

Überlegungen zum Spektrumsbedarf zukünftiger LTE-Mobilfunknetze

Christian Lüders, Bernd Sörries

FH Südwestfalen, Breitbandkompetenzzentrum NRW

**Forschungsstelle für Mobiles Breitband am ITM
der Westfälischen-Wilhelms-Universität Münster**

Inhalt

- Hintergrund
- Methodisches Vorgehen
- Entwicklung des Datenvolumens in Deutschland
- Statistiken zu BS-Standorten
- Simulationen zur Spektralen Kapazität
- Szenarien zum Spektrumsbedarf
- Zusammenfassung und Fazit

Generelle Abhängigkeiten beim Spektrumsbedarf

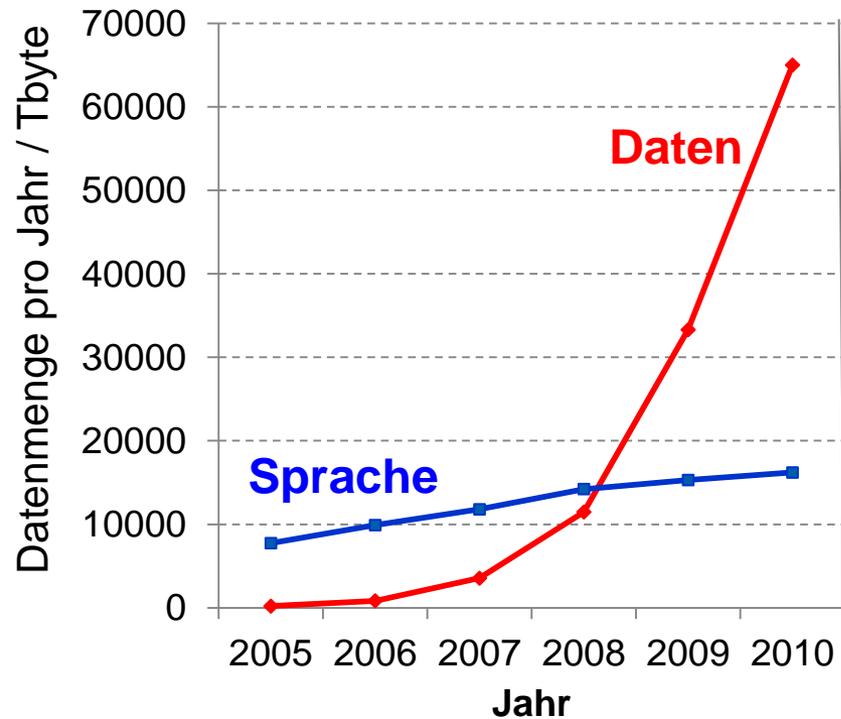
Benötigte Frequenzbandbreite B in MHz hängt ab von:

- mittleres Datenvolumen D pro Teilnehmer und Monat (in GB pro Monat)
- Anzahl der Teilnehmer T pro Basisstationsstandort
- Verhältnis v zwischen Spitzen- und mittlerer Datenrate pro Standort
- spektraler Kapazität κ der Übertragungstechnik (in Mbit/s / (MHz·Sto))
- Umrechnungsfaktor von GB pro Monat auf Mbit/s: $g = 0,003$

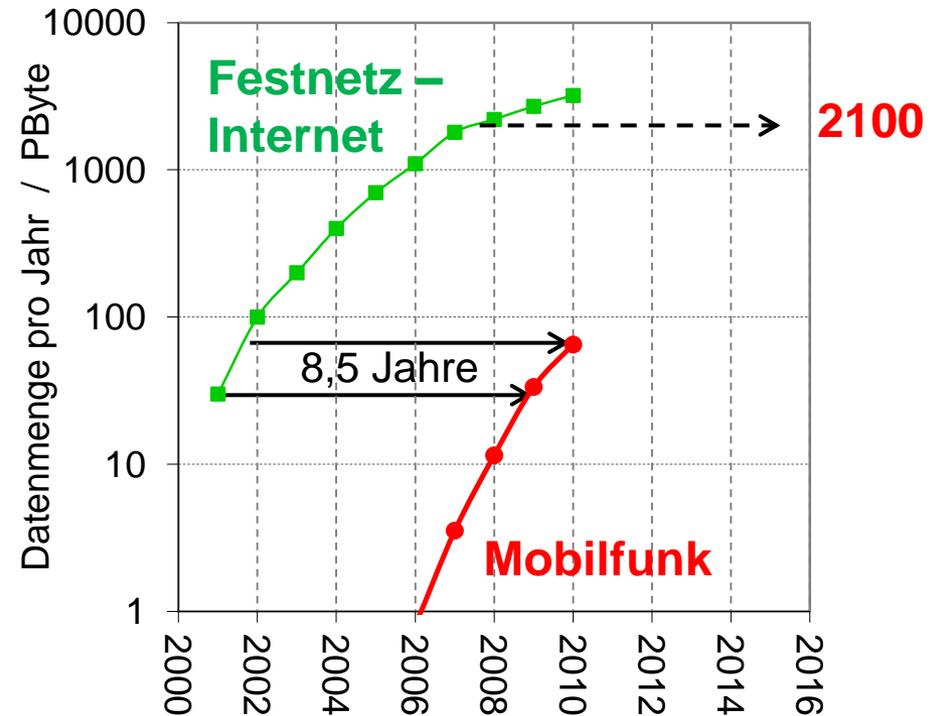
$$B = g \cdot \frac{v \cdot D \cdot T}{\kappa}$$

