

# Messverfahren zur Überprüfung des Versorgungsgrades der UMTS-Betreiber

Studie im Auftrag der RTR GmbH,  
Österreich

---

**Ascom AG**  
Carrier Products  
Schweiz

Autor: Johannes Maucher

Datum: Dezember 2002



## Inhalt

<b>1</b>	<b>Zielsetzung und Überblick.....</b>	<b>8</b>
1.1	Ziel der Studie .....	8
1.2	Bedingungen .....	8
1.3	Zu untersuchende Fragestellungen.....	9
1.4	Dokument Übersicht.....	11
<b>2</b>	<b>UMTS Qualitätsparameter .....</b>	<b>12</b>
2.1	UMTS Trägerdienste .....	13
2.1.1	UMTS QoS Klassen .....	13
2.1.2	UMTS QoS Parameter .....	14
2.2	Radio-Access Träger Dienste .....	16
2.3	Radio Träger Dienste .....	16
2.4	QoS auf den Transport Kanälen.....	16
2.5	QoS auf den Physikalischen Kanälen .....	18
2.5.1	Gespreiztes CDMA Signal.....	18
2.5.2	Der Qualitätsparameter $E_c/I_0$ .....	18
2.5.3	Der Qualitätsparameter $E_b/N_0$ .....	20
2.6	QoS Parameter: Übersicht und Zusammenfassung.....	22
<b>3</b>	<b>Verfahren zur Bestimmung der Qualitätsparameter .....</b>	<b>24</b>
3.1	Überprüfung der Qualität des Primären Pilotkanals .....	24
3.2	Überprüfung der QoS Parameter eines Referenz Trägerdienstes .....	25
3.3	Antennenanordnungen.....	26
3.4	QoS Messung: Zusammenfassung und Vorschlag .....	26
<b>4</b>	<b>Mindestanforderungen an die zu bestimmenden Qualitätsparameter</b>	<b>28</b>
4.1	QoS Anforderungen für End-to-End Dienste.....	28
4.2	QoS-Profile der UMTS Träger Dienste.....	30

---

4.3	Format der Referenzträgerdienste .....	31
4.4	Direkte Vorgabe der Mindestanforderung an den Physikalischen Pilot Kanal 33	
4.5	Indirekte Vorgabe der Mindestanforderung an den Physikalischen Pilot Kanal 33	
4.6	Vorschlag zur Bestimmung der UMTS-Versorgung an einem Ort .....	36
<b>5</b>	<b>Systemparameter, die wesentlichen Einfluss auf die Qualitätsparameter ausüben .....</b>	<b>37</b>
5.1	Der Systemgewinn .....	38
5.2	Dämpfung im physikalischen Ausbreitungskanal .....	38
5.2.1	Mittlere Ausbreitungsdämpfung.....	39
5.2.1.1	Modellbildung in UMTS .....	39
5.2.2	Abschätzung .....	40
5.2.2.1	Modellbildung in UMTS .....	40
5.2.3	Fading durch Mehrwege Ausbreitung.....	40
5.2.3.1	Modellbildung in UMTS .....	40
5.2.4	Zeitliche Varianz des Empfangssignals.....	42
5.2.4.1	Kohärenzzeit des Mehrwege Fadings .....	42
5.2.4.2	Fadingfrequenz .....	42
5.2.4.3	Durchschnittliche Fading Dauer .....	43
5.2.4.4	Zeitliche Varianz der Dämpfungskomponente Abschätzung .....	43
5.3	Interferenz, Systemlast und Downlink Orthogonalität .....	44
5.3.1	Interferenz im UMTS Downlink.....	44
5.3.2	Der Orthogonalitätsfaktor .....	45
5.3.3	Der Downlink Lastfaktor .....	46
5.4	Abschätzung des Last-Orthogonalitätsterms .....	48
5.5	Thermisches Rauschen und Empfängerrauschen .....	50
5.6	Einfluss der Sendeleistung.....	50
5.7	Einfluss der Antennenkonfigurationen.....	52
<b>6</b>	<b>Auswahl der Stichprobe aus der Grundgesamtheit und Ermittlung des Versorgungsgrades .....</b>	<b>53</b>
6.1	Statistik der Menge aller Bevölkerungseinheiten des Landes.....	53
6.2	Bestimmung des Versorgungsgrades und Auswahl der Stichprobe .....	55

---

---

6.2.1	Grad der versorgten Zählsprenkel und Ortschaften .....	55
6.2.1.1	Definition des Versorgungsgrades .....	55
6.2.1.2	Stichprobenauswahl .....	55
6.2.2	Grad der versorgten Bevölkerung .....	57
6.2.2.1	Definition des Versorgungsgrades .....	57
6.2.2.2	Stichprobenauswahl .....	57
6.3	Zusammenfassung.....	60
<b>7</b>	<b>Bestimmung alternativer Messorte .....</b>	<b>61</b>
7.1	Auswahl alternativer Messorte .....	61
7.2	Zusammenfassung.....	63
<b>8</b>	<b>Zeitliche Koordination der Messungen .....</b>	<b>64</b>
8.1	Dauer ein Einzelmessung .....	64
8.1.1	Vorschlag 1: Messdauer von $200\lambda$ .....	65
8.1.2	Vorschlag 2: Simulation der notwendigen Messdauer .....	65
8.1.3	Vorschlag 3: Dynamischer Abbruch nach Konvergenz .....	65
8.2	Abstand aufeinanderfolgender Messungen.....	65
8.3	Auswahl der Tageszeit .....	67
8.3.1	Bereitstellung der Systemlast Kurven.....	67
8.3.2	Festlegung des Messzeitraums.....	68
8.3.2.1	Option 1: Individuelle Systemlast Kurven.....	68
8.3.2.2	Option 2: Kombinierte Systemlast Kurve.....	68
8.3.2.3	Option 3: Gleiche absolute Lastvoraussetzung für alle Betreiber ....	68
8.4	Zusammenfassung: Messdauer, Anzahl der Einzelmessungen und Messzeitraum .....	70
<b>9</b>	<b>Vom Operator bereitzustellende Netzwerk Parameter .....</b>	<b>71</b>
9.1	Von der Telekom-Control-Kommission geforderte Unterlagen .....	71
9.2	Weitere Daten .....	71
<b>10</b>	<b>Zusammenfassender Überblick .....</b>	<b>72</b>
<b>11</b>	<b>Anhang 1: Gewichtete Stichproben Auswahl .....</b>	<b>74</b>
11.1.1	Gewichtete Auswahl bezüglich der zu erwartenden Dämpfung.....	74

---

11.1.1.1 Gewichtung hinsichtlich des Abstandes zwischen vorbestimmten Messort und nächster Basisstation.....	74
11.1.1.2 Gewichtung hinsichtlich der Geländebeschaffenheit.....	75
11.1.2 Gewichtete Auswahl bezüglich der durchschnittlichen Systemlast.....	77
<b>12 Literaturverzeichnis .....</b>	<b>78</b>

## Abkürzungsverzeichnis

AM	Acknowledged Mode
AP	Arbeitspaket
ARQ	Automatic Repeat Request
BER	Bit Fehlerrate
BLER	Block Fehlerrate
CDMA	Code Division Multiple Access
CN	Core Network
CRC	Cyclic Redundancy Check
CS	Circuit Switched
FDMA	Frequency Division Multiple Access
DCH	Dedicated Channel
DTCH	Dedicated Traffic Channel
MAC	Medium Access Control Layer
P-CPICH	Primary- Common Pilot Channel
PHY	Physical Layer
PS	Packet Switched
PSTN	Public Switched Telephon Network
QoS	Quality of Service
RAB	Radio Träger Dienst
RLC	Radio Link Control Layer
SDU	Service Data Unit
SF	Spreizfaktor
SIR	Signal-zu-Interferenz Leistung
TBS	Transport Block Set
TBSS	Transport Block Set Size
TDMA	Time Division Multiple Access
TTI	Transport Time Interval
UMTS	Universal Mobile Telecommunication Standard
UTRAN	UMTS Radio Access Network
WCDMA	Wideband CDMA

# 1 Zielsetzung und Überblick

## 1.1 Ziel der Studie

Mit dem Erwerb einer UMTS Lizenz haben sich die Konzessionsinhaber in Österreich verpflichtet, ihr Netz so aufzubauen, dass

- spätestens am 31.12.2003 ein Versorgungsgrad von 25%, und
- spätestens am 31.12.2005 ein Versorgungsgrad von 50%

erreicht sein wird.

Die Rundfunk- und Telekom Regulierungs GmbH (RTR-GmbH) ist für die Überprüfung des Versorgungsgrades zu den gegebenen Zeitpunkten verantwortlich. Die in diesem Projekt zu erstellende Studie soll

- den Begriff Versorgungsgrad genau definieren,
- zeigen, welche Methoden zur Bestimmung des Versorgungsgrades theoretisch und praktisch möglich sind,
- eine Bewertung der untersuchten Methoden enthalten.

## 1.2 Bedingungen

Als Versorgungsgrad wird der Anteil der mit UMTS versorgten Bevölkerung an der Gesamtbevölkerung des Landes Österreich bezeichnet. Als kleinste Einheiten versorgter, bzw. nicht versorgter Bevölkerungsteile dienen *Ortschaften* und, in den Landeshauptstädten, *Zählsprengele*. In diesem Dokument wird an den Stellen wo keine Unterscheidung zwischen Zählsprengele und Ortschaften benötigt wird der Oberbegriff *Bevölkerungseinheit* verwendet. Jeder der Konzessionsinhaber, muss zu den definierten Zeitpunkten der Telekom-Control-Kommission mitteilen, welche Bevölkerungseinheiten er mit UMTS Diensten versorgt. Zur Bestimmung der versorgten Bevölkerungseinheiten führt der Konzessionsinhaber Simulationen durch. Die Ergebnisse der Simulationen, sowie deren wesentliche Eingabeparameter müssen der Telekom-Control-Kommission spätestens zwei Monate nach den obengenannten Stichtagen vorgelegt werden.

Anhand von Messungen soll dann überprüft werden, ob die von den Konzessionsinhabern proklamierten Bevölkerungseinheiten tatsächlich ausreichend mit UMTS Diensten versorgt sind. Die RTR-GmbH, ist für die Festlegung einer einheitlichen Methode zur Überprüfung des Versorgungsgrades verantwortlich. Ziel dieser Studie ist die Ausarbeitung und Bewertung einer solchen Methode.

Die Menge aller von einem Operator genannten abgedeckten Bevölkerungseinheiten werden die abgedeckte Grundgesamtheit genannt. Da eine Überprüfung jeder einzelnen Bevölkerungseinheit der Grundgesamtheit (Vollerhebung) zu aufwendig wäre, wird aus der Grundgesamtheit eine Stichprobe erhoben. Nur die Bevölkerungseinheiten der Stichprobe werden tatsächlich hinsichtlich dem Merkmal UMTS-Versorgung überprüft. Aus dem ermittelten Versorgungsgrad der Stichprobe wird der Versorgungsgrad der Grundgesamtheit und des ganzen Landes geschätzt.



### 1.3 Zu untersuchende Fragestellungen

Eine Stichprobenerhebung liefert nur dann zuverlässige Resultate für die Grundgesamtheit, wenn die Stichprobe von repräsentativem Charakter ist, d.h. sie muss ein wahrheitsgetreues Abbild der Grundgesamtheit darstellen. Daraus ergibt sich die erste grosse Fragestellung der Studie:

**Frage 1:** *Wie lässt sich aus der abgedeckten Grundgesamtheit eine repräsentative Stichprobe bestimmen?*

Dieses Problem lässt sich im wesentlichen in folgende Teilfragen untergliedern:

**Frage 1.1:** *Wie viele Elemente (Bevölkerungseinheiten),  $s$ , muss die Stichprobe enthalten?*

**Frage 1.2:** *Nach welcher Methode sind diese  $s$  Elemente aus der Menge der insgesamt  $a$  Elemente der abgedeckten Grundgesamtheit auszuwählen?*

Laut Konzessionsurkunde sind die Messungen an einem *vorbestimmten Ort* durchzuführen. Für Zählsprenkel ist dieser der geometrische Schwerpunkt, für Ortschaften das Zentrum des Ortes. Falls dieser Ort jedoch schwer zugänglich ist (z.B. inmitten einer viel befahrenen Strassenkreuzung), oder sich in einer für die Funkausbreitung stark abgeschatteten Umgebung befindet (z.B. in einem engen, von Hochhäusern umgebenen Hof), sind alternative Messorte zu bestimmen. Daraus ergibt sich die zweite Fragestellung:

**Frage 2:** *Nach welchem Verfahren sollen im Falle eines ungünstig gelegenen vorbestimmten Messort alternative Messorte bestimmt werden?*

Grundsätzlich könnten die Stichproben derart ausgewählt werden, dass in ihr nur solche Bevölkerungseinheiten enthalten sind, deren vorbestimmter Messort günstig liegt. Dies wäre jedoch eine sehr starke Einschränkung, auf die wir uns in dieser Studie nicht festlegen wollen.

Als weiterer Schwerpunkt dieser Studie gilt die Untersuchung folgender Fragestellung:

**Frage 3:** *Wie kann an einem festgelegten Messort ermittelt werden, ob dieser mit UMTS versorgt?*

In diesem Zusammenhang ist zu untersuchen:

**Frage 3.1:** *Welche Qualitätsparameter können für die Bestimmung der UMTS Versorgung herangezogen werden?*

**Frage 3.2:** *Welche dieser Qualitätsparameter sind direkt messbar und welche können nur indirekt bestimmt werden?*

**Frage 3.3:** *Welcher UMTS Dienst soll als Referenz für die Bestimmung des Versorgungsgrades herangezogen werden?*

**Frage 3.4:** *Welche Mindestanforderungen bestehen für den definierten UMTS-Referenz-Dienst bezüglich der in Frage 3.1 definierten Parameter?*

**Frage 3.5:** *Welche Systemparameter üben wesentlichen Einfluss auf die zu bestimmenden Qualitätsparameter aus?*

**Frage 3.6:** *Welche dieser beeinflussenden Systemparameter sind stark zeitabhängig?*

**Frage 3.7:** *Wie muss die Zeitabhängigkeit der Messgrössen bei der Bestimmung des Versorgungsgrades, insbesondere bei der Festlegung der Messdauer und Messzeit, berücksichtigt werden?*

Nachdem die UMTS Versorgung jeder einzelnen Bevölkerungseinheit der Stichprobe ermittelt ist, gilt es schliesslich aus diesen Einzelergebnissen auf ein Gesamtergebnis zu schliessen. Hierzu muss folgende Frage geklärt werden:

**Frage 4:** *Wie wird aus dem bestimmten Versorgungsgrad der in der Stichprobe enthaltenen Bevölkerungseinheiten auf den Versorgungsgrad der Grundgesamtheit geschlossen?*

Die Klärung dieser Frage definiert also letztendlich ein Kriterium, anhand dessen entschieden werden kann, ob der Konzessionsinhaber, die an ihn gestellte Anforderung bezüglich UMTS Versorgungsgrad, erfüllt.

## 1.4 Dokument Übersicht

In Kapitel 2 werden sämtliche für UMTS relevante Qualitätsparameter aufgeführt. Die verschiedenen Qualitätsparameter entstammen der von 3GPP vorgeschlagenen QoS Architektur. Diese besteht aus hierarchisch gegliederten Ebenen. Auf jeder dieser Ebenen kann die Dienstqualität durch einen entsprechenden Satz von Qualitätsparametern bestimmt werden. Die oberste Ebene bildet die Qualität des End-to-End Dienstes, die unterste Ebene die Qualität des physikalischen Signals in der Luftschnittstelle.

Prinzipiell könnten alle Parameter der UMTS QoS Architektur zur Bestimmung der UMTS Versorgung an einem gegebenen Ort herangezogen werden. In Kapitel 3 wird beschrieben, wie die unterschiedlichen Qualitätsparameter ermittelt werden können. Dabei wird sich herausstellen, dass die messtechnische Ermittlung einiger der aufgeführten QoS Parameter nur mit sehr hohem Aufwand durchführbar ist. Am Ende des Kapitels werden Verfahren zur Messung von QoS Parametern vorgeschlagen, die mit moderatem Aufwand durchführbar sind und für die entsprechende Messvorrichtungen existieren.

Gegenstand des Kapitels 4 ist die Spezifikation von Minimalanforderungen an die zuvor beschriebenen QoS Parameter. Durch den Vergleich des gemessenen Wertes des QoS Parameters mit der entsprechenden Minimalanforderungen wird letztendlich entschieden, ob ein gegebener Messort mit UMTS in ausreichendem Mass versorgt wird oder nicht.

In Kapitel 5 werden Systemparameter beschrieben, die wesentlichen Einfluss auf den zu ermittelnden Messwert ausüben. Der qualitative und quantitative Einfluss dieser Parameter, ist für die Bestimmung der im vorigen Kapitel beschriebenen Minimalanforderungen von Bedeutung und beeinflusst ausserdem die zeitliche Koordination der Messung, die in Kapitel 8 behandelt wird. Unter den Begriff zeitliche Koordination fallen die Spezifikation der Messdauer (einer Einzelmessung), der Messzeit innerhalb des Tages, und die Frage nach der Anzahl der Einzelmessungen an einem gegebenen Messort.

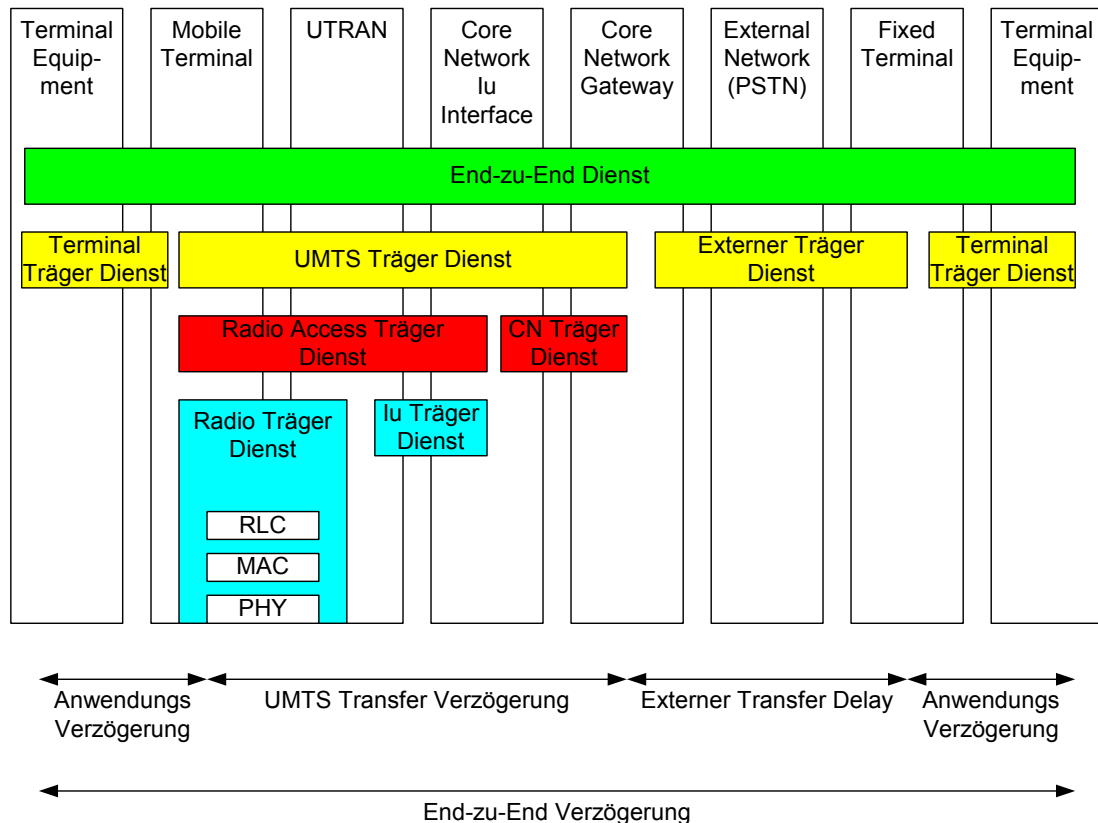
In den Kapiteln 2 bis 5 wird beschrieben, wie die UMTS-Versorgung einer einzelnen Bevölkerungseinheit bestimmt werden kann. Gegenstand des Kapitels 6 ist hingegen die Frage wie aus der UMTS-Versorgung einzelner, nachgemessener Bevölkerungseinheiten auf den Gesamt-Versorgungsgrad geschlossen werden kann. Es werden verschiedene mögliche Definitionen für den Versorgungsgrad und die entsprechende Auswahl von Stichproben vorgestellt.

Die vorbestimmten Messorte sind für Zählsprenkel der geographische Flächenschwerpunkt und für Ortschaften die entsprechenden Ortszentren. Für den Fall, dass diese vorbestimmten Messorte unzugänglich sind, wird in Kapitel 7 eine Methode zur Bestimmung alternativer Messorte vorgestellt.

In Kapitel 9 sind die Daten zusammengefasst, die von den Operatoren der Telekom-Control-Kommission bereitgestellt werden müssen. Die Bereitstellung dieser Daten ist grösstenteils bereits in der Konzessionsurkunde gefordert.

## 2 UMTS Qualitätsparameter

In einem zellularen Mobilfunknetz gilt ein gegebener Ort als versorgt, wenn dort die Qualität des bereitgestellten Dienstes den jeweiligen Anforderungen genügt. Die hierarchische Struktur der für UMTS relevanten Dienste ist in Bild 1 dargestellt. Jeder Dienst einer höheren Ebene greift auf eine Menge von Diensten unterliegender Ebenen zu. Der UMTS Träger Dienst setzt sich aus dem Radio Access Träger Dienst und dem Core Netzwerk Trägerdienst zusammen. Der Radio Access Träger Dienst wiederum besteht aus dem Radio Träger Dienst und dem Iu Träger Dienst (mit Iu wird die Schnittstelle zwischen Core Netzwerk und Radio Netzwerk bezeichnet).



**Bild 1 : Architektur der UMTS Träger Dienste im Fall einer Verbindung zwischen einem Mobiltelefon und einem festen Telefonanschluss**

Grundsätzlich kann die Qualität einer UMTS Datenverbindung aus folgenden Sichtweisen betrachtet werden:

- Die Qualität, die der Benutzer erwartet
- Die Qualität, die eine bestimmte Anwendung benötigt
- Die Qualität, die der UMTS Träger Dienst bereitstellt
- Die Qualität, die von den Diensten ausserhalb UMTS bereitgestellt werden (Terminal Träger Dienste und Träger Dienste externer Netze).

Der Benutzer, bzw. die Anwendung, stellen bestimmte Anforderungen, die der entsprechende Dienst bereit stellen muss. Da in dieser Studie der UMTS Träger Dienst, bzw. die darunter liegenden Dienste von primärer Bedeutung sind, werden im Folgenden die ausserhalb UMTS liegenden Dienste nicht weiter berücksichtigt.

## 2.1 UMTS Trägerdienste

Im Vergleich zu Mobilfunksystemen der zweiten Generation bietet UMTS eine Vielzahl unterschiedlicher Dienste um den Anforderungen einer Vielzahl unterschiedlicher Applikationen gerecht zu werden. Dem Anwender bzw. der Anwendung eines UMTS Trägerdienstes bietet sich die Möglichkeit beim Aufbau des Trägerdienstes eine geforderte Qualität des Trägerdienstes (QoS: Quality of Service) festzulegen. Dieses QoS-Profil kann auch während einer laufenden Verbindung zwischen Netzwerk und Anwender neu verhandelt werden.

Das QoS-Profil wird durch QoS Klassen und QoS Parameter definiert. Jedem ausserhalb des UMTS Protokolls erzeugten Datenfluss wird zunächst eine QoS-Klasse zugeteilt. Jeder QoS-Klasse wird ein Set von QoS-Parametern zugeordnet, deren Werte so zu konfigurieren sind, dass der Anwender, bzw. die Anwendung mit ausreichender Qualität bedient wird.

### 2.1.1 UMTS QoS Klassen

Die Qualität der UMTS Trägerdienste wird in vier verschiedene Klassen unterteilt, die sich insbesondere hinsichtlich ihrer maximalen Verzögerungszeiten unterscheiden. Die QoS Klasse beschreibt den Typ der Anwendung, die den UMTS Träger benutzt.

- **Conversational Class:** Diese Klasse wird für bidirektionale echt-zeit Kommunikation zwischen zwei oder mehreren (menschlichen) Teilnehmern benötigt. Die Anforderungen an Dienste dieser Klasse sind durch die menschliche Wahrnehmung von Sprache und Bild gegeben. Garantiert werden muss:

- eine sehr geringe Laufzeitverzögerung
- der Erhalt der zeitlichen Beziehung der Kommunikation innerhalb des gesamten Kommunikationssystems.

Anwendungen, die diese Klasse benutzen sind z.B. konventionelle Sprachübertragung, VoIP oder Video-Konferenz-Schaltungen.

- **Streaming Class:** Diese Klasse wird für unidirektionale echt-zeit Kommunikation mit einem menschlichen Empfänger benötigt. Garantiert werden muss:

- der Erhalt der zeitlichen Beziehung der Kommunikation innerhalb des gesamten Kommunikationssystems.

Da die Kommunikation nur in eine Richtung abläuft, ist die Laufzeitverzögerung für Anwendungen, die diese Klasse benutzen weniger kritisch. Sie muss nur gering genug sein, dass der Empfänger die zeitliche Ordnung des Kommunikationssystems aufrechterhalten kann. Anwendungen, die diese Klasse benutzen sind z.B. der Empfang von Videofilmen oder Sprache.

