



Technische
Universität
Braunschweig



Institut für Nachrichtentechnik



Breitbandkommunikation für BOS: Machbarkeit, Frequenzbedarf und Handlungsoptionen

Jörn von Häfen, Prof. Dr.-Ing. Thomas Kürner
Breitband-Symposium für die Innenministerien des Bundes und der Länder
18. September 2014

Gliederung

1. Motivation
2. Machbarkeitsstudie
3. Frequenzbedarf
4. Handlungsoptionen



LTE als Übertragungsstandard für PMR

- TERrestrial Trunked RAdio (TETRA) ist der derzeit in Europa überwiegend eingesetzte PMR Standard.
- Derzeit wird in Deutschland ein schmalbandiges **BOS-Digitalfunknetz** nach dem TETRA-Standard aufgebaut. In seinem für Ende **2014** geplanten **Endausbauzustand** wird das Netz aus ca. **4500 Basisstationen** bestehen.
- Im Bereich BOS existiert ein Bedarf für **einsatzkritische Hochgeschwindigkeitsdatenkommunikation**, der sich unter anderem aus folgenden beispielhaften Anwendungen ergibt:
 - Helmkameras
 - Videoübertragungen zu Einsatzzentralen
 - Anbindung mobiler Einsatzkräfte an zentrale Datenbanken
- Der Mobilfunkstandard Long Term Evolution (LTE) ermöglicht hohe Datenraten und damit eine breitbandige Datenübertragung.



Grundlage für diese Präsentation

- Wir haben uns in den vergangenen drei Jahren in mehreren Projekten intensiv mit dem Thema LTE für PMR auseinander gesetzt:
- LTE-PMR I : ZIM Förderprojekt (KF2340906) des BMWi zusammen mit Rohde&Schwarz PMR GmbH, und der Hochschule Ostfalia (01.2011-10.2011)

Publikation: Peng, B.; Eden, M. ; Priebe, S. ; Jansen, T. ; von Hafen, J. ; Kürner, T.; Feasibility studies of LTE for the broadband service delivery in Professional Mobile Radio; Proc. 2012 International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS), Paris, August 2012

- LTE-PMR II: Industrieprojekt mit Hytera Mobilfunk GmbH (03.2012-04.2013)
- Im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie führten wir eine Studie zum Thema „**Untersuchung der zukünftigen Frequenzbedarfe des terrestrischen Fernsehens und des Mobilfunkdienstes sowie weiterer Funknutzungen im Frequenzband 470-790 MHz [...]**“ durch.

<http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/abschlussbericht-sachverstaendigenauftrag-frequenzbedarf,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>



Technische
Universität
Braunschweig

Hytera 

   **fN**
Institut für Nachrichtentechnik



Untersuchungen zur Machbarkeit

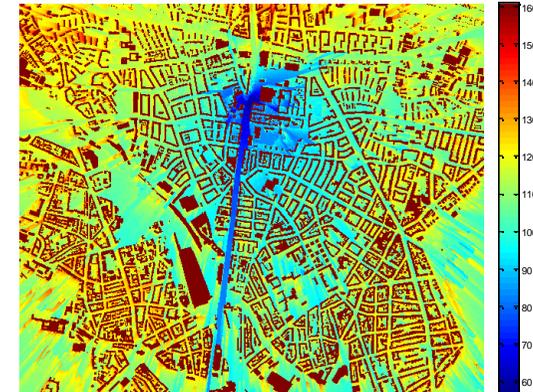
Projektziele unserer Machbarkeitsuntersuchungen

- Gegenstand des ersten Projekts war:
 - Aufbau einer Simulationsplattform
 - Definition von Szenarien in urbanen Gebieten
 - Untersuchung der grundsätzlichen Machbarkeit der Realisierung breitbandiger PMR-Dienste über LTE
- Im zweiten Projekt wurden
 - die bestehenden Szenarien erweitert, u . a. um ein ländliches Szenario
 - verschiedene Technologien zur Erhöhung des Versorgungsgrads bzw. der Kapazität sowie zur Interferenzminimierung untersucht.
 - Unterschiede in den Frequenzbereichen 400 MHz und 700 MHz untersucht
- Im folgenden werden einige Szenarien und Ergebnisse aus dem zweiten Projekt vorgestellt.

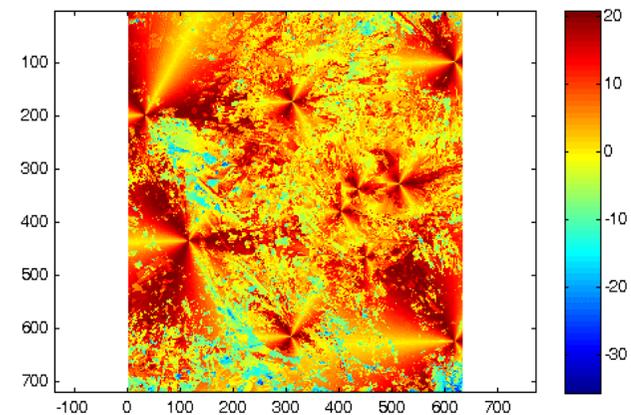
Simulationsgrundlagen – Netze und Pfadverlustprädiktion

