausbau des UMTS-Netzes, da dies bisher insbesondere in den ländlichen Regionen nicht verfügbar ist. Dies führt zunächst zu einer Erhöhung der jährlichen Stoffflüsse und einer Steigerung der Infrastrukturmasse. Allerdings ist diese zusätzliche Masse in Bezug auf die vorhandenen Infrastrukturen im Mobilfunk relativ gering.
- Es gibt weiterhin einen Trend zur Miniaturisierung und zur Technikintegration (duale Verarbeitung von GSM und UMTS vor allem in der Vermittlungstechnik), der zu einer Reduzierung der Infrastrukturmasse führt. Da die Vermittlungstechnik jedoch nur 10 bis 13 % der Gesamtinfrastruktur darstellt, wird das Reduktionspotential jedoch nicht wirklich groß sein.
- Das Kosumverhalten der Kunden der Mobilfunkanbieter induziert vergleichbar hohe Ressourcenströme wie durch die Wartung oder den Ausbau des Netzes selbst erfolgen. In Deutschland gab es in 2008 ca. 107 Mio. Anschlüsse. Bei einem geschätzten Gewicht von 150 g pro Geräte – inklusive Ladegerät – ergäbe sich eine Masse der Handys von ca. 16.000 t. Nimmt man eine Nutzungsdauer von 2 Jahren an, so ergäbe sich ein Ressourcenfluss von ca. 8.000 t allein aufgrund des Austausches von Mobiltelefonen.

1 Anwendungen von IuK-Systemen

Informations- und Kommunikationssysteme können sich auf unterschiedliche Nutzungen beziehen und haben bis in die 80iger-Jahre noch unterschiedliche Infrastrukturen verwendet. Je nach Anwendungsfeld haben sich unterschiedliche Systeme herausgebildet, die sich in den letzten Dekaden jedoch zunehmend überschneiden. Zur einfachen Strukturierung kann man die IuK-Systeme wie folgt gliedern:

Tabelle 5: Nutzungsarten und Systeme in den IuK-Systemen.

Nutzung	Systeme
Telephonie	Festnetz, Mobilfunk, Internet, Satelliten
Fernsehen	Analoges Antennenfernsehen, Kabelfernsehen, Satellitenfernsehen, Digitales terrestrisches Fernsehen, Internet
Hörfunk ²	Analoger Antennenrundfunk, Kabelrundfunk, Satellitenhörfunk, digitaler terrestrischer Hörfunk, Internet
Information und Datenübertragung	Internet, WLAN, Festnetz, Mobilfunk
Navigation	Satellitensysteme

Quelle: Eigene Darstellung.

Die Entwicklung der IuK-Technologien seit den fünfziger Jahren lässt sich vereinfacht in einigen Stufen nachzeichnen (vgl. Wersig 2000), die auch den Rahmen zur Beschreibung der Systemgrenzen abgeben können. In den fünfziger Jahren erfolgte der Ausbau der seit den zwanziger Jahren des 19. Jahrhunderts bekannten Medien wie Fernsehen, Rundfunk und netzgebundene Telephonie auf einer analogen Basis hin zu Massenmedien. Gleichfalls wurde in den fünfziger Jahren die zweite Generation der Computer mit digitalen Verarbeitungskonzepten entwickelt. Auf dieser Stufe dienten sie in ihren Anwendungen vor allem zur Verbesserung der Effizienz von Produktions- und Arbeitsabläufen im gewerblichen Bereich und durchdrangen den Markt nur beschränkt mit geringen Stückzahlen. In den sechziger Jahren gab es auch in den USA die ersten kleinen „Netze“ von Militär und Forschungseinrichtungen (Arpanet) zum Datenaustausch mittels Computern. Der Einzug der analogen Produkte Fernsehen und Telephonie in die Haushalte führte jedoch zu einem ersten Massenmarkt für IuK-Produkte. Nachdem die vielfältigen Optionen der digitalen Datenverarbeitung durch die Entwicklung von integrierten Schaltkreisen (ICs) und verbesserter Software in den sechziger und siebziger Jahren immer deutlicher wurden, zogen auch diese in die Haushalte und Verwaltungen ein. Mit steigendem Absatz wurden die Produkte zunehmend preiswerter, was wiederum den Absatz steigerte. Gleichfalls wurde in den achtziger Jahren das bis dahin entwickelte Autotelefonnetz hin zu analogen zellulären Netzen weiterentwickelt. Auch hier tat sich mit der Freigabe von Rundfunkfrequenzen und der Etablierung von neuen Unternehmen ein wahrer Massenmarkt in den neunziger Jahren auf, als sich die Digitalisierung des Mobilfunks – die ohne Computertechnologie nicht möglich gewesen wäre – durchsetzte. Parallel dazu wurde die digitale Festnetztelephonie entwickelt mit dem ISDN. In diese Zeit fiel auch die Einführung des Satellitenfernsehens, welches gleichfalls digital arbeitet. Ein weiterer Schritt war das Angebot des CERN mit dem World Wide Web Anfang der neunziger Jahre, das allen Computernutzern, die über eine Telefonleitung verfügten, einen weltweiten Datenaustausch ermöglichte. Ein weiterer Schritt der Digitalisierung, der derzeit umgesetzt wird, ist die Einführung des digitalen terrestrischen Rundfunks. Mit der Fülle der Infrastrukturen, die unterschiedlichen Zwecken dienten, begann aber auch ein Prozess der Konvergenz, bei dem ähnliche Inhalte in den einzelnen IuK-Systemen sich gleichmäßig verbreiteten. Das Telefon diente als Zugang zum Internet und das Internet ermöglichte eine neue Form des Telefonierens. Im Folgenden werden die wesentlichen Nutzungsarten der IuK-Systeme erläutert.

² Mit Rundfunk werden i.A. Hörfunk und Fernsehen bezeichnet.

1.1 Vom Kupfer zum Funk und zur Glasfaser

Traditionell wurde Kupfer als Medium der Telekommunikation seit der Erfindung des Telefons eingesetzt. Auch neue Medien wie das Fernsehen griffen später auf (Kupfer-)Kabelsysteme zurück, um mehr Programme zu übertragen als mit dem terrestrischen Antennenfernsehen. Auf dieser Grundlage wurden ganze Kontinente mit Kupferleitungen durchzogen und auch die alten Unterseekabel zwischen den Kontinenten waren früher Kupferkabel. Bis in die achtziger Jahre war das Kupferkabel dominierend in der Kommunikation in Gebäuden, zwischen Orten und im Fernverkehr. Mit der Anforderung nach höheren Datenübertragungsraten wurden jedoch neue Übertragungssysteme gesucht und mit der Glasfasertechnologie und der Übertragung der seit langem bekannten Funktechnologie auf neue Alltagsnutzungen auch gefunden.

Kupferleitungen werden auch heute noch vor allem auf der sogenannten „letzten Meile“ verwendet, d.h. dem Anschluss von Gebäuden an das Festnetz bzw. an die Vermittlungsstellen. In der Telekommunikation (Telefonie, Internet) und bei dem Kabelanschluss (Fernsehen) ist dies zum einen Tradition der Anbieter, zum anderen ist die Glasfasertechnologie kostenaufwendiger im Anschluss aufgrund der notwendigen optischen Systeme. Auch in der internen Gebäudeverkabelung für die Telekommunikation, für TV und für Computernetze werden üblicherweise Kupferleitungen verwendet.

Die Datenübertragung in Glasfasern zeichnet sich durch andere Prinzipien aus als bei der Nutzung von Kupferleitungen. Während in Kupferleitungen elektrische Impulse verwendet werden, sind dies in Glasfaserleitungen Lichtwellen. Computer verwenden für ihre Rechenarbeiten üblicherweise elektrische Signale, so dass eine Kommunikation über Glasfaser die Umwandlung von elektrischen in optische Signale durch Optoelektronik erfordert. Wesentlich ist der Unterschied in der Breitbandigkeit³ von Glasfasern, da hierbei Lichtwellen unterschiedlicher Frequenzen gleichzeitig in der Faser übertragen werden können sowie die geringe Dämpfung, so dass Signale bis zu 100 km weit reichen.⁴ Vor allem aus diesem Grunde haben sich optische Nachrichtenkabel insbesondere im Fernverkehr (Transkontinental, Städteverbindungen) und auch im Ortsverkehr zwischen den Vermittlungsstellen durchgesetzt (DKI 2000:17). Weitere Vorteile der Glasfasern sind die Unempfindlichkeit gegen elektromagnetische Beeinflussung sowie die Potentialfreiheit (da ja keine Ströme übertragen werden). Auf der letzten Meile und auch bei der Ausbildung von LAN's (z.B. Computernetze in Firmen) werden aber nach wie vor überwiegend Kupferkabel verwendet. Dies ergibt sich durch die Vermeidung des Einsatzes von Optoelektronik (Kostenargument) als auch durch die deutlich einfacheren Anschlussmöglichkeiten von Kupferkabeln (Verbindung von Kupferkabeln mit einem Kupfernetz im Haus). Neue Übertragungstechnologien für Kupferleitungen, die auf modifizierten Signalverfahren bei Ausnutzung unterschiedlicher Frequenzbänder beruhen, ermöglichen auch in den konventionellen Telefonleitungen höhere Übertragungsraten. Mit ADSL, HDSL oder in Verbindung mit Lichtwellenleitern in VDSL können im klassischen Telefonkabelnetz durchaus sehr hohe Übertragungsraten erreicht werden, auch wenn die theoretischen maximalen Grenzen real zumeist nicht angeboten werden. Beispielsweise bietet die Telekom VDSL mit bis zu 16 Mbit/s an (Telekom 2006:32), das Verfahren ermöglicht jedoch Übertragungsraten bis zu 72 Mbit/s (IT Wissen o.J.: VDSL).

Eine besondere Herausforderung stellt jedoch die „letzte Meile“ der Hausanschlüsse dar, da über die vorhandenen Festnetzanschlüsse sowohl Telefon- als auch Internetverkehr abgewickelt werden. Heutigen Anforderungen genügen zumeist ISDN und DSL-Anschlüssen⁵, weshalb die „letzte Meile“

³ Unter Bandbreite versteht man einen Frequenzbereich (obere und untere Frequenz), in dem elektrische Signale mit einem Amplitudenabfall von bis zu 3 dB übertragen werden. Die (maximale) Übertragungsrate bzw. Übertragungsgeschwindigkeit pro Zeiteinheit ist von der Bandbreite abhängig. Die maximale Bandbreiten-Ausnutzung beträgt für binäre Signale 2 Bit pro Hertz Bandbreite (IT Wissen o.J.: Bandbreite).

⁴ Bei gleicher Übertragungsraten vermögen Kupferleitungen nur 1 bis 2 km weit zu übertragen. Vgl. IT Wissen o.J.: Glasfaser sowie IT Wissen o.J.: Wellenlängenmultiplex.

⁵ DSL kann von den Anbietern mit unterschiedlichen Übertragungsraten von 256 kBit/s bis 8 Mbit/ angeboten werden (tns Infratec 2006:278).

fast nur kabelgestützt ist. Die Übertragung von größeren Datenmengen z.B. beim Download von Filmen ist aber auch mit DSL sehr zeitaufwendig. Neue Funktechnologien wie WiMAX – eine Weiterentwicklung der WLAN Technologie – oder HSDPA – eine Technologie auf UMTS-Basis – können helfen, einen noch breitbandigeren Anschluss ohne Kabel bereitzustellen (tns-Infratest 2006:247). Mit einer Datenübertragungsrates von bis zu 70 Mbit/s übertrifft WiMAX, welches in Berlin Pankow zur Zeit getestet wird, sogar ADSL-Anschlüsse um den Faktor 23. HSDPA vermag zwar nur Übertragungsrates in der praktischen Umsetzung derzeit von 14 Mbit/s zu erzielen, liegt aber deutlich über der Leistung von ADSL.

Durch diese neuen Modulationsverfahren kommt auch eine weitere klassische Anwendung – das HF-Koaxialkabel für Fernsehsignale – sowohl unter Druck als auch zu einer neuen Renaissance. Einerseits können über ADSL-Verbindungen Spielfilme auf den PC via Internet in einer annehmbaren Zeit übertragen werden, andererseits bieten aber die frequenzmodulierten Verfahren in den Kabelnetzen gleichfalls höhere Übertragungsrates und Decoder-Technologien auch noch eine Rückkanalfähigkeit.

Eine weitere Alternative zur Datenübertragung mittels Kupferkabel ist die kabellose Datenübertragung (wireless communication), die eigentlich die klassische Funktechnologie ist. Mit der Nutzung neuer Frequenzbänder wurde ein breites Spektrum an Möglichkeiten erschlossen. Hierbei können vier Möglichkeiten unterschieden werden (Hilty et al 2003:49):

- WANs (Wide Area Networks), Distanz bis zu 100 km, Nutzung vor allem für Mobilfunknetze;
- WLANs (Wireless Local Area Networks), Reichweite zumeist im Bereich von 100 m, Nutzung vor allem zur Vernetzung von Bürogebäuden, Wohnhäusern und sogenannte Hot Spots auf Flughäfen, Hotels und Einkaufszonen;
- WPANs (Wireless Personal Area Networks), Reichweite um die 10 m, Nutzung vor allem für portable Geräte und "Wearables"⁶ sowie
- BANs (Body Area Networks), Reichweite von 1 m, Nutzung für am Körper zu tragende Komponenten.

Charakteristisch für die Netze ist, dass die Geräte zumeist über sogenannte Basisstationen kommunizieren. Beispielsweise werden mit GPS-Empfängern oder mit Handys immer zentrale Basisstationen in einer Funkzelle angesteuert, über die auch die Kommunikation mit anderen Geräten verläuft. Hierdurch wird zwar eine Kabellosigkeit bis auf die Stromversorgung der Basisstationen sichergestellt, aber zusätzliche kupferbasierte Infrastruktur benötigt. Nur im unmittelbaren Nahbereich kommunizieren die Geräte miteinander und benötigen zumeist nur kleine Zusatzgeräte bzw. sind mit dieser Technologie ausgestattet (z.B. IR-Schnittstelle im Handy oder Bluetooth-Technologie).

1.2 Satellitensysteme

Satelliten-Kommunikation

Die Satellitenkommunikation kombiniert im Unterschied zum Satellitenfernsehen die bestehenden Kommunikationsinfrastrukturen mit der Satellitentechnologie. Die von den Nutzern über die nationalen Infrastrukturen (z.B. Festnetz, terrestrisches Funknetz, Kabelnetze) gesendeten Informationen werden über einen Provider mit Sendeantennen an einen Satelliten weitergeleitet, der sie wiederum zu den Empfangsstationen des oder eines anderen Providers weiterleitet. Von hier werden die Signale an die Empfänger mit den bestehenden landgestützten Infrastrukturen weitergeleitet. Eine Ausnahme ist die Satelliten-Telephonie, die bidirektional zwischen den Nutzern direkt über den Satelliten geht. Zu diesem Zweck wurde Ende der 90iger-Jahre das Iridium-Satellitensystem von privaten Investoren angeschoben. Aufgrund der hohen Kosten für Satellitensysteme ist die Anwendung jedoch nur gering. Eine weitere Ausnahme ist z.B. das Sky-DSL der Telekom, welches für Gebiete genutzt wird, die

⁶ Unter Wearables versteht man im Allgemeinen am Körper zu tragende IuK-Geräte.

wegen der Kosten nicht mit DSL versorgt werden können. Hierbei wird z.B. ein Internetzugang ermöglicht, der über das bestehende regionale Netz direkt einen Satellitenzugang ermöglicht.

Satelliten-Navigation

Ein neuerer Trend in den Informations- und Kommunikationstechnologien ist das Global Positioning bzw. die Satelliten Navigation. Hierbei ist es möglich, den Standort eines Nutzers genau zu bestimmen und diesen mit einer Satelliten-Navigation zu einem gewünschten Ziel zu führen. Die Satelliten-Navigation wurde ursprünglich Ende der 80iger-Jahre installiert und zunächst militärisch genutzt von den USA mit dem GPS-System. Sie wurde aber schnell auch zivil vor allem für die Schiff- und Luftfahrt genutzt. In neuerer Zeit kamen zunächst die landgestützte Logistik (LKW-Fernverkehr), der private Autoverkehr (Navigationsgeräte) und heutzutage die Handy-gestützte Navigation (Wanderführer und städtisches Sightseeing) hinzu. Gewerblich ist es vor allem für die Vermessung und darauf basierende Bereiche (Stadtplanung, Bauwesen, Straßen- und Schienenbau etc.) von großer Bedeutung. Auch das deutsche Autobahn-Maut-System nutzt das GPS-System zur Nutzungskontrolle. Satelliten-Navigation basiert auf einem Satellitennetz, welches die Positionssignale der Satelliten und die exakte Uhrzeit ausstrahlen. Aus der Signallaufzeit können Signalempfänger dann die eigene Uhrzeit, die genaue Position, die eigene Geschwindigkeit und die Bewegungsrichtung errechnen. Die Europäische Union hat ebenfalls beschlossen, ein Galileo-Satellitensystem 2013 im Weltraum zu installieren. Ebenso planen Chinesen und Russen ein GLONASS und COMPASS-Satellitensystem.

Informations- und Kommunikationssatelliten⁷

Die wichtigsten Fernsehsatelliten-Systeme sind für Deutschland Astra und Eutelsat, die als geostationäre Satelliten positioniert sind. Das Astrasystem umfasst 15 Satelliten⁸, das Eutelsat-System 15 Satelliten. Eine Zuordnung der Satelliten speziell zu Deutschland ist nicht zu treffen, da sie vor allem Europäisch ausgerichtet sind:

Tabelle 6: Europäische Satelliten.

Satellite	Start	Footprint	Lebensdauer	Nutzungsende
Astra 1f	1995	Europa (ohne Südosteuropa)	14 Jahre	2009
Astra 1h	1997	Europa (ohne Südosteuropa)	15 Jahre	2012
Astra 1g	1999	Europa (ohne Südosteuropa)	15 Jahre	2014
Astra 1KR	2006	Europa (ohne Südosteuropa)		
Astra 1L	2007	Europa (ohne Südosteuropa)		
Astra 2A	1998	Europa (ohne Südosteuropa)	15 Jahre	2013
Astra 2B	2000	Europa (ohne Südosteuropa)	15 Jahre	2015
Astra 2C	2000	Europa (ohne Südosteuropa)	15 Jahre	2015
Astra 2D	2000	Groß Brittanien und Irland	12 Jahre	2012
Astra 3A	2002	Deutschland und tlw. angrenzende Länder	10 Jahre	2012
Sirius 2	1997	Europa (Beam 1) und Skandinavische Länder (Beam 2)	15 Jahre	2012
Sirius 3	1998	Skandinavische und Baltische Länder, Dänemark, Polen und tlw. Deutschland	12 Jahre	2010
Sirius 4	2007	Europa und tlw. Russland		

Quelle: Astra.

Die Lebensdauer der Astra-Satelliten wird mit 12 bis 15 Jahre angegeben.⁹ Wie aus obiger Tabelle ersichtlich ist, müssen zwischen 2009 und 2015 die meisten Satelliten ersetzt werden. Dies bedeutet

⁷ Viele Fernsehsatelliten übertragen auch Hörfunk und werden für Datenübertragung genutzt, weshalb sie hier zusammengefasst dargestellt werden.

⁸ 3 Astra-Satelliten und 2 Eutelsat-Satelliten sind nicht mehr in Betrieb. S.a. <http://www.ses-astra.com/business/de/satellite-fleet/index.php>.

⁹ Online: <http://www.ses-astra.com/business/de/satellite-fleet/satellite-list>. Zugriff: Juni 2008.

aber nicht, dass im gleichen Umfange neue Satelliten in den Orbit geschossen werden müssen, da auch die Übertragungstechnologien effizienter werden.

Navigationssatelliten-Systeme

Das Galileo-System soll mit 30 Satelliten ausgestattet werden (gallileo-navigationssystem.com, o.J.), das GPS-System verfügt über 24 Satelliten. Die Anzahl der tatsächlich benötigten Satelliten ist geringer, aber aufgrund der Unmöglichkeit der Reparatur und der langen Dauer, beim Ausfall Ersatz in den Orbit zu schaffen, sind Satelliten-Systeme redundant ausgelegt. Die Lebenserwartung der Satelliten beim Galileo-System soll 10 bis 12 Jahre betragen (Fasse 2008:11).

Wesentliche Infrastrukturbestandteile eines Satelliten-Systems sind die Satelliten selbst sowie die Bahnverfolgungsstationen (Bodenstationen) der Systeme. Hinsichtlich ihrer Materialbilanzierung müssen jedoch auch die Raketen und die Raketenabschussbasen – für Galileo das Raumfahrtzentrum Kouruo in Französisch-Guayana – hinzugerechnet werden ohne die ein Satellitenstart nicht möglich ist.

1.3 Festnetz

Das klassische analoge Festnetz war bis weit in die achtziger Jahre hinein das Telefonnetz, welches ursprünglich von der Deutschen Post und später von der Telekom errichtet wurde. Sein Hauptzweck war die sogenannte Festnetz-Kommunikation, d.h. das Telefonieren von stationärem Endgerät zu stationärem Endgerät und seit den sechziger Jahren auch das Faxen von Informationen. Mit zunehmender Digitalisierung der Übertragungsverfahren, Verwendung von mehreren Rufnummern je Haushalt und Erhöhung der Bandbreiten der Kommunikation zeigte sich, dass auch das Festnetz in seiner herkömmlichen Form – zweiadriger Anschluss der Festnetzanschlüsse – durchaus für andere Zwecke nutzbar war. Mit der Einführung von Modems¹⁰ ist es möglich gewesen, die Computerkommunikation (Internet) über das Festnetz abzuwickeln. Die Festnetztelephonie steht in unmittelbarer Konkurrenz zum Mobilfunk und zum Internet, welches zunehmend Bedeutung für Telefongespräche gewinnt.

Die Infrastrukturbestandteile des Festnetzes umfassen das Fern- und Regionalnetz, das Anschlussnetz („letzte Meile“ zum Hausanschluss) und die Vermittlungsstellen auf unterschiedlichen Ebenen. Im Fern- und Regionalnetz werden sowohl Kupferkabel als auch vermehrt Glasfaserkabel eingesetzt, im Anschlussnetz gibt es nur in einigen Pilotregionen Glasfaseranschlüsse.¹¹

Quantitative Aussagen über die Nutzung von Kupfer für die Telekommunikationsnetze sind nur für die Schweiz gut abgeschätzt. Wittmer schätzt auf Basis verschiedener Annahmen, dass die Lagermenge ca. 117.000 t für Fernmeldekabel und Koaxialkabel beträgt (Wittmer 2006:51 und 84). Pro Einwohner werden somit 16 kg Kupfer für die Telekommunikation genutzt. Wesentlich größere Mengen – mehr als 600.000 t – werden im Stromnetz genutzt (ebd.:85). Überträgt man die von Wittmer gefundenen Werte hinsichtlich des Pro-Kopf-Anteils von Kupfer (16 kg pro Einwohner für das Festnetz, ebd.:85) auf Deutschland, so erhält man eine Kupfermasse von ca. 1,3 Mio. t. Nicht erfasst ist hierbei die Infrastruktur der Netze (Netzvermittlungsstellen, Schaltkästen etc.).

Das Netz der Deutschen Telekom umfasste 1998 nach Behrendt ca. 169.000 km Kupferleitungen und 300.000 km Glasfaserleitungen (Behrendt 1998 S:65). Der Kupfergehalt allein des Netzes – ohne die Infrastruktur – wurde von Behrendt auf ca. 300.000 t geschätzt. Im Jahre 2001 wurden jedoch die Netzkennzahlen von der Telekom aktualisiert. Für das Jahr 2005 nennt die Telekom deshalb ein

¹⁰ Modem = Modulator und Demodulator. Ein Gerät, welches digitale Daten in analoge Daten und wieder zurück umwandelt. Mit einem Modem ist es möglich, digitale Informationen in das analoge Telefonnetz zu übertragen.

¹¹ In den neunziger Jahren wurden versuchsweise Glasfaseranschlüsse als Hausanschlüsse in einigen Pilotgebieten verlegt. Da es jedoch nicht möglich war, einen schnellen Internetzugang wie DSL über Glasfaser anzubieten, wurden beispielsweise in Kleinmachnow in der Siedlung Stolper Weg nachträglich in den letzten Jahren auch noch ISDN-Anschlüsse auf Kupferbasis verlegt.

Kupfernetz von ca. 1,48 Mio. km und ein Glasfasernetz von 206.300 km (Telekom 2006). Allerdings macht die Telekom hierbei keine Angabe hinsichtlich der Masse an Kupfer. Würde man die spezifischen Werte von Behrendt (1,775 t/km) auf die Leitungslängen der Telekom von 2005 übertragen, so erhielte man eine Kupfermasse von 2,63 Mio. t Kupfer.

Zum Aufbau eines Kabelnetzes für die Telekommunikation mit ca. 50 Millionen Festnetzanschlüssen¹² (Stand: 2005, Telekom o.J.) hatte die Telekom ein Netz mit einer Länge von ca. 1,8 Mio. km (Stand: 2005) aufgebaut, welches zu 7/8teln auf Kupfer basierte.

1.4 Internet

Aus einer einfachen Kommunikationsverbindung zwischen Forschungsinstitutionen hat das CERN 1992 das öffentliche World Wide Web entwickelt (Wersig 2000:187).¹³ Was ursprünglich nur der Vernetzung von (leistungsschwachen) Rechnern gedient hatte, entwickelte sich zum dritten Massenkommunikationsmedium.¹⁴ Die steigende Bedeutung des Internets geht mit einer zunehmenden Verbreitung von Computern in Haushalten einher. Die zunächst wichtigste Applikation war die E-mail, später folgten dann nach der Entwicklung von Browsern und einfachen Programmen zur Erstellung von Webseiten eine umfassende Informationsbereitstellung und deren Nutzung im Internet. Neuere Trends sind der Chat im Internet sowie die Präsentation von Personenprofilen auf speziellen Kommunikationsplattformen. Mit der Einführung weitergehender Angebote, die auch bidirektional ausgelegt sind, findet das Internet immer mehr Verbreitung und wird auch kommerziell in umfassender Weise genutzt.

Die Nutzung des Internets basierte zunächst auf den einfachen Telefonleitungen und Modems, mit denen digitale Signale der Computer für die Übertragung analogisiert wurden um sie anschließend wieder zurückzuwandeln. Hierdurch waren nur geringe Bandbreiten und Übertragungsraten möglich, die schnell die Zugänglichkeit begrenzten. Mit der Einführung des digitalen ISDN's und später neuer Protokolle wie z.B. DSL und seiner Weiterentwicklungen wurde diese „Analogschwachstelle“ behoben. Zudem wurden für den regionalen, nationalen und internationalen Datenverkehr zunehmend Glasfasernetze sowohl kontinental als auch für Seekabel verwendet. Der opto-elektronische Datentransfer zeichnet sich gegenüber dem digitalen Datenverkehr mit Kupferkabeln durch wesentlich höhere Bandbreiten und höherer Geschwindigkeiten aus. Teilweise werden heutzutage auch Satellitenübertragungen für die Datenübertragung eingesetzt, die jedoch relativ teuer sind. Im Ergebnis ist ein weltumspannendes Leitungsnetz aus Kupferkabeln und Glasfasern entstanden, welches die zahlreichen nationalen und regionalen Netze miteinander verbindet. Die Verbindung wird durch sogenannte Internet-Knoten – sehr leistungsstarken Rechenzentren – hergestellt, die direkt miteinander verbunden sind. Es gibt im Internet somit keine Zentrale, die das ganze System steuert, sondern nur eine Vielzahl von Zentralen, die kleinere Netze steuern.

Der wesentliche Infrastrukturbestandteil des Internets ist das kabelgestützte Telekommunikationsnetz, auf welchem sowohl der Datentransfer als auch die Telefongespräche laufen. Im Anschlussnetz basiert dies auf Kupferleitungen (ISDN-System), im Fern- und Regionalnetz auf Glasfaser und Kupferleitungen. Dazu gehören zur Infrastruktur aber auch noch die Netzknoten. Diese sind eigentlich Rechenzentren, die den Datenverkehr steuern. In Deutschland ist der zentrale Netzknoten DE-CIX in Frankfurt. Dazu kommen noch regionale Netzknoten¹⁵ in Berlin (2), Düsseldorf, Hamburg (3), Essen, Frankfurt am Main (3), Leipzig, München, Münster, Nürnberg und Stuttgart.

¹² Hierbei ist die Anzahl der Analogkanäle identisch mit den Telefon-Kanälen, wohingegen bei ISDN zwei Kanäle und bei ISDN-Primärmultiplex 30 Kanäle vorliegen. Insgesamt gab es 8,5 Mio. Breitbandanschlüsse und 41,2 Mio. Standardanschlüsse mit ca. 55 Mio. Telefonkanälen.

¹³ Vorläufer war ein militärisches Projekt „Arpanet“ des US-Militärs.

¹⁴ Alternativ kann auch der Mobilfunk als drittes Massenkommunikationsmedium bezeichnet werden.

¹⁵ In manchen Städten gibt es mehrere regionale Netzknoten.

Weltweit gab es in 2006 jedoch schon ca. 1,2 Mrd. berufliche oder private Nutzer des Internets. In Deutschland hatten in 2006 ca. 67 % der Haushalte einen Zugang zum Internet (tns Infratest 2007:179).

1.5 Wireless Local Area Network WLAN

WLAN ist ein drahtloses Funknetzwerk, welches zunächst in der IT-Gerätekommunikation in Räumen oder Gebäuden genutzt wurde. Mit zunehmender Technologieentwicklung entwickelt sich WLAN auch zu einer Übertragungsform, die auf lokaler Ebene von unterschiedlichen Nutzern offen genutzt werden kann. Im Prinzip können WLAN-Netze ganze Städte umspannen, wenn eine Basisstation (Access Point) die Koordination aller anderer Netzknoten (Clients) übernimmt. Hierdurch wird beliebigen Nutzern ein lokales, kabelloses und frei zugängliches Internet zur Verfügung gestellt. WLAN wurde zunächst in zahlreichen besucherintensiven Gebäuden (Hotels, Flughäfen, Bahnhöfen) installiert, inzwischen gibt es aber auch in ganzen Stadtteilen sogenannte Hot-Spots für die kabellose Kommunikation im Internet. Auf europäischer Ebene gibt es auch Beispiele in der Stadtentwicklung (z.B. Arabian Ranta in Finnland), bei denen die kabellose Kommunikation über WLAN zur vollständigen Erschließung von Gebäuden auf der „letzten Meile“ genutzt wird. Im Unterschied zum WLAN ist das WPAN – Wireless Personal Area Network – auf geringere Distanzen beschränkt. Das wichtigste Beispiel für WPAN sind Blue Tooth Applikationen, die zur kabellosen Gerätekommunikation dienen.

1.6 Öffentlicher Mobilfunk

1958 wurde das erste Mobilfunknetz von der Deutschen Post (A-Netz, handvermittelt, „öffentlicher beweglicher Landfunk“, maximal 10.000 Teilnehmer, v.a. Autotelefone) eingerichtet. 1972 wurde das B-Netz mit Selbstwahl eingeführt (max. 27.000 Teilnehmer). Die Kommunikation zwischen Mobilfunkteilnehmern erfolgt mittels mobilen Endgeräten, deren Signale von Basisstationen erfasst und zu dem angesprochenen Teilnehmer weitergeleitet werden. Aufgrund der Attraktivität der mobilen Kommunikation wurden schnell weitere Netze von der Deutschen Post eingerichtet. Mit der Liberalisierung des Telekommunikationsmarktes wurden weitere Netze von privaten Betreibern aufgebaut und Frequenzen der bestehenden Netze von anderen genutzt. Seit 1990 wurde vor allem die Digitalisierung der Netze vorangetrieben, um mehr Teilnehmer gleichzeitig zu bedienen und diesen auch zu ermöglichen, mehr Informationen zu übertragen. Neue Verfahren wie das seit etwa 2000 entstehende UMTS-Netz¹⁶ ermöglichen Datenübertragungsverfahren mit hoher Bandbreite, die schnelle Internetzugänge oder Fernsehen über Mobiltelefon ermöglichen.¹⁷ Der ursprüngliche Mobilfunk wurde auch in den neunziger Jahren um weitere Applikationen erweitert. Hierbei ist zunächst der Short Message Service (SMS) zu erwähnen, der als Kurzform der E-mail oder des Fax anzusehen ist. Mit zunehmender Bandbreite und komfortableren Endgeräten ist es nun auch möglich, E-mails auf Handys zu empfangen und zu versenden. Eine weitere Überschneidung mit anderen Applikationen ist die Verwendung des Mobilfunks zur Navigation (Stadttouren) und Ortung.

Die wesentlichen Bestandteile eines Mobilfunknetzes sind die Mobilfunk-Basisstationen BTS¹⁸, das Switching-System und das Mobile Switching Center MSC. BTS und das Switching-System sind zumeist unmittelbar lokal zueinander zugeordnet und steuern die einzelnen Funkzellen.

Die BTS empfängt die eingehenden Nachrichten oder sendet vermittelte Nachrichten über eine Antenne. Sie wandelt analoge Funksignale in digitale um und sendet sie weiter an das Switching

¹⁶ International wird UMTS auch als WCDMA bezeichnet. Hierdurch ist eine Datenübertragungsrate von 2 Mbit/s möglich (31-fache ISDN-Geschwindigkeit), auch wenn derzeit nur 384 kBit/s verfügbar sind aufgrund der Netzarchitektur (tns Infratest 2006:245).

¹⁷ GSM hat eine typischen Übertragungsgeschwindigkeit von 9,6 kbit/s. HSCSD erreicht theoretisch 115,2 kbit/s, wobei man in der Praxis von 57,6 kbit/s bzw. 38,4 kbit/s vorfindet. Bei GPRS liegt die Übertragungsgeschwindigkeit theoretisch 171,2 kbit/s, wobei in der Praxis eher 58 kbit/s vorkommen. Bei UMTS liegt der theoretische Wert bei 2 Mbit/s (vgl. zdnnet o.J.).

¹⁸ BTS = Base Transceiver Stations, im UMTS-System werden diese auch Radio-Network-System RNS genannt.

System und umgekehrt.¹⁹ Hierzu gibt es Sprach- und Datenkanäle. Basisstationen haben neben den Antennen und dem Antennenkabel einen Verstärker. Weiterhin gehören zu einer Basisstation (zumeist) ein Kühlaggregat, eine Notstromversorgung und ein Verteilschrank. Wenn die Basisstationen im Freien stehen, gibt es noch ein Gehäuse (Container), in der die Basisstation untergebracht ist sofern sie nicht auf einem Hausdach oder auf dem Dachboden untergebracht ist. Ein weiteres Element der Basisstation ist der Antennenturm.

Das Switching-System umfasst alle Elemente, die die Basisstation (BTS) und die Gesprächsvermittlung steuern (Funkschau 2001:1); es ist die eigentliche Telefonzentrale für den Mobilfunk (Emmenegger et al. 2003). Dieses System enthält einen Radio-Network-Controller (RNC) bzw. GSM-Netz Basisstationen-Controller (BSC). Der RNC bzw. BSC ist ein Steuerungsrechner, der den Wechsel zwischen den Zellen bzw. Antennen und auch die Signalstärken steuert.

Die BTS und die RNC sind an das Mobil Switching Center MSC angeschlossen. Dieser Vermittlungsknoten stellt die Verbindungen zwischen den Teilnehmern her und regelt auch Übergänge zu Partnernetzen sowohl für Mobil- als auch Festnetzgespräche. Das MSC kann hierzu auf Datenbanken zurückgreifen (Home Location Register HLR und Visitor Location Register VLR).

In 2006 gab es schätzungsweise 2,4 Mrd. Mobilfunknutzer weltweit (tns Infratest 2007:125). Ende 2006 gab es in Deutschland je 100 Einwohner ungefähr 104 Mobilfunkverträge, so dass – statistisch gesehen – jeder Deutsche mit Mobilfunk erreichbar wäre (ebd. 134).

Quantitative Aussagen über die Nutzung von Kupfer für die Verkabelung zu Kommunikationszwecken sind nur äußerst schwierig zu treffen, da die Netzbetreiber hierzu keine Daten veröffentlichen. Bisher liegen nur allgemeine Schätzungen zum Materialaufkommen für die Mobilinfrastruktur beispielsweise in Italien vor. Frederico schätzt hierbei, dass die Materialintensität für das GSM-Netz bei ca. 134 kg pro Einwohner liegt und der ökologische Rucksack eines Mobiltelefons bei 75,5 kg. (Frederico 2001, zitiert nach Hilty 2003:213). Auf Basis von Literaturstudien und eigenen Erhebungen hat Wittmer den Stoffhaushalt für Kupfer in der Schweiz abgeschätzt (ders. 2006). Hierbei wurden sowohl Gebäude als auch Infrastrukturen untersucht. Das Kommunikationsnetz umfasst Netzlängen von ca. 138.000 km für die Telekommunikation (Kupferkabel), für die Koaxialkabel ca. 2.000 km und für das Glasfasernetz ca. 11.000 km (Wittmer 2006:51). Auf Basis verschiedener Annahmen lässt sich dann die gesamte Kabelmasse für die Telekommunikation berechnen. Wittmer kommt hierbei zum Ergebnis, dass die Lagermenge für Fernmeldekabel ca. 108.000 t und für Koaxialkabel ca. 9.000 t beträgt (ebd.:84). Wesentlich größere Mengen – mehr als 600.000 t – werden im Stromnetz der Schweiz genutzt (ebd.:85).