- **Interactive Class:** Diese Klasse wird für interaktive Kommunikation benötigt. Dabei sendet in der Regel ein Kommunikationsknoten, A, eine Nachricht an einen Server, S, der daraufhin die angeforderten Daten an A übermittelt. Der anfragende Kommunikationsknoten kann entweder ein Mensch (web browsing) oder eine Maschine (eine Maschine fordert von einer anderen Messdaten an) sein. Garantiert werden muss,

- dass die Zeit zwischen Anfrage und Erhalt der Daten einen bestimmten Maximalwert nicht überschreitet.
- dass die Daten weitgehend fehlerfrei übermittelt werden.

- **Background Class:** Diese Klasse wird benötigt wenn ein Computer im Hintergrund Daten sendet oder empfängt. In diesem Fall

- erwartet der Empfänger in der Regel nicht die Übermittlung der Daten innerhalb einer vorgegebenen Zeit,
- sollten die Daten weitgehend fehlerfrei übermittelt werden.

Anwendungen dieser Klasse sind z.B. e-mail und SMS.

### 2.1.2 UMTS QoS Parameter

- **Maximale Bit Rate:** Maximale Anzahl der Bits, die während einer bestimmten Zeit vom UMTS Träger übermittelt werden.
- **Garantierte Bit Rate:** Anzahl der Bits, die während einer bestimmten Zeit vom UMTS Träger auf jeden Fall übermittelt werden (vorausgesetzt es sind zu übertragende Daten vorhanden).
- **Übertragungsordnung:** Dieser Parameter gibt an, ob der UMTS Träger die Daten unter Aufrechterhaltung ihrer zeitlichen Reihenfolge überträgt.
- **Maximale SDU Grösse:** SDU (Service Data Unit) werden die Daten Pakete genannt, die von den höheren Protokollschichten an die UMTS Trägerdienste, bzw. von den Trägerdiensten an die höheren Protokollschichten übermittelt werden. Dieser Parameter gibt die maximale Grösse dieser Pakete an.
- **SDU Format Indikator:** Dieser Parameter beschreibt alle möglichen SDU Grössen.
- **SDU Fehlerrate (BLER):** Gibt den Anteil der fehlerhaften oder verloren gegangenen SDUs an.
- **Rest Bit Fehlerwahrscheinlichkeit (BER):** Gibt den Anteil der nicht erkannten fehlerhaften Bits in den SDUs an.
- **Übertragung von fehlerhaften SDUs:** Dieser Parameter gibt an ob SDUs, die als fehlerhaft erkannt wurden an die höheren Protokollschichten übertragen werden oder nicht.
- **Übertragungsverzögerung:** Dieser Parameter gibt die Dauer an, innerhalb derer 95% aller SDUs während dem Bestand eines UMTS Trägerdienstes übertragen wurden. Diese Dauer bezieht sich auf die Zeit zwischen der Anfrage zur Übertragung einer SDU auf der einen Seite und dem Empfang der SDU auf der anderen Seite.
- **Priorität der zu übertragenden Daten:** Dieser Parameter gibt die Wichtigkeit der auf einem bestimmten Träger zu übermittelnden Daten im Vergleich zu den Daten auf anderen Trägern an.
- **Zuteilungs- und Aufrechterhaltungspriorität:** Dieser Parameter gibt die Wichtigkeit der Zuteilung und Aufrechterhaltung eines bestimmten UMTS Trägers im Vergleich zu anderen Trägern an.

Tabelle 1 beschreibt die Zuordnung der einzelnen QoS Parameter zu den verschiedenen QoS Klassen.

QoS class	Conversational	Streaming	Interactive	Background
Maximale Bit Rate	x	x	x	x
Garantierte Bit Rate	x	x		
Übertragungsordnung	x	x	x	x
Maximale SDU Grösse	x	x	x	x
SDU Format Indikator	x	x		
SDU Fehlerrate	x	x	x	x
Rest Bit Fehlerwahrscheinlichkeit	x	x	x	x
Übertragung fehlerhafter SDUs	x	x	x	x
Übertragungsverzögerung	x	x		
Priorität der zu übertragenden Daten			x	
Zuteilungs- und Aufrechterhaltungspriorität	x	x	x	x

**Tabelle 1: Bedeutung der QoS Parameter für die verschiedenen QoS Klassen**

## 2.2 Radio-Access Träger Dienste

Die in Unterkapitel 2.1 beschriebenen UMTS Träger Dienste greifen ihrerseits auf die Radio-Access Träger Dienste und die Core-Network (CN) Träger Dienste zu. Das CN ist nicht Gegenstand dieser Studie und wird deshalb nicht weiter behandelt. Was die Radio-Access Träger Dienste angeht, so werden hier prinzipiell die selben QoS-Klassen und QoS-Parameter wie bei den UMTS Träger Diensten verwendet (siehe Unterkapitel 2.1). Jedoch sind die Werte der Parameter wie z.B. SDU-Grösse, maximale- und garantierte Bit Rate, auf dieser Ebene entsprechend anzupassen.

## 2.3 Radio Träger Dienste

Die in Unterkapitel 2.2 beschriebenen Radio-Access Träger Dienste greifen ihrerseits auf die Radio Träger Dienste und die Iu Träger Dienste zu. Mit Iu wird die Schnittstelle zwischen UTRAN (UMTS Terrestrial Access Network) und CN bezeichnet. Diese Schnittstelle ist nicht Gegenstand dieser Studie und wird deshalb nicht weiter behandelt. Was die Radio Träger Dienste angeht, so werden hier prinzipiell die selben QoS-Klassen und QoS-Parameter wie bei den UMTS Träger Diensten verwendet (siehe Unterkapitel 2.1). Jedoch sind die Werte der Parameter wie z.B. SDU-Grösse, maximale- und garantierte Bit Rate, auf dieser Ebene entsprechend anzupassen.

Ein durch das QoS Profil definierter Radio Träger Dienst bestimmt die Funktionalität der UTRAN Protokollschichten RLC (Radio Link Control), MAC (Medium Access Control) und PHY (Physical Layer). Die Träger, die

- von der MAC Schicht der RLC Schicht bereit gestellt werden, heissen *Logische Kanäle*.
- von der physikalischen Schicht dem MAC Protokoll bereit gestellt werden, heissen *Transport Kanäle*.
- tatsächlich über die Luftschnittstelle übertragen werden, heissen *Physikalische Kanäle*.

In den folgenden Abschnitten werden die QoS Parameter auf den Transport- und physikalischen Kanälen beschrieben. Die Qualitätsanalyse der logischen Kanäle ist nicht üblich und wird deshalb hier nicht weiter beschrieben.

## 2.4 QoS auf den Transport Kanälen

Das Format von Transport Kanälen legt die Konfiguration der Datenübertragung in der Physikalischen Schicht fest. Es wird durch folgende Parameter definiert:

- **Transport Block Grösse** (TBS: Transport Block Size): Bestimmt die feste Länge der Daten Pakete (in Bit), die zwischen MAC und PHY ausgetauscht werden.
- **Transport Block Set Grösse** (TBSS: Transport Block Set Size). Ein Transport Block Set enthält einen oder mehrere Transport Blöcke. TBSS definiert die Anzahl der Blöcke pro Set.
- **Übertragungszeit Intervall** (TTI: Transmission Time Interval). Dieser Parameter bestimmt in welchen zeitlichen Abständen Transport Block Sets ausgetauscht werden. Mögliche TTI Werte sind 10, 20, 40 oder 80ms.
- **Fehlerkorrektur Schema**: Dieses Schema definiert den Codierungstyp (Faltungscodierung oder Turbo Code), die Codier Rate (1, 1/2 oder 1/3) und den Rate



Matching Parameter (zur Anpassung der Informationsbit Rate an die Kanalbit Rate)

- **Grösse des CRC** (Cyclic Redundancy Check) zur Erkennung fehlerhafter Transportblöcke.

Das Transportkanal Format wird in Abhängigkeit vom QoS-Profil des Radio Träger Dienstes ausgewählt. Zum Beispiel muss für einen Radio Träger Dienst der QoS-Klasse *Conversational* (etwa für eine Video-Konferenz-Schaltung) zur Gewährleistung einer minimalen Laufzeitverzögerung das TTI klein gewählt werden. Da die Anwendung ausserdem eine sehr zuverlässige Datenübertragung beansprucht, ARQ jedoch nicht angewandt werden kann, muss ein leistungsfähiges Fehlerkorrektur Schema (Rate 1/3) gewählt werden.

Die Qualität eines empfangenen Transportkanals wird anhand folgender QoS-Parameter bestimmt:

- **Block Fehlerrate (BLER)**: Gibt den Anteil der fehlerhaften Blöcke auf dem Transportkanal an (erkannte und nicht erkannte Blöcke).
- **Bit Fehlerrate (BER)**: Gibt den Anteil der fehlerhaften Bits auf dem Transportkanal an (erkannte und nicht erkannte Blöcke).
- **Erkannte Block Fehlerrate**: Gibt den Anteil der, durch die Auswertung des CRC erkannten, fehlerhaften Blöcke an.

Das QoS-Profil des Radio Träger Dienstes bestimmt neben dem Format des Transportkanals auch die Mindestanforderung an diese Transportkanal QoS Parameter.

## 2.5 QoS auf den Physikalischen Kanälen

Physikalische Kanäle lassen sich einteilen in solche,

- die als Träger von Transportkanälen dienen (Nutzdaten Kanäle),
- die in der physikalischen Schicht entspringen und enden. Diese Kanäle, z.B. der Pilot Kanal, werden zur Kontrolle und Konfiguration des PHY eingesetzt (Kontroll Kanäle).

Im Gegensatz zu physikalischen Kanälen, die zur Übertragung von Nutzdaten verwendet werden, sendet die Basisstation bestimmte Kontroll Kanäle ununterbrochen. Die Qualität der physikalischen Kanäle kann bezüglich des gespreizten (Unterkapitel 2.5.2) oder ungespreizten Signals (Unterkapitel 2.5.3) bestimmt werden. Die Spreizung in CDMA Systemen wird im folgenden Unterkapitel kurz umrissen.

### 2.5.1 Gespreiztes CDMA Signal

In UMTS senden alle aktiven Teilnehmer zur gleichen Zeit auf der gleichen Frequenz. Dennoch ist der Empfänger in der Lage das für ihn bestimmte Signal aus dem empfangenen Summensignal zu extrahieren. Dies wird ermöglicht durch eine Multiplikation der zu sendenden Bits mit einem teilnehmerspezifischen Spreizcode (CDMA: Code Division Multiple Access). Nach der Spreizung wird jedes einzelne Bit durch eine Sequenz von  $SF$  chips repräsentiert. Die relativ schmalbandige Bitfolge wird so in ein breitbandiges Signal aufgespreizt.  $SF$  ist der Spreizfaktor und gibt das Verhältnis zwischen Chiprate  $W$  und Kanal-Bitrate  $R_C$  an<sup>1</sup>:  $SF = W / R_C$ .

Aufgrund der Korrelationseigenschaften der für die Spreizung verwendeten Codes, ist der Empfänger in der Lage, das für ihn bestimmte Signal zu entspreizen. Dadurch wird die Energie des für ihn bestimmten Signals auf ein schmales Frequenzband konzentriert, während die Energie aller anderen Signale, der sogenannten Interferenzsignale, auf ein breites Spektrum verteilt bleibt.

### 2.5.2 Der Qualitätsparameter $E_C/I_0$

Für Kontroll- und Nutzdatenkanäle kann die Verbindungsqualität mit Hilfe des Parameters  $E_C/I_0$  beschrieben werden.  $E_C = p_{rx} / W$  bezeichnet die empfangene Energie eines Chips,  $p_{rx}$  ist die empfangene Leistung des gewünschten Signals und  $I_0$  ist die spektrale Leistungsdichte des gesamten gespreizten Empfangssignals.

$$\frac{E_C}{I_0} = \frac{p_{rx}}{I_{in} + I_{out} + P_N}, \quad (1)$$

mit

- $I_{in}$ , der Leistung des empfangenen Interferenzsignals aller Teilnehmern der eigenen Zelle (Intrazell-Interferenz),
- $I_{out}$ , der Leistung des empfangenen Interferenzsignals aller Teilnehmern der umliegenden Zellen (Interzell-Interferenz) und
- $P_N$  der gesamten Rauschleistung.

Eine hohe Systemlast bedingt einen hohen Gesamtinterferenzanteil ( $I_{in} + I_{out}$ ) und somit ein geringes  $E_C/I_0$ . Ein zu geringes  $E_C/I_0$  führt jedoch zu einer nicht akzeptablen

<sup>1</sup> Die Kanal Bitrate bezieht sich auf die Bitfolge nach der Codierung und Ratenanpassung in der physikalischen Schicht, ist also grösser als die Bitrate  $R$  auf dem Transportkanal

Fehlerrate nach der Decodierung und dadurch zu unzureichender QoS. Bei gegebener Systemlast kann das  $E_c/I_0$  dann durch eine Erhöhung der Sendeleistung des Nutzsignals auf den geforderten Wert erzielt werden. Jedoch ist dies nur solange möglich, bis die maximale Sendeleistung erreicht ist. Für eine gegebene Systemlast und eine gegebene Sendeleistung ist das  $E_c/I_0$  - und somit die QoS – umso höher, je kleiner die Gesamtdämpfung  $L$ , (je kleiner der Abstand zwischen Sender und Empfänger) ist. Geht man von einem geforderten  $E_c/I_0$  aus, so kann dieses dann erreicht werden, wenn entweder

- der Abstand zwischen Sender und Empfänger, oder
- die Systemlast

klein genug ist.

### 2.5.3 Der Qualitätsparameter $E_b/N_0$

Die Qualität auf den Nutzdatenkanälen wird auch durch den Parameter  $E_b/N_0$  beschrieben. Mit  $E_b = p_{rx}/R$  wird hier die Energie pro empfangenem Informationsbit und mit  $N_0$  die spektrale Leistungsdichte des Rauschens und der Interferenz nach der Entspreizung bezeichnet.

Im Uplink hängen  $E_b/N_0$  und  $E_c/I_0$  wie folgt zusammen:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{E_c}{I_0} \cdot \frac{W}{R}, \quad (2)$$

wobei  $W$  die Chiprate nach der Spreizung und  $R$  die Datenrate des Transportkanals bezeichnet. Der Term  $W/R$  wird auch Systemgewinn genannt.

Im Downlink wird aufgrund der Orthogonalität der verwendeten Spreizcodes im Empfänger ein Teil der Intrazell-Interferenz eliminiert. Der Anteil der so eliminierbaren Intrazell-Interferenz wird durch den Orthogonalitätsfaktor  $\alpha$  bestimmt. Im Fall  $\alpha=1$  ist im Empfänger die Orthogonalität der Spreizcodes vollkommen erhalten, die gesamte Intrazell-Interferenz kann eliminiert werden. Aufgrund der Mehrpfadeausbreitung kann jedoch im Empfänger die Orthogonalität der Signale zerstört sein. Dann tendiert  $\alpha$  gegen Null und nur ein geringer Teil der Intrazell-Interferenz wird bei der Entspreizung eliminiert. Es gilt:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{W}{R} \cdot \frac{p_{rx}}{I_{in}(1-\alpha) + I_{out} + P_N} = \frac{W}{R} \cdot \frac{E_c}{I_0} \cdot \frac{I_0}{I_{in}(1-\alpha) + I_{out} + P_N} = \frac{W}{R} \cdot \frac{E_c}{I_0} \cdot \frac{I_0}{I'_0}. \quad (3)$$

Zur Vereinfachung dieser Formel führt man den durch die Systemauslastung bestimmten *Noise Rise* ( $NR$ ) ([6]) ein:

$$NR = \frac{I'_0}{P_N} = \frac{1}{1 - \eta_{DL}}. \quad (4)$$

Der Parameter  $\eta_{DL}$  wird Downlink Lastfaktor genannt. Er gibt das Verhältnis zwischen Interferenz nach der Entspreizung zur gesamten Störleistung nach der Entspreizung an:

$$\eta_{DL} = \frac{I_{in}(1-\alpha) + I_{out}}{I'_0}. \quad (5)$$

Bezeichnet man das mittlere Verhältnis zwischen Interzell- zu Intrazell-Interferenzverhältnis mit  $i_Z = I_{out}/I_{in}$ , dann folgt aus (5):

$$I_{in} = \frac{\eta_{DL} \cdot I'_0}{1 - \alpha + i_Z}. \quad (6)$$

Damit vereinfacht sich (3) zu:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{W}{R} \cdot \frac{E_c}{I_0} \cdot \frac{I'_0 + \alpha \cdot I_{in}}{I'_0} = \frac{W}{R} \cdot \frac{E_c}{I_0} \cdot \frac{I'_0 + \alpha \cdot I_{in}}{I'_0} = \frac{W}{R} \cdot \frac{E_c}{I_0} \cdot \left( 1 + \frac{\alpha \cdot \eta_{DL}}{1 - \alpha + i_Z} \right) \quad (7)$$

Der Faktor

$$1 + \frac{\alpha \cdot \eta_{DL}}{1 - \alpha + i_Z} \quad (8)$$

wird im Folgenden auch *Last-Orthogonalitäts-Term* genannt.

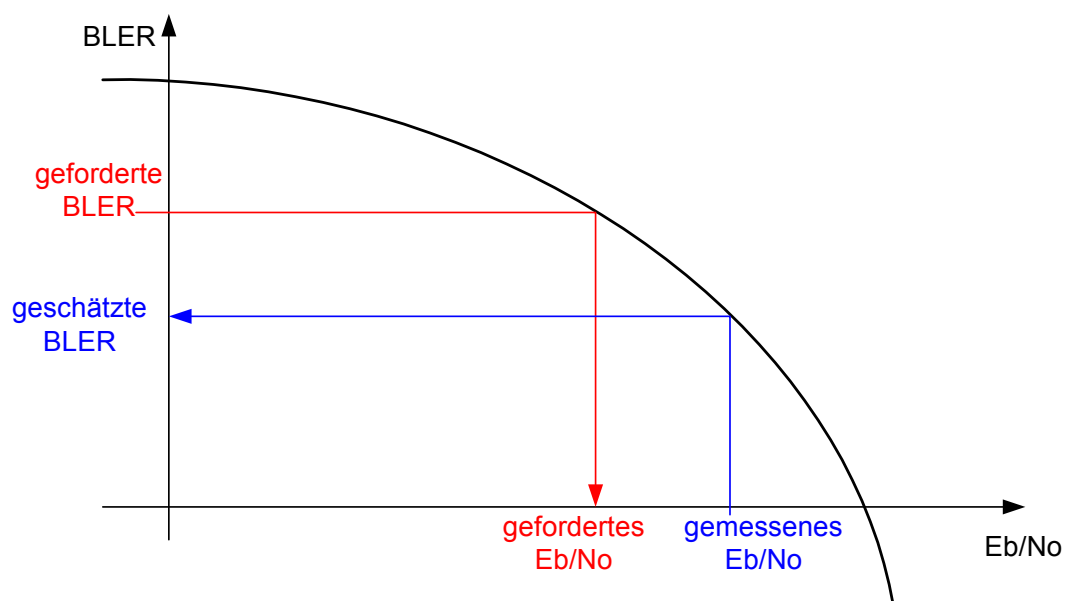
Von praktischer Bedeutung ist der in Formel (7) angegebene Zusammenhang zwischen den Qualitätsparameter  $E_b/N_0$  und  $E_c/I_0$  aufgrund der Tatsache, dass einerseits das  $E_c/I_0$ -Verhältnis relativ einfach gemessen werden kann, andererseits

jedoch der Wert des  $E_b/N_0$  mehr Information bezüglich der oben beschriebenen QoS Parameter bietet. Zur Transformation des Qualitätsparameters  $E_b/N_0$  in den Qualitätsparameter Blockfehlerrate oder Bitfehlerrate auf dem Transportkanal werden sogenannte Fehlerraten Kurven herangezogen (siehe Bild 2). Mit Hilfe solcher Kurven, kann aus einer aus dem QoS-Profil des Radio Trägers abgeleiteten Fehlerrate das geforderte  $E_b/N_0$  und, mit Hilfe der oben angegebenen Formeln, das entsprechende  $E_c/I_0$  bestimmt werden. Umgekehrt, kann aus einem gemessenen  $E_c/I_0$  die zugehörige Fehlerrate auf dem Transportkanal geschätzt werden. Fehlerraten Kurven werden meist durch eine detaillierte Simulation des PHY ermittelt. Sie hängen u.a. ab von:

- dem gewählten Transportformat,
- den Eigenschaften des physikalischen Übertragungsmediums (Abschattung, Doppler, Dämpfung, Mehrwege Ausbreitung,...)
- den eingesetzten Algorithmen zur Decodierung, Synchronisation, Kanalschätzung, ...).

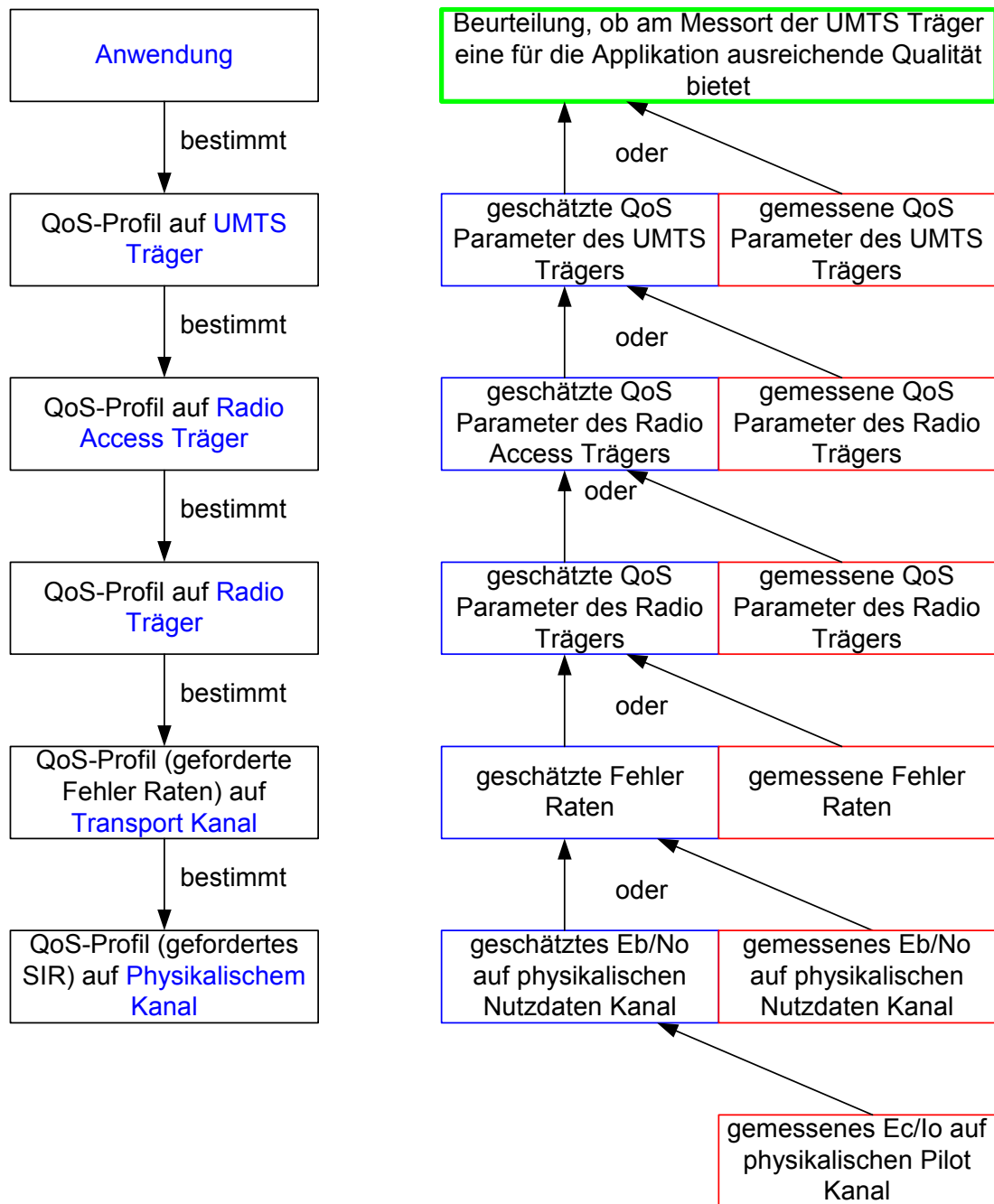
Die Genauigkeit der hier vorgestellten Schätzung der Fehlerrate auf dem Transportkanal hängt davon ab,

- wie stark das in der Simulation bestimmte Verhältnis zwischen Fehlerrate und  $E_b/N_0$  der Wirklichkeit entspricht,
- im Fall des Downlinks: wie genau die gewählten Werte für  $\alpha$ ,  $i_z$  und  $n_{DL}$  der Wirklichkeit entsprechen.



**Bild 2: Block Fehlerrate (BLER) in Abhängigkeit vom empfangenen SIR**

## 2.6 QoS Parameter: Übersicht und Zusammenfassung



**Bild 3: Transformation des geforderten QoS-Profiles (links) und Bestimmung der QoS Parameter auf den verschiedenen Ebenen**

Aufgabe der vorliegende Studie ist die Definition einer Methode zur Ermittlung des Versorgungsgrades bestehender UMTS Netzwerke. Zur Beurteilung, ob eine Bevölkerungseinheit als versorgt gilt, wird an einem festen Ort die Qualität eines empfangenen Dienstes gemessen und mit einer minimalen Anforderung an den entsprechenden Qualitätsparameter verglichen. In diesem Kapitel wurden verschiedene Qualitätsparameter vorgestellt, die zur Überprüfung des Versorgungsgrades herangezogen werden können. Dabei wurde eine Einschränkung auf Qualitätsparameter im UMTS Netz vorgenommen, also bewusst eine Qualitätsbeurteilung auf End-to-End Basis ausgrenzt.