Entwicklung der Datenmengen in Deutschland

Datenmengen in Mobilfunknetzen



Vergleich Mobilfunk - Festnetz



2010: 66 PB pro Jahr ↔ 65 MB pro Monat und EW
2015: 2100 PB pro Jahr ↔ 2,0 GB pro Monat und EW

Quelle: Bundesnetzagentur, Jahresbericht 2010

Prognosen zu Datenmengen und Datenraten

- Assessment of the global mobile broadband deployments and forecasts for International Mobile Telecommunications, **REPORT ITU-R M.2243**, ITU, 2011.
- **Cisco** Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast, 2011–2016, Feb. 2012
- **UMTS Forum Report**: Mobile Traffic forecasts: 2010-2020, Report 44, Jan. 2011.

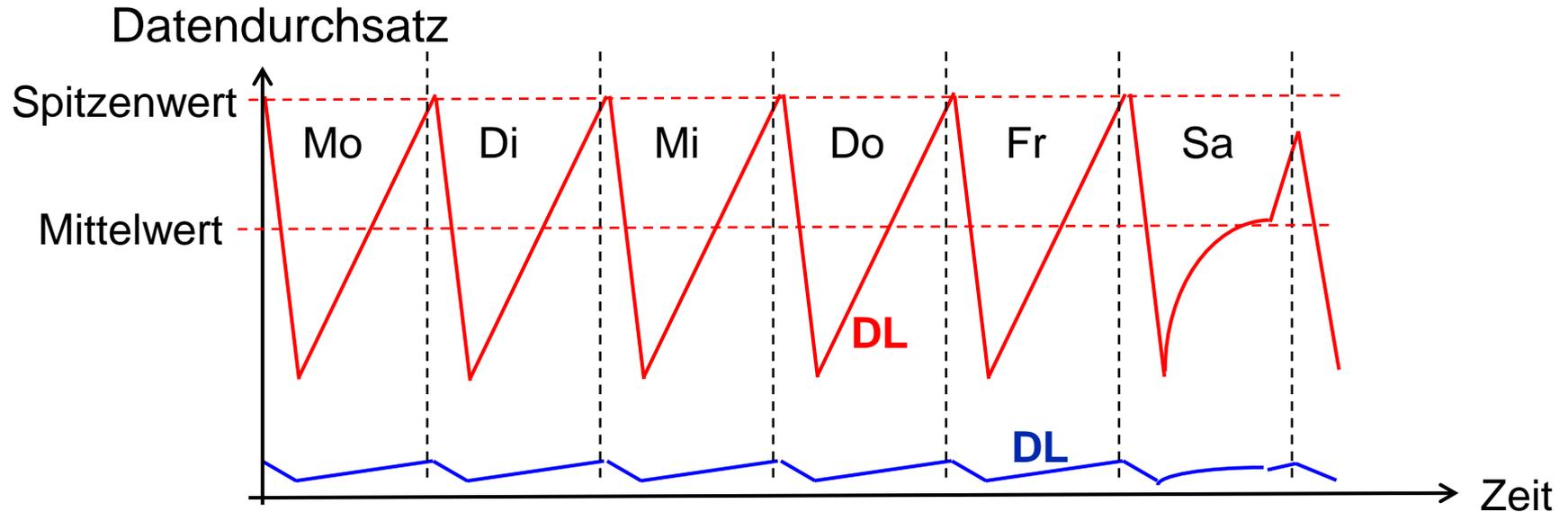
2015: gut **3 GB** pro EW und Monat

2020: knapp **8 GB** pro EW und Monat

20 – 25% Offload auf WLAN, Femtozellen

| Jahr | 2010 | 2015 | 2020 |
|---------------------------------------|------------|------------|-------------|
| Datenmenge pro Monat und EW | 65 MB | 2,0 GB | 6 GB |
| mittlere Datenrate pro 1000 EW | 0,2 Mbit/s | 6,1 Mbit/s | 18,2 Mbit/s |

Mittlerer Durchsatz und Spitzendurchsatz



Statistiken aus skandinavischen Netz

- etwa 80% des Datenaufkommens über nur etwa 20% der Funkzellen
- in diesen Funkzellen: Spitzenwert bei etwa dem 3- bis 4-fachen des Mittelwerts
- Spitzendatenrate zu Mittelwert in diesen Zellen: $v = 10 \dots 15$