1.7 Spezieller Mobilfunk

Mobilfunk wurde vor allem vom Militär und der zivilen Luftfahrt seit langer Zeit genutzt. Auch die Polizei (Polizeifunk) nutzte die Mobilfunkkommunikation schon seit den fünfziger Jahren. Im privaten Bereich wurde der Mobilfunk von „Hobbyfunkern“ genutzt. Später wurden verschiedene Frequenzen von unterschiedlichen Akteuren genutzt wie z.B. Taxifunk, der Deutschen Bundesbahn oder von Fernfahrern. Mit der Verbreitung des öffentlichen Mobilfunks und der dort verwendeten Technologien werden für diese Anwendungen zumeist nur noch wenige Frequenzbereiche reserviert. Seit einiger Zeit wird jedoch ein digitaler Polizeifunk (TETRA-System) aufgebaut. Dieser sollte eigentlich schon zur Fußballweltmeisterschaft vor einigen Jahren in Deutschland verfügbar sein, aber aufgrund technischer Probleme kam es immer wieder zu Verzögerungen.

¹⁹ Im UMTS-System heißt dies Node B.

1.8 Hörfunk

Der Hörfunk wurde seit ca. 1920 vor allen in den damaligen Industriestaaten entwickelt und genutzt. Vor Erfindung des Fernsehens wurde er zum ersten Informationsmassenmedium bis er Anfang der sechziger Jahre vom Fernsehen verdrängt wurde. Bei Hörfunk werden akkustische Signale mit Mikrofonen aufgezeichnet und über Sendeanlagen breit in den Äther gesendet. Je nachdem, ob die Signale als Bodenwelle oder als Raumwelle – mit einer Reflexion an der Ionosphäre – gesendet werden, ist die Reichweite unterschiedlich regional (Bodenwelle UKW und Mittelwelle), national, international oder global (Raumwelle Lang- oder Kurzwelle). Der Empfang erfolgt mit geeigneten Antennen beim Nutzer. Der analoge Hörfunk wird wie das analoge Fernsehen in Deutschland in Zukunft nach ca. 2013 nicht mehr von den Rundfunksendern abgestrahlt. Mit der Digitalisierung des Hörfunks werden auch zunehmend Radioprogramme über das Internet „ausgestrahlt“. Auch über das Kabelfernsehen sind die digitalen Rundfunkprogramme zu empfangen.

1.9 Fernsehen

Antennenfernsehen

Die Übertragung von bewegten schwarz-weiß Bildern und von Tönen basiert auf Entwicklungen von Baird und Mihaly, die in den zwanziger Jahren die ersten Fernsehbilder mittels hochfrequenter Signale übertrugen. Hierbei wurden schon die aufgenommenen Bilder punkt- und zeilenweise abgetastet und die Helligkeitswerte erfasst. Anschließend erfolgte eine Sendung der so aufgelösten Bilder in hochfrequenter Form über Antennen mit großer Sendeleistung. Haushalte empfangen die Bilder mit eigenen Antennen und die Fernsehgeräte wandelten die Signale wieder in Bilder um. Mit der Einführung des Farbfernsehens und der Entwicklung von Systemen zur Übertragung der Farbinformation (PAL- und SECAM-System) entwickelte sich das Antennenfernsehen zu dem zweiten IuK-Massenmedium. Schon in den achtziger Jahren zeigten sich jedoch die Grenzen des Systems, da die Bildwiedergabegeräte zunehmend größer wurden und private Sender Übertragungsrechte beanspruchten. Größere Wiedergabegeräte mit Bilddiagonalen von mehr als 70 cm benötigen jedoch eine Übertragung von mehr Bildpunkten zu gleicher Zeit um scharfe Bilder wiederzugeben. Auch die Übertragung von mehr Fernsehprogrammen als nur die der öffentlich-rechtlichen wurde zunehmend schwieriger, da die Haushalte dann mehr Antennen benötigten. Diesen Anforderungen konnte das antennengestützt terrestrische Fernsehen mit seinen analogen Grundlagen nicht gerecht werden. In der Folge begann die Entwicklung neuer Übertragungs- und Wiedergabeverfahren die auf der digitalisierten Informationsübertragung beruhen. Dem konventionellen analogen terrestrischen Fernsehen wird deshalb keine Zukunft mehr beigemessen²⁰, sondern nur noch dem digitalen DVB-Verfahren. Auch das Internet entwickelt sich zunehmend zu einem Medium, welches die Fernsehprogramme darstellen kann.

Kabelfernsehen

Seit Anfang der 80iger-Jahre wurde ein Kabelnetz von der Deutschen Bundespost in Deutschland verlegt, welches zur Übertragung von mehr analogen Fernseh- und Hörfunkprogrammen genutzt werden sollte als es damals durch das Antennenfernsehen möglich war. Mit dem Kabelfernsehen war es dann auch möglich, private Fernsehprogramme zu übertragen. Das Kabelfernsehen ist ähnlich der Festnetztelephonie. Die Signale der Programmanbieter werden über Sendestationen in ein Kabelnetz eingespeist, welche über Vermittlungsstationen an die Endkunden über (Kupfer)Koaxialkabel bis in die Haushalte weitergeleitet werden. Analoge Geräte können unmittelbar an das Kabelfernsehen (oder Rundfunk) angeschlossen werden, so dass eine Antenne überflüssig ist. Mit der zunehmenden Digitalisierung der Fernseh- und Rundfunktechnik wurde auch das digitale Kabelfernsehen eingeführt,

²⁰ In den meisten Teilen Deutschlands – d.h. in allen Ballungsräumen und vielen Bundesländer – ist die Sendung inzwischen komplett eingestellt. Ob es jedoch noch einzelne Inseln des analogen terrestrischen Fernsehens gibt, die nicht auf DVB-T umgestellt werden konnten, konnte nicht recherchiert werden.

welches auch eine upstream-Fähigkeit ermöglicht. Im Unterschied zum analogen Kabelfernsehen werden entweder sogenannte Settop-Boxen (DVB-C Receiver) gebraucht, die den Betrieb der Geräte ermöglichen, oder Geräte, die digitale Signale verarbeiten können. Mit der Digitalisierung wurden auch weitergehende Funktionen ermöglicht wie z.B. die Telefonie über Kabel oder Internetzugänge.

Satelliten-Fernsehen

Satelliten-Kommunikation wurde anfänglich für die Telefonie und Fernschreiben genutzt. Später kam das Fernsehen und der Rundfunk und in neuerer Zeit das Internet hinzu. Beim Satellitenfernsehen werden im Unterschied zum Antennenfernsehen die Bildsignale von einer Sendestation – dem Fernsehsender – über Satellitenschüsseln zu einem orbitalen oder geostationären Satelliten gesendet, der die Signale in seinem Abstrahlbereich an die Empfänger sendet. Die individuellen Empfänger können die Signale mit einer Satellitenschüssel empfangen, die die Signale wieder entweder in analoge Signale umwandelt oder die von digitalen Endgeräten unmittelbar genutzt werden. Parallel zum Satellitenfernsehen hat sich auch der Satellitenrundfunk etabliert. Der Grund für die Nutzung von Satelliten zur Verbreitung von Fernsehsignalen liegt vor allem in der Programmausweitung. Mit dem Satellitenfernsehen können viel mehr Programme übertragen werden als dies bei terrestrischen Sendesystemen möglich ist. Dies erklärt sich auch durch die Satellitenkommunikation untereinander, da z.B. australische Fernsehprogramme leicht über Verteilsatelliten (Relaisstationen) z.B. zu europäischen Fernsehsatelliten weitergeleitet werden können. Direktsatelliten hingegen senden Signale, die mit Parabolantennen von den Nutzern empfangen werden können. Das erste Satellitenfernsehen wurde 1962 erprobt zwischen den USA und Frankreich. Hierbei wurde der Telstar-Satellit genutzt, später kamen noch Intelsat, Kopernikus und L-Sat hinzu.

1.10 Parallelität der Infrastrukturen

Die bisherigen Infrastrukturen sind vor allem durch eine Parallelität der Infrastrukturen gekennzeichnet, d.h. gleiche Inhalte werden auf verschiedenen Wegen übertragen. Man kann sowohl über den Festnetzanschluss telefonieren als auch über Mobilfunk. Man kann über den Mobilfunk, über Kabel- oder DSL-Anschluss surfen. Auf der einen Seite stehen die leitungsgebundenen Systeme mit Kupfer- und Glasfasernetzen für DSL bis hin zu ADSL2+, auf der anderen Seite stehen die vielfältigen Funknetze (digitales Fernsehen und Hörfunk, Satellitenkommunikation, WiMax, UMTS, HSDPA, GSM, GPRS, Edge, WPAN und Bluetooth, WLAN). Beide Netze werden zunehmend für gleichartige Nutzungen (Internet, Fernsehen, Hörfunk, Telefonie) genutzt. An der rasanten Entwicklung der DSL Geschwindigkeiten, 1000 bis inzwischen 16.000 kbit/s ist zu erkennen, dass angebotsorientiert ein Markt geschaffen wird, dessen Content derzeit nicht abschließend vorstellbar ist. Sicher ist mit Einschränkungen allerdings, dass mittelfristig die Übertragungsstandards für den Verbraucher immer unwichtiger sein werden. War früher mit dem Kabelanschluss nur ein Fernsehempfang möglich so ist heute auch ein Internetzugang möglich. Moderne EDV (Set-Top Boxen) stellen sicher, dass alle gängigen Protokolle interpretiert und auf den entsprechenden Ausgabeeinheiten angezeigt werden können. Der Computer kann heutzutage sowohl für das Internet als auch zum Fernsehen, für Hörfunk und zum Telefonieren genutzt werden. Ebenso haben die Fernsehhersteller nachgerüstet, die ihre Geräte auch für das Internet nutzbar machen. Die Telekom bietet Home-Entertainment an, d.h. einen digitalen Shop für das Fernsehen der – obwohl ein Internetportal – über den Fernseher verfügbar ist. Schwachstellen im Bereich des Fernsehens sind vor allem die Interaktivität, d.h. nicht alle Systeme haben einen uplink-Kanal, mit dem der Nutzer seine Bedürfnisse auch dem Netz mitteilen kann. Aber auch dies wird sicher in naher Zukunft kein Problem mehr sein.

Wenn aber auf allen Systemen gleichartige Inhalte verfügbar sind, stellt sich die Frage, welches System sich letztendlich durchsetzen wird. Bei den kabelgestützten Systemen wird es möglicherweise auf eine Datenübertragung mit Glasfaser hinauslaufen, da hier eine Konvergenz der verschiedenen Angebote (z.B. triple-play / Telefonie, Internet, Fernsehen, Video-on-demand) möglich ist. Im Gegensatz hierzu ist der Datendurchsatz auf Kupferbasis sehr begrenzt. Im lokalen Bereich werden

WLAN Netze die verschiedenen Kommunikations-/ Info- und Entertainment-Inhalte zur Verfügung stellen. Im Ansatz wird dies von Providerseite bereits umgesetzt, so hat man etwa mit einem T-Online Account die Möglichkeit, alle Hot-Spots des Unternehmens kostenfrei zu nutzen. Diverse Städte arbeiten an einer flächendeckenden WLAN Infrastruktur.

Während in den Ballungsregionen es leicht und einigermaßen kostendeckend möglich ist, mittels Glasfaserverkabelung und WLAN auch die Vorteile des Mobilfunks aufzunehmen (d.h. hohe Übertragungsraten und kabellose Verfügbarkeit), stellt sich die Situation in den ländlichen Regionen deutlich anders dar. Hier ist es nicht möglich, kostengünstig mit Glasfaserverkabelung alle Haushalte zu erreichen und auch noch WLAN-Netze in den kleinen Dörfern flächendeckend zu errichten - aufgrund zu hoher Leitungskosten bei gleichzeitig zu geringen Nutzerzahlen. In ländlichen Regionen versucht man mittels WiMax (auch eine WLAN Technik) die hohen Infrastrukturkosten der Glasfaserkabelverlegung zu minimieren. Hier soll die WLAN Technik die Landstriche an die moderne IKT anbinden. Im Bereich des UMTS Breitbandes ist es inzwischen möglich, mobil einen hohen Datendurchsatz zu erzielen. Hier sind, wie bei allen Technologien in diesem Bereich, sowohl der Downlink, als auch der Uplink bedeutende Determinanten. Der Downlink (oder Downstream) ist in der Regel höher als der Uplink (oder Upstream).

2 Architektur des Mobilfunksystems

Im Rahmen der Analyse des Mobilfunksystems wird nur der gewerblich-private Mobilfunk betrachtet, der von der Telekom, Vodafone, Eplus und Telefonica (O2) angeboten wird. Spezielle Systeme für das TETRA-System der Polizei oder der Bahn-Mobilfunk werden nicht betrachtet.

Im Mobilfunk gibt es in Deutschland inzwischen zwei digitale Standards der Signalübertragung. Der erste ist der GSM-Standard (Global System for Mobile Communication), das zweite der UMTS-Standard (Universal Mobile Telecommunication System). Die wesentlichen Unterschiede zwischen GSM und UMTS sind die Bandbreiten, die beim UMTS höher sind, sowie die Sendeleistungen, die beim UMTS geringer sind. Die Infrastruktur für GSM und UMTS ist jedoch weitgehend gleich.

Zur Vermittlung von Gesprächen sind jedoch mehr als nur Sende-Empfänger-Stationen notwendig. Gespräche vom Handy („Mobil Station“ MS) werden in einem ersten Schritt zu den Basisstationen (BTS bei GSM und RNS bei UMTS) geleitet. Eine große Anzahl von BTS bzw. RNS werden von Basisstationen-Controller (BSC bei GSM und RNC bei UMTS) zum einen gesteuert und zum anderen für die Gesprächsweiterleitung genutzt. Von diesen gehen die Gespräche zu den MSC, die gleichfalls die Controller steuern und auch die Gespräche weiterleiten. Genauso wie der BSC/RNC ist auch der MSC ein größerer Computer, der allerdings noch mit weiteren Datenbanksystemen (VLR Visitors Location Register, HLR Home Location Register, AuC Authentication Center, EIR Equipment Identity Register) verbunden ist. Wenn beispielsweise ein Mobilfunkteilnehmer angerufen wird, so landet sein Anruf zunächst in der GMSC (Gateway MSC).²¹ Diese prüft in der HLR, ob das Mobiltelefon aktuell zugelassen ist und ob das Gespräch durchgestellt werden darf. Die HLR wiederum richtet eine Anfrage an die VLR, wo sich der Teilnehmer gerade aufhält. Ist dies bekannt, bestimmt die HLR, welche MSC zuständig ist, d.h. in welchem Bereich der Teilnehmer sich gerade aufhält. Diese Informationen werden an das GMSC weitergeleitet, die das Gespräch an die zuständige MSC weiterleitet. Das MSC fragt dann wieder bei der VLR an, ob das Handy jetzt gerade verfügbar ist. Ist dies der Fall, wird der Ruf an die BSC weitergeleitet und dort an die zuständig BTS.

Das alte GSM-Netz der zweiten Generation²² wurde jedoch sukzessive erweitert, um weitere Serviceangebote bereitstellen zu können. In der zweiten Generation von GSM (HSCSD, GPRS,

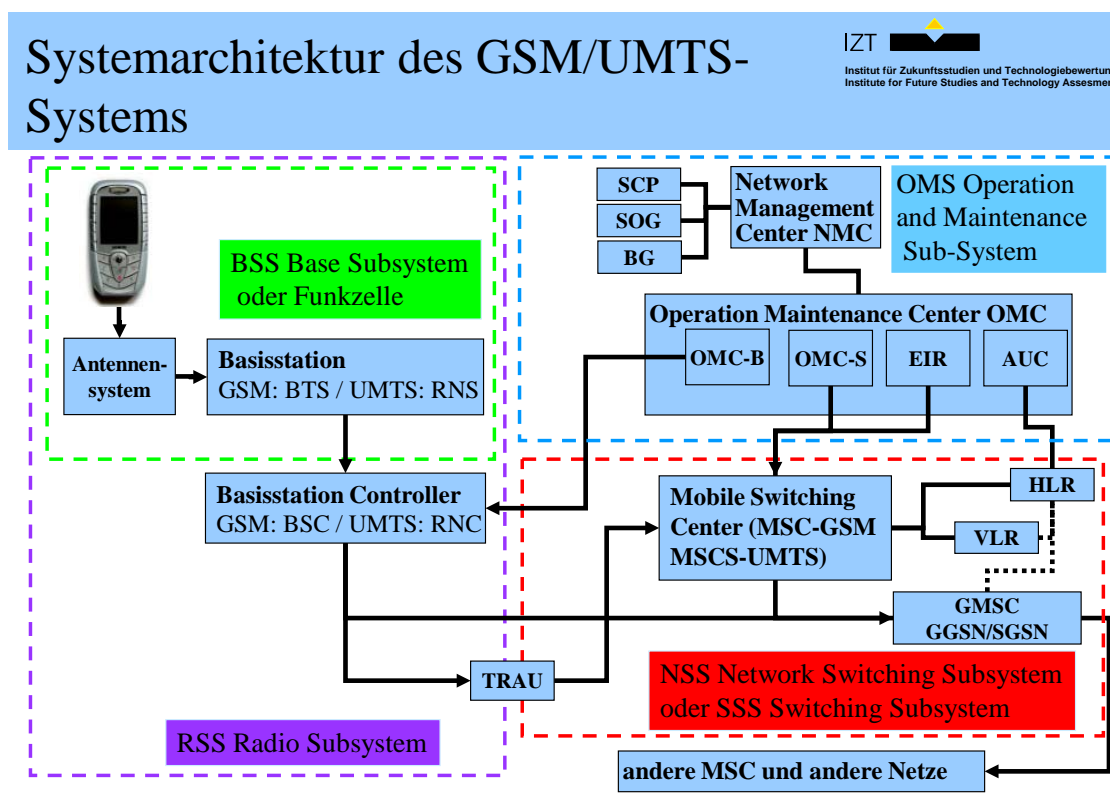
²¹ In der Literatur gibt es sehr unterschiedliche Pfade, welches Geräte sich an dieser Stelle einschaltet. Es gibt sowohl Beispiele, nach denen der Ruf zur MSC geht als auch zum GMSC.

²² Die erste Generation ist das analoge Mobilfunknetz.

EDGE etc.) wurden Schnittstellen zu Datendiensten bzw. Zugänge zum Internet eingeführt. So gut wie alle neuen Mobiltelefone unterstützen GPRS zum Beispiel als Datenübertragungsdienst für die Betrachtung von WAP-Seiten. Der Multimedia Messaging Service (MMS) basiert ebenfalls auf GPRS. Oft kann auch ein Computer oder Handheld mit dem GPRS-fähigen Mobiltelefon verbunden werden, um diesen Geräten einen schmalbandigen Internetzugang zu gewähren. Das Mobiltelefon fungiert dann als Modem. Auch wenn diese Verbindung eine geringere Datenübertragung ermöglicht als bei UMTS, so ist doch der Vorteil, dass das GSM-Netz eine höhere Netzabdeckung hat. Weiterhin können über GPRS auch Ortungsdaten zu Fahrzeugen übertragen werden. Diese Datenschnittstellen werden durch SGSN (Serving GPRS Support Node) und GGSN (Gateway GPRS Support Node) ausgefüllt.

Darüber hinaus wird das Netz durch das Operation Management Center (OMC) gesteuert. In der folgenden Abbildung ist das komplexe System schematisch dargestellt:

Abbildung 3: Architektur des Mobilfunksystems



Dr. Michael Scharp/MaRes

Quelle: Eigene Darstellung

Der erste Systemteil (BSS Base Subsystem) in der Architektur des Mobilfunksystems bildet das Base Subsystem BSS mit den Antennen und den Basisstationen²³. Das Mobiltelefon sendet seine Signale an die Antennen, denen unmittelbar die BTS bzw. RNS zugeordnet sind (vgl. Abbildung 3) und die sich vor Ort in der Nähe der Handybenutzer befinden. Die Basisstation ist zwar der zentrale „Anlaufpunkt“ des Nutzers, ist jedoch nicht identisch mit der Funkzelle. Basisstationen können eine Funkzelle bilden, können aber auch mehrere Funkzellen gleichzeitig bedienen. Nach ISI / CEPC ist der Anteil der Funkzellen ca. 2 bis 3 mal höher als die der Basisstationen (ebd. 2003:101). Die Zahl der Funkzellen ist für die Infrastruktur des Mobilfunks jedoch in primärer Hinsicht nicht relevant.²⁴ Aufgrund eines sich im Laufe der Jahre entwickelnden Bedarfs für die Datenübertragung wurde das

²³ Im GSM-Netz an die BTS (Base Transceiver Station), im UMTS-System an den RNS (Radio-Network-System oder auch Node B).

²⁴ Bezüglich der Handlungsoptionen sollte geprüft werden, ob eine Optimierung der Funkzellen eine Reduktion der materiellen Basisstationen ermöglichen könnte.

GSM-System sukzessive erweitert. In den 90iger-Jahren war es zunächst GPRS, mit dem auch Daten übermittelt werden konnten (z.B. Webmails). Später erfolgte die Einführung der EDGE-Technologie mit einer höheren Datenübertragungsrate, so dass das GSM immer ähnlicher hinsichtlich seiner Leistungsfähigkeit zu dem UMTS-System wurde.

Der zweite Systemteil (RSS Radio Subsystem) umfasst die Basisstation, den Basisstationscontroller (BSC/RNC) und den TRAU (Transcoding and Rate Adaptation Unit).²⁵ Die Basisstationen leiten die Signale an den Basisstation Controller (BSC/RNC), der zahlreiche Basisstationen steuert. Die Verbindung zwischen den Basisstationen und den Basisstationen-Controller (BSC/RNC) kann über Leitung oder Richtfunk erfolgen. Der Controller entscheidet über die Nutzung der Funkkanäle, die Leistungsregelung und Handover.²⁶ Bevor das Signal weitergeleitet wird, wird es vom TRAU in eine höhere Bitrate umgewandelt. Der TRAU ist aber physisch zumeist dem nachfolgenden Switching System zugeordnet und sendet die Signale an die nächste Ebene.

Der dritte Systemteil ist das Network Switching Subsystem (NSS) oder einfach Switching Subsystem. Das NSS ist die eigentliche Vermittlungsebene, bei der eingehende Anrufe an den Angerufenen weitergeleitet werden. Im NSS werden auch die Verbindungen mit den anderen Mobilfunknetzen sowie den Festnetzen (Telefon, Internet) geschaltet. Kernstück des NSS ist das MSC – Mobile Switching System – bzw. SGSN im UMTS-Netz – welches die Verwaltung der Verbindungen und die Nutzerdatenverwaltung übernimmt. Darüber hinaus werden die BSC bzw. RNC von den MSC vernetzt und gesteuert. Verschiedentlich werden in der Literatur auch BSC bzw. RNC und die zugehörigen MSC zum Switching System zusammengefasst, da die Basisstationscontroller BSC/RNC zumeist mit den MSC in Rechenzentren zusammengefasst sind. Die MSC werden zumeist über ein Kabelsystem vernetzt, welches auch die Schnittstelle zu den kabelgestützten Systemen (Festnetz, Internet) darstellt. Zur Abwicklung der Gespräche nutzt die MSC verschiedene Datenbanksysteme. In dem HLR (Home Location Register) sind die Daten der Kunden gespeichert für die Gebührenabrechnungen, Zugriffsberechtigung (SIM-Karte) oder aktuelle Einstellungen des Nutzers (z.B. Rufumleitung). In dem VLR Visitor Location Register – einer „Besucherdatei“ – sind die Adresse und die Rufnummer des Handys gespeichert und an die jeweiligen MSC gesendet. In diesem Register wird auch der aktuelle Standort des Nutzers verzeichnet und ständig aktualisiert. Über den MSC erfolgen auch die Anschlüsse an die anderen Netze (Kabeltelephonie, Internet). Die MSC sind zumeist über das Kabelverbindungsnetz untereinander verbunden. Dem NSS sind auch die Schnittstellen zum Festnetz, dem Internet und die anderen Mobilfunknetze zugeordnet. Dies erfolgt über die GMSC Gateway MSC bzw. GGSN Gateway GPRS Support Node. Die GMSC muss hierbei zur Ermittlung des Standorts des angerufenen Teilnehmers in der HLR des jeweiligen Netzes diesen ermitteln.

Der letzte Systemteil ist das OMS Operation and Maintenance Subsystem, welches zum einen das gesamte Netz steuert und über das Wartungsarbeiten an den Teilsystemen vorgenommen werden können. In das OMS fallen das NMC Network Management Center, welches die Schnittstelle zwischen der Kundenbetreuung (Administration) und der Netztechnik bildet sowie das OMC Operation Management Center²⁷, welches das Netz steuert und überwacht. Zu dem OMC zählen die OMC-B, welche die Basisstationscontroller überwachen und die OMC-S, welche die MSC überwachen. Zum OMC zählen auch weitere wichtige Datenbanken. Dies sind die EIR – Equipment Identity Register, in der die internationale Kennung des Handys gespeichert ist und die zur Sperrung im Falle des Verlustes des Geräts benötigt wird. Die zweite Datenbank ist das AuC – Authentication Center, die die Funkschnittstelle abhörsicher machen soll und Verschlüsselungskennzeichen der SIM-Karte enthält und zu deren Identifizierung notwendig ist. Beide Datenbanken sind allerdings physisch bei den MSC angebunden.

²⁵ Im Rahmen der Recherche konnte nicht geklärt werden, ob heutzutage der TRAU noch als eigener Systembestandteil aufgeführt werden sollte oder nicht.

²⁶ Die letzten Merkmale können auch von den Basisstationen übernommen werden. Vgl. ELKO o.J.:2.

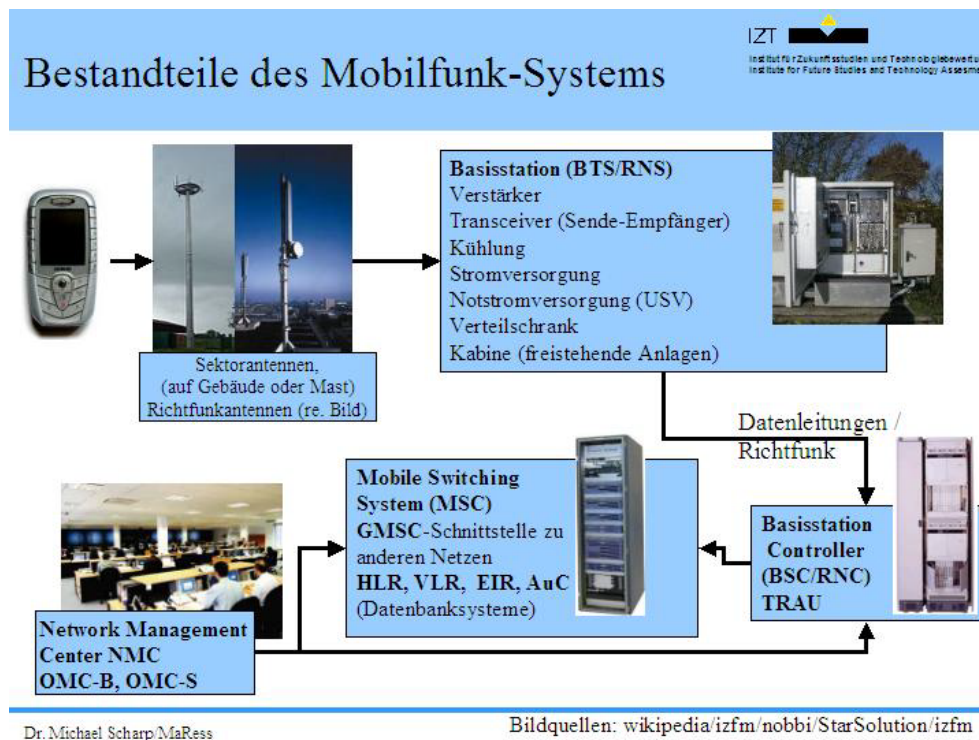
²⁷ In der Literatur wird auch häufig der Begriff NMC Network Management Center gebraucht.

Für die Kundenbetreuung sind drei Systeme von Bedeutung: der SCP Service Control Point, der Dienste für den Nutzer aktiviert; das SOG Service Order Gateway, welches das Switching-System mit der Administration verbindet und das BG Billing Gateway zur Erfassung gebührenrelevanter Daten (Ericsson 2001).

2.1 Primäre Bestandteile der Mobilfunk-Systemteile

Wie oben dargestellt, sind die Infrastrukturbestandteile der beiden Systeme sehr ähnlich. Ein wichtiger Unterschied – der sich auch auf die Materialbilanz der Infrastruktur auswirkt – ist die unterschiedliche Zellgröße der Basisstationen. Die Zellgröße im GSM-System beträgt in der Stadt wenige hundert Meter und auf dem flachen Land bis hin zu ca. 35 km. Die Zellgröße im UMTS-System ist wegen geringer Sendeleistung deutlich geringer und liegt eher im Bereich bis zu wenigen hundert Metern. Aufgrund dessen ist die Anzahl der Basisstationen, die für ein flächendeckendes UMTS-Netz benötigt wird, deutlich höher als für ein GSM-Netz.²⁸ ISI/CEPC gehen davon aus, dass zur gleichwertigen Versorgung mit UMTS ca. 2-3 Basisstationen gegenüber GSM notwendig sind (ISI/CEPC 2003:100). Allerdings wird dies erst mittel- bis langfristig erfolgen, da GSM und UMTS auf eine nicht absehbare Zeit nebeneinander bestehen bleiben.

Abbildung 4: Bestandteile des GSM/UMTS-Systems



Quelle: Eigene Darstellung. Bilder: wikipedia (Handy) / izfm (Antenne rechts) / nobbi.com (Antenne links, BTS) / Starsolution (MSC/BSC) / izfm (NMC)

²⁸ Die schlechtere Abdeckung ist insbesondere bei Bahnfahrten zu sehen, wenn ein Mobilfunkgerät von UMTS auf GSM wechselt. Dies ist vor allem auf Bahnstrecken abseits von dichter besiedelten Räumen zu sehen.

2.1.1 Basisstationen (BTS/RNS)

Anzahl der Basisstationen

Es sind nur wenige Zahlen zu der Anzahl der Basisstationen verfügbar, da auch die Netzbetreiber keine hinreichenden Angaben machen.²⁹ Nach dem Informationszentrum Mobilfunk (IZMF) gibt es in Deutschland „derzeit“ 62.000 Basisstationen (ohne Jahresangabe und ohne Unterscheidung zwischen UMTS und GSM, dies. o.J.). Um eine flächendeckende Versorgung von Deutschland mit UMTS zu erreichen – wie es bei der Vereinbarung der UMTS-Lizenzen vereinbart war – müssten ca. 30.000 bis 40.000 UMTS-Basisstationen errichtet werden (NIK 2004:77; RegTP 2001). In 2007 hat die Bundesnetzagentur weitere Zahlen zur Anzahl der Basisstationen veröffentlicht. Mit dem Stand März 2007 sollten 67.000 GSM- und 36.000 UMTS-Basisstationen existieren (BNA Bundesnetzagentur 2007:6). Im Jahresbericht 2009 wurde die Anzahl der UMTS-Basisstationen von der BNA mit 39.000 angegeben, aber keine Aussage zur Anzahl der GSM-Stationen gemacht (Bundesnetzagentur 2009:55).³⁰ In der folgenden Tabelle sind die recherchierbaren Werte zu den Basisstationen sowie die Prognosen aus zwei Forschungsprojekten der Jahre 2003 und 2004 aufgeführt:

Tabelle 7: Entwicklung der Basisstationen (ISI/CEPC und NIK).

Element	2001	2005	2007 BNA (2009 BNA)	Anzahl 2010 (ISI/CEPC)	Anzahl 2010 (NIK)
GSM Basisstation gesamt	50.700	62.900 [#]	67.000	63.000 [#]	65.000 [#]
GSM Vermittlungsstandorte gesamt	230	286 [#]		286 [#]	
UMTS Basisstation gesamt	0	20.600 [#]	36.000 (39.000)	79.200 [#]	60.000 [#]
UMTS Vermittlungsstandorte gesamt	0	86 [#]		330 [#]	

Quelle und Anmerkung: Fraunhofer ISI / CEPC (2003): zitiert nach NIK 2004:31. # = Prognose (2005/2010)

Nach ISI/CEPC ist nicht davon auszugehen, dass sich die Zahl der GSM-Basisstationen deutlich höher entwickeln wird als in ihren Prognosen für das Jahr 2010, da nach Auskunft der Netzbetreiber dieses Netz ausreichend flächendeckend ist. Eine gewisse Unsicherheit hinsichtlich der Erweiterung des GSM-Netzes besteht in der Einführung von Modifikationen des GSM-Netzes wie z.B. durch HSCSD oder GPRS, da diese Erweiterungen an den bestehenden GSM-Stationen ansetzen und nicht sicher ist, ob hierzu auch Modifikationen der Basisstationen z.B. in großen Zellen notwendig sind. Hiervon sind insbesondere Basisstationen betroffen, die nicht auf die neuen Modifikationen umprogrammierbar sind (vgl. ISI/CEPC 2003:101).

Auf Basis der Recherchen zu der Verteilung der Basisstationen auf die verschiedenen Netzbetreiber konnten die folgenden Daten für unterschiedliche Jahre ermittelt werden:

²⁹ In einer Datenbank der Netzagentur können alle Stationen angezeigt werden. Vgl. <http://emf.bundesnetzagentur.de/gisinternet/index.aspx?User=1000&Lang=de>.

³⁰ Für das erste Quartal 2009 hat die Bundesnetzagentur die Zahl der UMTS-Basisstationen mit 39.000 angegeben, also 3.000 mehr als oben angenommen. Hierbei ist zum einen zu berücksichtigen, dass UMTS und GSM wenn möglich an einem Standort zusammengefasst werden, d.h. die zusätzlichen Stationen könnten in vorhandene GSM-Stationen integriert sein. Zum anderen verwenden die Netzbetreiber inzwischen duale Systeme, die sowohl UMTS als auch GSM übertragen können. Bei diesem dualen Ausbau werden die GSM-Stationen im Prinzip aufgelöst. Da die BNA hierzu aber keine Aussage macht, wird der neuere Wert der BNA für die UMTS-Stationen nicht verwendet.

Tabelle 8: Entwicklung der Basisstationen für verschiedene Jahre (Netzbetreiber).

Element	T-Mobile	Vodafone	E-plus	o2	Gesamt
GSM Basisstation	19.000 (a)	17.000 (a)	13.000 (a)	9.000 (a)	58.000 (a)
	-----	-----	17.950 (b)	-----	-----
	19.000 (g)	18.000 (e)	18.000 (g)	12.000 (c) 17.000 (d)	67.000 (g)
UMTS Basisstation	7.000 (f)	-----	-----	-----	-----
	10-12.000 (a)	8-10.000 (a)	1-2.000 (a)	keine eigenen (a)	20.000 (a)
	-----	-----	5.800 (b)	-----	-----
	-----	-----	-----	8.000 (c)	-----
	12.000 (g)	10.000 (g)	5.800 (g)	8.000 (g)	35.800 (g)

Quellen und Anmerkungen: a = NIK 2004 für das Jahr 2004; b = Angaben auf Wikipedia für das Jahr 2007 für e-plus; c = Angaben von o2 für das Jahr 2008, vgl. auch Network Computing 2008; d = laptopkarten.de, Mitteilung Februar 2008, <http://www.laptopkarten.de/UMTS-Netzabdeckung/umts-abdeckung.html>, e = Angaben des Handelsblattes für da Jahr 2008; f = Unternehmensangaben von T-Mobile für das Jahr 2002; g = eigene Schätzung oder Übernahme von Daten aus den Schätzungen.