Die hierarchische Ordnung der relevanten Qualitätsparameter leitet sich aus dem in Bild 1 dargestellten UMTS QoS Modells ab. Wie im linken Teil von Bild 3 dargestellt ist, bestimmt das vom Anwender oder der Anwendung geforderte QoS-Profil die QoS-Anforderungen aller darunter liegenden Ebenen. Das QoS-Profil auf den Ebenen UMTS Träger, Radio Access Träger und Radio Träger wird in Form von QoS-Klassen und QoS-Parametern spezifiziert. Auf den Transport Kanälen interessieren im wesentlichen nur noch die Fehlerraten. Auf dem physikalischen Kanal können nur  $E_c/I_0$  und  $E_b/N_0$  als QoS-Parameter herangezogen werden.

Umgekehrt können, wie im rechten Abschnitt von Bild 3 dargestellt ist, aus der messtechnischen Ermittlung von Qualitätsparameters auf niederer Ebene, Rückschlüsse auf die entsprechenden Qualitätsparameter der darüber liegenden Ebenen gezogen werden.

Zur Diskussion steht grundsätzlich die QoS-Messung und Beurteilung auf den in Bild 4 dargestellten Ebenen:

QoS Parameter auf unterschiedlichen Ebenen	QoS auf Radio Träger Ebene	QoS auf Transport Kanal	QoS auf physalischem Kanal	
			Nutz Kanal	Pilot Kanal

**Bild 4: Mögliche Ebenen der QoS-Analyse**

Die verschiedenen Optionen der QoS-Bestimmung erfordern wesentlich verschiedene Messgeräte und Messprozesse, die sich stark in ihrer Komplexität unterscheiden. Die Messverfahren werden im folgenden Kapitel vorgestellt. Abhängig vom erforderlichen Aufwand dieser Verfahren, wird dann eine Bewertung der unterschiedlichen Optionen durchgeführt.

### 3 Verfahren zur Bestimmung der Qualitätsparameter

Im folgenden werden zwei Verfahren zur Bestimmung der Qualitätsparameter diskutiert:

- Überprüfung der Qualität des Primären Pilotkanals
- Überprüfung der QoS Parameter eines Referenz Trägerdienstes

Bei beiden Verfahren wird nur der Downlink überprüft, da sich ohne Zugriff auf Messdaten der Node B keine direkten Rückschlüsse auf den Uplink ziehen lassen. Mittels des in 3.2 beschriebene Verfahren kann insofern eine Aussage über die Existenz des Uplinks getroffen werden, als dass dieser sowohl bei Verbindungsaufbau wie auch bei der Datenübertragung benutzt wird. Über die erreichte Qualität kann aber auch mit diesem Verfahren keine Aussage gemacht werden.

#### 3.1 Überprüfung der Qualität des Primären Pilotkanals

In diesem Verfahren wird mit Hilfe eines WCDMA-Scanners das Vorhandensein und die Qualität des physikalischen Kanals Primary Common Pilot Channels (P-CPICH) gemessen. Ist dieser Kanal nicht oder nur in ungenügender Qualität vorhanden, kann ein UMTS Terminal keine Signalisierungsverbindung mit dem UTRAN aufbauen und in der Folge davon auch keine Trägerdienste etablieren. Somit kann anhand dieses Verfahrens ein rudimentärer Versorgungsnachweis erbracht werden.

Die Qualität des P-CPICH wird im Allgemeinen über die

- empfangene Energie pro Chip,  $E_c$ ,
- das Verhältnis von Energie pro Chip und der gesamten Interferenz Leistungsdichte am Eingang des Empfängers,  $E_c/I_0$ ,

bestimmt. Beide Grössen werden von den in Tabelle 2 genannten WCDMA-Scanner entweder direkt gemessen oder können aus den vorhandenen Messgrössen berechnet werden. Die entsprechenden Mindestanforderungen werden in Kapitel 4 behandelt.

Lieferant	DTI	Anritsu	Agilent	Rhode & Schwarz
Typenbezeichnung	UMTS WCDMA	ML8720B	E56455C IMT-2000	TS5K51C
$E_c/I_0$	Ja	Ja	Ja	Ja
RSCP	Rechnerisch	Ja	Ja	Ja
$E_b/N_0$	Rechnerisch	Rechnerisch	Rechnerisch	Rechnerisch

**Tabelle 2: WCDMA Scanner Modelle**

Dieses Verfahren gibt keinen direkten Aufschluss über die Verfügbarkeit von bestimmten Trägerdiensten. Wie in Abschnitt 2.5 ausgeführt, besteht allerdings die Möglichkeit, anhand des  $E_c/I_0$  des P-CPICH und der Sendeleistung eines Nutzdaten Kanals auf das  $E_b/N_0$  und somit auf die Qualitätsparameter des Nutzdaten Kanals Rückschlüsse zu ziehen.



### 3.2 Überprüfung der QoS Parameter eines Referenz Trägerdienstes

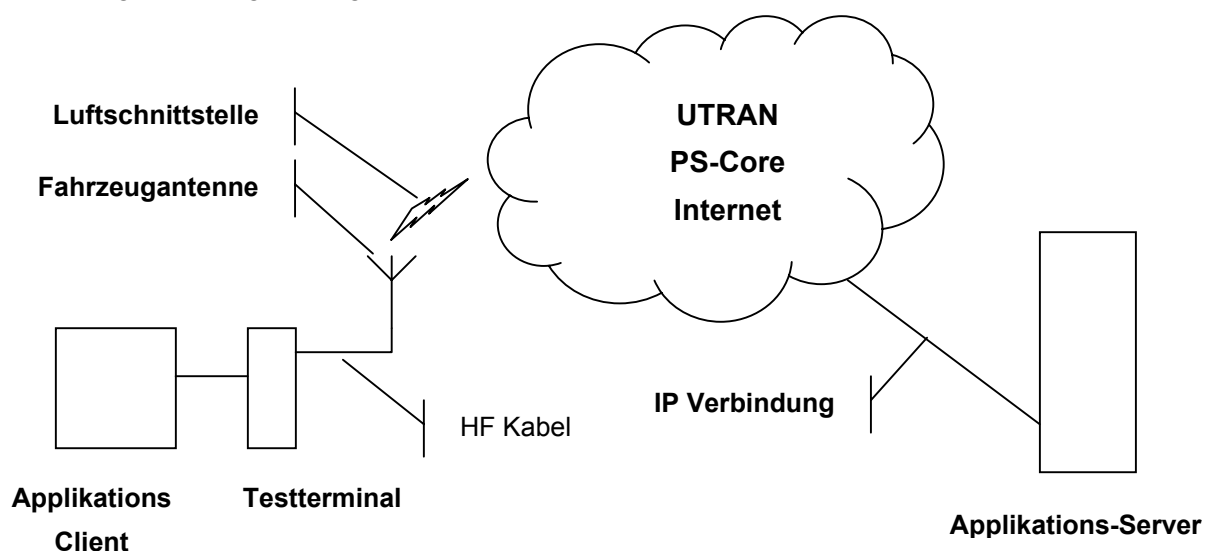
Um Zugriff auf die qualitätsrelevanten Grössen auf der RLC Schicht (also des Radio Träger Dienstes) und/oder dem Transportkanal zu haben, wird für dieses Verfahren ein UMTS Testterminal benötigt. Per Oktober 2002 stehen nach unserem Kenntnisstand folgende zwei Typen von UMTS Testterminals als Prototypen zur Verfügung:

- Motorola A830
- Qualcomm TM5200

Über die Verfügbarkeit von zuverlässigen Endversionen dieser Geräte kann keiner der beiden Hersteller zum heutigen Zeitpunkt eine verlässliche Aussage machen.

In diesem Verfahren wird mit dem Testterminal ein Referenzträgerdienst aufgebaut und genutzt. Dabei wird die tatsächlich erreichte Bitrate auf RLC Ebene oder, falls vom Terminal unterstützt, auf dem Transportkanal, sowie die Blockfehler Rate (BLER) auf dem Transportkanal ermittelt und mit den Mindestanforderungen verglichen. Die Mindestanforderungen, sowie das Format der Referenzträgerdienste werden in Kapitel 4 diskutiert.

Bild 5 zeigt den vorgeschlagenen Messaufbau.



**Bild 5: Messaufbau**

Die Aufgabe von Applikations-Server und -Client ist in erster Linie die Nutzdatenübertragung. Der Client hat zusätzlich die Aufgabe, die vom Testterminal gelieferten Messdaten aufzuzeichnen. Das Testterminal operiert als Modem mit den spezifizierten QoS Parametern für den Trägerdienst.

Voraussetzungen für diese Art von Messung sind:

- Es müssen Daten vom Applikations-Server zum -Client (und umgekehrt) übertragen werden (z.B. FTP Datei down/upload oder HTTP Browsing)
- Alle involvierten Netze und Transportmedien müssen mindestens den selben Datendurchsatz garantieren, wie vom Trägerdienst auf der UMTS Luftschnittstelle gefordert wird.

### 3.3 Antennenanordnungen

Gemäss [3] muss der Versorgungsgrad im Freien nachgewiesen werden. Soll die Messung innerhalb eines Fahrzeuges durchgeführt werden, muss die Antenne von Scanner oder Testterminal ausserhalb des Fahrzeuges, z.B. auf dem Fahrzeugdach montiert werden. Aus der Kombination von externer Aussenantenne und HF-Kabel zum Scanner/Terminal darf keine zusätzliche Dämpfung oder Gewinn entstehen. Im Falle der Messung mittels Terminal sollte die Kombination aus Aussenantenne und HF-Kabel denselben Gesamtgewinn wie die interne Terminalantenne aufweisen. In jedem Fall muss das tatsächliche Dämpfungsmass der Antennenanordnung zuvor in einem EMV-Labor messtechnisch überprüft werden und in den Rahmenbedingungen des Messverfahrens festgehalten werden. Gegenüber einer Messung über die interne Terminalantenne, wobei sich das Terminal nahe am Körper befindet (Kopf, Westentaschen, usw.), werden mit der vorgeschlagenen Anordnung tendenziell höhere Signalstärken gemessen.

### 3.4 QoS Messung: Zusammenfassung und Vorschlag

QoS Parameter auf unterschiedlichen Ebenen	QoS auf Radio Träger Ebene	QoS auf Transport Kanal	QoS auf physikalischem Kanal	
			Nutz Kanal	Pilot Kanal
Messeinrichtung	UMTS Testterminal + QoS Messtool	UMTS Testterminal		WCDMA Scanner

**Bild 6: Messgeräte für QoS Ermittlung auf verschiedenen Ebenen**

In Bild 6 ist zusammenfassend dargestellt, welche Messverfahren sich für die QoS-Ermittlung auf den zuvor diskutierten Ebenen eignen. Die Bestimmung des kompletten QoS-Profiles auf Radio Träger Ebene ist mit den heute bekannten Testterminals nicht möglich, sondern erfordert zusätzliche QoS-Messfunktionalitäten.

Das ständige Vorhandensein des Pilot Signals begründet seine Eignung für die Durchführung von Messungen. Dedizierte Nutzkanäle können nur zwischen Basisstation und entsprechenden Mobilgeräten aufgebaut werden. Zur Messung werden also spezielle Test-Mobilgeräte benötigt. Ausserdem müssen von den Operatoren zum Zeitpunkt der Messung bereits Applikationen unterstützt werden, die den entsprechenden Referenzträgerdienst benutzen.

Unter Berücksichtigung der voraussichtlich beschränkten Verfügbarkeit von geeigneten UMTS Testterminals und des Aufwands der beschriebenen Verfahren, schlagen wir vor, den Versorgungsgrad in einer ersten Phase mit der in Abschnitt 3.1 beschriebenen Methode zu bestimmen.

Zur Überprüfung des Versorgungsgrades bezüglich eines bestimmten Dienstes, kann zunächst das  $E_c/I_0$  auf dem Pilot Kanal gemessen werden. Aus diesem kann dann ein  $E_c/I_0$  auf einem Nutzdatenkanal berechnet werden – vorausgesetzt das Verhältnis zwischen der Sendeleistung des Pilot Kanals und des Nutzdaten Kanals ist bekannt. Danach wird das  $E_c/I_0$  des Nutzdaten Kanals auf das entsprechende  $E_b/N_0$  und dieses auf die Fehlerraten auf dem Transportkanal abgebildet. Allerdings kann durch die Messung des  $E_c/I_0$  auf dem Pilot Kanal nur die Downlink Versorgung bewertet werden. Die Anforderungen an die Parameter BLER,  $E_b/N_0$  und  $E_c/I_0$  die für die Annahme ausreichender Versorgung erfüllt sein müssen werden in Kapitel 4 hergeleitet.

In einer zweiten (späteren) Phase kann der Versorgungsgrad zusätzlich in Bezug auf QoS mittels des Verfahrens in Abschnitt 3.2 bestimmt werden. Die für dieses

Verfahren anzuwendenden Referenzträgerdienste, sowie die entsprechenden QoS Anforderungen werden in Kapitel 4 beschrieben.

Von einer messtechnischen Überprüfung des Uplinks sollte abgesehen werden, da diese, ohne den Netzbetreiber mit einzubeziehen, nicht durchgeführt werden kann. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Netzbetreiber in eigenem Interesse für ausgewogene Link Balance sorgen.

## 4 Mindestanforderungen an die zu bestimmenden Qualitätsparameter

### 4.1 QoS Anforderungen für End-to-End Dienste

Die Qualitätsparameter, die von einem bestimmten Träger Dienst bereitgestellt werden müssen, werden durch die den Träger benutzende Anwendung und den Nutzer selbst bestimmt. In Tabelle 3, Tabelle 4, Tabelle 5 und Tabelle 6 sind für die QoS Klassen Conversational, Streaming, Interaktive und Background die wichtigsten Qualitätsanforderungen definiert ([1]).

Medium	Anwendung	Richtung	Garantierte Bitrate	Übertragungsverzögerung	Informationsverlust
Audio	Sprachkommunikation	bi-direktional	4-25kbps	bevorzugt: <150ms	<3% BLER
Video	Videotelephon	bi-direktional	32-384kbps	bevorzugt: <150ms	< 1% BLER
Data	Telemetrie	bi-direktional	28.8kbps	< 250ms	Null
Data	Interaktive Spiele	bi-direktional	1 Kbyte/s	< 250ms	Null

**Tabelle 3: Beispiel Anwendungen für QoS Klasse Conversational**

Medium	Anwendung	Richtung	Garantierte Bitrate	Übertragungsverzögerung	Informationsverlust
Audio	Audio Streaming hoher Qualität	uni-direktional	32-128kbps	< 10 sec, jedoch < 1msec Laufzeitdifferenz	<1% BLER
Video	Video Streaming	uni-direktional	32-384kbps	< 10 sec, jedoch < 1msec Laufzeitdifferenz	< 1% BLER
Data	FTP File Transfer	uni-direktional	8-384kbps	< 10 sec	Null

**Tabelle 4: Beispiel Anwendungen für QoS Klasse Streaming**

Medium	Anwendung	Richtung	Garantierte Bitrate	Übertragungsverzögerung	Informationsverlust
Audio	Voice-messaging	hauptsächlich uni-direktional	4-13kbps	< 1 sec, jedoch < 1msec Laufzeitdifferenz	<3% BLER
Data	Web browsing HTML	hauptsächlich uni-direktional		< 4 sec pro Seite	Null
Data	E-mail (server access)	hauptsächlich uni-direktional		< 4 sec	Null

**Tabelle 5: Beispiel Anwendungen für QoS Klasse Interaktiv**

Medium	Anwendung	Richtung	Garantierte Bitrate	Übertragungsverzögerung	Informationsverlust
Data	e-mail (server to server)	hauptsächlich uni-direktional	N.A.	N.A.	Null
Data	Web browsing HTML	hauptsächlich uni-direktional	N.A.	N.A.	Null

**Tabelle 6: Beispiel Anwendungen für QoS Klasse Background**

## 4.2 QoS-Profil der UMTS Träger Dienste

Die das QoS-Profil bestimmenden Klassen und Parameter sind in Kapitel 2.1 beschrieben. Die Abbildung der durch die Anwendung gegebenen QoS-Anforderungen (Unterkapitel 4.1) auf die QoS-Klassen und QoS-Parameter der UMTS Trägerdienste, Radio Access Träger Dienste und Radio Träger Dienste ist nicht standardisiert und wird vom jeweiligen Operator, bzw. Hersteller bestimmt. In Tabelle 7 ist für die Beispielsanwendungen Sprachkommunikation, unidirektionales Videostreaming, Web page downloading und e-mail service jeweils ein Vorschlag für das entsprechende QoS-Profil auf dem UMTS Träger Dienst angegeben. Nach derzeitigem Stand werden die ersten UMTS Terminals den Trägerdienst von 128kbit/s unterstützen, nicht jedoch den in [3] geforderten 144kbit/s Trägerdienst. In der Tabelle sind deshalb für die entsprechenden Anwendungen beide Bitraten aufgeführt.

Anwendung	Voice Over IP	Video Streaming	Web page download	e-mail
QoS-Klasse	Conversational	Streaming	Interactive oder Background	Interactive oder Background
Maximale Bitrate UL	64 kbit/s	N.A.	128kbit/s oder 144 kbit/s	128kbit/s oder 144 kbit/s
Maximale Bitrate DL	64 kbit/s	128kbit/s oder 144 kbit/s	128kbit/s oder 144 kbit/s	128kbit/s oder 144 kbit/s
Garantierte Bitrate UL	36.4 kbit/s	N.A.	N.A.	N.A.
Garantierte Bitrate DL	36.4 kbit/s	128kbit/s oder 144 kbit/s	N.A.	N.A.
Übertragungsordnung	ja	ja	ja	ja
Maximale SDU Grösse	91 bytes	1500 bytes	1500 bytes	1500 bytes
Übertragung von fehlerhaften SDUs	nein	nein	nein	nein
SDU Fehlerrate (BLER)	$10^{-2}$	$10^{-2}$	$10^{-6}$	$10^{-6}$
Rest Bit Fehlerrate (BER)	$10^{-4}$	$10^{-4}$	$10^{-6}$	$10^{-6}$
Übertragungsverzögerung	200ms	250ms	N.A.	N.A.
Priorität der übertragenden Daten	N.A.	N.A.	1 (für Interactive)	1 (für Interactive)

**Tabelle 7: QoS-Profil der UMTS Träger Dienste**

Für die Laufzeitunkritischen Dienste (Web page downloading und e-mail service), die eine Einbeziehung von ARQ gestatten, kann ein maximaler Durchsatz bei einer Block Fehlerrate auf dem Transportkanal von etwa 10-20% erreicht werden ([6]).

### 4.3 Format der Referenzträgerdienste

Tabelle 8 und Tabelle 9 zeigen die in [9] spezifizierten Parameter für die in Tabelle 7 aufgeführten Trägerdienste. Die Bitrate von 64, 128 kbit/s bzw. 144 kbit/s bezieht sich auf die RLC Schicht. Für die Klassen Conversational und Streaming wird der RLC Layer im Transparent Mode (TM) betrieben. In diesem Fall entspricht die Datenrate auf dem Transport Kanal genau der Datenrate auf dem Radio Access Träger. Hingegen, wird für die Dienste der Klassen Interactive und Background im RLC Acknowledged Mode (AM) ein RLC Header hinzugefügt. Die Datenrate auf dem Transport Kanal beträgt dann 134.4 kbit/s für den 128 kbit/s Radio Träger Dienst, respektive 151.2 kbit/s für den 144 kbit/s Radio Träger Dienst.

Die Bitrate auf dem Transportkanal (TrCH) lässt sich aus Transport Block Size (TBS), TB Set Size (TBSS) und Transmission Time Interval (TTI) bestimmen:

$$TrCH\ Bitrate = TBS \times TBSS / TTI$$

Layer	Parameter	64 kbit/s CS, Conversational		128 kbit/s CS, Streaming	144 kbit/s CS, Streaming
		Uplink	Downlink	Downlink	Downlink
RLC	Logical Channel	DTCH	DTCH	DTCH	DTCH
	RLC Mode	AM	TM	TM	TM
	Payload Size	640 bits	640 bits	320 bits	320 bits
	Max. bitrate	64 kbit/s	64 kbit/s	128 kbit/s	144 kbit/s
	RLC Header	0 bit	0 bit	0 bit	0 bit
MAC	MAC Header	0 bit	0 bit	0 bit	0 bit
	MAC Multiplexing	N/A	N/A	N/A	N/A
Layer 1	TrCH type	DCH	DCH	DCH	DCH
	Transportblock size	640 bits	640 bits	320 bits	320 bits
	TB Set Size	2 TB	2 TB	16 TBs	18 TBs
	Transport Time Interval	20 ms	20 ms	40 ms	40 ms

**Tabelle 8: Format Parameter der Trägerdienste für die Klassen Conversational und Streaming**

Layer	Parameter	128 kbit/s PS, Interactive or Background		144 kbit/s PS, Interactive or Background	
		Uplink	Downlink	Uplink	Downlink
RLC	Logical Channel	DTCH	DTCH	DTCH	DTCH
	RLC Mode	AM	AM	AM	AM
	Payload Size	320 bits	320 bits	320 bits	320 bits
	Max. bitrate	128 kbit/s	128 kbit/s	144 kbit/s	144 kbit/s
	RLC Header	16 bits	16 bits	16 bits	16 bits
MAC	MAC Header	0 bit	0 bit	0 bit	0 bit
	MAC Multiplexing	N/A	N/A	N/A	N/A
Layer 1	TrCH type	DCH	DCH	DCH	DCH
	Transportblock size	336bits	336bits	336bits	336bits
	TB Set Size	Max. 8 TBs	Max. 8 TBs	Max. 9TBs	Max.9TBs
	Transport Time Interval	20 ms	20 ms	20 ms	20 ms

**Tabelle 9: Format Parameter der Trägerdienste für die Klassen Interactive und Background**



#### 4.4 Direkte Vorgabe der Mindestanforderung an den Physikalischen Pilot Kanal

Aufgrund seiner relativ einfachen Messbarkeit wird der Qualitätsparameter  $E_c/I_0$  auf dem kontinuierlich gesendeten P-CPICH häufig als Kriterium für die Reichweiten Bestimmung der UMTS Luftschnittstelle herangezogen. In der UMTS Funknetzplanung wird im allgemeinen davon ausgegangen, dass für

$$\frac{E_c}{I_0} \geq -18dB \quad (9)$$

die Qualität des empfangenen Pilotkanals ausreichend ist.

Diese direkte Vorgabe der Minimalbedingung sagt jedoch nichts über die Qualität von Radio Träger Diensten aus, sondern impliziert nur eine ausreichende Empfangsqualität der im Pilotkanal gesendeten PHY-Signalisierungsdaten. Wird der Pilotkanal nicht mit ausreichender Qualität empfangen so ist davon auszugehen, dass kein Radio Träger aufgebaut werden kann und demzufolge keine UMTS-Versorgung am entsprechenden Ort gegeben ist.

Im folgenden Kapitel wird eine indirekte Vorgabe der Minimalanforderung an das  $E_c/I_0$  auf dem Pilotkanal beschrieben, das aus einer Minimalanforderung an die Qualität des Radio Trägers abgeleitet wird.

#### 4.5 Indirekte Vorgabe der Mindestanforderung an den Physikalischen Pilot Kanal

In der Konzessionsurkunde ist als Referenz für den Versorgungsnachweis ein Radio Träger der Bitrate 144kbit/s angegeben. Da diese Bitrate von den technologischen Komponenten nicht unterstützt wird, ist die nächst geringere Bitrate von 128kbit/s heranzuziehen. Im Folgenden wird beschrieben wie aus einer minimal geforderten Qualität an diesen Referenzträgerdienst eine entsprechende Minimalanforderung an das  $E_c/I_0$  auf dem Pilotkanal abgeleitet wird.

Ausgehend von einer geforderten Blockfehlerrate  $BLER_{soll}$  auf dem 128kbit/s Transportkanal, wird mit Hilfe der entsprechenden Fehlerraten Kurve ein minimal gefordertes  $E_b/N_0|_{soll}$  ermittelt und daraus mit Hilfe von Formel (7) das entsprechende  $E_c/I_0|_{soll,N}$  auf dem Nutzdatenkanal. Es sei

$$d = E_{c,Tx,P} - E_{c,Tx,Nmax} \quad (10)$$

die Differenz zwischen der Sendeleistung auf dem Pilotkanal und der maximalen Sendeleistung auf dem Nutzdatenkanal (in dB). Dann ist das minimale geforderte  $E_c/I_0|_{soll,P}$  auf dem P-CPICH gleich

$$\left. \frac{E_c}{I_0} \right|_{soll,P} = \left. \frac{E_c}{I_0} \right|_{soll,N} + d \quad (11)$$

Im folgenden wird eine Methode zur Bestimmung des Minimalwertes  $E_c/I_0|_{soll,P}$  für den 128kbit/s Referenzträgerdienst hergeleitet. Dabei wird angenommen, dass der Träger für einen Dienst der Klasse *Interactive* oder *Background* benutzt wird, z.B. für den in Tabelle 7 beschriebenen Web-page download. Wie in Kapitel 4.2 beschrieben, ist die Anforderung an die BLER auf dem Transportkanal für Dienste der QoS-Klassen *Interactive* und *Background* am geringsten, weil für diese Laufzeitunkritischen Dienste ein ARQ Algorithmus in der RLC Schicht für eine geringe Block Fehlerrate auf dem Radio Träger sorgt. Analytisch kann relativ einfach gezeigt

werden, dass ein maximaler Durchsatz auf dem Radio Träger bei einer BLER von etwa 10% auf dem Transportkanal erreicht werden kann.