- Urbanes Szenario (Hannover)
 - Größe 17 x 11 km
 - 12 LTE eNodeBs (ISD 3,6 km)
 - Durchschnittliche BS-Antennenhöhe 36 m
 - Pfadverlustprädiktion mit Ray Tracing auf der Basis von 3D-Gebäudedaten

- Ländliches Szenario (südliches Niedersachsen)
 - Größe 70 km x 70 km
 - 12 LTE eNodeBs (ISD 15,6 km)
 - Durchschnittliche BS-Antennenhöhe 40 m
 - Pfadverlustprädiktion mit Okumura-Hata und Deygout-Methdoe auf der Basis von digitalen Höhendaten und Landutzungsdaten



Prädiktion der Empfangsleistung einer BS in urbanem Szenario



Prädiktion der SINR (Signal-to-Interference-Noise-Ratio)-Werte im ländlichen Szenario

Simulationsgrundlagen – Modellierung der Nutzer

- Unterscheidung zwischen Basis- und Eventszenario
 - Basisszenario:
 - Alltagssituation mit Nutzern, die im gesamten Gebiet verteilt sind
 - Eventszenario:
 - Großeinsatz (z. B. Großbrand) mit einer starken Konzentration von Nutzern in einem kleinen Gebiet
- Die Dienste und die Aufteilung der Nutzer auf die verschiedenen Dienste orientieren sich an der Dienst-Anforderungsmatrix nach LEWP (Law Enforcement Working Party) und differenzieren nach:
 - Uplink/Downlink
 - Outdoor/Indoor
 - Basisszenario/Eventszenario