Fasst man die Ergebnisse zusammen, so dürfte der Bestand an Basisstationen in 2008 zwischen 60.000 und 70.000 für das GSM-Netz liegen. Der untere Wert würde sich ergeben, wenn sich die Prognosen von ISI/CEPC nicht vollständig erfüllt hätten. Der höhere Wert würde sich ergeben, wenn zusätzlich zu den Angaben der Unternehmen (Tabelle 8) die Telekom und Vodafone ihre Anzahl der Basisstationen noch ausgeweitet hätten. Schwieriger hingegen ist die Zahl der UMTS-Basisstationen zu beurteilen. In 2004 sollen es nach NIK ca. 20.000 Stationen gewesen sein. Übernimmt man alle Schätzungen aus den verschiedenen Jahren mit den jeweiligen Maximalwerten für das Jahr 2008, so ergeben sich ca. 36.000 Basisstationen für UMTS. Allerdings sollte der UMTS-Ausbau von O2 erst im Jahre 2009 vollständig erfolgt sein (Network Computing 2008). Nach der Bundesnetzagentur waren an 70 % aller Mobilfunkstandorte somit UMTS verfügbar. Für das erste Quartal 2009 hat die Bundesnetzagentur die Zahl der UMTS-Basisstationen mit 39.000 angegeben, also 3.000 mehr als oben angenommen. Hierbei ist zum einen zu berücksichtigen, dass UMTS und GSM wenn möglich an einem Standort zusammengefasst werden, d.h. die zusätzlichen Stationen könnten in vorhandene GSM-Stationen integriert sein. Zum anderen verwenden die Netzbetreiber inzwischen duale Systeme, die sowohl UMTS als auch GSM übertragen können. Bei diesem dualen Ausbau werden die GSM-Stationen im Prinzip aufgelöst. Da die BNA hierzu aber keine Aussage macht, wird der neuere Wert der BNA für die UMTS-Stationen nicht verwendet (Bundesnetzagentur 2009:55).

Von gewichtiger Bedeutung sind noch zwei Faktoren: Die Mehrfachnutzung von Standorten durch mehrere Netzbetreiber und die Anzahl der UMTS-Stationen, die in einer GSM-Station integriert sind. Standorte für Basisstationen werden von den Netzbetreibern häufig gemeinsam genutzt. Nach einer Analyse der Bundesnetzagentur für das Jahr 2004 waren nur ca. 30 % der Standorte mit einer Funkanlage ausgerüstet. Nimmt man die von der Bundesnetzagentur ermittelten Zahlen als Grundlage für die Berechnung der Standorte, so würde sich das folgende Bild ergeben, wenn man als unteren Wert der Basisstationen 90.000 (BTS und RNS) und als oberen Wert 106.000 (BTS und RNS) ansetzen würde:

Tabelle 9: Standortmitnutzung von Mobilfunkanlagen (2004) und Umrechnung auf die Standortzahlen in 2008

Element	Anteil 2004	Anlagenzahl	Minimalwert 2008	Maximalwert 2008
Standort mit einer Funkanlage	29 %	1	26.100	30.700
Standort mit zwei Funkanlagen	40 %	2	18.000	21.200
Standort mit drei Funkanlagen	19 %	3	5.700	6.700
Standort mit vier Funkanlagen	8 %	4	1.800	2.100
Standort mit fünf und mehr Funkanlagen	4 %	5	720	850
Summe	51.108		52.300	61.620

Quelle und Anmerkungen: Standortverteilung gemäß Bundesnetzagentur für das Juli 2004, Anlagenzahl 51.108. Da es keine Hinweise gibt, wie viel Prozent der Anlagen fünf, sechs, sieben oder mehr Funkanlagen haben, muss hierbei eine Annahme getroffen werden über die Zahl der Anlagen. Es wird deshalb angenommen, dass maximal fünf Anlagen pro Standort möglich sind. Die Minimal- und Maximalwerte sind die oben angeführten Schätzwerte.

Problematisch ist jedoch, dass keine Unterscheidung zwischen BSC und RNC gemacht wird, denn von entscheidender Bedeutung für die Abschätzung einer Ressourcenbilanz ist, ob GSM- und UMTS-Standorte getrennt sind oder ob es gemeinsame Standorte sind. Ein gemeinsamer Standort bedeutet, dass bestimmte Bauelemente wie Stromversorgung, Kühlung oder Masten gemeinsam genutzt werden. Eine einfache Differenzbildung der Standortzahlen von GSM und UMTS ist jedoch nicht möglich, da GSM die Fläche der Bundesrepublik Deutschlands abdeckt, UMTS jedoch nur die Ballungsräume, die Städte und die bevölkerungsreichen Gemeinden. Nach Auskunft eines Netzbetreibers werden UMTS-Basisstationen weitgehend in die GSM-Basisstationen integriert, aber da für UMTS eine größere Anzahl von Stationen notwendig sind, müssen weitere Standorte geschaffen werden. Folglich muss eine Anzahl von UMTS-Standorten als singular, d.h. als nicht an eine GSM-Basisstation angedockt angesehen werden.

Darüber hinaus ergibt sich eine weitere Schwierigkeit bei der Abschätzung der Infrastruktur. Das Huawei-System beispielsweise, welches ein Netzbetreiber zukünftig verstärkt nutzen wird, integriert GSM und UMTS in einer Basisstation, zudem kann ein GSM-System mit den Anlagen von Huawei auf UMTS umgestellt werden. Es ist jedoch nicht bekannt, in welchem Umfange diese Systeme genutzt werden. Unabhängig von diesen Schwierigkeiten wird die Anzahl der Basisstationen für UMTS auf Werte zwischen 30.000 und 36.000 Stück geschätzt (s.a. Fußnote 30).

Gesamtmassen von Basisstationen

Nach der Abschätzung von Malmodin (ders. 2007) beträgt das Gewicht der durchschnittlichen Ausstattung einer RBS-Site ca. 240 kg. Auf dieser Basis ergeben sich für Malmodin ca. 37 kg Equipment, welches jährlich benötigt wird. Hinzu kommen noch pro Basisstation 24 t Stahl und Zement, die zu einem Stofffluss von 390 kg pro Jahr führen. Malmodin (2007:3) gibt die Lebensdauer der Bestandteile einer „RBS-Site“ (Basisstation) mit 3 bis 20 Jahren an.³¹ Der untere Wert betrifft vor allem die Elektronik (Racks), der obere Wert bezieht sich z.B. auf Fundamente oder Zäune.

Elektronische Ausstattung der Basisstationen

Basisstationen sind komplexe elektronische Geräte, die eine gewisse Ähnlichkeit mit Computern haben. Die Basisstation enthält Verstärker und Transceiver (Emmenegger 2003:8), die in Racks angeordnet sind. Nach Scharnhorst gehören zu jeder BTS bzw. RNS 2 bis 3 der im folgenden beschriebenen Racks (ders. 2003:43 und 155). Gespräche mit einem Mobilfunkbetreiber zeigten jedoch, dass der Stand der Technik eher je einem Rack pro UMTS und GSM-Basisstation entspricht. Die Lebensdauer wird von Emmenegger auf 10 Jahre und von ISI/CEPC auf 8 Jahre geschätzt (Emmenegger 2003:7, ISI/CEPC 2003:177). Der Mobilfunkbetreiber schätzt die Nutzungsdauer auf

³¹ Die Berechnung von Malmodin lassen sich nicht plausibel nachvollziehen hinsichtlich des Einsatzes der angenommenen jährlichen Stoffflüsse. Sie werden deshalb auch in dieser Ressourcenbilanz nur der Vollständigkeit halber aufgenommen.

weniger als fünf Jahre ein. Die folgende Beschreibung von Emmenegger bezieht sich auf die eigentliche Vermittlungseinheit, wohin gegen Scharnhorst die komplette Basisstation beschreibt.

Tabelle 10: Zusammensetzung von Basisstationen.

	RBS 3202 *	GSM 900	UMTS Rack ³²	
Bauteile	Gewicht [kg]	Gewicht [kg]	Gewicht [kg]	Kommentar
Batterien	43			Bleiakkus, 12 Stück
Netzteile	3			Stahlblech, Aluminium, Kondensatoren
Einschübe	27			Ca. 50 Einschübe mit elektronischen Komponenten, höherer Anteil an Aluminium und Messing
Kühlung outdoor	25			
Ventilator			3,4	
Antennenfilter			12	3 Stück
Antennenverbinder		6		4 Stück
Transceiver		28	9	12 / 3 Stück
Verstärker		4	30	2 / 3 Stück
Exchange Terminal			5,2	10 Stück
Core Basic Modul		8		4 Stück
Kabel		1,4	1	Kupfer/PE
Gehäuse		170	180	Stahl, Aluminium
Gesamt	98	220	240	
Materialien	Gewicht [kg]	Gewicht [kg]	Gewicht [kg]	
Aluminium	30			
Kupfer	10			
Stahlblech verzinkt	44			
Sonstiges	k.a.			Koaxialkabel, Leiterplatten

Quelle: RBS 3202 / Emmenegger 2003:64-68. Zu den Werten der RBS 3202 wurden auch die Werte für die Kühlung Typ 42vkc-18 aufgenommen. Hierbei bestehen jedoch Unklarheiten hinsichtlich der Vergleichbarkeit der Daten. In der Zusammensetzung der RBS werden die Batterien als gewichtig aufgeführt, aber bei den Materialien der stofflichen Analyse (Spalte Materialien) wird Blei nicht aufgeführt. Allerdings finden sich die Batterien bei der Analyse der GSM 900 bei Scharnhorst wieder (ders. 2006:148).

Stromversorgung der Basisstationen

Weiterhin verfügt eine Basisstation über eine DC-Stromversorgung sowie eine Notstromversorgung.³³ Die Gleichrichtermodule können als Einschübe konstruiert sein und können zusammen mit der Telekommunikationstechnik in einem Gehäuseschrank untergebracht werden. Alternativ sind auch Wandgehäuse möglich. Ein Gleichrichtermodul des Typs Slimline 500 der Fa. Benning – nach eigener Auskunft ein bedeutender Ausrüster für die Stromversorgung der Mobilfunksysteme – wiegt 1 kg, die Slimline 1500 mit einer Ausgangsleistung von 1.500 Watt wiegt 1,7 kg. Für eine typische BTS/RNS reicht die Slimline 500 aus, nur für größere Anlagen werden auch leistungsstärkere Gleichrichtermodule benötigt. Möglich wäre auch eine Stromversorgung in einem eigenen Gehäuse – wie sie in den MSC üblich sind – die alle Racks zentral versorgen. Nach Auskunft von Benning ist dies bei Basisstationen jedoch eher nicht der Fall. Prinzipiell ist es auch möglich, für einen Standort mit mehreren Basisstationen unterschiedlicher Betreiber eine gemeinsame, aber größer dimensionierte Stromversorgung zu verwenden.

Darüber hinaus muss für die freistehenden Anlagen eine Stromversorgung berücksichtigt werden, die als Übergabepunkt für den Anschluss der BTS/RNS an das Stromnetz errichtet werden muss. Bei Anlagen, die in Gebäuden untergebracht werden, werden auch noch zusätzliche Sicherungskästen und Stromzähler installiert.

³² Vergleichbar mit der RBS 2206 Ericsson, die ein Gesamtgewicht von 230 kg hat (Wilen o.J.)

³³ Nach Auskunft der Fa. Benning werden nahezu alle Stromversorgungssysteme für Basisstationen zusätzlich mit Bleibatterien für die Notstromversorgung ausgeliefert. Hr. Üssler, Telefonat am 12.2.2009.

Notstromversorgung der Basisstationen

Die Notstromversorgung wird nach Scharnhorst von ca. 17 Batterien pro Station (UMTS: 15) sichergestellt (ders. 2006:156 und 168). Die Fa. Benning bietet den Telekommunikationsunternehmen kombinierte Systeme zur Stromversorgung an. Hierbei wiegt der Batteriesatz für die Notstromversorgung ca. 150 kg. Verwendet werden Bleigel-Batterien. Lithiumionenbatterien werden aufgrund des hohen Preises noch nicht verwendet. Brennstoffzellen sind derzeit in der Erprobungsphase. Die Notstromversorgung mit Bleibatterien ist jedoch ein gewichtiger Kostenfaktor, weshalb diese bei den Basisstationen – so die Auskunft von Telefonica – nicht mehr die Regel sein wird. Bei den Netzbetreibern werden Basisstationen nur noch dann mit Notstrombatterien ausgestattet, wenn mehr als 9 Netzelemente – d.h. andere Basisstationen – mit dieser einen Basisstation vernetzt sind oder wenn an der Basisstation wichtige Richtfunkverbindungen hängen.

Kühlung der Basisstationen

Nach Scharnhorst soll auch die Kühlung redundant ausgelegt sein, so dass 1 bis 2 Kühleinrichtungen pro BTS bzw. RNS vorhanden sind.³⁴ Nach Auskunft von Telefonica gibt es inzwischen nur noch maximal eine Kühlanlage pro Basisstationen. Da die Kühlung für einen Großteil des Stromverbrauchs verantwortlich ist, gibt es inzwischen Anlagen, die mit Luftkühlung arbeiten. Langfristig werden diese Geräte sich durchsetzen.

Eine Klimaanlage für den Innenbereich – wie sie für die LCA von Emmenegger verwendet wurde – wiegt ca. 25 kg.³⁵ Hinzu kommt noch ein Kompressor. Hierbei ist die ungefähre Zusammensetzung ca. 9,7 kg Zinkblech (Gehäuse u.a.), 2,1 kg Kupfer (Kupfertuben, schätzungsweise 4 kg mit Motor³⁶), 2,3 kg Aluminium (Gussnaht), 1 kg Kühlmittel, 6,8 kg Kunststoffe und 2,5 kg für den Ventilatormotor (Kupfer und Metalllegierungen).³⁷ Die Kühlmittelmenge konnte nur geschätzt werden auf ca. 1 kg. Eine Klimaanlage für den Außenbereich wiegt ca. 47 kg. Hiervon entfallen ca. 19,4 kg auf Zinkblech (Gehäuse u.a., ca. 30 kg mit Kompressor), 3,4 kg Kupfer (Leitungen und Kupfertuben, ca. 8 kg mit Kompressor), 2,1 kg Aluminium (Gussnaht), 1 kg Kühlmittel, 1,5 kg Kunststoffe und 15 kg für den Kompressor (Stahl und andere Metalllegierungen).³⁸

Die Lebensdauer von Klimaanlage wird von Emmenegger auf ca. 10 Jahre geschätzt (der. 2003:69). Es gibt jedoch keine Schätzung, wie viele BTS bzw. RNS im Innenbereich und wie viele im Außenbereich eingesetzt werden. Ebenso ist ungewiss, wie die Kühlung erfolgt, wenn mehrere Betreiber ihre BTS/RNS in einem Gebäude z.B. unter dem Dach untergebracht haben. Hierbei sollte nach Auskunft von Telefonica eine Kühlung ausreichen, um mehrere BTS/RNS bzw. den Raum zu kühlen.

Verkabelung der Basisstationen

Für die Verkabelung im Innern und im Außenbereich setzt Scharnhorst 20 bis 40 m Kabel an (ders. 2006:156 und 168). Unsicher ist, ob in diese Werte auch der Stromanschluss einberechnet ist und ob die Verkabelung die Stromversorgung und die Antennenkabel umfasst. Ebenso ist unsicher, ob hier auch die Verkabelung von Richtfunkverbindungen einberechnet ist. Dieser Wert wird jedoch insgesamt als zu niedrig angesehen, wie eine Besichtigung einiger Mobilfunkanlagen zeigte (vgl. auch Abbildung 5).

Kabel werden zudem in Kabelschächten, Kabelschienen oder Kabelträgern verlegt. Standardisierte Konstruktionen gibt es hierbei nicht, so dass sich alle Basisstationen unterscheiden. Bei der Installation von Antennen auf Flachdächern werden häufig Kabelschienen verwendet (vgl. auch Abbildung 5).

³⁴ Neuere Systeme kommen mit Luftkühlung aus.

³⁵ Hinsichtlich der Kühleinrichtungen gibt es nur wenige Informationen. Die Studie von Emmenegger ist die einzige ihrer Art, die das Thema Kühlung detaillierter behandelt.

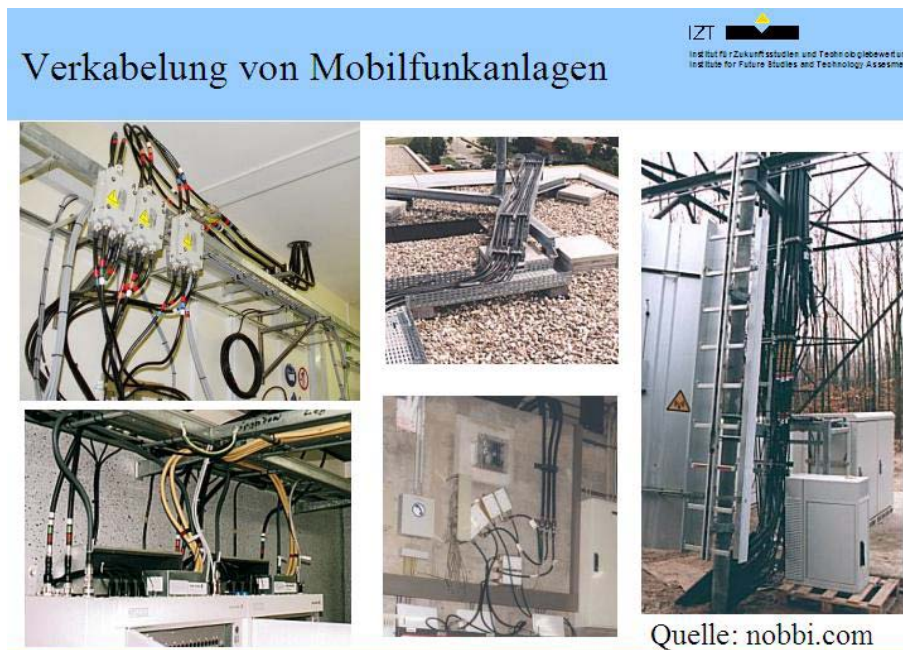
³⁶ Emmenegger setzt hier 4,7 kg an, da er den Motor als aus gänzlich Kupfer bestehend annimmt.

³⁷ Emmenegger 2003:69, Modell Indoor Unit Model 42vkc-18 von Swisscom Carrier.

³⁸ Emmenegger 2003:72, Modell Outdoor Unit Model 38GL-18 von Swisscom Carrier.

Als Materialien kommen im Innenbereich Kunststoffgehäuse oder dünnwandiges verzinktes Blech zum Einsatz. Im Außenbereich wird nur letzteres verwendet.

Abbildung 5: Verkabelung von Mobilfunkstationen.



Quelle: nobbi.com

Dr. Michael Scharp/MaRes



Quelle: nobbi.com

Dr. Michael Scharp/MaRes

Quelle der Bilder: www.nobbi.com

Ein besonderes Problem sind Mobilfunkstationen, die außerhalb des bebauten Bereiches liegen wie z.B. an den Fernstraßen. Hierbei müssen Mobilfunkbetreiber mit hohen Wegelängen rechnen.³⁹ Für die freistehenden Basisstationen muss noch pro Station ein zusätzliches Stromverteilermodul angenommen werden. Dem liegt die Annahme zugrunde, dass die einzelnen Basisstationen an dem Mast – die zumeist von mehreren Betreibern an dem Mast aufgestellt werden – von der Verteilerstation versorgt werden müssen, da sie nicht unmittelbar an das Stromnetz angeschlossen werden.

³⁹ Persönliche Auskunft von o2.

Gehäuse von Basisstationen

Die Vermittlungstechnik der Basisstationen sind in Verteilerschränken (Racks) untergebracht (s.a. Abbildung 6). Wenn die Basisstationen im Freien stehen, werden sie manchmal in einem Gehäuse (Container) oder einem Massivgebäude untergebracht. In welchem Umfang Containerlösungen vorliegen oder auch kleinere Gebäude für große Stationen verwendet werden, ist nicht bekannt. Container-Lösungen haben den Vorteil der Standardisierung, der einfachen Aufstellung sowie eines hohen Einbruchschutzes. Wie die Abbildungen unten zeigen, können Stahlcontainer auch so verkleidet werden, dass sie Ähnlichkeiten zu kleinen Hütten haben.

Abbildung 6: Gehäuse von Mobilfunkstationen.



Dr. Michael Scharp/MaRes

Quelle der Bilder: www.nobbi.com

Antennen der Basisstationen und Richtfunkverbindungen

Zur Basisstation gehören weiterhin die Antennen, welche zumeist mit einem kurzen Mast oder einer Halterung an oder auf einem Gebäude⁴⁰ befestigt sind. Hierbei können Sektorenantennen, die üblicherweise 120° abdecken oder seltener – ältere – Rundstrahlantennen verwendet werden.⁴¹ Zum Aufbau von Mikro- oder Pico-Zellen werden auch sehr kleine einzelne Antennen verwendet. Seit einiger Zeit werden angesichts knapper Antennenstandorte auch dual polarisierte Antennen verwendet, die beispielsweise zwei Frequenzbereiche (z.B. GSM 900 und 1800 oder GSM und UMTS-Frequenzen) oder sogar mehrere Bereiche (Multipol-Antennen) abdecken.

Nach Scharnhorst werden pro BTS ca. 6 Antennen bzw. pro RNS 3 bis 6 Antennen verwendet (ders. 2006:155 und 168). Nach Auskunft des Antennenherstellers Kathrein sind jedoch eher 3 Antennen für beide Standards die Regel.

Weiterhin bestehen auch teilweise Richtfunkverbindungen zwischen wichtigen Netzknoten, allerdings liegen hierzu kaum Informationen vor.

Das Gewicht von Mobilfunkantennen ist aufgrund diverser Anforderungen hinsichtlich der Leistung sehr unterschiedlich. Beispielsweise wiegen Mobilfunkantennen von RFS Radio Frequency Systems

⁴⁰ In Frage kommen auch Schornsteine oder Türme (Kirchtürme).

⁴¹ In verschiedenen Situationen werden auch sehr kleine Antennen für Mikrozellen verwendet.

oder von Kathrein zwischen 5 und 30 kg, wobei mittlere Werte bei GSM-Antennen bei RFS mit schätzungsweise 11 kg (APX-Serie von RFS) und UMTS-Antennen schätzungsweise 8 kg (APX und APXV-Serie von RFS) liegen. Die einfach polarisierten Antennen von Kathrein wiegen zwischen 4,5 (130 cm) und 10 kg (200 cm). Dual-Band-Antennen sind deutlich schwerer, so wiegt eine Kathrein-Antenne vom Typ 742 (130 cm) ca. 22 kg, Triple-Band-Antennen wiegen ca. 30 kg.

Antennen werden zunehmend mit Fernsteuerungseinheiten (Motoren, Remote Control Unit) ausgestattet, um den Absenkwinkel ferngesteuert einstellen können. Derartige Antennen benötigen dann eine Stromversorgungs- und Steuerungseinheit (CCU Central Control Unit oder PCU Portable Control Adapter). Bei UMTS soll dies nach Kathrein Standard sein, wohingegen GSM-Antennen eher zwischen 30 und 40 % steuerbar sein sollen. Eine RCU von Kathrein wiegt ca. 0,5 kg (Typ 860 10025). Das Gewicht der CCU liegt bei Kathrein zwischen 3,5 und 4,5 kg. Pro Antenne wird eine RCU verwendet, mehrere RCU werden durch eine CCU gesteuert.

Zum Antennenequipment gehören auch noch Verstärker (TMA Tower Mounted Amplifier), wobei die Ausstattung jedoch nach Auskunft von Kathrein vom Standort abhängig ist. Ein typischer Verstärker von Kathrein – DTMA UMTS 12 AISG – wiegt ca. 5 kg. Je Antenne wird ein Verstärker benötigt. Dazu werden noch weitere Komponenten benötigt wie Bias, DC-Stops, 50-Ω-Loads, Stromverteiler sowie Befestigungsmaterialien. Das Gewicht der Befestigungsmaterialien wird von Kathrein auf ca. 10 kg pro Antenne geschätzt.

Das Gehäuse von Antennen ist zumeist aus Kunststoff (Fiberglass). Der Strahler bzw. die Reflektorwand sind aus Aluminium, verzinnem Kupfer, Kupferfolie oder Messing je nach Typ oder Anbieter.⁴² Nach Emmenegger enthält eine Mobilfunkantenne⁴³ für die Basisstationen ca. 1 kg Kupferkabel in Kabeln und Steckern. Mit einem Koaxialkabel wird die Verbindung zwischen Antenne und eigentlicher Basisstation hergestellt. Diese Verbindungsleitungen wiegen ca. 11 kg (Emmenegger 2003:21).

Abbildung 7: Halterungen für Antennen.



Quelle der Bilder: www.nobbi.com

⁴² Hinsichtlich der metallischen Anteile der Antennen konnten keine Informationen recherchiert werden.

⁴³ Den Antennentyp benennt Scharnhorst jedoch nicht.

Antennenmasten

Über die Verteilung der Antennen bzw. der Basisstationen hinsichtlich ihrer Stationierung auf bzw. in Gebäuden oder an freistehenden Masten gibt es für Deutschland keine Daten. Hierbei gilt bei Mobilfunkbetreibern das Prinzip, Antennen möglichst unauffällig zu platzieren. Deshalb werden heutzutage Antennen zumeist auf Gebäudedächern verankert. Für die Schweiz schätzte Emmenegger dieses Verhältnis auf 70 % der Basisstationen in Häusern mit Masten als Dachaufbauten und 30 % Basisstationen an freistehenden Standorten mit freistehenden Masten (Emmenegger 2003:13).

Freistehende Masten werden dort genutzt, wo schon Masten – zumeist aus der alten Postzeit – stehen bzw. wo sich keine großen Hemmnisse bei der Errichtung ergeben. Freistehende Basisstationen werden jedoch auch teilweise an vorhandene Infrastrukturen angebaut (Fernmeldetürme, Windenergieanlagen, Strommasten, Schornsteine, hohe Leuchten, Türme u.a.). Hierbei sind Gittermasten, Stahlrohrkonstruktionen oder Schleuderbetonmasten möglich. In neuerer Zeit werden sogar künstliche Bäume errichtet. Nur in Baden-Württemberg gibt es eine Mastkonstruktion aus Holz.

Die Mastkonstruktionen in Stahl-Gitterbauweise ähnlich denen von Stromleitungsmasten. Mittlere Masten für die Stromleitung wiegen zwischen 1 und 1,5 t (Höhe: 10 bis 15 m), große Masten für Hochspannung wiegen zwischen 5 und 6 Tonnen (Höhe 25 bis 30 m). Derartige Masten werden zumeist für zentrale Kommunikationsknoten eingesetzt, die dicht mit Antennen besetzt werden.

Für einfache Mobilfunkmasten sind die statischen Anforderungen geringer, wenn sie nur die leichten Antennen tragen. Hierbei können Stahlrohrmasten wie bei Flutlichtanlagen verwendet werden. Bei einer Höhe von 20 m wiegt ein Flutlichtmast ca. 675 kg (vgl. Stich 2008).

Allerdings gibt es noch wesentlich größere Mastkonstruktionen aus Stahl-Gitterwerk oder aus Beton mit deutlich höheren Massen. Über die Anzahl und Massen derartiger Masten gibt es jedoch keine Informationen.

Abbildung 8: Mastkonstruktionen.



Dr. Michael Scharp/MaRes

Quelle der Bilder: www.nobbi.com

Standorte für Basisstationen werden häufig von den Netzbetreibern gemeinsam genutzt. Nach einer Analyse der Bundesnetzagentur für das Jahr 2004 ergab sich folgende Verteilung von Standorten, wobei jedoch keine Unterscheidung zwischen UMTS und GSM gemacht wird:

Tabelle 11: Standortmitnutzung von Mobilfunkanlagen (2004)

Element	Anteil
Standort mit einer Funkanlage	29 %
Standort mit zwei Funkanlagen	40 %
Standort mit drei Funkanlagen	19 %
Standort mit vier Funkanlagen	8 %
Standort mit fünf und mehr Funkanlagen	4 %

Quelle und Anmerkungen: Bundesnetzagentur (2004). Juli 2004 mit 51.108 Anlagen

Emmenegger schätzt die Lebensdauer der Masten auf 10 bis 15 Jahre (Emmenegger et al 2003:7). Dies könnte auf Mastkonstruktion auf Gebäuden zutreffen, allerdings ist bei freistehenden Mastkonstruktionen mit einer höheren Lebensdauer zu rechnen. Hierbei scheinen Werte von 50 Jahren für Betonmasten oder Stahlgittermasten durchaus plausibel (eigene Schätzung).

Blitzschutz

Alle Mobilfunkstationen müssen mit einem Blitzschutz nach den Blitzschutzklassen II oder III versehen sein (Weberskirch 2001). In der Unterverteilung an der BS werden Blitzstromableiter der Anforderungsklasse B und Überspannungsschutzableiter der Anforderungsklasse C eingesetzt. Als Blitzableiter wird vor allem verzinkter Stahl – aber auch Kupfer oder Aluminium - in Form von Rundleitungen eingesetzt. Diese bilden häufig umfangreiche Ableiterbahnen mit Halterungen auf den Dächern (s. Abbildung), die die Fangeinrichtungen (aufrecht stehende Stäbe oder Fangstangen neben den Antennen) miteinander verbinden. Fangeinrichtungen und Ableitungen haben unterschiedliche Querschnitte wie in der folgenden Tabelle aufgeführt:

Tabelle 12: Querschnitte von Fangeinrichtungen und Ableitung nach DIN Blitzschutznorm VDE 0185

Element	Fangeinrichtung	Ableitung	Gewicht Ableitung [kg/m]
Kupfer	35 mm ²	16 mm ²	0,48 kg
Stahl	50 mm ²	50 mm ²	1,23 kg
Aluminium	70 mm ²	25 mm ²	0,21 kg

Quelle: Brieselang o.J.

Zur Blitzschutzanlage gehört gleichfalls noch die Erdung, die durch die Verbindung der Blitzschutzeinrichtung mit einem Erdableiter (z.B. Fundamenterder, Stahlstab im Fundament bis ins Erdreich) hergestellt wird. Weitere Elemente sind die Herstellung des Potentialausgleichs (häufig eine Metallschiene mit Anschluss des Nulleiters der Stromversorgung) und der Überspannungsschutz (Sicherungskasten), die jedoch mengenmäßig nicht besonders ins Gewicht fallen. Allerdings führt der Potentialausgleich vermutlich zu einem höheren Kabelbedarf der Elektroninstallation.

Abbildung 9: Blitzschutzkonstruktionen.

Quelle der Bilder: Weberskirch 2000.

2.1.2 Basisstationen Controller (BSC/RNC)

Die Anzahl der BSC/RNC bzw. der MSC lassen sich auch nur näherungsweise schätzen. Emmenegger geht von einem Verhältnis von 100 bis 150 Basisstationen zu einem RNC aus (Emmenegger 2003:9). Nach ISI/CECP beträgt das Verhältnis von BTS zu den BSC 1:220⁴⁴ und für UMTS besteht ein Verhältnis von 1 RNC zu 240 RNS. Nach Scharnhorst versorgt jede BSC – je nach Netzkonfiguration – 40 bis 100 BTS (ders. 2006:43). Das Forschungsvorhaben NIK geht von einem Verhältnis von 240 Basisstationen zu einer Vermittlungsstelle aus sowohl für UMTS als auch GSM (NIK 2004:42).⁴⁵ Ein Netzbetreiber gibt sein Verhältnis von Basisstationen zu Controller-Stationen mit 50 zu 1 an und verfügt über insgesamt 220 Controller-Stationen.⁴⁶ Nach Ericsson sollen allein im D2-Netz von Vodafone ca. 230 BSC für das GSM-Netz im Jahr 2000 vorhanden gewesen sein (ders. 2001:24).⁴⁷ Hierbei sind die RNC des UMTS-Netzes nicht eingerechnet. Versucht man auf dieser Basis die Anzahl der BSC/RNC zu berechnen, so ergeben sich die folgenden Werte:

⁴⁴ Im Rahmen der Befragung der Mobilfunkbetreiber durch ISI/CECP gaben zwei Betreiber an, dass zwischen 200 und 280 Basisstationen von einem Vermittlungsstandort gesteuert werden.

⁴⁵ Allerdings charakterisiert NIK diese Vermittlungsstellen als „MSC“, stellt diese jedoch auf eine Ebene mit den RNC. Es ist somit unklar, ob sich die Werte auf die BSC/RNC oder die MSC beziehen.

⁴⁶ Diese Auskünfte wurden unter der Bedingung genannt, dass die Netzbetreibernamen nicht genannt werden.

⁴⁷ BTS 13.000, Anzahl BSC 230 (Verhältnis 56 zu 1), Anzahl MSC 110 (Verhältnis: 2,1 zu 1)

Tabelle 13: Abschätzung der BSC/RNC (gerundet).

Element	GSM-BTS / BSC (untere Werte)	GSM-BTS / BSC (obere Werte)	UMTS-RNS / RNC (mittlere Werte)	Quelle
Anzahl BTS	60.000	70.000		1
40-100 BTS pro BSC	600-1.500	700-1.750		
Anzahl BTS/RNS	60.000	70.000	30.000	2
100-150 BTS/RNS pro BSC/RNC	400-600	470-700	200-300	
Anzahl BTS/RNS	60.000	70.000	30.000	3
240 BTS/RNS pro BSC/RNC	250	290	125	
Anzahl BTS/RNS	60.000	70.000	30.000	4
220 BTS pro BSC / 240 RNS pro RNC	270	320	125	
Anzahl BTS/RNS	60.000	70.000	30.000	5
50 BTS pro BSC / 50 RNS pro RNC	1.200	1.400	600	

Quelle und Anmerkung: Eigene Abschätzung auf Basis verschiedener Quellen. Die Schätzwerte für die BTS und RNS berücksichtigen die obigen Annahmen. 1 Scharnhorst 2006; 2 = Emmenegger 2003; 3 = NIK 2004:31; 4 = ISI/CEPC; 5 = Auskunft eines Netzbetreibers.

Insgesamt ergibt sich somit eine Spannbreite von 250 bis 1.750 BSC sowie von 125 bis 600 RNC. Zusammen ergeben sich zwischen 375 und 2.350 BSC und RNC. ISI/CEPC haben die Anzahl der Steuerungszentren (BSC und RNC) für das Jahr 2005 auf 370 geschätzt (zitiert nach NIK 2004:42). Es ist jedoch nicht anzunehmen, dass die oberen Werte von 2.800 BSC/RNC zutreffen werden, da die unteren Schätzwerte (40 bzw. 62 BTS pro BSC/RNC) für spezifische Verhältnisse gelten und zudem durch eine Verbesserung der Servertechnik heutzutage vielmehr BTS/RNS von einer BSC/RNC gesteuert werden können.

Hinsichtlich der Schätzung der Anzahl der Infrastrukturelemente ist diese breite Spanne jedoch nicht so gravierend wie sie zunächst erscheint. Ein BSC bzw. RNC ist im Prinzip nur ein größerer Steuerungsrechner mit einer komplexen Elektronik. Von der Größe und der Materialzusammensetzung vergleichbare Geräte werden in Rechenzentren in einem vielfach größeren Umfang eingesetzt. Moderne BSC wie der Nortel BSC 3000 können bis zu 500 BTS kontrollieren. Nach Scharnhorst können moderne RNC zwischen 180 und 750 RNS steuern (Scharnhorst 2006:49), ein Netzbetreiber gibt die mögliche Kapazität jedoch mit 1:512 an. Somit würden in einem – von der Geographie und Verteilung der BTS her optimalen Netz – ca. 140 BSC 3000 ausreichen, um ca. 70.000 Basisstationen zu managen.

Basisstationen Controller sind im Prinzip komplexe elektronische Geräte, die eine gewisse Ähnlichkeit mit Computerservern haben. Nach einer exemplarischen Untersuchung eines GSM-BSC Racks von Scharnhorst soll dieses ca. 270 kg wiegen, davon sind ca. 100 kg elektronische Bauelemente, 1,4 kg Kabel sowie ein Gehäuse von ca. 175 kg aus Aluminium und Stahl (ders. 2006:161). Eine UMTS-RNC wiegt nach Scharnhorst ca. 230 kg, davon sind ca. 31 kg elektronische Bauteile, 12 kg Ventilatoren, 1,4 kg Kabel, 22 kg Austauschmagazine, sowie 170 kg Gehäuse aus Aluminium und Stahl.

Nach Scharnhorst sind die BSC und RNC redundant ausgelegt. Jedes BSC und RNC sollen 3 bis 4 Racks enthalten (der. 2006:43 und 155), die zusammen den BSC bzw. RNC bilden. Nach Auskunft eines Mobilfunkbetreibers ist die Anzahl der Racks von der Ausbaustufe abhängig, d.h. wie viele Teilnehmer in den Funkzellen der angeschlossenen Basisstationen gleichzeitig telefonieren. Je Ausbaustufe des Netzbetreibers sollen 1 bis 2 Racks benötigt werden.

Nach Scharnhorst kommen zur BSC/RNC noch 1 bis 2 Kühlanlagen und die Innen- und Außenverkabelung (20 bis 40 m) hinzu, d.h. der Anschluss der BSC bzw. des RNC an das Festnetz bzw. ggf. an Richtfunkantennen.⁴⁸ Für die Verkabelung (Outdoor) nimmt Scharnhorst 20 m (GSM) bis 40 m (UMTS) an. Ungewiss hierbei ist, ob in diese Werte auch der Stromanschluss eingerechnet ist. Nach

⁴⁸ Sowohl BTS als auch BSC sind über Festnetz verbunden. Richtfunk wird dort eingesetzt, wo sich keine Kabelstrecken kostengünstig etablieren lassen.