Statistik zu Basisstationsstandorten

70000 BS-Standorte in Deutschland

20000 – 25000 pro Betreiber

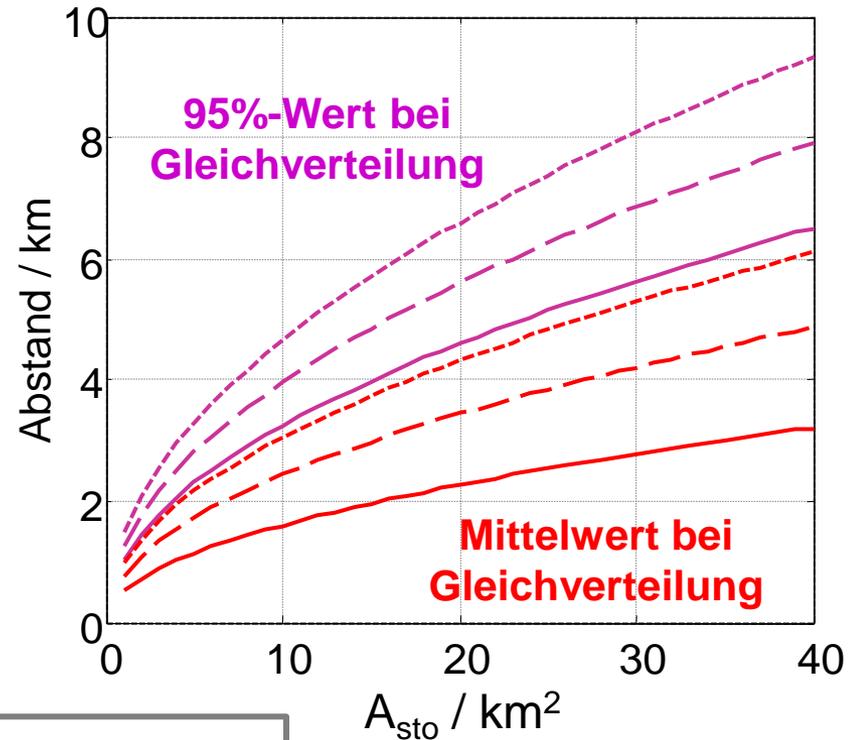
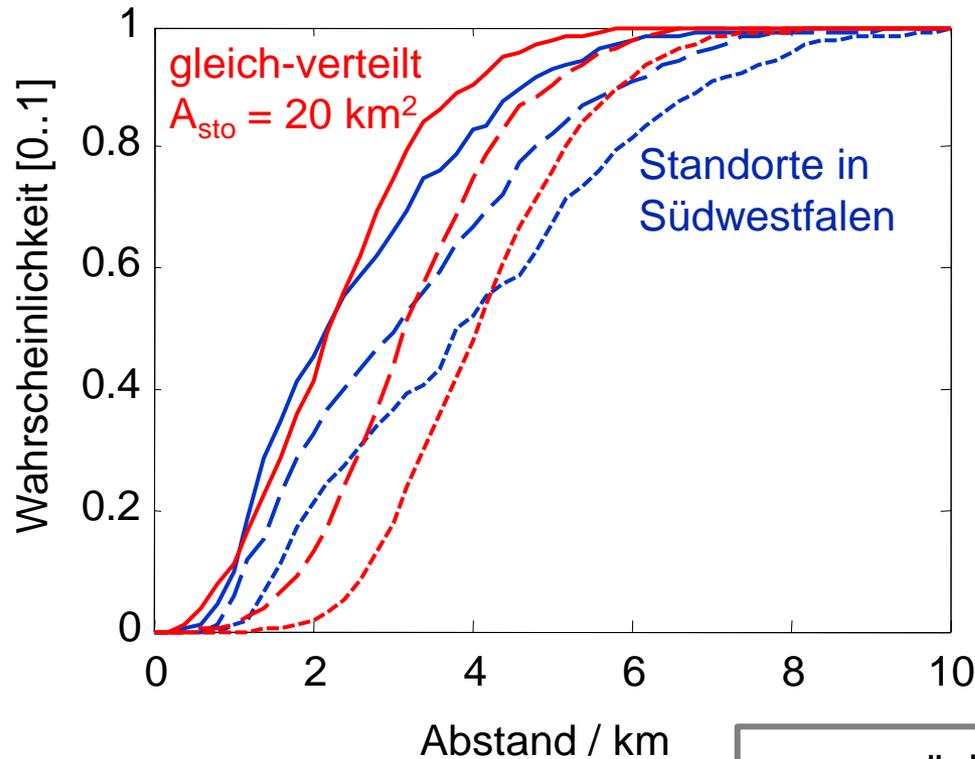
Datenbank der BNetzA

| | TEW / km ² | TEW / Sto | A _{sto} / km ² |
|--------------------|--------------------------|--------------|---------------------------------------|
| Berlin | 3,70 | 3,9 | 1,0 |
| Bremen | 1,37 | 5,1 | 3,2 |
| Mecklenb.-Vor. | 0,11 | 2,7 | 38,1 |
| Niedersachsen | 0,16 | 4,3 | 25,8 |
| NRW | 0,46 | 4,3 | 8,2 |
| Deutschland | 0,23 | 3,9 | 17,1 |

