

**Bundesnetzagentur**

Referat 221  
Tulpenfeld 4  
53113 Bonn

# PERSPEKTIVEN ZUR NUTZUNG DES UHF-BANDS 470-694 MHz NACH 2030

Studie im Auftrag der Bundesnetzagentur

Stand: 18.11.2021

Kontaktpersonen:

<p><i>Hauptauftragnehmer</i></p> <p><b>Goldmedia GmbH Strategy Consulting</b></p> <p><b>Dr. André Wiegand</b></p> <p>Oranienburger Str. 27 10117 Berlin</p> <p>Andre.Wiegand@Goldmedia.de</p> <p>Tel. 030-246266-0 Fax 030-246266-66</p>	<p><i>Unterauftragnehmer</i></p> <p><b>Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS</b></p> <p>Abteilung Breitband und Rundfunk</p> <p><b>Dipl.-Ing. Martin Speitel</b></p> <p>Am Wolfsmantel 33 91058 Erlangen</p> <p>martin.speitel@iis.fraunhofer.de</p> <p>Tel. 09131 776-4052 Fax 09131 776-1099</p>	<p><i>Unterauftragnehmer</i></p> <p><b>Prof. Dr. Jürgen Kühling, LL.M.</b></p> <p>Kellerweg 12b 93053 Regensburg</p> <p>Juergen.Kuehling@ jura.uni-regensburg.de</p> <p>Tel. 0941-7056079 Fax: 0941-7056081</p>
--	--	---

Alle Inhalte des Dokuments wurden nach bestem Wissen recherchiert und erstellt. Für Irrtümer und Druckfehler kann der Herausgeber jedoch keine Haftung übernehmen. Der Herausgeber übernimmt keinerlei Verantwortung oder Haftung für Handlungen, Aktivitäten oder Unterlassungen, die auf Grundlage der Inhalte und Empfehlungen dieser Studie erfolgen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Alle hier genannten und ggf. durch Dritte geschützten Marken- und Warenzeichen unterliegen uneingeschränkt den Bestimmungen des jeweils gültigen Kennzeichenrechts und den Besitzrechten der jeweiligen eingetragenen Eigentümer.

Redaktionsschluss:  
18.11.2021

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Ziele der Studie</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Dienstanalyse Terrestrisches Fernsehen</b> .....	<b>6</b>
<b>2.1</b>	<b>Einführung</b> .....	<b>6</b>
<b>2.2</b>	<b>Nutzung des terrestrischen Fernsehens (DVB-T2)</b> .....	<b>8</b>
2.2.1	Bisherige Entwicklung der Nutzung.....	8
2.2.2	Internet-Empfang als Alternative zum DVB-T2-Empfang .....	11
2.2.3	Nutzungsprognose Lineares Fernsehen.....	13
<b>2.3</b>	<b>Gegenwärtige Frequenznutzung durch das terrestrische Fernsehen</b> .....	<b>15</b>
<b>2.4</b>	<b>Zukünftige Entwicklung von DVB-T2 und DVB-I</b> .....	<b>19</b>
<b>2.5</b>	<b>Perspektiven für 5G als Broadcast-Technologie</b> .....	<b>20</b>
2.5.1	Grundlagen des 5G-Mobilfunkstandards .....	20
2.5.1.1	Wesentliche Neuerungen von 5G ggü. 4G .....	20
2.5.1.2	Funktionsweise von 5G.....	21
2.5.1.3	Künftige Entwicklungen (6G).....	24
2.5.2	Entwicklung von 5G-Broadcast.....	24
2.5.2.1	Status-Quo LTE basierter 5G-Broadcast .....	24
2.5.2.2	Weiterentwicklung eines 5G-NR-basierten 5G-Broadcast .....	26
2.5.2.3	Forschungsprojekte zu 5G-Multi-/Broadcast in Deutschland.....	28
<b>2.6</b>	<b>Aktuelle Planungen zum Einsatz von 5G-NR-Broadcast und Herausforderungen</b> .....	<b>29</b>
<b>3</b>	<b>Dienstanalyse Mobilfunk</b> .....	<b>30</b>
<b>3.1</b>	<b>Einführung</b> .....	<b>30</b>
<b>3.2</b>	<b>Gegenwärtige Frequenznutzung durch den Mobilfunk</b> .....	<b>32</b>
<b>3.3</b>	<b>Zukünftiger Spektrumsbedarf im Kontext einer erweiterten Anbieterstruktur</b> .....	<b>34</b>
<b>3.4</b>	<b>Zukünftiger Spektrumsbedarf für Datenverkehrsvolumen</b> .....	<b>36</b>
3.4.1	Datenverkehrsvolumen im Mobilfunk.....	36
3.4.2	Künftige Entwicklung der Datenverkehrsvolumina.....	37
3.4.3	Wachstumsszenarien zur Entwicklung zukünftiger Datenverkehrsvolumina in deutschen Mobilfunknetzen .....	39
3.4.4	Modellrechnung zur Deckung künftiger kapazitiver Bedarfe in der Flächenversorgung .....	41
<b>3.5</b>	<b>Zukünftiger Spektrumsbedarf zur Unterstützung des autonomen Fahrens</b> .....	<b>46</b>
3.5.1	High-Definition Maps.....	49
3.5.2	Teleoperiertes Fahren .....	51
<b>3.6</b>	<b>Zusammenfassung Zukünftiger Spektrumsbedarf des öffentlichen Mobilfunks</b> .....	<b>53</b>

<b>4</b>	<b>Dienstanalyse Public Protection and Disaster Relief (PPDR) und militärischer Bedarf .....</b>	<b>54</b>
4.1	<b>Einführung.....</b>	<b>54</b>
4.2	<b>Gegenwärtige Frequenznutzung durch PPDR.....</b>	<b>54</b>
4.3	<b>Zukünftiger Spektrumsbedarf und künftige Betriebsszenarien.....</b>	<b>55</b>
4.3.1	Künftige Bedarfe für Breitbanddienste .....	56
4.3.1.1	Kurz- und mittelfristige Perspektive .....	57
4.3.1.2	Langfristige Perspektive .....	60
4.3.2	Gesonderter militärischer Bedarf der Bundeswehr .....	63
4.3.3	Europäische/Internationale Koordinierung von PPDR-Frequenzen .....	64
4.3.3.1	Public Protection and Disaster Relief (PPDR).....	64
4.3.3.2	Gesonderter militärischer Bedarf .....	65
<b>5</b>	<b>Dienstanalyse Programme Making and Special Events (PMSE) 66</b>	
5.1	<b>Einführung.....</b>	<b>66</b>
5.2	<b>Gegenwärtige Frequenznutzung durch PMSE (Funkmikrofone).....</b>	<b>69</b>
5.3	<b>Zukünftiger Spektrumsbedarf und künftige Betriebsszenarien.....</b>	<b>74</b>
<b>6</b>	<b>Zwischenfazit: Künftige Bedarfe und Nutzungsoptionen für den Frequenzbereich 470–694 MHz.....</b>	<b>81</b>
6.1	<b>Zusammenfassung der Bedarfe.....</b>	<b>81</b>
6.2	<b>Mögliche Hauptszenarien einer zukünftigen Nutzung .....</b>	<b>84</b>
<b>7</b>	<b>Hauptszenario Kooperative Nutzung des TV-UHF-Spektrums. 85</b>	
7.1	<b>Option 1: Beibehaltung einer DVB-basierten terrestrischen TV-Übertragung mit neuer Videokompression (DVB-Tx).....</b>	<b>85</b>
7.1.1	Darstellung der Option .....	85
7.1.2	Bewertung .....	86
7.2	<b>Option 2: Umstellung der Sendetechnik von DVB-T2 auf 5G-NR-Broadcast.....</b>	<b>87</b>
7.2.1	Darstellung der Option .....	87
7.2.2	Bewertung .....	92
7.3	<b>Option 3: Umbau der Sendenetze mit stärkerer Einbindung von MPMT-/LPLT-Standorten .....</b>	<b>92</b>
7.3.1	Darstellung der Option .....	92
7.3.2	Bewertung .....	94
7.4	<b>Option 4: Fokussierung auf DVB-T2-Kernverbreitungsgebiete mit verstärkter Harmonisierung der Programm-Bouquets .....</b>	<b>94</b>
7.4.1	Darstellung der Option .....	94
7.4.2	Bewertung .....	98
7.5	<b>Option 5: Fokussierung auf DVB-T2-Kernverbreitungsgebiete sowie Reduktion des terrestrischen Programmbouquets.....</b>	<b>99</b>
7.5.1	Darstellung der Option .....	99
7.5.2	Bewertung .....	100

7.6	<b>Eignung von Frequenzbereichen unter Berücksichtigung der Anrainer-Koordinierung .....</b>	<b>102</b>
7.7	<b>Zwischenfazit: Optionen einer kooperativen Nutzung des TV-UHF-Bands.....</b>	<b>104</b>
<b>8</b>	<b>Hauptszenario Mobilfunk als Primärnutzer des TV-UHF-Bandes.....</b>	<b>105</b>
8.1	<b>Einstellung einer terrestrischen Rundfunk-Verbreitung linearer TV-Programme .....</b>	<b>105</b>
8.1.1	Darstellung der Option .....	105
8.1.2	Bewertung der Option.....	105
8.2	<b>Zusatzoption: 5G-NR-Broadcast-Übertragung linearer TV-Programme durch öffentlichen Mobilfunk .....</b>	<b>106</b>
8.2.1	Darstellung der Option .....	106
8.2.2	Bewertung .....	107
<b>9</b>	<b>Rechtliche Bewertung .....</b>	<b>109</b>
9.1	<b>Die vorliegend relevante verfassungsgerichtliche Überformung des Rundfunkrechts .....</b>	<b>109</b>
9.2	<b>Inhalt und Grenzen der Grundversorgung .....</b>	<b>115</b>
9.3	<b>Anspruch des öffentlich-rechtlichen Rundfunks auf direkten Zugriff auf Infrastruktureinrichtungen.....</b>	<b>119</b>
9.4	<b>Auswirkungen auf die Erhebung des Rundfunkbeitrags .....</b>	<b>121</b>
9.5	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>125</b>
<b>10</b>	<b>Zusammenfassende Bewertung und Ausblick .....</b>	<b>126</b>
10.1	Zusammenfassung der Szenario-Analyse.....	126
10.2	Zusammenfassung der rechtlichen Bewertung.....	128
10.3	Ausblick .....	129

# 1 Ziele der Studie

Die Studie "Perspektiven zur Nutzung des UHF-Bands 470-694 MHz ab 2030" untersucht die technischen, ökonomischen und rechtlichen Aspekte der zukünftigen Nutzung des Frequenzbereiches im UHF-Band, der aktuell primär für die terrestrische digitale Übertragung linearer Fernsehprogramme (DVB-T2) sowie als Sekundärnutzung für den Betrieb lokaler Funkstrecken im Rahmen der professionellen Veranstaltungstechnik zugeteilt ist. Dieser Abschnitt im UHF-Band wird nachfolgend zur Vereinfachung auch als „TV-UHF-Band“ bzw. als „TV-UHF-Spektrum“ bezeichnet.

Die bisherigen Frequenzzuteilungen zur Nutzung des Spektrums laufen im Jahre 2030 aus. Technische Entwicklungen und Entwicklungen der Endkundennachfrage bei den derzeit eingesetzten Diensten sowie Bedarfsanmeldungen weiterer Stakeholdergruppen erfordern eine frühzeitige Analyse der zukünftigen Nutzung dieses Spektrums.

Dies gilt insbesondere, weil die angemeldeten Bedarfe die Kapazitäten des zur Verfügung stehenden Spektrums – auch unter Berücksichtigung effizienterer Übertragungstechniken – deutlich überschreiten werden.

Die Ziele der Studie "Perspektiven zur Nutzung des UHF-Bands 470-694 MHz ab 2030" lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Abschätzung bzw. Berechnung des zukünftigen Bedarfs zur Nutzung von UHF-Spektrum im Bereich 470-694 MHz (TV-UHF-Band) durch relevante Funkdienste und Betreibergruppen auf Basis technischer Entwicklungen und der Nutzungsentwicklung
- Abgleich des abgeschätzten Bedarfs mit den internationalen und europäischen Entwicklungen
- Erarbeitung von Szenarien für eine bedarfsgerechte Zuteilung des TV-UHF-Spektrums ab 2031 an *bestehende Nutzer* und *neue Bedarfsträger* unter Berücksichtigung der künftigen Nachfrage und technologischer Effizienzpotenziale
- Erste Bewertung der Bedarfe unter der Maßgabe einer effizienten und störungsfreien Spektrumsnutzung und Berücksichtigung kulturellerer und sicherheitsrelevanter Aspekte
- Darstellung von Optionen für eine zukünftige Bandplanung unter Berücksichtigung der Frequenzkoordinierung in den Grenzregionen zu Anrainerstaaten
- Darstellung der rechtlichen Rahmenbedingungen für eine Neuzuteilung des Frequenzspektrums und damit verbundene Anforderungen an die Bereitstellung unter Berücksichtigung des Grundversorgungsgebots für die Verbreitung des öffentlich-rechtlichen Rundfunks

Als Quellen für die Analyse wurden zusätzlich zu einem umfänglichen Desk-Research die Angaben der Stakeholder im Rahmen der im Jahr 2020 von der Bundesnetzagentur

durchgeführten Konsultation zur künftigen Verfügbarkeit von Frequenzen für den Mobilfunk (Frequenzkompass 2020)<sup>1</sup> sowie eigene Expertengespräche mit Vertretern der Stakeholdergruppen genutzt.

Die Studie setzt als Grundbedingung der sich anschließenden Überlegungen voraus, dass im Rahmen der Weltfunkkonferenz 2023 (WRC-23) die Entscheidung für eine ko-primäre Nutzung des TV-UHF-Bandes durch Rundfunk- und drahtlose Telekommunikationsdienste (mit Up- und Downlink-Nutzung) auch in Europa ohne einschränkende Nebenvereinbarungen getroffen wird.

Die relevanten Funkdienste und Dienstebetreiber für den UHF-Frequenzbereich 470–694 MHz werden in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst:

**Tab. 1 (Potenziell) relevante Dienste und Dienstebetreiber für den UHF-Frequenzbereich 470–694 MHz**

Dienste	Dienstebetreiber
<b>Terrestrisches Fernsehen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ TV-Plattformbetreiber</li> <li>▪ TV-Sendergruppen</li> </ul>
<b>Öffentlicher Mobilfunk</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mobilfunknetzbetreiber</li> </ul>
<b>Funkdienste für Public Protection and Disaster Relief (PPDR)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben, Katastrophenschutz (BOS-Funk)</li> <li>▪ Bundeswehr</li> </ul>
<b>Funkdienste für Programme Making and Special Events (PMSE)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Veranstalter und Dienstleister im Bereich Veranstaltungstechnik</li> <li>▪ Rundfunkveranstalter</li> </ul>

Quelle: Goldmedia/Fraunhofer IIS

## 2 Dienstanalyse Terrestrisches Fernsehen

### 2.1 Einführung

DVB-T2 (Digital Video Broadcasting-Terrestrial, 2nd generation) bezeichnet die Erzeugung digitaler Fernseh- und Datensignale, welche über ein Multiplex-Verfahren gebündelt (Bouquet) auf eine terrestrische Frequenz von standardisiert 8-MHz-Bandbreite aufmoduliert werden. DVB-T2 zeichnet sich gegenüber seinem Vorgänger DVB-T (in Deutschland von 2003 bis 2016 im Einsatz) durch eine höhere spektrale Effizienz aus. Diese ermöglicht, eine höhere Anzahl von Programmen über einen 8-MHz-Kanal zu übertragen, sowie die Aufwertung der Bildqualität von Standard-Definition (SD) auf High-Definition (HD).

Mit der Einführung des neuen Standards DVB-T2 wurde in Deutschland ab Mai 2016 in einigen Ballungsräumen begonnen (Einstiegsphase). In Deutschland kommt bei DVB-T2 abweichend zu anderen europäischen Ländern der effizientere H.265 Videocodec zum Einsatz. Als Name für diese Spezifikation wurde "DVB-T2 HD" gewählt. Nachfolgend wird jedoch vereinfacht die Abkürzung "DVB-T2" verwendet.

<sup>1</sup> vgl. [https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen\\_Institutionen/Breitband/MobilesBreitband/MobilesBreitband-node.html](https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Breitband/MobilesBreitband/MobilesBreitband-node.html)

Der Endausbau von DVB-T2 in Deutschland erfolgte im Juni 2019. Mit dem Umstieg von DVB-T zu DVB-T2 erhöhte sich das terrestrisch empfangbare Programmangebot von vormals bis zu 25 auf bis zu 40 Programme, die nun in HD-Qualität verbreitet werden. Für die TV-Haushalte, die weiterhin die Terrestrik als Übertragungskanal für den TV-Empfang nutzen wollten, war damit ein Neukauf von Receivern bzw. TV-Geräten mit integrierten Empfangsmodulen verbunden.

Bei ARD und ZDF veränderte sich mit dem Wechsel von DVB-T zu DVB-T2 die grundsätzliche Verbreitungsstruktur nicht. Die DVB-T2-Programmverbreitung betreiben die öffentlich-rechtlichen Sendergruppen ARD und ZDF jeweils über einen bundesweit empfangbaren TV-Multiplex. Die Landesrundfunkanstalten der ARD nutzen zudem regionalspezifisch jeweils einen weiteren Multiplex zur Verbreitung einer Auswahl von Dritten Programmen und weiteren Spartenprogrammen.

Das Multiplexing übernehmen die einzelnen Rundfunkanstalten selbst. Die Signalzuführung zu den Sendestandorten erfolgt regionalisiert über Glasfasernetze und teilweise über Richtfunk. Die ARD-Anstalten und das ZDF nutzen hierfür in der Regel Infrastruktur der Media Broadcast (ehem. Tochter der Deutschen Telekom, dann Teil des franz. Sendernetzbetreibers TDF, heute Teil des Freenet Konzerns) sowie der Deutsche-Telekom-Tochter T-Systems. In den westdeutschen Bundesländern nutzen die ARD-Landesrundfunkanstalten sowohl eigene Sendeanlagen als auch Sendeanlagen der Media Broadcast, welche vielfach auf Türmen und Masten der Deutsche-Telekom-Tochter Deutsche Funkturm GmbH (DFMG) sowie auf einzelnen Türmen und Masten im Besitz der Media Broadcast und anderer TowerCos angebracht sind. In den ostdeutschen Bundesländern werden die terrestrischen Programme der ARD-Anstalten fast ausschließlich über Antennenanlagen verbreitet, die von der Media Broadcast betrieben werden. Das ZDF nutzt für die DVB-T2-Verbreitung ihres Multiplex-Programmstroms die Infrastruktur der Media Broadcast.

Bei den privaten TV-Programmen änderte sich mit dem Umstieg von DVB-T auf DVB-T2 die Betreibersituation. Im Zeitraum der DVB-T-Verbreitung bezahlten die Sendergruppen RTL und ProSiebenSat1 den Dienstleister Media Broadcast dafür, ihre Programme in den reichweitenstarken Ballungsgebieten über DVB-T auszustrahlen.

Mit der sich abzeichnenden Umstellung auf DVB-T2 änderte sich das Marktkonstrukt. Die Freenet AG, welche sich nach Abgabe des Resell-DSL-Geschäfts an United Internet (1&1) im Jahr 2009 auf das Geschäft eines virtuellen Mobilfunknetzbetreibers mit Marken wie Mobilcom, Debitel oder klarmobil konzentriert hatte, kaufte Media Broadcast. Sie gründete mit "Freenet TV" eine eigene Plattform für eine Abo-basierte TV-Programmdistribution über Terrestrik und Satellit. Sie schloss Verträge mit den privaten TV-Sendegruppen und Einzelsendern für eine kostenpflichtige Vermarktung der HD-Programme über diese Übertragungswege. Seitdem trägt Freenet TV die Kosten für die DVB-T2-Übertragung der privaten TV-Sender (mit Ausnahme einzelner kostenfrei empfangbarer Shopping-Kanäle) und finanziert dies durch Abonnements. Die aktuell 23 privaten HD-Programme überträgt Freenet TV über drei Multiplexe und kombiniert diese im elektronischen Programmführer mit den von ARD und ZDF angebotenen terrestrischen Programmen. Das Angebot an privaten TV-Programmen ist jedoch auch weiterhin nur in Ballungsräumen empfangbar.