Auskunft des Netzbetreibers haben BSC/RNC jedoch nur dann eine Kühlanlage, wenn sie eigenständig sind, was jedoch nur sehr selten der Fall sein soll. Die BSC/RNC wird deshalb zumeist von der Kühlanlage der Basisstation (BTS/RNS) mitgekühlt. Auf dieser Basis würde sich die folgende Geräteanzahl ergeben:

Tabelle 14: Equipment für BSC und RNC nach Scharnhorst und auf Basis der Auskunft eines Netzbetreibers.

Schätzung auf Basis der Daten von Scharnhorst	BSC GSM (unterer Wert)	BSC GSM (oberer Wert)	RNC UMTS (unterer Wert)	RNC UMTS (oberer Wert)
BSC / RNC (Standorte)	250 [3]	1.750 [1]	125 [4]	300 [2]
Racks (4 pro Station) [1]	1.000	6.000	500	1.200
Kühlanlagen (1-2 pro Station) ⁴⁹ [1]	250-500	1.750-3.000	125-250	300-600
Schätzung auf Basis der Daten eines Netzbetreibers	BTS GSM (unterer Wert)	BTS GSM (oberer Wert)	RNC UMTS (unterer Wert)	RNC UMTS (oberer Wert)
BSC / RNC (Standorte) [5]	600		300	
Racks (1 pro Station) [5]	600		300	
Kühlanlagen (keine) [5]	0		0	

Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis verschiedener Literaturwerte. 1 Scharnhorst 2006:43 und 155; 2 = Emmenegger 2003; 3 = NIK 2004:31; 4 = ISI/CEPC; 5 = Eigene Berechnung auf nur der Minimalwerte Basis der Auskunft eines Netzbetreibers.

Im Ergebnis würden sich auf Basis der Angaben verschiedener Autoren zusammen für GSM und UMTS zwischen 1.500 und 7.200 Racks und zwischen 375 bis 3.600 Kühlanlagen ergeben. Auf Basis der Gespräche mit einem Netzbetreiber würden sich ca. 900 Racks und keine Kühlanlagen ergeben.

2.1.3 Mobile Switching Center (MSC)

Schätzungen der Anzahl der MSC

Ebenso wie bei dem Verhältnis der Basisstationen zu den BSC / RNC gibt es nur wenige Daten hinsichtlich des Verhältnisses der BSC / RNC zu den MSC. Nach Scharnhorst werden üblicherweise zwei BSC mit einem MSC verbunden (2006:44 und 144). Nimmt man dieses Verhältnis sowie die Schätzungen von Emmenegger, ISI/CEPC und NIK und setzt es in Bezug auf die in Tabelle 13 ermittelten Werte, so würde sich die folgende Anzahl von MSC ergeben:

Tabelle 15: Abschätzung der MSC (gerundet).

Element	GSM-BSC / MSC (untere Werte)	GSM-BSC / MSC (obere Werte)	UMTS-RNC / MSC (mittlere Werte)	Quelle
Anzahl BSC	600-1.500	700-1.750		1
Anzahl MSC	300-750	350-875		
Anzahl BSC/RNC	400-600	470-700	200-300	2
Anzahl MSC	200-300	230-350	100-150	
Anzahl BSC/RNC	250	290	125	3
Anzahl MSC	125	145	68	
Anzahl BSC/RNC	270	320	125	4
Anzahl MSC	135	160	68	

Quelle und Anmerkung: Eigene Abschätzung auf Basis verschiedener Quellen. Die Schätzwerte für die BSC und RNC berücksichtigen die obigen Annahmen. 1 Scharnhorst 2006; 2 = Emmenegger 2003; 3 = NIK 2004:31; 4 = ISI/CEPC.

Legt man die geschätzten Werte für das Verhältnis MSC zu BSC/RNC zugrunde, so würden sich zwischen 125 und 750 MSC für das GSM-Netz und ca. 70 (gerundet) bis 150 MSC für das UMTS-Netz ergeben. Der hohe Wert von Scharnhorst kann nicht zutreffen, es handelt sich eher um Stück-

⁴⁹ In der Beschreibung des Mobilfunksystems schätzt Scharnhorst die Anzahl der Kühlanlagen auf 1 bis 2 pro BSC (ders. 2006:44), nimmt jedoch als Berechnungsgrundlage für die LCA 2 Kühlanlagen (ders. 2006:155).

zahlen.⁵⁰ Da jedoch die MSC sowohl GSM als auch UMTS verwalten, führt dies nicht zu einer Doppelung der MSC, so dass nur die Maximalwerte zutreffen können und somit zwischen 350 (oberer Wert nach 2) und 125 (unterer Wert nach 3) MSC plausibel wären. Nach Auskunft eines Mobilfunkbetreibers ist die Anzahl der MSC in 2010 wie folgt: Vodafone und T-Mobile ungefähr 56, E-plus 15 und o2 14 MSC. Dies ergibt zusammen ca. 140 MSC. Die hohe Differenz zum Maximalwert von 350 MSC könnte sich zum einen aufgrund der Spanne der von den oben genannten Autoren zuvor geschätzten BSC und RNC ergeben, könnte aber auch darin begründet liegen, dass ggf. Geräteanzahlen – und nicht Vermittlungszentren – in den oben genannten Studien angesetzt wurden.

Ausstattung der MSC

MSC bestehen vor allem aus Kommunikationsservern, die die Gespräche vermitteln.⁵¹ Die Zusammensetzung von wichtigen elektronischen Geräten für eine MSC wurde von Scharnhorst exemplarisch ermittelt (ders. 2006:163). Nach Scharnhorst ist eine „MSC“ im Prinzip ein komplexes elektronisches Gerät, das eine gewisse Ähnlichkeit mit einem Computerserver hat. Nach Scharnhorst wiegt ein GSM-MSC Rack ca. 286 kg, davon sind ca. 85 kg elektronische Bauelemente (ISDN-Karten, Server, Gateway etc.), 10 kg Ventilator, 1 kg Kabel sowie ein Gehäuse von ca. 185 kg aus Aluminium und Stahl. Pro Mobile Switching Center sollen nach Scharnhorst 4 bis 6 Racks der oben genannten Konfiguration stehen sowohl im GSM- als auch im UMTS-Netz.

Die obige Einschätzung konnte durch eine Besichtigung und Gespräche mit Netzbetreibern nicht bestätigt werden, da die MSC eine Vielzahl von weiteren Geräten enthält. Eine MSC ist nicht nur ein Gerät, sondern besteht aus einer Vielzahl von Racks mit unterschiedlichen Funktionen. Beispiele hierfür sind:

- NSR, Routersystem, 2 Racks pro MSC;
- TRAU (Transcoding and Rate Adaptation Unit, vgl. ELKO o.J.), Signalumwandlung von 13kBit/s in 64 kBit/s, 8 Racks pro MSC⁵²;
- OSS, Main Array zur Netzwerküberwachung, 1 Rack pro MSC;
- Boradband Access Unit, Plattform zur Vernetzung von Sprach- und Datendiensten (Multiservice-Verwaltung von Diensten) für das UMTS-System, 3 Racks pro MSC;
- Media Gateway, Vernetzung von Sprach- und Multimediadiensten, 2 Racks pro MSC;
- Richtfunkvernetzung, 10 Racks pro MSC und
- GPS Clock, stellt die Uhrzeit für das Netz bereit, 1 Rack.

Darüber hinaus benötigt die MSC noch Kühlanlagen. Hierbei schätzt Scharnhorst, dass pro MSC (hier: Vermittlungsstelle) 4 bis 6 Kühlanlagen benötigt werden. In der LCA werden hierfür jeweils 8 Kühlanlagen pro MSC angesetzt. Eine Besichtigung einer MSC eines Netzbetreibers zeigte, dass die MSC über eine zentrale Kühlanlage mit 6 Racks verfügt.

Für die Verkabelung der MSC werden von Scharnhorst 40 m pro MSC (hier: GSM MSC Rack) angenommen (ders. 2006:170).

Eine MSC ist von sehr gewichtiger Bedeutung für das Mobilfunksystem, weshalb alle MSC mit eigener DC-Stromversorgung und Notstromversorgung ausgestattet sind.⁵³ Es liegen jedoch nur wenige Informationen über diese Ausstattung vor, so dass nur auf die Ergebnisse der Besichtigung einer mittleren MSC zurückgegriffen werden konnte. Die unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) wird

⁵⁰ Der Wert von Scharnhorst – auf 2 RNC eine MSC – ist mit Sicherheit falsch, hierbei muss es sich um Gerätezahlen handeln weshalb der obere Wert von ca. 900 MSC mit Sicherheit nicht zutreffend sein kann.

⁵¹ In der Literatur wird unter MSC häufig die Vermittlungsstelle als Teil des Network Switching System NSS verstanden. Häufig wird unter MSC auch eine elektronische Komponente zur Vermittlung der Gespräche verstanden.

⁵² Die Literatur ist hierbei nicht eindeutig, da vielfach die TRAU auf Basis der Controllerstationen angesiedelt werden. Entsprechend der Besichtigung einer MSC wird die TRAU bei der MSC verankert.

⁵³ Darüber hinaus werden für die Notstromversorgung bei längerem Netzausfall auch i.A. noch Dieselaggregate bereitgehalten, die jedoch in dieser Bilanzierung nicht aufgenommen worden sind.

durch vier USV-Anlagen für eine Stromversorgung mit 60 kVA sichergestellt. In der MSC eines Netzbetreibers ist diese in vier großen Schaltschränken untergebracht. Die Notstromversorgung wird über große Batterieanlagen sichergestellt. In der mittleren MSC des Netzbetreibers wird dies durch 96 Bleibatterien sichergestellt.⁵⁴

Datenbanksysteme und Schnittstellensystem im MSC

Neben den MSC gibt es noch weitere Datenbanken und Schnittstellensysteme, die an die MSC angebunden sind. Nach Scharnhorst ist jede MSC mit einer GMSC verbunden, die die Verbindung zwischen den MSC herstellt und auch die Teilnehmer lokalisiert.⁵⁵ Dies erfolgt durch die Nutzung verschiedener Datenbanken (VLR Visitors Location Register und HLR Home Location Register). Andere Datenbanksysteme wie das AuC Authentication Center und EIR Equipment Identity Register werden gleichfalls von den MSC genutzt. Darüber hinaus gibt es Schnittstellensysteme für die Datendienste (SGSN und GGSN) im GPRS- und EDGE-System (weiterentwickeltes GSM der 2,5-Generation)⁵⁶.

Von diesen Geräten hat Scharnhorst exemplarisch die Zusammensetzung von SGSN Racks und GGSN Racks für das GPRS-System untersucht (ders. 2006:167). Das exemplarisch untersuchte SGSN-Gerät wog 378 kg, davon sind ca. 9 kg Ventilatoren (3 St.), ca. 120 kg elektronische Bauelemente (ISDN-Karten, Server, Switch Units Router etc.), 1 kg Kabel sowie 202 kg Gehäuse für das Rack und die Server. Das GGSN-Rack wiegt ca. 293 kg, davon sind ca. 10 kg Ventilator, 102 kg der Server, 1 kg Kabel sowie 180 kg Gehäuse aus Aluminium und Stahl.

Nach Scharnhorst ist das Verhältnis von MSC zu GMSC 1:1 (ders. 2006:44). Ebenso sind nach Scharnhorst jeder MSC ein SGSN und ein GGSN zugeordnet. Allerdings legt Scharnhorst eine Redundanz der Systeme zugrunde, so dass pro MSC 1,5 Geräte angesetzt werden im Rahmen der LCA (ders. 2006:170). Eine Besichtigung einer MSC eines Netzbetreibers zeigte jedoch, dass in dieser mittleren MSC je 3 Racks für die GMSC und GGSN und 2 Racks für die SGSN vorkamen. Damit ergeben sich weite Spannbreiten je nachdem wie viele MSC man zugrunde legt und wie viele GMSC, GGSN und SGSN pro MSC vorhanden sind:

Tabelle 16: Equipment für das MSC – Schnittstellensysteme.

Anzahl MSC (Schätzwerte dieser Bilanzierung)	MSC (unterer Wert)	MSC (oberer Wert)
MSC	140	200
GMSC / SGSN/ GGSN (Faktor 1,5 gemäß Scharnhorst)	630	900
GMSC / SGSN/ GGSN (3 / 2 / 3 gemäß Besichtigung)	1.120	1.600

Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis von Scharnhorst 2006:44 und 170 unter Annahme der Anzahl der MSC gemäß der Auskunft eines Netzbetreibers (s.Tabelle 15).

Über die Anzahl der Datenbanksysteme (HLR, VLR, EiR, AuR) liegen nur wenige Informationen vor insbesondere, ob sie in allen MSC oder nur in einigen der MSC vorhanden sind. Nach Auskunft eines Netzbetreibers gibt es in jeder MSC ein VLR. HLR, AuC und EiR sind gemeinsam untergebracht in den MSC. Unsicher ist, ob tatsächlich jede MSC diese Register besitzt oder nicht und wie viele Backup-Systeme es gibt, da diese Register die wichtigsten Kundendaten enthalten. Bei einer mittleren MSC sind HLR, AuC und EiR in 6 Racks untergebracht.

⁵⁴ Diese Informationen des Netzbetreibers wurden als vertraulich eingestuft, weshalb der Name nicht genannt werden darf.

⁵⁵ Hierbei besteht eine gewisse Unsicherheit. Lecke beschreibt dies so: „alle MSCs sind an einem Gateway Mobile Switching Center (GMSC) angeschlossen, welcher pro Mobilfunkanbieter genau einmal (mit redundanten Servern zur Steigerung der Ausfallsicherheit) existiert“ (ders. 2004:3). Somit wäre nach Lecke ein GMSC vorhanden für alle MSC. Eine eigene Besichtigung zeigte jedoch, dass die GMSC eher als Racks zu sehen sind, die mehrfach in den MSC vorhanden sind.

⁵⁶ UMTS wird als Mobilfunk der 3. Generation bezeichnet. Die EDGE-Technologie schafft den Übergang von GSM zu UMTS.

2.1.4 Operation and Maintenance Center (OMC/NMS)⁵⁷

Während die Basisstationen, die Basisstationen-Controller und die MSC die unmittelbare Mobilfunk-ebene mit der Abwicklung der Gespräche betreffen, sind die OMC Operation and Maintenance Center für die Steuerung und Wartung des Netzes zuständig. Über das OMC werden auch die Software-Einspielungen bei allen Systemkomponenten vorgenommen. Hierbei soll das OMC-B für die Basisstationen-Controller und das OMC-S für die MSC zuständig sein. Im OMC sind alle Kundendaten hinterlegt in den Datenbanken EIR und AuC.⁵⁸ Dem OMC ist das NMC Network Management Center übergeordnet, welches die Koordinierung der regionalen OMC übernimmt. Das NMC ist zumeist in einem OMC angesiedelt.

Über die Ausstattung der OMC's, ihre Anzahl und die Ausstattung des NMC gibt es nur sehr wenige Informationen. Es ist naheliegend, das OMC mit einem Rechenzentrum zu vergleichen, da nahezu alle Tätigkeiten computergestützt erfolgen. Der Bundesstaat Virginia hat eine Ausstattungsliste für ein spezielles Mobilfunknetz in Virginia veröffentlicht. Hierbei wird zwischen dem NOC Network Operation Center und einzelnen Regionalzentren unterschieden. Die Ausstattung umfasst:

Tabelle 17: Ausstattung eines NOC für die Steuerung eines Mobilfunknetzes.

Element	NOC	Headquarters	Anmerkung
RGU Radio Gateway Units	1	16	ca. 5 kg (geschätzt)
WS-GU Work Station Gateway Units	1	16	ca. 5 kg (geschätzt)
OMC-Server	1		ca. 35 kg mit Zubehör
SIP Session Initiation Protocol Server	1		ca. 35 kg mit Zubehör
Ethernet Switches	2	16	ca. 5 kg (geschätzt)
Dispatch PC's	1	16	ca. 15 kg (geschätzt)
ACP Administrative Control Panel	2		(1 x Reserve)
Firewall Server	1		ca. 35 kg (geschätzt)

Quelle: Commonwealth of Virginia 2007 und Motorola o.J.

2.1.5 Administration

Für die Administration⁵⁹ konnten drei Elemente identifiziert werden (Ericsson 2001:2):

- Über den Service Control Point werden Dienste für den Nutzer aktiviert. Beispiele sind fremdbezahlte 0800-Nummern oder Kreditkartengespräche.
- Das Service Order Gateway (SOG) verbindet das Switching-System mit der Administration. Hier kann das Freischalten oder Sperren der Teilnehmer erfolgen.
- Das Billing Gateway erfasst gebührenrelevante Daten. Es kann an ein MSC oder ein SOG angeschlossen werden.
- Zur Abwicklung dieser Dienste werden vor allem Computerarbeitsplätze und Server benötigt. Über deren Umfang gibt es jedoch kaum Informationen.

2.2 Weitere Mobilfunknetze

Neben dem GSM- und UMTS-Netz für den privaten Bereich gibt es noch zwei weitere Netze, die von der Bahn sowie von Bund und Ländern errichtet werden.

BBOS und BOS

Seit einigen Jahren wird von Bund und Ländern ein Mobilfunksystem für den „Behördenfunk“ aufgebaut. Genutzt wird dieser Behördenfunk für die Polizei, Feuerwehr, Rettungskräfte, den Zoll und den Katastrophenschutz (THW). Umgesetzt wird das System von der BBOS Bundesanstalt für den

⁵⁷ OMC werden in Literatur auch als Network Management Center (NMC) bezeichnet.

⁵⁸ Allerdings wurden diese Datenbanken schon oben im MSC abgeschätzt, weshalb sie hier nicht wieder erscheinen.

⁵⁹ In der Literatur wird die Administration häufig auch unmittelbar zum OMC zugerechnet, was durchaus möglich ist. In dieser Studie wird jedoch zwischen OMC und Administration unterschieden.

Digitalfunk der Behörden und Organisationen für Sicherheitsaufgaben. Der Mobilfunk trägt den „Namen“ BOS - Behörde für Organisation und Sicherheitsaufgaben. Er beruht auf dem TETRA-Standard. Geplant sind für BOS ca. 3.600 bis 4.000 Basisstationen, die jedoch zur Zeit noch im Aufbau sind. Bis Ende 2008 war in ca. 9 der 45 Netzabschnitte BOS im Aufbau und für 27 in der Planungsphase. Im Rahmen des BOS-Systems sollen zudem 62 Vermittlungsstellen, vier Transitstellen sowie 2 Netzwerkmanagementcenter⁶⁰ aufgebaut werden (BBOS o.J.).

Betrachtet man die Zahl der Basisstationen, so würden sich als Equipment für den Betrieb des Netzes zwischen 17 und 100 RNC sowie 8 bis 50 MSC⁶¹ mit zusätzlichen Geräten für die Datenbanken und ggf. GMSC ergeben.

GSM-R (Global System for Mobile Communications – Rail(way))

Zur sicheren Kommunikation innerhalb des Bahnnetzes wurde seit einiger Zeit ein eigenes Mobilfunknetz in Deutschland (und anderen europäischen Staaten) nach einem einheitlichen Standard aufgebaut um den bisherigen analogen Zugfunk abzulösen. Neben der Sprachkommunikation soll GSM-R vor allem auch der Zugsicherung dienen. Ein wichtiger Unterschied des verwendeten Systems ist die Priorisierung und Verdrängung von Rufen. Hierdurch ist es möglich, dass in speziellen Situationen Notrufe (z.B. medizinischer Notfall im Zug) und Anweisungen zur Zugbeeinflussung (z.B. sofortiges Anhalten des Zuges auf freier Strecke) alle anderen Rufe verdrängen können. GSM-R ist ein europäisch interoperables Mobilfunknetz und wird bei dem Internationalen Eisenbahnverband (Union Internationale des Chemins de fer, UIC) als EIRENE (European Integrated Railway Radio Enhanced Network) Projekt geführt.

Die Deutsche Bahn hat mit dem Aufbau 1999 begonnen. Bis Ende 2004 war die erste Ausbaustufe mit 2.400 Basisstationen abgeschlossen (Burkhardt und Eisemann 2005). Zusätzlich zu den Basisstationen sollten noch 63 BSC/RNC⁶², sieben Vermittlungen, und 4 Operation & Maintenance Center (OMC) – davon eins als Network Management Center (NMC) – aufgebaut werden (Wikipedia: GSM-R). Bis 2007 war GSM-R entlang von mehr als 24.000 Streckenkilometern in Betrieb. Weiterhin wurden rund 10.000 Fahrzeuge für GSM-R ausgerüstet. Ebenso wurde das GSM-R Netz für den Rangierfunk auf einigen Rangierbahnhöfen eingeführt (geplant ca. 1.400 Bahnhöfe).

Betrachtet man die Zahl der Basisstationen, so würden sich als Equipment für den Betrieb des Netzes zwischen 100 und 600 RNC sowie 50 bis 300 MSC⁶³ mit zusätzlichen Geräten für die Datenbanken und ggf. GMSC ergeben.

Mobilfunk und WLAN Wireless Local Area Network

Seit einiger Zeit werden in häufig frequentierten Zonen (Flughäfen, Bahnhöfen, Hotels, Universitäten etc.) sogenannte WLAN Wireless Local Area Networks eingerichtet. Im Jahre 2005 gab es in Deutschland ca. 6.000 WLAN Hotspots (tns-Infratest 2007:156). In diesen Zonen ist es möglich, drahtlos mit einem Laptop ins Internet zu gehen. WLAN und Mobilfunk unterscheiden sich im Prinzip nur in der Frequenz. Seit einigen Jahren gibt es Versuche wie z.B. von Nokia, das WLAN auch für den Mobilfunk nutzbar zu machen. So ist es möglich, mit dem Nokia 6136 sowohl im GSM-Netz zu telefonieren als auch über Voice over IP über das Internet zu telefonieren.

⁶⁰ Bei den „Transitstellen“ und „Vermittlungsstellen“ handelt es sich um reale Gebäudekomplexe, so dass diese nicht mit den RNS oder MSC verglichen werden können.

⁶¹ Verhältnis RNS/RNC: 40/1 bzw. 240:1 sowie RNC:MSC 2/1.

⁶² Hierbei besteht die Unsicherheit, ob es sich um BSC oder RNC handelt.

⁶³ Verhältnis RNS/RNC: 40/1 bzw. 240:1 sowie RNC:MSC 2/1.

2.3 Sekundäre Infrastruktur des Mobilfunks

Neben den oben genannten Infrastrukturbestandteilen gibt es noch eine sekundäre Infrastruktur für den Betrieb des Mobilfunknetzes, die allerdings gewissen Ähnlichkeit zu anderen Netzen hat und deshalb nicht in die spezifische Infrastrukturabschätzung einfließt. Sie wird deshalb nur kursorisch benannt, da sie nicht in die Szenarien für die Massenbilanz einfließt:

- Gebäude – Betrieb des Netzes: Der Betrieb des Mobilfunknetzes setzt natürlich voraus, dass entsprechende Räumlichkeiten für den Betrieb der Infrastruktur bereitgehalten werden. Basisstationen werden entweder auf Dächern, in Dachräumen oder anderen Räumen eines Gebäudes untergebracht. Ebenso ist die Aufstellung im Freien neben Gebäuden möglich. Basisstationen-Controller werden zumeist in Gebäuden untergebracht. Größere Räumlichkeiten benötigen die MSC, in denen auch das Personal der Mobilfunkbetreiber ihre Arbeitsplätze hat.
- Gebäude – Vertrieb der Geschäftsleistungen: Die Mobilfunkanbieter haben im großen Umfange in Kooperation mit Vertriebspartnern Räumlichkeiten erstellt oder angemietet, um ihre Leistungen zu vertreiben. Angesichts der doch überschaubaren Infrastruktur für das Mobilfunknetz (vgl. Kap. 3.3) kann davon ausgegangen werden, dass der Ressourcenaufwand für den Vertrieb deutlich höher ist als für das Netz selber.
- IKT-Infrastruktur: Der Betrieb eines Mobilfunknetzes ist noch mit einer hohen sekundären IKT verbunden. Unter primärer IKT kann hierbei das Computernetzwerk zur Wartung und Steuerung des Mobilfunknetzes verstanden werden. Unter sekundärer IKT können hierbei die notwendigen Systeme zur Erbringung der Geschäftstätigkeit verstanden werden. Diese sind vor allem im SCP, SOG und BG verankert.
- Brandschutztechnik: Rechenzentren wie die MSC benötigen eine spezielle Brandschutztechnik, da sich der Einsatz von leitfähigen Löschmitteln verbietet und auch höhere Anforderungen an die schnellere Detektion von entstehenden Bränden vorhanden sind. In Frage kommen u.a. Gaslöschanlagen mit CO₂ oder Stickstoff, bessere mechanische Abschottungen der Systeme (Brandschutztüren) sowie Branddetektion mit Infrarot. Eine mittlere MSC eines Netzbetreibers verfügt über ca. 100 Gasflaschen mit Stickstoff..
- Stromversorgung: Rechenzentren für den Mobilfunk benötigen genauso wie Steuerungszentren für Energienetze höhere Anforderungen an die Stromversorgung, die innerhalb sehr geringer Zeiten die Stromversorgung sicherstellt bis mechanische Versorgungssysteme anspringen. Die Stromversorgung durch Ersatzaggregate wird nicht berücksichtigt.⁶⁴ In der Bilanzierung sind jedoch die Notstromversorgung sowie die DC-Stromversorgung berücksichtigt.
- Alarmanlagen: Die MSC der Mobilfunkbetreiber sind sehr sicherheitssensible Bereiche, weshalb sie mit speziellen Alarmanlagen ausgestattet sind.
- Vernetzung mit Festnetztechnik: Die Vernetzung von Mobilfunk mit ISDN erfolgt über die verschiedenen Schnittstellensysteme, die in der Bilanzierung berücksichtigt sind. Darüber hinaus gibt es noch eine Vernetzung mit der Festnetztechnik. Die dazu benötigte Ausstattung – wie z.B. große Rangierverteiler – wurden bei der Ressourcenabschätzung nicht berücksichtigt, da sie in den Festnetzbereich fallen.

⁶⁴ Beispielsweise verfügt eine mittlere MSC über zwei Dieselmotoren von 390 kVA und 700 kVA.

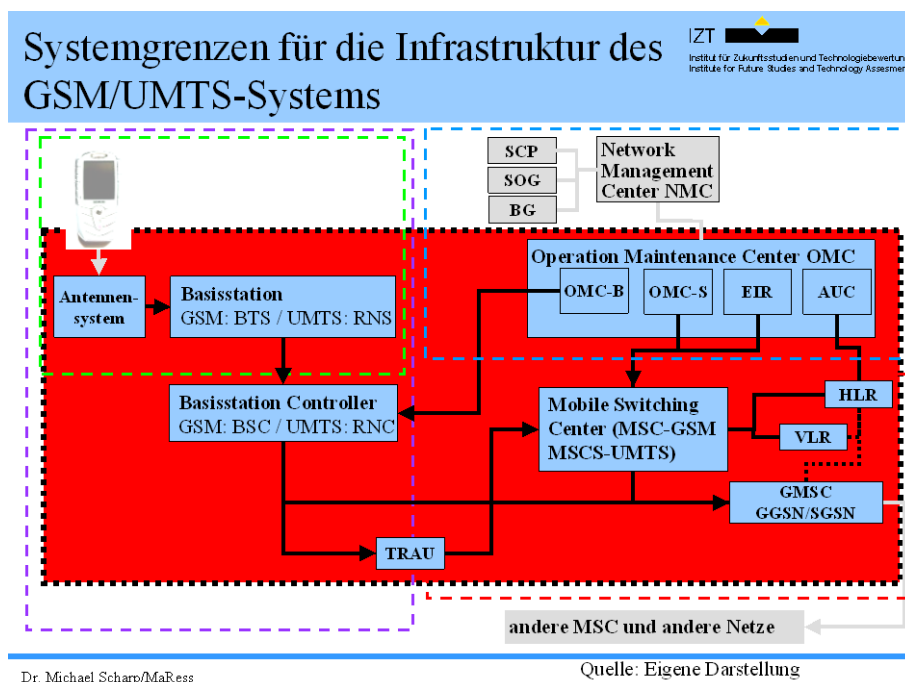
3 Abschätzung der Ressourcenintensität des Mobilfunknetzes

Zur groben Abschätzung der Ressourcenintensität des Mobilfunknetzes müssen einige Annahmen getroffen werden. Diese werden im nachfolgenden Kapitel aufgeführt. Anschließend erfolgt eine kursorische Abschätzung der Massenbilanz soweit dies auf der Grundlage der vorhandenen Daten möglich ist.

3.1 Systemgrenzen

Die Systemgrenzen für die Abschätzung der Infrastruktur umfassen die Basisstationen, die Controller-Stationen, die Mobile Switching Center und die Operation Maintenance Center. Nicht einbezogen in diese Bilanzierung werden das Network Management Center als Schnittstelle zwischen dem operativen Kundenbereich und der Netztechnik sowie die Kundenzentren (SCP Service Control Point, SOG Service Order Gateway und BG Billing Gateway). In der folgenden Abbildung sind die Systemgrenzen dargestellt:

Abbildung 10: Systemgrenzen zur Abschätzung der Infrastruktur für den Mobilfunk



3.2 Annahmen für die vier Ebenen des Mobilfunksystems

3.2.1 Base Station Subsystem

Basisstationen – Anzahl und Standorte

Ein Schätzung sowohl der Anzahl der Basisstationen, der Anzahl der Standorte und auch der Verteilung auf GSM und UMTS ist sehr schwierig, da hierzu keine validen Daten vorliegen. Auf der einen Seite lässt sich die Anzahl der BTS und der RNS innerhalb eines gewissen Rahmens gut genug abschätzen. So dürften die Basisstationen für das GSM-Netz zwischen 60.000 bis 70.000 Stück, die Anzahl der Basisstationen für das UMTS-Netz dürfte für den Zeitraum 2006 bis 2008 zwischen 30.000 bis 36.000 Stück liegen. Drei Probleme sind jedoch hier relevant:

1. Zum einen werden Standorte von mehreren Mobilfunkbetreibern gemeinsam genutzt. Dies bedeutet, dass bestimmte bauliche Elemente wie Blitzschutz, Masten, Elektroverteilung und Kühlung nicht in doppelter oder mehrfacher Anzahl vorhanden sind. Es gibt jedoch keine Unterscheidung, in wie weit sich die rechnerisch ermittelbaren Werte zwischen UMTS- und GSM-Basisstationen verteilen lassen.
2. Zum anderen ist davon auszugehen, dass ein größerer Teil der UMTS-Anlagen in den BSC-Standorten integriert ist, wobei jedoch unklar ist, welcher Anteil dies umfasst.⁶⁵
3. Für das erste Quartal 2009 hat die Bundesnetzagentur die Zahl der UMTS-Basisstationen mit 39.000 angegeben, also 3.000 mehr als oben angenommen. Hierbei ist zum einen zu berücksichtigen, dass UMTS und GSM wenn möglich an einem Standort zusammengefasst werden, d.h. die zusätzlichen Stationen könnten in vorhandene GSM-Stationen integriert sein. Zum anderen verwenden die Netzbetreiber inzwischen duale Systeme, die sowohl UMTS als auch GSM übertragen können. Bei diesem dualen Ausbau werden die GSM-Stationen im Prinzip aufgelöst. Da die BNA hierzu aber keine Aussage macht, wird der neuere Wert der BNA für die UMTS-Stationen nicht verwendet.

Um eine Überschätzung der Ressourcenbilanz zu vermeiden – dies wäre der Fall wenn die Mehrfachnutzung der Standorte nicht berücksichtigt werden würde – muss die Standortzahl für BTS und RNS geschätzt werden. Die Anzahl von BTS und RNS sollte zwischen 90.000 und 106.000 liegen. Hieraus würden sich rechnerisch zwischen ca. 50.000 und 60.000 Standorte für beide zusammen ergeben entsprechend der Standortmitnutzung für das Jahr 2004 (vgl. Tabelle 11). Die Summe der BTS und der RNS sollte diese Werte somit nicht überschreiten. Eine Verteilung dieser Werte auf Basis des geschätzten Verhältnisses von BSC zu RNC müsste jedoch berücksichtigen, dass viele UMTS-Standorte in GSM-Standorte integriert sind, aber GSM – und deshalb die BSC – flächendeckend Deutschland abdecken. Hingegen müssen eine unbestimmte Anzahl von UMTS-Stationen aufgrund der geringeren Reichweite zwecks einer Flächenabdeckung eines Netzgebietes separat untergebracht werden, da nicht genug GSM-Stationen vorhanden sind. Es gibt jedoch keine Information, wie sich die Standorte auf GSM und UMTS verteilen. Deshalb wird die Verteilung der Standortzahl sowohl für die ermittelten Anlagenzahlen für die BTS und RNS übernommen als auch für die Minimal- und Maximalwerte der UMTS bzw. GSM-Basisstationen. Hierdurch ergibt sich die folgende Abschätzung:⁶⁶

Tabelle 18: Standortmitnutzung von Mobilfunkanlagen (2004) und Umrechnung auf die Standortzahlen in 2008 [Anzahl]

	Standorte	Anlagenzahl	GSM Min.	GSM Max.	UMTS Min.	UMTS Max.
Gesamtanzahl (Schätzung)			60.000	70.000	30.000	36.000
Standort mit einer Funkanlage	29 %	1	17.400	20.300	8.700	10.440
Standort mit zwei Funkanlagen	40 %	2	12.000	14.000	6.000	7.200
Standort mit drei Funkanlagen	19 %	3	3.800	4.433	1.900	2.280
Standort mit vier Funkanlagen	8 %	4	1.200	1.400	600	720
Standort mit fünf und mehr Funkanlagen	4 %	5	480	560	240	288
Summe (Standorte, gerundet)			35.000	41.000	17.000	21.000

Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis der Schätzung der Anlagenzahl und der Standortverteilung gemäß Bundesnetzagentur 2004.

⁶⁵ Eine genauere Analyse hätte vielleicht durch die Auswertung des Infrastrukturatlases der Bundesnetzagentur erzielt werden können, aber dies war im Rahmen des Vorhabens nicht möglich, da die Bundesnetzagentur die Datenbank nicht für wissenschaftliche Zwecke zur Verfügung stellt sondern nur für Kommunen, in denen eine Standortplanung erforderlich ist.

⁶⁶ Nicht abschließend konnte hier die Frage geklärt werden, in welchem Umfange tatsächlich singulär nur für UMTS-genutzte Standorte vorhanden sind. Üblicherweise werden UMTS-Stationen in GSM-Stationen untergebracht, aber UMTS konzentriert sich auf die dichteren Siedlungsräume, in denen es mehr RNS als BTS gibt.

Basisstationen – Racks

Die Anzahl der Racks pro BTS bzw. RNC wurde von Scharnhorst im Rahmen seiner LCA auf 2-3 geschätzt. In der Berechnung der LCA-Daten wurden jedoch für jede BTS nur 2 Racks und für jede RNS nur 1 Rack angenommen. Eine Besichtigung und Gespräche mit einem Mobilfunkbetreiber in 2009 zeigten, dass heutzutage eher je ein Rack für GSM und UMTS verwendet werden. Inzwischen werden auch Systeme eingeführt, die sowohl UMTS als auch GSM gleichzeitig verarbeiten, so dass nur noch ein Rack – in Abhängigkeit von der Netzbelastung – notwendig wäre. Insbesondere diese Netzbelastung – d.h. wie viele Teilnehmer maximal gleichzeitig innerhalb der Funkzelle telefonieren können – macht die Abschätzung der notwendigen Technik sehr schwierig. Für die Abschätzung wird deshalb der Auskunft des Mobilfunkbetreibers gefolgt, dass pro BS nur ein Rack jeweils für UMTS und GSM notwendig ist. Dieser Wert könnte den Bestand an Racks unterschätzen, jedoch wird die Einführung dualer Systeme darauf hinauslaufen, dass dieser Wert erreicht werden wird.

Für die Massenbilanz der Racks werden die Werte von Scharnhorst (ders. 2006:155f) übernommen, da diese im Rahmen einer Besichtigung einer BTS bzw. RNS als plausibel eingeschätzt werden konnten. Dies bedeutet für eine GSM 900 Basisstation eine Masse von 220 kg und für ein UMTS-Rack 240 kg.

Bei den Racks werden das Gehäuse und die darin eingeschlossene Technik unterschieden. Entsprechend der Untersuchungen von Scharnhorst wird bei den Racks ein Verhältnis der Massen von Gehäuse zu Technik von 75:25 angesetzt.

Basisstationen – Stromversorgung

Für die DC-Stromversorgung wurde angenommen, dass diese individuell für jedes Racks erfolgt (Bezug: Anlagenanzahl). Für die Stromversorgung wurde ein Gleichrichtermodul Slimline 500 der Fa. Benning angenommen in Form des Einschubs (Gewicht 1 kg). Hierbei besteht die Unsicherheit, ob die DC-Stromversorgung schon in die Masse der „Technik“ bei Scharnhorst integriert ist oder nicht. Im Rahmen dieser Abschätzung wurde angenommen, dass dies nicht der Fall ist, so dass eine eigene DC-Stromversorgung zusätzlich zu der Rack-Technik hinzugerechnet wurde.