Auswertung von Internet-Seiten mit BS-Sammlungen

| | 1000 EW / Sto | | | | A _{Sto} / km ² |
|--------------------|---------------|------------|------------|------------|---------------------------------------|
| | D1 | D2 | E+ | O2 | |
| Oberberg. Kreis | 3,3 | 3,9 | 3,4 | 3,8 | 11,9 |
| Rhein. Berg. Kreis | 3,7 | 4,0 | 3,6 | 4,1 | 6,0 |
| Remscheid | 3,3 | 4,8 | 4,6 | 3,3 | 2,7 |
| Kreis Olpe | 3,0 | 4,1 | 4,4 | 3,6 | 19,2 |
| Aurich | 3,7 | 5,4 | 4,9 | 5,1 | 32,7 |
| Ostfriesland | 3,7 | 5,2 | 4,6 | 4,5 | 30,2 |
| München | 2,7 | 3,0 | 4,4 | 3,5 | 0,8 |
| Leverkusen | 4,1 | 3,8 | 5,2 | 4,8 | 2,2 |
| Meschede | 3,2 | 4,8 | 4,8 | 4,8 | k. A. |

Statistiken zu BS-Abständen und Versorgungsgebieten von Standorten

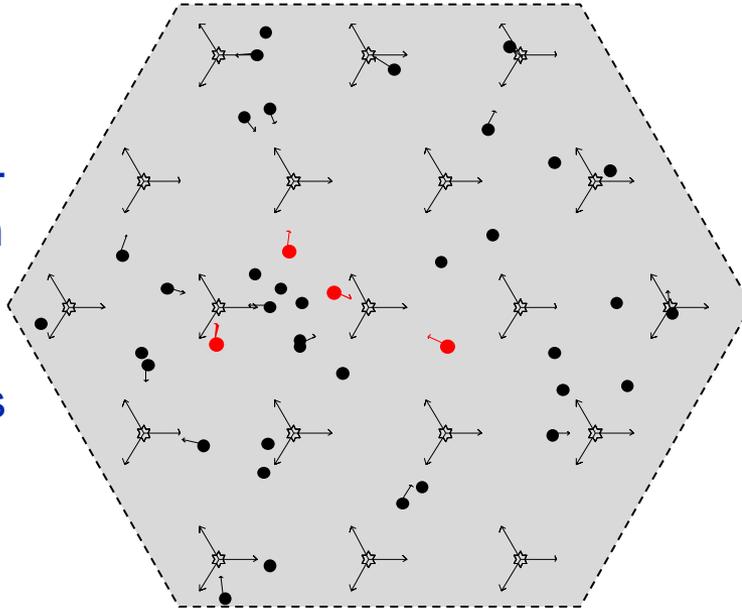


- nächster Standort
- - 2-nächster Standort
- · - 3-nächster Standort

Simulationsannahmen

Monte-Carlo-Simulationen

Homogenes Hexagonales Netz



BS TXPWR: 46 dBm
Antennengewinn: 15/18 dBi
Okumura-Hata/ Cost231-Hata
Wanddämpfung : 15/20 dB

Störpegel I

- Spektrum: 2 x 10 MHz
- alle Zellen gleiche Frequenzen
- voll ausgelastet
- Rauschpegel: $N = -98$ dBm