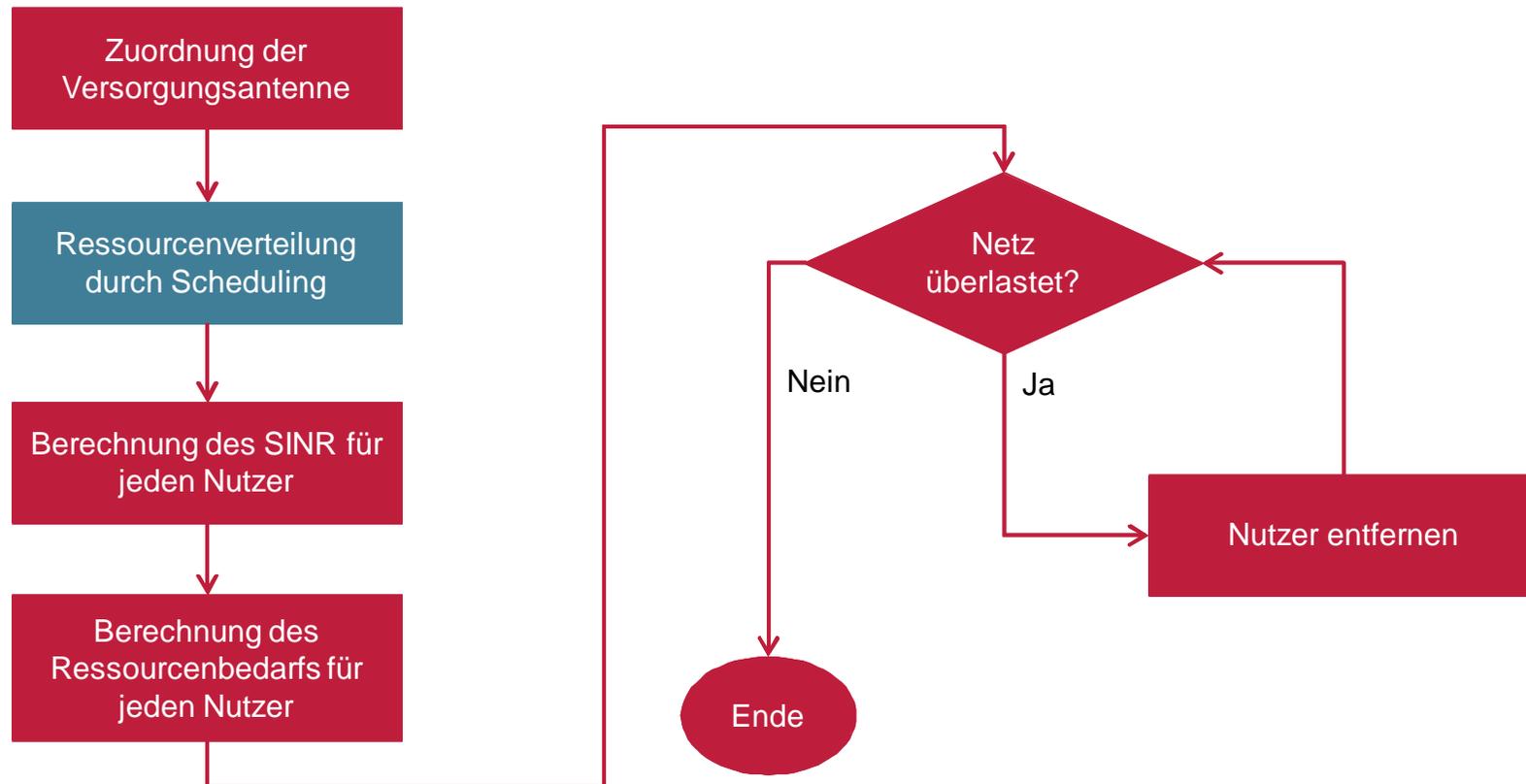
Nutzerverteilung im Basisszenario



Nutzerverteilung im Eventszenario

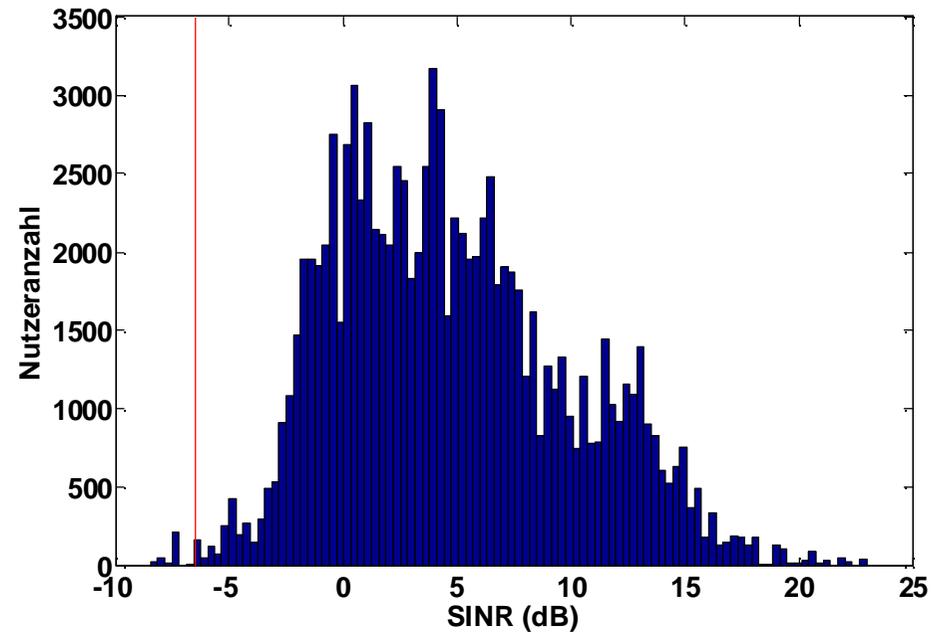
Simulationsgrundlagen - Systemlevelsimulation

- Anwendung einer Snapshotsimulation
- Der Netzzustand kann mit dem Snapshot-Simulator schnell simuliert werden.



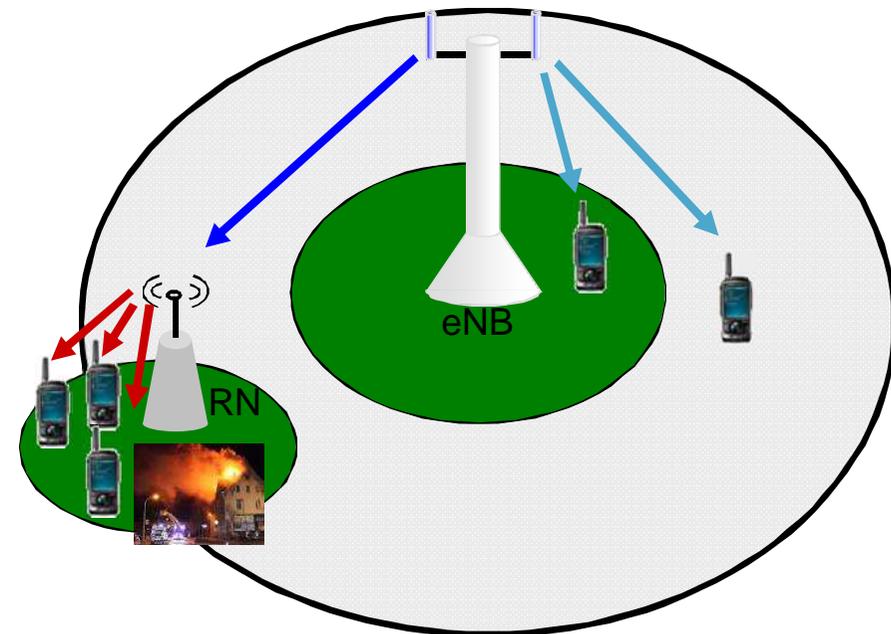
System-Level Simulation des LTE-PMR-Netzes

- Als Ergebnis der Simulation wird der Anteil unversorgter Nutzer aufgrund folgender Kriterien ermittelt
 - Niedriges SINR (Signal-to-Interference-Noise-Ratio)
 - Überlastetes Netzwerk (Kapazität reicht nicht aus)



Für das Eventszenario wurde insbesondere der Einsatz mobile Relay Nodes untersucht