Für die freistehenden Basisstationen (geschätzte 30 %) wird noch ein zusätzliches Stromverteilermodul – in Anlehnung an einen Hausanschluss – pro Station angenommen. Diesem liegt die Annahme zugrunde, dass von der Verteilerstation die einzelnen Basisstationen an dem Mast – der zumeist von mehreren Betreibern zusammen genutzt wird – versorgt werden. Das Gewicht dieser Verteilerstation wird auf 100 kg geschätzt. Für in Gebäuden installierte Basisstationen wird zusätzlich ein Stromverteiler – d.h. Sicherungskästen und Stromzähler – mit einem Gewicht entsprechend der Angaben von Installationsfirmen mit 20 kg angenommen. Der Bezug bei freistehenden und in Gebäuden installierten Anlagen sind jeweils die Anzahl der Standorte.

Basisstationen – Notstromversorgung

Nach Scharnhorst ist jede Basisstation mit einer Notstromversorgung ausgestattet, nach Auskunft eines Mobilfunkbetreibers erhält eine Basisstation nur dann einen Batteriesatz, wenn mindestens 10 BTS bzw. RNS an diesem Knoten hängen bzw. wenn es sich um eine BTS/RNS mit wichtigen Richtfunk-Verbindungen handelt.⁶⁷ Ungewiss ist, wie die Netzbetreiber die Notstromversorgung an gemeinsam genutzten Standorten sicherstellen, da nicht jeder gemeinsam genutzter Standort für alle Netzbetreiber gleich wichtig ist. Eine zweite Unsicherheit ergibt sich durch die reinen UMTS-Basisstationen, da hier ungewiss ist, ob diese auch in „längeren Ketten“ zusammengeschaltet sind oder beispielsweise eine bestimmte Anzahl von UMTS-Stationen an eine GSM-Basisstation angeschlossen ist, in der sich die RNC befindet. Da dieses Problem sich nicht lösen lässt, wird geschätzt,

⁶⁷ Telefonische Auskunft eines Mobilfunkbetreibers.

dass die Notstromversorgung (Batterien) der Basisstationen maximal 10 % aller bzw. minimal 20 % aller Standorte betrifft.

Die Dimensionierung der Notstromversorgung wird auf Basis einer Herstellerankunft (Fa. Benning) berechnet. Für die Abschätzung wird entsprechend der Herstellerankunft davon ausgegangen, dass der Batteriesatz ca. 150 kg wiegt.

Basisstationen – Kühlung

Scharnhorst, der eine Ökobilanz zum Mobilfunk erstellt hat, schätzt dass je BTS/RNS zwischen einer und zwei Kühlanlagen verwendet werden (ders. 2006:155). Für seine Ökobilanz verwendet er den unteren Wert, d.h. eine Kühlanlage je BSC/RNC (ders. 2006:170). Weiterhin ist für die Dimensionierung der Kühlanlagen nach Scharnhorst wichtig, ob es sich um freistehende Basisstationen oder Basisstationen in Gebäuden handelt. Da keine Daten darüber vorliegen, wie viele Basisstationen in Gebäuden – und damit wird die Vermittlungstechnik meistens unter dem Dach untergebracht – und wie viele freistehend sind, wurden die Verhältnisse für die Schweiz übernommen. Emmenegger schätzt, dass 70 % der BTS/RNS auf Häusern und 30 % an freistehenden Masten stehen (Emmenegger 2003:13). Da die Annahme von Scharnhorst – eine Kühlung pro BTS bzw. RNS (vgl. ders. 2006:170) – mit der Auskunft eines Netzbetreibers übereinstimmt, wird dieser Wert übernommen. Problematisch ist jedoch, wenn von mehreren Netzbetreibern ein gemeinsamer Standort betrieben wird. Hierbei wird davon ausgegangen, dass es nur eine Raumkühlung für die Basisstation gibt, da unabhängige Raumkühlungen von mehreren Betreibern an einem Standort keinen Sinn machen. Der Bezugswert ist deshalb die Anzahl der Standorte. Für die Massenbilanz werden die Massen der Kühlanlagen für den Innenbereich mit 25 kg und für den Außenbereich von ca. 50 kg benutzt (Emmenegger 2003:69/72). Als Bezugswert wird die Anzahl der Standorte gewählt.

Basisstationen – Verkabelung

Für die Verkabelung der Basisstationen auf Gebäuden mit den Antennen und zur Stromversorgung wurden von Scharnhorst 40 m Kabel pro BTS angenommen (ders. 2006:170).⁶⁸ Nach Auffassung der Verfasser dieser Studie müssen höhere Werte angenommen werden, da die Verkabelung Antennenkabel, Stromkabel, Steuerungskabel für die Antennenmotoren sowie Kabel zur Herstellung des Potentialausgleichs umfassen. Eine Besichtigung von Basisstationen in und auf Gebäuden zeigte (vgl. auch Abbildung 5), dass aufgrund der Stromeinspeisung im Keller und der Aufstellung der Antennen auf dem Dach häufig lange Wegstrecken mehrfach zu überbrücken sind. Aus diesem Grunde werden als unterer Wert 100 m und als oberer Wert 200 m Kabellänge pro Basisstation in Gebäuden angenommen. Bezugswert ist hierbei die Anlagenanzahl, da die Signalkabel der Betreiber getrennt werden und auch die Stromversorgung mit getrennten Kabeln ab dem Verteilerkasten erfolgt.

Für die Verkabelung von freistehenden Antennen müssen gleichfalls höhere Werte als von Scharnhorst angesetzt werden. Dies lässt sich modellhaft zeigen. Werden an einem 20 Meter hohen Mast nur 3 Sektorantennen befestigt, so müssen mindestens 6 Signalleitungen, 3 Leitungen zur Steuerung des Antennenmotors und 1 Leitung für die Stromversorgung gezogen werden. Zusammen wären dies 200 m Leitung. Dieser Wert wird als unterer Wert genommen, als oberer Wert werden 300 Meter genommen. Bezugswert ist hierbei gleichfalls die Anlagenanzahl.

Weiterhin sind eine Vielzahl von Basisstationen und auch von Controller-Stationen mit Richtfunkverbindungen ausgestattet. Es liegen keine Informationen vor, in welchem Umfang Richtfunkverbindungen existieren, weshalb davon ausgegangen wird, dass das Verhältnis von Richtfunkstrecken zu Basisstationen 1:10 beträgt.⁶⁹ Für die Verkabelung der Richtfunkstrecken (Antennenkabel und

⁶⁸ Nach Scharnhorst werden 20 bis 40 Meter verwendet, in seiner LCA geht er für alle Stationen von 40 m aus.

⁶⁹ Dies bedeutet nicht, dass 10 % der Basisstationen mit Richtfunkstationen ausgestattet sind, sondern dass die BSC/RNC, die MSC sowie wichtige Netzknoten mit Richtfunkverbindungen ausgestattet sind.

Stromanschluss) werden als unterer Wert 3 mal 20 Meter (60 m) und als oberer Wert 6 mal 20 Meter (120 m) geschätzt. Bezugswert ist die Anzahl der Standorte.

Fernmelde-, Rechner-, Koaxial- und Datenleitungen für den Innenbereich haben Kabelgewichte von 70 bis 1.000 kg/km (vgl. TKD o.J. und RFS o.J.). Antennenkabel (Feeder-Kabel) für den Mobilfunk von RFS wiegen zwischen 70 (8 mm Durchmesser) und 1.700 kg/km (60 mm Durchmesser). Abbildungen von Kabeln für Mobilfunkanlagen zeigen, dass hierbei die ganze Spannbreite der Durchmesser genutzt wird (vgl. Abbildung 5). Es wird deshalb für eine Abschätzung von Kabelgewichten für den Antennenanschluss und den Stromanschluss von 800 kg/km als Mittelwert bei einer Gebäudemontage ausgegangen (vgl. Faber o.J.).⁷⁰ Bei freistehenden Anlagen zeigen Abbildungen (vgl. Abbildung 5), dass hier vor allem die größeren Kabel vorliegen. Deshalb wird hier von einem mittleren Gewicht von 1.200 kg/km ausgegangen sowohl für die interne und externe Verkabelung. Für einen externen Stromanschluss wird von Kabelgewichten von 3.000 kg/km ausgegangen (Starkstromkabel). Der Bezugswert ist hierbei die Anzahl der Anlagen.

Kabel werden zumeist in Kabelschächten, Kabelschienen oder Kabelträgern verlegt. Über die Menge des verwendeten Materials gibt es kaum Informationen. Es wird deshalb angenommen, dass 20 % aller Stationen mit umfangreicheren Schienensystemen mit einer Masse von 250 kg und 80 % der Basisstationen mit einem Schienensystem von 50 kg aus verzinktem Stahl ausgerüstet sind. Der Bezugswert ist hierbei die Anzahl der Standorte.

Darüber hinaus wird auch noch ein zusätzlicher Bedarf für den Stromanschluss freistehender Masten angenommen. Allerdings werden nicht alle freistehenden Masten fernab von Stromleitungen aufgestellt. Im ländlichen Raum stehen sie meist nahe von Gebäuden oder zu Straßen. Für den zusätzlichen Stromanschluss werden für ein Fünftel der freistehenden Masten zusätzliche Kabellängen von 500 m Erdkabel angenommen.⁷¹ Der Bezugswert ist hierbei die Anzahl der Standorte.

Basisstationen – Zusätzliche Gehäuse (Container)

Über die zahlenmäßige Verwendung von Containern oder Gebäuden für die Aufstellung der Basisstationen ist nichts bekannt, außer dass diese Lösungen manchmal verwendet werden. Es wird deshalb angenommen, dass ein Fünftel aller freistehenden Basisstationen – d.h. 6 % aller Basisstationen – in Containern untergebracht ist. Ein 8-Fuß Container aus Stahl wiegt ca. 750 kg. Der Bezugswert sind die Anzahl der Standorte, da in einem Container mehrere Basisstationen unterschiedlicher Netzbetreiber untergebracht werden können.

Basisstationen – Antennen

Nach Scharnhorst werden GSM-Stationen mit durchschnittlich 6 Antennen, UMTS-Stationen mit 3 Antennen ausgestattet (der. 2006:155 und 168). Nach Kathrein werden heute eher 3 Sektorenantennen verwendet. Hierbei besteht die Schwierigkeit, dass sowohl einfach polarisierte Antennen als auch Dual- oder Triple-Band-Antennen benutzt werden. Diese sind zwar deutlich schwerer, aber dafür benötigt eine Basisstation nur 3 anstelle von 6 Antennen wenn zwei Frequenzbereiche abgedeckt werden. Es wird deshalb die Annahme getroffen, dass je Basisstation 3 Antennen mit einem unteren Gewicht von 6 kg und einem oberen Gewicht von 12 kg verwendet werden. Kleinere Standorte mit weniger und leichteren Antennen (Mikrozellen) würden unter dem unteren Wert liegen, Standorte mit Dual-Band oder Tripel-Band-Antennen würden über dem oberen Wert liegen auch wenn sie mit weniger Antennen (3 statt 6 oder 3 statt 9) auskommen. Der Bezugswert ist die Anzahl der Basisstationen.

⁷⁰ Hierbei können durchaus leichtere Kabel für die Innenverkabelung und schwerere für die Außenverkabelung genutzt werden.

⁷¹ 30 % Gesamtanteil aller Basisstationen werden als freistehend angenommen, davon 20 % der Basisstationen mit längerer Stromversorgung, d.h. 6 % aller Basisstationen.

Für alle UMTS-Antennen wird angenommen, dass sie mit einer motorischen Steuerung versehen sind (RCU). Bei den GSM-Antennen wird ein Anteil von 30 % angenommen. Hierbei wird eine RCU Typ 860 10025 von Kathrein mit 500 g Gewicht pro Antenne angenommen. Für die CCU (Central Control Unit) wird ein Gewicht von 4 kg angenommen (pro Basisstation). Da die CCU mehrere Antennen ansteuern kann, werden hierbei bei GSM 10 % der Basisstationen angesetzt unter der Annahme, dass die 30 % ferngesteuerten GSM-Antennen insgesamt 10 % der Standorte ausmachen. Bei UMTS wird eine CCU pro Standort angesetzt. Ebenfalls wird je Antenne ein Verstärker mit einem Gewicht von 5 kg angenommen (Kathrein DTMA UMTS 12 AISG). Weitere elektrische und elektronische Bauteile sind Bias (1,3 kg), DC-Stops, 50- Ω -Loads und Stromverteiler (250 g) mit einem geschätzten Gesamtgewicht von 5 kg. Das Gewicht der Befestigungsmaterialien wird von Kathrein auf 10 kg geschätzt. Der Bezugswert ist die Anzahl der Basisstationen.

Basisstationen – Richtfunkverbindungen

Zusätzlich bestehen zwischen vielen Basisstationen noch Richtfunkverbindungen, auch wenn die Kommunikation zumeist über einen Festnetzanschluss zwischen den verschiedenen Ebenen des Mobilfunknetzes erfolgt. Hierbei wird angenommen, dass auf 10 % aller Basisstationen eine Richtfunkantenne vorhanden ist. Der Bezugswert ist die Zahl der Standorte.

Das Gewicht dieser Antenne wird auf 5 kg geschätzt. Zusätzlich wird das notwendige Befestigungsmaterial (verzinkter Stahl) auf jeweils 10 kg geschätzt pro Antenne. Analog der GSM/UMTS-Antennen werden je Antenne eine RCU, ein Verstärker sowie weitere Elektrobauteile mit einem Gesamtgewicht von 10 kg pro Antenne angenommen, wobei untergliedert wird in 5 kg Elektronik und 5 kg Elektrik (Schätzung). Eine CCU wird hierbei nicht angenommen, da diese in 10 % aller GSM-Standorte und 100 % aller UMTS-Standorte schon angesetzt wurde.

Basisstationen – Masten

Über die Verteilung der Anzahl von Basisstationen auf Gebäuden oder als freistehende Masten liegen keine Informationen vor, weshalb zunächst die Verteilung entsprechend der Schweiz aufgegriffen wird (70 % auf Gebäuden, 30 % freistehend).

Für die Masten der Basisstationen in Gebäuden werden 200 kg verzinkter Stahl pro Basisstation angesetzt (vgl. auch Abbildung 7). Bei den Mastkonstruktionen von freistehenden Anlagen (30 % der Basisstationen) wird folgende Verteilung angesetzt:

- 10 % der Antennen werden an vorhandene Infrastruktur angebaut (Annahme: Ständerwerk und Halterung mittels verzinktem Stahl, 50 kg pro Basisstation).
- 15 % der Antennen werden mit leichten Stahlrohrmasten errichtet (Annahme: 20 m Mast, 700 kg verzinkter Stahl inklusive Antennenhalterungen).
- 5 % aller Basisstationen befinden sich an Stahl-Gittermasten (Annahme: bis 30 m, Gewicht 6 Tonnen).

Nicht berücksichtigt werden hierbei große Betonmasten, die zumeist noch aus der Zeit stammten, als die Telekom noch alleiniger Betreiber von Richtfunk war. Eine weitere Unterschätzung könnte bei den gemeinsam genutzten Standorten auf Gebäuden liegen. Beispielsweise werden auf Flachdächern oft mehrere Mastkonstruktionen der verschiedenen Netzbetreiber installiert. Ob dies mit der obigen Annahme von 200 kg pro Mastkonstruktion auf einem Gebäude ausreichend ist, kann nicht eingeschätzt werden. Der Bezugswert für die Masten ist die Anzahl der Standorte.

Basisstationen – Blitzschutzeinrichtung

Hinsichtlich der Massen für den Blitzschutz liegen keine Angaben vor, da diese von Anlage zu Anlage verschieden sind. Sie können nur abgeschätzt werden unter Berücksichtigung verschiedener Typen von Basisstationen. Hierbei werden folgende Annahmen getroffen:

- 20 % aller Basisstationen werden als auf Flachdächern stehend angenommen. Hierbei können ein umfangreiches Leiterbahnnetz sowie mehrere Fangmasten vorliegen. Dieses Netz wird mit 50 m angenommen.
- Für die restlichen 80 % aller Basisstationen wird eine einfachere Blitzschutzeinrichtung von 20 m Ableitung angenommen inklusive der Fangeinrichtung.
- Als obere Werte der Massen der Blitzschutzeinrichtung werden die Gewichte von Stahl (1,25 kg/lfm) und als unterer Wert das Gewicht von Aluminium (0,25 kg/lfm) angenommen.
- Für alle Basisstationen werden die Befestigungsmaterialien (Halteklammern, Ständer von Fangeinrichtungen, Erdungsanschluss, ggf. eigene Masten als Fangeinrichtungen) sowie Materialien für den Potentialausgleich in der Größenordnung zwischen 30 und 60 kg angenommen (verzinkter Stahl).
- Für die Verkabelung der Blitzschutzeinrichtung mit der Elektroninstallation werden zusätzliche Leitungen von 10 m (unterer Wert) bis 20 m (oberer Wert) angenommen. Wie bei der Elektroverkabelung werden Kabelgewichte von 800 kg/km angenommen.
- Für die Elektroinstallation der Blitzschutzanlage werden 1 kg Elektrik und Gehäusematerialien angenommen.

Der Bezugswert für die Blitzschutzeinrichtungen ist die Anzahl der Standorte.

3.2.2 Radio Subsystem

Basisstationen-Controller (BSC/RNC)

Die Zahl der BTS/RNS pro BSC/RNC wird in der Literatur auf eine breite Spanne von 40 bis 240 Basisstationen pro Controller-Station geschätzt. Modernste RNC – die in 2010 verfügbar waren – können bis zu 512 Basisstationen vernetzen. Für eine Abschätzung der Mobilfunkinfrastruktur wird hier eine Spannbreite von 50 bis 100 BTS/RNS pro Controller-Station angenommen. Begründen lässt sich der obere Wert mit der stetigen technologischen Entwicklung und Modernisierung der Mobilfunkinfrastruktur, d.h. es werden Controller verwendet, die zahlreiche Basisstationen anbinden können sowie der deutschlandweiten Abdeckung des Mobilfunksystems, bei dem auch die Flächenländer versorgt werden und somit mehr Controller-Stationen notwendig sind als in dichten Ballungsräumen. Der untere Wert orientiert sich an den Auskünften von Ericson und einem Netzbetreiber. Bezugswert ist die Anzahl der Standorte, da alle BSC/RNC fast ausschließlich an einer Basisstation angedockt sind.

Als Equipment werden nur Racks, Kühlanlagen, die Verkabelung, die DC-Stromversorgung und eine Notstromversorgung (s.u.) angenommen. Weitere Bauteile werden nicht angenommen, da die BSC/RNC über die Ausstattung der Basisstationen versorgt werden, d.h. Stromverteiler, Antennen, Blitzschutz oder Masten werden nicht zusätzlich hinzugerechnet.

Basisstationen-Controller (BSC/RNC) - Racks

Nach Scharnhorst (ders. 2006:170) werden je BSC/RNC 4 Racks verwendet. Nach Auskunft eines Mobilfunkbetreibers werden je Ausbaustufe 1 bis 2 Racks benötigt. Es werden deshalb als unterer Wert 1 Rack und als oberer Wert 4 Racks angenommen.

Für die Massenbilanz werden die Werte von Scharnhorst verwendet. Hierbei wurden für ein GSM-BSC Rack 270 kg angesetzt. Ein UMTS-RNC Rack wiegt ca. 230 kg. Bei den Racks wird das Gehäuse und die darin eingeschlossene Technik unterschieden. Entsprechend der Untersuchungen von Scharnhorst wird bei den Racks ein Verhältnis von Gehäuse zu Technik von 75:25 angesetzt.

Basisstationen-Controller (BSC/RNC) – Kühlung

Scharnhorst, der eine Ökobilanz zum Mobilfunk erstellt hat, schätzt dass je BSC/RNC zwischen einer und zwei Kühlanlagen verwendet werden (ders 2006:155). Für seine Ökobilanz verwendet er den unteren Wert, d.h. eine Kühlanlage je BSC/RNC (ders. 2006:170). Nach Auskunft eines Netzbetreibers sind alle BSC/RNC an einer Basisstation untergebracht und werden durch die Kühlung der

Basisstation mitversorgt. Es werden deshalb als unterer Wert 0, d.h. die Kühlung der BSC/RNC erfolgt durch die BTS/RNS und ist dort schon berücksichtigt, und als oberer Wert eine Kühlanlage pro BSC/RNC gerechnet (eigenständige Kühlung auch wenn sie zusammen mit den BTS/RNS untergebracht sind). Es wird weiterhin davon ausgegangen, dass Basisstationen-Controller in Gebäuden untergebracht werden, weshalb Innenkühlanlagen angenommen werden. Entsprechend der Studie von Emmenegger wiegt eine Kühlanlage für eine BTS im Innenbereich ca. 25 kg. Der Bezugswert ist die Anzahl der RNC bzw. BSC-Standorte.

Basisstationen-Controller (BSC/RNC) – Strom- und Notstromversorgung

Nach Auskunft eines Mobilfunkbetreibers gibt es für die Racks einer Controllerstation nur eine DC-Stromversorgung. Nach Scharnhorst wird diese – im Gegensatz zu den Racks der Basisstationen – nicht explizit in der Ökobilanz aufgenommen (vgl. Kap. 2.1.2). Als unterer Wert wird somit eine gemeinsame DC-Stromversorgung und als oberer Wert 4 (durchschnittliche Anzahl der Racks pro BSC/RNC) angesetzt. Hierbei wird ein TEBECHOP-Modul 3000 HD der Fa. Benning zugrunde gelegt mit einem Gewicht von 3 kg (Benning o.J.:5). Der Bezug ist hierbei die Anzahl der Racks (oberer Wert) bzw. der Stationen (unterer Wert).

Über die Notstromversorgung mit Batterien liegen keine Daten vor. Controllerstationen sind jedoch wichtige Schnittstellen im Netz, da sie die Basisstationen vernetzen. Es wird deshalb angenommen, dass analog der Basisstationen jede BSC/RNC eine Notstromversorgung mit Batterien hat. Diese wird analog der Basisstationen auf 150 kg geschätzt. Hierbei könnte eine Übergewichtung vorkommen, da Controllerstationen fast immer in Basisstationen untergebracht werden und (wie oben dargestellt) angenommen wird, dass 10 % aller Basisstationen über eine Notstromversorgung verfügen. Über diese Notstromversorgung kann auch die BSC/RNC laufen. Deshalb wird die Annahme getroffen, dass der untere Wert 0 % ist (BSC/RNC immer an Basisstationen mit eigener Notstromversorgung) und der obere Wert gleich 10 % ist (zusätzlich zu 10 % der Basisstationen haben auch alle BSC und RNC eine Notstromversorgung). Der Bezug ist hierbei die Anzahl der Standorte.

Basisstationen-Controller (BSC/RNC) - Verkabelung mit BTS/RNS

Entsprechend der Einschätzung von Scharnhorst (ders. 2006:170) werden je BSC 20 m und je RNC 40 m Verkabelung (Outdoor) angenommen. An den BSC/RNC sind auch zumeist Richtfunkverbindungen angeschlossen, aber eine Schätzung ihrer Mengenbilanz wurden dort schon berücksichtigt, so dass sie hier nicht aufgenommen werden müssen (s.o.). Für die Kabelgewichte werden 1.200 kg/km angesetzt. Der Bezug ist hierbei die Anzahl der Standorte.

Mobile Switching Center – Anzahl der Vermittlungsstellen

Die Spannweite der Schätzungen verschiedener Autoren hinsichtlich der Anzahl der MSC für das GSM-Netz liegt zwischen 125 und 350⁷² Stationen wenn man berücksichtigt, dass das UMTS-Netz keine eigenständigen MSC haben, sondern diese in das MSC-System des GSM-Netzes integriert sind. Diese hohe Differenz in der Literatur erklärt sich vermutlich aufgrund der Spanne der zuvor geschätzten BSC und RNC. Nach Auskunft eines Mobilfunkbetreibers liegt die Anzahl der MSC (hier: Vermittlungsstellen) in Deutschland bei ca. 140. Dieser Wert wird als unterer Wert angenommen. Als oberer Wert werden 200 MSC geschätzt und somit eine Abweichung von ca. 50 % nach oben hin angesetzt.

⁷² Ein noch höherer Wert wird von Scharnhorst unter der Annahme von 2 RNC auf je eine MSC berechnet mit 900 MSC. Dieser Wert ist mit Sicherheit falsch, hierbei muss es sich um Gerätezahlen handeln. Der obere Wert von ca. 900 MSC kann mit Sicherheit nicht zutreffen.

3.2.3 Network Switching System

Mobile Switching Center

Im Rahmen der Besichtigung der MSC konnten weitere Systeme erfasst werden, die zur Netztechnik gezählt werden. Diese sind:

- NSR, Routersystem, 2 Racks pro MSC,
- TRAU (Transcoding and Rate Adaptation Unit, vgl. ELKO o.J.), Signalumwandlung von 13kBit/s in 64 kBit/s, 8 Racks pro MSC⁷³,
- OSS, Main Array zur Netzwerküberwachung, 1 Rack pro MSC,
- Broadband Access Unit, Plattform zur Vernetzung von Sprach- und Datendiensten (Multiservice-Verwaltung von Diensten) für das UMTS-System, 3 Racks pro MSC,
- Media Gateway, Vernetzung von Sprach- und Multimediadiensten, 2 Racks pro MSC,
- Richtfunkvernetzung, 10 Racks pro MSC,
- GPS Clock, stellt die Uhrzeit für das Netz bereit, 1 Rack.

Es liegen kaum Informationen über die Gewichte der obigen Systembestandteile vor, weshalb auf die Abschätzungen von Scharnhorst für eine „MSC“ zurückgegriffen wird (ders. 2006:170). Entsprechend dieser Einschätzung wird für die Racks eine Masse von 300 kg zugrunde gelegt. Bei den Racks werden das Gehäuse und die darin eingeschlossene Technik unterschieden. Entsprechend der Untersuchungen von Scharnhorst wird bei den Racks ein Verhältnis von Gehäuse zu Technik von 75:25 angesetzt.

Mobile Switching Center – Kühlanlagen

Scharnhorst geht von 8 Kühlanlagen je MSC aus, die Besichtigung einer mittleren MSC eines Netzbetreibers zeigte, dass diese MSC mit 6 Kühlanlagen auskam. Für die Abschätzung werden als unterer Wert 6 und als oberer Wert 8 Kühlanlagen genommen. Bezugswert ist die Anzahl der Basisstationen.

Bei den Kühlanlagen handelt es sich um eher große Racks, so dass nicht entsprechend der Studie von Emmenegger die Gewichte der dort analysierten kleineren Kühlanlagen – die sich auf die BTS bzw. BSC beziehen – verwendet werden können. Es wird deshalb geschätzt auf Basis der Besichtigung der MSC eines Netzbetreibers, dass jedes Rack der Kühlanlage 300 kg wiegt.

Mobile Switching Center – Verkabelung

Scharnhorst geht von 40 m pro Rack aus. Eine Besichtigung einer mittleren MSC – die auf ca. 500 qm untergebracht ist, lässt diesen Wert nur für die interne Verkabelung der Racks plausibel erscheinen.⁷⁴ Angesichts der Vielzahl der elektronischen Geräte und der Größe der MSC werden deshalb Kabellängen von 100 bis 200 m je Rack angenommen. Bei den Kabelgewichten werden Werte von 800 kg/km angenommen, die um ein Drittel unter denen von Basis- bzw. Controllerstationen liegen. Diese Werte erscheinen aufgrund der Besichtigung plausibel.

Mobile Switching Center – Datenbanksysteme

Die Datenbanksysteme gehören zur Netztechnik. Aufgrund unzureichender Informationen ist die Abschätzung der Datenbanksysteme sehr schwierig. Deshalb werden die Werte einer mittleren MSC als Grundlage genommen. Hierbei lag ein VLR mit einem Rack sowie sechs Racks, in denen die HLR, AuC und das EiR untergebracht waren, vor. In Anlehnung an die anderen Server Racks wird von einem Gewicht von 300 kg pro Rack ausgegangen, wobei sich die Massen von Gehäuse und Elektronik auf 75:25 wie bei den anderen Systemen verteilen. Der Bezugswert ist die Anzahl der MSC.

⁷³ Die Literatur ist hierbei nicht eindeutig, da vielfach die TRAU auf Basis der Controllerstationen angesiedelt werden. Entsprechend der Besichtigung einer MSC wird die TRAU bei der MSC verankert.

⁷⁴ Jedes Rack enthält zahlreiche Einschübe mit elektronischen Bauteilen.

Mobile Switching Center – Schnittstellensysteme

Die Schnittstellensysteme gehören zur Netztechnik. Für die Abschätzung der Schnittstellensysteme wird auf die Abschätzung des unteren Werts von Scharnhorst mit dem Faktor 4,5 Racks pro MSC zurückgegriffen (ders. 2006:170), d.h. pro MSC werden 1,5 GMSC, 1,5 SGSN und 1,5 GGSN angesetzt. Für den oberen Wert wird auf die Besichtigung einer MSC zurückgegriffen, in der je 3 Racks für die GMSC und GGSN und 2 Racks für die SGSN vorkamen. Auch wenn die besichtigte MSC nur eine mittlere Größe hatte sollen diese Werte als obere Werte dienen da sie höher als die Werte von Scharnhorst sind.

Für die Massenbilanz werden die Annahmen von Scharnhorst übernommen (ders. 2006:167f.). Hiernach wiegt eine SGSN-Einheit ca. 380 kg und eine GGSN ca. 290 kg. Aufgrund der Besichtigung einer MSC wird letzterer Wert auch für die GMSC verwendet. Die Massenverteilung wird in Anlehnung an Scharnhorst mit 75 % für Gehäuse und 25 % für Elektronik angenommen.

Mobile Switching Center – Stromversorgung und Notstromversorgung

Für die Ressourcenabschätzung wird eine USV mit 60 kVA zugrunde gelegt, die für Rechenzentren ausgelegt ist (Typ Galaxy PW, MGE o.J.). Diese USV wiegt 540 kg.⁷⁵ Für die Ressourcenbilanz wird angenommen, dass zwischen 4 und 8 USV je MSC vorhanden sind. Die Notstromversorgung wird über Bleibatterien sichergestellt. Für die Ressourcenbilanz werden Batterien für Telekommunikations-einrichtungen von Oerlikon angesetzt (Oerlikon 2007). Der Typ 2CP1000 wiegt ca. 75 kg. Eine Besichtigung einer mittleren MSC zeigte eine Ausstattung mit 96 Batterien des oben genannten Typs. Als unterer Wert werden 60 Batterien und als oberer Wert 200 Batterien angesetzt. Die nominale Gebrauchsdauer bei Raumtemperatur im Dauerladebetrieb wird von Oerlikon mit 15 Jahre angegeben.

3.2.4 Operation and Maintenance Subsystem

Bei der Abschätzung des OMS wird nur das OMC Operation Maintenance Center betrachtet, da über Network Management Center keine Informationen vorliegen. Über das OMC wird das Funknetz gesteuert und gewartet. Die Informationen über die Ausstattung und Anzahl im Mobilfunknetz sind jedoch sehr spärlich. Ein Netzbetreiber äußerte sich, dass das OSS nur wenige Workstations umfasst. Zur Abrundung der Bilanzierung der Infrastruktur soll jedoch eine grobe Schätzung mit einfließen, um zumindest innerhalb der Netzinfrastruktur beurteilen zu können, ob es sich um gewichtige Positionen handelt. Hierzu wird auf die Ausstattung eines NOC Network Operation Centers in Virginia zurückgegriffen (vgl. Tabelle 17). Ein weiteres Problem ist, dass keine Informationen über regionale Strukturen hinsichtlich der OMC und NMC der Netzbetreiber vorliegen. Es ist jedoch zu vermuten, dass eine größere Anzahl von Basisstationen auch mit einem größeren Technikeinsatz einhergeht. Für die Abschätzung werden folgende Annahmen getroffen:

- Die Ausstattung eines OMC wird analog des NOC von Virginia angenommen.
- Für die großen Mobilfunkbetreiber werden je 2 OMC und die kleinen Mobilfunkbetreiber werden je 1 OMC angenommen (gesamt 6 OMC).
- Jeder Netzbetreiber hat einen Gerätesatz als Reserve (gesamt 4 OMC).

Somit ergeben sich die folgenden Stückzahlen:

⁷⁵ Die USV kann mit einem Batterieschrank verbunden werden, der je nachdem, wie lange eine Stromautonomie sichergestellt werden soll. Die hierbei beschriebenen Produkte können die USV 10 oder 30 Minuten sicherstellen. Da die besichtigte MSC über ein eigenes Batteriesystem verfügte, wird dies nicht beim USV sondern separat aufgeführt.

Tabelle 19: Ausstattung der OMC für die Steuerung eines Mobilfunknetzes.

Element	NOC	Anzahl OMC	Gerätezahl	Anmerkung
RGU Radio Gateway Units	1	6+4	10	ca. 5 kg (geschätzt)
WS-GU Work Station Gateway Units	1	6+4	10	ca. 5 kg (geschätzt)
OMC-Server	1	6+4	10	ca. 35 kg mit Zubehör
SIP Session Initiation Protocol Server	1	6+4	10	ca. 35 kg mit Zubehör
Ethernet Switches	2	6+4	20	ca. 5 kg (geschätzt)
Dispatch PC's	1	6+4	10	ca. 30 kg (geschätzt)
ACP Administrative Control Panel	2	6+4	10	ca. 30 kg (geschätzt)
Firewall Server	1	6+4	10	ca. 35 kg (geschätzt)
Racks	3	6+4	10	ca. 200 kg (geschätzt)

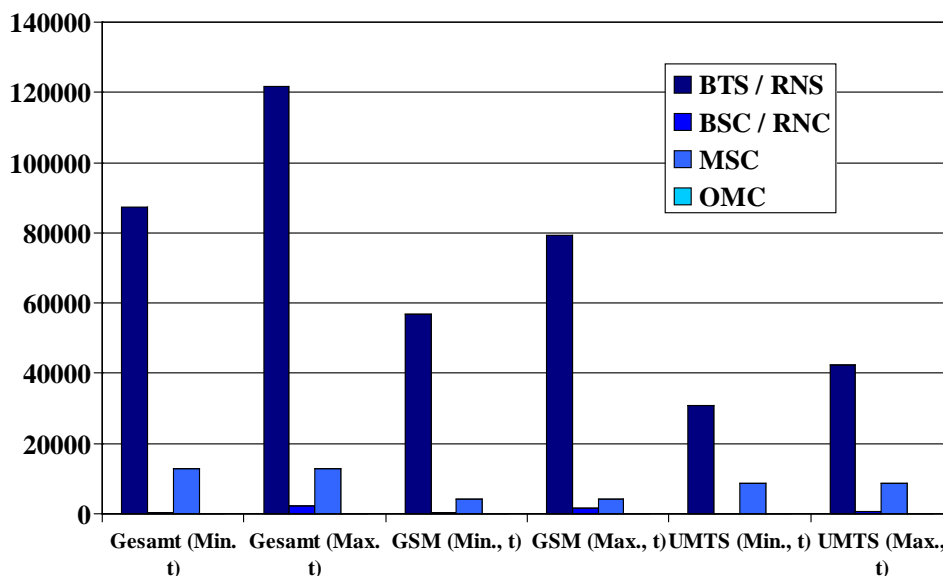
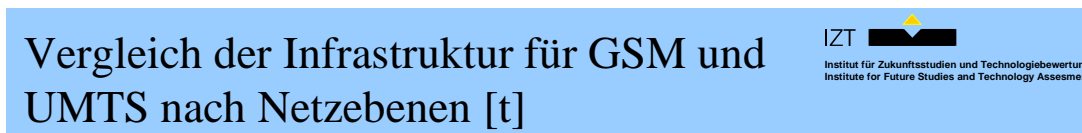
Quelle: Eigene Schätzungen.

3.3 Abschätzung der gebundenen Massen

Auf Basis der Abschätzungen im Kap. 3 lassen sich eine Masse- und eine Mengenbilanz für die Infrastruktur des Mobilfunks erstellen. Hierbei wurde für die Basisstationen und die Basisstationen-Controller mit oberen und unteren Werten gerechnet. Die MSC wurden auf Basis eines Mobilfunkbetreibers geschätzt. Die Ausstattung des OMC wurde auf Basis der Angaben für Virginia berechnet.

Im Ergebnis zeigt sich, dass die in der Infrastruktur des Mobilfunksystems gebundenen Materialien in einem Rahmen von 100.000 bis 134.000 t liegen könnte, wobei die größten Massen in den Basisstationen liegen (zwischen 87.000 und 121.000 t) gefolgt mit weiten Abständen von der MSC (ca. 13.000 t). Die Controller-Stationen (BSC und RNC) mit 300 bis 2.300 t sowie die OMC mit etwa 40 t haben keine besondere Bedeutung.

Abbildung 11: Verteilung der Massen auf die einzelnen Ebenen des Mobilfunks.



Dr. Michael Scharp/MaRes

Quelle: Eigene Berechnung.