1. Zunächst wird eine minimale *BLER* von 10% festgelegt.
2. Durch Simulation wurde für den 128kbit/s Transport Kanal die *BLER* über  $E_b/N_0$ –Kurve für einen statischen Mobilfunk Empfänger in einer Macrozelle ermittelt. Daraus ergibt sich für eine geforderte *BLER* von 10% ein  $E_b/N_0|_{\text{soll}}$  von 2.4dB.
3. Aus  $E_b/N_0|_{\text{soll}}$  wird dann mit Hilfe von Formel (7) das entsprechende  $E_C/I_0|_{\text{soll},N}$  auf dem Nutzdatenkanal berechnet. Der Wert des in Formel (7) enthaltenen Last-Orthogonalitäts-Term

$$1 + \frac{\alpha \cdot \eta_{DL}}{1 - \alpha + i_z} \quad (12)$$

hängt von der Systemlast, der Verteilung der Last über die eigene und die benachbarten Zellen, sowie von dem entsprechenden Multipfad-Profil ab. Wie in Kapitel 5.4 gezeigt wird, variiert dieser Wert zwischen etwa 0 und 2dB. Zur Berechnung des geforderten  $E_C/I_0|_{\text{soll},N}$  wird die obere Grenze von 2dB angenommen. Daraus ergibt sich

$$\left. \frac{E_C}{I_0} \right|_{\text{soll},N} = 2.4\text{dB} - 10 \log\left(\frac{3840}{128}\right) - 2\text{dB} = -14.37\text{dB} \quad (13)$$

4. Schliesslich wird aus dem geforderten  $E_C/I_0|_{\text{soll},N}$  auf dem Nutzdatenkanal das entsprechende geforderte  $E_C/I_0|_{\text{soll},P}$  auf dem zur Messung herangezogenen P-CPICH bestimmt. Die hierfür notwendige maximale Sendeleistung auf dem 128kbit/s Nutzdatenkanals wird über einen Basis-Trägerdienst mit der Rate  $R_{\text{base}}$  und einem geforderten  $E_b/N_0|_{\text{base}}$  wie folgt berechnet ([11])<sup>2</sup>:

$$P_{Tx,128} = P_{Tx,base} + 10 \log\left(\frac{128}{R_{base}}\right) + 10 \log\left(\frac{E_b/N_0|_{128}}{E_b/N_0|_{base}}\right) \quad (14)$$

Als Basis-Trägerdienst für die Berechnung der maximalen Sendeleistung aller anderen Träger wird in der Regel ein 8kbit/s Träger für Sprache angenommen. Das entsprechende  $E_b/N_0|_{\text{base}}$  für eine Bitfehlerrate von 0.1% ist unter den gegebenen Voraussetzungen (statischer Empfänger) etwa 4.5dB. Die maximale Sendeleistung des Basisträgerdienstes wird relativ zur Sendeleistung des P-CPICH bestimmt. Ein typischer Wert für die Leistungsdifferenz ist

$$V = 10 \log\left(\frac{E_{c,Tx,P}}{E_{c,Tx,base}}\right) = 7\text{dB} \quad (15)$$

Mit einer typischen P-CPICH Sendeleistung von 30dBm (Macrozelle) ergibt sich:

$$P_{Tx,128} = 30\text{dBm} - 7\text{dB} + 10 \log\left(\frac{128}{8}\right) + 2.4\text{dB} - 4.5\text{dB} = 32.94\text{dBm} \quad (16)$$

Die maximale Sendeleistung auf dem 128kbit/s Referenzträger ist also um  $-d = 2.94 \text{ dBm}$  höher als die P-CPICH Sendeleistung. Aus (11) und (13) folgt dann:

$$\left. \frac{E_C}{I_0} \right|_{\text{soll},P} = \left. \frac{E_C}{I_0} \right|_{\text{soll},N} + d = -14.37\text{dB} - 2.94\text{dB} = -17.31\text{dB} \quad (17)$$

<sup>2</sup> Die Werte der im folgenden angeführten Parameter sind der Literatur entnommen und repräsentieren typische Szenarien. Ihre tatsächliche Einstellung obliegt den Operatoren bzw. Lieferanten.

---

Ein gemessenes  $E_c/I_0$  auf dem P-CPICH von grösser  $E_c/I_0|_{\text{soll,P}}=-17.31\text{dB}$  wäre demnach ausreichend um die entsprechenden Bevölkerungseinheit als versorgt zu zählen.

Anhand der beschriebenen Vorgehensweise lässt sich das benötigte  $E_c/I_0|_{\text{soll,P}}$  auch für Dienste anderer QoS-Klassen berechnen. Der Bezug auf die QoS-Klasse Interactive und Background erlaubt jedoch, dass die Laufzeit nicht in die QoS-Ermittlung mit einbezogen werden muss.

Dienste der QoS Klasse *Conversational* können derzeit ohnehin nicht über einen Träger mit 128kbit/s Datenrate übertragen werden: Nach [2] wird im 3GPP Release 1999 für CS Träger das von GSM bekannte *Bearer Capability Information Element* weiterhin verwendet, damit lassen sich jedoch keine Bitraten grösser als 64kbit/s signalisieren, obwohl dies in der 3GPP Spezifikation [9] vorgesehen ist. Der Referenzträger kann also derzeit nur für Dienste der Klassen *Background*, *Interactive* und *Streaming* verwendet werden. Für die anderen Klassen müsste in Release 1999 ein erweitertes *Bearer Capability Information Element* eingefügt werden.

## 4.6 Vorschlag zur Bestimmung der UMTS-Versorgung an einem Ort

Der auf das Land Österreich bezogene Gesamtversorgungsgrad, wird anhand von Messungen an einigen ausgewählten Messorten abgeschätzt. Die Messorte sind die Schwerpunkte oder die Zentren der in eine Stichprobe gewählten Zählsprenkel, bzw. Ortschaften. Gegenstand der Kapitel 2,3 und 4 ist die Definition eines Messverfahrens und Entscheidungskriteriums anhand dessen ein gegebener Messort als versorgt, bzw. nicht-versorgt erklärt werden kann. Zu den in Kapitel 2 aufgeführten QoS-Parametern auf den verschiedenen Ebenen des UMTS QoS Modells wurden in Kapitel 4 die entsprechenden Minimalanforderungen definiert. Bild 7 fasst die vorgestellten Möglichkeiten zur QoS Bewertung zusammen.

QoS Parameter auf unterschiedlichen Ebenen	QoS auf Radio Träger Ebene	QoS auf Transport Kanal	QoS auf physikalischem Kanal		
			Nutz Kanal	Pilot Kanal	
Vorzugebende Minimalanforderung für UMTS Versorgung	Vorgabe und Messung aller für den Radio Träger definierten QoS-Parameter	Vorgabe und Messung von Fehler Raten auf dem Transportkanal	Vorgabe und Messung des $E_c/I_0$ auf dem Nutzkanal	indirekte $E_c/I_0$ Vorgabe: -17.3dB	direkte $E_c/I_0$ Vorgabe: -18db
Messeinrichtung	UMTS Testterminal+QoS Messtool	UMTS Testterminal	WCDMA Scanner		

**Bild 7: Überblick: Messverfahren und Messparameter**

Aus der in Kapitel 3 enthaltenen Analyse verschiedener Messverfahren ging hervor, dass eine direkte Überprüfung der QoS-Parameter der höheren Ebenen bestenfalls für eventuell später durchzuführende Untersuchungen zu empfehlen ist.

Aus Gründen der Komplexität und Verfügbarkeit wird deshalb für den anstehenden Versorgungsgrad Nachweis eine Messung der QoS-Parameter in der physikalischen Schicht vorgeschlagen. Zu messen ist demnach, das  $E_c/I_0$  auf dem P-CPICH mit einem WCDMA Scanner. Als Bewertungskriterium sollte nicht ein direkt vorgegebenes  $E_c/I_0|_{soll,P}$ , das sich nur auf ausreichenden Empfang des P-CPICH bezieht herangezogen werden, sondern ein aus den Qualitätsanforderungen an den festgelegten Referenzträgerdienst ableiten lässt. Vorgeschlagen wird, dass für den 128kbit/s Referenzträgerdienst die Qualitätsanforderungen aus einem Dienst der Klasse Interactive oder Background zugrunde gelegt werden. Für Dienste dieser Art sind die Anforderungen an die *BLER* minimal und es besteht keine Anforderung an die Laufzeit Verzögerung. Nach der Herleitung in Abschnitt 4.5 soll ein auf dem P-CPICH gemessenes

$$\frac{E_c}{I_0} \geq \frac{E_c}{I_0}|_{soll,P} = -17.31dB \quad (18)$$

für die Annahme von ausreichender Versorgung bezüglich des Referenzträgerdienstes ausreichend sein.

## 5 Systemparameter, die wesentlichen Einfluss auf die Qualitätsparameter ausüben

In den vorangegangenen Kapiteln wurde ein Vorschlag ausgearbeitet, der den zu messenden Parameter beschreibt, wie dieser Parameter gemessen werden kann und in welchem Wertebereich dieser Parameter für die Annahme ausreichender Versorgung liegen sollte.

Im vorliegenden Kapitel werden nun die Systemparameter, die wesentlichen Einfluss auf die Messgrösse ausüben, aufgeführt und analysiert. Diese Einflussgrössen lassen sich prinzipiell unterscheiden in:

- Determinierbare Einflussgrössen. Sie beschreiben die Konfiguration der relevanten Netzwerk Technologie. Ihr Wert ist einstellbar oder zumindest bekannt. Z.B. Sendeleistung oder Datenraten.
- Nicht kontrollierbare Einflussgrössen: Diese sind nicht exakt determinierbar oder einstellbar, sondern unterliegen mehr oder weniger zufälligen Schwankungen. Z.B. die Eigenschaften des physikalischen Ausbreitungskanal oder die gegenwärtige Systemlast.

Die in diesem Kapitel enthaltene Analyse der Einflussgrössen bezweckt:

- Die Annahmen, die der in Kapitel 4.5 angestellten Herleitung der Minimalanforderungen an die Messgrösse  $E_b/I_0$  zugrunde gelegt wurden, werden detailliert.
- Die Kenntnis der Einflussgrössen erlaubt eine umfassendere Interpretation der Messergebnisse.
- Vor- und Nachteile der vorgeschlagenen Messmethode werden transparent.
- Der Messvorgang, insbesondere die notwendige Messdauer und Messzeit sollen anhand der anstehenden Untersuchungen genauer spezifiziert werden.

Die Qualität des empfangenen Downlink Signals kann durch Gleichung (3) beschrieben werden. Die in dieser Formel enthaltene Empfangsleistung  $p_{rx}$  ist das Produkt aus Sendeleistung  $p_{tx}$ , Antennengewinn  $G$  und Ausbreitungsdämpfung  $\lambda$ . Somit ergibt sich:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{W}{R} \cdot \frac{p_{tx} \cdot \lambda \cdot G}{I_{in}(1-\alpha) + I_{out} + P_N} \quad (19)$$

Die in dieser Gleichung enthaltenen Parameter sind die relevanten Einflussgrössen und werden in den folgenden Unterkapiteln untersucht. Unberücksichtigt bleibt hierbei der Antennengewinn  $G$ , weil er für die Bestimmung des Versorgungsgrades nur im Kontext der bereits in Abschnitt 3.3 aufgeführten Empfehlungen von Bedeutung ist. Aufgrund des in Abschnitt 4.6 erarbeiteten Vorschlags nur den P-CPICH zu messen, konzentrieren sich die folgenden Analysen vorwiegend auf den Downlink.

## 5.1 Der Systemgewinn

Wie bereits in Abschnitt 2.5 erwähnt, beschreibt das Verhältnis  $W/R$  den CDMA Systemen inhärenten Gewinn aufgrund

- der Entspreizung des sehr stark verrauschten breitbandigen Empfangssignals
- und der anschliessenden Decodierung.

Konkret gibt der Systemgewinn an um wieviel mal die Energie pro empfangenem Informationsbit höher als die Energie pro empfangenem Chip des Nutzsignals ist. Er enthält also nicht die im Falle vorliegender (Teil-)Orthogonalität möglichen zusätzlichen Gewinne durch Reduktion der empfangenen Interferenzleistung. Auf diesen Orthogonalitätsgewinn wird in einem der folgenden Unterkapitel näher eingegangen.

Im UMTS 3GPP Standard ist eine fixe Chiprate von  $W=3.84 \text{ Mchip/s}$  spezifiziert.  $R$  definiert die Datenrate auf dem Transportkanal, die für den vorgegebenen Referenzträger gleich  $128\text{ kbit/s}$  ist. Für den in dieser Studie vorgeschlagenen Referenzkanal ist der Spreizgewinn also  $10 \cdot \log(3840/128) = 14.77\text{ dB}$ .

## 5.2 Dämpfung im physikalischen Ausbreitungskanal

Die an einem gegebenen Messort empfangene Leistung hängt wesentlich von den Bedingungen auf dem physikalischen Ausbreitungskanal ab. Diese Bedingungen variieren sehr stark mit der Zeit und dem Ort. Die Zeitabhängigkeit beeinflusst die noch zu spezifizierende Messdauer, die Ortsabhängigkeit kann bei der Auswahl alternativer Messorte in Betracht gezogen werden.

Die Gesamtdämpfung  $L=10\log(\lambda)$  kann als Summe der Komponenten

- Mittlere Ausbreitungsdämpfung,  $L_P$
- Abschattung,  $L_A$
- Fading durch Mehrwege Ausbreitung,  $L_F$

beschrieben werden. Auf diese Komponenten wird in den Kapiteln 5.2.1, 5.2.2 und 5.2.3 eingegangen. Weiterhin wird für jede dieser Komponenten die entsprechende mathematische Modellbildung beschrieben. Diese Modelle veranschaulichen das Zusammenspiel der für die Dämpfung wesentlichen Parameter. Sie beziehen sich auf typische UMTS Referenz Bedingungen, wie sie von der ETSI in [7] definiert wurden. Die einzelnen Dämpfungskomponenten ändern sich mit der Ortsänderung des Mobilteilnehmers. Die zeitliche Varianz des Empfangssignals ist im Fall des Fading sehr hoch, für die Abschattung deutlich geringer und für die mittlere Ausbreitungsdämpfung marginal. Wie in [3] angegeben soll die Messung zur Ermittlung des Versorgungsgrades an einem festen Ort durchgeführt werden. Es ist also von einem nahezu zeit-invarianten Mobilfunkkanal auszugehen. Änderungen der Ausbreitungscharakteristika können jedoch durch Bewegung von Objekten, an denen das Signal reflektiert und gestreut wird, hervorgerufen werden.

## 5.2.1 Mittlere Ausbreitungsdämpfung

Die Ausbreitungsdämpfung elektromagnetischer Wellen im Raum hängt im wesentlichen von ihrer Frequenz, vom Ausbreitungsmedium und von der zurückgelegten Distanz ab. Im freien Raum kann die Empfangsleistung  $P_E$  in Abhängigkeit von der Sendeleistung,  $P_S$ , dem Antennengewinn im Sender,  $g_S$ , und Empfänger,  $g_E$ , der Frequenz,  $f$  und der Distanz,  $d$ , zwischen Sender und Empfänger durch folgende Formel beschrieben werden:

$$P_E = P_S \cdot g_S \cdot g_E \cdot \left( \frac{c}{4 \cdot \pi \cdot d \cdot f} \right)^2 \quad (20)$$

$g_S$  und  $g_E$  geben den Antennengewinn in Richtung des Empfängers, bzw. Senders an.

### 5.2.1.1 Modellbildung in UMTS

Für die Mobilkommunikation ist die angegebene Freiraumausbreitung nur bedingt aussagekräftig, da in der Realität Hindernisse und reflektierende Oberflächen im Ausbreitungspfad auftreten. Der dadurch entstehende Energieverlust durch Reflexion und Beugung kann durch den sogenannten Ausbreitungskoeffizienten,  $\gamma$ , modelliert werden:

$$P_E = P_S \cdot g_S \cdot g_E \cdot \left( \frac{c}{4 \cdot \pi \cdot f} \right)^2 \cdot \frac{1}{d^\gamma} \quad (21)$$

Der Wert des Ausbreitungskoeffizienten hängt stark von der jeweiligen Umgebung ab und variiert im Bereich von 2 (Freiraumausbreitung) bis etwa 5 in städtischen Umgebungen. In logarithmischer Form gilt dann für die mittlere Ausbreitungsdämpfung  $L_P$ :

$$L_P = P_S - P_E = -10 \log g_S - 10 \log g_E + 20 \log f + \gamma \cdot 10 \log(d) + 20 \log \left( \frac{4\pi}{c} \right), \quad (22)$$

bzw. für den Fall isotroper Antennen (Antennengewinn  $g=1$ ):

$$L_{P,0} = P_S - P_E = 20 \log f + \gamma \cdot 10 \log(d) + 20 \log \left( \frac{4\pi}{c} \right) \quad (23)$$

Im Folgenden werden die von der ETSI in [7] spezifizierten Ausbreitungsdämpfung Modelle für drei typische UMTS Mobilfunk Umgebungen angegeben (jeweils ohne Berücksichtigung eines Antennengewinns):

Typische Indoor Büro Umgebung mit  $n$  Stockwerken:

$$L_{P,0} = 37 + 30 \log(d) + 18.3 \cdot n^{((n+2)/(n+1)-0.46)} \quad (24)$$

Typische Indoor-to-Outdoor- und Fussgänger Umgebung:

$$L_{P,0} = 40 \log(d) + 30 \log(f) + 49 \quad (25)$$

Typische Outdoor mit Fahrzeugen Umgebung:

$$L_{P,0} = 58.77 + 37.6 \text{Log}_{10}(R) + 21 \text{Log}_{10}(f) \quad (26)$$

## 5.2.2 Abschattung

In typischen Mobilfunkumgebungen befinden sich in der Regel sämtliche Hindernisse zwischen Sender und Empfänger. Dadurch kann sich das Signal nicht auf direktem Wege ausbreiten, sondern gelangt nur über, durch Reflexion entstehende, Umwege zum Empfänger. Die durch diesen Effekt hervorgerufene zusätzliche Dämpfung wird *Abschattung* genannt.

### 5.2.2.1 Modellbildung in UMTS

Messungen haben ergeben, dass der lokale Mittelwert  $m(t)$  der Abschattung einer Lognormal-Verteilung folgt. Der Wert

$$L_A = \log(m(t)) \quad (27)$$

ist also normalverteilt mit Mittelwert Null. Die Standardabweichung  $\sigma$  der Verteilung hängt von der jeweiligen Mobilfunkumgebung ab. In [7], ist für eine Outdoor-Fahrzeug Umgebung  $\sigma = 10$ , und für eine Indoor- bzw. Indoor-to-Outdoor Umgebung  $\sigma = 12$  vorgeschlagen.

## 5.2.3 Fading durch Mehrwege Ausbreitung

Signale breiten sich über den Mobilfunkkanal in der Regel über mehrere Pfade vom Sender zum Empfänger aus. Die Anzahl der effektiv vorhandenen Pfade hängt von der jeweiligen Umgebung ab. Auf dem flachen Land kann es z.B. im Fall einer direkten Sichtverbindung nur einen effektiven Pfad geben, wohingegen in einer städtischen Umgebung eine direkte Sichtverbindung sehr unwahrscheinlich ist. Dort ist jedoch aufgrund der Streuungen und Reflexionen an einer Vielzahl von Gebäuden und anderen Objekten von der Existenz vieler indirekter Ausbreitungspfade auszugehen.

Die sich über unterschiedliche Pfade ausbreitenden Kopien eines Signals überlagern sich im Eingang des Empfängers. Ist die Laufzeitdifferenz der unterschiedlichen Pfade grösser als die Dauer eines Chips (in UMTS ist die Chipdauer 0.26us) so können unter Einsatz entsprechender Empfängertechniken (Rake-Empfänger) die einzelnen Signalkopien getrennt demoduliert und kohärent aufaddiert werden. Im Fall kleinerer Laufzeitdifferenzen ist die Trennung in Einzelkomponenten nicht mehr möglich. Die verschiedenen Signalkopien addieren sich konstruktiv oder destruktiv. Das entsprechende Summensignal ist aufgrund der Bewegung des Mobilteilnehmers stark zeitabhängig. Destruktive Überlagerung kann immense temporäre Signaleinbrüche bewirken. Diese Art von Dämpfung wird Fast Fading genannt. Die Frequenz mit der sich der entsprechende Signaleinbruch ändert hängt stark von der Geschwindigkeit des Mobilteilnehmers und der Trägerfrequenz des HF-Signals ab. Im statischen Fall kann von einem konstanten Signalpegel ausgegangen werden.

### 5.2.3.1 Modellbildung in UMTS

In der Modellierung des Fast Fading in Mobilfunk Umgebungen wird berücksichtigt, ob eine direkte Sichtlinienverbindung zwischen Sender und Empfänger existiert. Existiert eine solche direkte Verbindung, so wird die Verteilungsdichtefunktion der Einhüllenden des Empfangssignals als Rice-Verteilung beschrieben, sonst als Rayleigh-Verteilung.

Die Mehrwegeausbreitung im Mobilfunkkanal, wird in Form von Fast Fading und auflösbaren Pfaden beschrieben. Auflösbare Pfade sind durch Laufzeitdifferenzen grösser einer Chipdauer voneinander getrennt. Jeder der auflösbaren Pfade entspricht aber der Überlagerung vieler nicht auflösbarer Pfade. Das heisst, das



Signal eines jeden auflösbaren Pfades unterliegt Fast Fading und wird statistisch durch eine Rice- oder Rayleigh-Verteilung beschrieben.

Bezüglich der Verteilung und mittleren Dämpfung der auflösbaren Pfade hat die ETSI für verschiedene Umgebungen folgende Modelle spezifiziert ([7]):

Relative Pfad Verzögerung in Chips	0	1	2
Relative Pfad Dämpfung in dB (Mittelwert)	0	-10	-33
Absolute Pfad Dämpfung in dB (Mittelwert)	-0.41	-10.4	-33.4

**Tabelle 10: Profil der auflösbaren Pfade in einer Indoor Umgebung**

Relative Pfad Verzögerung in Chips	0	1	2
Relative Pfad Dämpfung in dB (Mittelwert)	0	-12	-24
Absolute Pfad Dämpfung in dB (Mittelwert)	-0.28	-12.28	-24.28

**Tabelle 11: Profil der auflösbaren Pfade in einer Indoor-to-Outdoor Umgebung**

Relative Pfad Verzögerung in Chips	0	1	2	3	4	5	7	8	10	11
Relative Pfad Dämpfung in dB (Mittelwert)	0	-2	-7	-9	-12	-13	-15	-26	-21	-26
Absolute Pfad Dämpfung in dB (Mittelwert)	-3.25	...	...	...	...	...	...	...	...	...

**Tabelle 12: Profil der auflösbaren Pfade in einer Outdoor Fahrzeug Umgebung**

### 5.2.4 Zeitliche Varianz des Empfangssignals

Die in den Abschnitten 5.2.2 und 5.2.3 vorgestellten Dämpfungskomponenten Abschattung und Fading durch Mehrwegeausbreitung unterliegen temporalen Schwankungen, die durch

- die Bewegung des Mobilteilnehmers
- die Bewegung von Objekten an denen das Funksignal gestreut, reflektiert und gebeugt wird,

verursacht wird. Da die Festlegung der Messdauer wesentlich von der zeitlichen Varianz des Empfangssignals abhängt, werden im Folgenden verschiedene statistische Parameter zur Beschreibung der Zeitvarianz des Empfangssignals aufgeführt. Anhand dieser Parameter wird dann in Kapitel 8.1 die Messdauer festgelegt.

#### 5.2.4.1 Kohärenzzeit des Mehrwege Fadings

Die Kohärenzzeit gibt an über welche Dauer die Kanalimpulsantwort eines Mehrwegefunkkanals als nahezu konstant angenommen werden kann. Die Kohärenzzeit ist umso kleiner, je grösser die Dopplerfrequenz ist, je schneller sich also die Länge des Ausbreitungspfades zwischen Sender und Empfänger ändert. Zu ihrer Berechnung wird meist die Formel

$$T_C = \frac{0.423}{f_m} \text{ mit maximaler Doppler Frequenz } f_m = \frac{v \cdot f}{c} \quad (28)$$

herangezogen [12], wobei  $v$  die Fahrzeuggeschwindigkeit,  $f$  die Trägerfrequenz und  $c$  die Lichtgeschwindigkeit bezeichnet. Zur Bestimmung des statistischen Mittels eines sich über mehrere Pfade ausbreitenden Funksignals muss die Messdauer wesentlich grösser als  $T_C$  sein. Für eine Trägerfrequenz von  $f=2.1\text{GHz}$  ist in Tabelle 13 die Abhängigkeit der Kohärenzzeit von der Fahrzeuggeschwindigkeit dargestellt.