## 2.2 Nutzung des terrestrischen Fernsehens (DVB-T2)

### 2.2.1 Bisherige Entwicklung der Nutzung

In Deutschland nutzten im Jahr 2020 2,4 Mio. TV-Haushalte die Terrestrik als (einen) Übertragungsweg für Fernsehen. Dies entspricht 6,3 Prozent der TV-Haushalte. Zusammen mit IPTV und dem ausschließlichen Internet-Empfang („Connected TV only“) gehört die Terrestrik zu den drei kleineren TV-Übertragungswegen. Die beiden IP-basierten Übertragungswege IPTV und Connected-TV-only werden in Summe von 13,5 Prozent der deutschen TV-Haushalte genutzt, mehr als doppelt so viele, wie das Fernsehen terrestrisch über DVB-T2 empfangen. Die dominierenden Übertragungswege sind weiterhin Kabel und Satellit, die in der Nutzung mit jeweils rd. 45 Prozent der TV-Haushalte nahezu gleichauf liegen. Die durchschnittliche Haushaltsausstattung in Deutschland lag 2020 bei 1,57 TV-Geräten.<sup>2</sup>

Abb. 1: Verteilung der TV-Übertragungswege in Deutschland 2020, in Prozent



Quelle: die Medienanstalten – ALM GbR (2020): Digitalisierungsbericht 2020 Video, Oktober 2020

Basis: 38,520 Mio. TV-Haushalte in Deutschland. Summe Übertragungswege > 100 Prozent wegen Mehrfachempfang (außer Connected TV Only). Connected TV: TV-Gerät direkt oder über ein anderes Gerät mit dem Internet verbunden (nicht zwingend permanente Verbindung) Basis: 38,520 Mio. TV-Haushalte in Deutschland. Summe Übertragungswege > 100 Prozent wegen Mehrfachempfang (außer Connected TV Only). Connected TV: TV-Gerät direkt oder über ein anderes Gerät mit dem Internet verbunden (nicht zwingend permanente Verbindung)

Haushalte, welche (auch) terrestrische Signale empfangen, verfügen zu 30,6 Prozent über eine Ultra HD/4K-fähiges Empfangsgerät. Damit sind sie mit neueren Empfangsgeräten ausgestattet als der Durchschnitt aller TV-Haushalte, die zu 24,2 Prozent über ein Ultra HD/4K-fähiges Empfangsgerät verfügen.<sup>3</sup>

Terrestrisches Fernsehen wird in Deutschland über 670 Sendeanlagen verbreitet.<sup>4</sup> Die nachfolgende Abbildung gibt einen schematischen Überblick über die terrestrischen Empfangsmöglichkeiten: In den dunkelgrün dargestellten Gebieten sind über sechs Multiplexe bis zu 40 TV-Programme in HD-Auflösung über geräteinterne Antennen oder Zimmerantennen (Indoor-Empfang) zu empfangen. Je nach Region stammen dabei 14-17 Programme von den öffentlich-rechtlichen Sendeanstalten der ARD und des ZDF. Diese Programme können mit jedem DVB-T2-HD-Receiver kostenfrei empfangen werden. Hinzu kommen aktuell 23 Programme der privaten TV-Veranstalter. Der Empfang dieser Programme wird von der Freenet AG als „Freenet TV“ über entsprechende Verträge mit den TV-Veranstaltern kostenpflichtig angeboten. Übertragungsdienstleister ist die konzernzugehörige Media Broadcast GmbH.

<sup>2</sup> vgl. die Medienanstalten – ALM GbR (2020): Digitalisierungsbericht 2020 Video, Oktober 2020

<sup>3</sup> Die Haushaltsausstattung trifft hierbei keine Aussage darüber, ob Ultra HD/4K-fähige Geräte zum terrestrischen Empfang genutzt werden.

<sup>4</sup> vgl. IRT CL 6/LCCE/104, Stand 08/2020

Jenseits der dunkelgrünen Gebiete können nur 14 bis 17 öffentlich-rechtliche Programme empfangen werden (ein nationaler Multiplex des ZDF sowie zwei Multiplexe der jeweiligen ARD-Landesrundfunkanstalt). Der Programmempfang ist aufgrund schlechter Empfangsbedingungen oftmals nur mit einer Außenantenne und auch nicht flächendeckend möglich.

**Abb. 2: Schematische Darstellung der DVB-T2-Empfangsgebiete in Deutschland**

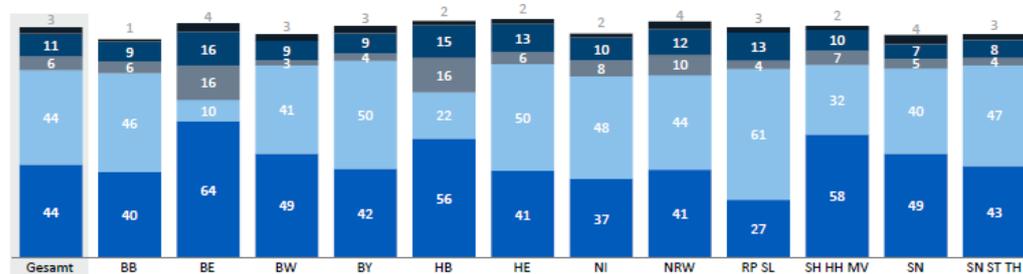


Quelle: ARD Digital (Rundfunk Berlin-Brandenburg). Online verfügbar unter: [www.dvb-t2hd.de](http://www.dvb-t2hd.de)

In der Gesamtbetrachtung ist in 52 Prozent der Fläche der Bundesrepublik ein Indoor-Empfang und in weiteren 26 Prozent ein Outdoor-Empfang von DVB-T2 gegeben. Insgesamt versorgt DVB-T2 daher 78 Prozent der Fläche in Deutschland.<sup>5</sup>

Bei der terrestrischen TV-Übertragung bestehen deshalb deutliche regionale Unterschiede in der tatsächlichen Nutzung. Die nachfolgende Auswertung nach Bundesländern zeigt, dass in den Stadtstaaten die Nutzung bei bis zu 16 Prozent der TV-Haushalte liegt, während der Empfang in dünner besiedelten Flächenländern durchschnittliche bei unter 5 Prozent der TV-Haushalte liegt. Am geringsten ist die Nutzung in Baden-Württemberg (3 Prozent) und Bayern, Rheinland-Pfalz/Saarland und Sachsen/Sachsen-Anhalt/Thüringen (4 Prozent).

**Abb. 3: Nutzung der Übertragungswege in den Bundesländern, in Prozent**



Legende (von unten):

Königsblau: Kabel; Hellblau: Satellit; Grau: DVB-T2 HD/DVB-T; Dunkelblau: IPTV; Schwarz: Online only

Quelle: die Medienanstalten – ALM GbR (2020): Digitalisierungsbericht 2020 Video, Oktober 2020

Basis: 38,520 Mio. TV-Haushalte in Deutschland. Summe Übertragungswege > 100 Prozent wegen Mehrfachempfang, Basis: 38,520 Mio. TV-Haushalte in Deutschland. Summe Übertragungswege > 100 Prozent wegen Mehrfachempfang

<sup>5</sup> ebd.

Die Betrachtung der Nutzung der Übertragungswege nach Bundesländern hat die Schwäche, dass die DVB-T2-Kerngebiete (vgl. Abb. 2) nur im Falle der Stadtstaaten mit den Bundeslandgrenzen zusammenfallen und Ballungsräume mit besonders hoher DVB-T2-Nutzung, wie etwa das Rhein-Main-Gebiet oder der Raum Halle/Leipzig nicht einem Bundesland zugerechnet werden können. Aussagekräftiger ist daher die Nutzungsbetrachtung innerhalb und außerhalb der DVB-T2-Kernregionen (in Abb. 2 dunkelgrün dargestellt). Die Betrachtung nach DVB-T2-Kernregionen zeigt, dass 21,6 Mio. TV-Haushalte innerhalb der Kernregionen liegen und 16,9 Mio. TV-Haushalte außerhalb der DVB-T2-Kernregionen.

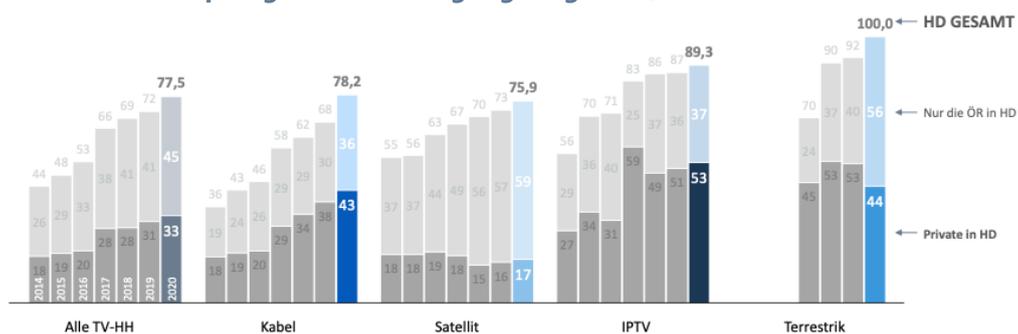
Die tatsächliche Nutzung von DVB-T2 als TV-Empfangsweg beträgt 2,05 Mio. TV-HH innerhalb der DVB-T2-Kernregionen und 0,36 Mio. TV-HH außerhalb der DVB-T2-Kernregionen.<sup>6</sup> Das bedeutet: 85 Prozent der 2,41 Mio. DVB-T2-Haushalte befinden sich in Ballungsräumen, in denen auch Freenet TV empfangbar ist und 15 Prozent aller DVB-T2-Nutzer wohnen in ländlicheren Regionen ohne Privat-TV-Empfang. Aufgrund des eingeschränkten Programmangebotes und der schwierigeren Empfangsbedingungen ist DVB-T2 außerhalb von Ballungsräumen deutlich unattraktiver.

Für die Versorgung von 15 Prozent der Nutzer außerhalb der DVB-T2-Kernregionen werden jedoch 52 Prozent der Sendeanlagen (bzw. Allotments) betrieben.<sup>7</sup> Die überwiegende Mehrheit dieser TV-Haushalte könnten auch alternative Empfangswege nutzen (vgl. Abb. 5 in Kapitel 2.2.2).

### Nutzung Freenet TV

Insgesamt nutzt knapp die Hälfte (44 Prozent) der Haushalte, die DVB-T2 empfangen, ein Freenet TV-Abonnement, um auch die privaten TV-Programme zu sehen. Die Nutzung der privaten Programme ist seit einem Hoch Mitte 2019 (zwei Jahre nach Betriebsstart der Freenet TV-Plattform 2017) von 53 Prozent auf 44 Prozent zurückgegangen (vgl. nachfolgende Abbildung).

Abb. 4: HD-Empfang nach Übertragungsweg 2020, in Prozent



Legende (von unten):

Königsblau: Kabel; Transparentes blau: Satellit; Dunkelblau: IPTV; Hellblau: DVB-T2 HD/DVB-T;  
 Quelle: die Medienanstalten – ALM GbR (2020): Digitalisierungsbericht 2020 Video, Oktober 2020  
 Basis: 38,520 Mio. TV-HH in Deutschland, Basis: 38,520 Mio. TV-HH in Deutschland

Den Rückgang in der Nachfrage zeigen auch die vom Plattformbetreiber Freenet TV veröffentlichte Zahl der Abonnements bzw. der umsatzgenerierenden Einheiten (RGU). Für das zweite Halbjahr 2020 wurde ein weiterer Rückgang der RGU verzeichnet, da zum

<sup>6</sup> Quelle: Goldmedia/Fraunhofer IIS auf Basis von Kantar Digitalisierungsbericht 2020.

Basis: 38,520 Mio. TV-HH in Deutschland

<sup>7</sup> vgl. IRT CL 6/LCCE/104, Stand 08/2020

01.05.2020 die Preise für das Abonnement erhöht wurden und sich daraus resultierende Kündigungen aufgrund der Vertragslaufzeiten über einen längeren Zeitraum verteilen.

Auf Basis der Zahl der RGUs (Q2/20) und des Einzelpreises eines aktuellen Jahresabonnements lässt sich überschlägig annehmen, dass Freenet TV ein Erlöspotenzial von bis zu 58,3 Mio. Euro p.a. hat. Zum Vergleich: ARD/ZDF wenden in der Periode 2021-2024 gemittelt 71,7 Mio. Euro p. a. für die terrestrische Verbreitung von Fernsehinhalt auf.<sup>8</sup>

**Tab. 2: Entwicklung der umsatzgenerierenden Einheiten Freenet TV 2018-20, in Mio.**

Freenet TV	Q3/18	Q4/18	Q1/19	Q2/19	Q3/19	Q4/19	Q1/20	Q2/20
Umsatzgenerierende Einheiten (RGU) in Mio.	0,902	1,014	1,020	1,038	k. A.	1,021	1,017	1,005

Quelle: Freenet Group 2020

Auch wenn die Kundenzahlen des kostenpflichtigen kommerziellen Angebotes derzeit leicht rückläufig sind, geht der Netzbetreiber Media Broadcast davon aus, dass die terrestrische Nutzung privater TV-Programme aufgrund der geänderten regulatorischen Rahmenbedingungen mittelfristig wieder steigen könnte.<sup>9</sup> Mit dem im Mai 2021 verabschiedeten Telekommunikationsmodernisierungsgesetz erfolgt die Abschaffung der Umlagefähigkeit von Kabel-TV-Basisanschlüssen über die Miete. Spätestens zum 01.07.2024 müssen alle Kabel-TV-Haushalte, die TV-Signale aktuell über einen Mehrnutzervertrag zwischen Kabelnetzbetreiber und Immobilienverwaltung beziehen, einen Einzelvertrag mit dem Kabelnetzbetreiber abschließen, um weiter TV-Programme wie bisher empfangen zu können. Alternativ können sie sich jedoch auch dafür entscheiden, TV-Programme zukünftig über alternative Übertragungswege wie DVB-T2 (Freenet TV), IPTV oder Over-the-Top über TV-Apps zu empfangen.

## 2.2.2 Internet-Empfang als Alternative zum DVB-T2-Empfang

Der Übertragungsweg DVB-T2 zeichnet sich dadurch aus, dass der Empfang über Zimmerantennen bzw. integrierte Antennen der TV-Geräte oder über die alte Dachantenne möglich ist. DVB-T2 ist damit eine gute Alternative, wenn kein Kabelanschluss verfügbar ist bzw. dieser nicht genutzt wird oder wenn keine Möglichkeit besteht, eine Satellitenschüssel für den TV-Empfang an der Hausfassade/dem Hausdach anzubringen.

Allerdings besteht gleichfalls die Möglichkeit, TV-Programme über Breitband-Internetanschlüsse zu empfangen. Mit Blick auf die Breitbandverfügbarkeit in Deutschland, von 96,3 Prozent für mind. 16 Mbit/s und 93,3 Prozent mit mind. 50 Mbit/s (Stand: Mitte 2020) können diese Dienste als "bundesweit empfangbar" eingestuft werden. In den Ballungsräumen, in denen DVB-T2 vornehmlich genutzt wird, liegt die Breitbandverfügbarkeit aktuell bereits über 98 Prozent.<sup>10</sup>

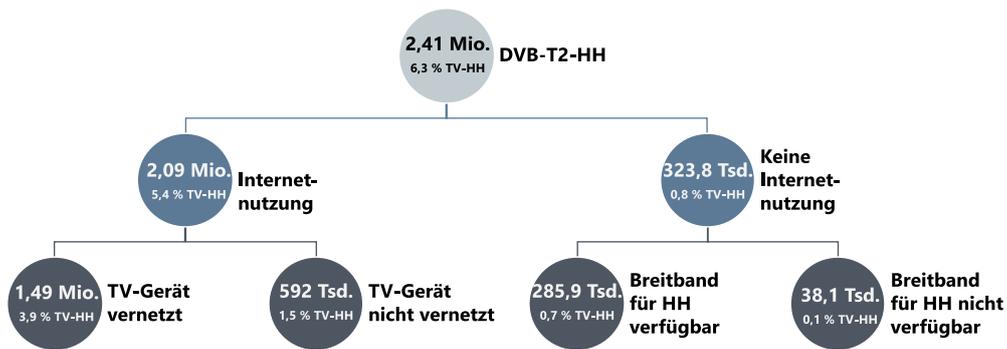
<sup>8</sup> vgl. Kommission zur Ermittlung des Finanzbedarfs der Rundfunkanstalten (2020): 22. Bericht.

<sup>9</sup> vgl. <https://www.teltarif.de/dvb-t2-hd-antenne-media-broadcast/news/82383.html>, vom 27.10.2020

<sup>10</sup> Bericht zum Breitbandatlas des BMVI -Stand Mitte 2020

Schaut man auf die tatsächliche Nutzung von DVB-T2 und Breitband-Internet, lässt sich abschätzen, dass aktuell noch maximal rd. 38 Tsd. DVB-T2-Haushalte keinen Festnetz-Breitband-Internetanschluss nutzen können. Dies entspricht rd. 0,1 Prozent der TV-Haushalte.

**Abb. 5 Ausstattung von DVB-T2-Haushalten mit (verfügbaren) Internetanschlüssen und vernetzten TV-Geräten in Deutschland 2020, Absolut und in Prozent**



Quelle: Goldmedia/Fraunhofer IIS auf Basis von Kantar Digitalisierungsbericht 2020; Initiative D21: D21 DIGITAL INDEX 2020/2021; BMVI Breitbandatlas 2020

Für Haushalte, die einen Kabel- oder Satelliten-gestützten TV-Empfang nicht nutzen können oder wollen, steht damit deutschlandweit die IP-basierte Programmübertragung als weiterer Übertragungsweg für den stationären Empfang linearer Fernsehprogramme zu Verfügung. Die Übertragung erfolgt hier in zwei Dienste-Kategorien: als manageder IPTV-Dienst im geschlossenen Kundennetz eines Telekommunikationsanbieters oder als Over-the-Top-Dienst (OTT) mit Best-Effort-Übertragung über das offene Internet.

Ein weiteres Charakteristikum von DVB-T2, insbes. aus Perspektive der öffentlich-rechtlichen Sendeanstalten, ist die Möglichkeit des kostenfreien Empfangs der Programme von ARD und ZDF. Die Öffentlich-Rechtlichen sehen die Kosten für den Empfang der Programme grundsätzlich über die Haushaltsabgabe mit abgedeckt. Ein solcher kostenfreier Empfang ist auch über Satellit gegeben. (Jedoch ist es in vielen Mehrfamilienhäusern nicht möglich, eine eigene Satellitenschüssel zu nutzen.)

Ein kostenfreier Empfang der öffentlich-rechtlichen Programme über das Kabelnetz ist ohne Bezug eines kostenpflichtigen Basis-Pakets des Kabelnetzbetreibers nicht möglich.

Auch eine Nutzung der linearen TV-Programme über IP-Plattformen ist in der Regel mit Zusatzkosten verbunden. Das gilt für die TV-Dienste der Telekommunikationsanbieter wie Magenta TV (Deutsche Telekom), GigaTV (Vodafone) und 1&1 TV, die gebündelt oder unabhängig von Festnetz-Breitbandanschlüssen vermarktet werden. Diese werden technisch aufgrund wachsender Bandbreiten sowohl als IPTV- als auch als OTT-Dienst oder bereits ausschließlich Over the-Top verbreitet.

Hinzu kommt eine wachsende Anzahl weiterer Over-the-Top-Plattformen wie Waipu TV (Freenet AG), Zattoo Premium, TVNOW Premium (RTL Gruppe), Joyn Plus (ProSieben Sat.1/Discovery Communications) oder die Amazon Prime-Funktion „Live im deutschen Free TV“. All diese Plattformen machen in der Regel ein Abonnement erforderlich, um

darüber sowohl öffentlich-rechtliche als auch private TV-Programme empfangen zu können. Mit Abonnement können je nach Plattform Zusatzfunktionalitäten wie Catch-Up-TV/Mediatheken, Instant-Replay oder Network-PVRs genutzt werden.

Allerdings sind mit Zattoo Free und Joyn Free auch Apps von Drittanbietern auf dem Markt, mit dem öffentlich-rechtliche TV-Programme kostenfrei empfangen und durchgeschaltet werden können.

Immer kostenfrei (bis auf die Kosten für einen Breitbandanschluss) ist die Nutzung der sendereigenen TV-Apps von ARD und ZDF (ARD-App, ZDF-App, Tagesschau-App etc.), die den Empfang der Programmsignale der jeweiligen Sendergruppe in HD ermöglicht.

Damit sind über das Internet vergleichbare Empfangsmöglichkeiten für lineares TV gegeben, wie über DVB-T2.

Zudem ist zu berücksichtigen, dass neben der stationären und nomadischen Nutzung linearer TV-Programme und Streamingdienste auf mobilen Endgeräten auch die mobile Nutzung über Mobilfunknetze immer attraktiver wird. Hintergrund sind Streaming-Flatrates, welche entweder bereits Bestandteil höherpreisiger Mobilfunktarife der Mobilfunknetzbetreiber sind oder als Option dazu gebucht werden können. Auf Basis dieser Flatrate-Angebote können alle relevanten TV-Programme und Streamingportale über Mobilfunk genutzt werden, ohne dass das monatlich begrenzte Mobilfunkdatenvolumen verbraucht wird. Hier ist mit Blick auf die Datentarifentwicklung zu erwarten, dass die Video-Nutzung über Mobilfunknetze 2030 in der Mehrzahl der Mobilfunktarife auf Basis von Flatrates/Zero-Rating möglich sein wird.

### 2.2.3 Nutzungsprognose Lineares Fernsehen

Für die Prognose der zukünftigen Relevanz von Rundfunkübertragungskanälen (und damit auch von DVB-T2) gilt es, die Nutzung linearer TV-Angebote in den Blick zu nehmen:

Hier ist seit Jahren ein Trend hin zu einer nicht-linearen, zeitversetzten Nutzung der Inhalte von TV-Programmen zu erkennen. Stand Mitte 2020 nutzten 33 Prozent der TV-Zuschauer mind. einmal pro Woche Fernsehsendungen zeitversetzt über die Mediatheken/Videoportale der deutschen TV-Sender.<sup>11</sup> Dieser Zugriff erfolgt in der Regel über Apps, die auf Smart-TV-Geräten oder mobilen Endgeräten sowie auf Streaming-Sticks installiert sind oder über den HbbTV-Standard, der mittlerweile in jedem Smart-TV-Gerät installiert ist. HbbTV ermöglicht den Zugriff auf Mediathekinhalte über den sog. "Roten Knopf" der TV-Fernbedienung.