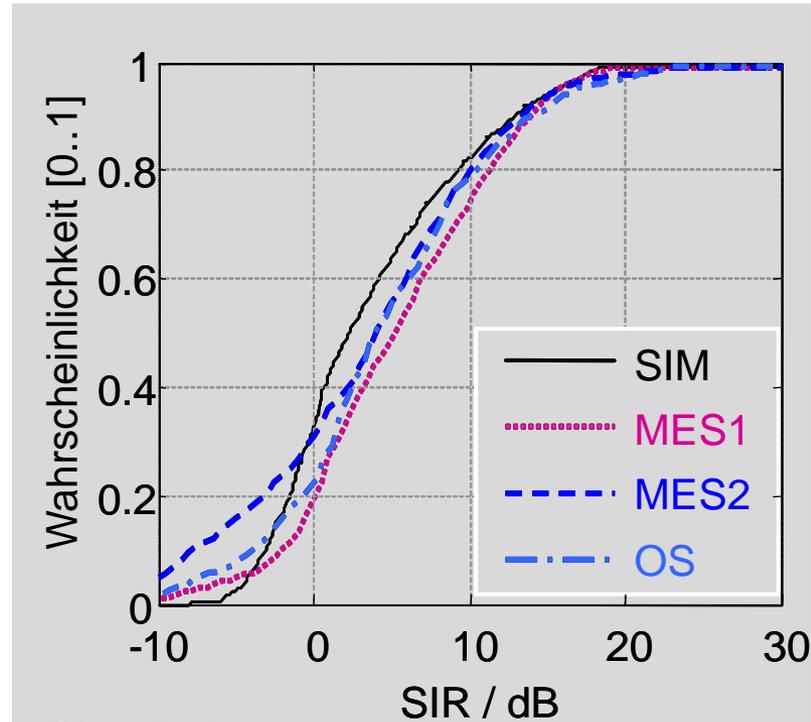
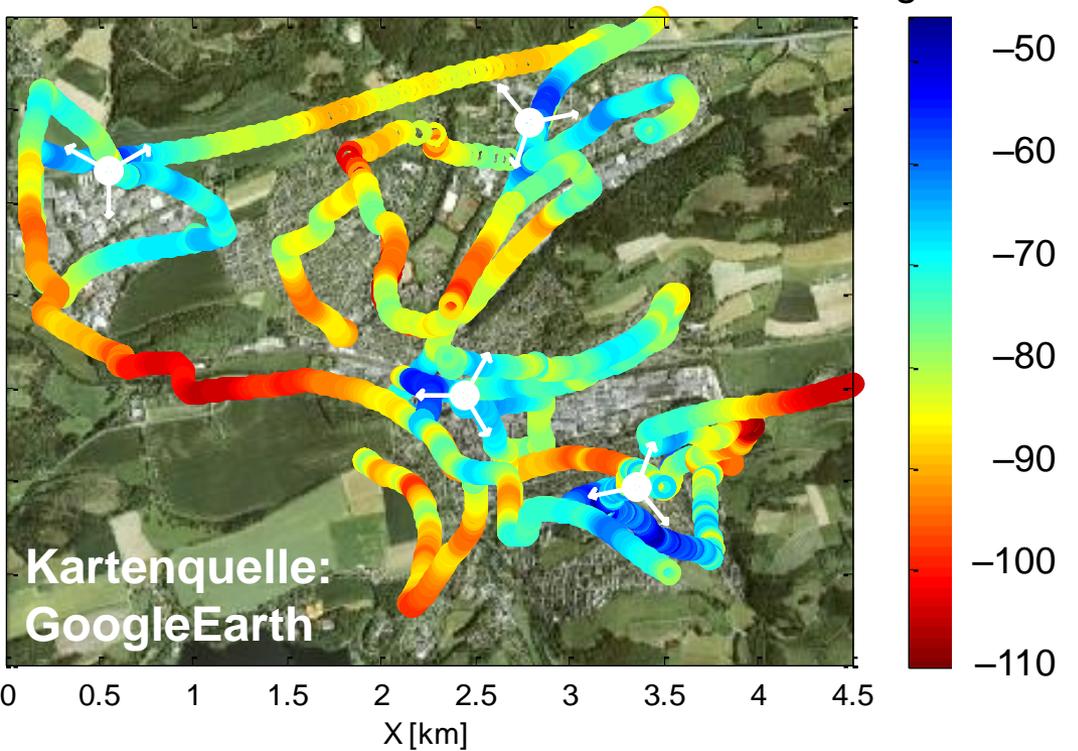


Datenrate

- modifizierte Shannon-Formel
- DL: 2x2 MIMO
- DL → Verdopplung (75 Mbit/s)

Vergleich: Simulationen – UMTS-Messungen

UMTS-Messfahrt in Meschede



Simulationen:

- Urban Environment
- 20 dB Indoor Loss
- 2,6 GHz, 1 km BS-Abstand

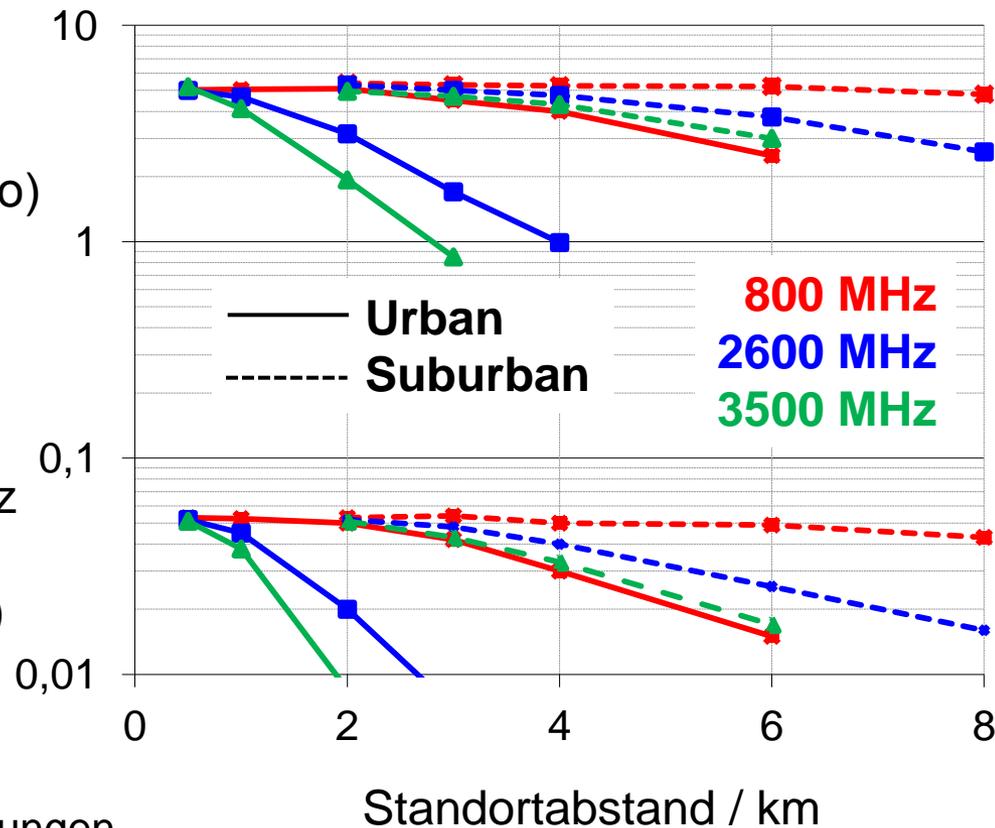
Spektrale Kapazität als Funktion des BS-Abstandes für verschiedene Konstellationen