$v$ [km/h]	1	3	20	50	120
$f_m$ [1/s]	1.94	5.83	38.9	97.2	233.3
$T_C$ [s]	0.21	0.0725	0.01	0.004	0.001

**Tabelle 13: Abhängigkeit der Kohärenzzeit von der Geschwindigkeit**

#### 5.2.4.2 Fadingfrequenz

Die Fadingfrequenz beschreibt die Häufigkeit von Schwundeinbrüchen. Auch sie hängt im wesentlichen davon ab, wie schnell sich die Länge des Ausbreitungspfades zwischen Sender und Empfänger ändert. Es sei  $N_Z$  die Rate mit der ein vorgeschriebener Signalpegel  $Z$  unterschritten wird. Der Parameter  $\rho=Z/Z_m$  beschreibt das Verhältnis zwischen dem vorgegebenen Signalpegel  $Z$  und seinem tatsächlichen Durchschnittswert  $Z_m$ . Die Fadingfrequenz berechnet sich dann zu [12]:

$$N_Z = \sqrt{2\pi} \cdot f_m \cdot \rho \cdot e^{-\rho^2} \quad (29)$$

### 5.2.4.3 Durchschnittliche Fading Dauer

Dieser Parameter gibt die durchschnittliche Dauer an, während der die empfangene relative Signalleistung kleiner als  $\rho=Z/Z_m$  ist [12]:

$$\tau = \frac{e^{\rho^2} - 1}{\sqrt{2\pi} \cdot f_m \cdot \rho} \quad (30)$$

Für  $f=2.1\text{GHz}$ ,  $v=1\text{km/h}$ , ist in Tabelle 14 die Abhängigkeit der Fadingfrequenz und durchschnittlichen Fading Dauer von der Fadingtiefe dargestellt.

$\rho=Z/Z_m$	1	0.5	0.1	0.01	0.001
$\rho$ [dB]	0	-3	-10	-20	-30
$N_z$ [1/s]	1.79	1.89	0.48	0.048	0.0048
$\tau$ [s]	0.353	0.117	0.021	0.0021	0.00021

**Tabelle 14: Fadingfrequenz und durchschnittliche Fadingdauer in Abhängigkeit von der Fadingtiefe**

### 5.2.4.4 Zeitliche Varianz der Dämpfungskomponente Abschattung

In den vorangegangenen Abschnitten wurden Parameter zur statistischen Beschreibung der Zeitabhängigkeit der Dämpfungskomponente *Schwund durch Mehrwegeausbreitung* aufgeführt. Auch die Dämpfungskomponente Abschattung unterliegt zeitlichen Schwankungen, die jedoch deutlich langsamer als die Schwankungen durch Mehrwegeausbreitung sind.

Aus umfangreichen Messungen ging hervor, dass der lokale Mittelwert  $m(t)$  der Dämpfungskomponente Abschattung einer Lognormal-Verteilung mit Mittelwert Null folgt ([7]). Unter dieser Annahme gilt für den Korrelationskoeffizienten  $R(\Delta x)$  der Empfangsleistung zwischen zwei Messorten, die  $\Delta x$  Meter auseinander liegen ([7]):

$$R(\Delta x) = e^{\frac{-|\Delta x| \ln(2)}{d_c}} \quad (31)$$

wobei  $d_c$  die Kanal-Dekorrelationslänge definiert, für die nach [7] für typische Indoor-Umgebungen 5m und für Outdoor-Umgebungen 20m zu wählen sind. Unter Vorgabe eines Korrelationswertes  $R(\Delta x)$  lässt sich mit Formel (31) der entsprechende Abstand  $\Delta x$  zwischen zwei Messorten, bzw. unter zusätzlicher Vorgabe einer Fahrzeuggeschwindigkeit  $v$ , ein zeitlicher Abstand  $\Delta t = \Delta x/v$  zwischen zwei Messungen mit vorgegebener Korrelation bestimmen.

$R(\Delta x)$	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9
$\Delta x$ [m]	66.4	34.7	20	10.3	3
$\Delta t$ für $v=1\text{km/h}$ [s]	239	125	72	37	10.9

**Tabelle 15: Korrelation zwischen zwei Messungen (nur Abschattung)**

Aus Tabelle 15 geht hervor, dass zur Messung zweier Signalleistungen, die nahezu unabhängig voneinander sein sollen ( $R(\Delta x) < 0.1$ ), die Messorte mindestens 66m, bzw. die Messzeiten bei einer angenommenen Geschwindigkeit von  $v=1\text{km/h}$  mehr als 4 Minuten auseinander liegen sollten.

### 5.3 Interferenz, Systemlast und Downlink Orthogonalität<sup>3</sup>

Bei der Herleitung des Entscheidungskriteriums  $E_c/I_0|_{\text{sol},P}$  in Kapitel 4.5, wurde für den Last-Orthogonalitäts-Term

$$10 \cdot \log_{10} \left( 1 + \frac{\alpha \cdot \eta_{DL}}{1 - \alpha + i_z} \right)$$

ein Wert von 2dB gewählt. Im Folgenden soll die Festlegung dieses Wertes durch eine Analyse der Parameter Orthogonalitätsfaktor  $\alpha$ , Downlink Lastfaktor  $\eta_{DL}$  und Interzell- zu Intrazell-Interferenzverhältnis  $i_z$  begründet werden.

#### 5.3.1 Interferenz im UMTS Downlink

In Kapitel 2.5 wurde bereits kurz das Prinzip des CDMA vorgestellt. In solchen Zugriffssystemen sind die einzelnen Teilnehmer nicht durch Zeitslots oder Frequenzbänder getrennt sondern durch Codes. Im Downlink werden die zu übertragenden Bits mit teilnehmerspezifischen orthogonalen Codesequenzen (Walsh-Codes) multipliziert. Die dadurch entstehenden gespreizten Signale werden aufaddiert und synchron übertragen. Aus dem übertragenen Summensignal kann jeder Empfänger aufgrund der Korrelationseigenschaften der verwendeten Codesequenzen, die für ihn bestimmte Datenfolge extrahieren. Durch die Entspreizung im Empfänger, kann jedoch nicht die gesamte Interferenz des empfangenen Summensignals eliminiert werden. Die verbleibende Interferenz steigt mit zunehmender Systemlast und beeinträchtigt stark die Qualität des empfangenen demodulierten Signals.

Es sei  $p_{tx,m,i}$  die Sendeleistung des Downlink Signals, das von Basisstation  $m$  für Mobilstation  $i$  gesendet wird und  $p_{rx,m,i}$  die entsprechende Empfangsleistung am Ort der Mobilstation  $i$ . Weiterhin sei  $N_m$  die Anzahl aller aktiven Teilnehmer, die von Basisstation  $m$  bedient werden und

$$P_{tx,m} = \sum_i^{N_m} p_{tx,m,i} \quad (32)$$

die gesamte Sendeleistung der Basisstation  $m^4$ . Die Dämpfung auf dem physikalischen Funkkanal zwischen Basisstation  $m$  und Mobilstation  $i$  wird mit  $\lambda_{m,i}$  bezeichnet. Angenommen Mobilstation  $i$  wird von Basisstation  $m$  bedient und es befinden sich  $K$  weitere Basisstationen im näheren Umfeld von Mobilstation  $i$ , dann gilt für die in Gleichung (1) enthaltenen Intrazell- ( $I_{in}$ ) bzw. Interzellinterferenz ( $I_{out}$ ) am Empfänger der Mobilstation  $i$  vor der Entspreizung:

$$I_{in} = \sum_{i=1}^{N_m} p_{rx,m,i} = P_{tx,m} \cdot \lambda_{m,i} \quad I_{out} = \sum_{k=1}^K P_{tx,k} \cdot \lambda_{k,i} \quad (33)$$

Das Verhältnis zwischen Inter- zu Intrazell-Interferenz wird mit  $i_z$  bezeichnet. Im Uplink ist dieser Parameter für alle Teilnehmer innerhalb einer Zelle gleich weil er am Ort der Basisstation berechnet wird. Im Downlink jedoch wird er am Ort des mobilen Empfängers berechnet und ist deshalb teilnehmerspezifisch und zeitabhängig. Die in dieser Studie verwendeten Werte für  $i_z$  stellen Durchschnittswerte dar. Für stark isolierte Zellen (z.B. Indoor Mikrozellen) nimmt  $i_z$  sehr kleiner Werte an. In schwach isolierten Zellen, wie sie z.B. für Outdoor Umgebungen typisch sind, kann er Werte

<sup>3</sup> Die Ausführungen in diesem Kapitel beziehen sich ausschliesslich auf den Downlink, weil nur dieser zur Bestimmung des Versorgungsgrades herangezogen wird.

<sup>4</sup>  $N_m$  enthält auch die von Basisstation  $m$  gesendeten Kontroll Kanäle

bis zu etwa 1.0, in ungünstig geplanten Zellen sogar deutlich darüber annehmen ([11]).

### 5.3.2 Der Orthogonalitätsfaktor

Im Downlink sendet die Basisstation alle Signale synchron. Signale unterschiedlicher Basisstationen sind jedoch nicht synchronisiert. Aufgrund der Orthogonalität der verwendeten Spreizsequenzen kann bei der Entspreizung der Interferenzanteil aller Signale, die synchron zum Nutzersignal ankommen (die Intrazell Interferenz) vollständig eliminiert werden. Dieser ideale Fall liegt vor, wenn sich das Downlinksignal nur auf einem Pfad ausbreitet. In typischen Mobilfunkkanälen existieren jedoch in der Regel mehrere Pfade zwischen Sender und Empfänger. Signale, die sich über unterschiedliche Pfade ausbreiten, kommen jedoch nicht synchron am Empfänger an. Deshalb kann im Fall der Mehrwegeausbreitung nur ein Teil der Intrazellinterferenz eliminiert werden. Der Anteil der eliminierbaren Intrazellinterferenz wird durch den Orthogonalitätsfaktor  $\alpha$  beschrieben. Der Orthogonalitätsfaktor hängt im wesentlichen von der Multipfadkonfiguration ab (siehe Abschnitt 5.2.3).

In einer Simulation der physikalischen Schicht (Link Level Simulation) kann der Orthogonalitätsfaktor für ein vorgegebenes Multipfad Profil wie folgt bestimmt werden.

- Schritt 1: Für eine Referenzverbindung wird eine Simulation erzeugt, die keine weiteren Nutzer in der eigenen Zelle, jedoch viele Nutzer in benachbarten Zellen, enthält. In diesem Fall ist der Downlink Loadfaktor  $\eta_{DL} \approx 1$ , das Verhältnis  $i_z \gg 1$ , und der Last-Orthogonalitäts-Term  $\approx 1$ . Das in diesem Schritt simulierte  $E_b/N_0$  wird mit  $E_b/N_{0|out}$  bezeichnet.
- Schritt 2: Für die Referenzverbindung wird eine Simulation erzeugt, die viele Nutzer in der eigenen Zelle, jedoch keine Nutzer in benachbarten Zellen, enthält. In diesem Fall ist der Downlink Loadfaktor  $\eta_{DL} \approx 1$ , das Verhältnis  $i_z \approx 0$  und der Last-Orthogonalitäts-Term  $\approx 1/(1-\alpha)$ . Das in diesem Schritt simulierte  $E_b/N_0$  wird mit  $E_b/N_{0|in}$  bezeichnet. Die Simulation ist so zu konfigurieren, dass das  $E_c/I_0$  vor der Entspreizung in beiden Schritten identisch ist.

Aus Formel (7) folgt dann:

$$\alpha = 1 - \frac{(E_b/N_0)_{out}}{(E_b/N_0)_{in}} . \tag{34}$$

Für die in Abschnitt 5.2.3.1 angegebenen Multipfadmodelle wurden die in Tabelle 16 dargestellten Orthogonalitätsfaktoren durch Simulation ermittelt.

Multipfad Modell	Orthogonalitätsfaktor
Indoor-A	0.28
Outdoor-to-Indoor-A	0.19
Vehicular-A	0.45

**Tabelle 16: Orthogonalitätsfaktoren für verschiedene UMTS Kanalmodelle**

### 5.3.3 Der Downlink Lastfaktor

Als Störleistung des Empfangssignals wird im folgenden die Summe aus Interferenz und Rauschen im Empfänger bezeichnet. Im Downlink ist aufgrund der partiellen Eliminierung der Interferenz zwischen Störleistung vor und nach der Entsprechung zu unterscheiden.  $I_0$  bezeichnet die Interferenz vor,  $I'_0$  nach der Entsprechung. Der in Abschnitt 2.5.3 eingeführte Downlink Lastfaktor  $\eta_{DL}$  beschreibt das Verhältnis zwischen Interferenz und Störleistung nach der Entsprechung:

$$\eta_{DL} = \frac{I_{in}(1 - \alpha + i_z)}{I'_0} = \frac{I_{in}(1 - \alpha + i_z)}{I_{in}(1 - \alpha + i_z) + P_N}. \quad (35)$$

Die Intrazell-Interferenz  $I_{in}$  ist die Leistung des empfangen Summensignals der Basisstation, die den betrachteten Teilnehmer bedient (Formel (33)). Für die Empfangsleistung  $p_{rx,m,i}$  des Nutzsignals von Teilnehmer  $i$  gilt aus Formel (3)

$$p_{rx,m,i} = \left( \frac{E_b}{N_0} \right)_i \cdot \frac{R_i}{W} \cdot (I_{in}(1 - \alpha + i_z) + P_N). \quad (36)$$

wodurch sich die Intrazell-Interferenz darstellen lässt als

$$I_{in} = \sum_{i=1}^{N_m} p_{rx,m,i} = I'_0 \cdot \sum_{i=1}^{N_m} \left( \frac{E_b}{N_0} \right)_i \cdot \frac{R_i}{W}. \quad (37)$$

Durch Einsetzen dieser Formel in Gleichung (35) erhält man für die Bestimmung des Downlink Loadfaktors:

$$\eta_{DL} = (1 - \alpha + i_z) \cdot \sum_{i=1}^{N_m} \left( \frac{E_b}{N_0} \right)_i \cdot \frac{R_i}{W}. \quad (38)$$

Die Parameter  $\alpha$  und  $i_z$  sind für die einzelnen Teilnehmer aufgrund ihrer unterschiedlichen Orte verschieden. Zur Bestimmung des Downlink Loadfaktors nach (38) werden Durchschnittswerte verwendet.

Der Loadfaktor nimmt mit der Anzahl der Teilnehmer zu. Ein hoher Loadfaktor impliziert eine hohe Interferenz. Übersteigt diese einen gewissen Wert können die Teilnehmer der Zelle nicht mehr mit ausreichender Qualität bedient werden. Aus Simulationen von UMTS Netzwerken konnte ergab sich, dass die Zellkapazität bei einem Loadfaktor von maximal 0.75 erreicht wird, was einem Noise Rise (Formel (4)) von 6dB entspricht.

In UTRAN System Simulationen wurde der maximale Loadfaktor untersucht, der sich bei einer maximal tolerierbaren Ausfallwahrscheinlichkeit von 5% ergab. Die Ausfallwahrscheinlichkeit gibt an, wie viele der aktiven Teilnehmer nicht mit ausreichender Qualität versorgt werden können.

Trägerdienst	144kbit/s		
Fahrzeuggeschwindigkeit	3km/h		
Kanalmodell	Vehicular-A		
Orthogonalitätsfaktor	0.45		
Erforderliches Eb/No	6.1dB		
Simulierter Link	Downlink		
Anzahl der Zellen	7		
Zellradius	1km		
Anzahl der Teilnehmer insgesamt	28	32	35
Durchschnittliche Anzahl Teiln. pro Zelle	4	4.57	5
Simulierter Wert für $i_z$	0.64	0.64	0.63
Downlink Loadfaktor	72.7%	82.38%	90.1%
Ausfallwahrscheinlichkeit	3.3%	5.21%	10.1%

**Tabelle 17: Simulierte Ausfallwahrscheinlichkeit in Abhängigkeit vom DL Loadfaktor für 144kbit/s Träger Dienste**

Trägerdienst	8 kbit/s		
Fahrzeuggeschwindigkeit	50km/h		
Kanalmodell	Vehicular-A		
Orthogonalitätsfaktor	0.45		
Erforderliches Eb/No	9.1dB		
Simulierter Link	Downlink		
Anzahl der Zellen	7		
Zellradius	1km		
Anzahl der Teilnehmer insgesamt	210	231	245
Durchschnittliche Anzahl Teiln. pro Zelle	30	33	35
Simulierter Wert für $i_z$	0.8	0.84	0.82
Downlink Loadfaktor	69.6%	76.5%	81%
Ausfallwahrscheinlichkeit	3.3%	6.4%	11.1%

**Tabelle 18: Simulierte Ausfallwahrscheinlichkeit in Abhängigkeit vom DL Loadfaktor für 8kbit/s Träger Dienste**

## 5.4 Abschätzung des Last-Orthogonalitätsterms

In Kapitel 4.5 wurde für die Spezifikation des  $E_C/I_0|_{\text{Soll,P}}$  von -17.31dB der Wert des Last-Orthogonalitäts-Terms zu 2dB angenommen. Nach dem in den vorangegangenen Abschnitten der Wertebereich der in diesem Term enthaltenen Parameter analysiert wurde, können nun praktikable Werte des Last-Orthogonalitätsterms berechnet, und damit die getroffene Annahme rechtfertigt werden.

Realistische Wertebereiche sind:

- für  $i_z$ : zwischen 0.15 und 1, zunehmend je weniger die Zellen voneinander isoliert sind.
- für  $\alpha$ : zwischen 0 und 1, je grösser umso dominierender ein einzelner Pfad ist, maximal für Einpfad-Kanal.
- für  $\eta_{DL}$ : abhängig von der Systemlast. Ab etwa  $\eta_{DL}=75\%$  tritt nicht akzeptable Ausfallwahrscheinlichkeit (>5%) ein.

In den folgenden Tabellen ist der Verlauf des Last-Orthogonalitäts-Terms (L-O-T) in Abhängigkeit der genannten Parameter über den spezifizierten Bereich dargestellt. Daraus rechtfertigt sich die Annahme eines maximalen L-O-T von etwa 2dB.

$\alpha$	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
$i_z$	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
$\eta_{DL}$	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
<b>L-O-T [dB]</b>	<b>0.00</b>	<b>0.28</b>	<b>0.62</b>	<b>1.05</b>	<b>1.60</b>	<b>2.34</b>

**Tabelle 19: Abhängigkeit des Last-Orthogonalitäts-Terms (L-O-T) vom Orthogonalitätsfaktor**

$\alpha$	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
$i_z$	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
$\eta_{DL}$	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
<b>L-O-T [dB]</b>	<b>0.00</b>	<b>0.30</b>	<b>0.58</b>	<b>0.85</b>	<b>1.10</b>	<b>1.34</b>

**Tabelle 20: Abhängigkeit des Last-Orthogonalitäts-Terms (L-O-T) vom Lastfaktor**



$\alpha$	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
$i_z$	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1
$\eta_{DL}$	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
<b>L-O-T [dB]</b>	<b>1.29</b>	<b>1.02</b>	<b>0.84</b>	<b>0.72</b>	<b>0.63</b>	<b>0.56</b>

**Tabelle 21: Abhängigkeit des Last-Orthogonalitäts-Terms (L-O-T) vom Verhältnis Intrazell- zu Interzell-Interferenz**

## 5.5 Thermisches Rauschen und Empfängerrauschen

Die das  $E_c/I_0$  beeinflussende Rauschleistung,  $P_N$ , setzt sich im wesentlichen aus dem thermischen Hintergrundrauschen,  $N_T$ , und dem Empfängerrauschen,  $N_R$ , zusammen. Die spektrale Dichte des thermischen Hintergrundrauschen lässt sich durch Multiplikation der Boltzmann Konstanten,  $k=1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ , und der Temperatur (Annahme:  $T=290\text{K}$ ) berechnen. Die spektrale Dichte des Empfängerrauschens liegt in der Regel in einem Bereich zwischen 5-9 dB. Die gesamte Rauschleistung ist dann:

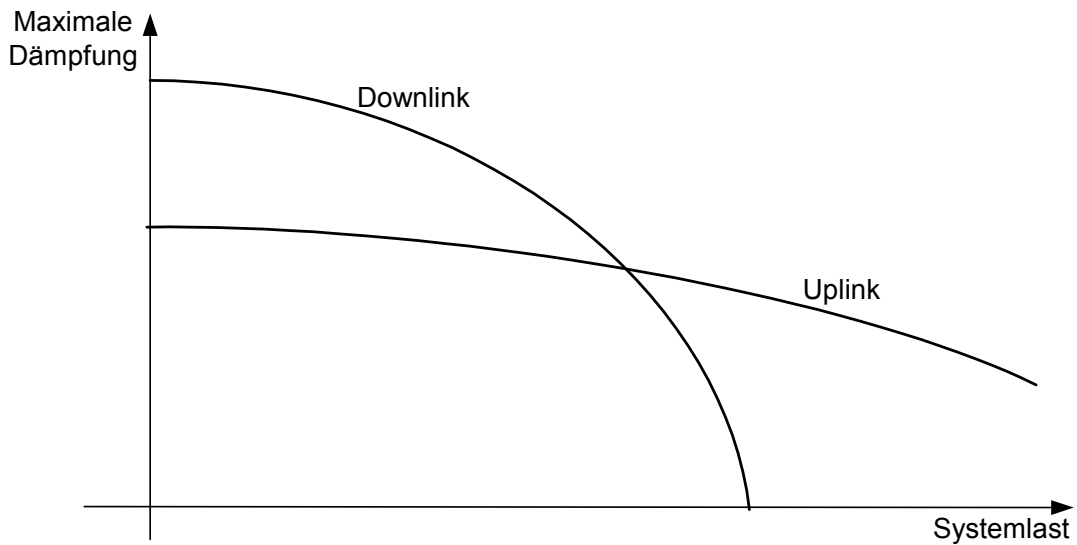
$$P_N = N_T + N_R = 10 \log(1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 290 \cdot 1000) \text{dBm} + 5 \text{dB} + 10 \log(384000) \text{dB} = -103.2 \text{dBm} \quad (39)$$

## 5.6 Einfluss der Sendeleistung

Grundsätzlich lassen sich für die Dimensionierung der UMTS Funkzellen folgende Fälle unterscheiden:

- Begrenzung durch Interferenz: In Umgebungen mit einer sehr hohen Teilnehmerdichte und Systemlast, ist die Zellgrösse, bzw. der relative Abstand der Basisstationen zueinander, so zu wählen, dass die Systemlast und somit die Interferenz innerhalb einer Zelle einen bestimmten Maximalwert nicht überschreitet.
- Begrenzung durch Dämpfung: In Umgebungen mit einer niedrigen Teilnehmerdichte und Systemlast, ist die Zellgrösse, bzw. der relative Abstand der Basisstationen zueinander, so zu wählen, dass auch für Teilnehmer am Zellrand die empfangene Energie des Nutzsignals noch hoch genug ist, um ausreichende QoS gewährleisten zu können

In Bild 8 ist der qualitative Zusammenhang zwischen maximaler Dämpfung (oder Zellradius) und maximaler Systemlast (oder Interferenz) dargestellt. Die maximale Sendeleistung (etwa 10-20 Watt) ist in den Basisstationen deutlich grösser als in den Mobilstationen (0.125-0.3 Watt). Deshalb ist im Fall geringer Systemlast, die maximal zulässige Dämpfung auf dem physikalischen Ausbreitungskanal im Uplink (Mobilstation zur Basisstation) geringer als im Downlink (Basisstation zur Mobilstation). Die in der Basisstation verfügbare Sendeleistung muss jedoch auf alle Teilnehmer der entsprechenden Zelle aufgeteilt werden. Ab einer bestimmten Teilnehmerzahl, wird dann die jedem einzelnen Teilnehmer zur Verfügung stehende Sendeleistung nicht mehr ausreichen um auch nur relativ geringe Pfaddämpfungen zu überwinden. Auf dem Uplink hingegen ist die dem Teilnehmer zur Verfügung stehende Sendeleistung unabhängig von der Anzahl der Teilnehmer. Die maximal mögliche Pfaddämpfung nimmt deshalb nur langsam mit zunehmender Systemlast ab.



**Bild 8: Qualitativer Zusammenhang zwischen Dämpfung und Systemlast**

Bezogen auf die oben beschriebenen Fälle der Zellgrößenbegrenzung, folgt aus dem dargestellten Zusammenhang, dass

- im Fall der Begrenzung durch Interferenz, der Downlink
- im Fall der Begrenzung durch Dämpfung, der Uplink

das kritische Element darstellt.

Der beschriebene enge Zusammenhang zwischen QoS, Interferenz und Zellradius gilt für CDMA-basierte Mobilfunksysteme, wie z.B. UMTS. Er impliziert, dass sich die Zellplanung und Netzwerk Bewertung (z.B. die Bestimmung des Versorgungsgrades) für UMTS Netze wesentlich komplexer als für Mobilfunknetze, die auf TDMA und FDMA basieren, gestaltet.

Für die Überprüfung des Versorgungsgrades ist der Einfluss der begrenzten Sendeleistung auf das zu messende  $E_c/I_0$  unter variierender Systemlast, bei der Festlegung der Messzeiten (siehe Abschnitt 8.3.2) zu berücksichtigen.

## **5.7 Einfluss der Antennenkonfigurationen**

Der Gewinn der Sendeantenne ist für die Überprüfung des Versorgungsgrades nicht von Interesse. Was die Konfiguration der Empfangsantenne angeht, sind die unter Abschnitt 3.3 diskutierten Empfehlungen zu beachten.

## 6 Auswahl der Stichprobe aus der Grundgesamtheit und Ermittlung des Versorgungsgrades

Die Konzessionsinhaber sind verpflichtet der Telekom-Control-Kommission eine Liste aller versorgten Ortschaften und Zählsprengel vorzulegen. Ausserdem sind alle notwendigen Unterlagen, aus denen die Ermittlung des angegebenen Versorgungsgrades hervorgeht, einzureichen (siehe Kapitel 9.1). Die Menge aller versorgten Ortschaften und Zählsprengel wird im Folgenden *versorgte Grundgesamtheit, G*, genannt.