In Summe verfügten Mitte 2020 bereits 82 Prozent der TV-Haushalte über ein internetfähiges Fernsehgerät.<sup>12</sup> Schreibt man diese Entwicklung fort, wird die Marktdurchdringung von Connected-TV bereits im Jahr 2027 bei 98 Prozent liegen. 44 Prozent nutzten darüber Stand Mitte 2020 regelmäßig OTT-Angebote. In dieser Gruppe ist bei 35 Prozent der Startbildschirm die Benutzeroberfläche des Smart-TVs bzw. des Streaming-Sticks.<sup>13</sup>

---

<sup>11</sup> ARD/ZDF Massenkommunikation Langzeitstudie 2020

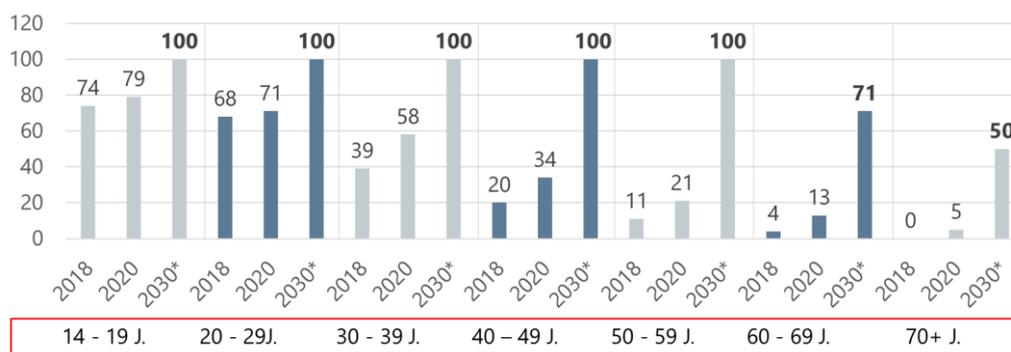
<sup>12</sup> vgl. Digitalisierungsbericht der Medienanstalten 2020

<sup>13</sup> vgl. Digitalisierungsbericht der Medienanstalten 2020

Die Gesamtzahl der Personen >14 Jahre in Deutschland, die Internet als Primär-TV-Quelle nutzen, stieg zwischen 2018 und 2020 von 26 Prozent auf 35 Prozent an (+ 9 Prozentpunkte).<sup>14</sup> Mitte 2020 lag die Zahl der Personen zwischen 14 und 29 Jahren, die gar kein lineares TV am TV-Gerät mehr nutzen, bereits bei 20 Prozent. Bei den 30 bis 49jährigen lag der Anteil bei 13 Prozent.

Mitte 2019 konnten sich bereits 44 Prozent der Personen >14 Jahre einen Verzicht auf linearen TV-Empfang vorstellen oder praktizieren ihn bereits.<sup>15</sup> In Fortschreibung dieser Entwicklung lässt sich prognostizieren, dass bis zum Jahr 2030 alle Altersgruppen unter 60 Jahren (84 Prozent der Bev. >14 Jahre) zu 100 Prozent IP-basierte TV-Plattformen als Primärquelle verwenden werden.

**Abb. 6: OTT als "primär genutzte Bezugsquelle für Bewegtbild" nach Altersgruppen 2018/2020 und Prognose 2030**



Quelle: Goldmedia/Fraunhofer IIS

Damit Broadcast-Übertragungskanäle für die Linear-TV-Nutzung relevant bleiben und die IP-basierten Netze entlasten, wird eine engere Anbindung der klassischen DVB-Signalübertragung an die IP-Videoplattformen notwendig. Das bedeutet z. B., IP- und Broadcast-basierte Übertragungswege verschmelzen in gemeinsamen Benutzeroberflächen.

Freenet TV nutzt diesen Ansatz heute schon, in dem es bei „Freenet connect“ mithilfe des HbbTV-Standards über DVB-T2 mehrere IP-Links mitüberträgt. Diese ermöglichen es dem Zuschauer, bei vernetzten Empfangsgeräten weitere TV-Kanäle aus dem Internet zu beziehen, die nicht über DVB-T2 ausgestrahlt werden.

Grundsätzlich ist festzustellen, dass sich die Bewegtbildnutzung zunehmend auf Onlineplattformen wie YouTube und kostenpflichtige VoD-Angebote wie Amazon Prime oder Netflix verschiebt. In Summe entfällt mittlerweile rd. 25 Prozent der Gesamtzeit, die für Bewegtbildnutzung verwendet wird, auf Videoangebote, die nicht von TV-Sendern ausgestrahlt bzw. auf deren Mediatheken angeboten werden.

Der Anteil des linearen Fernsehens an der Gesamt-Videonutzung der 14 bis 29jährigen liegt nur noch bei 29 Prozent.<sup>16</sup> Goldmedia geht davon aus, dass der Anteil der linearen TV-Nutzung im Jahr 2030 nur noch bei rd. 15 Prozent der Gesamt-Videonutzung bei der Bevölkerung >14 Jahre liegen wird.

<sup>14</sup> vgl. Digitalisierungsbericht der Medienanstalten 2019

<sup>15</sup> vgl. Digitalisierungsbericht der Medienanstalten 2019

<sup>16</sup> vgl. ARD/ZDF Massenkommunikation Langzeitstudie 2020

Damit wird lineares Fernsehen zunehmend zu einem Medium für Live-Formate bzw. aktuelle Informationssendungen und exklusive Show-Formate. TV-Sender werden sich verstärkt zu Produzenten einzelner Programmformate entwickeln, deren Inhalte dann zum Abruf bereitgestellt werden. Die Nutzung wird zunehmend nicht auf Sender-, sondern auf Programmarken entfallen, die auf den Smart-TV-Oberflächen präsentiert werden. Vor dem Hintergrund dieser Entwicklung erscheint es fraglich, dass es in 10 Jahren noch eine ähnlich hohe Zahl linearer deutschsprachiger TV-Kanäle gibt wie heute.

## 2.3 Gegenwärtige Frequenznutzung durch das terrestrische Fernsehen

Im Jahr 2006 wurde im Rahmen der Regional Radiocommunication Conference (RRC-06) der ITU ein Frequenzplan für die Nutzung des UHF Bandes IV und V (470-862 MHz) festgelegt.<sup>17</sup> Ziel war die koordinierte Nutzung der Frequenzen für den terrestrischen Rundfunk und Wegbereitung für die Einführung digitaler Rundfunkdienste (DAB und DVB-T) in der ITU Region 1. Festgelegt wurde neben der Frequenznutzung auch die regionale Nutzung, d.h. die detaillierte geographische Aufteilung des Frequenzbands mit dem Ziel, eine räumliche Frequenzentkopplung zur Störungsminimierung/-vermeidung zu erreichen.

Für Deutschland ergaben sich in der Folge von RRC-06 und intensiven Abstimmungen mit den Nachbarländern im Frequenzbereich 470-694 MHz sechs nutzbare Abdeckungen (Layer) für den digitalen terrestrischen TV-Rundfunk bei einer Kanalbandbreite von jeweils 8 MHz.

Aktuell werden je nach Senderstandort zwischen einer und sechs Frequenzen für die Übertragung von DVB-T2 Multiplexen verwendet. Die erzielbare Datenrate pro UHF-Kanal beträgt je nach verwendeter Kodierung und Fehlerschutz bis ca. 28 MBit/s.

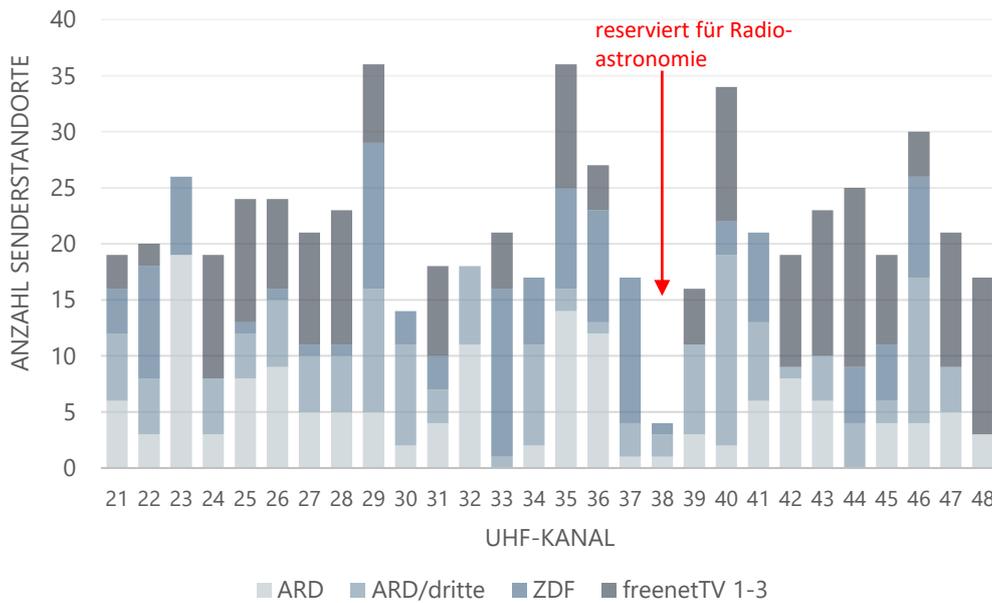
Bei einer Datenrate pro Rundfunk-Feed von 2 bis 5 Mbit/s bei HD-Auflösung ergeben sich so, je nach gewünschter Bildqualität, bis zu acht Programme, die gleichzeitig pro Multiplex auf einer Sendefrequenz übertragen werden können.

Aktuell werden von den Sendernetzbetreibern in Deutschland nahezu alle der verfügbaren 27 8-MHz-Kanäle genutzt (vgl. nachfolgende Abbildung).

---

<sup>17</sup> Teile der 2006 definierten Frequenzbereiche (694 – 862 MHz) wurden in der Zwischenzeit zur Nutzung für Mobilfunkanwendungen frei gegeben.

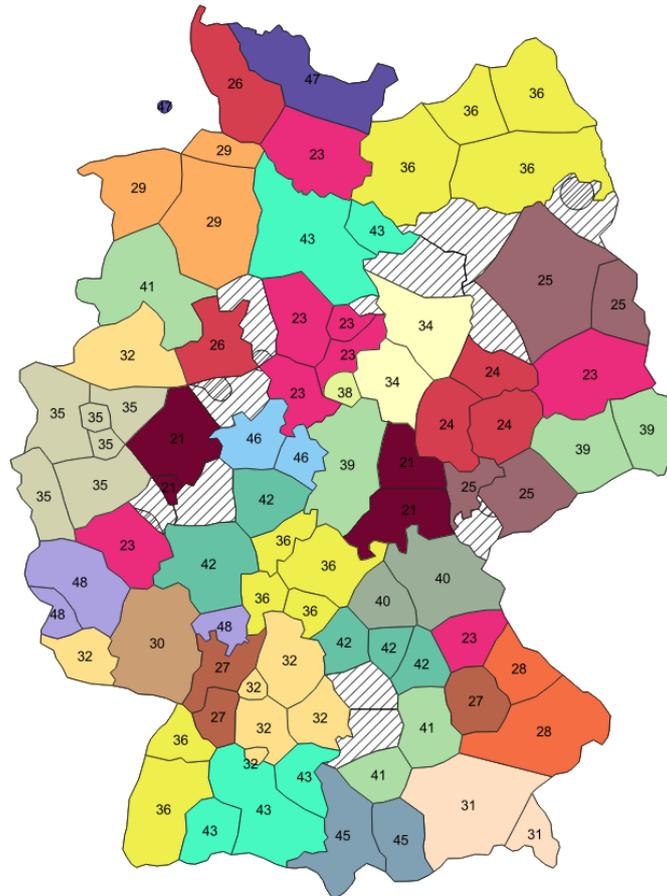
**Abb. 7: UHF-Kanalnutzung nach Betreiber in Deutschland**



Quelle: DVB-T2 Standort- und Kanalübersicht, Planungsstand: V5.0.5: 27.02.2019, [https://www.dvb-t2hd.de/files/Senderstandorte\\_und\\_Kanaele\\_\(Stand\\_Februar\\_2019\).pdf](https://www.dvb-t2hd.de/files/Senderstandorte_und_Kanaele_(Stand_Februar_2019).pdf)

Die derzeitige, extensive Frequenznutzung des TV-UHF-Spektrums durch den Rundfunk ergibt sich aus den vom öffentlich-rechtlichen Rundfunk definierten regionalen und sub-regional Verbreitungsgebieten. Aktuell bestehen in den sechs bundesweit betriebenen DVB-T2-Layern jeweils über 90 Verbreitungsgebiete (sog. „Allotments“). Diese Allotments sind in der nachfolgenden Grafik am Beispiel von Layer 1 dargestellt.

**Abb. 8: Regionale Bedeckungen (Allotments) für digital-terrestrisches Fernsehen in Deutschland am Beispiel von DVB-T2-Layer 1 (ARD national)**



*Legende: Farbige Bereiche markieren Gebiete, auf denen auf einem UHF-Kanal der nationale ARD-Multiplex ausgestrahlt wird. Schraffierte Gebiete haben keine eigene Senderversorgung und werden von den benachbarten Gebieten mitversorgt.*

*Quelle: Bundesnetzagentur*

Da nicht alle Programme der ARD, insbesondere nicht alle Dritten Programme, über die zwei der ARD zur Verfügung stehenden DVB-T2-Bouquets (8-MHz-Kanalmultiplexe) national verbreitet werden können, stellen die einzelnen ARD-Landesrundfunkanstalten (LRA) für verschiedene Regionen im Sendegebiet je nach geografischer Nähe zu anderen Bundesländern unterschiedliche Kanal-Bouquets zusammen. Zugleich produzieren die Landesfunkhäuser der Mehrländeranstalten im unterschiedlichen Umfang auch regionale Nachrichtenprogramme, die als sog. „Regionalfenster“ zu festen Uhrzeiten im Dritten Programm der LRA eingespeist und regional verbreitet werden.

Der WDR hat das am meisten regionalisierte Dritte Fernsehprogramm. Der Sender verfügt über elf Regionalstudios in Nordrhein-Westfalen. Eine weitere regionale Auseinanderschaltung erfolgt außerdem beim BR Fernsehen (Franken und Schwaben). Alle weiteren LRAs, deren Sendegebiete sich über mehrere Bundesländer erstrecken (MDR, NDR, RBB, SWR) produzieren in den Landesfunkhäusern landesspezifische Regionalfenster. Damit ergibt sich in NRW und Bayern ein verstärkter Bedarf für regionalisierte Sendegebiete innerhalb des Bundeslandes.

Zur regionalen Aussteuerung des Programmangebots nutzt die ARD dabei nicht alle der über 90 Allotments individuell. In einigen Allotments wird dasselbe Programmbouquet über ein Single-Frequency-Network (SFN) ausgestrahlt.

Die Sendeleistung der DVB-T2-Sendeanlagen zur Verbreitung der regionalen Programmbouquets übersteigt dabei jeweils das intendierte Verbreitungsgebiet. Aufgrund dieser Überreichweiten können diese Frequenzen nicht in benachbarten Sendegebeten erneut genutzt werden. DVB-T2 ist auf hohe Datenraten pro Kanal zur Übertragung eines großen Programmbouquets mit wenigen Sendern für den stationären Empfang ausgerichtet. Die Qualität des Nutzsignals (Signal to interference plus noise ratio (SINR)) liegt auch am Zellrand noch deutlich über 0 dB und ist damit gut empfangbar.

Dadurch entsteht jedoch eine höhere Störanfälligkeit beim Empfang der Signale, wenn entferntere Sendeanlagen auf derselben Frequenz arbeiten. Um das hohe SINR zu gewährleisten, werden benachbarte Zellen auf anderen Kanälen betrieben. Dafür werden die Zellen in zusammenhängende Gruppen zusammengefasst (cell cluster) bei dem jede Zelle innerhalb der Gruppe einen anderen Kanal mit anderer Trägerfrequenz verwendet. Zellen mit gleichem Kanal sind durch die größere Entfernung, die der Gruppengröße entspricht, entkoppelt. Man spricht dann von einem „Re-Use-Faktor  $\eta$ “ der gleich der Gruppengröße ist. Als Konsequenz daraus kann in einer Zelle nur  $1/\eta$  der verfügbaren Anzahl von Kanälen verwendet werden.

Das Sendernetz der ARD besteht je nach Größe des Verbreitungsgebietes überwiegend aus High-Tower-High-Power-Standorten bzw. Medium-Tower-Medium-Power-Standorten. Eine Frequenz, die über einen High-Tower-High-Power-Standort mit einer typischer Leistung bis zu 100 kW ausgestrahlt wird, kann erst mit einem Abstand von rund 100 km erneut für ein anderes DVB-T2-Bouquet genutzt werden.

Auch die privaten TV-Sender Sat.1 und RTL produzieren für die Vorabendschiene regionale Fensterprogramme. RTL produziert insgesamt acht regionale Fensterprogramme und Sat.1 fünf. Diese Regionalfenster werden in den von Freenet genutzten Programm-Layern und Verbreitungsgebieten ebenfalls regional differenziert übertragen.<sup>18</sup> Damit besteht auch für das Freenet TV-Angebot grundsätzlich ein Regionalisierungsbedarf von mind. acht Verbreitungsgebieten, um insbes. das TV-Programm von RTL mit dem regionalspezifischen Fensterprogramm auszustrahlen.

Damit liegt der Differenzierungsgrad und die Zahl der benötigten Allotments aus Sicht der Freenet AG deutlich unter dem Differenzierungsgrad der ARD. Da man jedoch, wie auch das ZDF mit seinem rein bundesweit verbreiteten Bouquet, das Gesamt-Frequenzgefüge beachten muss, kann Freenet nur dort SFNs nutzen, wo die Frequenz kein Störfaktor für angrenzende öffentlich-rechtliche Sender darstellt. Bei Einzelbetrachtung eines klassischen Funkzellen-Hexagons, läge der Re-Use-Faktor bei 7. (Die Frequenz der Funkzelle und die der theoretisch im Hexagon 6 angrenzende Zellen können nicht unmittelbar wiederbelegt werden). Bei Betrachtung über das gesamte TV-Spektrum in

---

<sup>18</sup> vgl.: [https://de.wikipedia.org/wiki/Liste\\_der\\_Regionalmagazine#Deutschland](https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_der_Regionalmagazine#Deutschland)

Deutschland und dessen aktueller Belegung ergibt sich ein Re-Use-Faktor der Frequenznutzung von rechnerisch 4,67 (224 MHz TV-UHF-Spektrum geteilt durch 6 nationale Layer<sup>19</sup> mit je 8 MHz Kanalbandbreite).

Die jeweils in einer Region nicht für Rundfunk verwendeten Frequenzen im Bereich von 470 bis 694 MHz können von anderen Diensten mit niedriger Sendeleistung für regional enger begrenzte Anwendungen temporär (bzw. auch dauerhaft) genutzt werden (Sekundärnutzung). Hierzu zählen vor allem die Funkdienste für Programme Making and Special Events (vgl. Kap. 5). Neben dem Veranstaltungsrundfunk dürfen auch Funkdienste wie Radioastronomie und Windmess-Radare in diesem Spektrum lokal dauerhaft betrieben werden.<sup>20</sup>

## 2.4 Zukünftige Entwicklung von DVB-T2 und DVB-I

Eine Weiterentwicklung von DVB-T2 zu einem Nachfolgestandard (DVB-Tx), der auf Basis eines effizienteren Video-Codex z. B. auch TV-Programme in Ultra-HD-Bildauflösung (UHD) übertragen könnte, wird aktuell weder durch die öffentlich-rechtlichen Programmanbieter noch durch die Freenet AG verfolgt. Stattdessen soll die aktuelle HD-Auflösung auch über 2030 hinaus in der Terrestrik beibehalten werden.

Eine Weiterentwicklung erfolgt jedoch in Bezug auf die in Kap. 2.2.3 skizzierte stärkere Integration der IP-basierten Programmverbreitung und von On-Demand-Content in das terrestrische TV-Angebot.

Bereits seit der Einführung des HbbTV-Standards im Jahr 2013 ergänzen über das Internet verbreitete TV-Programme und Mediathek-Angebote (Catch-Up-TV) das über DVB-T2 verbreitete TV-Programmangebot. Freenet nutzt diese Technologie, um über das Angebot „Freenet connect“ sein terrestrisch verbreitetes Bouquet an Privat-TV-Kanälen um weitere Programme zu ergänzen. Diese werden als Webstreams in die Programmliste des EPGs eingebunden. Damit kann Freenet sein lineares Programmangebot unabhängig von der Kapazität der genutzten DVB-T2-Muxe beliebig erweitern. Für die Kunden ist damit unerheblich, auf welchem Verbreitungsweg der Programm-Feed zugeführt wird. Voraussetzung für die Nutzung ist, dass ein für Freenet TV zertifiziertes DVB-T2-Empfangsgerät mit dem Internet verbunden ist, welches die HbbTV-Plattform terrestrisch empfängt.

Zukünftig soll die Interoperabilität von Broadcast- und Internetbasierter Programmverbreitung durch die DVB-I Spezifikation (DVB – IP signalling and delivery) noch weiter gestärkt werden. Die DVB-I-Spezifikation soll sicherstellen, dass eine lineare Fernsehübertragung über das Internet so benutzerfreundlich wie ein herkömmlicher Broadcast-Feed ist.

DVB-I stellt hierbei einen komplementären Ansatz zu HbbTV dar. DVB-I integriert HbbTV-Dienste, kann darüber hinaus jedoch auch ohne ein Broadcast-Signal genutzt werden. Durch DVB-I sollen lineare Fernsehdienste auf allen vernetzten Geräten (neben

---

<sup>19</sup> Der lokale DVB-T2-Layer steht nicht flächendeckend zur Verfügung und kommt nur in Hamburg, Berlin und in Sachsen zum Einsatz. Er bleibt daher bei der Re-Use-Faktor-Berechnung unberücksichtigt.

<sup>20</sup> vgl. ITU, Final Acts of the Regional Radiocommunication Conference for planning of the digital terrestrial broadcasting service in parts of Regions 1 and 3, in the frequency bands 174-230 MHz and 470-862 MHz (RRC-06), 2006

Fernsehgeräten auch Smartphones, Tablets und sonstige Streaming-Geräte) über einen allgemeinen Branchenstandard zur Verfügung gestellt werden, der proprietäre TV-Apps von Aggregationsdiensten überflüssig macht. Die im November 2019 erstmals im „DVB BlueBook A177“<sup>21</sup> vorgestellte DVB-I-Spezifikation hat einen Schwerpunkt auf Service Discovery und Programminformationen, wodurch Rundfunkveranstalter noch stärker in die Lage versetzt werden, integrierte Angebote zu schaffen, die sich aus Broadcast- und IP-Inhalten zusammensetzen.