Spektrale Kapazität κ in Mbit/s / (MHz·Sto)

Spektrale Effizienz am Zellrand ε_r in Mbit/s / (MHz·Sto)



5% schlechteste Verbindungen bei 10 aktiven Verbindungen pro Zelle

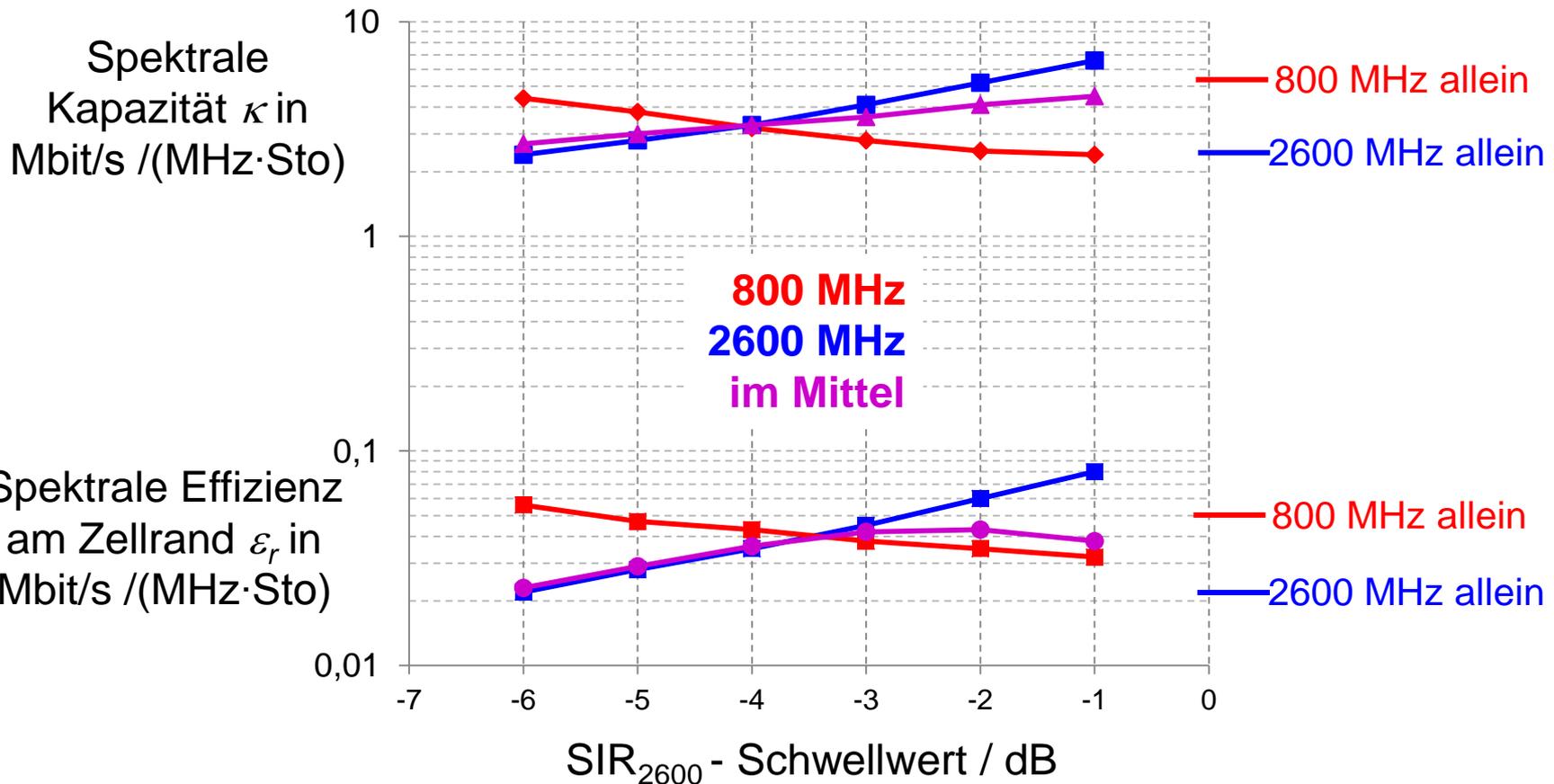


Anmerkungen

- bergige oder hügelige Umgebung: Effekte, die von Hata-Model nicht adäquat wiedergeben werden
- Winner-Kanalmodelle geringere Frequenzabhängigkeit als Cost231-Hata
- in ländlichen Gebieten deutliche Verbesserungen bei höheren Frequenzen durch Verwendung externer Endgeräte-Antennen