Da eine Überprüfung jeder einzelnen Bevölkerungseinheit der Grundgesamtheit (Vollerhebung) zu aufwendig wäre, wird aus der Grundgesamtheit, *G*, eine Stichprobe, *S*, erhoben. Eine Stichprobe ist hinsichtlich ihres Umfangs und der in ihr enthaltenen Elemente so auszuwählen, dass sie von repräsentativem Charakter ist. Das heisst, dass sie ein möglichst wirklichkeitsgetreues Abbild der Grundgesamtheit darstellt. Bezüglich der Stichprobe wird ein Versorgungsgrad ermittelt, der als Schätzwert für den Versorgungsgrad der Grundgesamtheit dient. Aus dem geschätzten Versorgungsgrad der Grundgesamtheit kann schliesslich der Gesamtversorgungsgrad des Landes ermittelt werden.

Unterkapitel 6.1 enthält eine kurze statistische Beschreibung der Einwohnerzahlen aller Bevölkerungseinheiten des Landes. In Unterkapitel 6.2 werden verschiedene Methoden zur Ermittlung des Gesamtversorgungsgrades und die entsprechenden Verfahren zur Auswahl der Stichprobe aus der Grundgesamtheit vorgestellt.

### 6.1 Statistik der Menge aller Bevölkerungseinheiten des Landes

Im Folgenden wird mit *L* die Menge der für die Erhebung des Versorgungsgrades herangezogenen Bevölkerungseinheiten bezeichnet. Bevölkerungseinheiten sind entweder Ortschaften oder Zählsprengel. Nur in den neun Landeshauptstädten werden die Einwohner in Zählsprengel eingeteilt. In allen anderen Gebieten ist die Bevölkerung in Ortschaften eingeteilt. Nach der Volkszählung des Jahres 1991 umfasst Österreich 17254 Ortschaften. 113 dieser Ortschaften gehören zu den neun Landeshauptstädten, werden also weiter in Zählsprengel unterteilt. Tabelle 22 enthält die Anzahl der Zählsprengel pro Landeshauptstadt.

Bregenz	Wien	Klagenfurt	Innsbruck	Graz	Salzburg	Linz	St. Pölten	Eisenstadt
102	1364	143	171	279	192	271	47	12

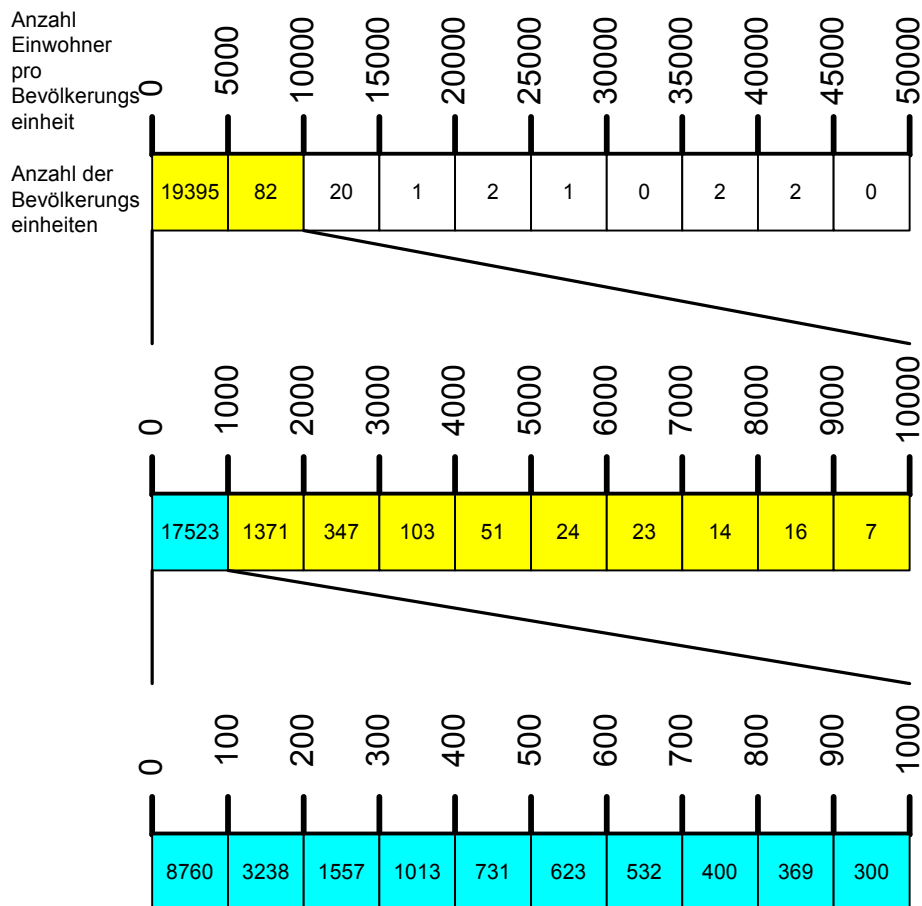
**Tabelle 22 : Anzahl der Zählsprengel pro Landeshauptstadt**

Die Menge *L* aller Bevölkerungseinheiten besteht also aus

- 2581 Zählsprengeln
- 17141 Ortschaften

Ortschaften und Zählsprengel sind für die Bestimmung des Versorgungsgrades nur insofern zu unterscheiden als dass für sie unterschiedliche Messorte vordefiniert sind. Dieses Unterscheidungsmerkmal ist jedoch für die Ausführungen im vorliegenden Kapitel nicht von Bedeutung. Eine Unterteilung in die verschiedenen Bevölkerungseinheiten ist im weiteren Verlauf dieses Abschnittes also nicht erforderlich. Zur Erhebung des Versorgungsgrades ist das gesamte Land also in  $|L|=2581+17141=19722$  Bevölkerungseinheiten unterteilt.

Nach der Volkszählung im Jahre 1991 ergab sich die in Bild 9 dargestellte Verteilung der Einwohnerzahlen über die Bevölkerungseinheiten. Die Einwohnerzahlen variieren zwischen 0 und 40676 pro Bevölkerungseinheit. Die mittlere Einwohnerzahl pro Bevölkerungseinheit ist 400. Die dargestellte Verteilung der Einwohnerzahlen aller Bevölkerungseinheiten in L, sagt zwar nichts über die Verteilung der Einwohnerzahlen in den von den Konzessionsinhabern für versorgt proklamierten Grundgesamtheiten  $G_{\underline{L}}$  aus, es ist jedoch davon auszugehen, dass auch die Einwohnerzahlen in G über einen sehr weiten Bereich streuen.



**Bild 9: Häufigkeitsverteilung der Einwohnerzahl pro Bevölkerungseinheit**

## 6.2 Bestimmung des Versorgungsgrades und Auswahl der Stichprobe

Jeder Konzessionsinhaber hat der Telekom Control Behörde die Menge der von ihm mit UMTS Diensten versorgten Bevölkerungseinheiten aus  $L$  mitzuteilen. Diese Menge bezeichnet eine Grundgesamtheit  $G$ , aus der eine Stichprobe erhoben wird. In jeder Bevölkerungseinheit der Stichprobe wird eine Messung durchgeführt, anhand derer überprüft wird, ob in der Bevölkerungseinheit auch tatsächlich UMTS Dienste ausreichender Qualität bereit stehen.

Für jede Bevölkerungseinheit  $z_k \in S$  bezeichnet die dichotome Variable  $v(z_k)$ , die nachgewiesene Versorgung:

- $v(z_k) = 1$ , falls die Versorgung der Bevölkerungseinheit nachgewiesen werden konnte,
- $v(z_k) = 0$ , falls die Messung unzureichende Versorgung der Bevölkerungseinheit ergab.

### 6.2.1 Grad der versorgten Zählsprengel und Ortschaften

#### 6.2.1.1 Definition des Versorgungsgrades

Mit  $n=|S|$  und  $N=|G|$  wird die Anzahl der Bevölkerungseinheiten in der Stichprobe, bzw. in der Grundgesamtheit bezeichnet.

Der Anteil der versorgten Bevölkerungseinheiten des Landes kann wie folgt ermittelt werden:

1. Der mittlere Versorgungsgrad der Bevölkerungseinheiten der Stichprobe  $S \subseteq G$

wird bestimmt:

$$p = \frac{1}{n} \sum_{z_k \in S} v(z_k) \quad (40)$$

2. Das ermittelte  $p$  dient als Schätzwert für den Anteil der versorgten Bevölkerungseinheiten in  $G$ .
3. Daraus kann der Anteil der versorgten Bevölkerungseinheiten des Landes wie

folgt geschätzt werden:

$$v_Z = p \cdot \frac{N}{|L|} \quad (41)$$

#### 6.2.1.2 Stichprobenauswahl

Aus der Grundgesamtheit  $G$  ist eine Stichprobe  $S$  so zu bestimmen, dass

- $S$  ein wahrheitsgetreues Abbild der Grundgesamtheit darstellt. Diese Bedingung ist gewährleistet, wenn die Auswahl derart erfolgt, dass jede Bevölkerungseinheit  $z_k \in G$  mit gleicher Wahrscheinlichkeit

$$f(z_k) = \begin{cases} 1/N, & \text{für } z_k \in G \\ 0, & \text{sonst} \end{cases} \quad (42)$$

in die Stichprobe  $S$  gewählt wird<sup>5</sup>.

<sup>5</sup> In der ersten Version des Zwischenberichtes wurde eine gewichtete Stichprobenauswahl vorgeschlagen, die das Grundprinzip der Repräsentativität verletzt. Diese gewichtete Auswahl wurde inzwischen verworfen, ist jedoch der Vollständigkeit halber noch im Anhang aufgeführt

- die Menge  $S$  ausreichend viele Elemente enthält, so dass eine bestimmte Zuverlässigkeit der Schätzung des Mittelwertes für  $G$  aus dem bestimmten Mittelwert der Stichprobe  $S$  gewährleistet ist.

Im Folgenden wird eine Methode zur Bestimmung des notwendigen Stichproben Umfangs vorgestellt.

Würde man nicht nur eine, sondern eine grosse Anzahl von Stichproben gleichen Umfangs  $n$  erheben, und für jede den entsprechenden Mittelwert bestimmen, so wären diese Mittelwerte normalverteilt. Der Mittelwert dieser Normalverteilung entspricht dem tatsächlichen Mittelwert der Grundgesamtheit,  $\mu$ . Für den Standard Error  $SE(\mu)$  einer solchen Mittelwertsverteilung gilt allgemein:

$$SE(\mu) = \frac{S}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{V}{n}}, \quad (43)$$

wobei  $S$  die Standardabweichung und  $V$  die Varianz bezüglich einer Stichprobe bezeichnet. Für die Varianz gilt allgemein:

$$V = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - m)^2}{n - 1} \quad (44)$$

wobei  $x_i$  der Wert einer Ziehung und  $m$  der Mittelwert der Stichprobe des Umfangs  $n$  ist.

Für den Mittelwert eines qualitativen Merkmals, wie er z.B. in Formel (40) gegeben ist, errechnet sich die Varianz  $V$  einer Stichprobe und der Standard Error  $SE(\mu)$  der Mittelwertschätzung zu ([14])

$$V = p \cdot (1 - p) \quad \text{und} \quad SE(\mu) = \sqrt{\frac{p \cdot (1 - p)}{n}}, \quad (45)$$

wobei  $p$  den Mittelwert einer Stichprobe bezeichnet. Mit Hilfe des Standard Errors der Normalverteilung, lässt sich folgende Aussage bezüglich der Qualität der Mittelwertschätzung treffen: Mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% liegt der anhand einer Stichprobe geschätzte Mittelwert  $p$  im Bereich zwischen  $\mu - 2 \cdot SE(\mu)$  und  $\mu + 2 \cdot SE(\mu)$ . Die Stichprobenerhebung ist also umso zuverlässiger, je schmaler dieser Bereich, je kleiner also der Standard Error ist.

Zur Ermittlung des Stichprobenumfangs geht man nun von einem vorgegebenen Standard Error (Vorschlag 5%) aus, und ermittelt den Mittelwert  $p_0$  einer Stichprobe des Umfangs  $n_0$ . Ist der aus  $p_0$  und  $n_0$  berechnete Standard Error  $SE_0(\mu)$  (Formel (45)) kleiner als der vorgegebene Standard Error, so ist der Stichprobenumfang von  $n_0$  ausreichend. Ansonsten wird  $n_0$  auf  $n_1$  erhöht, der entsprechende Mittelwert  $p_1$  und Standard Error  $SE_1(\mu)$  berechnet und erneut mit dem vorgegebenen Wert verglichen. Das iterative Erhöhen des Stichprobenumfangs wird solange durchgeführt, bis der bestimmte Standard Error kleiner als der geforderte Standard Error ist.

**Beispiel:** Ausgehend von einem geforderten  $SE < 5\%$  und einer Annahme von  $p_0 > 0.8$ , ist zunächst ein Stichproben Umfang von  $n_0 = 65$  zu wählen. Nach der Bestimmung des Stichprobenmittelwerts dieser ersten Iteration kann mit Hilfe von Gleichung (40) das tatsächliche  $p_1$  bestimmt werden. Ist der nach Gleichung (45) berechnete Standard Error  $SE_0(\mu)$  der ersten Iteration kleiner als die geforderten 5%, dann gilt die Stichprobe als ausreichend genau. Ansonsten wird der Stichproben Umfang solange iterativ erhöht, bis der geforderte Standard Error gewährleistet ist. Die Iterationsschrittweite kann frei gewählt werden. Als obere Grenze für den Stichproben Umfang ist  $n_{max} = 100$  ausreichend. Falls für diesen maximalen Umfang  $SE$  grösser 5% ist, liegt der Wert  $p$  unter 0.5. In diesem Fall sind also aus den



ausgewählten 100 angeblich versorgten Bevölkerungseinheiten bereits weniger als 50% tatsächlich versorgt. Der Konzessionsinhaber sollte dann aufgefordert werden, seine Simulationen mit Hilfe derer er den Versorgungsgrad ermittelte, zu verbessern.

## 6.2.2 Grad der versorgten Bevölkerung

Der in Unterkapitel 6.2.1 eingeführte Versorgungsgrad  $v_Z$  bezieht den Anteil der versorgten Bevölkerungseinheiten auf die Gesamtmenge der Bevölkerungseinheiten des Landes. Die Einwohnerzahlen pro Bevölkerungseinheit bleiben dabei unberücksichtigt. Als Alternative wird im Folgenden ein Versorgungsgrad  $v_E$ , der sich auf den Anteil der versorgten Bevölkerung bezieht, definiert. Ein auf die Bevölkerung bezogener Versorgungsgrad liefert eine wertvollere Aussage über die Qualität des Netzes. Wie jedoch in diesem Abschnitt dargelegt wird, erweist sich die entsprechende Stichprobenauswahl und die Abschätzung der Zuverlässigkeit des Ergebnisses als problematisch.

### 6.2.2.1 Definition des Versorgungsgrades

Ein auf die Einwohnerzahl bezogener Versorgungsgrad kann in folgender Form angegeben werden:

$$v_E = p_E \cdot \frac{E_G}{E_L}, \quad (46)$$

wobei  $E_G$  die Anzahl aller Einwohner der Grundgesamtheit und  $E_L$  die Einwohnerzahl des Landes Österreich bezeichnet. Das Problem besteht in der Schätzung des Anteils der versorgten Bevölkerung an der Gesamtbevölkerung der Grundgesamtheit. Dieser Anteil wird mit  $p_E$  bezeichnet. Eine Methode zur Abschätzung seines Wertes wird im folgenden Unterkapitel beschrieben.

### 6.2.2.2 Stichprobenauswahl

Es sei  $E_{z_k}$  die Anzahl der Einwohner der Bevölkerungseinheit  $z_k$  und  $E_S$  die Anzahl der Einwohner aller Bevölkerungseinheiten einer Stichprobe  $S$ . Damit kann, bezogen auf die konkrete Stichprobe, der mittlere Anteil der versorgten Einwohner pro Stichprobe ermittelt werden:

$$p_S = \frac{1}{E_S} \sum_{z_k \in S} E_{z_k} \cdot v(z_k) \quad (47)$$

Dieser Mittelwert einer konkreten Stichprobe kann jedoch nicht, wie oben, zur Schätzung des entsprechenden Mittelwertes der Grundgesamtheit  $G$  herangezogen werden. Die in Kapitel 6.2.1 beschriebene Normalverteilung der Mittelwerte verschiedener Stichproben um den tatsächlichen Mittelwert der Grundgesamtheit, ergibt sich nur, wenn alle Stichproben von gleichem Umfang sind. Diese Bedingung ist jedoch durch die Gewichtung mit den Einwohnerzahlen verletzt: Wie aus der Verteilung der Einwohnerzahlen über die Bevölkerungseinheiten des Landes (Bild 9) hervorgeht, können zu verschiedenen Stichproben sehr stark variierende Einwohnerzahlen  $E_S$  gehören.

Der zur Bestimmung des Versorgungsgrades  $v_E$ , (Formel (46)) benötigte Mittelwert  $p_E$  kann jedoch über eine geschichtete Stichprobenerhebung geschätzt werden. Hierzu wird die Grundgesamtheit  $G$  in  $K$  disjunkte Teilmengen  $G_1, \dots, G_K$  partitioniert. Die Zuordnung der Bevölkerungseinheiten  $z_k$  zu den Teilmengen  $G_i$  erfolgt bezüglich deren Einwohnerzahlen, so dass sich in  $G_1$  die Bevölkerungseinheiten mit den kleinsten, und in  $G_K$  die Bevölkerungseinheit mit den grössten Einwohnerzahlen befinden.

Aus jeder Teilmenge  $G_i$  der Grundgesamtheit wird je eine Stichprobe  $S_i$  erhoben. Das Verhältnis der Stichprobenumfänge  $n_i=|S_i|$ , sollte proportional den Verhältnissen der Umfänge der Teilmengen  $N_i=|G_i|$ , angepasst sein d.h.

$$\frac{n_i}{n} = \frac{N_i}{N}, \quad (48)$$

wobei  $n$  und  $N$ , die Anzahl aller Bevölkerungseinheiten in allen Stichproben, bzw. in der Grundgesamtheit bezeichnen. Die Anzahl der Teilmengen,  $K$ , ist gross genug zu wählen, sodass die Einwohnerzahlen der Bevölkerungseinheiten innerhalb einer Klasse nur über einen schmalen Bereich streuen. Ist diese Bedingung gegeben so können aus den Mittelwerten der Stichproben  $S_i$  die Mittelwerte der Grundgesamtheiten  $G_i$  geschätzt, und daraus  $p_E$  ermittelt werden:

1. Für alle Stichproben  $S_i$  wird der Anteil der versorgten Bevölkerungseinheiten

$$p_{S_i} = \frac{1}{n_i} \sum_{z_k \in S_i} v(z_k) \quad (49)$$

berechnet.

2. Die ermittelten Werte  $p_{S_i}$  als Schätzung des Mittelwertes der Grundgesamtheits Teilmenge  $G_i$  betrachtet werden.
3. Nach [14] gilt für die Ermittlung des *nicht auf die Einwohnerzahl bezogenen* Mittelwerts der Grundgesamtheit  $G$  aus den Mittelwerten der Schichten:

$$p = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^K n_i \cdot p_{S_i} \quad (50)$$

und für den entsprechenden Standard Error der gesamten Schätzung

$$SE(p) = \frac{1}{n} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^K n_i \cdot p_{S_i} (1 - p_{S_i})}. \quad (51)$$

4. Für die Ermittlung des *auf die Einwohnerzahl bezogenen* Mittelwerts der Grundgesamtheit  $G$  werden die einzelnen Mittelwerte der Teilmengen mit der entsprechenden Einwohnerzahl aller Bevölkerungseinheiten in  $S_i$  gewichtet:

$$p_E = \frac{1}{n \cdot E_S} \cdot \sum_{i=1}^K n_i \cdot E_{S_i} \cdot p_{S_i}, \quad (52)$$

wobei  $E_{S_i}$  die Summe der Einwohner aller in  $S_i$  enthaltenen Bevölkerungseinheiten und  $E_S$  die Summe aller Einwohner in den Stichproben aller Schichten zusammen bezeichnet. Mit diesem Mittelwert kann nun der auf die Einwohnerzahl bezogene Versorgungsgrad nach Formel (46) bestimmt werden. Der Standard Error dieser Schätzung lässt wie folgt berechnen:

$$SE(p_E) = \frac{1}{n \cdot E_S} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^K n_i \cdot E_{S_i} \cdot p_{S_i} (1 - p_{S_i})} \quad (53)$$

Die Stichproben  $S_i$  müssen ein wahrheitsgetreues Abbild der Grundgesamtheit-Teilmengen  $G_i$  darstellen. Diese Bedingung ist gewährleistet, wenn die Auswahl derart erfolgt, dass jede Bevölkerungseinheit  $z_k \in G_i$  mit gleicher Wahrscheinlichkeit

$$f(z_k) = \begin{cases} 1/N_i, & \text{für } z_k \in G_i \\ 0, & \text{sonst} \end{cases} \quad (54)$$

in die Stichprobe  $S_i$  gewählt wird.

Die benötigte Gesamtzahl der Bevölkerungseinheiten hängt nicht nur vom vorgegebenen Standard Error ab, sondern auch von der Verteilung der Einwohnerzahlen pro Bevölkerungseinheit in der Grundgesamtheit. Erst wenn diese Verteilung bekannt ist (nach Angabe der Grundgesamtheit durch den Operator), kann die Anzahl  $K$  der benötigten Teilmengen  $G_i$  bestimmt werden, so dass die Bedingung *schmale Streuung der Einwohnerzahlen innerhalb einer Teilmenge* erfüllt ist.

### 6.3 Zusammenfassung

Die beiden in diesem Kapitel vorgestellten Optionen zur Definition des Versorgungsgrades und die entsprechenden Methoden zur Stichprobenauswahl sind in Bild 10 zusammengefasst.

Definition des Versorgungsgrad	Anteil der versorgten Bevölkerungseinheiten an der Gesamtmenge der Bevölkerungseinheiten	Anteil der versorgten Bevölkerung an der gesamten Bevölkerung des Landes
Stichproben-erhebung	Rein zufällige Auswahl der Bevölkerungseinheiten der Grundgesamtheit in die Stichprobe	Schichtung der Grundgesamtheit in K Partitionen. Aus jeder Partition wird je eine Stichprobe rein zufällig ausgewählt
Umfang der Stichprobe und Genauigkeit der Schätzung	Iteratives erhöhen des Stichprobenumfanges bis vorgegebener Standard Error erreicht wird	Genauigkeit hängt nicht nur vom Standard Error sondern auch von der Streuung der Einwohnerzahlen in jeder Partition ab. Stichprobenumfang kann erst nach Kenntnis der Grundgesamtheit ermittelt werden

**Bild 10: Optionen zur Bestimmung des Versorgungsgrades und Stichprobenauswahl**

Trotz des zu erwartenden höheren Stichprobenumfangs und der weniger exakt bestimmbareren Zuverlässigkeit der Schätzung wird die Ermittlung des Versorgungsgrades in Bezug auf die Bevölkerung empfohlen (Abschnitt 6.2.2). Diese Definition des Versorgungsgrades ist aussagekräftiger und entspricht den Spezifikationen in [3]. Basierend auf der Annahme, dass die Operatoren zunächst die dicht besiedelten Gebiete mit UMTS versorgen werden, wird der empfohlene Versorgungsgrad einen höheren Wert annehmen als der bezüglich der Bevölkerungseinheiten definierte Versorgungsgrad.

## 7 Bestimmung alternativer Messorte

Zur Bestimmung des Versorgungsgrades gelten als kleinstmögliche versorgte oder nicht versorgte Gebiete folgende Bevölkerungseinheiten ([8]):

- Zählsprenkel in den Landeshauptstädten
- Ortschaften in allen sonstigen Gebieten ausserhalb der Landeshauptstädte

Die Messungen zur Bestimmung des Versorgungsgrades sind an statischen Messorten durchzuführen. In den Zählsprenkeln ist der Messort durch den Flächenschwerpunkt gegeben, in den Ortschaften durch den jeweiligen Zentralpunkt der Ortschaft. Die genauen Punktdaten sowohl der geometrischen Flächenschwerpunkte der Zählsprenkel als auch der Ortszentren liegen der Kontroll-Kommission vor und werden dem Konzessionsinhaber mitgeteilt. Der geometrische Schwerpunkt des Zählsprenkels ist auch dann als Messort heranzuziehen, wenn dieser ausserhalb des Zählsprenkels liegt.

### 7.1 Auswahl alternativer Messorte

Falls die als Messorte definierten Flächenschwerpunkte, bzw. Ortszentren nicht zugänglich sind, muss auf alternative Messorte ausgewichen werden. Ein Ort gilt als für die Messung zugänglich, wenn er

- mit dem Fahrzeug, in dem die Messausrüstung installiert ist, angefahren werden kann. Dies schliesst prinzipiell auch Bereiche ein, die für den öffentlichen Verkehr nicht freigegeben sind, wie z.B. Fussgängerzonen oder Fabrikgelände<sup>6</sup>
- die Möglichkeit bietet, dass das Fahrzeug mit der Messausrüstung für die Dauer der Messung dort verweilen kann. Dadurch sind also Orte wie Autobahnen oder Strassenkreuzungen ausgeschlossen.
- innerhalb des Landes Österreich liegt. Da der geometrische Flächenschwerpunkt ausserhalb des Zählsprenkels liegen kann, ist es auch möglich, dass er ausserhalb des Landes liegt.