DVB-I integriert zudem zahlreiche weitere technische Innovationen des DVB-Ökosystems, u. a. einen Low-Latency-Modus (DVB-DASH), die dynamische Adressierung von Werbung sowie das multicast-adaptive Bitraten-Streaming (DVB-mABR), mit dem lineare Inhalte gleichzeitig über gemanagte Breitbandnetze an mehrere Empfänger ausgeliefert werden können. Ziel hierbei ist es, die Netzwerklast für die Rundfunkverbreitung zu senken. Auch spezifische DVB-I-Dienste für 5G-Broadcast (siehe Kapitel 2.5) sind aktuell in der Entwicklung.

Sofern die Einführung von DVB-I international gelingt, wird die bereits eingesetzte Technik der Signalisierung von IP-Stream-Links über TV-Plattformen sowie die unabhängige Einbindung von IP-Streaming-Angeboten in DVB-basierte elektronische Programmführer weiter zunehmen. Damit wird es über alle DVB-basierten TV-Distributionswege (DVB-T2, DVB-C, DVB-S2) und sogar bei ausschließlichem Internetempfang möglich sein, zusätzliche lineare Programme (Live-Streams) in das Gesamtangebot eines elektronischen Programmführers bzw. bestehende Programmlisten einzubinden. In der Nutzung unterscheiden sich diese IP-Streams nicht von den über Broadcast empfangenen Programmen. Der Zuschauer wird beim Durchschalten in der Regel nicht merken, ob das Programm über Broadcast oder über IP zugeführt wird.

## 2.5 Perspektiven für 5G als Broadcast-Technologie

Die öffentlichen Rundfunkanstalten in Europa bemühen sich seit längerem darum, lineare TV-Programme auch über Mobilfunkstandards terrestrisch verbreiten zu können. Ziel ist es, die Signale auf Smartphones nutzbar zu machen, ohne dass dadurch die Mobilfunkdatentarife der Nutzer tangiert werden. Mit Weiterentwicklung des 5G-Mobilfunkstandards soll dies nun gelingen. Nachfolgend wird der aktuelle Stand der Entwicklung skizziert.

### 2.5.1 Grundlagen des 5G-Mobilfunkstandards

#### 2.5.1.1 Wesentliche Neuerungen von 5G ggü. 4G

Die neue 5G New Radio (NR) Luft- bzw. Funkschnittstelle wurde im Rahmen der 3GPP auf Grundlage von LTE standardisiert. U. a. wurde Orthogonal Frequency-Division Multiplexing (OFDM) als Modulationsverfahren und die grundlegende Rahmen- sowie Signalstruktur in Zeit- und Frequenzbereich wiederverwendet. Die 5G-Standardisierung wurde im Release 15 gestartet und Phase 1 im Sommer 2018 abgeschlossen.

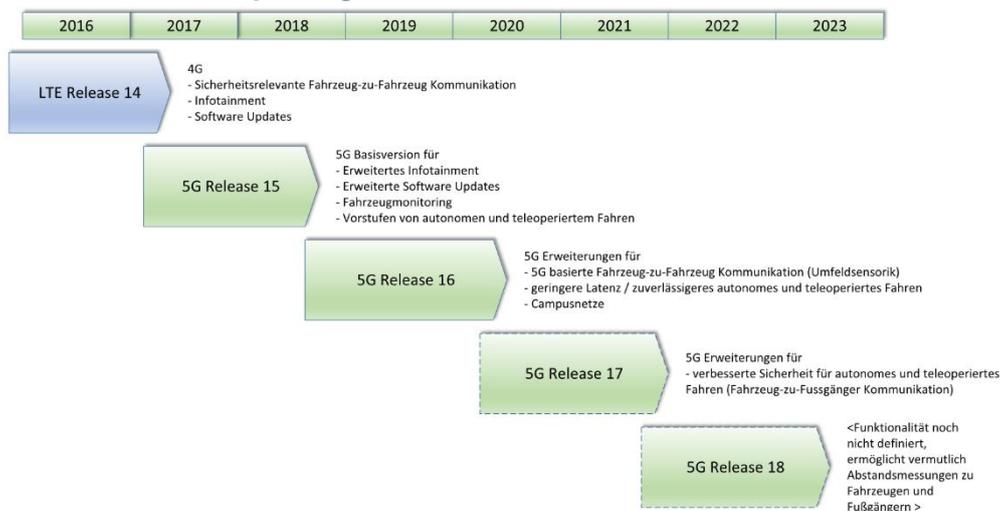
---

<sup>21</sup> vgl. [https://dvb.org/wp-content/uploads/2020/11/A177r2\\_Service-Discovery-and-Programme-Metadata-for-DVB-I\\_ts\\_103-770-v120\\_June-2021.pdf](https://dvb.org/wp-content/uploads/2020/11/A177r2_Service-Discovery-and-Programme-Metadata-for-DVB-I_ts_103-770-v120_June-2021.pdf)

Die Erweiterungen und Verbesserungen von 5G gegenüber LTE sind motiviert durch die von der Internationalen Fernmeldeunion (ITU-R) definierten drei Anwendungsbereiche:

1. **Enhanced Mobile Broadband (eMBB):** Mobiler Breitbandzugang mit hohen Datenraten > 10 Gbit/s und geringen Latenzen
2. **Massive Machine Type Communication (mMTC):** Kostengünstige Geräte mit geringer Stromaufnahme für möglichst viele Verbindungen mit sporadischen und geringen Datenmengen
3. **Ultra Reliable and Low Latency Communication (URLLC):** Hohe Datenmengen mit hoher Zuverlässigkeit und geringsten Latenzen von 1 ms

**Abb. 9: 5G-Releaseplanung**



Quelle: Goldmedia/Fraunhofer IIS

Beispiele für Anwendungen in den einzelnen Anwendungsbereichen sind:

- eMBB: Virtuelle oder erweiterte Realität (Virtual Reality und Augmented Reality), Mobile-TV / 5G-Broadcast
- M2M: „Internet der Dinge“ (IoT), Industrie 4.0, Vernetzung von Maschinen und Geräten aller Art, eHealth und mHealth
- URLLC: Echtzeitkommunikation, taktile Kommunikation, Fernsteuerung von Maschinen und Anlagen, Echtzeitsteuerung von kritischen Abläufen in Produktion und Energienetzen, medizinischen Operationen und autonom fahrende Fahrzeuge, vernetztes Fahren

### 2.5.1.2 Funktionsweise von 5G

Die gegenüber LTE höhere Leistungsfähigkeit, Geschwindigkeit, Effizienz und Flexibilität, die notwendig ist, um diesen Anforderungen gerecht zu werden, wird durch eine Vielzahl von Erweiterungen schon vorhandener und auch Einführung neuer Technologien erreicht.

Datenraten und Zellkapazitäten werden hauptsächlich durch Erweiterungen des Spektrums erhöht. So werden den schon von LTE bekannten Bändern unterhalb von 6 GHz, die bei NR unter der Frequency Range 1 (FR1) spezifiziert sind, neue Bänder in einer

Frequency Range 2 (FR2, mmWave) zwischen 24 GHz und 40 GHz hinzugefügt, welche Bandbreiten bis zu 4 GHz bereithalten.

Neben der riesigen zusätzlichen Kapazität ermöglichen diese Bänder sehr kleine Zellen (small cells), die die Netzkapazität noch weiter steigern. Small Cells sind für sehr hohe kapazitive Anforderungen auf kleiner Fläche geeignet (Innenstädte, Veranstaltungszentren, Festplätze, Stadien, etc.).

Mehrantennensysteme mit miniaturisierten Antennen-Arrays mit 100 oder mehr Antennen ermöglichen den Einsatz von „massive MIMO“ (mMIMO) und Beamforming. Mit massive MIMO wird die bereits bei LTE eingesetzte räumliche Mehrfachnutzung einzelner Trägerfrequenzen (2X2 MIMO oder 4X4 MIMO) potenziert. Damit lässt sich die spektrale Effizienz bei gegebener Bandbreite deutlich verbessern, um entweder die Datenrate für einzelne Nutzer extrem zu erhöhen oder die Aufnahme von sehr vielen Nutzern pro Zelle zu ermöglichen.

Beim Beamforming können mehrere getrennte Beams auf verschiedene Teilnehmer gerichtet werden, so dass die Sendeleistung effizient genutzt und nicht wie bei Rundstrahlantennen zum größten Teil in den freien Raum verschwendet wird. Damit wird die Sendeleistung auf ein Minimum reduziert, Energie gespart und Interferenzen minimiert.

Die Signallaufzeiten bzw. Latenzen auf der physikalischen Schicht sind bei LTE kaum zu beeinflussen. Dieses liegt an den festen Zeitlängen innerhalb der LTE-Rahmenstruktur, die durch den festen Unterträgerabstand von 15 kHz bestimmt ist. LTE kann daher eine Größenordnung von 10 ms nicht unterschreiten.

Damit 5G die Anforderung, die Latenzzeit auf bis zu 1 ms zu reduzieren, erfüllen kann, wurde die 5G Rahmenstruktur flexibel gestaltet. Die Skalierung der Rahmenstruktur, auch „Numerologie“ genannt, erfolgt auf Basis des Parameters „ $\mu$ “. Ausgehend von 15 kHz können die Unterträgerabstände um einen Faktor  $2^\mu$  bis zu 120 kHz erhöht werden. In gleichem Maße verkürzt sich die zeitliche Länge der kleinsten Paketeinheit in der Rahmenstruktur, genannt Slot, von 1 ms ausgehend auf bis zu 125  $\mu$ s.

Auf diesen Numerologien bauen eine Reihe von weiteren Möglichkeiten zur Einstellung der Latenz auf. Antwortzeiten für das Schema zur Übertragung verloren gegangener Daten (hybrid adaptive repeat and request; HARQ) sind fast beliebig bis auf 0 Slots einstellbar. Die Anzahl von maximal 14 Symbolen, die bei der eingesetzten Frequenzmodulation OFDM möglich ist, kann verringert werden, um damit sogenannte Minislots zu erzeugen. Damit lassen sich mehr Symbole in kürzerer Zeit übertragen. Konkret bedeutet dies Folgendes:

Die Eingangssignale werden bei 5G-NR mit 64 oder 256QAM (Quadratur Amplituden Modulation) auf die Unterträger einer Trägerfrequenz aufmoduliert. Das bedeutet, die Daten werden auf Basis von 64/256 QAM unterschiedlichen Symbolzuständen mit jeweils 6 bzw. 8 Bit Information aufgebracht. Diese Unterträger werden über ein Cyclic Prefix Orthogonal Frequency Division Multiplexing (CP-OFDM) in ein Trägerfrequenzsignal zusammengeführt.

Die aktuelle Konfiguration von 5G-NR nutzt wie LTE 15 kHz als grundlegendsten Unterträgerabstand. Dies entspricht der in „ $\mu$ “ notierten Numerologie 0. Damit können 14 OFDM-Symbole (ein Slot) in einer Millisekunde, über einen sog. Subframe übertragen werden. Im Frequenzbereich sind die Unterträger in Gruppen, den sog. „Ressourcenblocks“, unterteilt. In 5G-NR ist es möglich, die Numerologie flexibel zu erhöhen. Damit erhöht sich die Anzahl der Slots pro Millisekunde, in der 14 Symbole übertragen werden.

Um mehr OFDM Symbole in einem Subframe unterzubringen, spezifiziert der 5G-NR Standard größere Unterträgerabstände (SCS = sub carrier spacing). Bei 30 kHz SCS ( $\mu = 1$ ) können bereits zwei Slots (28 Symbole) pro Subframe übertragen werden.

Wie viele Ressourcenblöcke zur Verfügung stehen, hängt sowohl vom Unterträgerabstand als auch von der verfügbaren Gesamtträgerbandbreite ab. Die nachfolgende Tabelle zeigt die im Standard definierte Anzahl an Ressourcenblöcken (Number of Resource Blocks) für unterschiedliche Gesamt-Trägerbandbreiten bei unterschiedlichen Unterträgerabständen (Ressourcen-Grids).

**Tab. 3: Trägerbandbreiten und Anzahl der verfügbaren Ressourcenblöcke für 5G-NR Frequency-Range 1 (410 MHz – 7125 MHz)**

SCS (kHz)	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz	25 MHz	30 MHz	40 MHz	50 MHz	60 MHz	70 MHz	80 MHz	90 MHz	100 MHz
	N <sub>RB</sub>												
15	25	52	79	106	133	160	216	270	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
30	11	24	38	51	65	78	106	133	162	189	217	245	273
60	N/A	11	18	24	31	38	51	65	79	93	107	121	135

SCS = sub carrier spacing / NRB = Number of Resource Blocks

Quelle: 3GPP TS 38.101-1, User Equipment (UE) radio transmission and reception; Part 1: Range 1 Standalone

Je nach SCS ändert sich das Ressourcen-Grid mit der Anzahl der verfügbaren Unterträger und OFDM-Symbole. Somit legt 5G-NR für jede Numerologie und jede Trägerbandbreite ein Ressourcen-Grid mit einer bestimmten Breite fest. Diese ergibt sich durch die maximale Anzahl von Ressourcen-Blöcken pro Symbol, multipliziert mit der Anzahl der Unterträger pro Ressourcen-Block.

Hinzu kommen eine Vielzahl weiterer Verbesserungen, unter anderem die Verwendung der zurzeit besten Kanalkodierung mit Polarcode und Low Density Parity Check Codes (LDPC), kleinere Schutzabstände am Trägerrand und die flexible Einteilung eines Trägers durch Bandbreiten-Partitionierung (bandwidth parts; BWP). Auch das Verhältnis von OFDM-Symbolen für Downlink und Uplink im Rahmen des Zeitmultiplexings (time division duplex; TDD) kann beliebig konfiguriert werden.

4G- und 5G-Netze werden gemeinsam, beziehungsweise parallel betrieben, so dass der Ausbau stufenweise erfolgen kann. In der ersten Stufe wurden 5G Netze ausschließlich „Non-Standalone“ (NSA) mit LTE kombiniert. Das LTE-Netzwerk bedient vor allem die Kontrollebene und 5G die Datenübertragung. In der zweiten aktuell anlaufenden Stufe werden die 5G Netze „Standalone“ (SA) betrieben, d.h. sie verwenden ihre eigene Kontrollebene mit den dazugehörigen Prozeduren zu Verbindungsaufbau und -verwaltung.

Die drei in Kapitel 2.5.1.1 genannten Anwendungsbereiche sind eine Antwort darauf, dass unterschiedliche Nutzer und Anwendungen einen individuellen Bedarf an Kapazität, Datenraten, Latenz und Zuverlässigkeit haben. Diese individuellen Anforderungen werden in Profilen zusammengefasst, die einen passenden „Quality of Service“ (QoS) definieren. Mit deren Flexibilität schafft 5G nun auch auf der physikalischen Schicht die Grundlage, einen bestimmten QoS passend zu konfigurieren (z. B. durch Auswahl der Numerologie, HARQ Antwortzeiten, TDD Konfiguration, Bandwidth Part, Anzahl aggregierter Träger, MIMO/Beamforming etc.).

Neben QoS-Optionen auf den höheren Protokollebenen unterstützen diese Eingriffsmöglichkeiten weitaus besser als bei Vorgängersystemen das Konzept der virtuell geteilten Netze, welches unter dem Begriff „Networkslicing“ bei 3GPP spezifiziert ist. Networkslicing ermöglicht die Aufteilung eines Netzes für unterschiedliche Bedürfnisse auf Ebene des gesamten Netzes. Ein Netzbetreiber kann so bestimmte Qualitätsmerkmale für eine Kundenkategorie bereitstellen. Dies ist zum Beispiel eine zugesicherte Datenkapazität oder eine bestimmte Reaktionszeit (Latenz).

Ein Netzbetreiber kann also über eine gemeinsame physische Infrastruktur mehrere virtuelle Netze verwalten und betreiben. Bildlich gesprochen „schneidet“ der Netzbetreiber die Scheibe aus dem Netzwerk heraus, die an den jeweiligen Anwendungsfall angepasst ist. Das führt dazu, dass für die Vielzahl möglicher unterschiedlicher Anforderungen kein einheitliches 5G-Netz für jeden betrieben wird, sondern mehrere individuelle, virtuelle Netze, die auf die jeweiligen Anwendungen angepasst sind.

### **2.5.1.3 Künftige Entwicklungen (6G)**

Die Entwicklung im Bereich 6G ist noch ziemlich offen. Bisher existieren verschiedene White Paper und Veröffentlichungen, die Grobkonzepte behandeln, wie verstärkter Einsatz von KI, intelligente Oberflächen, Terrahertz Bänder, flüssige Antennen, Verwendung des Kommunikationssystems für Sensorik, zellfreier Betrieb und Full Duplex, um einige Beispiele zu nennen. Die weitere Erhöhung der Datenrate basiert dabei vor allem auf der Nutzung von Terrahertz-Frequenzen, die den Einsatz noch kleinerer Zellen (tiny cells) erforderlich macht. Ziel ist es, Datenraten bis in den Bereich von Terabit/s, mit Latenzen < 1ms in Echtzeit und hoher Verlässlichkeit von 99.99999% gleichzeitig zu erreichen, d.h. einen einheitlichen QoS zu definieren.

Während die technischen Möglichkeiten von 5G in begrenztem Umfang auch in der Fläche auf Frequenzen unterhalb von 1 GHz zum Einsatz gebracht werden (z. B. Beamforming und Slicing), wird erwartet, dass 6G einen Schwerpunkt auf lokale Einsatzfelder legt.

## **2.5.2 Entwicklung von 5G-Broadcast**

### **2.5.2.1 Status-Quo LTE-basierter 5G-Broadcast**

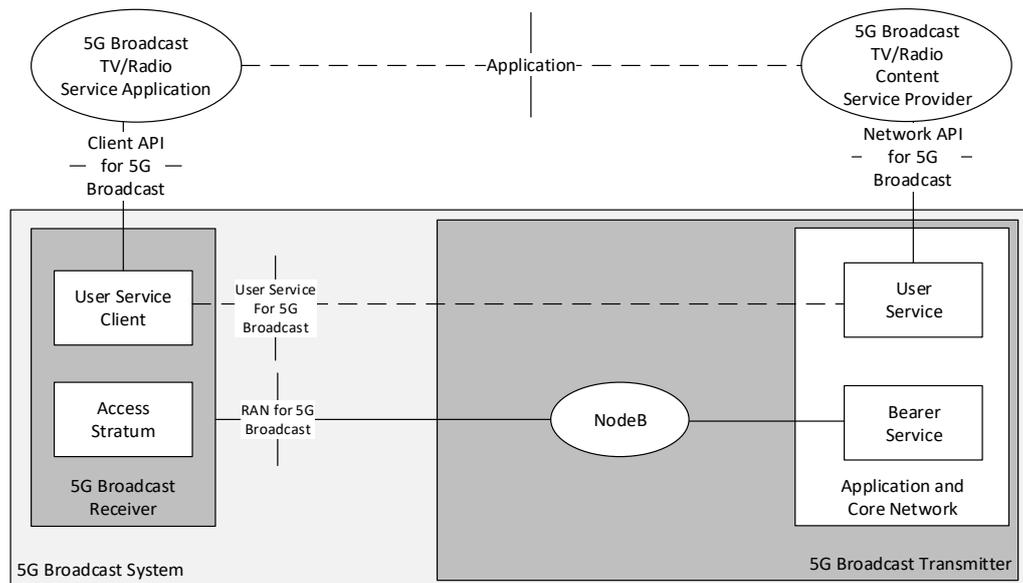
Als erster Versuch das Mobilfunknetz mit Radio und TV-Rundfunk zu vereinen, wurde der Dienst „Multimedia Broadcast Multicast Service“ (MBMS) mit UMTS Release 6 im Jahr 2005 spezifiziert, jedoch nie eingesetzt.

LTE hat MBMS schon im ersten Release 8 aufgenommen und als „enhanced MBMS“ (eMBMS) in Release 9 weiterentwickelt. Dabei ist der Gleichwellenbetrieb (single frequency network, SFN) eines der Hauptmerkmale. Mit Release 14 wurde im Juni 2017 „Further evolved MBMS“ (FeMBMS) eingeführt. FeMBMS erlaubt größere Zellen und bietet einen reinen Empfangsmodus (Receive-Only-Mode), ohne die zwingende Notwendigkeit eines Rückkanals. Damit können 100 Prozent der Übertragungskapazität für einen Rundfunkdienst genutzt werden. Bis dahin erlaubte die physikalische Schicht nur einen Mischbetrieb von Mobilfunk mit maximal 60 Prozent für den Rundfunkdienst.

Im Release 16 wurde FeMBMS erweitert, jedoch nicht auf Basis von 5G-NR sondern LTE. Dieser wird als „LTE basierter 5G-Broadcast“ bezeichnet.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die grundsätzliche Architektur eines 5G-Broadcast-systems. Die Inhalte werden von einem Rundfunk-Dienste-Anbieter ausgesendet. Die TV/Radio Anwendung auf der Empfängerseite erhält die Inhalte durch dedizierte Anwendungsschnittstellen (client application programming interfaces, client APIs). Ein Übermittlungsdienst (bearer service) ist für die Verteilung der Inhalte, ein Benutzerdienst (user service) für die Ankündigung der 5G-Broadcastdienste sowie Informationsbereitstellung zum Auffinden und Zugriff zuständig. Physikalisch werden alle Daten über eine RAN-Schnittstelle (Radio Access Network) übertragen, die eine Funkfeststation (bei LTE als „NodeB“, bei 5G als „gNB“ abgekürzt) und das „Access Stratum“ (AS) eines Modems einschließt.