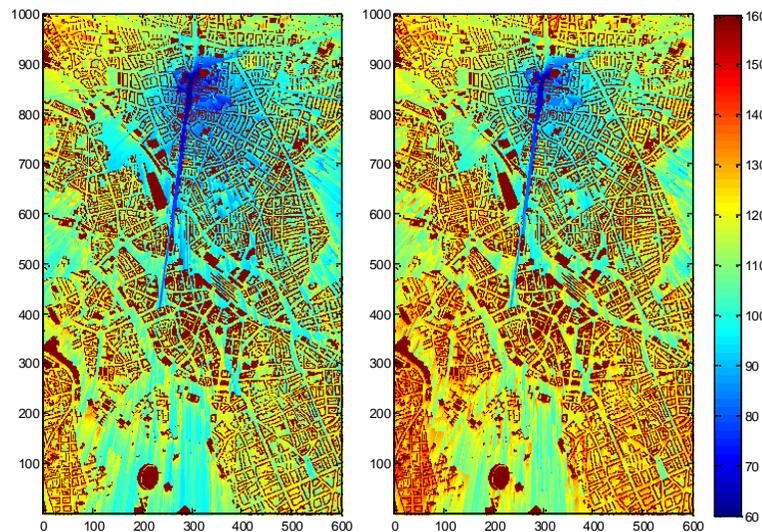
- Relay-Node (RN) in LTE wurde von der 3GPP in Release 9/10 standardisiert
- Relay-Nodes
 - verbessern die Kapazität
 - erweitern die Versorgung
 - sind transportierbar zum Event-Ort
 - sind kostengünstiger als eNB
- In diesem Projekt:
 - In-band-Relay: gleiche Trägerfrequenz für alle Links
 - Trennung zwischen Relay-Link und Access-Link in Zeitmultiplex



- Hochratiger Zellenbereich
- Niederratiger Zellenbereich
- ➡ Relay Link
- ➡ Access Link
- ➡ Direct Link

Vergleich der Versorgung bei 400 MHz und 700 MHz

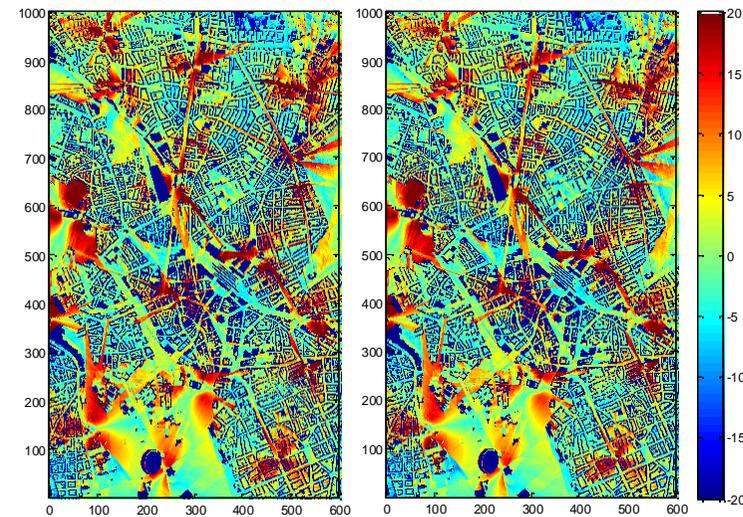
- Der Pfadverlust einer niedrigeren Frequenz ist kleiner als bei einer hohen Frequenz.
- Im Stadtgebiet dominiert die Interferenz (Störung aus anderen Antennen mit derselben Frequenz) über thermisches Rauschen.
- Niedrigerer Pfadverlust verstärkt sowohl das Signal als auch die Interferenz, deswegen ist das Verhältnis zwischen Signal und Interferenz bei 400 MHz und 700 MHz nahezu gleich.
- 400 MHz hat größere Vorteile in ländlichen Gebieten.



400 MHz

700 MHz

Pfadverlust



400 MHz

700 MHz

Signal-Interferenz-Verhältnis

Ausgewählte Ergebnisse im urbanen Basisszenario

Setup	Grund für "Nichtversorgung"			
	Downlink SINR*	Uplink SINR*	Capacity*	Gesamt*
Outdoor, 2x5 MHz, 700 MHz	0	0.01	1.35	1.37
Outdoor, 2x10 MHz, 700 MHz	0	0.01	0.01	0.03
Indoor+Outdoor, 2x5 MHz, 700 MHz	0	1.32	1.69	3.00
Indoor+Outdoor , 2x10 MHz, 700 MHz	0	0.44	0	0.44
Outdoor, 2x10 MHz, 400 MHz	0	0	0.01	0.01
Indoor+Outdoor , 2x10 MHz, 400 MHz	0	0.13	0	0.13

*: Prozentsatz nicht versorgter Nutzer



Ausgewählte Ergebnisse im urbanen Eventszenario

Setup	Grund für "Nichtversorgung"			
	Downlink SINR *	Uplink SINR*	Capacity*	Gesamt*
Indoor + Outdoor, 2x5 MHz, 700 MHz	0.99	10.21	1.94	11.95
Indoor + Outdoor, 2x10 MHz, 700 MHz	0.99	7.86	0.01	7.95
Indoor + Outdoor, mit Relay, 2x5 MHz, 700 MHz	0.99	2.55	13.54	15.93
Indoor + Outdoor, mit Relay, 2x10 MHz, 700 MHz	0.99	2.40	0.01	2.40
Indoor + Outdoor, 2x10 MHz, 400 MHz	0.99	5.03	0	5.03
Indoor + Outdoor mit Relay, 2x10 MHz, 400 MHz	0.99	1.31	0.10	1.43
Outdoor, 700 MHz, 2x5 MHz	0.01	0.01	1.18	1.18
Outdoor, 700 MHz, 2x10 MHz	0.01	0	0.01	0.01