- Verbesserungen der spektralen Effizienz am Zellrand:
 - Cooperative MIMO und Relaying
- Verbesserungen der Spektralen Effizienz von etwa 50% durch
 - 4x4-MIMO-Techniken, Multi-User-MIMO, LTE-Advanced
- MIMO-Techniken in Endgeräten bei 2600 MHz effizienter realisierbar als im Bereich der Digitalen Dividende (Wellenlänge!)
- Vorteile durch Kombination von Frequenzen bei 800 MHz bei 2600 MHz

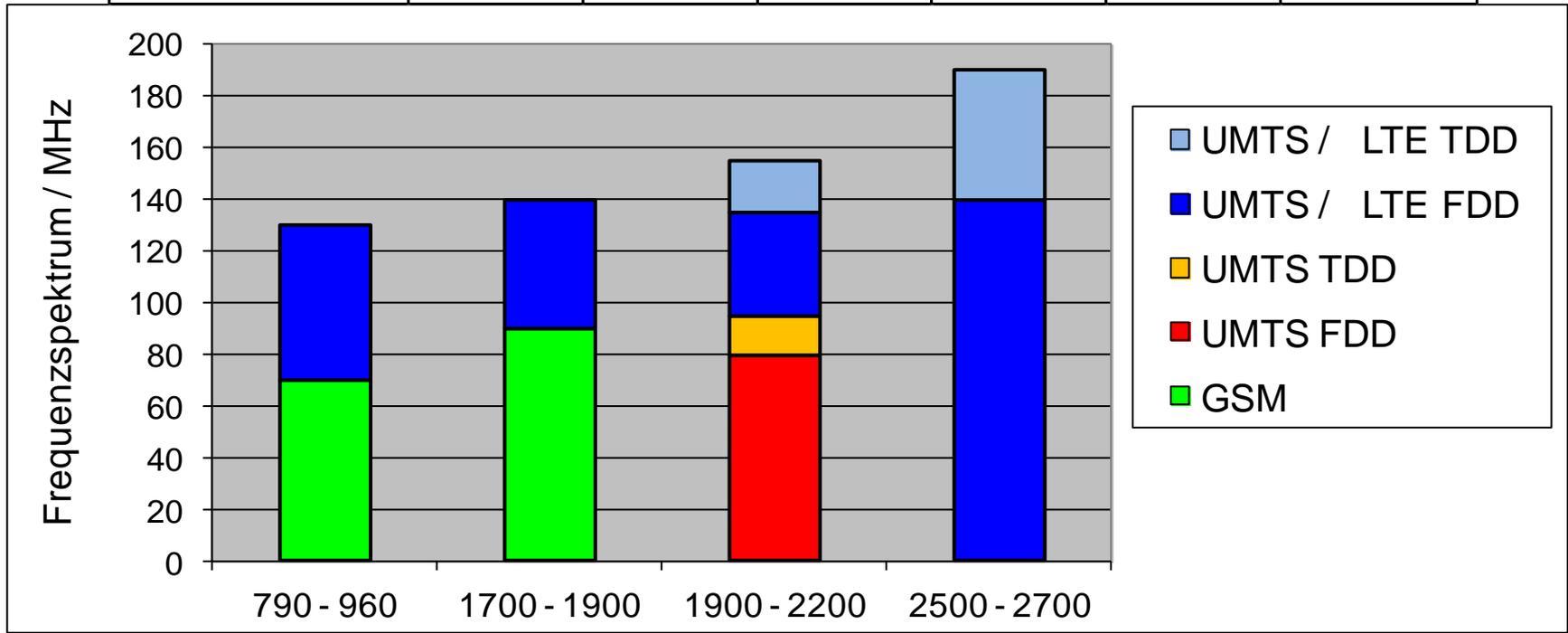
Einfluss gemischter Frequenzvergabe jeweils 10 MHz bei 800 MHz und bei 2600 MHz