**Abb. 10: Referenzarchitektur LTE-basierter 5G-Broadcast**

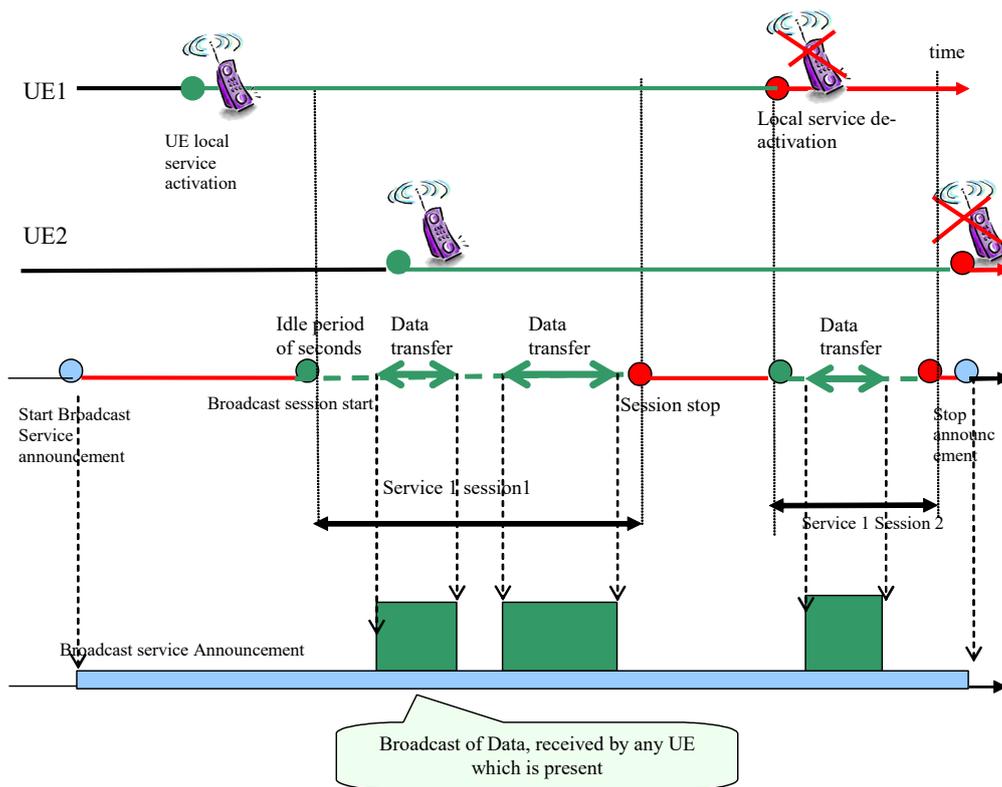


Quelle: ETSI TS 103 720 V1.1.1 (2020-12), 5G Broadcast System for linear TV and radio services; LTE-based 5G terrestrial broadcast system, figure 4.2.2-1

Der zeitliche Ablauf eines LTE-basierten 5G-Broadcast-Dienstes ist beispielhaft in Abb. 11 abgebildet. Die Übertragung von Inhalten erfolgt in sogenannten „Service Sessions“, die nur dann aufgesetzt werden, wenn die Übertragung von Inhalten benötigt wird. Der Ablauf gliedert sich in die Phasen:

1. Ankündigung des Dienstes (Service Announcement)
2. Beginn der Session (Session Start)
3. MBMS Anzeige (MBMS Notification)
4. Datenübertragung
5. Ende der Session (Session Stop)

**Abb. 11: Beispiel Zeitlicher Ablauf von LTE-basierten 5G-Broadcast Diensten**



Quelle: 3GPP TS 23.246, Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS); Architecture and functional description (Release 16), figure 5

### 2.5.2.2 Weiterentwicklung eines 5G-NR-basierten 5G-Broadcast

In der laufenden Entwicklung von Release 17 wird derzeit für 5G-NR ein Broadcast-ähnlicher Multicast-Modus spezifiziert, der auch als „Groupcast“ bezeichnet wird. Zentrales Element des 5G-NR-Multicast-Konzepts ist eine Kennung, der „Radio Network Temporary Identifier“ (RNTI). Es gibt verschiedene Arten dieser Kennung, wobei die Wichtigste, die Cell-RNTI (C-RNTI), bei Unicast jedem Teilnehmer in der Zelle individuell zugewiesen wird. Damit wird sichergestellt, dass ein Teilnehmer nur die für ihn bestimmten Informationen empfangen kann. Bei Groupcast hingegen sollen mehrere Teilnehmer die gleiche Information erhalten, wofür die neue Group-RNTI (G-RNTI) eingeführt wird. Diese wird an alle Teilnehmer verteilt, die den gleichen Inhalt empfangen.

Der 5G-NR-Multicast-Standard ermöglicht das verzögerungsfreie und dynamische Umschalten zwischen Unicast und Multicast. Das erlaubt, für lineare Video-Programme (Live-Content, TV-Programme) die optimale Ausnutzung der Zellkapazität, indem Mobilfunknetzbetreiber auf Multicast umschalten können, sobald eine gewisse Anzahl von Teilnehmern dieselben linearen TV-Inhalte konsumieren.

Bei Endgeräten ohne Rückkanal (reine TV-Empfänger) könnte dieses netzwerkseitig gesteuert werden. Bei Anwendung von Multicast (ggf. über Slicing) mit Rückkanal wäre die Flexibilität noch größer. Rückkanalfähige Endgeräte (Smartphones oder Tablets) können Inhalte individuell anfordern und das Nutzungsende signalisieren. Damit kann der Übergang von linearen zu nicht-linearen Inhalten fließend gestaltet werden.

Um mit dem Multicast-Modus möglichst große Zellradien bedienen zu können, gilt es, die Sendesignale robust zu machen. Dies bezieht sich insbes. auf den Delay-Spread, d. h. dem Profil der Verzögerungen durch Mehrwegeausbreitung, mit der ein Datenpaket mehrfach zeitversetzt beim Empfangsgerät eintrifft. Dabei gilt, je größer die Zelle desto größer ist der Delay-Spread. Das Management dieses Delay-Spreads gelingt, in dem man den Aufbau der OFDM-Symbole entsprechend anpasst. Ein OFDM-Symbol im Zeitbereich besteht aus zwei Teilen, den Hauptanteil mit den Datenträgern und einem Schutzintervall, dem sog. „Cyclic Prefix“ (CP). Dieses Schutzintervall muss größer als der Delay Spread sein, um Überlagerungen durch Nachbarsymbole zu vermeiden. Jedoch ist das Schutzintervall redundant und für die Übertragungskapazität nicht nutzbar. Daher wird bei Verlängerung des Schutzintervalls für größer werdende Zellen auch der Hauptanteil des Symbols proportional dazu verlängert. Das führt dazu, dass die Anzahl der Symbole, die in einem Slot von z. B. 1 Millisekunde übertragen werden, reduziert wird. Für sehr große Zellen kann ein Symbol den ganzen Slot oder sogar mehrere Slots einnehmen.

Um wie beim Rundfunk üblich auch Zellradien von > 100 km bedienen zu können, muss die Zahl der Symbole pro Millisekunde nicht (wie in Kap. 2.5.2.1 dargestellt) erhöht, sondern weiter reduziert werden. Unter Verwendung des 5G-NR Konzepts der Numerologien kann das erreicht werden, indem der Parameter  $\mu$  ins Negative fortgeführt wird. Man könnte dann von einer „negativen Numerologie“ sprechen.

Damit würde sich die OFDM-Symboldauer erhöhen, die sich umgekehrt proportional zum SCS verhält. Je kleiner die SCS werden, desto länger wird die Symboldauer und ist damit besser an größere Zellen angepasst.

Bereits der in 3GPP Release 16 standardisierte LTE-basierte 5G-Broadcast führte als Erweiterung von FeMBMS geringere Unterträgerabstände ein. Die Slotformate erzeugen Unterträgerabstände von  $\Delta f = 7,5 \text{ kHz}, 2,5 \text{ kHz}, 1,25 \text{ kHz}$  bis  $\approx 0,37 \text{ kHz}$ . Daraus ergeben sich lange OFDM-Symbole bis zu 3 ms Dauer und Cyclic-Prefix-Längen (entspricht bei DVB-T2 dem Guardintervall) von 300  $\mu\text{s}$ . Diese unterstützen Zellgrößen wie beim herkömmlichen Rundfunk mit DVB-T2.

Mit diesen Erweiterungen des Standards wurde erstmals die Verbreitung in großen Rundfunkzellen (High-Power High-Tower; HPHT) im Downlink-only-Modus möglich. Das Pilotprojekt 5G-Today, in dem der LTE-basierte 5G-Broadcast-Modus getestet wurde, zeigte jedoch, dass eine Versorgung über große geographische Gebiete mit Zellabständen > 100 km einschließlich SFN noch nicht stabil realisiert werden konnte. Auch der geforderte mobile Empfang bei Geschwindigkeiten bis zu 250 km/h wurde noch nicht erreicht (vgl. dazu Kap. 2.5.2.3).

Für die Multicast-Spezifikation in Release 17 hat sich 3GPP entschieden, praktisch keinen Aufwand auf der physikalischen Schicht zuzulassen und möglichst alle Änderungen auf die höheren Schichten zu schieben. 5G-NR-Multicast basiert daher bei den unteren Schichten auf der Wiederverwertung des Unicast. Die 5G-Numerologien werden also nicht verändert und bei den höheren Schichten werden die MBMS Mechanismen wiederverwendet. Daher bleibt der Multicast-Modus bei Minimal-SCS von 15 kHz auf die relativ kleinen Zellgrößen des Mobilfunks beschränkt. Die Anforderung an Mobilität mit hohen Geschwindigkeiten wird bei diesem Standard allerdings erfüllt.

Die Einführung einer negativen Numerologie wäre für die Einführung eines echten „5G-Broadcast-Modes“ (auf Basis von 5G-NR) ideal. Sie ist jedoch bisher noch nicht in die Planung der 3GPP Releases aufgenommen worden (Stand 07/2021).

In den nachfolgenden Analysen zum Einsatz von 5G als Übertragungstechnologie für terrestrisch verbreitete lineare TV-Programme wird die Einführung eines 5G-NR-Broadcast-Modes jedoch angenommen.

### 2.5.2.3 Forschungsprojekte zu 5G-Multi-/Broadcast in Deutschland

#### **5G TODAY**

Im Rahmen des Forschungsprojektes 5G TODAY untersuchten die Projektpartner IRT, Kathrein, Rohde&Schwarz, Telefónica und BR die großflächige TV-Übertragung im Rundfunkmodus FeMBMS, die im Rahmen des Projekts in die Praxis umgesetzt und evaluiert werden soll. Die Erkenntnisse aus dem Projekt sollen einen wesentlichen Beitrag auf dem Weg zum 5G-Rundfunk leisten. Sie unterstützen die Standardisierungsarbeiten und fördern die Weiterentwicklung von Komponenten bis hin zur zukünftigen Marktreife. Das Projekt wurde von der Bayerischen Forschungstiftung gefördert und durch das IRT koordiniert. Es wurde im Juli 2017 begonnen und Ende 2020 abgeschlossen.<sup>22</sup>

#### **5G-Xcast**

5G-Xcast (Broadcast und Multicast Communication Enabler der 5. Mobilfunkgeneration) war ein EU finanziertes Forschungsprojekt zur Entwicklung, Bewertung und Demonstration einer konzeptionell neuartigen und zukunftsweisenden 5G-Netzwerkarchitektur die neben Lösungen für die frei zugängliche lineare Mediendistribution (z. B. Live-TV-Dienste), die öffentliche Sicherheit und das Internet der Dinge (IoT) eine dynamisch anpassbare 5G-Netzwerkarchitektur mit schichtunabhängigen Netzwerkschnittstellen zum dynamischen und nahtlosen Umschalten zwischen Unicast-, Multicast- und Broadcast-Modus unterstützt. Insgesamt waren 17 Partner unter der Koordination der UNIVERSITAT POLITECNICA DE VALENCIA beteiligt, darunter IRT, BBC, BT, TIM, Nokia, Samsung und drei Universitäten (Valencia, Turku, Surrey). Das Projekt startete Juni 2017 und endete Juli 2019.<sup>23</sup>

#### **5G-MEDIA**

5G-MEDIA war ein EU finanziertes Forschungsprojekt zur Verknüpfung medienbezogener Anwendungen mit den zugrundeliegenden 5G-Netzwerken. Basierend auf vorangegangenen Projektergebnissen der europäischen Gemeinschaftsinitiative 5G-PPP sollte eine agile Programmier-, Verifikations- und Orchestrierungsplattform für Dienste unter Verwendung von Open Source Software angeboten werden. Darüber hinaus wurden Netzwerkfunktionen und Anwendungen mit variierenden Anforderungen an die 5G-Netztechnik entwickelt und demonstriert. Die 14 Partner waren aus den Bereichen Telekom- und Cloudanbieter, Anwendungsentwickler, Diensteanbieter sowie Rundfunk und Forschung. (<http://www.5gmedia.eu/>). Das Projekt startete Juni 2017 und endete Februar 2020.<sup>24</sup>

---

<sup>22</sup> vgl. <https://5g-today.de/>

<sup>23</sup> vgl. <https://5g-xcast.eu/>, <https://cordis.europa.eu/project/id/761498/de>

<sup>24</sup> vgl. <http://www.5gmedia.eu/>, <https://5g-ppp.eu/5g-media/>,

### **5G Media Initiative**

Die 5G Media Initiative wurde im Mai 2017 von namhaften Firmen und Organisationen ins Leben gerufen, um das Potential des zukünftigen Netzstandards 5G für die Medienbranche mit Forschung und Entwicklung zu fördern. Zu den 17 Partnern gehören Kathrein Werke KG, Nokia, Rohde & Schwarz, Telefónica, MUGLER, der Bayerische Rundfunk, der Südwestrundfunk, die Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg FAU, das Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS, das Institut für Nachrichtentechnik der TU Braunschweig, das Institut für Rundfunktechnik IRT und das Münchner Start-up-Unternehmen Cadami, wobei die Federführung beim Institut für Rundfunktechnik (IRT) liegt. Die 5G Media Initiative vernetzt Medien, Wissenschaft und Industrie, um Know-how auszutauschen, gemeinsame Positionen zu erarbeiten und Forschungsprojekte zu initiieren.<sup>25</sup>

## **2.6 Aktuelle Planungen zum Einsatz von 5G-NR-Broadcast und Herausforderungen**

Nach aktuellen Planungen der öffentlich-rechtlichen Rundfunkanstalten ist geplant, 5G-NR-Broadcast ab 2027/2028 schrittweise als Ergänzung zum DVB-T2-Angebot einzuführen, in der Hoffnung, dann einen vollständigen 5G-NR-Broadcast-Mode nutzen zu können.

Hierfür sollen neue kurze Live-Formate entwickelt werden, die ähnlich wie Radio eher auf mobile Nutzungssituationen ausgerichtet sind und während der Fahrt (im Zug, im ÖPNV oder in selbstfahrenden Autos) auf dem Smartphone oder anderen mobilen Empfangsgeräten/Screens genutzt werden können.

Hierfür können die bestehenden Sendeanlagen größtenteils weitergenutzt werden. Es müssen im Kern die Modulatoren getauscht bzw. ein Software-Update aufgespielt werden. In der ersten Phase wird es 5G-Broadcast daher dort geben, wo es frequenztechnische Kapazitäten gibt oder ggf. die Besiedlungsdichte dafür spricht, einen Multiplex für mobile Inhalte zu nutzen.

Eine Nutzung des TV-UHF-Spektrums für DVB-T2 UND 5G-NR-Broadcast wird möglich, wenn 5G-NR, wie aktuell für Release 17 diskutiert, um Frequenzblöcke von 6, 7 und 8 MHz ergänzt wird. Dies würde eine Nutzung des bei DVB-T2 verwendeten Rasters von 8-MHz-Blöcken ermöglichen und es könnten bestehende Kanallücken genutzt werden.

Mit welcher Flächendeckung 5G-NR-Broadcast-Programme zukünftig verbreitet werden sollen, ist aktuell nicht einschätzbar. Sofern eine (größere) Flächendeckung angestrebt wird, ist folgendes zu beachten: Bei einer ausschließlichen Nutzung des bestehenden Sendernetzes werden in vielen Bundesländern zwangsweise Empfangslücken entstehen, weil der Antennengewinn in Mobilfunkgeräten, um den die Antenne das eigentliche Empfangssignal anhebt/verstärkt, aus baulichen Gründen deutlich geringer ausfällt als bei den für den TV-Empfang optimierten Antennen (z. B. Zimmerantennen). Das bedeutet, wollte man einen mobilen Empfang in den heutigen DVB-T2-Verbreitungsgebieten ermöglichen, müssten in vielen Bundesländern deutlich mehr Sendeanlagen eingesetzt werden (mit kleineren Rundfunkzellen), um höhere Feldstärken zu erzeugen.

---

<sup>25</sup> vgl. <https://www.5gmediainitiative.com/>

Eine Alternative zu zusätzlichen Rundfunk-Sendeanlagen wäre, den terrestrischen 5G-NR-Broadcast-Netzbetrieb nicht nur durch das bestehende Rundfunksendernetz zu verbreiten, sondern zusätzlich auch über die Sendernetzinfrastrukturen öffentlicher Mobilfunknetzbetreiber (Mobile Network Operators/MNOs). Überall dort, wo die Feldstärken der Rundfunksender nicht ausreichen, könnten Mobilfunksender die Rundfunk-Sendernetze gezielt ergänzen. Auf einer solchen Basis wäre eine für Mobilfunkgeräte hinreichende Abdeckung der heutigen DVB-T2-Gebiete realisierbar.

Eine weitere Alternative wäre es, die Verbreitung mobiler linearer TV-Streams vollständig durch einen oder mehrere Mobilfunknetzbetreiber realisieren zu lassen. In diesem Fall könnte ggf. auch der bereits verabschiedete 5G-NR-Multicast-Standard (vgl. Kap. 2.5.2) zum Einsatz kommen.

Eine ergänzende oder vollständige Übernahme einer 5G-NR-Broadcast-Verbreitung durch MNOs ist jedoch von Seiten des öffentlich-rechtlichen Rundfunks aktuell nicht vorgesehen.

Ob 5G-NR-Broadcast-Angebote zukünftig auf den mobilen Endgeräten der Gebührenzahler überhaupt empfangbar würden, hängt von der Bereitschaft der Chip- und Geräteindustrie ab, 5G-NR-Broadcast-Standards generell in die Chips zu übernehmen. Eine solche Entwicklung erscheint nur wahrscheinlich, wenn 5G-NR-Broadcast international durch Fernsehsender zum Einsatz gebracht wird.

Aktuell ist es nicht geplant, den stationären TV-Empfang zukünftig mit der 5G-NR-Broadcast-Technologie zu bedienen. Dieser soll nach Planungen der Rundfunkanbieter auch nach 2030 über DVB-T2 weiterlaufen.

## 3 Dienstanalyse Mobilfunk

### 3.1 Einführung

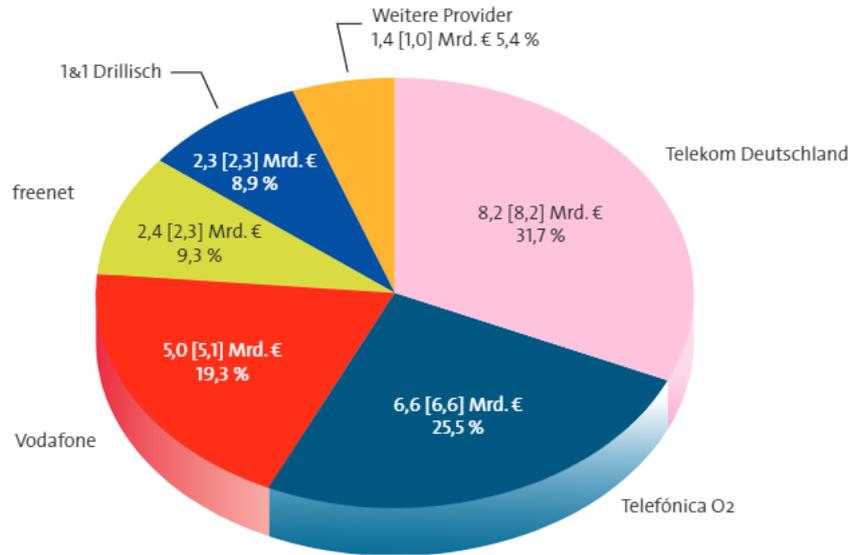
Der Deutsche Mobilfunkmarkt unterteilt sich 2021 in vier Netzbetreiber (Mobile Network Operators, MNOs) welche über ein von der BNetzA einzelzugeteiltes Mobilfunkspektrum verfügen: Deutsche Telekom, Vodafone Deutschland, Telefónica Deutschland sowie die 1&1 Drillisch (Tochter der 1&1 AG und Teil der United Internet AG).

Während die drei erstgenannten seit vielen Jahren eigene Mobilfunknetzinfrastrukturen in Deutschland betreiben (Telefónica hatte 2014 den damals vierten MNO E-Plus übernommen), hat 1&1 Drillisch erst in der Frequenzvergabe 2019 Frequenzen in den Bereichen 2,1 GHz (ab 2026) und 3,6 GHz ersteigert.

Bislang ist 1&1 Drillisch wie weitere Anbieter als virtueller Mobilfunkbetreiber (MVNO) tätig, kauft Leistungen bei den drei operativ tätigen Netzbetreibern ein und vermarktet diese in Post- und Prepaid-Verträgen. Die drei operativ tätigen MNOs sind zudem auch als Diensteanbieter auf ihren eigenen Netzen aktiv. Dies geschieht unter Discount-Marken wie Congstar (Deutsche Telekom), Otelo (Vodafone) oder Blau (Telefónica).