*: Prozentsatz nicht versorgter Nutzer

Ausgewählte Ergebnisse aus dem ländlichen Szenario

Setup	Grund für "Nichtversorgung"			
	Downlink SINR *	Uplink SINR*	Capacity*	Total*
Basisszenario, 2x5 MHz, 700 MHz	0	16.66	1.23	17.72
Basisszenario, 2x10 MHz, 700 MHz	0	14.23	0.02	14.26
Basisszenario, 2x5 MHz, 400 MHz	0	7.73	0.69	8.35
Basisszenario, 2x10 MHz, 400 MHz	0	5.86	0.02	5.88
Eventszenario, 2x5 MHz mit Relay	0	0	21.52	21.52
Eventszenario, 2x10 MHz mit Relay	0	0	1.39	1.39

*: Prozentsatz nicht versorgter Nutzer



Zusammenfassung der Ergebnisse

- Urbane Gebiete
 - Basisszenario kann das Ziel von 95% Versorgung auch für Indoornutzer erreicht werden
 - Für das Eventszenario wird für die Indoorversorgung ein mobiles Relay benötigt.
 - Ein Mindestspektrum von 2 x10 MHz wird empfohlen
 - Unterschiede zwischen den Trägerfrequenzen 400 MHz und 700 MHz sind marginal
- Ländliche Gebiete
 - Das Ziel von 95% versorgter Nutzer ist auch im Basisszenario nur sehr schwer zu erreichen
 - Hauptursache hierfür ist das SINR im Uplink
 - Durch den Einsatz mobiler Relays kann im Eventszenario das Versorgungsziel erreicht werden
 - Ein Mindestspektrum von 2x10 MHz wird empfohlen
 - Eine Trägerfrequenz von 400 MHz hat deutliche Vorteile gegenüber der Trägerfrequenz von 700 MHz



Technische
Universität
Braunschweig



Institut für Nachrichtentechnik



Frequenzbedarf

Studien zum Spektrumsbedarf für BOS

- Erste Studien zum Spektrumsbedarf für BOS-Anwendungen wurden in Deutschland in den Jahren 2010 und 2011 durchgeführt.
- Die wichtigste Studie in diesem Zusammenhang ist die vom Bundeswirtschaftsministerium beauftragte **WIK-Studie**, in der ein **Spektrumsbedarf** für breitbandiges BOS von **25 MHz** (15 MHz Uplink; 10 MHz im Downlink) unterhalb 1 GHz für Systeme hergeleitet wird.
 - Grundlage der Berechnung ist das Eintreffen eines Großereignisses am Zellrand.
- Innerhalb der **CEPT ECC FM49** wurde eine Arbeitsgruppe (Correspondence Group Spectrum Requirements) eingerichtet, die den **Spektrumsbedarf** für breitbandige BOS-Anwendungen **ermitteln** soll.
- Der im Nachgang zu unsere Frequenzstudie ermittelte Mindestspektrumsbedarf der CEPT ECC FM49 beträgt **2 x10 MHz**
- Bei unseren Vorschlägen für **Bandpläne** gehen wir von einem Bedarf **zwischen 2x5 MHz und 2x15 MHz** aus.

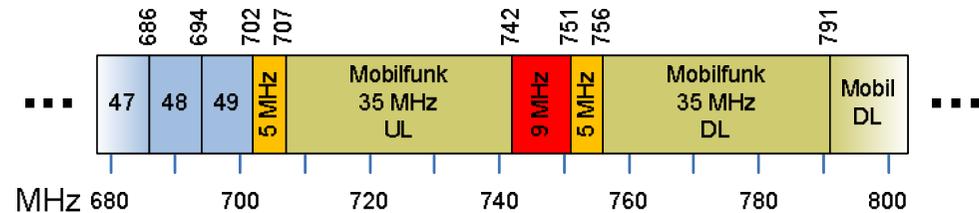
Kandidatenbänder für BOS

- In der **CEPT ECC FM49** werden derzeit auch verschiedene **Kandidatenbänder** für die Realisierung von breitbandigen BOS-Diensten untersucht.
- Nach dem derzeitigen Stand der Diskussion in der CEPT ECC FM49 verbleiben als einzige **realistische Kandidaten** für weitere BOS-Dienste das 400 MHz-Band (**380 bis 470 MHz**) und das 700 MHz-Band (**694 bis 790 MHz**).
 - Im **400 MHz-Band**
 - ist eine europaweite **Harmonisierung** – vor allem in vielen Mitgliedsstaaten der NATO – **schwierig**,
 - könnten die TETRA-**Standorte wiederverwendet** werden und ein flexibler Refarmingprozess durchgeführt werden.
 - Im **700-MHz-Band**
 - ist eine europaweite **Harmonisierung möglich**,
 - ergibt sich eine „**Economy of Scale**“ aufgrund einer Entscheidung des FCC,
 - ist eine Realisierung von **MIMO** leichter möglich als bei 400 MHz.
 - könnten die TETRA-**Standorte wiederverwendet** werden

Die drei hier gezeigten Bandpläne gelten für den Fall, dass die klassische TV-Übertragung bis Kanal 49 erhalten bleibt