Die oben ermittelten Werte der Bestandteile wurden in verschiedene Gruppen zusammengefasst. Hierbei wurde Elektronik (die eigentliche Vermittlungstechnik mit BTS/RNS, BSC/RNC, Antennen sowie MSC), Elektrik (Stromversorgung, Kühlanlagen), Kabel, Batterien sowie Konstruktionsmaterialien gewählt. Die Zusammensetzung der Infrastruktur wurde wie folgt grob abgeschätzt:

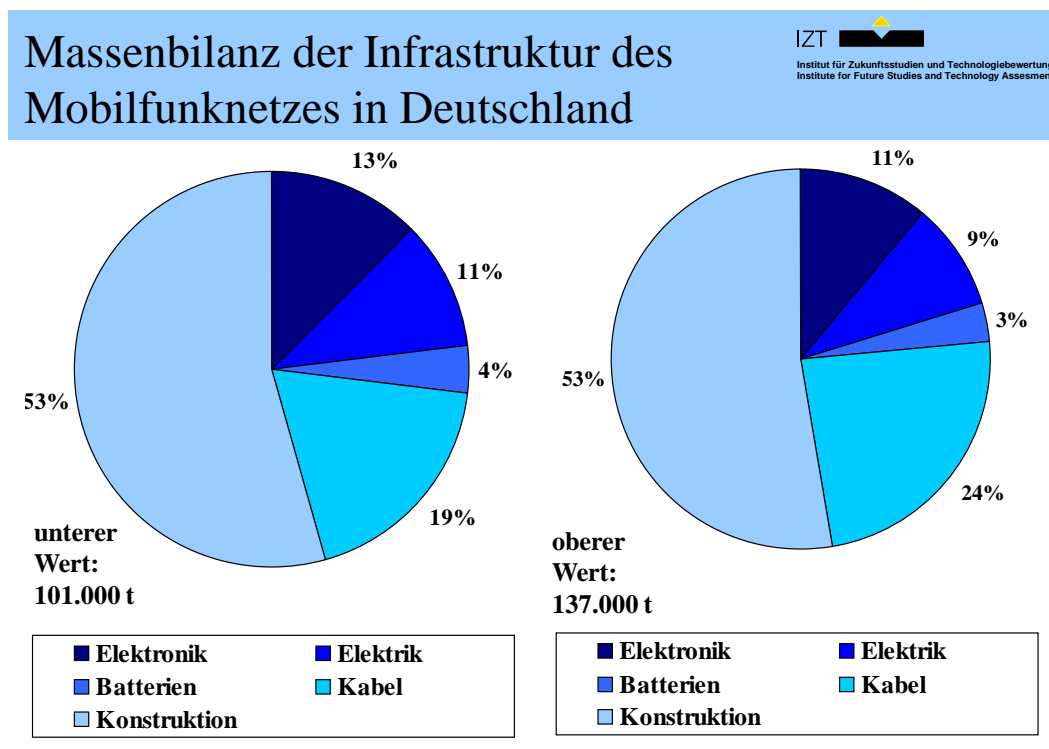
Tabelle 20: Massen unterschiedlicher Bestandteile eines Mobilfunksystems.

Gesamte Infrastruktur	Gesamt (t, unterer Wert)	Gesamt (t, oberer Wert)	GSM Min. [t]	GSM Max. [t]	UMTS Min. [t]	UMTS Max. [t]
Elektronik	12.700	14.800	6.900	8.100	5.800	6.700
Elektrik	10.600	12.400	6.400	7.500	4.200	4.900
Batterien	3.700	4.800	1.200	1.900	2.500	2.900
Kabel	18.800	32.600	11.800	20.800	7.000	11.800
Konstruktion	54.800	72.400	34.700	46.700	20.100	25.700
Summe	101.000	137.000	61.000	85.000	40.000	52.000

Quelle: Eigene Berechnung.

Bei der Abschätzung ist zu berücksichtigen, dass eine Vielzahl von Werten nur plausibel geschätzt werden konnte. Insbesondere für die Bestandteile Batterien und Kabel liegen nur unzureichende Informationen vor.

Abbildung 12: Prozentuale Zusammensetzung der Infrastruktur (GSM und UMTS).



Dr. Michael Scharp/MaRes

Quelle: Eigene Berechnung.

In den folgenden Tabellen sind die Mengenbilanz und die Massenbilanz aufgeführt.

Tabelle 21: Mengenbilanz des Mobilfunksystems (Stückzahlen und %).

Bestandteil	Anzahl / Kommentar	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Einheit	GSM Min.	GSM Max.	UMTS Min.	UMTS Max.
BTS / RNS	Anlagenanzahl				Anzahl	60.000	70.000	30.000	36.000
	Standorte				Anzahl	35.000	41.000	17.000	21.000
Racks-Technik	1/BTS und 1/RNS	1	1		Anzahl	60.000	70.000	30.000	36.000
Racks-Gehäuse	1/BTS und 1/RNS	1	1		Anzahl	60.000	70.000	30.000	36.000
Stromversorgung									
DC-Stromversorgung	1 pro Rack	1			Anzahl	60.000	70.000	30.000	36.000
Stromverteiler frei	30 % der Standorte	30 %			Anzahl	10.500	12.300	5.100	6.300
Stromverteiler Geb.	70 % der Standorte	70 %			Anzahl	24.500	28.700	11.900	14.700
Notstromversorgung	10 % bzw. 20 % BTS	10 %	20 %		Anzahl	3.500	8.200	1.700	4.200
Kühlung									
Innen	70 %, 1 pro BS	70 %			Anzahl	24.500	28.700	11.900	14.700
außen	30 %, 1 pro BS	30 %			Anzahl	10.500	12.300	5.100	6.300
Verkabelung	Strom-/Antennenkabel								
in Gebäude	70 % der BS	70 %	0,10	0,20	km	4.200	9.800	2.100	5.040
freistehend	30 % der BS	30 %	0,20	0,30	km	3.600	6.300	1.800	3.240
Richtfunk	10 % der BS	10 %	0,06	0,12	km	210	492	102	250
Stromanschluss freistehend	10 %, 500 m pro BS	6 %	0,50		km	1.050	1.230	510	630
Kabelschienen	20 % hoher Anteil	20 %			Anzahl	7.000	8.200	3.400	4.200
Kabelschienen	80 % geringer Anteil	80 %			Anzahl	28.000	32.800	13.600	16.800
Verteilerstation	6 % freistehenden BS	6 %			Anzahl	2.100	2.460	1.020	1.260
Container	8-Fuß Container	6 %			Anzahl	2.100	2.460	1.020	1.260
Antennen									
GSM/UMTS	3/BTS bzw. 3/RNS	3	3		Anzahl	180.000	210.000	90.000	108.000
RCU	30 % GSM 100 % UMTS	30 %	100 %		Anzahl	54.000	63.000	90.000	108.000
CCU	10 % GSM/100 % UMTS	10 %	100 %		Anzahl	3.500	4.100	17.000	21.000
Verstärker	pro Antenne	1			Anzahl	180.000	210.000	90.000	108.000
Elektroinstallation	pro BS	1			Anzahl	180.000	210.000	90.000	108.000
Befestigung	Befestigungsmaterial				Anzahl	180.000	210.000	90.000	108.000
Richtfunkantennen	10 % aller BTS/RNS	10 %			Anzahl	3.500	4.100	1.700	2.100
RCU	je Richtfunkantenne				Anzahl	3.500	4.100	1.700	2.100
Verstärker	je Richtfunkantenne				Anzahl	3.500	4.100	1.700	2.100
Elektroinstallation	je Richtfunkantenne				Anzahl	3.500	4.100	1.700	2.100
Befestigung	je Richtfunkantenne				Anzahl	3.500	4.100	1.700	2.100
Masten									
Masten Gebäude	70 % Ständerwerk	70 %			Anzahl	24.500	28.700	11.900	14.700
Masten frei/Anbau	10 % anBauwerke	10 %			Anzahl	3.500	4.100	1.700	2.100
Masten frei/Stahlrohr	15 % Stahlrohrmasten	15 %			Anzahl	5.250	10.500	4.500	5.400
Masten frei/Stahlgitter	5 % Stahl-Gittermasten	5 %			Anzahl	1.750	2.050	850	1.050
Blitzschutz									
Ableitung und Fang	20 % aller Standorte	20 %	0,05		km	350	410	170	210
Ableitung und Fang	80 % aller Standorte	80 %	0,02		km	560	656	272	336
Haltematerial	alle BS-Standorte	1			Anzahl	35.000	41.000	17.000	21.000
Verkabelung	alle BS-Standorte	0,01	0,02		km	350	820	170	420
Elektroinstallation	alle BS-Standorte	1			Anzahl	35.000	41.000	17.000	21.000
BSC/RNC	50-100 BTS/RNS	50	100		Anzahl	600	1.400	300	720
Racks-Technik	1-4 pro BSC/RNC	1	4		Anzahl	600	5.600	300	2.880
Racks-Gehäuse	1-4 pro BSC/RNC	1	4		Anzahl	600	5.600	300	2.880
Kühlanlagen	0-1 pro BSC/RNC	0	1		Anzahl	-	1.400	-	720
DC-Stromversorgung	1 pro Station/Rack	1	4		Anzahl	600	5.600	300	2.880
Notstromversorgung	1 pro BSC/RNC	0 %	10 %		Anzahl	-	140	-	72
Verkabelung	20m/BSC-40m/RNC	0,02	0,04		km	12	28	12	29
						GSM + UMTS min.	GSM + UMTS max.		
MSC					Anzahl	140	200		
Racks Gehäuse	Gehäuse Netztechnik	39	42		Anzahl	5.390	5.390	8.400	8.400
Kühlanlagen	6-8 Aggregate	6	8		Anzahl	840	840	1.600	1.600
Verkabelung	200-500 m pro Rack	0,10	0,20		km	539	539	1.680	1.680
USV	4-8 Aggregate	4	8		Anzahl	560	560	1.600	1.600
Notstromversorgung	60-150 Batterien	60	150		Anzahl	8.400	8.400	30.000	30.000
VLR	1 Rack je MSC	1	1		Anzahl	140	140	200	200
HLR, AuC, EIR	6 Racks MSC	6	6		Anzahl	840	840	1.200	1.200
GMSC	1,5-3 pro MSC	1,5	3		Anzahl	210	210	600	600
SGSN und GGSN	1,5-2 pro MSC	1,5	2		Anzahl	210	210	400	400
GGSN	1,5-3 pro MSC	1,5	3		Anzahl	210	210	600	600
weitere Systeme	NSR, TRAU, OSS, BAU, MG, GPS-Clock	27	27		Anzahl	3.780	3.780	5.400	5.400
OMC/NMS					Anzahl	10			
Gateways/Switches	je 1 RGU, WS-GU, 2 Ethernet-S.	4	10		Anzahl	40	40	40	40
Server	je 1 OMC, SIP, Firew.	3	10		Anzahl	30	30	30	30
ACP, Dispatch-PC	je 2 ACP, je 1 PC	3	10		Anzahl	30	30	30	30
Racks Gehäuse	je 3	3	10		Anzahl	30	30	30	30

Quelle: Eigene Abschätzungen. Zu den Faktoren siehe Kap. 3.2. Alle Angaben sind Stückangaben (Anzahl) es sei denn, die Einheit beträgt „km“ oder „%“.

Tabelle 22: Abschätzung der Massenbilanz des Mobilfunksystems.

Bestandteil		Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Einheit	GSM Min. (t)	GSM Max. (t)	UMTS Min. (t)	UMTS Max. (t)
BTS / RNS	Anlagenanzahl				Anzahl	60.000	70.000	30.000	36.000
BTS / RNS	Standorte				Anzahl	35.000	41.000	17.000	21.000
Racks-Technik	1/BTS und 1/RNS	0,055	0,06	25 %	t	3.300	3.850	1.800	2.160
Racks-Gehäuse	1/BTS und 1/RNS	0,165	0,18	75 %	t	9.900	11.550	5.400	6.480
Stromversorgung									
DC-Stromversorgung	1 pro Rack	0,001	0,001		t	60	70	30	36
Stromverteiler frei	30 % der Standorte	0,100			t	1.050	1.230	510	630
Stromverteiler Geb.	70 % der Standorte	0,020			t	2.450	2.870	1.190	1.470
Notstromversorgung	10 % bzw. 20 % BTS	0,150			t	525	1.230	255	630
Kühlung									
Innen	70 %, 1 pro BS	0,025			t	613	718	298	368
außen	30 %, 1 pro BS	0,050			t	525	615	255	315
Verkabelung	Strom-/Antennenkabel								
in Gebäude	70 % der BS	0,800	t/km		t	3.360	7.840	1.680	4.032
freistehend	30 % der BS	1,200	t/km		t	4.320	7.560	2.160	3.888
Richtfunk	10 % der BS	1,200	t/km		t	252	590	122	300
Stromanschluss freistehend	10 %, 500 m pro BS	3,000	t/km		t	3.150	3.690	1.530	1.890
Kabelschienen	20 % hoher Anteil	0,250			t	1.750	2.050	850	1.050
Kabelschienen	80 % geringer Anteil	0,050			t	1.400	1.640	680	840
Verteilerstation	6 % freistehenden BS	0,100			t	210	246	102	126
Container	8-Fuß Container	0,750			t	1.575	1.845	765	945
Antennen									
GSM/UMTS	3/BTS bzw. 3/RNS	0,006	0,012		t	1.080	1.260	1.080	1.296
RCU	30 % GSM 100 % UMTS	0,005			t	270	315	450	540
CCU	10 % GSM/100 % UMTS	0,004			t	14	16	68	84
Verstärker	pro Antenne	0,005			t	900	1.050	450	540
Elektroinstallation	pro BS	0,005			t	900	1.050	450	540
Befestigung	Befestigungsmaterial	0,010			t	1.800	2.100	900	1.080
Richtfunkantennen	10 % aller BTS/RNS	0,005			t	18	21	9	11
RCU	je Richtfunkantenne	0,005			t	18	21	9	11
Verstärker	je Richtfunkantenne	0,005			t	18	21	9	11
Elektroinstallation	je Richtfunkantenne	0,005			t	18	21	9	11
Befestigung	je Richtfunkantenne	0,010			t	35	41	17	21
Masten									
Masten Gebäude	70 % Ständerwerk	0,200			t	1.225	1.435	595	735
Masten frei/Anbau	10 % anBauwerke	0,050			t	175	205	85	105
Masten frei/Stahlrohr	15 % Stahlrohrmasten	0,700			t	3.675	7.350	3.150	3.780
Masten frei/Stahlgitter	5 % Stahl-Gittermasten	6,000			t	10.500	12.300	5.100	6.300
Blitzschutz									
Ableitung und Fang	20 % aller Standorte	0,25	1,25	g/cbm	t	88	513	43	263
Ableitung und Fang	80 % aller Standorte	0,25	1,25	g/cbm	t	140	820	68	420
Haltematerial	alle BS-Standorte	0,03	0,06		t	1.050	2.460	510	1.260
Verkabelung	alle BS-Standorte	0,800	t/km		t	280	656	136	336
Elektroinstallation	alle BS-Standorte	0,001			t	35	41	17	21
BSC/RNC	50-100 BTS/RNS								
Racks-Technik	1-4 pro BSC/RNC	0,068	0,06	25 %	t	41	378	17	166
Racks-Gehäuse	1-4 pro BSC/RNC	0,203	0,17	75 %	t	122	1.134	52	497
Kühlanlagen	0-1 pro BSC/RNC	0,025			t	-	35	-	18
DC-Stromversorgung	1 pro Station/Rack	0,003			t	2	17	1	9
Notstromversorgung	1 pro BSC/RNC	0,150			t	-	21	-	11
Verkabelung	20m/BSC-40m/RNC	1,200	t/km		t	14	34	14	35
						GSM+UMTS min.	GSM+UMTS max.		
MSC									
Racks Gehäuse	Gehäuse Netztechnik	75,00 %	Bezug: Netztechnik in t			1.222	1.222	1.905	1.905
Kühlanlagen	6-8 Aggregate	0,300			t	252,0	252,0	480,0	480,0
Verkabelung	200-500 m pro Rack	0,800	t/km		t	431,2	431,2	1.344,0	1.344,0
USV	4-8 Aggregate	0,550			t	308,0	308,0	880,0	880,0
Notstromversorgung	60-150 Batterien	0,075			t	630,0	630,0	2.250,0	2.250,0
VLR	1 Rack je MSC	0,300	75,00 %		t	31,5	31,5	45,0	45,0
HLR, AuC, EiR	6 Racks MSC	0,300	75,00 %		t	189,0	189,0	270,0	270,0
GMSC	1,5-3 pro MSC	0,290	75,00 %		t	45,7	45,7	130,5	130,5
SGSN und GGSN	1,5-2 pro MSC	0,380	75,00 %		t	59,9	59,9	114,0	114,0
GGSN	1,5-3 pro MSC	0,290	75,00 %		t	45,7	45,7	130,5	130,5
weitere Systeme	NSR, TRAU, OSS, BAU, MG, GPS-Clock	0,300	75,00 %		t	850,5	850,5	1.215,0	1.215,0
OMC/NMS									
Gateways/Switches	je 1 RGU, WS-GU, 2 Ethernet-S.	0,005			t	0,2	0,2	0,2	0,2
Server	je 1 OMC, SIP, Firew.	0,350			t	10,5	10,5	10,5	10,5
ACP, Dispatch-PC	je 2 ACP, je 1 PC	0,030			t	0,9	0,9	0,9	0,9
Racks Gehäuse	je 3	0,200			t	6,0	6,0	6,0	6,0
Summe	gerundet in Tonnen					61.000	85.000	40.000	52.000

Quelle: Eigene Abschätzungen. Zu den Faktoren siehe Kap. 3.2. Alle Werte sind in Tonnen (t) ausgewiesen es sei denn, es handelt sich um Verteilungsangaben („%“), Gewichte pro Kilometer (Kabel, t/km) oder Dichteangaben (g/cbm). Hierbei findet sich bei den Faktoren die jeweilige Einheit. Unabhängig davon werden alle Werte für GSM bzw. UMTS in der Gesamtbilanz in t angegeben.

3.4 Ressourcenbilanz für ausgewählte Bauteilgruppen und Stoffe

Aufgrund des Vorliegens von einigen Untersuchungen zur stofflichen Zusammensetzung von Bestandteilen des Mobilfunknetzes lassen sich auch sehr grobe Schätzungen über die Mengen einiger Stoffe machen. Die Aussagekraft ist jedoch nur beschränkt, da zum einen die Stückzahlen sehr unsicher sind und zum anderen nur wenige Komponenten des Mobilfunksystems hinsichtlich ihrer stofflichen Zusammensetzung untersucht wurden. Diese sind:

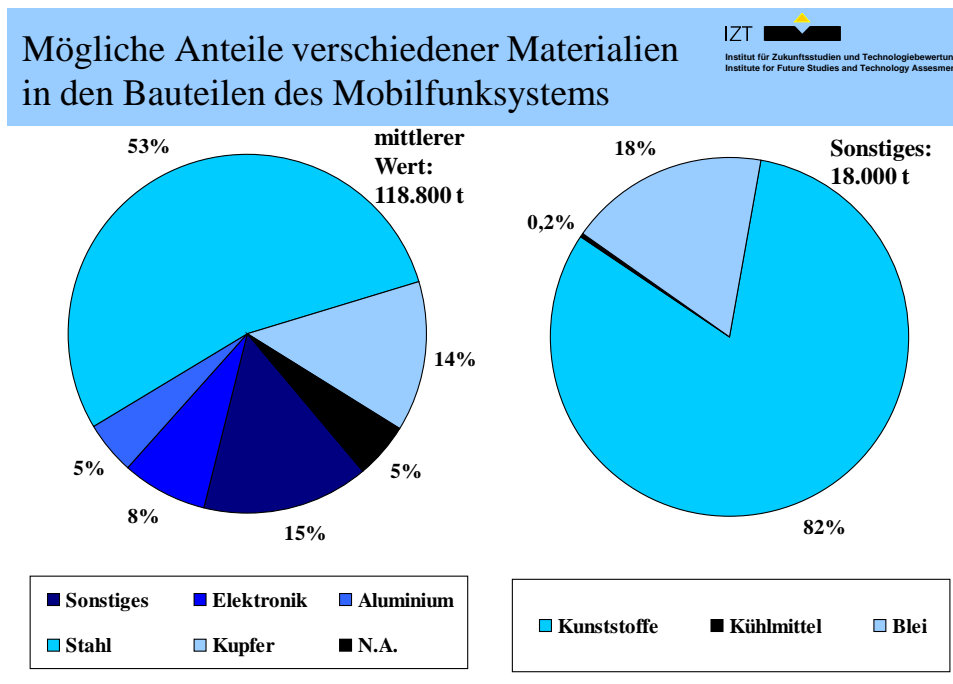
- Die Zusammensetzung von GSM und UMTS-Basisstationen (Emmenegger 2003:64-68);
- die Zusammensetzung von Kühleinrichtungen für Basisstationen (Emmenegger 2003:69ff.);
- die Zusammensetzung von Basisstationen-Controllern (Scharnhorst 2006:161);
- die Zusammensetzung eines SGSN/GSGN-Racks (Scharnhorst 2006:167).

Darüber hinaus lassen sich für einige Bauteile plausible Annahmen treffen (Antennen, Kabel, Befestigungen, Masten und Blitzschutzanlagen). In der Tabelle 23 sind die prozentualen Abschätzungen für Kupfer, Stahl, Aluminium, Elektronik und sonstiges (Kunststoffe, Kühlmittel und Bleibatterien) aufgeführt. Für die Abschätzung wurde zunächst der mittlere Wert von der Massenbilanz der GSM und UMTS-Systeme genommen (mittleres Gewicht, ca. 118.000 t). In der Tabelle 24 wurden diese Schätzungen dann auf die zuvor ermittelten mittleren Massen der Bestandteile des Mobilfunksystems angewendet.

Fasst man die Ergebnisse zusammen, so sollte der weitaus größte Anteil von schätzungsweise 53 % bzw. ca. 64.000 t durch Stahl abgedeckt werden. Dies ergibt sich vor allem aus den Mastkonstruktionen, Installationsmaterialien und den Rack-Gehäusen. An zweiter Stelle dürften Kupfer mit ca. 16.000 t bzw. 14 % stehen. Die Elektronik steht mit ca. 9.000 t bzw. 8 % an dritter Stelle, wobei jedoch die Elektronik nicht weiter aufgeschlüsselt werden konnte.⁷⁶ Unter Sonstiges mit schätzungsweise 18.000 t bzw. 15 % wurden Blei (Notstromversorgung, Schätzung 3.000 t), Kunststoffe in Kabeln (Schätzung: 14.000 t) sowie Kühlmittel (Schätzung: 40 t) subsumiert. Diese Werte sind grob geschätzt, geben aber zumindest Hinweise über einige Materialien trotz der großen Unsicherheiten bei der Bestimmung der Werte. Die Werte für die Kunststoffe dürften noch deutlich höher liegen, da die Kunststoffe in der Elektronik oder als baukonstruktive Anteile nicht berücksichtigt wurden. In den folgenden Abbildungen sind die Tabellen graphisch zusammengefasst:

⁷⁶ Auf allen Netzebenen (Basisstationen, Controller-Stationen, MSC und OMC werden eine Vielzahl von Datenverarbeitungssystemen eingesetzt. Nur für wenige – und zudem nach wenigen Jahren schon veraltete Geräte – liegen Informationen über die materielle Zusammensetzung vor (vgl. z.B. Emmenegger et al. 2003 und Scharnhorst 2006). Eine Hochrechnung auf einzelne Stoffe auf Basis der Analyse weniger Geräte – und damit eine Übertragung auf zahlreiche andere Gerätetypen – könnte bestenfalls Größenordnungen ergeben ohne jedoch auch annähernd begründbar zu sein. Auch andere Studien über die Zusammensetzung von PC's sind wenig hilfreich, da deren Elektronik kaum vergleichbar ist. Beispielsweise haben diese PC's zumeist nur ein Festplatte und wenige Prozessoren, die Datenbanksysteme des Mobilfunks (AuC, EIR u.a.) haben eine Vielzahl von Festplatten und Prozessoren. Ebenso ist ein Vergleich der MSC mit Rechenzentren nur sehr eingeschränkt möglich, da z.B. keine Informationen vorliegen, ob beispielsweise die Schnittstellensysteme GSGS oder SGSN oder die Trau vergleichbar mit einem Datenserver sind. Aufgrund dessen muss auf eine detaillierte Aufschlüsselung der Elektronik verzichtet werden.

Abbildung 13: Mögliche Anteile verschiedener Materialien im Mobilfunksystems.



Dr. Michael Scharp/MaRes

Quelle: Eigene Darstellung.

Tabelle 23: Schätzungen der prozentualen Zusammensetzung der Bauteile des Mobilfunksystems [Mittleres Gewicht in t und Zusammensetzung in %].

Bauteile	Mittleres Gewicht	N.A.	Kupfer	Stahl	Aluminium	Elektronik	Sonstiges	Begründung
BTS / RNS	T	%	%	%	%	%	%	
Racks-Technik	5.555		10 %		5 %	85 %		Der Cu-Anteil kann auf 10 % geschätzt werden. Die Einschübe haben einen konstruktiven Al-Anteil.
Racks-Gehäuse	16.665			90 %	10 %			Nach Emmenegger (2003:64-68) entfallen ca 75 % der Masse auf das Gehäuse aus Al und Stahl, wobei das Stahlblech überwiegt. Die Einschübe haben einen konstruktiven Al-Anteil.
Stromversorgung								
DC-Stromversorgung	98	25 %	10 %	20 %	20 %	25 %		geschätzte Anteile aufgrund mangelnder Daten
Stromverteiler frei	1.710	35 %	20 %	30 %	10 %	5 %		hierzu sind keine Daten vorhanden. Aufgrund der Funktion werden die Werte geschätzt
Stromverteiler Geb.	3.990	35 %	20 %	30 %	10 %	5 %		hierzu sind keine Daten vorhanden. Aufgrund der Funktion werden diese Werte geschätzt
Notstromversorgung	1.320	20 %		5 %			75 %	Als Notstromversorgung werden Bleigel-Batterien mit Stahlmantel verwendet. Der Bleianteil wird auf 75 % geschätzt. Der Rest sind Kunststoffe und Schwefelsäure.
Kühlung								
Innen	998	32 %	10 %	40 %	9 %	5 %	4 %	Nach Emmenegger (2006:69) enthält die Kühlanlage 8,5 % Cu, 39 % Stahlblech, 9 % Al, 4 % Kühlmittel sowie 2,5 kg Ventilatormotor Cu und Stahl)
außen	855	7 %	17 %	64 %	5 %	5 %	2 %	Nach Emmenegger (2006:69) enthält die Kühlanlage 17 % Cu, 64 % Stahl und -blech, 4,5 % Al, 2 % Kühlmittel
Verkabelung								
in Gebäude	8.456		50 %				50 %	Schätzung: 50 % Cu - 50 % Kunststoff
freistehend	8.964		50 %				50 %	Schätzung: 50 % Cu - 50 % Kunststoff
Richtfunk	632		50 %				50 %	Schätzung: 50 % Cu - 50 % Kunststoff
Stromanschluss freistehend	5.130		50 %				50 %	Schätzung: 50 % Cu - 50 % Kunststoff
Kabelschienen	2.850			100 %				Kabelschienen bestehen aus verzinktem Stahlblech
Kabelschienen	2.280			100 %				Kabelschienen bestehen aus verzinktem Stahlblech
Verteilerstation	342	45 %	10 %	10 %	10 %	5 %	20 %	geschätzt Werte aufgrund mangelnder Daten
Container	2.565	20 %		80 %				Container bestehen v.a. aus Stahlblech, allerdings werden auch noch andere Materialien verbaut
Antennen								Antennen bestehen v.a. aus Kunststoffen mit geringem Anteil an Cu oder Al. Geschätzte Werte.
GSM/UMTS	2.358	10 %	10 %		10 %	5 %	65 %	geschätzt Werte aufgrund mangelnder Daten
RCU	788	35 %	10 %	30 %	20 %	5 %		geschätzt Werte aufgrund mangelnder Daten
CCU	91	30 %	10 %	25 %	10 %	25 %		geschätzt Werte aufgrund mangelnder Daten
Verstärker	1.470	30 %	10 %	25 %	10 %	25 %		geschätzt Werte aufgrund mangelnder Daten
Elektroinstallation	1.470	35 %	20 %	30 %	10 %	5 %		geschätzt Werte aufgrund mangelnder Daten
Befestigung	2.940			100 %				Materialien sind v.a. Stahlbleche oder Stahl
Richtfunkantennen	29	10 %	10 %		10 %	5 %	65 %	geschätzt Werte aufgrund mangelnder Daten
RCU	29	15 %	20 %	20 %	20 %	25 %		geschätzt Werte aufgrund mangelnder Daten
Verstärker	29	35 %	20 %	20 %	20 %	5 %		geschätzt Werte aufgrund mangelnder Daten
Elektroinstallation	29	35 %	20 %	30 %	10 %	5 %		geschätzt Werte aufgrund mangelnder Daten
Befestigung	57			100 %				Materialien sind v.a. Stahlbleche oder Stahl
Masten								
Masten Gebäude	1.995			100 %				Materialien sind v.a. verzinkter Stahl
Masten frei/Anbau	285			100 %				Materialien sind v.a. verzinkter Stahl
Masten frei/Stahlrohr	8.978			100 %				Materialien sind v.a. verzinkter Stahl
Masten frei/Stahlgitter	17.100			100 %				Materialien sind v.a. verzinkter Stahl
Blitzschutz								
Ableitung und Fang	453		20 %	40 %	40 %			Materialien sind Cu, Al oder Stahl; geschätzte Werte
Ableitung und Fang	724		20 %	40 %	40 %			Materialien sind Cu, Al oder Stahl; geschätzte Werte
Haltematerial	2.640			50 %	50 %			Materialien sind Al oder Stahl, geschätzte Werte
Verkabelung	704		50 %				50 %	geschätzt Werte aufgrund mangelnder Daten
Elektroinstallation	57	25 %	20 %	30 %	10 %	5 %	10 %	geschätzt Werte aufgrund mangelnder Daten

Bauteile	Mittleres Gewicht	N.A.	Kupfer	Stahl	Aluminium	Elektronik	Sonstiges	Begründung
BSC/RNC								
Racks-Technik	301		10 %			90 %		Schätzung entsprechend Emmenegger 2006:64-68
Racks-Gehäuse	902			90 %	10 %			Schätzung entsprechend Emmenegger 2006:64-68
Kühlanlagen	27	25 %	10 %	40 %	10 %	5 %	10 %	Schätzung entsprechend Emmenegger 2006:64-68
DC-Stromversorgung	14	25 %	10 %	20 %	20 %	25 %		geschätzt Werte aufgrund mangelnder Daten
Notstromversorgung	16	20 %		5 %			75 %	s.o. Notstromversorgung
Verkabelung	48		50 %				50 %	der Kupferanteil wird auf 50 % geschätzt
MSC								
Racks Gehäuse	3.127			90 %	10 %			Schätzung entsprechend Emmenegger 2006:64-68
Kühlanlagen	732	30 %	10 %	40 %	10 %	5 %	5 %	Schätzung entsprechend Emmenegger 2006:64-68
Verkabelung	1.775		50 %				50 %	der Kupferanteil wird auf 50 % geschätzt
USV	1.188	10 %	20 %	30 %	10 %	30 %		geschätzt Werte aufgrund mangelnder Daten
Notstromversorgung	2.880	20 %		5 %			75 %	s.o. Notstromversorgung
VLR	77		10 %		5 %	85 %		Werte analog der GGSN nach Emmenegger 2006:167
HLR, AuC, EiR	459		10 %		5 %	85 %		Werte analog der GGSN nach Emmenegger 2006:167
GMSC	176		10 %		5 %	85 %		Werte analog der GGSN nach Emmenegger 2006:167
SGSN und GGSN	174		10 %		5 %	85 %		Werte analog der GGSN nach Emmenegger 2006:167
GGSN	176		10 %		5 %	85 %		Werte analog der GGSN nach Emmenegger 2006:167
weitere Systeme	2.066		10 %		5 %	85 %		Werte analog der GGSN nach Emmenegger 2006:167
OMC/NMS								
Gateways/Switches	0	10 %	5 %	40 %	15 %	30 %		Werte analog der GGSN nach Emmenegger 2006:167
Server	21	10 %	5 %	40 %	15 %	30 %		Werte analog der GGSN nach Emmenegger 2006:167
ACP, Dispatch-PC	2	10 %	5 %	40 %	15 %	30 %		Werte analog der GGSN nach Emmenegger 2006:167
Racks Gehäuse	12			90 %	10 %			Schätzung entsprechend Emmenegger 2006:64-68

Quelle und Anmerkungen: Eigene Abschätzungen. Der Anteil der Elektronik wurde generell geschätzt. N.A. = nicht näher zu bestimmende Anteile über die keine Aussage getroffen werden kann. N.A. ergibt sich wie folgt: 100 % - Kupfer – Stahl – Aluminium – Elektronik – Sonstiges.

Auf Basis der Schätzungen in Tabelle 23 werden in der nachfolgenden Tabelle die Größenordnungen für die Materialien abgeschätzt.

Tabelle 24: Mögliche Anteile verschiedener Materialien in den Bauteilen des Mobilfunksystems.

Bauteile	Mittleres Gewicht	N.A.	Kupfer	Stahl	Aluminium	Elektronik	Sonstiges	Rundung
	t	t	t	t	t	t	t	
BTS / RNS								
Racks-Technik	5.555	-	600	-	300	4.700	-	zwei Stellen abgerundet
Racks-Gehäuse	16.665	-	-	15.000	1.700	-	-	zwei Stellen abgerundet
Stromversorgung								
DC-Stromversorgung	98	20	10	20	20	20	-	eine Stelle abgerundet
Stromverteiler frei	1.710	600	300	500	200	100	-	zwei Stellen abgerundet
Stromverteiler Geb.	3.990	1.400	800	1.200	400	200	-	zwei Stellen abgerundet
Notstromversorgung	1.320	300	-	100	-	-	1.000	zwei Stellen abgerundet
Kühlung								
Innen	998	320	100	400	90	50	40	eine Stelle abgerundet
außen	855	60	150	550	40	40	20	eine Stelle abgerundet
Verkabelung								
in Gebäude	8.456	-	4.200	-	-	-	4.200	zwei Stellen abgerundet
freistehend	8.964	-	4.500	-	-	-	4.500	zwei Stellen abgerundet
Richtfunk	632	-	300	-	-	-	300	zwei Stellen abgerundet
Stromanschluss freistehend	5.130	-	2.600	-	-	-	2.600	zwei Stellen abgerundet
Kabelschienen	2.850	-	-	2.900	-	-	-	zwei Stellen abgerundet
Kabelschienen	2.280	-	-	2.300	-	-	-	zwei Stellen abgerundet
Verteilerstation	342	150	30	30	30	20	70	eine Stelle abgerundet
Container	2.565	500	-	2.100	-	-	-	
Antennen								
GSM/UMTS	2.358	240	240	-	240	120	1.530	zwei Stellen abgerundet
RCU	788	280	80	240	160	40	-	eine Stelle abgerundet
CCU	91	30	10	20	10	20	-	eine Stelle abgerundet
Verstärker	1.470	400	100	400	100	400	-	zwei Stellen abgerundet
Elektroinstallation	1.470	510	290	440	150	70	-	eine Stelle abgerundet
Befestigung	2.940	-	-	2.900	-	-	-	zwei Stellen abgerundet
Richtfunkantennen	29	5	5	-	-	-	20	eine Stelle abgerundet
RCU	29	5	5	5	5	5	5	eine Stelle abgerundet
Verstärker	29	15	5	5	5	-	-	eine Stelle abgerundet
Elektroinstallation	29	10	10	10	-	-	-	eine Stelle abgerundet
Befestigung	57	-	-	60	-	-	-	eine Stelle abgerundet
Masten								
Masten Gebäude	1.995	-	-	2.000	-	-	-	zwei Stellen abgerundet
Masten frei/Anbau	285	-	-	290	-	-	-	eine Stelle abgerundet
Masten frei/Stahlrohr	8.978	-	-	9.000	-	-	-	zwei Stellen abgerundet
Masten frei/Stahlgitter	17.100	-	-	17.100	-	-	-	zwei Stellen abgerundet
Blitzschutz								
Ableitung und Fang	453	-	90	180	180	-	-	eine Stelle abgerundet
Ableitung und Fang	724	-	100	300	300	-	-	zwei Stellen abgerundet
Haltematerial	2.640	-	-	1.300	1.300	-	-	zwei Stellen abgerundet
Verkabelung	704	-	350	-	-	-	350	eine Stelle abgerundet
Elektroinstallation	57	10	10	20	10	-	10	eine Stelle abgerundet
BSC/RNC								
Racks-Technik	301	-	30	-	-	270	-	eine Stelle abgerundet
Racks-Gehäuse	902	-	-	810	90	-	-	eine Stelle abgerundet
Kühlanlagen	27	5	5	10	5	5	-	eine Stelle abgerundet
DC-Stromversorgung	14	4	1	3	3	4	-	nicht gerundet
Notstromversorgung	16	3	-	1	-	-	12	nicht gerundet
Verkabelung	48	-	25	-	-	-	25	eine Stelle abgerundet
MSC								
Racks Gehäuse	3.127	-	-	2.800	300	-	-	zwei Stellen abgerundet
Kühlanlagen	732	220	70	290	70	40	40	eine Stelle abgerundet
Verkabelung	1.775	-	900	-	-	-	900	zwei Stellen abgerundet
USV	1.188	120	240	360	120	360	-	eine Stelle abgerundet
Notstromversorgung	2.880	600	-	100	-	-	2.200	zwei Stellen abgerundet
VLR	77	-	8	-	4	65	-	nicht gerundet
HLR, AuC, EiR	459	-	46	-	23	390	-	nicht gerundet
GMSC	176	-	18	-	9	150	-	nicht gerundet
SGSN und GGSN	174	-	17	-	9	148	-	nicht gerundet
GGSN	176	-	18	-	9	150	-	nicht gerundet
weitere Systeme	2.066	-	200	-	100	1.800	-	zwei Stellen abgerundet
OMC/NMS								
Gateways/Switches	0,4	-	-	-	-	-	-	Vernachlässigt
Server	21,0	2	1	8	3	6	-	nicht gerundet
ACP, Dispatch-PC	1,8	-	-	1	-	1	-	-
Racks Gehäuse	12,0	-	-	10	-	-	-	eine Stelle abgerundet
Summen	118.805	5.800	16.500	63.800	6.000	9.200	17.800	
Anteile		5%	14%	54%	5%	8%	15%	

Quelle und Anmerkungen: Elektronik eigene Abschätzungen. N.A. = nicht näher zu bestimmende Anteile über die keine Aussage getroffen werden kann. N.A. ergibt sich wie folgt: 100 % - Kupfer – Stahl – Aluminium – Elektronik – Sonstiges. Aufgrund der Rundung kann es zu geringen Abweichungen kommen.