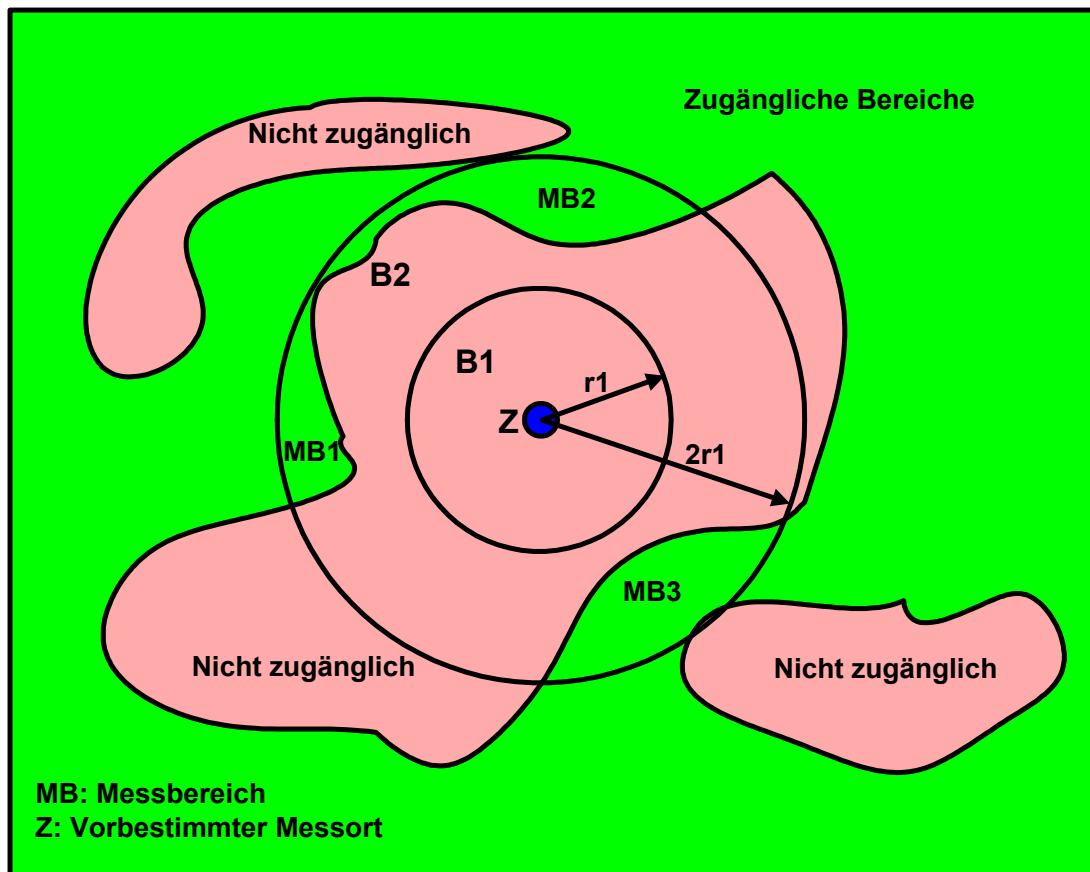
Für die Bestimmung alternativer Messorte wird folgendes Verfahren vorgeschlagen:

Falls der vorbestimmte Messort  $Z$ , nicht zugänglich ist, wird ein Bereich  $B_1$  definiert, der durch den Umfang eines Kreises mit Radius  $r_1$  um  $Z$  begrenzt wird. Als möglicher Messbereich wird ein zugänglicher geographischer Bereich bezeichnet. Falls in  $B_1$  keine möglichen Messbereiche liegen, wird ein erweiterter Bereich  $B_2$  definiert, der durch den Umfang eines Kreises mit Radius  $r_2=2r_1$  um den vorbestimmten Messort  $Z$  begrenzt wird. Falls auch in  $B_2$  keine möglichen Messbereiche liegen, wird in jedem weiteren Schritt der Radius  $r_k$  des Bereiches  $B_k$  auf  $k*r_1$  erhöht, solange bis in  $B_k$  mögliche Messbereiche liegen.

Liegen innerhalb von  $B_k$  mögliche Messbereiche so kann die Messung an einem oder an mehreren Orten innerhalb der möglichen Messbereiche durchgeführt werden. Im Fall dass an mehreren Orten innerhalb von  $B_k$  gemessen wird, ist das beste Resultat für die Bestimmung des Versorgungsgrades der Bevölkerungseinheit heranzuziehen. Dies wiederum impliziert, dass keine weiteren Messungen innerhalb von  $B_k$  erforderlich sind, sobald das Resultat einer Messung eindeutig die in Kapitel 4 festgelegten Minimalanforderungen an die Signalqualität erfüllt.

<sup>6</sup> Nur unter Zustimmung der zuständigen Behörden, bzw. Eigentümer

Das vorgestellte Verfahren ist in Bild 11 anhand eines Beispiels dargestellt. Die schraffierte Fläche bezeichnet unzugängliche Gebiete. Der vorbestimmte Messort  $Z$  liegt in einem solchen unzugänglichen Gebiet. In einem ersten Schritt wird innerhalb des Kreises mit Radius  $r_1$  nach möglichen Messorten gesucht. Da sich dort keine zugänglichen Gebiete befinden wird der Radius erweitert. Im entsprechenden Bereich  $B_2$  befinden sich drei mögliche Messgebiete  $MB_1$ ,  $MB_2$  und  $MB_3$ . In jedem der Bereiche kann der Konzessionsinhaber einen Ort festlegen, an dem er eine Messung durchführen will. Tatsächlich muss aber nicht in jedem Bereich eine Messung durchgeführt werden. Sobald eine Messung die gegebenen Minimalanforderungen erfüllt, wird die Bevölkerungseinheit als versorgt erklärt.



**Bild 11: Iteratives Erweitern des Messbereiches im Fall unzugänglicher Messorte**

Für die Festlegung der Bereiche und der möglichen Messbereiche kommen stehen prinzipiell folgende Möglichkeiten zur Diskussion:

Der Konzessionsinhaber, bzw. das beauftragte Messunternehmen, entscheidet vor Ort welche Gebiete zugänglich, bzw. nicht zugänglich sind und legt entsprechend vor Ort die Anzahl der notwendigen Iterationen zur Erweiterung des Messbereiches fest. Die entsprechenden Daten der Bereiche  $B_k$ , möglichen Messbereiche  $MB_k$  und tatsächlichen Messorte sind der Telekom-Control-Kommission mitzuteilen.

- wie oben: jedoch muss das Messunternehmen die Daten der Bereiche  $B_k$ , möglichen Messbereiche  $MB_k$  und geplanten Messorte vor der Messung der Telekom-Control-Kommission zur Bestätigung vorlegen.
- Falls der Telekom-Control-Kommission hoch aufgelöste geographische Karten vorliegen, aus denen die zugänglichen und unzugänglichen Bereiche eindeutig

determiniert werden können, kann die Telekom-Control-Kommission im voraus die möglichen Messbereiche festlegen und dem Messunternehmen mitteilen. Das Messunternehmen, bzw. der Betreiber ist für die Bestimmung des tatsächlichen Messortes innerhalb der möglichen Messbereiche verantwortlich. Die tatsächlichen Messorte sind der Telekom-Control-Kommission mitzuteilen.

Aus Gründen des reduzierten Aufwandes vor Ort wird die dritte Option vorgeschlagen, falls die dafür notwendigen detaillierten geographischen Daten vorliegen. Für den Radius  $r_1$ , um den die Bereiche in jedem Schritt erweitert werden, schlagen wir einen Wert von etwa 10-20m vor.

## 7.2 Zusammenfassung

Vorgehen zur Bestimmung alternativer Messorte	<p style="text-align: center;">Iteratives zirkulares Erweitern des Bereiches bis in diesem für die Messung zugängliche Bereiche liegen.</p> <p style="text-align: center;">Vorschlag für den Iterationsradius: 10-20m</p>		
Auswahl eines Messortes aus möglichen Messbereichen	Messunternehmen wählt Messorte aus und teilt diese der Kontroll Kommission mit	Messunternehmen wählt geplante Messorte aus lässt diese von der Kontroll Kommission bestätigen	Anhand detaillierter geograph. Karten bestimmt die Kontroll Kommission die Messorte und teilt sie dem Messunternehmen mit

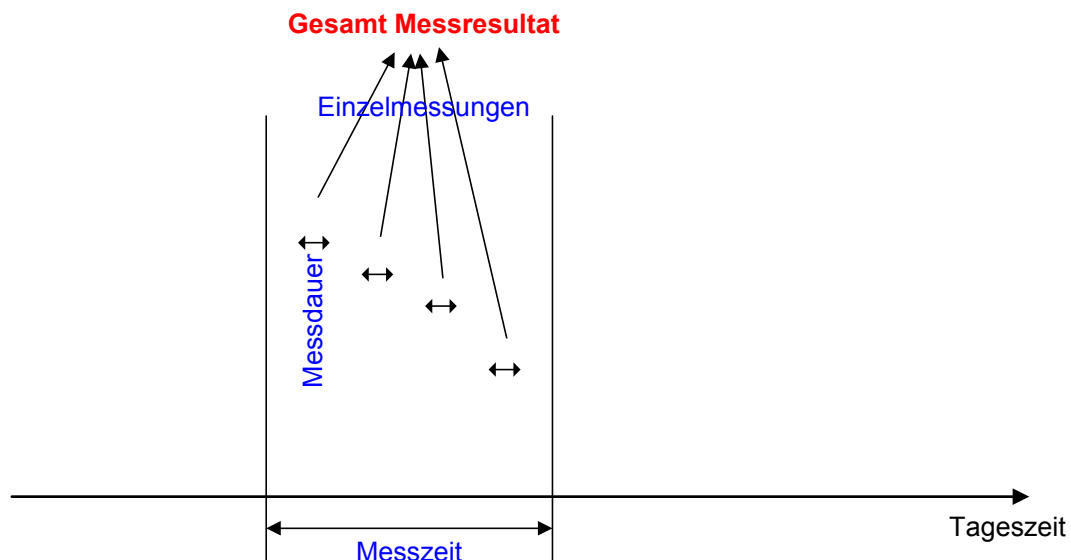
**Bild 12: Optionen bei der Bestimmung alternativer Messorte**

## 8 Zeitliche Koordination der Messungen

In diesem Abschnitt werden Vorschläge zur

- Messzeit,
- Messdauer
- Anzahl der Messungen pro Messort erarbeitet.

Die Messzeit oder besser der Messzeitraum, ist der Tagesabschnitt (die Tagesabschnitte), während der die Messungen durchgeführt werden sollen (Unterkapitel 8.3). Die Messdauer beschreibt die zeitliche Länge zur Ermittlung eines Messwertes, also die Länge des Intervalls, über das eine durchschnittliche empfangene Signalleistung ermittelt wird (Unterkapitel 8.1). Die Anzahl der Messungen bezieht sich auf die notwendige Anzahl von Einzelmessungen an einem gegebenen Messort (Unterkapitel 8.2). Das letztendlich zur Beurteilung herangezogene gesamte Messresultat ist der Mittelwert aller an einem Ort aufgenommenen Einzelmessungen.



**Bild 13: Messzeit und Messdauer einer Einzelmessung zur Ermittlung eines Gesamt Messwertes an einem gegebenen Messort**

### 8.1 Dauer ein Einzelmessung

Ein einzelner Messwert repräsentiert eine über die Messdauer gemittelte empfangene Signalqualität. Die Messdauer, hängt im wesentlichen von der zeitlichen Varianz des Empfangssignals ab: Je ausgeprägter und langsamer die temporalen Schwankungen der empfangenen Signalqualität, um so grösser muss die Messdauer gewählt werden um einen repräsentativen Durchschnittswert zu ermitteln.

In Kapitel 5.2.4 ist die zeitliche Varianz der Kanal-Dämpfungskomponenten Abschattung und Mehrwege-Fading statistisch beschrieben. Dort wurde die zeitliche Varianz in Abhängigkeit der Geschwindigkeit des Mobilteilnehmers beschrieben. Für die Bestimmung des Versorgungsgrades sind jedoch die Messungen an einem festen Ort durchzuführen. Trotzdem kann nicht von einem zeitlich konstanten Kanal ausgegangen werden, weil die Beugung und Reflektion verursachenden Objekte entlang der physikalischen Ausbreitungspfade nicht statisch sind. Im folgenden gehen wir von der Annahme aus, dass die durch die Bewegung der Beugungs- und



Streuobjekte verursachten Auswirkungen auf die Dämpfungskomponenten, im Fall des statischen Empfängers durch die in Kapitel 5.2.4 beschriebenen Parameter und Zusammenhänge des mit einer Geschwindigkeit von  $v=1\text{km/h}$  sich bewegenden Empfängers angenähert werden können. Diese Annahme ist durch die in Messungen nachgewiesene relativ langsame zeitliche Varianz der Dämpfungskomponenten im Fall eines statischen Empfängers gerechtfertigt.

Zur Festlegung der Messdauer, ziehen wir also das in Kapitel 5.2.4 beschriebene temporale Verhalten der Dämpfungskomponente Mehrwege-Fading für  $v=1\text{km/h}$  heran. Das zeitliche Verhalten der Dämpfungskomponente Abschattung wird bei der Festlegung des Abstandes zwischen aufeinanderfolgenden Einzelmessungen benutzt.

### 8.1.1 Vorschlag 1: Messdauer von $200 T_C$

Die Messdauer sollte ein mehrfaches der Kanal Kohärenzzeit  $T_C$  sein, die, wie aus Abschnitt 5.2.4.1 hervorgeht, im Bereich  $0.21\text{s}$  liegt. In [13] ist eine Messdauer von etwa  $200 \cdot T_C$  vorgeschlagen, also  $T_{V1}=42\text{s}$ .

### 8.1.2 Vorschlag 2: Simulation der notwendigen Messdauer

In einer Simulation wurde ein Rayleigh-Fading Prozess erzeugt und die entsprechende Empfangsleistung aufgenommen. Bestimmt wurde die notwendige Dauer bis die durchschnittliche gemessene Empfangsleistung nur noch weniger als 1% von der tatsächlichen durchschnittlichen Empfangsleistung des Rayleigh-Fading Prozesses abweicht. Die Simulation wurde für verschiedene Fahrzeuggeschwindigkeiten durchgeführt. Es ergab sich, dass nach  $T=312.5\text{s}/v[\text{km/h}]$  die gemessene durchschnittliche Empfangsleistung weniger als 1% Abweichung vom tatsächlichen Mittelwert aufweist. Der zweite Vorschlag für die Messdauer einer Einzelmessung ist also  $T_{V2}=312.5\text{s}$ .

### 8.1.3 Vorschlag 3: Dynamischer Abbruch nach Konvergenz

Der Messvorgang wird zum Zeitpunkt  $T_0$  gestartet. Bestimmt wird:

- der zum gegenwärtigen Zeitpunkt  $t$  anstehenden Pegel des Empfangssignals,
- in Abständen von  $\Delta T$  der Durchschnittswert  $E_{\mathcal{O}}/I_0(k)$  über den Zeitraum  $[T_0, k \cdot \Delta T]$ , wobei  $k$  die Anzahl der seit Beginn verstrichenen Intervalle der Zeit  $\Delta T$  angibt.

Die Messung wird abgebrochen, sobald die Schwankung zwischen  $E_{\mathcal{O}}/I_0(k)$  und  $E_{\mathcal{O}}/I_0(k-1)$  kleiner als  $\varepsilon$  ist. Der Parameter  $\varepsilon$  sollte im Bereich 1-5% liegen. Das zuletzt gemessene  $E_{\mathcal{O}}/I_0(k)$  ist das Ergebnis der Einzelmessung, also das durchschnittliche  $E_{\mathcal{O}}/I_0(k)$  über das Messintervall  $[T_0, k \cdot \Delta T]$ . Dieser Vorschlag ist unabhängig von der statistischen Beschreibung der Kanaldämpfung und hängt nur von der tatsächlichen Varianz des realen Empfangssignals ab. Er berücksichtigt also nicht nur Schwankungen der Kanaldämpfungskomponenten, sondern auch Variationen in der Systemlast oder anderen Stör- bzw. Gewinn-Faktoren.

## 8.2 Abstand aufeinanderfolgender Messungen

Zur Beurteilung der Empfangsqualität an einem festen Ort kann es sinnvoll sein mehrere Ergebnisse der Einzelmessungen  $E_{\mathcal{O}}/I_0(j)$ , die nach einer der im vorangegangenen Unterkapitel beschriebenen Methoden ermittelt wurden, zu einem Gesamt Messergebnis ( $E_{\mathcal{O}}/I_0|_{\text{ges}}$ ) zu akkumulieren:

$$\left. \frac{E_C}{I_0} \right|_{ges} = \frac{1}{B} \cdot \sum_{j=1}^B \frac{E_C}{I_0}(j) \quad (55)$$

Durch die Berücksichtigung von  $B > 1$  Einzelmessungen, wird zwar der Messaufwand erhöht, andererseits jedoch der Einfluss zeitlicher varianter Stör- und Gewinnfaktoren auf die zu ermittelnde Bewertungsgrösse weiter reduziert. Die im vorangegangenen Abschnitt definierte notwendige Messdauer wurde derart festgelegt, dass relativ schnelle Schwankungen, wie sie durch das Mehrwege Fading entstehen, ausgemittelt werden. Dahingegen soll durch die Durchführung mehrerer Einzelmessungen, die zeitlich nicht direkt aufeinander folgen, relativ langsamen Schwankungen der empfangenen Signalqualität Rechnung getragen werden. Solche relativ langsame Schwankungen werden zum Beispiel

- durch örtliche Veränderung von Objekten, die starken Einfluss auf die Dämpfungskomponente Abschattung ausüben,
- durch kurzzeitige Schwankungen in der Systemlast, welche durch das aktivieren bzw. de-aktivieren hochratiger Datendienste entstehen kann, verursacht.

Nicht berücksichtigt werden hier jedoch sehr langsame Schwankungen, wie sie sich zum Beispiel durch tageszeitliche Variation der Systemlast, ergeben. Zeitliche Veränderungen dieser Art sind Gegenstand des Unterkapitels 8.3.

Der Abstand zwischen aufeinanderfolgenden Einzelmessungen sollte so gewählt werden, dass von nur geringfügiger Korrelation zwischen den entsprechenden Werten der Dämpfungskomponente Abschattung ausgegangen werden kann. Unter den Kapitel 5.2.4.4 zugrunde liegenden Voraussetzungen kann für einen Abstand von 239s zwischen den Messungen eine Korrelation  $< 0.1$  angenommen werden (Tabelle 15). Empfohlen wird also, dass erst nach etwa 4 Minuten nach Beendigung einer Einzelmessung, die folgende Messung gestartet wird.

Bezüglich der Anzahl der Einzelmessungen schlagen wir folgende Optionen vor:

1. Es wird nur eine **Einzelmessung** aufgenommen.
2. Es wird eine **feste Zahl B von Einzelmessungen** vorgegeben: Das Gesamt Messergebnis errechnet sich aus den Einzelmessungen nach Formel (55). Um den Messaufwand moderat zu halten, schlagen wir ein  $B \approx 10$  vor.
3. **Abbruch nach Konvergenz:** Nach der  $z$ .ten Einzelmessung wird der Mittelwert

$$\left. \frac{E_C}{I_0} \right|_z = \frac{1}{z} \cdot \sum_{j=1}^z \frac{E_C}{I_0}(j) \quad (56)$$

über die bereits durchgeführten Einzelmessungen gebildet und mit dem vorigen Mittelwert  $E_C/I_0|_{z-1}$  verglichen. Befindet sich die Abweichung im Bereich kleiner  $\gamma$  wird von Konvergenz ausgegangen und die Messung beendet. Ansonsten wird die  $z+1$ .te Einzelmessung durchgeführt. Um den Messaufwand moderat zu halten schlagen wir ein relativ hohes  $\gamma$  im Bereich von etwa 10-20% vor. Zusätzlich sollte ein maximales  $B (\approx 10)$  spezifiziert werden, nachdem auf jeden Fall die Messung beendet und das Gesamtergebnis nach Formel (55) ermittelt wird.

4. Abbruch nach **M aufeinanderfolgender Einzelmessungen deutlicher Ausprägung:** Im Fall, dass die ersten  $M$  Einzelmessungen ausschliesslich entweder deutlich über oder unter dem geforderten Schwellwert  $E_C/I_0|_{soll,P}$  liegen, wird die Messung abgebrochen. Die Bevölkerungseinheit gilt als versorgt falls alle  $M$  Einzelmessungen  $E_C/I_0(j)$  grösser als  $E_C/I_0|_{soll,P} + T$ , bzw. als nicht versorgt, falls alle  $M$  Einzelmessungen  $E_C/I_0(j)$  kleiner als  $E_C/I_0|_{soll,P} - T$  sind. Falls die  $M$  ersten Einzelmessungen keinem dieser zwei Fälle entsprechen, werden  $B$

Messungen durchgeführt und das Gesamt Messresultat nach Formel (55) ermittelt. Für die Parameter werden folgende Werte vorgeschlagen:  $M=3$ ,  $T=3dB$ ,  $B=10$ .

In jedem der definierten Verfahren sollten alle Einzelmessungen innerhalb des im folgenden Unterkapitel definierten Messzeitraums durchgeführt werden.

### 8.3 Auswahl der Tageszeit

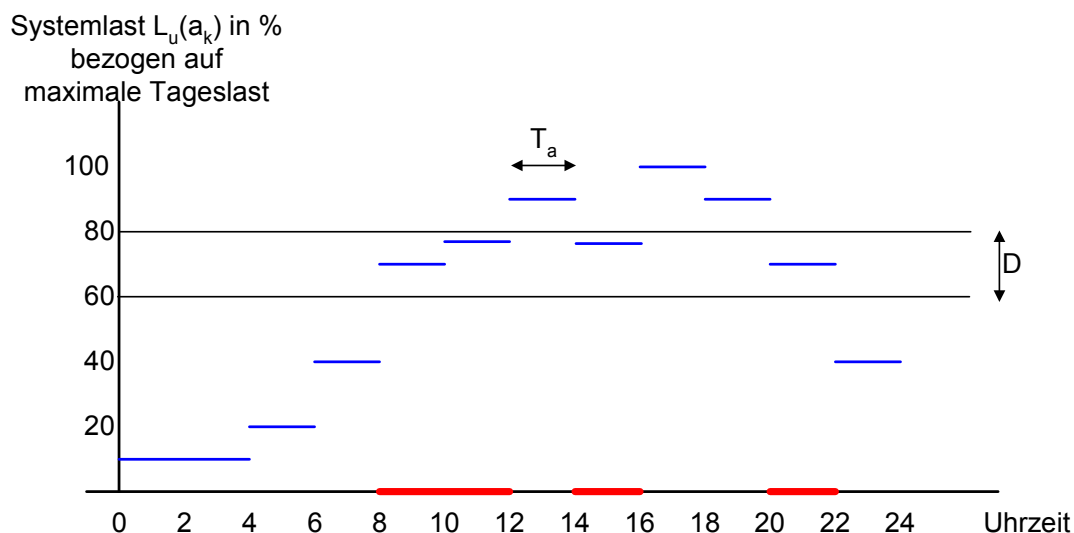
Aufgrund der anzunehmenden tageszeitlichen Schwankungen der Systemlast sollte ein einheitlicher Tageszeitraum definiert werden, während dem die Messungen durchzuführen sind. Der immense Einfluss der Systemlast auf die Qualität des empfangenen Signals ist durch das in UMTS angewandte CDMA Zugriffsverfahren gegeben. Im Gegensatz zu Mobilfunksystemen der zweiten Generation sind in UMTS ausserdem relativ stark ausgeprägte kurzzeitige Schwankungen der Systemlast zu erwarten. Ein einzelner hochratiger Datendienstes führt zu einem ausgeprägten Anstieg der Systemlast für die Dauer der Verbindung. Es ist zu erwarten, dass solche kurzzeitige Lastschwankungen im Minuten-Raster stattfinden. Schwankungen dieser Art wird durch die, im vorigen Unterkapitel vorgeschlagene, Durchführung mehrerer zeitlich voneinander getrennter Einzelmessungen Rechnung getragen. Gegenstand des vorliegenden Unterkapitels ist die relativ langsame Veränderung der durchschnittlichen Last über den Verlauf eines Tages.

#### 8.3.1 Bereitstellung der Systemlast Kurven

Zur Definition des Messzeitraumes sollte jeder Betreiber eine empirisch ermittelte Kurve der Verteilung der durchschnittlichen Systemlast pro Funkzelle über den Verlauf eines Tages bereit stellen. Die Lastkurve kann wie folgt ermittelt werden: Die 24 Stunden des Tages werden in  $A$  gleich lange Abschnitte  $a_k$  der Dauer  $T_a=24/A$  aufgeteilt. An  $F$  aufeinanderfolgenden Werktagen ermittelt der Lizenzinhaber für alle Zellen die durchschnittliche Systemlast innerhalb jeder der  $A$  Zeitabschnitte. Nach  $F$  Tagen wird für jeden der  $A$  Zeitabschnitte  $a_k$  und für jede Funkzelle  $u$  die durchschnittliche Systemlast  $L_u(a_k)$  über die  $F$  Tage ermittelt.

$$L_u(a_k) = \frac{1}{F} \cdot \sum_{f=1}^F L_u(a_k, f) = \frac{1}{F} \cdot \sum_{f=1}^F \left( \frac{1}{T_a} \int_{t=0}^{T_a} L_u(t, f) dt \right) \quad (57)$$

Der Lizenzinhaber muss hierfür also über die Dauer der  $F$  Tage den Verlauf der Systemlast  $L_u(t, f)$  aufzeichnen. Vorgeschlagen wird die Definition der Systemlast in Form von akkumulierter Downlink Bitrate aller aktiven Radio Träger. Für  $T_a$  wird eine Dauer von 1-2 Stunden, für die Anzahl der Tage  $F=5-10$ , vorgeschlagen.