Vorschlag 1:

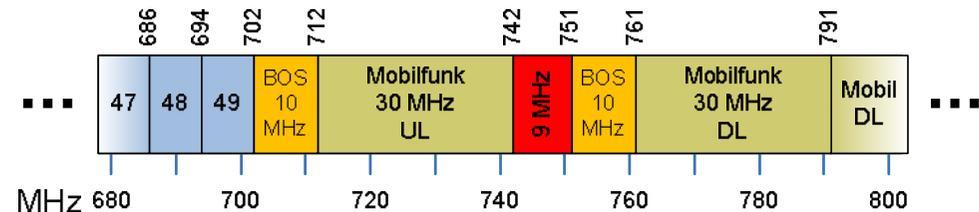
PMSE findet sich in dem für die klassische TV-Übertragung genutzten Frequenzbereich (und benötigt zusätzliches Spektrum für große Events)



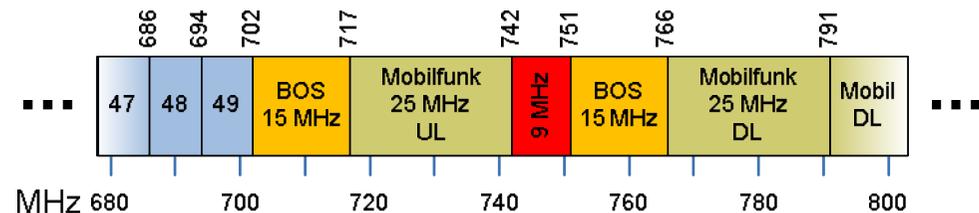
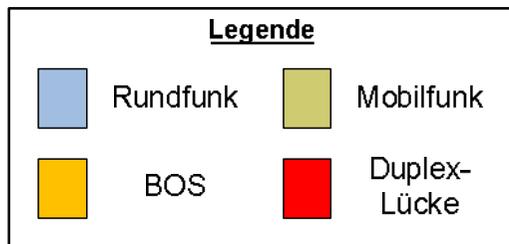
Vorschlag 2:

Für den kommerziellen Mobilfunk ist eine Bandlücke von 9 MHz vorgesehen

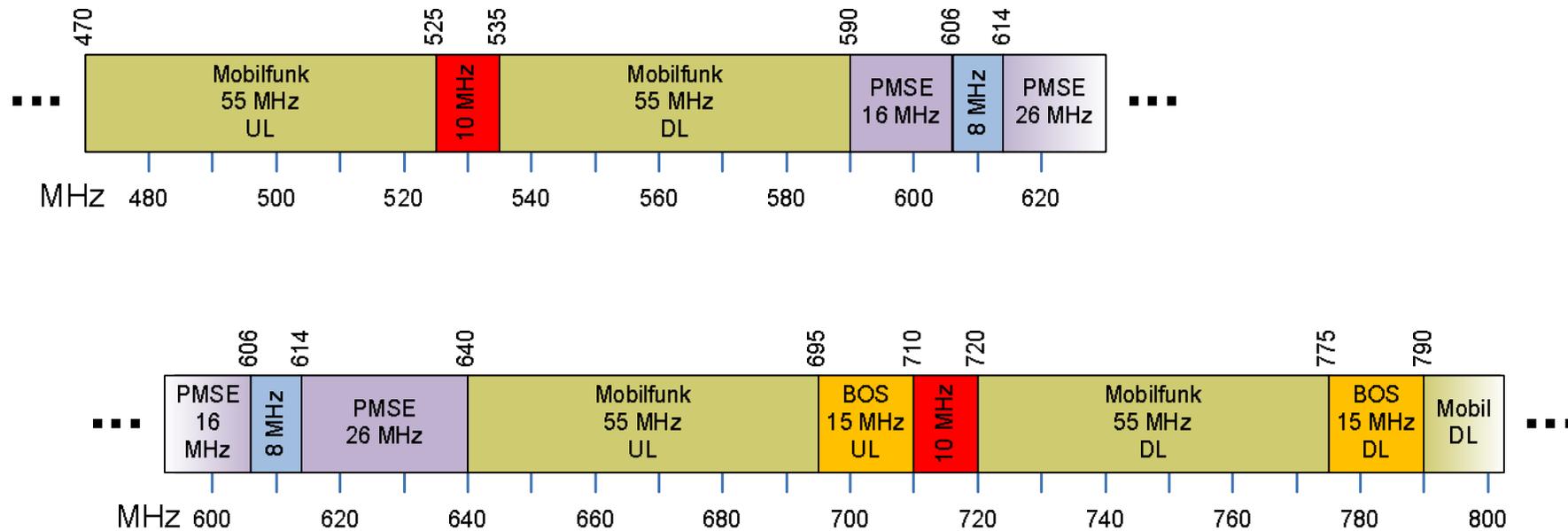
BOS erhält 2 * 5, 2 * 10 oder 2 * 15 MHz



Vorschlag 3:



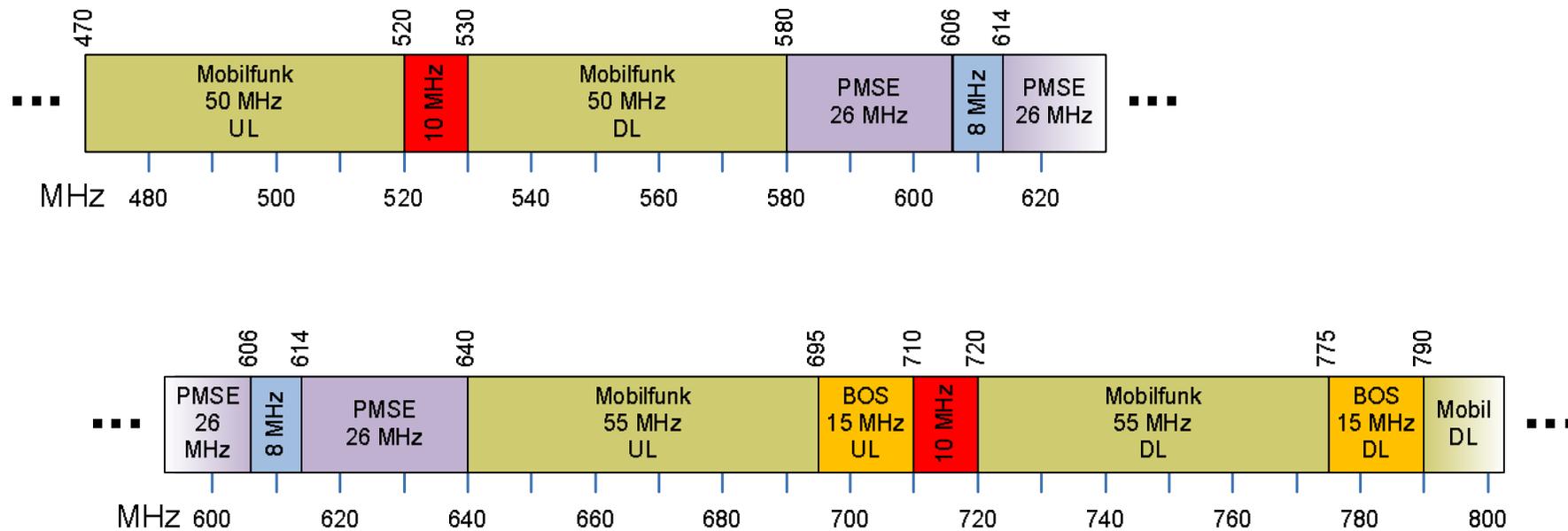
Bandplan 1 nach **Einstellung** der klassischen TV-Übertragung (Annahme: BOS: 2 * 15 MHz, PMSE: 42 MHz)



Legende & Zusammenfassung

42 MHz	PMSE	2 * 110 MHz	Mobilfunk
2 * 15 MHz	BOS	2 * 10 MHz	Duplex-Lücke

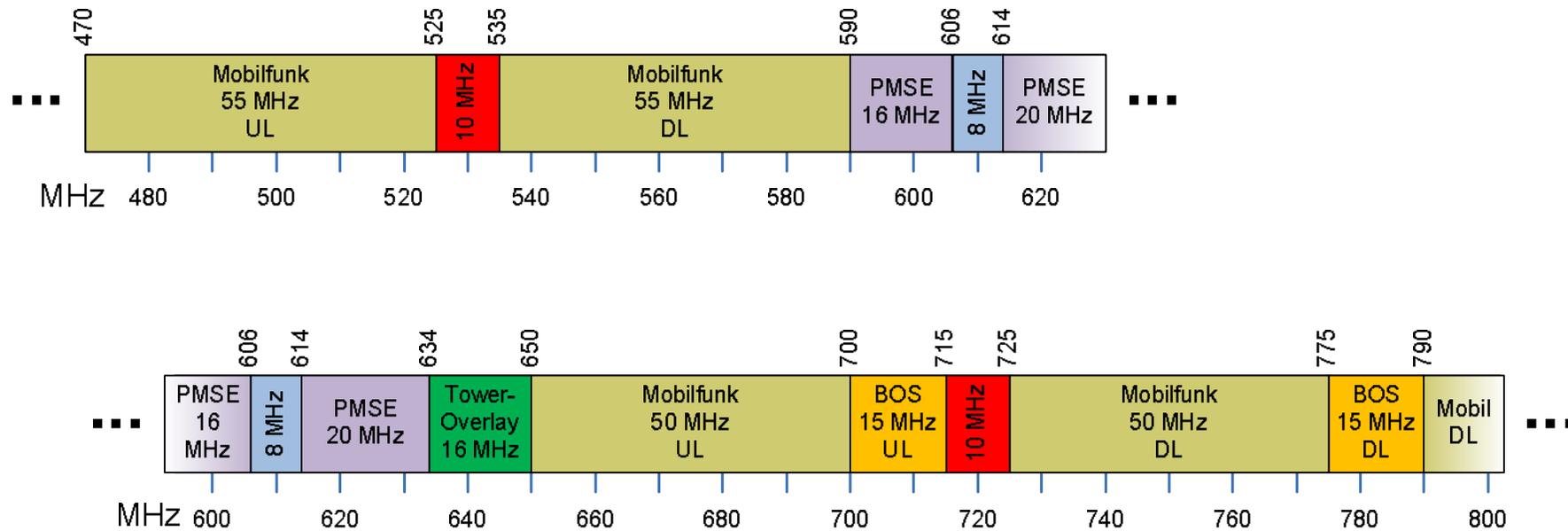
Bandplan 2 nach **Einstellung** der klassischen TV-Übertragung (Annahme: BOS: 2 * 15 MHz, PMSE: 52 MHz)