3.5 Ergebnisübersicht zur Ressourcenbilanz

Die obigen Schätzungen umfassen nur die primäre Infrastruktur von Basisstationen, Controller-Stationen und Vermittlungsstationen. Nicht erfasst sind die sekundäre Infrastruktur (NMC mit Kundenbetreuung) sowie die Räumlichkeiten, die zur Bedienung des Geschäftsfeldes notwendig sind wie auch Flächen und Räumlichkeiten zur Aufstellung der Infrastruktur. Bei der Abschätzung sind zudem folgende Unsicherheiten zu berücksichtigen:

- Eine stetige Weiterentwicklung der Netzwerktechnik auf allen Ebenen führt dazu, dass die Geräte immer kleiner und kompakter werden sowie mehr und mehr Funktionen integrieren. Ein Beispiel hierfür sind BTS, die sowohl GSM als auch UMTS gleichzeitig empfangen können. Dies bedeutet, dass mit weniger Material die gleichen Funktionen übernommen werden können.
- Die Anzahl der Basisstationen ist nur ungefähr zu ermitteln. Es ist auch unsicher, ob alle Basisstationen tatsächlich mit der oben angenommenen Ausstattung ausgerüstet sind. Ebenso ist unsicher, ob die Literaturwerte der Basisstationen auch Mikro- und Pico-Basisstationen umfassen, die mit deutlich geringeren Materialaufwendungen verbunden sind.
- In 2009 hat die Bundesnetzagentur die Zahl der UMTS-Basisstationen mit 39.000 angegeben, also 3.000 mehr als in den obigen Szenarien angenommen. Dieser höhere Wert wurde nicht berücksichtigt, da gleichzeitig keine Aussage zur Anzahl der GSM-Stationen gemacht wurde. Hierbei ist zum einen zu berücksichtigen, dass UMTS und GSM wenn möglich an einem Standort zusammengefasst werden, d.h. die zusätzlichen Stationen könnten in vorhandene GSM-Stationen integriert sein. Zum anderen verwenden die Netzbetreiber inzwischen duale Systeme, die sowohl UMTS als auch GSM übertragen können. Bei diesem dualen Ausbau werden die GSM-Stationen im Prinzip aufgelöst. Da die BNA hierzu aber keine Aussage macht, wird der neuere Wert der BNA für die UMTS-Stationen nicht verwendet. Hierdurch könnte sich ein zusätzlicher „Massenfehler“ von weniger als 3 % ergeben.
- Ebenso sind die Anzahl der BSC und RNC sowie die der MSC mit hohen Unsicherheiten verbunden und nicht mehr als plausible Schätzungen.
- Die Ausstattung der Basisstationen mit Batterien ist gleichfalls unsicher.⁷⁷ Ein Hersteller von Notstromversorgungen liefert diese für die Mobilfunkbetreiber vor allem mit Batterien, ein Mobilfunkbetreiber hingegen baut die Batterie-Notstromversorgung kontinuierlich ab.
- Weiterhin ist unbekannt, in welchem Umfang große Mast- und Turmanlagen verwendet werden. Derartige Konstruktionen können leicht Gewichte von 20 bis 200 (und mehr) Tonnen haben. Würden beispielsweise 100 Türme mit 100 Tonnen Stahl einberechnet, so würde die Gesamtmasse der Infrastruktur auf ca. 110.000 (Minimalwert) bzw. 150.000 (Maximalwert) anwachsen. Der Stahlanteil könnte sich dann in der abgeschätzten Ressourcenbilanz (vgl. Kap. 3.4) deutlich erhöhen (von ca. 64.000 t auf ca. 74.000 t).
- Nicht berücksichtigt wurden auch Baukonstruktionen bei der Infrastruktur. Dies umfasst die Errichtung und Nutzung von Gebäuden ebenso wie bauliche Maßnahmen bei freistehenden Basisstationen oder Masten (Fundamente, Zäune, Wegzuführungen). Auch diese Maßnahmen können die Ressourcenbilanz deutlich verändern. Würden beispielsweise 10 % der Basisstationen (9.000) vollkommen frei stehen und ein Fundament von ca. 10 Tonnen für Masten und Container benötigen, so würden sich zusätzliche Massen von 90.000 Zement und Stahl ergeben. Dies wäre in der gleichen Größenordnung wie die berechnete Infrastruktur von minimal 100.000 t.
- Nicht berücksichtigt wurde auch die sekundäre Infrastruktur mit den Verkaufsstellen. Würde man nur 10.000 Verkaufsstellen – eine sehr vorsichtige Schätzung – für den Vertrieb der Dienstleistung mit einberechnen und jede Verkaufsstelle mit einem Massenanteil von 10 t ansetzen⁷⁸, so würde dies allein mit 100.000 t bilanziert werden müssen.

Zusammenfassend kann jedoch festgestellt werden, dass die Primärinfrastruktur mit 100.000 bis 140.000 t für die Mobilfunknetze im Vergleich zu anderen Infrastrukturen wie Gas, Wasser oder Elektrizität nicht besonders hoch ist. Bei diesen Infrastrukturen liegen die verbauten Massen im dreistelligen Millionen-Tonnen-Bereich.

⁷⁷ In den Szenarien wurde zugrundegelegt, dass zwischen 10 und 20% aller BTS bzw. RNS mit Batteriesätzen von 150 kg ausgestattet sind. Demzufolge könnte es zwischen 9.000 (untere Werte mit 10 %) und 21.200 (obere Werte mit 20 %) Batteriesätze geben in den Basisstationen.

⁷⁸ Ein Einfamilienhaus wiegt zwischen 100 und 200 t.

4 Abschätzung der Ressourcenflüsse im Mobilfunksystem

4.1 Einleitung und systemische Problemlagen

Mobilfunk induziert wie jede andere Technik oder Dienstleistung Materialflüsse, da technische Geräte nur eine endliche Lebensdauer haben. Darüber hinaus gibt es jedoch vier spezifische Entwicklungen, durch die der Mobilfunksektor quasi „getrieben“ wird:

- Zum einen ist der Mobilfunksektor in einem stetigen Prozess der technischen Weiterentwicklung und der Einführung neuer Technologien unterworfen, da er wie kaum ein anderer Sektor von der Computertechnik abhängig ist.⁷⁹ Dieser Prozess wirkt sich vor allem auf die Computerhardware der Mobilfunkinfrastruktur aus bei den Basisstationen, den Controller-Stationen und den Mobile Switching Centern, da hier die zentrale Computertechnik eingesetzt wird.
- Zum anderen führt die Weiterentwicklung der Systemtechnik (GSM, UMTS sowie nachfolgende Systeme 3G und 3,5G, vgl. Griese et al. 2004:23ff.) zu einem kontinuierlichen Prozess des Auf- und Ausbaus, bei dem mehrere Systeme gleichzeitig mit unterschiedlichen Ausbaustandards „online“ sind.
- Weiterhin gibt es einen deutlichen Trend der Miniaturisierung und der Vereinheitlichung von Computertechnologien. Moderne BSC-Systeme können sowohl GSM als auch UMTS gleichzeitig vermitteln oder die Antennen können beide Signale verarbeiten, so dass doppelte Schrank-, Kühlungs- und Stromversorgungssysteme überflüssig werden. Gleichzeitig werden die elektronischen Bestandteile der Anlagen immer kleiner und benötigen somit absolut gesehen weniger Ressourcen.
- Letztendlich führt der Bedarf nach immer höheren Übertragungsleistungen dazu, dass die Basisstationen, wie am Beispiel des UMTS-Systems zu sehen ist, immer dichter an den Endkunden heranrücken. In der Konsequenz bedeutet dies, dass eine deutlich höhere Anlagenanzahl – bis hin zu Mikrosystemen, die beispielsweise nur einen Marktplatz abdecken können – benötigt wird, um eine hinreichende Netzabdeckung zu erreichen. Dieser Prozess führt trotz der Miniaturisierung vermutlich dazu, dass die Mobilfunkinfrastruktur höhere Ressourcenströme induziert.

Diese beiden Prozesse machen es äußerst schwer, die durch den Mobilfunksektor induzierten Ressourcenströme abzuschätzen. Um zumindest näherungsweise Schätzungen geben zu können, wurde eine umfangreiche Dokumenten- und Webrecherche unternommen sowie zahlreiche telefonische Interviews geführt. Die Darstellung der Materialflüsse lehnt sich an der Beschreibung der Infrastruktur des Mobilfunksektors an. Dies ist aufgeteilt in das Base Subsystem BTS mit den Antennen und den Basisstationen⁸⁰ und dem Basisstationen-Controller (BSC, GSM) bzw. Radio Network Controller (RNC, UMTS), die das BTS/RNS-System steuern. Das Mobiltelefon sendet seine Signale an die Antennen der Basisstationen. Diese leiten das Gespräch weiter an die Basisstationen-Controller. Basisstationen und Basisstationen-Controller bzw. RNC sind einander sehr ähnlich, so dass sie zusammen behandelt werden. Sie bestehen aus den folgenden Elementen:

- Racks: In den Racks bzw. Gehäuseschränken wird der größte Teil der Vermittlungstechnik untergebracht sowie einige Bestandteile, die nachfolgend beschrieben werden.
- Vermittlungstechnik: Zur Vermittlungstechnik gehören Verstärker und Transceiver, Antennenfilter und -verbinder sowie andere Elemente. Die gesamte Elektronik ist in den zuvor genannten Racks eingebaut.
- Stromversorgung: Die DC-Stromversorgung ist gleichfalls zumeist in den Racks integriert. Es handelt sich zumeist um Einschübe.
- Notstromversorgung: Notstromversorgungen werden inzwischen nur noch für besonders wichtige Basisstationen verwendet. Sie besteht vor allem aus einem Satz von Bleigel-Batterien. Auch sie können in die Racks integriert sein, wobei jedoch ein Batteriesatz für die gesamte Anlage ausreichend ist.
- Kühlung: Die Vermittlungstechnik wird vor allem auf der Ebene der Controllerstationen gekühlt. Inzwischen gibt es zwar Systeme mit passiver anstelle elektrischer Kühlung, diese sind jedoch noch nicht sehr verbreitet und werden deshalb nicht betrachtet.

⁷⁹ Ressourcenströme, die durch „modische“ und technische Trends bei Endgeräten induziert sind, werden nicht betrachtet.

⁸⁰ Im GSM-Netz an die BTS (Base Transceiver Station), im UMTS-System an den RNS (Radio-Network-System oder auch Node B).

- Verkabelung: Die Verkabelung sichert zum einen die Verbindung der Antennen und der Vermittlungstechnik und zum anderen die Stromversorgung der elektrischen Geräte untereinander. Zur Verkabelung sind auch noch Kabelschienen oder Kabelträger hinzuzurechnen.
- Gehäuse (Container): Der größte Teil der Basisstationen wird in Gebäuden untergebracht. Im Out-Door Bereich werden häufig Container verwendet.
- Antennen: Jede Basisstation enthält einen Satz Mobilfunkantennen, die die Signale des Gesprächs empfängt oder weiterleitet.
- Richtfunkverbindungen: Neben den Mobilfunkantennen gibt es zumeist auch noch Richtfunkverbindungen, die zur Kommunikation der Basisstation mit der nächsthöheren Ebene dienen. Zu den Antennen sind auch Fernsteuerungseinheiten (RCU mit Motoren), Stromversorgungs- und Steuerungseinheiten (CCU) sowie Verstärker, elektrische Bauteile und Haltematerialien hinzuzurechnen.
- Masten: Für den Mobilfunk werden vor allem verzinkte Stahl- und Betonmasten verwendet. Die Masten tragen die Antennen.
- Blitzschutzeinrichtung: Alle Mobilfunkstationen müssen mit einem Blitzschutz nach den Blitzschutzklassen II oder III versehen sein. Hierbei kommen vor allem verzinkter Stahl – aber auch Kupfer oder Aluminium – zum Einsatz. Zur Blitzschutzanlage gehören Haltematerialien und ein geringer Anteil an Elektrik.

Unter methodischen Aspekten wurden die induzierten Ressourcenströme der obigen Bestandteile unter den Gesichtspunkten Lebens- und Nutzungsdauer betrachtet. Zum einen wurde zunächst die Lebensdauer der einzelnen Bestandteile der Mobilfunkinfrastruktur ermittelt. Hierbei zeigten sich deutliche Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Bestandteilen. Bauliche Elemente wie Container, Masten oder Blitzschutzanlagen haben eine Lebensdauer vom mehr als 25 Jahren bis hin zu 100 Jahren. Elektrische Bestandteile liegen bei 15 und 30 Jahren. Die Computer- und Servertechnik hingegen hat eine geringere Lebensdauer als von fünf Jahren und wird – so die „inoffizielle“ Mitteilung eines Netzbetreibers - aufgrund der oben genannten Entwicklungen zumeist noch früher ausgetauscht. Weiterhin wurde versucht, Informationen über die Nutzungsdauer zu erhalten. Hierzu liegen im Netz kaum verwertbare Informationen vor. Die Netzbetreiber klassifizieren auch derartige Informationen als wettbewerbsrelevant, weshalb sie keine Information hierzu herausgeben.

4.2 Lebens- und Nutzungsdauer von Bestandteilen des BSS und RSS

Über die „Lebensdauer“ einer gesamten Basisstation gibt es nur zwei Schätzungen. Emmenegger schätzt, dass diese eine Lebensdauer von 10 Jahre haben (vgl. Emmenegger et al. 2003:7). Malmödin (2009:3) gibt die Lebensdauer einer „RBS-Site“ (Basisstation) mit 3 bis 20 Jahren an. Diese Werte eignen sich jedoch nur eingeschränkt für eine Untersuchung des Materialflusses, da die einzelnen Komponenten sehr unterschiedliche Lebens- bzw. Nutzungsdauern haben. Generell werden Basisstationen – sofern sie einmal genehmigt sind – aufgrund schwieriger Diskussionen mit Kommunen und der Bevölkerung bei der Einrichtung neuer Stationen nur selten aufgegeben. Basisstationen werden eher kontinuierlich „erneuert“, wobei wesentliche Elemente wie die Masten, Antennen und die Stromversorgung eine deutlich höherer Lebens- und Nutzungsdauer haben als die eigentliche Vermittlungstechnik.

In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse der Recherche über die Lebens- und Nutzungsdauer der obigen Komponenten aufgeführt.

Tabelle 25: Lebens- und Nutzungsdauer verschiedener Elemente von Basis- und Controller-Stationen.

Komponente	Lebensdauer	Nutzungsdauer	Kommentar	Quelle
Racks – Technik-schränke	15 bis 20 Jahre		Technik-schränke haben eine deutlich höhere Lebenserwartung von 15-20 Jahren als das elektronische Equipment der Basisstationen. Aufgrund der stetigen Nach- oder Aufrüstung von Basisstationen werden die elektronischen Komponenten so konstruiert, dass sie in die vorhandenen Racks passen.	Jens Leonardt (Knürr Technical Furniture GmbH, Hersteller von Mobilfunk-Technik-schränken), Telefoninterview am 23.11.2009
Vermittlungs-technik	2 bis 10 Jahre	2 bis 5 Jahre	Die Lebensdauer der BSC wird von Emmenegger auf 10 Jahre und von ISI/CEPC auf 8 Jahre geschätzt, wobei unklar ist, auf welche Komponenten sich diese Angaben beziehen. Malmodin gibt die Lebensdauer von „RBS-Sites“ (Basisstationen) mit 3 bis 20 Jahren an. Dell gibt die Nutzungsdauer der Server-Technik von Basisstationen mit 2 bis 5 Jahren an. Telefonische Auskünfte bei anderen Herstellern und Netzbetreibern konnten nicht erlangt werden, da die Daten als „wettbewerbsrelevant“ bezeichnet werden. Es gab jedoch Hinweise, dass 10 Jahre alte Geräte kaum verwendet werden und eher fünf Jahre für die Nutzungsdauer als maximal anzunehmen ist. Aufgrund der unzureichenden Informationen wird mit einer weiten Spanne von 2 bis 10 Jahre für die Lebensdauer und 2 bis 5 Jahre für die Nutzungsdauer gerechnet.	Christian Unger (Service-Abteilung Dell, Hersteller von Servern für Basisstationen), Telefoninterview am 8.12.2009 Erfolgreiche telefonische Anfragen bei T-Mobile, Sony Ericsson und Vodafone am 06.12.2009 Emmenegger 2003:7 ISI/CEPC 2003:177 Malmodin:3
Stromversorgung	Mittel- und Niederspannungsschaltungen und -anlagen, Transformatoren, Leitungen, Kabel und Verteilungen: 20 bis 30 Jahre Schalter, Mess-, Steuer-, Regelanlagen: 10 bis 20 Jahre		Das Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) hat umfangreiche Daten zur Lebensdauer von elektrischen Komponenten zusammengestellt. Relevant für den Mobilfunksektor sind Mittel- und Niederspannungsanlagen und -schaltungen, Transformatoren, Kabel und Stromverteiler. Das BBR gibt die Lebensdauer mit 25 Jahren an. Schalter, Mess-, Steuer- und Regelanlagen der Stromversorgung haben eine geringere Lebensdauer von 15 Jahren.	BBR 2001
Notstromversorgung	Elektrische Komponenten s. Stromversorgung Bleigel-Batterien: 20 Jahre		Elektrische Komponenten s. Stromversorgung Bleigel-Batterien haben je nach Nutzung unterschiedliche Lebensdauern. Industriemodelle, die nur bei Bedarf Energie abgeben, haben eine Lebensdauer von ca. 20 Jahren.	Elektrische Komponenten: BBR 2001 Batterien: Northern Arizona Wind & Sun (o.J.)
Kühlung	7 bis 10 Jahre			Frank Trautmann (stellv. Niederlassungsleiter Düsseldorf für Stulz Klimatechnik, Hersteller von Kühlsystemen für Basisstationen), Telefoninterview am 25.11.2009 Bernhard Gref (Tränker, Hersteller von Kühlsystemen), Telefoninterview am

				30.11.2009
Verkabelung	Leitungen, Kabel und Verteilungen: 20 bis 30 Jahre	10 bis 12 Jahre	Nach dem BBR liegt die Lebensdauer offen verlegter Kabel und Leitungen bei 25 Jahren. Nach Leoni werden die Kabel für unterschiedliche Verlegungsarten (innen, unter Putz, Freileitungen) angefertigt und können somit eine entsprechend lange Lebensdauer von 20-30 Jahren garantieren. Allerdings erfolgt in einem wesentlich kürzeren Zeitraum (10-12 Jahre) eher ein kompletter Austausch der Anlagen bzw. deutliche Umrüstungen, so dass der Kabelsatz einer Basisstation vor dem Lebensdauerende ausgetauscht wird.	Lebensdauer: BBR 2001 Nutzungsdauer: Marcus Buscher (Vertrieb bei Leoni Special Cables, Hersteller von Kabelsystemen für Mobilfunkbasisstationen), Telefoninterview am 02.12.2009
Gehäuse (Container)	Verzinkte Container: ca. 30 bis 40 Jahre (Analogieschätzung)		Das BBR gibt die Lebensdauer von verzinkten Bauinstallationen (Zäune, Schranken, Tore) mit 35 Jahren an. Diese Schätzung lässt sich auch auf Halterungen z.B. von Kabeln oder Antennen bzw. auf Ständerwerk übertragen.	BBR 2001
Antennen	8 bis 15 Jahre			Dipl.-Ing. Ernst Lautner (technisches Marketing im Fachbereich Mobile Communication der KATHREIN-Werke), Telefoninterview am 23.11.2009
Richtfunkverbindungen	8 bis 30 Jahre	15 Jahre	Nach Pan Dacom liegt die Lebensdauer von Richtfunkantennen bei 10 bis 30 Jahren. Nach Reist liegt die Lebensdauer optischer Systeme bei ca. 8 Jahren. Nach Lautner werden Antennen aber nicht länger als 15 Jahre genutzt.	Vgl. Lautner, Pan Dacom Direkt: (o.J.) und Reist (2002) Dipl.-Ing. Ernst Lautner (technisches Marketing im Fachbereich Mobile Communication der KATHREIN-Werke), Telefoninterview am 23.11.2009
Masten	Beton: 70 bis 125 Jahre Aluminium- und Stahlmasten: ca. 35 Jahre	10 bis 15 Jahre	Betonmasten haben eine sehr hohe Lebensdauer. Je nachdem, ob die Masten bekleidet sind (125 Jahre) oder nicht (70 Jahre), kann sich die Lebensdauer sehr unterscheiden. Aluminium- sowie Stahlmasten und -konstruktionen haben eine Lebensdauer von ca. 35 Jahren wenn sie effektiv gegen Korrosion geschützt sind. Emmenegger schätzt die Nutzungsdauer auf 10 bis 15 Jahre.	Betonmasten: Dipl.-Ing. Jürgen Fedder, Planungs- und Baubetreuungsgesellschaft mbH Essen (Spezialist für Mobilfunkarchitektur), Telefoninterview am 23.11.2009 Stahlmasten: BBR 2001 Emmenegger et al. (2003:7)
Blitzschutz	20 bis 30 Jahre			BBR 2001

4.3 Lebens- und Nutzungsdauer von Bestandteilen des NSS

In den Abschnitten zuvor wurden das Base Subsystem und das Radio Subsystem mit den Basis- und den Controllerstationen beschrieben. Die nächsthöhere Ebene ist das Network Switching Subsystem (NSS). Das NSS ist die eigentliche Vermittlungsebene, bei der eingehende Anrufe an den Angerufenen weitergeleitet werden. Im NSS werden auch die Verbindungen mit den anderen Mobilfunknetzen sowie den Festnetzen (Telefon, Internet) geschaltet.

Kernstück des NSS ist das MSC – Mobile Switching System – bzw. SGSN im UMTS-Netz – welches die Verwaltung der Verbindungen und die Nutzerdatenverwaltung übernimmt. Zur Abwicklung der Gespräche nutzt die MSC verschiedene Datenbanksysteme. Darüber hinaus werden die BSC bzw. RNC von den MSC vernetzt und gesteuert. Über den MSC erfolgen auch die Anschlüsse an die anderen Netze (Kabeltelephonie, Internet). Dem MSC sind auch die Schnittstellen zum Festnetz, dem Internet und die anderen Mobilfunknetze zugeordnet. Dies erfolgt über die GMSC Gateway MSC bzw. GGSN Gateway GPRS Support Node.

Als vierte Ebene oberhalb des NSS gibt es noch das OMC Operation and Maintenance Sub-System. Aufgrund der ähnlichen Struktur können die beiden Systeme zusammen behandelt werden. Das OMC steuert zum einen das gesamte Netz. Über das OMC können auch die Wartungsarbeiten an den Teilsystemen vorgenommen werden. In das OMC fallen das NMC Network Management Center, welches die Schnittstelle zwischen der Kundenbetreuung (Administration) und der Netztechnik bildet sowie das OMC Operation Management Center⁸¹, welches das Netz steuert und überwacht. Zu dem OMC zählen die OMC-B, welche die Basisstationscontroller überwachen und die OMC-S, welche die MSC überwachen. Zum OMC zählen auch weitere wichtige Datenbanken. Die Datenbanken sind allerdings physisch bei den MSC angebunden.

Im Unterschied zu den Basisstationen und den Basisstationscontrollern sind MSC und OMC vor allem Rechenzentren mit zahlreichen speziellen Servern. Sie können wie folgt beschrieben werden:

- MSC Vermittlungstechnik: MSC bestehen vor allem aus Kommunikationsservern. Im Prinzip ist eine MSC mit einem Rechenzentrum zu vergleichen.
- MSC Schnittstellensysteme: Die Verbindung in andere Netze, das Festnetz, das Internet oder für Datendienste wird über Schnittstellensysteme wie GMSC, SGSN oder GGSN hergestellt. Diese Systeme sind spezielle Computer. Zumeist mit eigener Kühlung.
- MSC/OMC Datenbanksysteme: In dem HLR (Home Location Register) sind die Daten der Kunden gespeichert für die Gebührenabrechnungen, Zugriffsberechtigung (SIM-Karte) oder aktuelle Einstellungen (z.B. Rufumleitung) des Nutzers. In dem VLR Visitor Location Register – einer „Besucherdatei“ – sind die Adresse und die Rufnummer des Handys gespeichert und werden an die jeweiligen MSC gesendet. In diesem Register wird auch der aktuelle Standort des Nutzers verzeichnet und ständig aktualisiert. In dem EIR – Equipment Identity Register wird die internationale Kennung des Handys hinterlegt um z.B. das Gerät in allen Netzen sperren zu können. Eine weitere Datenbank ist das AuC – Authentication Center, das die Funkschnittstelle abhörsicher machen soll und Verschlüsselungskennzeichen der SIM-Karte enthält und zu deren Identifizierung notwendig ist. Die Datenbanksysteme sind häufig zentral positioniert und finden sich somit nicht in allen MSC.
- OMC: Das OMC ist vergleichbar mit einem Rechenzentrum, welches das gesamte Netz steuert und überwacht. Demzufolge sind die wesentlichen Elemente des OMC Server, Datenbanksysteme, PC's und Schnittstellensysteme zu anderen Netzen.

Über die Lebensdauer der MSC bzw. OMC gibt es nur zwei Schätzungen von Emmenegger et al. (ders. 2007:7) und Malmodin (ders. 2009:9). Emmenegger schätzt, dass die Telefonzentralen mit dem Equipment (z.B. MSC, BSC, GSC und HLR) eine Lebensdauer von 10 bis 15 Jahren haben. Malmodin schätzt, dass die Lebensdauer der sogenannten „Core-Nodes“ (vergleichbar mit MSC) bei 10 bis 20 Jahren liegt. Diese Werte eignen sich jedoch nur eingeschränkt für eine Untersuchung des Materialflusses, da die einzelnen Komponenten sehr unterschiedliche Lebens- bzw. Nutzungsdauern

⁸¹ In der Literatur wird auch häufig der Begriff NMC Network Management Center gebraucht.

haben. Masten, Antennen, Raumkühlungen und die Stromversorgung haben eine deutlich höherer Lebens- und Nutzungsdauer als die eigentliche Vermittlungstechnik.

Zur Bestimmung der Lebensdauer dieser Systeme konnte nur sehr eingeschränkt auf Informationen von Herstellern und Netzbetreibern zurückgegriffen werden, da diese im telefonischen Gespräch als wettbewerbsrelevant bezeichnet und somit nicht für die Öffentlichkeit bestimmt wurden. Es können somit nur Studien über die Lebensdauer von Elementen der Informations- und Kommunikationstechnik herangezogen werden. Allein Dell – das Server für Mobilfunk-Basisstationen herstellt – gab telefonisch die Auskunft, dass die Nutzungsdauer von Servern zwischen 2 und 5 Jahren liegt.

Während der Recherche wurden weitere Informationen zur Lebensdauer von elektronischen Geräten und Bauteilen erlangt, die hier nur der Vollständigkeit halber wiedergegeben werden. Nach Minicom Advanced Systems (ebd. 2008:6) liegt die Lebensdauer eines einfachen PC's bei 3,4 Jahren. Minicom gibt die MTBF⁸² mit ca. 30.000 Stunden an. Nach System Reliability Center (o.J.:1) liegt die MTBF für PC und Server (Workstations) bei 1.000 bis 5.000 Stunden, was maximal 0,58 Jahre entspricht. Harddisk-Laufwerke – die wesentliche Elemente von Datenbank-Servern sind, haben eine MBTF von 10.000 bis 20.000 Stunden. Unter einer Annahme einer durchgängigen Beanspruchung würden dies ca. 1,1 bis 2,2 Jahre sein. Wesentlich für die Nutzungsdauer von elektronischen Geräten wie Servern und Datenbanksystemen, die den größten Anteil der elektronischen Ausstattung der Mobilfunkinfrastruktur stellen, sind jedoch auch die Lebensdauer der einzelnen Bauteile. Nach Intel liegt die Lebensdauer eines Server-Board für den Typ Intel S3000AH bei 32,3 Jahren bei einer Temperatur von 35°C, bei einer Temperatur von 55°C sinkt die Lebensdauer auf 12 Jahre (Intel 2006). Eine Schlüsselkomponente mit höchster Bedeutung bei der Servertechnologie sind ohne Frage die Festplatten zur Speicherung aller wichtiger Daten. Toshiba gibt die Lebensdauer seiner Festplatten mit 160 Jahren (Typ MBA3073FD, ders. o.J.) und Hitachi mit 183 Jahren (Typ Ultrastar 15K600, ders. o.J.) an. Diese Lebensdauer wird jedoch von Schroeder et al. bestritten, da eine MTBF von 1.000.000 h (gleich 114 Jahren) sich nicht in der Praxis bestätigen lässt.

Sowohl die Lebensdauer der einzelnen Geräte als auch die der kritischen Komponenten können jedoch kaum zur Ermittlung eines jährlichen Stoffflusses herangezogen werden. Der wesentliche Grund hierfür ist, dass kontinuierlich neue und leistungsstärkere Technologie auf den Markt kommt, so dass die Vermittlungstechnik zumeist erneuert wird, bevor diese das Ende ihrer Lebensdauer erreicht hat. Dieser Austauschvorgang ist auch davon abhängig, welche Angebote und welche Bedarfe der Markt hat. Getrieben wird er vor allem durch das Angebot immer höherer Bandbreiten, um auch große Applikationen (z.B. Filme) über den Mobilfunk zugänglich zu machen. Da über die Lebensdauer von Vermittlungstechnik keine Daten erlangt werden konnten, wird diese Lebensdauer entsprechend der Auskünfte von Dell generell auf 2 bis 5 Jahre geschätzt.

4.4 Ressourcenflüsse in einem Steady-State-Szenario

Wie in der Einleitung dargestellt, gibt es unterschiedliche Trends, die die möglichen Ressourcenströme im Mobilfunksektor beeinflussen können. In einer ersten Näherung soll kein Ausbau des Mobilfunknetzes erfolgen. Die jährlichen Stoffflüsse werden auf Basis der Lebensdauer bzw. der möglichen Nutzungsdauer grob abgeschätzt.

Da nur bei wenigen Bestandteilen die Lebens- bzw. Nutzungsdauer gleich ist, wird eine weitere Vereinfachung vorgenommen. Der untere Wert der Nutzungsdauer – bzw. der Lebensdauer, wenn kein Wert der Nutzungsdauer vorhanden ist – wird als Minimalwert angenommen und als „Verweildauer_{min}“ bezeichnet. Der obere Wert der Lebensdauer – der immer über der Nutzungsdauer liegt – wird als Maximalwert angenommen und als „Verweildauer_{max}“ bezeichnet.

⁸² Mean Time before Failure, Zeit bis zum ersten Auftreten eines Fehlers.

Hierbei wird eine jährliche Betrachtungsweise der einzelnen Komponenten und nicht des Systems selber gewählt. Eine jährliche Betrachtungsweise für einzelne Komponenten bedeutet, dass sowohl die Verweildauer min. als auch die Verweildauer max. als Grundlage für einen jährlichen Anteil des Austausches genommen wird. Liegt die Verweildauer min. von Mastkonstruktionen beispielsweise bei 35 Jahren, so wird angenommen dass 1/35 d.h. ca. 3 % aller Masten pro Jahr ausgetauscht werden.

Die Verweildauer_{min} wird anschließend mit dem Maximalwert der Massenbilanz und die Verweildauer_{max} wird mit dem Minimalwert der Massenbilanz des Mobilfunksystems multipliziert, um so die möglichen Grenzen der Massenflüsse aufzuzeigen. Berechnet man auf Basis der Mengen- bzw. Massenbilanz unter diesen Voraussetzungen den jährlichen Stofffluss (vgl. Tabelle 26), so ergeben sich die Werte für das GSM bzw. UMTS-System:

Tabelle 26: Stoffflüsse für die Infrastruktur aufgrund unterschiedlicher Verweildauer.

Bestandteil	Verweildauer min. [a]	Verweildauer max. [a]	GSM Min. [t/a]	GSM Max. [t/a]	UMTS Min. [t/a]	UMTS Max. [t/a]	Bestandteil
BTS / RNS							
Racks-Technik	2	5	660	1.925	360	1.080	Elektronik
Racks-Gehäuse	15	20	495	770	270	432	Konstruktion
Stromversorgung							
DC-Stromversorgung	10	20	3	7	2	4	Elektrik
Stromverteiler frei	20	30	35	62	17	32	Elektrik
Stromverteiler Geb.	20	30	82	144	40	74	Elektrik
Notstromversorgung	20	20	26	62	13	32	Batterien
Kühlung							
Innen	7	10	61	103	30	53	Elektrik
außen	7	10	53	88	26	45	Elektrik
Verkabelung							
in Gebäude	20	30	112	392	56	202	Kabel
freistehend	20	30	144	378	72	194	Kabel
Richtfunk	20	30	8	30	4	15	Kabel
Stromanschluss freistehend	20	30	105	185	51	95	Kabel
Kabelschienen	30	40	44	68	21	35	Konstruktion
Kabelschienen	30	40	35	55	17	28	Konstruktion
Verteilerstation	30	40	5	8	3	4	Elektrik
Container	30	40	39	62	19	32	Konstruktion
Antennen							
GSM/UMTS	8	15	72	158	72	162	Elektronik
RCU	8	10	27	39	45	68	Elektronik
CCU	8	10	1	2	7	11	Elektronik
Verstärker	8	10	90	131	45	68	Elektronik
Elektroinstallation	20	30	30	53	15	27	Elektrik
Befestigung	30	40	45	70	23	36	Konstruktion
Richtfunkantennen	8	15	1	3	1	1	Elektronik
RCU	8	10	2	3	1	1	Elektronik
Verstärker	10	20	1	2	0	1	Elektrik
Elektroinstallation	20	30	1	1	0	1	Elektrik
Befestigung	30	40	1	1	0	1	Konstruktion
Masten							
Masten Gebäude	30	40	31	48	15	25	Konstruktion
Masten frei/Anbau	30	40	4	7	2	4	Konstruktion
Masten frei/Stahlrohr	30	40	92	245	79	126	Konstruktion
Masten frei/Stahlgitter	30	40	263	410	128	210	Konstruktion
Blitzschutz							
Ableitung und Fang	20	30	3	26	1	13	Konstruktion
Ableitung und Fang	20	30	5	41	2	21	Konstruktion
Haltematerial	30	40	26	82	13	42	Konstruktion
Verkabelung	20	30	9	33	5	17	Kabel
Elektroinstallation	20	30	1	2	1	1	Elektrik
BSC/RNC							
Racks-Technik	2	5	8,1	189,0	3,5	82,8	Elektronik
Racks-Gehäuse	15	20	6,1	75,6	2,6	33,1	Konstruktion
Kühlanlagen	7	10	-	5,0	-	2,6	Elektrik
DC-Stromversorgung	10	20	0,1	1,7	0,0	0,9	Elektrik
Notstromversorgung	20	20	-	1,1	-	0,5	Batterien
Verkabelung	20	30	0,5	1,7	0,5	1,7	Kabel

Bestandteil	Verweildauer min. [a]	Verweildauer max. [a]	GSM Min. [t/a]	GSM Max. [t/a]	UMTS Min. [t/a]	UMTS Max. [t/a]	Bestandteil
			GSM + UMTS min.		GSM + UMTS max.		
MSC							
Racks Gehäuse	15	20	61,1	81,5	95,3	127,0	Konstruktion
Kühlanlagen	7	10	25,2	36,0	48,0	68,6	Elektrik
Verkabelung	20	30	14,4	21,6	44,8	67,2	Kabel
USV	10	15	20,5	30,8	58,7	88,0	Elektrik
Notstromversorgung	10	15	42,0	63,0	150,0	225,0	Batterien
VLR	2	5	6,3	15,8	9,0	22,5	Elektronik
HLR, AuC, EiR	2	5	37,8	94,5	54,0	135,0	Elektronik
GMSC	2	5	9,1	22,8	26,1	65,3	Elektronik
SGSN und GGSN	2	5	12,0	29,9	22,8	57,0	Elektronik
GGSN	2	5	9,1	22,8	26,1	65,3	Elektronik
weitere Systeme	2	5	170,1	425,3	243,0	607,5	Elektronik
OMC/NMS							
Gateways/Switches	2	5	0,0	0,1	0,0	0,1	Elektronik
Server	2	5	2,1	5,3	2,1	5,3	Elektronik
ACP, Dispatch-PC	2	5	0,2	0,5	0,2	0,5	Elektronik
Racks Gehäuse	15	20	0,3	0,4	0,3	0,4	Konstruktion
Summe			3.000	6.800	2.200	4.800	

Quelle und Anmerkungen: Eigene Berechnungen mit Rundung der Summenwerte.