Suburban Environment mit 8 km BS-Abstand

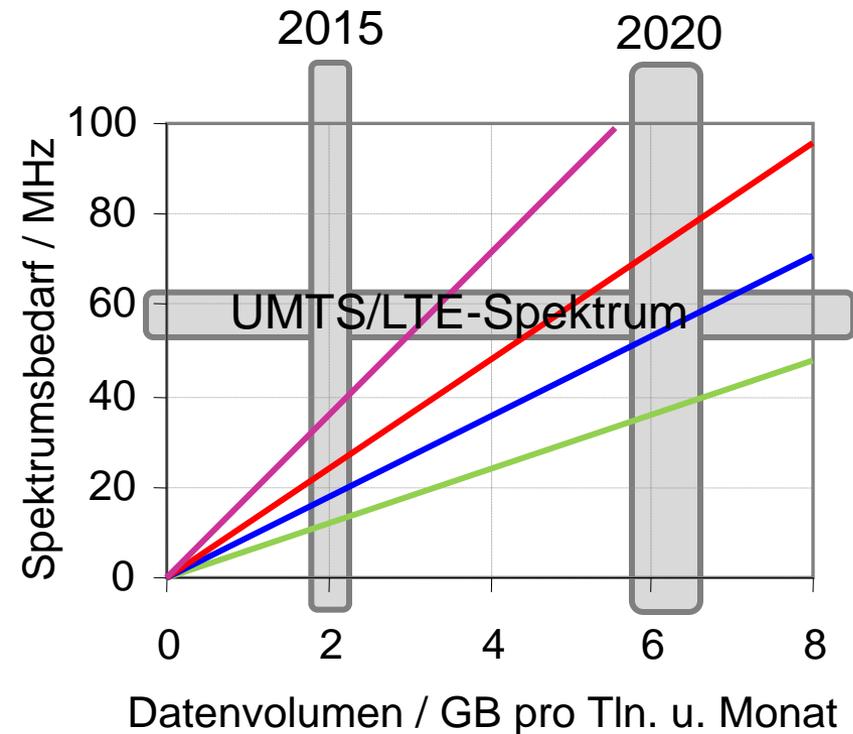


Frequenzbereiche für verschiedene Systeme

| Frequenzbereiche / MHz | GSM | UMTS FDD | UMTS TDD | UMTS / LTE FDD | UMTS / LTE TDD | Gesamt |
|------------------------|---------------|---------------|-----------|----------------|----------------|---------------------|
| 790 - 960 | 2 x 35 | 0 | 0 | 2 x 30 | 0 | 2 x 65 |
| 1700 - 1900 | 2 x 45 | 0 | 0 | 2 x 25 | 0 | 2 x 70 |
| 1900 - 2200 | 0 | 2 x 40 | 15 | 2 x 20 | 20 | 2 x 60 + 35 |
| 2500 - 2700 | 0 | 0 | 0 | 2 x 70 | 50 | 2 x 70 + 50 |
| Gesamt | 2 x 80 | 2 x 40 | 15 | 2 x 145 | 70 | 2 x 265 + 80 |



Spektrumsbedarf für verschiedene Szenarien



Sz1: städtische Zellen, mittlere Auslastung

Sz2: städtische Zellen, hohe Auslastung

Sz3: große ländliche Zellen, hohe Auslastung ohne Digitale Dividende (Extremfall)

Sz4: Sz3 mit 50% LTE-Advanced-Gewinn

| | v | T Tln/Sto | κ in Mbit/s / (MHz·Sto) |
|-----|-----|----------------|-----------------------------------|
| Sz1 | 10 | 1000 | 5 |
| Sz2 | 10 | 1500 | 5 |
| Sz3 | 10 | 1500 | 2,5 |
| Sz4 | 10 | 1500 | 3,8 |

Zusammenfassung und Fazit (1)

- Abschätzung DL-Spektrumsbedarf für Mobilfunknetze in Deutschland für die nächsten 8 - 10 Jahre
- bestehendes Spektrum in kommenden 4 – 5 Jahren ausreichend
- danach: eventueller zusätzlicher Bedarf von bis zu etwa 50 MHz pro Betreiber bei extrem ungünstigem Szenario
- Systemverbesserungen durch LTE-Advanced oder andere Techniken können Bedarf deutlich verringern
- Spektrum < 1 GHz zwar bei Funkreichweite prinzipiell vorteilhaft
- in vielen typischen Szenarien nicht unbedingt erforderlich
- andererseits wegen der höheren Wellenlänge Nachteile bei der Realisierung von MIMO in den Endgeräten

Zusammenfassung und Fazit (2)

- gewisse Varianz bzw. Unsicherheit der Werte mancher Parameter
- weitere Untersuchungen
 - Verhältnis aus Spitzen- und mittlerer Datenrate pro Standort
 - Einfluss der Funkausbreitung und seiner Frequenzabhängigkeit
 - positive Effekte durch Einsatz von LTE-Advanced, externe Endgeräte-Antennen, Verwendung gemischter Frequenzbereiche
- kein endgültiges, eindeutiges Ergebnis zum zukünftigen Spektrumsbedarf
- vorliegende Ergebnisse und Methoden können Größenordnung und Bereich abstecken
- Ausgangspunkt für weitere Untersuchungen und Diskussionen