Legende & Zusammenfassung

	PMSE		Mobilfunk
	BOS		Duplex-Lücke

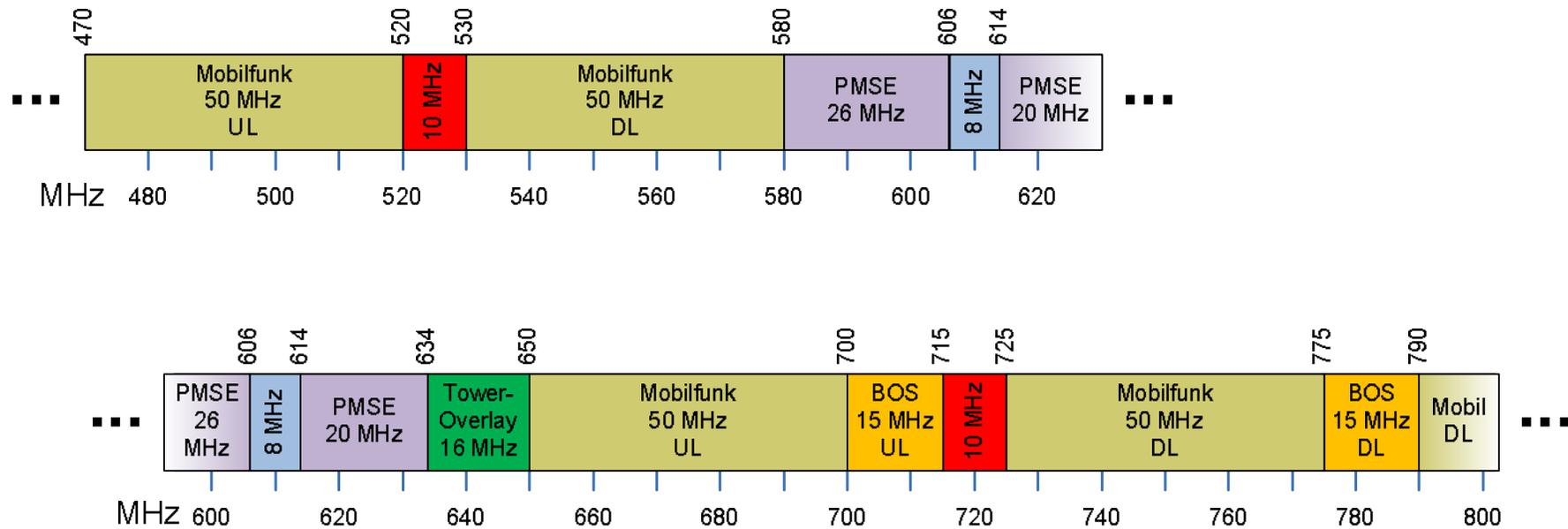
Bandplan 3 nach **Einstellung** der klassischen TV-Übertragung (Annahme: BOS: 2 * 15 MHz, PMSE: 36 MHz, **Tower Overlay**)



Legende & Zusammenfassung

36 MHz	PMSE	2 * 105 MHz	Mobilfunk
2 * 15 MHz	BOS	2 * 10 MHz	Duplex-Lücke
16 MHz	Tower-Overlay		

Bandplan 4 nach **Einstellung** der klassischen TV-Übertragung (Annahme: BOS: 2 * 15 MHz, PMSE: 46 MHz, **Tower Overlay**)



Legende & Zusammenfassung

	PMSE		Mobilfunk
	BOS		Duplex-Lücke
	Tower-Overlay		



Technische
Universität
Braunschweig



Institut für Nachrichtentechnik



Handlungsempfehlungen

Handlungsempfehlungen

- Die grundsätzliche Machbarkeit von LTE für breitbandige PMR-Dienste ist gegeben.
 - Die **Standardisierung** der für PMR notwendigen Leistungsmerkmale des LTE-Standards sollten bei **3GPP** weiter **vorangetrieben** werden.
- Mehrere unabhängige Studien und Untersuchungen haben einen **Mindestspektrumsbedarf** von **2 x 10 MHz** ermittelt.
 - Bei der Identifizierung geeigneten Spektrums steht BOS im Wettbewerb mit anderen „Stakeholdern“.
 - Ein zumindest **europaweite Harmonisierung** des für BOS identifizierten Spektrums zur Deckung des Mindestspektrumsbedarfs sollte angestrebt werden.
- Um breitbandige PMR-Dienste in Deutschland frühzeitig einführen zu können müssen die politischen Rahmenbedingungen (Finanzierung!) rechtzeitig geschaffen werden.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.

Jörn von Häfen

joern.haefen@hytera.de

Prof. Dr.-Ing. Thomas Kürner

kuerner@ifn.ing.tu-bs.de



Technische
Universität
Braunschweig



Institut für Nachrichtentechnik