Aktuell entfallen rd. 77 Prozent des Gesamtmarktumsatzes im deutschen Mobilfunkmarkt von rd. 30 Mrd. Euro auf die Marken der operativ tätigen MNOs. Die übrigen 23 Prozent werden von den MVNOs erwirtschaftet.

**Abb. 12 Mobilfunkumsatz nach Netzbetreibern und Diensteanbietern 2020, in Mrd. EUR (Schätzung)**

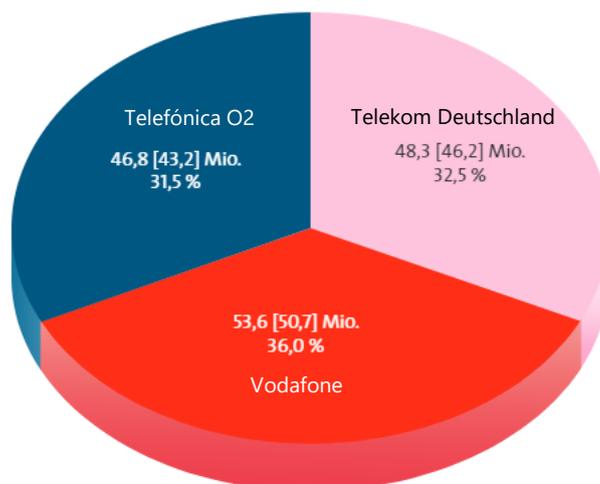


100 % = 25,9 [25,5] Mrd. €

Angaben in eckigen Klammern geben die entsprechenden absoluten Umsätze im Vorjahr an.  
Quelle: DIALOG CONSULT / VATM 22. TK-Marktanalyse Deutschland 2020

Betrachtet man nur die genutzte Mobilfunknetzinfrastruktur, entfallen derzeit relativ ähnlich hohe Sim-Karten-Marktanteile auf alle drei operativ tätigen MNOs.

**Abb. 13 Zahl der aktiven SIM-Karten nach Mobilfunknetzbetreibern inkl. M2M-SIM-Karten (Schätzung)**



100 % = 148,7 [140,1] Mio.

Quelle: DIALOG CONSULT / VATM 22. TK-Marktanalyse Deutschland 2020

### 3.2 Gegenwärtige Frequenznutzung durch den Mobilfunk

Die drei operativen Netzbetreiber (MNOs) in Deutschland verfügen über eine vergleichbare Frequenzausstattung. Die aktuelle Zuweisung umfasst gepaartes Spektrum zwischen 2x95 und 2\*105 MHz und ungepaartes Spektrum zwischen 109,2 MHz und 115 MHz. Im für die Flächenversorgung relevanten Frequenzbereichen unterhalb von 1 GHz verfügen die drei operativen Netzbetreiber über insgesamt 2x30 MHz oder 2x35 MHz an Spektrum. Tab. 4 gewährt einen Überblick.

**Tab. 4: Zugeteiltes Spektrum nach Netzbetreiber in MHz, Stand: 2020**

Frequenzband	Deutsche Telekom		Vodafone Deutschland		Telefónica Deutschland		1&1 Drillisch	
	Gepaart	Ungepaart	Gepaart	Ungepaart	Gepaart	Ungepaart	Gepaart	Ungepaart
Gepaart/ Ungepaart	Gepaart	Ungepaart	Gepaart	Ungepaart	Gepaart	Ungepaart	Gepaart	Ungepaart
700 MHz	2x10	-	2x10	-	2x10	-	-	-
800 MHz	2x10	-	2x10	-	2x10	-	-	-
900 MHz	2x15	-	2x10	-	2x10	-	-	-
1,5 GHz	-	20	-	20	-	-	-	-
1,8 GHz	2x30	-	2x25	-	2x20	-	-	-
2,1 GHz	2x20	-	2x20	-	2x10 <sup>26</sup> (ab 2025)	19,2	2x10 <sup>27</sup> (ab 2025)	-
<b>Zwischen- summe</b>	<b>2x85</b>	<b>20</b>	<b>2x75</b>	<b>20</b>	<b>60</b>	<b>19,2</b>	<b>2x10</b>	<b>0</b>
2,6 GHz	2x20	5	2x20	25	2x30	20	-	-
3,6 GHz	-	90	-	90	-	70	-	50
<b>Gesamt</b>	<b>2x105</b>	<b>115</b>	<b>2x95</b>	<b>135</b>	<b>2x90</b>	<b>109,2</b>	<b>2x10</b>	<b>50</b>

Quelle: Goldmedia/Fraunhofer IIS nach Bundesnetzagentur

Der vierte Netzbetreiber, 1&1 Drillisch hat in der Frequenzauktion 2019 Spektrum im 2,1-GHz-Band (nutzbar ab 2026) und im 3,6-GHz-Band ersteigert, verfügt jedoch über kein Spektrum unterhalb von 1 GHz.

Die Frequenzressourcen der MNOs können aufgrund einer mittlerweile technologie-neutralen Zuteilung von den Netzbetreibern zur Mobilfunkversorgung mit den unterschiedlichen Mobilfunkstandards (2G, 3G, 4G, 5G) flexibel eingesetzt werden. Derzeit wird im 900er-Band weiterhin GSM-Sprachtelefonie (2G) zur Sicherstellung einer flächendeckenden und auch (deep-)indoor verfügbaren Sprachübertragung sowie zur Bedienung von rd. 30 Mio. M2M-SIM-Karten betrieben. Das 3G-Netz (UMTS) wurde hingegen mittlerweile durch die MNOs abgeschaltet, um die hierfür verwendeten Frequenzen für LTE und 5G zu nutzen.

Bei der Flächenabdeckung mobiler Breitbandversorgung mit 4G verfolgten die MNOs in der Vergangenheit unterschiedliche Ausbau- und Versorgungsstrategien. So hat die

<sup>26</sup> Änderung der Zuteilung im Jahr 2025: 2x20 MHz bis 2025, danach 2x10 MHz

<sup>27</sup> Änderung der Zuteilung im Jahr 2025: 0x10 MHz bis 2025, danach 2x10 MHz

Deutsche Telekom ihre LTE-Netzinfrastruktur vor allem auf dem 1.800-MHz-Band errichtet, während Vodafone und Telefónica für die LTE-Versorgung primär auf das 800er-Band setzten.

Im Sub-GHz-Bereich, im 1,8-GHz-Band und im 2,6-GHz-Band wird vornehmlich LTE (4G) eingesetzt. Im 2,1-GHz-Band beginnt der Einsatz von 5G jenseits des Pionierbands 3,6 GHz. Für die Versorgung in der Fläche bieten sich aufgrund der Ausbreitungseigenschaften vor allem die Sub-GHz-Frequenzen im 700/800/900-Band an, während für die Versorgung in urbanen Verdichtungsräumen die höheren Bänder 1,8 GHz und 2,6 GHz komparative Vorteile bieten.

**Tab. 5: Strategien von LTE-Carrier-Band-Aggregation in Deutschland**

Netzbetreiber	Carrier-Band-Aggregation (LTE)
<b>Deutsche Telekom</b> <i>Strategischer Fokus auf Band 3 (1.800 MHz)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Band 3+3 (2CA, 4x4 MIMO)</li> <li>▪ Großstädte: Band 3+3+7, auch Band 3+7+20, selten Band 3+3+20 (3CA)</li> </ul>
<b>Vodafone</b> <i>Strategischer Fokus auf Band 20 (800 MHz)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Band 20+7 (2CA), selten Band 20+7+3 (3CA)</li> <li>▪ Zunehmender Einsatz von LTE auf Band 1</li> </ul>
<b>Telefónica</b> <i>Strategischer Fokus auf Band 20 und Band 3 (800/1.800 MHz)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Band 3+7+20 (3CA)</li> <li>▪ Band 3+20, oder Band 7+20, oder Band 3+7 (2CA)</li> <li>▪ Zunehmender Einsatz von LTE auf Band 1, als 2CA (Band 1+3) oder 3CA (Band 1+3+20)</li> </ul>

Quelle: Goldmedia/Fraunhofer IIS

Während die Deutsche Telekom von Beginn des LTE-Ausbaus an vornehmlich auf 1.800 MHz ausgerollt und daher fast alle bisherigen UMTS-Standorte mit LTE ausgerüstet hat sowie nur im ländlichen Raum Standorte mit 800 MHz betreibt, haben die Wettbewerber das 800-MHz-Band als Hauptband für den LTE-Rollout genutzt und mussten für die Erreichung entsprechender Abdeckungswerte aufgrund der größeren Zellradien weniger Standorte einsetzen. Die Anzahl der für LTE genutzten Standorte dürfte daher bei der Deutschen Telekom größer sein als bei Vodafone und Telefónica.

In der Praxis können jedoch durch die (seit LTE mögliche) Carrier-Aggregation-Technik verschiedene Frequenzbereiche flexibel miteinander kombiniert werden, so dass in der Praxis oft mehrere Frequenzbereiche von einem Endgerät gleichzeitig eingesetzt werden können. Es können so in einer Netzarchitektur die Vorteile verschiedener Frequenzbereiche miteinander kombiniert werden. Daher ist z. B. auch der Einsatz von Sub-GHz-Frequenzen innerhalb von urbanen Verdichtungsräumen nicht unüblich, da diese Frequenzen besonders gut in Gebäudestrukturen eindringen können (sog. „Deep-Indoor-Versorgung“).

### 3.3 Zukünftiger Spektrumsbedarf im Kontext einer erweiterten Anbieterstruktur

Aktuell stehen die drei operativ tätigen MNOs in Deutschland vor der Frage, wieviel Spektrumskapazität ihnen in Zukunft zur Verfügung steht.

Im Rahmen der Frequenzvergabe 2019 ist 1&1 Drillisch als vierter MNO mit eigenem Spektrum in den Markt eingetreten. Das von 1&1 Drillisch ersteigerte Spektrum in den Bereichen 2,1 GHz (ab 2026) und 3,6 GHz ermöglicht es dem Anbieter in den Metropolen hochkapazitative 5G-Netze zu betreiben. Für die Flächenabdeckung von Sprach- und Datenverbindungen benötigt 1&1 Drillisch jedoch ebenfalls Spektrum im Sub-GHz-Bereich.

Die Bundesnetzagentur hatte den drei operativ tätigen Mobilfunknetzbetreibern in der Frequenzauktion 2019 aufgegeben, mit dem Neueinsteiger 1&1 Drillisch über ein National Roaming zu verhandeln. Parallel dazu besteht eine Roaming-Option für 1&1 Drillisch aus dem Verfahren zur Fusion der Netzbetreiber Telefónica und E-Plus bei der Europäischen Kommission. Im Februar 2021 hat 1&1 Drillisch ein Roaming-Abkommen mit Telefónica Deutschland zur Mitnutzung der LTE-Netze abgeschlossen. 5G will 1&1 Drillisch auf Basis des eigenen Frequenzspektrums ausbauen. In dieser Kombination wird 1&1 Drillisch im Laufe des Jahres 2022 mit einem eigenen Netzangebot starten.<sup>28</sup>

Im Rahmen der anstehenden Neuvergabe der Mobilfunkfrequenzen in den Spektren 800 MHz, 1,8 GHz und 2,6 GHz, deren Nutzungsrechte bis Ende 2025 befristet sind, soll nun ein Verfahren entwickelt werden, welches dem Neueinsteiger 1&1 Drillisch ermöglicht, Spektrum im Sub-GHz-Bereich bzw. anderweitigen Zugang dazu chancengleich zu erhalten.<sup>29</sup>

Insbesondere das LTE-Band 20 (791 – 821 MHz) bildet für die Mobilfunkanbieter das Rückgrat der Mobilfunkversorgung in der Fläche und verbessert zudem die (Deep-Indoor-) Versorgung in den Städten.

Derzeit verfügen die drei operativ tätigen Anbieter, wie in Kap. 3.2 dargestellt, über 60 bzw. 70 MHz an gepaartem Spektrum im Sub-GHz-Spektrum. Falls 1&1 Drillisch anstrebt, im Zuge der nächsten Frequenzvergaben ein annähernd vergleichbares Spektrum im Sub-GHz wie die etablierten Wettbewerber zu erhalten, müssten die derzeit operativ tätigen Netzbetreiber auf rd. 20 MHz (gepaart) im Sub-GHz-Band zugunsten von 1&1 Drillisch verzichten.

Bereits im Rahmen der im Jahr 2020 von der Bundesnetzagentur durchgeführten Konsultation zur künftigen Verfügbarkeit von Frequenzen für den Mobilfunk (Frequenzkompass 2020) wurde von den Netzbetreibern auf ein mögliches kostenintensives Wettbieten auf einzelne Frequenzbereiche hingewiesen, sollten die 2025 auslaufenden Frequenzzuweisungen neu versteigert werden. Die Netzbetreiber plädieren daher dafür,

---

<sup>28</sup> vgl. <https://www.teltarif.de/drillisch-national-roaming-mit-o2/news/83505.html>

<sup>29</sup> Die Bundesnetzagentur führte hierfür eine Konsultation zur zukünftigen Bereitstellung dieser Frequenzen durch. Die BNetzA hat ein Szenarienpapier veröffentlicht, in dem sechs Szenarien der Frequenzbereitstellung vorgestellt werden. Neben der Versteigerung und einem Ausschreibungsverfahren werden auch die Verlängerung der bestehenden Lizenzen, die Kombination aus Verlängerung und Versteigerung sowie ein „Ein-Betreiber-Modell“ vorgeschlagen. vgl. [https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen\\_Institutionen/Breitband/MobilesBreitband/MobilesBreitband-node.html](https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Breitband/MobilesBreitband/MobilesBreitband-node.html)

Frequenzkapazitäten aus dem TV-UHF-Band zukünftig dem Mobilfunk zuzuweisen.<sup>30/31/32</sup>

Ein konkreter Vorschlag lautet, das Mobilfunkband 71 im Bereich 617 bis 698 MHz dem Mobilfunk zuzuweisen.<sup>33</sup> Dieses Spektrum wurde dem Mobilfunk in den USA im Zuge der digitalen Dividende zugewiesen und wird in der 3GPP-Spezifikation 3GPP TS 38.101-1 für die 5G-NR-fähigen Mobilfunkbänder gelistet. Mobilfunkendgeräte, die dieses Band nutzen können, befinden sich bereits im Markt.<sup>34</sup>

Im Band 71 kommt Frequenzmultiplexing (FDD) zum Einsatz. Konkret werden in diesem Band 2x35 MHz gepaart zzgl. Mittenlücke bereitgestellt. Der Downlink wird im Bereich 617 – 652 umgesetzt. Der Uplink erfolgt im Bereich 663 – 698 MHz. Damit überschreitet Band 71 das TV-UHF-Band, welches bis 694 MHz koordiniert ist und tangiert das in Deutschland für PPDR-Dienste bereitgestellte Frequenzspektrum zwischen 698 MHz und 703 MHz (vgl. dazu Kap. 4.2).

Die Frage, welche Folgen der Zutritt eines vierten Mobilfunknetzbetreibers auf den Spektrumsbedarf des öffentlichen Mobilfunks im Sub-GHz-Bereich hat (ggf. auch bereits vor 2031), fällt in den Bereich der Regulierung und kann im Rahmen dieser Studie nicht beantwortet werden.

Neben der Forderung nach mehr Spektrum zur Frequenzausstattung von zukünftig vier operativ tätigen MNOs wurden bereits in der Frequenzkompass-Konsultation weiterer Bedarf nach Spektrum im Sub-GHz-Band benannt. Damit sollen zukünftige Anforderungen für mobile Breitbandanwendungen im ländlichen Raum und das autonome Fahren unterstützt werden.<sup>35</sup>

Eine Analyse dieser (zusätzlichen) Kapazitätsforderungen erfolgt in den nachfolgenden Kapiteln.

---

<sup>30</sup> vgl. Telekom Deutschland (2020): Vergabestrategie 2025. Beantwortung Frequenzkompass 2020 Telekom Deutschland GmbH

<sup>31</sup> vgl. Vodafone (2020): Stellungnahme der Vodafone GmbH zum Frequenzkompass 2020, 23.10.2020

<sup>32</sup> ebd.

<sup>33</sup> ebd.

<sup>34</sup> vgl. <https://www.tmoband71.com/>

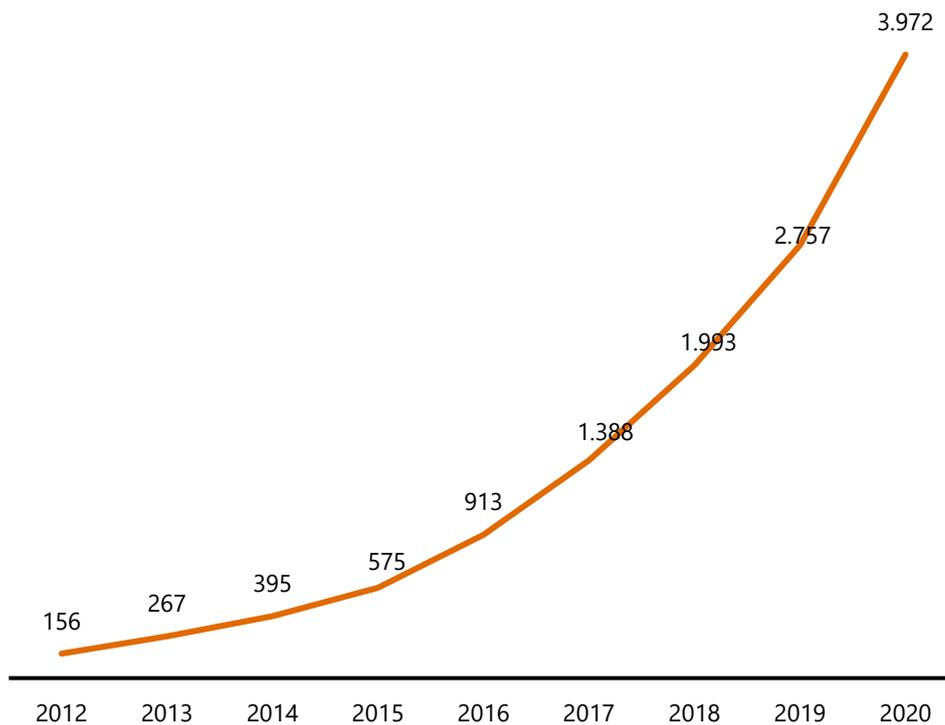
<sup>35</sup> vgl. Telekom Deutschland (2020): Vergabestrategie 2025. Beantwortung Frequenzkompass 2020 Telekom Deutschland GmbH

## 3.4 Zukünftiger Spektrumsbedarf für Datenverkehrsvolumen

### 3.4.1 Datenverkehrsvolumen im Mobilfunk

Der Datenverkehr in Mobilfunknetzen ist in den vergangenen Jahren stark gewachsen. Während 2014 das jährliche Gesamtvolumen in Deutschland bei 0,4 Mrd. Gigabyte (GB) lag, wuchs dieses auf 4,0 Mrd. GB im Jahr 2020 an.

**Abb. 14: Datenvolumen im Mobilfunk in Deutschland 2012-2020, in Mio. GB**



Quelle: Bundesnetzagentur (2021): Jahresbericht 2020

Das jährliche Wachstum ist erheblich. Die durchschnittliche jährliche Wachstumsrate zwischen 2015 und 2020 betrug 49,9 Prozent.

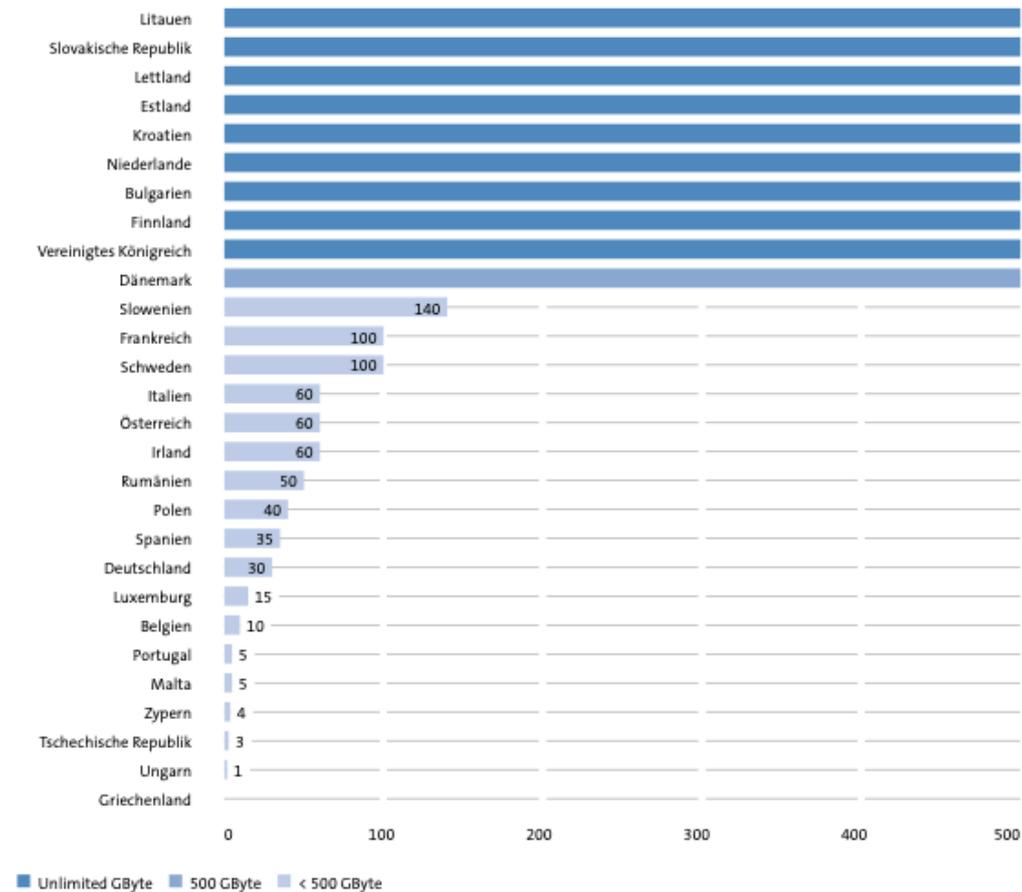
Der Ericsson Mobility Report beziffert das durchschnittliche Datenvolumen pro Smartphone in Westeuropa im Jahr 2019 auf 8,2 GB/Monat (vgl. Kap. 3.4.2). In Deutschland lag das durchschnittliche Datenverkehrsvolumen pro SIM-Karte 2020 bei 3,1 GB/Monat.<sup>36</sup> Im europäischen Vergleich fällt das Datenverkehrsvolumen pro SIM-Karte in deutschen Mobilfunknetzen damit noch gering aus.