Fasst man die Ergebnisse für das Mobilfunksystem summarisch zusammen und gliedert diese Ergebnisse je nach dem Typ der Komponenten, so ergibt sich der folgende Stofffluss:

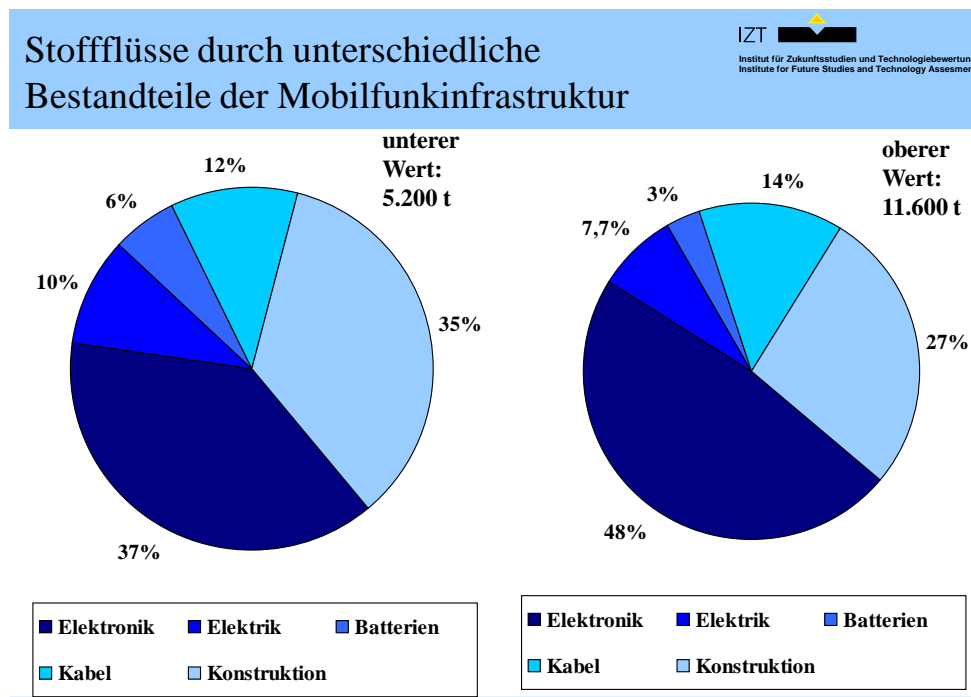
Tabelle 27: Jährliche Stoffflüsse durch unterschiedliche Bestandteile der Mobilfunkinfrastruktur (GSM und UMTS, gerundet).

Jährliche Stoffflüsse	Gesamt (t, unterer Wert)	Gesamt (t, oberer Wert)	GSM Min. [t]	GSM Max. [t]	UMTS Min. [t]	UMTS Max. [t]
Elektronik	2.000	5.500	1.100	3.100	900	2.400
Elektrik	500	900	300	500	200	400
Batterien	300	400	100	100	200	300
Kabel	600	1.600	400	1.000	200	600
Konstruktion	1.800	3.200	1.100	2.000	700	1.200
Summe	5.200	11.600	3.000	6.700	2.200	4.900

Quelle und Anmerkungen: Eigene Darstellung. GSM Min bezieht sich auf die Mindestmassen des GSM-Systems, Max auf die Maximalmassen entsprechend der Berechnungen im Kapitel 3.5. UMTS Min bezieht sich auf die Mindestmassen und Max auf die Maximalmassen des UMTS-Systems. Anschließend erfolgte eine Multiplikation der geringsten Verweildauer mit dem Maximalwert der Massenbilanz bzw. der längsten Verweildauer mit dem Minimalwert der Massenbilanz um die Spannbreiten besser aufzuzeigen.

Im Ergebnis zeigt sich, dass der Materialfluss aufgrund der angenommenen Verweildauern zwischen 5.200 und 11.600 t pro Jahr liegen kann. Bei einer Schätzung der Mobilfunkinfrastrukturmasse von ca. 101.000 t (unterer Wert, vgl. Kapitel 3.5) erfolgt ca. 70 % des jährlichen Stoffflusses durch konstruktive und elektronische Bestandteile. Nimmt man die höheren Schätzwerte der Mobilfunkinfrastrukturmasse mit ca. 137.000 t und legt die geringeren Verweildauern der Bestandteile zugrunde, so dominiert der Austausch von Elektronik mit ca. 50 % gefolgt von konstruktiven Bestandteilen (vor allem Gehäuse) mit ca. 25 %. In der folgenden Abbildung werden noch einmal die prozentualen Anteile dargestellt:

Abbildung 14: Prozentuale Stoffflüsse durch unterschiedliche Bestandteile der Mobilfunkinfrastruktur



Dr. Michael Scharp/MaRes

Quelle: Eigene Darstellung.

4.5 Ressourcenflüsse in einem Ausbau-Szenario für UMTS (UMTS 20XX)

Das inzwischen mehr als 20 Jahre alte GSM-Netz (2G-Standard) ist zwar vielfach technologisch erweitert worden mit GPRS, HSCSD und EDGE (2,5G-Standard, vgl. hierzu NIK 2004:19ff), aber andere Systemtechniken wie das UMTS-System (3G-Standard mit CDMA2000) und seine Nachfolger des 3,5G oder 4G-Standards versprechen ungleich bessere Leistungen und vor allem höhere Bandbreiten (d.h. vor allem höhere Übertragungsraten). Es stellt sich somit nicht die Frage „ob“, sondern „wann“ die neuen Technologien bundesweit verfügbar sind. Paradoxerweise wird es – wie schon heute – zu einer Situation kommen, bei der alle Systeme gleichzeitig am Markt sein werden (vgl. ISI / CEPT 2003:103).

Vor diesem Hintergrund soll ein Szenario zu der Frage entwickelt werden, welche Ressourcenbedarfe zum Aufbau eines flächendeckenden Einsatzes der UMTS-Technik notwendig wären. Der Sinn und Zweck dieses Szenarios ist aufzuzeigen, welche Relevanz die Dualität der Netze im Vergleich zu den zuvor geschätzten Stoffflüssen hat.

Nach den zuletzt im Jahre 2007 veröffentlichten Zahlen der Bundesnetzagentur gab es zum März 2007 insgesamt 67.000 GSM-Basisstationen und in 2009 ca. 39.000 UMTS-Basisstationen.⁸³ Das GSM-Netz ist nahezu flächendeckend, auch wenn es beispielsweise auf einigen Brandenburger Intercity-Verkehrsstrecken der Uckermark häufig schwierig ist, einen Netzanschluss zu erhalten. Nach ISI / CEPT (dies. 2003:101) benötigt das UMTS-System bei gleicher Netzabdeckung wie das GSM-System 2 bis 3-mal so viele Basisstationen. Dies wären zwischen 120.000 und 210.000 Basisstationen je nachdem, welchen Wert man nimmt. Um eine flächendeckende Versorgung von Deutschland

⁸³ ISI / CEPT haben in 2003 geschätzt, dass bis zum Jahre 2010 ca. 80.000 UMTS-Basisstationen mit 330 Vermittlungsstationen aktiv sind (ders. 2003:102). Mit Stand vom 14. Dezember hat die Regulierungsbehörde die Zahl der UMTS-Stationen mit 39.000 angegeben, so dass ca. 70 % der Bevölkerung an das UMTS-Netz angeschlossen waren (Bundesnetzagentur 2009:55).

mit UMTS zu erreichen – wie es bei der Vergabe der UMTS-Lizenzen vereinbart war – müssten nach NIK ca. 30.000 bis 40.000 UMTS-Basisstationen errichtet werden (NIK 2004:77; RegTP 2001). Diese Zahl wurde zwar in 2009 erreicht, aber die neuen UMTS-Stationen dienten vor allem der Ausweitung der Bandbreite in den bevölkerungsreichen Gebieten und nicht der flächendeckenden Versorgung. Bei UMTS ist die Besonderheit, dass die Netzabdeckung anders gesteuert wird als bei GSM, da die Netzabdeckung vor allem durch die Verkehrslast bestimmt wird (atmende Netze).

Vor diesem unsicheren Hintergrund wird die Annahme getroffen, dass bis zum Jahr 20XX die Anzahl der UMTS-Basisstationen auf 50.000 erweitert wird, d.h. zu den für die Mengen- und Massenbilanz angenommenen 36.000 Standorten (siehe Kapitel 2.1.1) sollen noch weitere 14.000 hinzu gebaut werden. Weil das UMTS eine deutlich geringere Reichweite als GSM hat, wird vereinfachend angenommen, dass alle weiteren UMTS-Stationen tatsächlich komplett neu gebaut werden. Diese Annahme lässt sich vor allem damit begründen, dass inzwischen in allen Städten und dichter besiedelten Gemeinden UMTS verfügbar ist (vgl. laptopkarten.de o.J.), aber mit zunehmender Netzbelastung auch in den Städten das UMTS-Netz ausgebaut werden muss. Damit vereinfacht sich die Berechnung in Analogie zur Netzinfrastrukturberechnungen wie in Kap. 3, da alle zusätzlichen UMTS-Basisstationen analog kalkuliert werden und es nicht notwendig ist, zwischen neuen UMTS-Stationen an alten Standorten zu unterscheiden. Entsprechend des Verteilungsschlüssels wie er in Kap. 2.1.1 berechnet wurde, würden dies ca. 8.000 weitere Standorte bedeuten.

Weiterhin wird der Verteilerschlüssel von RNC zu RNS mit 1:100 angenommen, da UMTS eine geringere Reichweite hat und somit die RNS dichter konzentriert stehen. Hierbei kann dann auch eher die höhere Controller-Kapazität genutzt werden. Dies würde dann zusätzliche 140 Controllerstationen erfordern.

Im Rahmen der Netzinfrastrukturberechnungen in Kap. 3 wurden 140 bis 200 MSC in Bezug auf 960 bzw. 2.120 Controllerstationen gesetzt. Dies entspricht einem Verhältnis von 1:7 (Minimalwerte) bis 1:10 (Maximalwert).

OMC müssten im Prinzip nicht neu gebaut werden, da eine OMC auf Basis der Schätzungen (s.S. 53) zuständig wäre für 34 MSC. Der Form halber wird der Neubau der OMC mit 1 beziffert. Für diese Abschätzung wird der Maximalwert genommen, d.h. pro 10 RNC eine zusätzliche MSC.

Beim Vergleich zwischen dem Szenario UMTS-20XX mit dem Szenario UMTS Max. werden gleichfalls für die einzelnen Bauelemente die höheren Wert angenommen beispielsweise bei der Notstromversorgung, der Verkabelung, den Kühlanlagen der BSC oder den Racks für die Vermittlungstechnik.

Somit würden sich folgende Basiswerte für ein Ausbauszenario UMTS-20XX im Vergleich zum Bestand ergeben:

Tabelle 28: Rahmendaten für einen flächendeckend Ausbau des UMTS-Netzes.

	RNS-UMTS	RNC	MSC	OMC
Basisdaten der maximalen Schätzung für das Jahr 2007/2008 (siehe Kap. 2.1.1, 2.1.2 und 2.1.3)	36.000	720	200 (UMTS/GSM)	40
20XX (Neubau, davon gemäß BNA 3.000 bis 2009 gebaut)	14.000	140	14 (UMTS)	1

Quelle: Eigene Darstellung.

Auf dieser Basis wurde die Masse der Infrastruktur für das Szenario UMTS-20XX abgeschätzt. Hierbei wurde so wie zuvor bei der Bestimmung der Massen der Mobilfunkinfrastruktur vorgegangen. In dem Szenario UMTS-20XX wurden jedoch keine Minimal- und Maximalwerte bestimmt, sondern nur die

minimalen Rahmendaten⁸⁴ zur Berechnung der Infrastrukturmassen verwendet, da aufgrund der Vielzahl der Unsicherheiten (Minimal- und Maximalwerte der Ressourcenbilanz sowie Lebens- und Nutzungsdauer mit Minimal- und Maximalwerten) weitere Unsicherheiten das Ergebnis kaum verbessern würden. Zum Vergleich wurden die Infrastrukturbestandteile für den Mobilfunk, wie sie für den Bezugszeitraum 2007/08 ermittelt wurden, gleichfalls aufgeführt sowie die Stoffflüsse aufgrund der geschätzten Verweilzeiten.

Tabelle 29: Infrastrukturmassen und jährliche Stoffflüsse von 2007/2008 im Vergleich mit dem Szenario UMTS-20XX

Vergleich: Bestand - Jährliche Stoffflüsse - Szenario UMTS-20XX	Mobilfunkinfrastruktur 2007/08 (GSM und UMTS, unterer Wert in t)	Mobilfunkinfrastruktur 2007/08 (GSM und UMTS, oberer Wert in t)	Jährliche Stoffflüsse ges. Infrastruktur (unterer Wert, t)	Jährliche Stoffflüsse ges. Infrastruktur (oberer Wert, t)	Szenario UMTS-20XX
Elektronik	12.700	14.800	2.000	5.500	2.000
Elektrik	10.600	12.400	500	900	1.000
Batterien	3.700	4.800	300	400	1.400
Kabel	18.800	32.600	600	1.600	-
Konstruktion	54.800	72.400	1.800	3.200	8.300
Summe	101.000	137.000	5.200	11.600	13.000

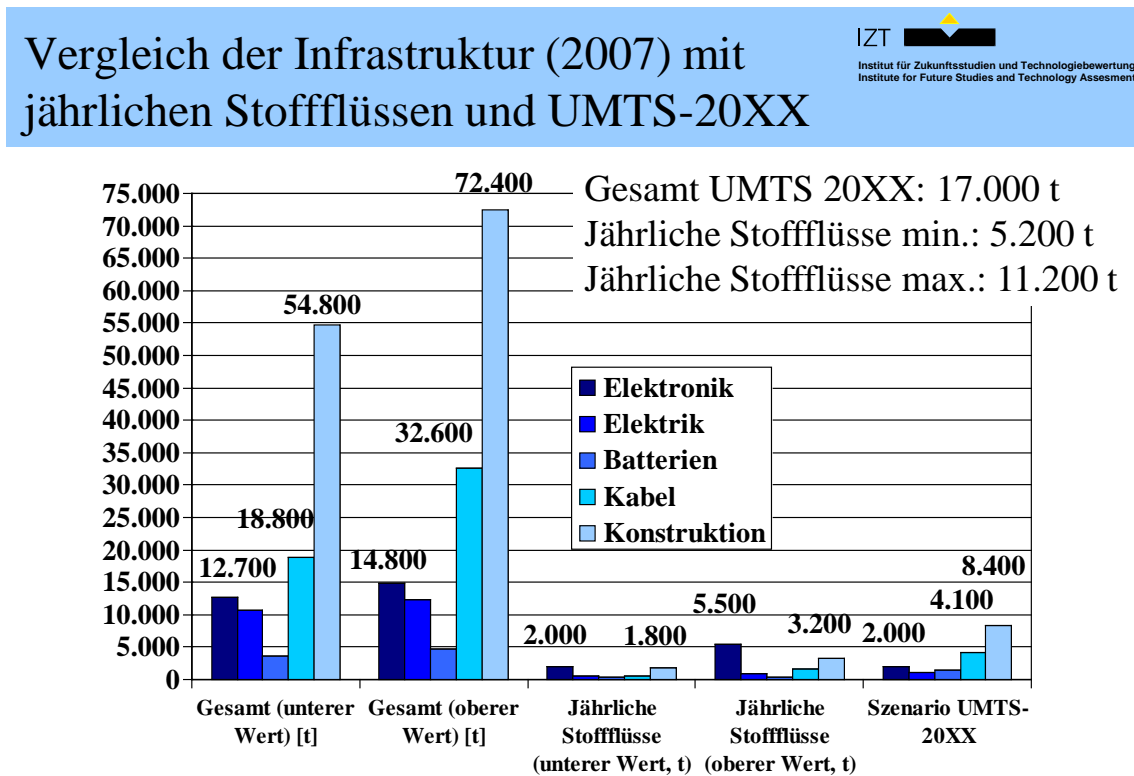
Quelle: Eigene Darstellung.

Im Ergebnis zeigt sich, dass ein deutlicher Ausbau des UMTS-Netzes mit Stoffflüssen verbunden ist, die über den geschätzten jährlichen Stoffflüssen auf Basis der Nutzungszeiten für die einzelnen Baugruppen des Mobilfunknetzes liegen. Allerdings würde ein weiterer Ausbau nicht im bedeutenden Maße die Bestandsmassen erhöhen, sondern nur – wie in diesem Beispiel gezeigt – mit zusätzlichen Massen in der Größenordnung von 12 bis 17 % liegen. Einen wesentlichen Anteil an der Massenerhöhung hätten konstruktive Elemente mit ca. 50 % und ca. 25 % Kabelanteil.

In der folgenden Abbildung sind noch einmal die Ressourcenbedarfe nach den einzelnen Bestandteilen der Mobilfunkinfrastruktur untergliedert sowie für die Bereiche Bestand, Instandhaltung und UMTS-Ausbau dargestellt.

⁸⁴ Im Kap. 3.2 wurden sowohl für UMTS als auch für GSM jeweils unterschiedliche Faktoren bei den einzelnen Elementen der Basisstationen, Controllerstationen und MSC gewählt. Beispielsweise wurde die Verkabelung mit einem Minimal- und Maximalwert berechnet.

Abbildung 15: Infrastrukturmassen und jährliche Stoffflüsse der Jahre 2007/2008 im Vergleich mit dem Szenario UMTS-20XX



Dr. Michael Scharp/MaRes

Quelle: Eigene Darstellung.

4.6 Zusammenfassung der Ergebnisse

Mobilfunk induziert wie jede andere Technik oder Dienstleistung Materialflüsse, da technische Geräte nur eine endliche Lebensdauer haben. Darüber hinaus gibt es jedoch drei spezifische Entwicklungen, die sich unmittelbar auf die Ressourcenbedarfe auswirken:

- Mobilfunk ist essentiell von der Computertechnik abhängig und die Nutzung der besten Technologien ist sehr wettbewerbsrelevant. Es ist anzunehmen – und es wird auch von Mobilfunkexperten bestätigt – dass die Computertechnik bedarfsorientiert und nicht lebensdauerorientiert genutzt wird. Die Elektronik ist somit ein relevanter Faktor bei den jährlichen Stoffflüssen.
- Es gibt einen kontinuierlichen Ausbau der Netze hin zu höheren Mobilfunk-Standards, so dass mehrere Netze parallel existieren. Noch immer erfolgt der Ausbau des UMTS-Netzes, da dies bisher insbesondere in den ländlichen Regionen nicht verfügbar ist. Hierdurch erfolgen zunächst einmal eine Erhöhung der jährlichen Stoffflüsse und eine Steigerung der Infrastrukturmasse. Allerdings ist diese zusätzliche Masse in Bezug auf die vorhandenen Infrastrukturen im Mobilfunk relativ gering.
- Es gibt weiterhin einen Trend zur Miniaturisierung und zur Technikintegration (duale Verarbeitung von GSM und UMTS vor allem in der Vermittlungstechnik), der zu einer Reduzierung der Infrastrukturmasse führt. Da die Vermittlungstechnik jedoch nur 10 bis 13 % der Gesamtinfrastruktur darstellt, wird das Reduktionspotential nicht wirklich groß sein.

Insgesamt erscheinen die jährlichen Stoffflüsse von 5.000 bis 12.000 Tonnen trotz der teilweise geringen Verweilzeiten als nicht besonders groß im Vergleich zu einer Gesamtmasse der Primärinfrastruktur von ca. 100.000 bis 137.000 t. Prozentual gesehen liegen die Stoffflüsse zwischen 5 % und 8 %. Es sind vor allem die elektronischen (Vermittlungstechnik) und konstruktiven Elemente (Gehäuseschränke, Masten), die hierbei wesentliche Stoffflüsse induzieren könnten. Diese relativierende Aussage lässt sich mit einem Vergleich mit dem Austausch von Mobiltelefonen begründen. In

Deutschland gab es in 2008 ca. 107 Mio. Anschlüsse (Handyverträge, BMWi und tns infratest 2009:136). Bei einem geschätzten Gewicht von 150 g pro Geräte – inklusive Ladegerät – ergäbe sich eine Masse der Handys von ca. 16.000 t. Nimmt man eine Nutzungsdauer von 2 Jahren⁸⁵ an, so ergäbe sich ein Ressourcenfluss von ca. 8.000 t allein aufgrund des Austausches von Mobiltelefonen. Somit ergäbe sich ein durch die Konsumenten induzierter Ressourcenfluss, der noch über dem des Szenarios mit den minimalen Verweilzeiten der Infrastruktur liegen würde.

Vergleicht man die Werte der geschätzten jährlichen Ressourcenflüsse sowie die Bestandsinfrastruktur mit einem flächendeckenden Ausbau-Szenario für UMTS im Jahre 20XX, so zeigt sich, dass ein Ausbau die Infrastruktur mit 8.000 Basisstationen und den dazugehörigen RNC und MSC um schätzungsweise 12 % erhöhen würde. Auch ein Ausbau des UMTS-Netzes hin zu einem nahezu flächendeckenden UMTS-Netz würde somit zu einem Stofffluss führen, der in der gleichen Dimension wie die jährlichen Stoffflüsse durch den Erhalt der Infrastruktur liegt.

⁸⁵ Emmenegger et al. Gehen sogar von nur einem Jahr aus (dies. 2003:7).

5 Literatur

- BBOS Bundesanstalt für den Digitalfunk der Behörden und Organisationen für Sicherheitsaufgaben: Das Projekt Digitalfunk BOS. Online: http://www.bdbos.bund.de/cln_109/nn_421176/DE/Bundesanstalt/Projekt_Digitalfunk/projekt_digitalfunk_node.html?_nnn=true. Zugriff: Januar 2009.
- BBR Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (2001) Leitfaden Nachhaltiges Bauen. Online: http://www.bmvbs.de/Anlage/original_8183/Leitfaden-Nachhaltiges-Bauen.pdf. Zugriff Dezember 2009
- Behrendt, S.; Kreibich, R.; Lundie, S.; Pfitzner, R.; Scharp, M (1998): Ökobilanzierung komplexer Elektronikprodukte. Springer: Berlin, Heidelberg, New York.
- Benning (o.J.): Telecom – DC Stromversorgungssysteme. Online: www.benning.de (Downloads). Zugriff: Februar 2009.
- Benning: Telefonisches Interview mit Hr. Uessler, E-Mail m.uessler@benning.de
- BMW Bundesministerium für Wirtschaft und TNS Infratest Forschung GmbH (2009): Monitoring Informationswirtschaft. 12. Faktenbericht. Infratest: München.
- Brieselang.NET (o.J.): Blitzschutz nach VDE. Online: <http://www.brieselang.net/blitzschutz-nach-vde.php>. Zugriff Februar 2009.
- Bundesnetzagentur (2004): Funk und Umwelt. Regtp facts. Online: <http://www.bundesnetzagentur.de/media/archive/1030.pdf>. Zugriff: Januar 2009.
- Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (2007): Tätigkeitsbericht 2006/2007 für den Bereich Telekommunikation. Online: <http://www.bundesnetzagentur.de/media/archive/12186.pdf>, S. 6. Zugriff Dezember 2009.
- Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (2007): Tätigkeitsbericht 2008/2009 für den Bereich Telekommunikation. Online: http://www.bundesnetzagentur.de/cae/servlet/contentblob/143490/publicationFile/1111/TaetigkeitsberichtTK20082009_Id17897pdf.pdf, S. 6. Zugriff April 2011.
- Burkhardt, Klaus; Eisemann, Jürgen (2005): Technischer Netzbetrieb GSM-R. Signal+Draht: 07/08-2005. Online: http://www.eurailpress.de/ei_detail/number//technischer_netzbetrieb_gsm_r.html. Zugriff: Januar 2009.
- Commonwealth of Virginia (2007): Contract Modification - Motobridge IP System Overview. Online: http://www.vsp.state.va.us/downloads/stars_files/Sec_2a_System_Overview_Master_V7_03-21-07_Ver4_Final_CLEAN_03-25-07.pdf. Zugriff: Februar 2009.
- Deutsches Kupferinstitut (2000): Kupfer in der Elektrotechnik – Kabel und Leitungen. Deutsches Kupferinstitut: Düsseldorf.
- ELKO ELEktronik-Kompendium (o.J.): GSM-Systemarchitektur. Online: www.elektronik-kompendium.de/sites/0910191.htm. Zugriff: Januar 2009.
- Emmenegger, Mireille; Frischknecht, Rolf; Jungblut, Niels (2003): LCA des Mobilfunks UMTS. Uster: ETHZ, Forschungsstiftung Mobilfunkkommunikation.
- Emmenegger, Mireille; Frischknecht, Rolf; Jungblut, Niels (2003): LCA des Mobilfunks UMTS. Uster: ETHZ, Forschungsstiftung Mobilfunkkommunikation.

- Emmenegger, Mireille; Frischknecht, Rolf; Jungblut, Niels: LCA des Mobilfunks UMTS. Uster: ETHZ, Forschungsstiftung Mobilfunkkommunikation.
- Ericsson (2001): Die Infrastruktur von Mobilfunkdiensten. Ericsson: Düsseldorf. Online: http://www.ericsson.com/de/broschueren/infrastruktur_mobilfunknetze.pdf. Zugriff: Februar 2007.
- Faber (o.J.): Produktkatalog. Online: http://faberkabel.ru/de/download/files/katalog_faber.pdf. Zugriff: Februar 2009.
- Fasse, Markus: Boeing greift nach Galileo. Handelsblatt, 16. Juni 2008, Nr. 114, S.11
- Federico, A.; Masmeci, F; Mancini, D (2001): Material Input per Unit Service of the Italian Mobile Telephone Network. Vortrag auf dem Diskussionsforum "Environmental Impact of Telecommunication and Services". April 2001. Swiss Federal Institute of Technology, Lausanne.
- Fraunhofer ISI / CEPC (2003) Der Einfluss moderner Gerätegenerationen der IK'T auf den Energieverbrauch in Deutschland bis zum Jahr 2010. Fraunhofer ISI und CEPCV des Swiss Federal Insitutes for Techology im Auftrag des Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit BMWA: Karlsruhe und Zürich.
- Fraunhofer ISI / CEPC (2003) Der Einfluss moderner Gerätegenerationen der IK'T auf den Energieverbrauch in Deutschland bis zum Jahr 2010. Fraunhofer ISI und CEPCV des Swiss Federal Insitutes for Techology im Auftrag des Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit BMWA: Karlsruhe und Zürich.
- Funkschau (2001): UMTS-Systemtechnik im Detail. Funkschau 10/2001. Online: www.funkschau.de. Zugriff: Juni 2008.
- Funkschau (2001): UMTS-Systemtechnik im Detail. Funkschau 10/2001. Online: www.funkschau.de. Zugriff: Juni 2008.
- navigationssystem.com (o.J.): Gallileo Informationen. Online: http://www.galileo-navigationssystem.com/?page_id=111. Zugriff: April 2011.
- Griese, Hans-Jörg; Müller, Jutta; Stobbe, Lutz (2004): Fokusthema Mobile Kommunikation. Fraunhofer Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration: Berlin.
- Handelsblatt (2009): Mobilfunkbetreiber erneuern tausende GSM-Basisstationen. Online: www.handelsblatt.com/technologie/it-internet/mobilfunkbetreiber-erneuern-tausende-gsm-basisstationen;1225907. Zugriff: Januar 2009.
- Hilty, Lorenz; Behrendt, Siegfried; Binswanger, Mathias; Bruinink, Arend; Erdmann, Lorenz; Fröhlich, Jürg; Köhler, Andreas; Kuster, Niels; Som, Claudia; Würtemberg, Felix (2003): Das Vorsorgeprinzip in der Informationsgesellschaft – Auswirkungen des Pervasive Computing auf Gesundheit und Umwelt. TA-SWISS: Bern.
- Informationszentrum Mobilfunk IZMF (o.J.): Wie funktioniert Mobilfunk, Online: www.izmf.de/html/de/244.html. Zugriff Januar 2009.
- Intel (2006): Intel Server Boards S3000AHLX, S3000, AH, and S3000AHV. Technical Specification. Online: [ftp://download.intel.com/support/motherboards/server/s3000ah/sb/s3000ah_tps_1_1.pdf](http://download.intel.com/support/motherboards/server/s3000ah/sb/s3000ah_tps_1_1.pdf). Zugriff: Dezember 2009.
- IT Wissen – Online Lexikon für Informationstechnologie. Datacom Buchverlag GmbH: Petershofen.
- Kathrein: Telefonisches Interview mit Hr. Otmar Seubert, E-Mail otmar.seubert@kathrein.de

- laptopkarten.de (o.J.): UMTS Abdeckung: Qualitätsunterschiede bei Netz-Abdeckung der Anbieter. Online: <http://www.laptopkarten.de/UMTS-Netzabdeckung/umts-abdeckung.html>. Zugriff: Dezember 2009.
- Malmodin, Jens (2009): Life Cycle Assessment of ICT. Vortrag auf der Konferenz "ICTs, the Environment and Climate Change", OECD conference 2009. Ericsson Research. Online: www.lcm2007.org/presentation/Mo_3.11-Malmodin.pdf. Zugriff: Dezember 2009.
- MGE (o.J.): Dreiphasige USV-Serie – Galaxy PW. Online: http://www.mgeups.de/downloads/docs/MGE_Galaxy_PW.pdf. Zugriff: Dezember 2009.
- Minicom Advanced Systems (2008): Cost Ramifications of Player Placement in Digital Signage Networks. Online: <http://www.techdata.com/techsolutions/displayprojectors/Files/Minicom%20Player%20Placement%20March%202017-2008.pdf>. Zugriff: Dezember 2009
- Motorola (o.J.): Motobridge IP Interoperable Solution. Online: http://www.vsp.state.va.us/downloads/stars_files/Sec_6_Specs_Master_FINAL_6-7-05.pdf. Zugriff: Februar 2009.
- Network Computing (2008): O2 setzt auf Mobilfunkausrüstung von Huawei. Online: <http://www.networkcomputing.de/o2-germany-setzt-auf-mobilfunkausruestung-von-huawei/>. Zugriff: Januar 2009.
- NIK 2004: Fokusthema Mobile Kommunikation. NIK Nachhaltigkeit in der Informations- und Kommunikationstechnik; DLR und IZM Fraunhofer Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration.
- Nortel (2005): Product Brief – Nortel BSC 3000 und TCU 3000. Nortel: Berkshire UK. Online: <http://www.nortel.com/solutions/wireless/collateral/66179.13-050505.pdf>. Zugriff: Januar 2009.
- Northern Arizona Wind & Sun (o.J.): Battery Types Used in Solar Electric Systems. Online: http://www.windsun.com/Batteries/Battery_types.htm. Zugriff: Dezember 2009
- Nuera (2006): GX-3X. Online: <http://www.nuera.com/Products/GX-3K.pdf>. Zugriff Februar 2009.
- O2 (o.J.): Wie funktioniert Mobilfunk? Online: <http://www.de.o2.com/ext/portal2/online/14427/index>. Zugriff Januar 2009.
- O2 (o.J.): Das neue Netz von O2. Online: <http://www.o2online.de/nw/support/mobilfunk/netz/netzabdeckung.html>. Zugriff: April 2011.
- Oerlikon (2007): 2CP1000 Compact-Power Towerlines. Online: http://www.accuoerlikon.com/pdf/datenblatt/2007/towerline/T_2CP1000_DE_20071127.pdf. Zugriff: Dezember 2009.
- Pan Dacom Direkt: Richtfunk – Richtfunknetzwerk – RiFu. Online: <http://www.pandacomdirekt.com/de/loesungen/richtfunk/richtfunk-netzwerke.html>. Zugriff am 06.12.2009.
- Radio Frequency System (o.J.): Base Station Antenna Systems – Catalog. Online: http://www2.rfsworld.com/RFS_Edition4/RFS_home.htm. Zugriff: Januar 2009.
- Reder, Bernd (2008): O2 Germany setzt auf Mobilfunkausrüstung von Huawei. Online: <http://www.networkcomputing.de/o2-germany-setzt-auf-mobilfunkausruestung-von-huawei/>. Zugriff Februar 2008.
- RegTP Regulierungsbehörde für die Telekommunikation und Post (2001): Lizenzklasse 1 – Digitaler, zellulärer Mobilfunk. Bonn: Regulierungsbehörde für die Telekommunikation und Post.

- Reist, Beate, Pfister, Patrick, Bellin, Christoph (2002): Studie über optische Richtfunkverbindungen. Online: http://www.kaos.ch/sors/SORS_HQ.pdf. Zugriff: Dezember 2009.
- RFS Radio Frequency Systems (o.J.): Celluflex Foam and Heliflex Air Cables. Online: http://www2.rfsworld.com/RFS_Edition4/pdfs/Cable_Intro_23-29.pdf. Zugriff: Februar 2009.
- Scharnhorst, Wolfram (2006): Life Cycle Assessment of Mobile Telefon Networks. EPFL: Lausanne.
- Schroeder, Bianca; Gibson, Garth (2007): Disk Failures in the Real World: What Does an MBTF for 1,000,000 Hours Meant to You?. Online: http://db.usenix.org/events/fast07/schroeder/schroeder_html/index.html. Zugriff Dezember 2009.
- Stich (2008): Stich – S2 – flutlichtfußball2008. Online: <http://www.flutlichtanlagen.at/Downloads/Katalog-Flutlichtanlagen-2008/flutlichtanlagen-katalog-2008.pdf>. Zugriff: Februar 2009.
- Telekom (2006): Geschäftsbericht 2006. Bonn: Telekom.
- Telekom (o.J.): Statistische Daten 2005. Telekom: Bonn. Online: <http://www.telekom.de/dtag/cms/content/dt/de/9538;jsessionid=45046896FC2D339CDB8E29368B16FADC>. [Zugriff: Januar 2007].
- TKD (o.J.): TKD-Datenblätter - Elektronikleitungen. Online: http://www.tkd-gruppe.de/module-itevoCORE-viewPubList-pt_name-tkdCABLEDATA-group-02.html. Zugriff: Februar 2009.
- TNS Infratest Forschung GmbH (2006): Monitoring Informationswirtschaft. Infratest: München.
- TNS Infratest Forschung GmbH (2007): Monitoring Informationswirtschaft. Infratest: München.
- Toshiba (o.J.): Toshiba SDD Product Detail. Online: http://storage.toshiba.eu/cms/de/hdd/product_overview/product_detail.jsp?productid=316. Zugriff Dezember 2009.
- T-Systems (2008): Einsatz für e-CEBIUS. Online: www.t-systems.de/tsi/de/552428/Startseite/UeberTSystems/Best-Practice-Online/Ausgabe-04-2008/Projects-05/Projects-05. Zugriff: Januar 2009.
- Weberskirch, Jürgen (2001): Blitzschutz von Mobilfunkanlagen. Online: <http://www.blitzschutz.com/infos/artikel/011/index.htm>. Zugriff: Februar 2009.
- Wersig, Gernot (2000): Informations- und Kommunikationstechnologie. UVK Medien: Konstanz.
- Wikipedia (o.J.) : Base Transceiver Station. Online: http://de.wikipedia.org/wiki/Base_Transceiver_Station. Zugriff: Januar 2009.
- Wikipedia (o.J.) : Node B. Online: http://de.wikipedia.org/wiki/Node_B. Zugriff 2009.
- Wikipedia: E-plus. Online: <http://de.wikipedia.org/wiki/E-Plus>. Zugriff: Januar 2009.
- Wilén, Per (o.J.): The RBS 2206 – A flexible ticket to the third-generation wireless systems. Online: http://www.ericsson.com/ericsson/corpinfo/publications/review/2000_02/files/2000024.pdf. Zugriff: Januar 2009
- Wittmer, Dominic (2006): Kupfer im regionalen Ressourcenhaushalt – Ein methodischer Beitrag zur Exploration urbaner Lagerstätten. Dissertation. Eidgenössische Technische Hochschule Zürich: Zürich.