**Bild 14: Empirisch ermittelte Systemlast-Kurve zur Definition der Messzeiträume**

### 8.3.2 Festlegung des Messzeitraums

#### 8.3.2.1 Option 1: Individuelle Systemlast Kurven

Anhand der Systemlast Kurve, wie sie in Bild 14 dargestellt ist, kann der Zeitraum, während dem die Messungen durchzuführen sind, wie folgt festgelegt werden: Bezogen auf die maximale Systemlast (100%) wird ein Bereich  $D$  festgelegt. Die Messungen in Zelle  $u$  werden dann in den Zeitbereichen durchgeführt, in denen die Systemlast innerhalb des Bereiches  $D$  liegt. Im dargestellten Beispiel umfasst  $D$  den Bereich von 60-80% der maximal aufgetretenen Systemlast. Daraus ergeben sich folgende mögliche Messzeiträume: 8-12h, 14-16h und 20-22h.

#### 8.3.2.2 Option 2: Kombinierte Systemlast Kurve

Da die Systemlast Kurven für unterschiedliche Betreiber variieren, sind auch die entsprechenden möglichen Messzeiträume verschieden. Sollen die Messzeiträume für alle Operatoren und alle Funkzellen gleich sein, so kann die Festlegung dieser Zeiträume anhand einer kombinierten Systemlast Kurve durchgeführt werden. Hierzu bestimmt jeder Betreiber zunächst eine Systemlast Kurve bezüglich seines gesamten Netzes (also nicht bezüglich einzelner Zellen). Danach werden die Betreiber spezifischen Systemlast Kurve zu einer kombinierten Kurve addiert. Anhand der resultierenden kombinierten Lastkurve werden dann nach dem gleichen Verfahren wie in Option 1 die Messzeiträume über einen zuvor definierten Lastbereich  $D$  bestimmt.

#### 8.3.2.3 Option 3: Gleiche absolute Lastvoraussetzung für alle Betreiber

Denkbar wäre weiterhin die Festlegung der Messzeiträume, sodass zum Zeitpunkt der Messung ungefähr gleiche absolute Systemlast in Form von akkumulierter Downlink Bitrate herrscht. Demnach müsste ein Bereich der Downlink Systemlast (z.B. 400-600kbit/s pro Zelle) definiert werden. Anhand der von den Operatoren bereit gestellten Systemlast Kurven könnten dann für jeden Operator individuell die Messzeiträume bestimmte werden, also die Zeiträume in denen die zu erwartende Last im vorgegebenen Bereich liegt. Dieses Verfahren ist jedoch nicht empfehlenswert, weil unterschiedliche Operatoren ihre Netze für unterschiedliche

Systemlasten geplant haben könnten. Eine Bestimmung der Messzeiten bezüglich einer absoluten Systemlast würde dann unfaire Bedingungen schaffen.

## 8.4 Zusammenfassung: Messdauer, Anzahl der Einzelmessungen und Messzeitraum

In diesem Kapitel wurden Vorschläge zur Dauer, Häufigkeit und Zeit der durchzuführenden Messungen erarbeitet.

Die Dauer einer Einzelmessung kann entweder fest vorgegeben werden oder nach Eintreten eines Konvergenzkriteriums abgebrochen werden. Bezüglich der fest vorgegebenen Messdauer wurde ein in der Literatur empfohlener Wert und ein durch Simulation ermittelter Wert vorgestellt.

Bezüglich der Anzahl der Einzelmessung wurden vier Vorschläge erarbeitet: 1.) Die Durchführung nur einer Einzelmessung, 2.) Die Durchführung einer festen Anzahl von Messungen und anschließender Mittelung, 3.) Abbruch der Einzelmessungen nach Eintreten eines Konvergenzkriteriums, 4.) Abbruch der Einzelmessungen nach einer Anzahl stark ausgeprägter Einzelmessungen, die entweder deutlich über oder deutlich unter des vorgegebenen Schwellwertes liegen.

Die Auswahl der Messzeit wird anhand von Systemlast Kurven getroffen. Hierbei können entweder Operator-spezifische Messzeiträume, oder aber, durch Bezug auf eine kombinierte Systemlast Kurve, für alle Operatoren einheitliche Messzeiträume ermittelt werden. Vorgeschlagen wird die Auswahl der Messzeit anhand relativer Systemlast (bezogen auf die maximale Last, Optionen 1 und 2), nicht jedoch anhand einer absoluten Systemlast (Option 3). Zur Reduktion des vom Konzessionsinhaber zu erbringenden Aufwandes ist Option 2 gegenüber Option 1 vorzuziehen, weil in Option 2 nur eine auf das gesamte Netz bezogene Systemlast Kurve bereitgestellt werden muss, also nicht für jede Zelle die Last individuell aufzuzeichnen ist.

Die in diesem Kapitel erarbeiteten Optionen sind in Bild 15 zusammengefasst.

Messdauer pro Einzelmessung	Fest definierte Messdauer			Dynamische Messdauer: Abbruch nach Konvergenz
	Aus Literatur: 42s	Aus Simulation: 312.5s		
Anzahl der Einzelmessungen	Eine Einzelmessung	Fixe Anzahl von Einzelmessungen (B=10)	Abbruch der Einzelmessungen nach Konvergenz	Abbruch nach M Einzelmessungen deutlicher Ausprägung (M=3)
Festlegung der Messzeiträume	Anhand relativer Systemlast bzgl. individueller Systemlast Kurven	Anhand relativer Systemlast bzgl. kombinierter Systemlast Kurven	Anhand absoluter Systemlast individueller Systemlast Kurven	

**Bild 15: Optionen zur Definition der Messzeit, Messdauer und Messhäufigkeit**

## **9 Vom Operator bereitzustellende Netzwerk Parameter**

### **9.1 Von der Telekom-Control-Kommission geforderte Unterlagen**

Laut [3] müssen alle Konzessionsinhaber folgende Unterlagen bis spätestens 2 Monate nach den in Kapitel 1.1 genannten Terminen der Telekom-Control-Kommission vorlegen:

- Aufstellung aller Basisstationsstandorte, inkl. der geokodierten Daten (GIS-Format), Zellen und Frequenzkanäle
- Verkehrswerte und Auslastungen der Zellen
- Weitere wesentliche Eingangsparameter für die Simulationsrechnungen
- Kartendarstellung Österreichs mit Basisstationsstandorten und versorgten Gebieten – Best-Server-Plot (GIS-Format)
- Eine Liste der versorgten Zählsprengel und Ortschaften
- Der daraus berechnete Versorgungsgrad

### **9.2 Weitere Daten**

- Durchschnittliche Systemlast der Zellen in Abhängigkeit von der Tageszeit, wie in Abschnitt 8.3.2, spezifiziert. Alternativ: Über das gesamte Netz des jeweiligen Betreibers gemittelte Systemlast in Abhängigkeit von der Tageszeit.

---

## 10 Zusammenfassender Überblick

In Bild 16 sind alle in dieser Studie erarbeiteten Optionen zusammengefasst. Bezüglich der Bestimmung der UMTS-Versorgung an einem Ort wird eine Methode vorgeschlagen, in der das  $E_c/I_0$  auf dem Pilot Kanal mit einem WCDMA Scanner gemessen wird. Der Messwert wird mit einer Mindestanforderung verglichen, die auf ausreichende Versorgung mit einem 128kbit/s Träger Dienst schliessen lässt.

Der gesamte Versorgungsgrad sollte bezüglich der versorgten Bevölkerung und nicht einfach bezüglich der versorgten Ortschaften und Zählsprengel definiert werden. Eine geschichtete Stichprobenerhebung ist erforderlich.

Im Fall, dass der vorbestimmte Messort nicht zugänglich ist, wird eine iterative Erweiterung des Bereiches vorgeschlagen, solange bis in dem erweiterten Bereich zugängliche Orte liegen. Die Auswahl des tatsächlichen Messortes innerhalb der zugänglichen Bereiche kann von der Telekom-Control-Kommission vorbestimmt werden, falls dieser geographische Karten ausreichender Genauigkeit vorliegen.

Die Messzeit sollte so festgelegt werden, dass während dieser die zu erwartende Systemlast einen bestimmten Anteil der maximal determinierten Systemlast ausmacht. Die Dauer einer Einzelmessung sollte dynamisch angepasst werden, d.h. die Messung wird nach Erfüllung eines Konvergenzkriteriums abgebrochen. Eine ausreichend lange Dauer der Einzelmessung impliziert, dass mehrere Einzelmessungen an einem gegebenen Ort nicht unbedingt erforderlich sind.



Bestimmung der Empfangsqualität					
QoS Parameter auf unterschiedlichen Ebenen	QoS auf Radio Träger Ebene	QoS auf Transport Kanal	QoS auf physikalischem Kanal		
			Nutz Kanal	Pilot Kanal	
Vorzugebende Minimalanforderung für UMTS Versorgung	Vorgabe und Messung aller für den Radio Träger definierten QoS-Parameter	Vorgabe und Messung von Fehler Raten auf dem Transportkanal	Vorgabe und Messung des Ec/Io auf dem Nutzkanal	indirekte Ec/Io Vorgabe: -17.3dB	direkte Ec/Io Vorgabe: -18db
Messeinrichtung	UMTS Testterminal+QoS Messtool	UMTS Testterminal		WCDMA Scanner	
Ermittlung des Versorgungsgrades					
Definition des Versorgungsgrad	Anteil der versorgten Bevölkerungseinheiten an der Gesamtmenge der Bevölkerungseinheiten		Anteil der versorgten Bevölkerung an der gesamten Bevölkerung des Landes		
Stichproben-erhebung	Rein zufällige Auswahl der Bevölkerungseinheiten der Grundgesamtheit in die Stichprobe		Schichtung der Grundgesamtheit in K Partitionen. Aus jeder Partition wird je eine Stichprobe rein zufällig ausgewählt		
Umfang der Stichprobe und Genauigkeit der Schätzung	Iteratives erhöhen des Stichprobenumfangs bis vorgegebener Standard Error erreicht wird		Genauigkeit hängt nicht nur vom Standard Error sondern auch von der Streuung der Einwohnerzahlen in jeder Partition ab. Stichprobenumfang kann erst nach Kenntnis der Grundgesamtheit ermittelt werden		
Bestimmung alternativer Messorte					
Vorgehen zur Bestimmung alternativer Messorte	Iteratives zirkulares Erweitern des Bereiches bis in diesem für die Messung zugängliche Bereiche liegen. Vorschlag für den Iterationsradius: 10-20m				
Auswahl eines Messortes aus möglichen Messbereichen	Messunternehmen wählt Messorte aus und teilt diese der Kontroll Kommission mit	Messunternehmen wählt geplante Messorte aus lässt diese von der Kontroll Kommission bestätigen	Anhand detaillierter geograph. Karten bestimmt die Kontroll Kommission die Messorte und teilt sie dem Messunternehmen mit		
Zeitliche Koordination der Messungen					
Messdauer pro Einzelmessung	Fest definierte Messdauer			Dynamische Messdauer: Abbruch nach Konvergenz	
	Aus Literatur: 42s		Aus Simulation: 312.5s		
Anzahl der Einzelmessungen	Eine Einzelmessung	Fixe Anzahl von Einzelmessungen (B=10)	Abbruch der Einzelmessungen nach Konvergenz	Abbruch nach M Einzelmessungen deutlicher Ausprägung (M=3)	
Festlegung der Messzeiträume	Anhand relativer Systemlast bzgl. individueller Systemlast Kurven		Anhand relativer Systemlast bzgl. kombinierter Systemlast Kurven	Anhand absoluter Systemlast individueller Systemlast Kurven	

Bild 16: Zusammenfassung aller erarbeiteten Optionen

## 11 Anhang 1: Gewichtete Stichproben Auswahl

In der ersten Version des Zwischenberichts wurde eine gewichtete Stichprobenauswahl vorgeschlagen. Diesem Vorschlag lag das Anliegen zugrunde bevorzugt kritische Bevölkerungseinheiten aus der Grundgesamtheit zu überprüfen und andererseits Bevölkerungseinheiten, in denen mit grosser Wahrscheinlichkeit Abdeckung angenommen werden kann (z.B. wenn der definierte Messort sehr nahe bei der Basisstation liegt) weniger häufig in die Stichprobe zu wählen. Eine solche gewichtete Auswahl verletzt jedoch das Grundprinzip zufälliger Stichproben Erhebungen: Die Stichprobe würde die Grundgesamtheit nicht wahrheitsgetreu abbilden. Dieser Vorschlag wurde deshalb verworfen. Der Vollständigkeit halber wird er hier im Anhang beschrieben.

Wie aus Kapitel 5 hervorgeht, gibt es bestimmte Parameter, die wesentlichen Einfluss auf den Nachweis des Versorgungsgrades einer Bevölkerungseinheit ausüben. Die Werte dieser beeinflussenden Parameter sind zum Teil indirekt bereits vor der Messung bekannt. Die vorhandene a priori Information kann ausgenutzt werden um bevorzugt solche Bevölkerungseinheiten auszuwählen, in denen die Werte der beeinflussenden Systemparameter auf geringere Versorgungswahrscheinlichkeit schliessen lassen.

### 11.1.1 Gewichtete Auswahl bezüglich der zu erwartenden Dämpfung

Aus Kapitel 5.1 geht hervor, dass die Dämpfung auf dem physikalischen Ausbreitungskanal zwischen Sender und Empfänger die Qualität des empfangenen Signals wesentlich beeinflusst. Die Gesamtdämpfung lässt sich unterteilen in *mittlere Ausbreitungsdämpfung*, *Abschattung* und *Fast Fading*.

Das durch die Mehrwegeausbreitung zu erwartende Fast Fading lässt sich nicht abschätzen und variiert ausserdem stark mit der Zeit. Hinsichtlich dieser Dämpfungskomponente kann also keine Gewichtung der Bevölkerungseinheiten getroffen werden.

Die zu erwartende Abschattung lässt sich grob durch die Beschaffung des Geländes zwischen Sender und Empfänger abschätzen. In ebenen Umgebungen mit wenig Bebauung wird die Abschattung relativ gering, in bergigen Umgebungen und stark bebauten Gebieten (Städte) eher hoch, sein.

Die zu erwartende mittlere Ausbreitungsdämpfung lässt sich über den Abstand zwischen Sender und Empfänger abschätzen.

Eine gewichtete Auswahl der Bevölkerungseinheiten in die Stichprobe kann also hinsichtlich

- der Geländebeschaffenheit,
  - des Abstandes zwischen vorbestimmten Messort und nächster Basisstation
- getroffen werden.

#### 11.1.1.1 Gewichtung hinsichtlich des Abstandes zwischen vorbestimmten Messort und nächster Basisstation

In diesem Abschnitt wird eine Methode vorgeschlagen, die Bevölkerungseinheiten deren vorbestimmter Messort weit von der nächstliegenden Basisstation entfernt liegt, bevorzugt in die Stichprobe wählt.

Für eine konkrete Bevölkerungseinheit  $z_k \in G$  sei  $d(z_k)$  der Abstand zwischen vorbestimmten Messort und nächstliegender Basisstation. Es sei

$$d_{\max} = \max_{z_k \in G} (d(z_k)) \quad (58)$$

Der Bereich zwischen 0 und  $d_{\max}$  wird linear in  $m_d$  gleich grosse Distanzklassen  $D_1, \dots, D_{m_d}$  eingeteilt. Die  $i$ .te Distanzklasse  $D_i$  enthält alle Distanzen im Bereich  $[(i-1)\Delta, i\Delta]$ , mit  $\Delta = d_{\max} / m_d$ .

Alle Bevölkerungseinheiten  $z_k \in G$  mit  $d(z_k) \in D_i$  werden mit gleicher Wahrscheinlichkeit  $f(D_i)$  in die Stichprobe gewählt. Die Wahrscheinlichkeiten  $f(D_i)$  werden so gewichtet, dass gilt:

$$f(D_{i+1}) = i \cdot k \cdot f(D_i), \forall i \in [1, \dots, m_d - 1] \text{ mit } k > 1. \quad (59)$$

Nach der Zuordnung der Distanzen  $d(z_k)$  aller Bevölkerungseinheiten aus  $G$  zu den entsprechenden Distanzklassen, sei  $u_i$  die Anzahl der Bevölkerungseinheiten, deren Distanzen in  $D_i$  liegen. Die normierte Wahrscheinlichkeit  $f(D_1)$  berechnet sich dann aus

$$1 = f(D_1) + \sum_{i=1}^{m_d-1} u_{i+1} \cdot i \cdot k \cdot f(D_1) = f(D_1) \cdot \left( 1 + k \sum_{i=1}^{m_d-1} i \cdot u_{i+1} \right) \quad (60)$$

zu

$$f(D_1) = \frac{1}{1 + k \sum_{i=1}^{m_d-1} i \cdot u_{i+1}}. \quad (61)$$

### 11.1.1.2 Gewichtung hinsichtlich der Geländebeschaffenheit

In diesem Abschnitt wird eine Methode vorgeschlagen, die Bevölkerungseinheiten in Umgebungen mit grosser zu erwartenden Abschattung bevorzugt in die Stichprobe wählt. Hierzu werden die möglichen Umgebungen (z.B. flaches Land, Stadtkern, Dörfer, Vorstädte, bewaldete Gebiete, Bergland, usw.) in  $m_a$  Abschattungsklassen  $A_1, \dots, A_{m_a}$  eingeteilt, so dass  $A_1$  die Umgebungen kleinster, und  $A_{m_a}$  die Umgebungen grösster zu erwartenden Abschattung enthält.

Die einer Bevölkerungseinheit  $z_k \in G$  zugeordnete Abschattungsklasse sei  $A(z_k) \in \{A_1, \dots, A_{m_a}\}$ .

Alle Bevölkerungseinheiten  $z_k \in G$  mit  $A(z_k) = A_i$  werden mit gleicher Wahrscheinlichkeit  $f(A_i)$  in die Stichprobe gewählt. Die Wahrscheinlichkeiten  $f(A_i)$  werden so gewichtet, dass gilt:

$$f(A_{i+1}) = i \cdot h \cdot f(A_i), \forall i \in [1, \dots, m_a - 1] \text{ mit } h > 1. \quad (62)$$

Nach der Einteilung aller Bevölkerungseinheiten aus  $G$  in ihre Abschattungsklassen sei  $v_i$  die Anzahl der in  $A_i$  enthaltenen Bevölkerungseinheiten. Die normierte Wahrscheinlichkeit  $f(A_1)$  berechnet sich dann aus

$$1 = f(A_1) + \sum_{i=1}^{m_a-1} v_{i+1} \cdot i \cdot h \cdot f(A_1) = f(A_1) \cdot \left( 1 + h \sum_{i=1}^{m_a-1} i \cdot v_{i+1} \right) \quad (63)$$

zu

$$f(A_1) = \frac{1}{1 + h \sum_{i=1}^{m_a-1} i \cdot v_{i+1}}. \quad (64)$$

Das mit dieser Gewichtungsmethode verbundene Problem ist die Einteilung der Bevölkerungseinheiten in Abschattungsklassen. Diese beruht nicht auf einer objektiv messbaren Grösse (wie im Fall der Distanz), sondern auf einer subjektiven Einschätzung. Herangezogen werden könnten, die Abschattungsdaten, die der Konzessionsinhaber bei der Simulation seines Netzes für die jeweiligen Bevölkerungseinheiten benutzt hat.

Möglich ist auch eine Kombination aus Abschattungs- und Distanz Gewichtung. In diesem Fall wird eine Bevölkerungseinheit  $z_k \in G$  in der Distanzklasse  $D_i$  und Abschattungsklasse  $A_j$  mit der Wahrscheinlichkeit

$$f(z_k) = \frac{1}{2}(f(D_i) + f(A_j)) \quad (65)$$

in die Stichprobe gewählt.

### 11.1.2 Gewichtete Auswahl bezüglich der durchschnittlichen Systemlast

Aus Kapitel 5.3 geht hervor, dass die mit der Systemlast ansteigende Interferenz am Eingang des Empfängers die Qualität des empfangenen Signals wesentlich beeinflusst.

Neben der Gewichtung bezüglich der Abschattung und des Abstandes zwischen vorbestimmten Mesort und nächstliegender Basisstation erscheint auch eine Gewichtung bezüglich der Systemlast als sinnvoll. Daten über die durchschnittliche Systemlast sind laut [3] vom Konzessionsinhaber bereitzustellen.

In diesem Abschnitt wird eine Methode vorgeschlagen, die Bevölkerungseinheiten mit hoher durchschnittlicher Systemlast bevorzugt in die Stichprobe wählt.

Für eine konkrete Bevölkerungseinheit  $z_k \in G$  sei  $s(z_k)$  die akkumulierte Last der  $q$  Basisstationen, die dem vorbestimmten Messort am nächsten liegen (Vorschlag:  $q \in \{1, 2, 3, 4\}$ ). Es sei

$$s_{\max} = \max_{z_k \in G} (s(z_k)) \quad (66)$$

Der Bereich zwischen 0 und  $s_{\max}$  wird linear in  $m_s$  gleich grosse Lastklassen  $S_1, \dots, S_{m_s}$  eingeteilt. Die  $i$ .te Lastklasse  $S_i$  enthält Lasten im Bereich  $[(i-1)\Delta, i\Delta]$ , mit  $\Delta = s_{\max} / m_s$ .

Die einer Bevölkerungseinheit  $z_k \in G$  zugeordnete Lastklasse sei  $S(z_k) \in \{S_1, \dots, S_{m_s}\}$ .

Alle Bevölkerungseinheiten  $z_k \in G$  mit  $S(z_k) = S_i$  werden mit gleicher Wahrscheinlichkeit  $f(S_i)$  in die Stichprobe gewählt. Die Wahrscheinlichkeiten  $f(S_i)$  werden so gewichtet, dass gilt:

$$f(S_{i+1}) = i \cdot l \cdot f(S_i), \forall i \in [1, \dots, m_s - 1], \text{ mit } l > 1. \quad (67)$$

Nach der Einteilung aller Bevölkerungseinheiten aus  $G$  in ihre Lastklassen sei  $w_i$  die Anzahl der in  $S_i$  enthaltenen Bevölkerungseinheiten. Die normierte Wahrscheinlichkeit  $f(S_1)$  berechnet sich dann aus

$$1 = f(S_1) + \sum_{i=1}^{m_s-1} w_{i+1} \cdot i \cdot l \cdot f(S_1) = f(S_1) \cdot \left( 1 + l \sum_{i=1}^{m_s-1} i \cdot w_{i+1} \right) \quad (68)$$

zu

$$f(S_1) = \frac{1}{1 + l \sum_{i=1}^{m_s-1} i \cdot w_{i+1}}. \quad (69)$$

Möglich ist auch eine Kombination aus Abschattungs-, Distanz- und Systemlast Gewichtung. In diesem Fall wird eine Bevölkerungseinheit  $z_k \in G$  in der Distanzklasse  $D_i$ , Abschattungsklasse  $A_j$  und Lastklasse  $S_l$  mit der Wahrscheinlichkeit

$$f(z_k) = \frac{1}{3} (f(D_i) + f(A_j) + f(S_l)) \quad (70)$$

in die Stichprobe gewählt.

## 12 Literaturverzeichnis

- [1] 3GPP Technical Specification Group: *3G TS 22.105 V3.10.0, Services and Service Capabilities*
- [2] 3GPP Technical Specification Group: *3G TS 23.107 V3.3.0, QoS Concept and Architecture*
- [3] RTR-GmbH: *Ausschreibungsunterlage für die Erstellung einer Studie über Messverfahren zur Überprüfung des Versorgungsgrades der UMTS-Betreiber*
- [4] B.Walke: *Mobilfunknetze und ihre Protokolle*, Teubner Verlag, Stuttgart
- [5] 3GPP Technical Specification Group RAN: *3G TR 25.853 V4.0.0, Delay Budget within the Access Stratum*
- [6] H. Holma and A. Toskala: *WCDMA for UMTS*, Wiley-Verlag, 2001
- [7] UMTS 30.03 V 3.2.0: Selection procedures for the choice of radio transmission technologies of the UMTS.
- [8] Telekom Control Kommission Österreich, *Ausschreibungsunterlage im Verfahren betreffend Frequenzuteilungen für Mobilfunksysteme der 3. Generation (UMTS/IMT-2000)*, Wien, Juli 2000.
- [9] 3GPP Technical Specification Group: *3G TS 34.108 V4.2.0 Common Test Environments for User Equipment (UE) Conformance Testing*
- [10] 3GPP Technical Specification Group: *3G TS 34.121 V3.4.0 Terminal Conformance Specification; Radio Transmission and Reception*
- [11] J.Laiho, A.Wacker and T. Novosad: *Radio Network Planning and Optimization for UMTS*, Wiley-Verlag, 2002
- [12] T.S. Rappaport: *Wireless Communications*, Prentice Hall, New Jersey, 1996
- [13] W.C.Y. Lee: *Mobile Communication Engineering*, Mc Graw Hill Book Company, New York, St. Louis, 1982
- [14] M.Ambühl, R.Kaufmann: *Statistik für QNet*, Exposé der Firma Consult AG Bern, mathematische Statistik, August 1999