Die Preis- und Tarifgestaltung der deutschen Mobilfunkanbieter trägt zum zuletzt noch geringen Datenverkehrsaufkommen bei. Im Vergleich sind die Preise für Mobilfunk-Datenverkehrsvolumina bei Verbrauchertarifen in Deutschland hoch, bzw. die beinhalteten Verkehrsvolumina sind gering. In den meisten anderen europäischen Ländern besteht für Nutzer aufgrund der Preis- und Tarifgestaltungen ein stärkerer Anreiz, datenintensive Dienste über Mobilfunk zu nutzen. In zahlreichen Ländern bestehen darüber hinaus

<sup>36</sup> vgl. Bundesnetzagentur (2021): Jahresbericht 2020

im Verbrauchersegment günstige Flatrate-Angebote für unter 30 Euro/Monat, in denen ein Datenvolumenlimit nicht länger Tarifbestandteil ist.

**Abb. 15: Vergleich tariflich beinhalteteter Datenverkehrsvolumina bei LTE-Tarifen für bis zu 30 Euro/Monat in Europa**



Basis: 4G-Tarife für 30 Euro/Monat oder weniger (mit mindestens 1.000 Minuten und 3 Mbit/s für HD-Videos)  
 Quelle: Rewheel research (2019): Digital Fuel Monitor 11th release, April 2019, zit. nach: Die medienanstalten (2019): Digitalisierungsbericht 2019 Video, S. 21

### 3.4.2 Künftige Entwicklung der Datenverkehrsvolumina

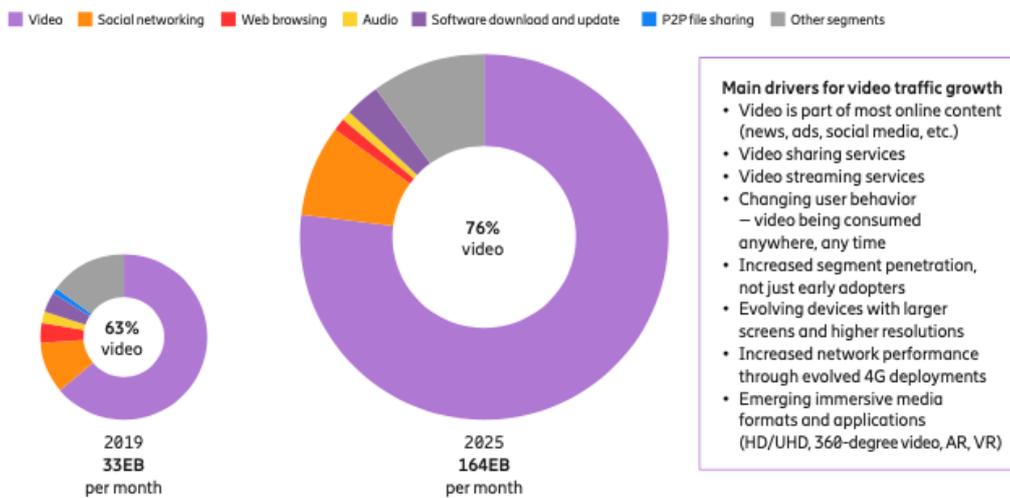
Künftig wird das Datenverkehrsaufkommen weiter stark anwachsen. Der Ericsson Mobility Report rechnet beim Datenverkehr pro Smartphone von 2019 bis 2025 mit einer durchschnittlichen exponentiellen Wachstumsrate von 25 Prozent pro Jahr. Abhängig von der Weltregion liegt die durchschnittliche jährliche Wachstumsrate (compound annual growth rate, CAGR) zwischen 13 Prozent (Indien) und 34 Prozent (Lateinamerika). Für Westeuropa prognostiziert der Ericsson Mobility Report für den Zeitraum 2019 bis 2025 einen CAGR beim Datenverkehr pro Smartphone von 28 Prozent. Die Wachstumsprognose für das Gesamtdatenverkehrsaufkommen in Mobilfunknetzen in Westeuropa für denselben Zeitraum liegt mit 30 Prozent leicht darüber. Hintergrund ist, dass der Anteil von Smartphones am mobilen Datenverkehrsaufkommen aufgrund der zunehmenden Anzahl an M2M-Anwendungen zurückgeht.<sup>37</sup>

<sup>37</sup> vgl. Ericsson (2020): Ericsson Mobility Report. Juni 2020, S. 35

Lt. Ericsson Mobility Report lag das jährliche Datenverkehrsvolumen in Westeuropa im Jahr 2019 bei 38,4 Exabyte (EB) pro Jahr. Bis 2025 wird ein Wachstum des Datenverkehrsvolumens in Westeuropa auf 181,2 EB/Jahr prognostiziert.<sup>38</sup> Eine Fortschreibung der Wachstumsprognose bis 2030 führte zu einem Datenverkehrsvolumen in Westeuropa von 660,2 EB/Jahr. Bezogen auf das Ausgangsjahr 2019 entspräche dies einer Steigerung um das Siebzehnfache in einem Zeitraum von 11 Jahren.<sup>39</sup>

Innerhalb des Prognosezeitraums bleiben Videoanwendungen der größte Treiber für das Wachstum des Datenverkehrs in Mobilfunknetzen (vgl. Abb. 16). Während im Jahr 2019 etwa 63 Prozent des weltweiten mobilen Datenverkehrs auf Video-Anwendungen entfielen, wird der relative Anteil nach Prognosen des Ericsson Mobility Reports bis 2025 auf 76 Prozent ansteigen.

**Abb. 16: Anteil von Video-Anwendungen am weltweiten Datenverkehrsaufkommen sowie monatl. Datenvolumen 2019 und 2025, in Prozent**



<sup>1</sup>Traffic from embedded video in web browsing and social media is included in the application category "Video"  
 Quelle: Ericsson (2020): Ericsson Mobility Report. Juni 2020, S. 18.

Das relative Wachstum begründet sich in einer Zunahme von eingebetteten Video-Inhalten in vielen Online-Anwendungen und Social-Media-Diensten, dem Video-on-Demand-Wachstum (sowohl bei Nutzerzahlen als auch der relativen Nutzungsdauer) und dem Trend zu größeren Bildschirm-Auflösungen. Mit 5G-Netzen werden zudem auch Multi-Kanal-Übertragungen (z. B. bei E-Sport-Turnieren) und hochbitratige AR/VR-Anwendungen möglich, die ihrerseits zum relativen Wachstum des Video-Segments am Datenverkehrsaufkommen beitragen werden.

<sup>38</sup> vgl. Ericsson (2020): Ericsson Mobility Report. Juni 2020, S. 21

<sup>39</sup> Die mit Abstand höchsten Datenverkehre pro Smartphone sind für Nordamerika (32 Prozent) und Westeuropa (28 Prozent) zu erwarten. Im Jahr 2019 lag das durchschnittliche Verkehrsaufkommen im beiden Weltregionen nahezu gleichauf (8,5 GB/Monat in Nordamerika bzw. 8,2 GB/Monat in Westeuropa). Aufgrund der höheren Wachstumsrate in Nordamerika prognostiziert der Ericsson Mobility Report für 2025 einen Datenverkehr pro Smartphone von 45 GB/Monat in Nordamerika, während für Westeuropa von einem Datenverkehr von 36 GB pro Monat und Smartphone ausgegangen wird.  
 Quelle: Ericsson (2020): Ericsson Mobility Report. Juni 2020, S. 21

### 3.4.3 Wachstumsszenarien zur Entwicklung zukünftiger Datenverkehrsvolumina in deutschen Mobilfunknetzen

Grundlage für die nachfolgend dargestellten Wachstumsszenarien von Datenverkehrsvolumina in deutschen Mobilfunknetzen bildet die bisherige Entwicklung des Datenverkehrsvolumens in Deutschland (vgl. Abb. 14).

Für die Entwicklung der Datenvolumina werden drei exemplarische Wachstumsszenarien unterschieden, die modellhaft für verschiedene Wachstumsverläufe stehen.

Das **dynamische Wachstumsszenario** beruht im Wesentlichen auf den Annahmen des Ericsson Mobility Reports. Wesentliches Merkmal ist das stetige, exponentielle Wachstum des Datenverkehrsvolumens. Es wird ein konstantes CAGR<sub>2020-2035</sub> von 34,5 Prozent unterstellt. Dieser Wert ist etwas dynamischer als der Wert, den Ericsson für Westeuropa annimmt (CAGR<sub>2019-2025</sub>: 28 %). Hintergrund ist, dass das jährliche Wachstum des Datenverkehrsvolumens in Deutschland aufgrund der verzögerten Entwicklung in der Vergangenheit erheblich über dem europäischen Mittel liegt.<sup>40</sup> Die Ericsson-Prognose wurde angepasst, um dem aktuell niedrigen Ausgangsniveau des Datenverkehrsvolumens in Deutschland gerecht zu werden.

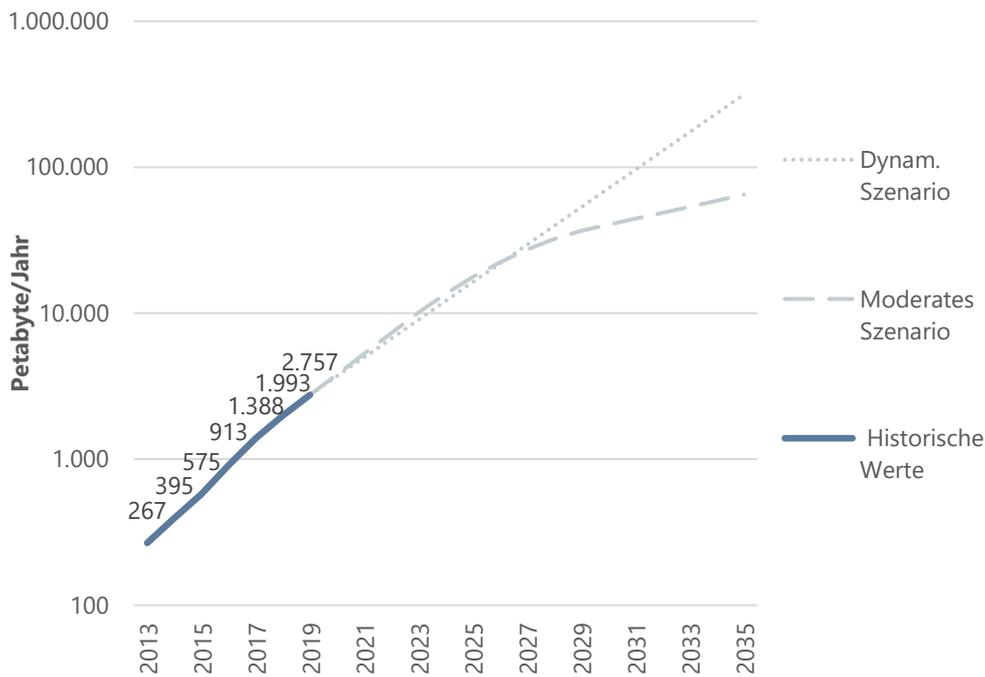
Im **moderaten Wachstumsszenario** wird ebenfalls davon ausgegangen, dass sich das exponentielle Wachstum der Datenvolumina aus den historischen Daten der Vorjahre zunächst fortsetzt. Es wird davon ausgegangen, dass das Wachstum bis 2024 konstant auf dem Niveau des Vorjahreswachstums von 2019 bleibt (+38,3 Prozent/Jahr). Ab den Jahr 2024 wird jedoch von einer zunehmenden Marktsättigung ausgegangen, welches ab 2030 nur noch zu einem Sockelwachstum von +10 Prozent/Jahr führt.

In Abb. 17 wird dabei eine logarithmische Darstellung verwendet, um die unterschiedliche Dynamik der Wachstumsszenarien zu verdeutlichen. Die historischen Werte bis 2019 ergeben in dieser logarithmischen Darstellung annähernd eine Gerade, sodass besonders deutlich wird, dass das Wachstum des Datenverkehrsvolumens seit 2013 in Deutschland annähernd exponentiell verlaufen ist.

---

<sup>40</sup> 2019 lag Wachstumsrate ggü. dem Vorjahr bei 38,3 Prozent, vgl. Abb. 14

**Abb. 17: Wachstumsszenarien für Datenvolumina in dt. Mobilfunknetzen 2020-2035, in Petabyte/Jahr**



Quelle: Goldmedia/Fraunhofer IIS

Die folgende Tab. 6 gibt einen Überblick über die resultierenden Datenverkehrsvolumina der jeweiligen exemplarischen Entwicklungsverläufe.

**Tab. 6: Szenarien des zukünftigen mobilen Datenverkehrsvolumens in Deutschland 2020-2035, in Petabyte/Jahr**

	2012*	2020*	2030	2035	CAGR <sub>2019-30</sub>
Dynamische Wachstumsszenario	156	3.972	71.583	314.565	34,5 %
Moderate Wachstumsszenario	156	3.972	40.322	64.938	27,6 %

\* historische Werte (BNetzA)

Quelle: Goldmedia/Fraunhofer IIS

Das mit ungebremst exponentiellem Wachstum verlaufende **Dynamische Wachstumsszenario** erreicht im Jahr 2030 eine Steigerung um das Sechszwanzigfache des Datenverkehrsvolumens ggü. dem Jahr 2019, das CAGR<sub>2019-2030</sub> beträgt hierbei 34,5 % pro Jahr.

Das bis 2024 zunächst dynamisch verlaufende, sich dann abschwächende **Moderate Wachstumsszenario** erreicht 2030 eine Steigerung um das Fünfzehnfache ggü. 2019, das CAGR<sub>2019-2030</sub> beträgt 27,6 % pro Jahr.

Das in den vergangenen Jahren beobachtete exponentielle Wachstum des Mobilfunkdatenverkehrs wird sich mittelfristig fortsetzen. Die starke Nachfrage nach datenintensiven Diensten, wie z.B. Videoanwendungen, ist hierbei ein wesentlicher Treiber für die mittelfristig zu erwartenden, deutlich zweistelligen jährlichen Wachstumsraten. Mittelfristig ist innerhalb des europäischen Binnenmarktes von einer Konvergenz der Mobilfunkmärkte auszugehen. Aufgrund des im europäischen Vergleich geringen Ausgangsniveaus des Datenverkehrs ist in Deutschland daher mit einer über dem europäischen Durchschnitt liegenden Wachstumsrate zu rechnen.

### 3.4.4 Modellrechnung zur Deckung künftiger kapazitiver Bedarfe (Daten) in der Flächenversorgung

Um die Kapazität von Mobilfunknetzen zu steigern und einer erhöhten Nachfrage nach Kapazität und Abdeckung gerecht zu werden, setzen die MNOs auf eine Kombination aus **Zellverdichtung, Spektrumserweiterung und technologischem Fortschritt** (Implementierung von Release-Upgrades und Einführung neuer Mobilfunkgenerationen).

Mit Blick auf eine stark steigende Datennutzung stellen großflächige Zellverdichtungen, d. h. die Errichtung zusätzlicher Mobilfunkstandorte, zur Verkleinerung von Zellgrößen die kostenintensivste Form zur Bereitstellung von mehr Datenkapazität dar.

Im Folgenden wird daher untersucht, inwiefern zusätzliches Mobilfunkspektrum im Frequenzbereich 470 MHz bis 694 MHz einen Beitrag zur Deckung der steigenden Nachfrage nach mobilen Datenverkehrsvolumen leisten kann.

Aufgrund der günstigen Ausbreitungseigenschaften eignet sich das UHF-Spektrum unterhalb von 1 GHz vor allem zur **Flächenversorgung von Räumen mit geringer und mittlerer Besiedlungsdichte**.<sup>41</sup>

Im Rahmen einer Modellrechnung wird daher folgendes untersucht: Auf Basis der in Kap. 3.4.3 dargestellten Wachstumsszenarien wird für einen typischen Raum mittlerer Besiedlungsdichte geprüft, welche Fläche ein Mobilfunkzellsektor im Jahr 2031 mithilfe des derzeit insgesamt zugeteilten Sub-GHz-Spektrums (LTE Bänder 8; 20; 28 – 700/800/900 MHz) szenarienabhängig versorgen kann.

Im nächsten Schritt wird dann geprüft, welche Größe ein Zellsektor im Raum mittlerer Besiedlungsdichte zur Bedienung der Kapazitätsnachfrage im Zeitverlauf haben dürfte, wenn zusätzlich zum bisherigen Sub-GHz-Spektrum auch das gesamte TV-UHF-Spektrum dem Mobilfunk zur Verfügung gestellt würde.

Der daraus ableitbare theoretische Antennenradius sowie die damit verbundene theoretische Inter-Site-Distance (Abstand zum nächsten Funkmast) bilden dann eine Bewertungsgrundlage, ob mit Hinzunahme des TV-UHF-Spektrums im Jahr 2031 mit einem kombinierten Sub-GHz-Spektrum Zellgrößen aufrecht erhalten werden können, die nicht auch vollständig durch die Frequenzen im Mid-Band (LTE-Bänder 1; 3; 32 – 2,1/1,8/1,5 GHz) abgedeckt werden. Dies wäre ein Indiz dafür, dass MNOs zumindest zum Zeitpunkt 2031 das TV-UHF-Spektrum noch nutzen können, um Gebiete außerhalb von Ballungsräumen weiterhin auch mit größeren Mobilfunkzellen zu versorgen. (Mid-Band-Frequenzen würden dann, wie heute bereits auch, nur Teile der großen Sub-GHz-Zellen mit Kapazität versorgen.)

---

<sup>41</sup> Räume mit hoher Besiedlungsdichte stellen ein anderes Versorgungsszenario dar, sie werden nicht primär mit Sub-GHz-Frequenzen versorgt. Aufgrund der benötigten Mobilfunkkapazitäten kommt in Räumen hoher Besiedlungsdichte vor allem Mobilfunkspektrum höherer Bänder ab 1,8 GHz zum Einsatz (5G-Mid-Band und 5G-Highband).

### Grundlagen der Berechnung

Ausgangspunkt der Berechnungen sind die Basisdaten zur Verteilung der Gebietstypologien Fläche und Bevölkerung in Deutschland auf Grundlage des Zensus 2011 und sich anschließende Berechnungen zur Besiedlungsdichte in Deutschland.<sup>42</sup>

Auf Basis der Bevölkerungsdichte in Räumen mittlerer Besiedlungsdichte wird die Anzahl der Bevölkerung ab 14 Jahre pro Zellsektor bestimmt. Als Bezugsgröße der Flächenversorgung wird der Raum mit „mittlerer Besiedlungsdichte“ herangezogen (vgl. Tab. 7), wie er durch das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung definiert ist<sup>43</sup>.

**Tab. 7: Grad der Verstädterung nach Fläche und Bevölkerung auf Grundlage des ZENSUS 2011 und Bevölkerungsdichte**

Bezeichnung	Fläche in km <sup>2</sup> 1)	Bevölkerung	Bev. in Prozent	Fläche in km <sup>2</sup>	Fläche in Prozent	Bev. je km <sup>2</sup>
Deutschland	357.587,78	83.155 031	100	233	100	233
dicht besiedelt	20.457,54	32.764 205	39,40	1.602	5,72	1.602
<b>mittlere Besiedlungsdichte</b>	<b>112.638,56</b>	<b>33.552 156</b>	<b>40,35</b>	<b>298</b>	<b>31,50</b>	<b>298</b>
gering besiedelt	224.491,68	16.838 670	20,25	75	62,78	75

Quelle: Gemeindeverzeichnis-Informationssystem GV-ISys. Gebietsstand: 31.12.2020.

In Räumen mittlerer Besiedlungsdichte werden – ähnlich wie in ländlichen Räumen und im Unterschied zu urbanen Räumen – die Bänder im Sub-GHz-Spektrum nicht nur für die Netzabdeckung, sondern auch für die primäre Bereitstellung von Daten-Kapazität genutzt.

Aufgrund seiner höheren Einwohnerdichte werden sich kapazitative Engpässe bei der Flächenversorgung im Raum mittlerer Besiedlungsdichte eher bemerkbar machen als im gering besiedelten Raum.

Für die kapazitative Betrachtung wird hierfür das 2031 ggf. zugeteilte IMT-Spektrum insgesamt betrachtet und auf eine anbieterspezifische Betrachtung verzichtet. Somit können Schätzungen zur Frequenzausstattung und Kundenanzahl einzelner Anbieter entfallen.

Das Jahr 2031 wird gewählt, weil es unter aktuellen Rahmenbedingungen das erste Jahr wäre, in dem ggf. weitere Stakeholder das TV-UHF-Band nutzen können.

<sup>42</sup> vgl. Statistisches Bundesamt (Destatis) (2021): Grad der Verstädterung, online unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Bevoelkerungsstand/Methoden/Erlauterungen/verstaedterung.html>

<sup>43</sup> vgl. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2021): Laufende Raumbesiedlung – Raumabgrenzungen, online unter: <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/forschung/raumbesiedlung/Raumabgrenzungen/deutschland/kreise/siedlungsstrukturelle-kreistypen/kreistypen.html>

### ***Kapazitätspotenzial des bislang für Mobilfunk zugeteilten Low-Band-Spektrums in der Flächenversorgung***

Im Sub-GHz-Bereich (703 MHz bis 960 MHz) sind aktuell insgesamt 190 MHz für den Mobilfunk zugeteilt. Jedoch wird unterstellt, dass auch künftig 10 MHz für GSM genutzt werden und nicht für 4G/5G-Anwendungen zur Verfügung stehen.

Für die Modellrechnung wird weiterhin unterstellt, dass alle Bänder mit 5G und einer 4X4-MIMO-Antennenkonfiguration betrieben werden. In der Praxis sollte damit eine Datenrate von 2,02 Gbit/s pro Zellsektor realisierbar sein, das theoretische Maximum liegt bei 4,03 Gbit/s pro Zellsektor.

Da Mobilfunk ein Shared Medium ist, müssen sich sämtliche Empfänger in einem Sektor diese Datenrate teilen. Die Auslastung eines Zellsektors hängt in der Realität von zahlreichen Faktoren ab: Tageszeit, Nutzungsart (Messaging, Streaming, Cloud-Services), Nutzerkreis (Business- vs. PrivatanwenderInnen), Standort (Autobahn-, Bahnstreckennähe). Die Nutzungscharakteristika innerhalb eines Sektors können in der Praxis daher stark voneinander abweichen. Für diese Modellrechnung werden daher starke Vereinfachungen vorgenommen, um die durchschnittliche Auslegekapazität des Zellsektors zu bestimmen:

- Um die unterschiedlichen Nutzungsintensitäten im Tagesverlauf im Modell abzubilden, wird vereinfacht davon ausgegangen, dass der durchschnittliche Datenverkehr eines Kalendertages vollständig im Zeitraum der Peak-Nutzung anfällt. Im Modell wird für die Peak-Nutzung ein Zeitraum von 13,5 Stunden pro Kalendertag angenommen.
- Da keine spezifischen Annahmen über die zeitgleich aktiven/inaktiven Nutzer und deren Nutzungscharakteristika getroffen werden, wird vereinfacht davon ausgegangen, dass sämtliche Einwohner sich gleichzeitig die verfügbare Datenrate homogen teilen. Diese Kennziffer wird als „Datenrate pro Einwohner<sub>Peak-Nutzung</sub>“ bezeichnet.
- Hierfür wurden die Wachstumsszenarien aus Kapitel 3.4.3 aufgegriffen und von der Einheit PB/a in die Einheit MB/h<sub>Peak-Nutzung</sub> pro Einwohner umgerechnet.
- Im Sinne einer vorausschauenden Netzplanung wird nunmehr davon ausgegangen, dass bereits deutlich vor Erreichen der maximalen „Datenrate pro Einwohner<sub>Peak-Nutzung</sub>“ ein Zellsektor als ausgelastet zu gelten hat, um ausreichende Reserven für punktuelle Lastspitzen zu bieten. Da es sich um ein Shared Medium handelt, müssen diese Lastreserven gegenüber dem Basisniveau ausreichend dimensioniert sein. In diesem Modell gehen wir davon aus, dass die Auslegekapazität einer Mobilfunkzelle 30 Prozent der maximalen „Datenrate pro Einwohner<sub>Peak-Nutzung</sub>“ beträgt.

**Tab. 8: Übersicht wesentlicher Modellannahmen zur Kapazität eines Low-Band-Zellsektors bei kombiniertem Einsatz des gesamten Sub-GHz-Mobilfunkspektrums zur Flächenversorgung**

Modellmerkmal	Wert
Raum	mittlere Besiedlungsdichte
Bänder	Band 8; Band 20; Band 28
Frequenzbereich	700/800/900 MHz
IMT-Spektrum	180 MHz <sup>44</sup>
Trägerbandbreite	10 MHz
Theoretisch max. Datenrate <sub>Sektor</sub>	4,03 Gbit/s (4x4 MIMO)
<b>Annahme: realisierbare Datenrate<sub>Sektor</sub> (4x4 MIMO)</b>	<b>2,02 Gbit/s</b>
Besiedlungsdichte	298 EinwohnerInnen ab 14 Jahre pro km <sup>2</sup>
<b>Mobile Peak-Nutzung</b> (Daten-Spitzenlast) pro Einwohner ab 14 Jahre pro Stunde im Jahr 2031	<i>Dynamisches Szenario:</i> 270 MB/h <i>Moderates Szenario:</i> 125 MB/h
<b>Einwohner ab 14. Jahre pro Zellsektor,</b> die bedarfsgerecht mit mobiler Datenkapazität versorgt werden können (2031)	<i>Dynamisches Szenario</i> <b>1.000 Einw. ab 14 Jahre</b> <i>Moderates Szenario</i> <b>2.190 Einw. ab Jahre</b>

Quelle: Goldmedia/Fraunhofer IIS

### **Kapazitätspotenzial des Frequenzbereiches 470–694 MHz für die Flächenversorgung**

Um zu prüfen, welchen kapazitiven Beitrag der Frequenzbereich 470 MHz bis 694 MHz für die Bedienung der Datennachfrage in einer Mobilfunkzelle im Raum mittlerer Besiedlungsdichte leisten kann, wird im folgenden modellhaften Rechenbeispiel der zu betrachtende Frequenzbereich *vollständig* dem Mobilfunk zugeteilt.

<sup>44</sup> Für die Berechnung wurde angenommen, dass von den allokierten 190 MHz an Mobilfunkspektrum künftig 10 MHz für 2G-Sprachtelefonie reserviert bleiben. Hierfür kann z. B. ein 2G-Netz im nationalen Roaming betrieben werden, um die 2G-Sprachtelefonie frequenzeffizient zu realisieren.

**Tab. 9: Übersicht wesentlicher Modellannahmen zur Kapazität eines Zellsektors bei kombiniertem Einsatz des bestehenden Sub-GHz-Mobilfunkspektrums und Hinzunahme des vollständigen TV-UHF-Spektrums**

Modellmerkmal	Wert
Raum	mittlere Besiedlungsdichte
Bänder	Band 8; Band 20; Band 28; TV-UHF
Frequenzbereich	470-694/700/800/900 MHz
IMT-Spektrum	404 MHz
Trägerbandbreite	10 MHz
Theoretisch max. Datenrate <sub>Sektor</sub> (4x4 MIMO)	8,93 Gbit/s
<b>Annahme: realisierbare Datenrate<sub>Sektor</sub> (4x4 MIMO)</b>	<b>4,46 Gbit/s</b>
Besiedlungsdichte	298 EinwohnerInnen ab 14 Jahre pro km <sup>2</sup>
Mobile Peak-Nutzung (Daten-Spitzenlast) pro Einwohner ab 14 Jahre pro Stunde im Jahr 2031	Dynamisches Szenario 270 MB/h <sub>Peak-Nutzung</sub> Moderates Szenario 125 MB/h <sub>Peak-Nutzung</sub>
<b>Einwohner ab 14. Jahre pro Zellsektor, die bedarfsgerecht mit mobiler Datenkapazität versorgt werden können (2031)</b>	<i>Dynamisches Szenario</i> <b>2.230 Einw. ab 14 Jahre</b> <i>Moderates Szenario</i> <b>4.840 Einw. ab Jahre</b>

Quelle: Goldmedia/Fraunhofer IIS

### Ergebnis der Modellrechnung

Ergebnis der Analyse ist, dass auch durch vollständige Zuweisung des TV-Spektrums (470-694 MHz) an den öffentlichen Mobilfunk notwendige Investitionen in Zellverdichtung außerhalb von Ballungsräumen (Mittlere Besiedlungsdichte) nicht verschoben werden können. Bei Fortschreibung der aktuellen Datenwachstumsprognosen wird bereits 2031 ein Kapazitätsbedarf erreicht, der auch außerhalb von Ballungsräumen Standard-Zellgrößen von maximal 5 km im Radius erforderlich macht. Dies sind Radien, die auch mit dem Mobilfunkspektrum im Mid-Band bedient werden können.

Die Datenlasten machen auch im Raum mittlerer Besiedlungsdichte kleine Zellgrößen notwendig, in denen ein Reichweitenvorteil von Sub-GHz-Frequenzen gegenüber dem Mid-Band-Spektrum nicht zum Tragen kommt. Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass die MNOs auch zukünftig nicht alle ihnen zugeteilten Frequenzressourcen an einem Standort kombiniert zum Einsatz bringen werden. Makrozellen bis 10 km Radius, wie aktuell bei LTE 800 üblich, würden den Datenlasten in Regionen mittlerer Besiedlungsdichte nicht gerecht werden (vgl. nachfolgende Tabelle).

**Tab. 10: Realisierbare Größen von Mobilfunkzellsektoren in Räumen mittlerer Besiedlungsdichte bei kombiniertem Einsatz des Sub-GHz-Spektrums im Jahr 2031 ohne und mit Hinzunahme des TV-UHF-Spektrums**

Eingesetztes Spektrum	Szenario der Datennutzung	Fläche des Zellsektors in km <sup>2</sup>	Inter-Site-Distance (ISD) in km	Antennenradius in km
Sub-GHz-Bestands-spektrum	Moderates Szenario	8,4	5,4	3,6
Sub-GHz-Bestands-spektrum	Dynamisches Szenario	3,9	3,7	2,4
Sub-GHz-Bestands-spektrum UND TV-UHF-Band	Moderates Szenario	18,7	8,0	5,4
Sub-GHz-Bestands-spektrum UND TV-UHF-Band	Dynamisches Szenario	8,6	5,5	3,6

Quelle: Goldmedia/Fraunhofer IIS

Damit ergäben sich selbst bei Hinzunahmen des gesamte TV-UHF-Spektrums keine signifikanten Investitionsaufschübe für die Versorgung von rd. 80 Prozent der Bevölkerung, die aktuell in dicht besiedelten Räumen oder Räumen mittlerer Besiedlungsdichte leben (vgl. Tab. 9).

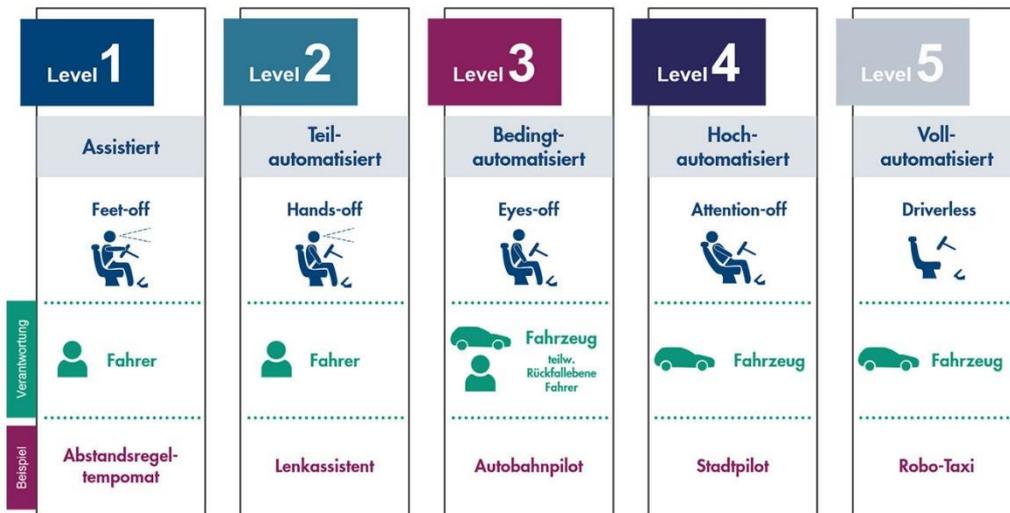
Für die 20 Prozent der Bevölkerung, die in ländlichen Gebieten (dünn besiedelte Räume, mit 75 Personen und weniger pro Quadratkilometer) leben, würde das TV-UHF-Spektrum jedoch nach 2030 einen kapazitiven Mehrwert bieten. Hier wird die Zellverdichtung der Netzbetreiber nicht aus kapazitiven Gründen notwendig und eine zukünftige Ergänzung des Mobilfunkspektrums zwischen 700 und 900 MHz durch das TV-UHF-Spektrum (oder Teilen davon) könnte zu deutlichen Kapazitätswüchsen in der Fläche führen: Laut Modellrechnung würde die vollständige Ergänzung des TV-UHF-Spektrums als Mobilfunkspektrum dazu führen, dass bei einem Antennenradius von 10 km<sup>2</sup> im moderaten Szenario immerhin eine Einwohnerdichte von 74,5 Personen pro km<sup>2</sup> vollständig versorgt werden könnte. Im Falle des dynamischen Szenarios wäre die vollständige Versorgung bei einem Antennenradius von 10 km<sup>2</sup> allerdings nur für eine Einwohnerdichte von 34,3 Personen pro km<sup>2</sup> gegeben. Dies entspricht in etwa der Einwohnerdichte von Deutschlands geringst besiedelten Landkreisen (Prignitz, Salzwedel).

### 3.5 Zukünftiger Spektrumsbedarf zur Unterstützung des autonomen Fahrens

Der Markt für das automatisierte Fahren befindet sich mit Blick auf die marktreife/aktuell verbaute Fahrzeugsensorik auf Level 2 von 5 definierten Stufen des automatisierten Fahrens (vgl. Abb. 18). Nach den Spurhalteassistenten gehören Lenkassistenten sowie ein Regeltempomat (Adaptive Cruise Control) in immer mehr Fahrzeugen zur Serienausstattung. Diese ermöglichen es prinzipiell, die Hände bei Langstrecken vom Lenkrad zu nehmen. Dies ist jedoch bislang aufgrund der Regelung Nr. 79 der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UN/ECE R-79) für „Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Fahrzeuge hinsichtlich der Lenkanlage“ verboten.

Allerdings hat die UN im Juni 2020 die neue Verordnung WP.29 zu „Automated Lane Keeping Systems“ (ALKS) verabschiedet. Demnach dürfen nationale Gesetzgeber ab Januar 2021 ein automatisiertes Fahren auf Autobahnen für PKW bis zu einer Geschwindigkeit von 60 km/h ohne Spurwechsel erlauben.<sup>45</sup> Diese Verordnung wird als erste Regulierung für SAE-Level 3 beschrieben, da sie die vollständige Übernahme der Fahraktivitäten durch das System (Hands off und Eyes off) erlaubt. Der Fahrer muss jedoch bereit sein, die Kontrolle des Fahrzeuges bei einem Signalton wieder zu übernehmen.<sup>46/47</sup>

**Abb. 18 Darstellung der SAE-Level des automatisierten Fahrens**



Quelle: Unity Consulting, Darstellung auf Basis der SAE International "Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles"

Zur Erreichung von SAE-Level-3 (dem pilotierten Fahren) bedarf es redundanter und technisch unterschiedlicher Sensoriksysteme, die unabhängig arbeiten, sich gegenseitig überwachen und immer in Kongruenz zueinanderstehen müssen (Dual-Dual-Redundanz). Das SAE-Level-3-Fahren wird durch hochgenaue Karten unterstützt, die in Kooperation mit der Fahrzeugsensorik die Position des Fahrzeugs zentimetergenau bestimmen und die von den Kamerasystemen erkannten Zeichen und Signale kontextualisieren. Solche Karten sind über einige Anbieter wie z. B. TomTom<sup>48</sup> heute bereits verfügbar. Mercedes-Benz hat z. B. angekündigt, im Jahr 2021 die neue S-Klasse als SAE-Level-3-Ready auf den Markt zu bringen.<sup>49</sup>

Bis das automatisierte Fahren auf Level 3 und höher zu einem Massenphänomen auf deutschen Autobahnen wird, wird jedoch noch deutlich mehr als ein Jahrzehnt vergehen. Eine Studie der Prognos AG aus dem Jahr 2018 im Auftrag des ADAC ergab, dass

<sup>45</sup> vgl. <https://www.unece.org/info/media/presscurrent-press-h/transport/2020/un-regulation-on-automated-lane-keeping-systems-is-milestone-for-safe-introduction-of-automated-vehicles-in-traffic/doc.html>

vgl. <http://www.unece.org/trans/themes/intelligent-transport-systems/automated-vehicles/achievements.html>

<sup>46</sup> vgl. <https://www.mes-insights.com/automated-lane-keeping-systems-pave-the-autonomous-car-future-a-965712> und <https://autoundwirtschaft.at/print/29916-vorbereiten-auf-den-grossen-schritt>

<sup>47</sup> Die Fahrbereitschaft des Fahrers wird v. a. durch Infrarot-Kamerasensorik geprüft, welche die Augenpartie des Fahrers analysiert. Solche Systeme werden seit längerem schon in den USA verbaut, um theoretisch Level 2 (Hands off/Eyes on) anzubieten, auch wenn dies rechtlich bislang nicht erlaubt war. Wird ein Fehlverhalten erkannt, greift wie bei den Lenkradsensoren nach Warnung der Nothalteassistent.

<sup>48</sup> <https://www.tomtom.com/products/hd-map/>

<sup>49</sup> <https://blog.mercedes-benz-passion.com/2020/09/der-drive-pilot-der-neuen-s-klasse-kann-level-3/>

mit Blick auf die Erneuerungsraten im deutschen Automobilverkehr im Jahr 2050 zwar bereits etwa die Hälfte der Fahrzeuge über eine Automatisierungsfunktion verfügen werden, voraussichtlich jedoch nur maximal jeder fünfte Fahrzeug-Kilometer automatisiert zurückgelegt wird.<sup>50</sup>

Der Bedarf an Mobilfunkversorgung für die Unterstützung des (hoch-)automatisierten und autonomen Fahrens wird in einem aktuellen Whitepaper der 5G Automotive Association (5GAA) skizziert. Die 5GAA ist ein Industriekonsortium bestehend aus vielen Fahrzeugherstellern wie Audi, BMW, Daimler, PSA, Chiphersteller, Plattform- und Systemlieferanten sowie Netzwerkausrüstern wie Ericsson, Huawei, Intel, Nokia, und Qualcomm und einer großen Anzahl von Mobilfunkunternehmen. Ziel des Konsortiums ist es 5G-Mobilfunk als Basistechnologie für die Shortrange- und Longrange-Vernetzung hochautomatisierter/autonom fahrender Fahrzeuge mit ihrer Umgebung (Vehicle-to-Infrastructure/Vehicle-to-Vehicle) sowie auch mit zentralen Dienste-Servern (Vehicle-to-Network) zu etablieren.<sup>51</sup> Der für die Short-Range-Kommunikation propagierte Standard Cellular-V2X (C-V2X) nutzt die seit Release 12 3GPP verfügbare Sidelink-Schnittstelle PC5, die eine Direkt-Kommunikation zwischen Mobilfunkendgeräten (Device-to-Device) ermöglicht.<sup>52</sup>

C-V2X steht dabei im Systemwettbewerb zu dem bereits ausgereiften WLAN-Standard IEEE 802.11p (WLANp) der in Europa durch das Standardisierungsgremium ETSI als „ETSI ITS-G5“ bereits im Jahr 2007 verabschiedet wurde.<sup>53</sup> Beide Short-Range-Standards sind für die Nutzung des 75-MHz-Frequenzbereichs zwischen 5.850 und 5.925 GHz ausgelegt. Dieser Frequenzbereich ist für V2X-Anwendungen bereits europaweit koordiniert.<sup>54</sup>

Wesentliche, derzeit absehbare Anwendungen des automatisierten und autonomen Fahrens, die durch performante mobilfunkbasierte Long-Range-Kommunikation unterstützt werden sollen, sind laufende Updates für hochgenaue Karten zur Unterstützung des Fahrverhaltens sowie das teleoperierte Fahren führerloser Transportfahrzeuge.

Für die Unterstützung dieser Long-Range-Anbindung der Fahrzeuge an ein Backend über klassische Mobilfunknetze (V2N) postuliert die 5GAA einen über die WRC-23 zu ermöglichenden, zusätzlichen langfristigen Bedarf von

- **mind. 50 MHz für Mobilfunkanwendungen im Spektrum < 1 GHz** zur Unterstützung des automatisierten Fahrens im ländlichen Raum sowie
- **mind. 500 MHz zusätzliches Spektrum für Mobilfunkanwendungen im Frequenzbereich 1 bis 7 GHz**, um hochbitratige Anwendungen des automatisierten und autonomen Fahrens im städtischen Bereich unterstützen zu können.

<sup>50</sup> <https://www.prognos.com/publikationen/alle-publikationen/855/show/64c3cf4b4e5dbaba955a06f6bf9b80c3/#:~:text=So%20wird%20im%20Jahr%202050,im%20Auftrag%20des%20ADAC%20e.V.&text=Eine%20signifikante%20Durchdringung%20mit%20Fahrzeugen,erst%20nach%202050%20zu%20erwarten.>

<sup>51</sup> Die Unterstützung der MNOs ergibt sich daraus, dass bei einem vollständig auf Mobilfunktechnik basierenden C-ITS-Systemen der Einsatz von eSIM-Karten in allen Neuwagen wahrscheinlich wird.

<sup>52</sup> vgl. z. B. ETSI TR 137 985 V16.0.0 (2020-07): "LTE; 5G; Overall description of Radio Access Network (RAN) aspects for Vehicle-to-everything (V2X) based on LTE and NR"

<sup>53</sup> vgl. First version ETSI EN 302 571: Intelligent Transport Systems (ITS); Radiocommunications equipment operating in the 5 855 MHz to 5 925 MHz frequency band; Harmonized EN covering the essential requirements of article 3.2 of the R&TTE Directive.

<sup>54</sup> Entsprechend findet sich im Frequenzplan der Bundesnetzagentur für den Bereich 5850 – 5925 MHz eine Eintragung für Mobilfunkdienste zum Zwecke der Funkanwendung für Intelligente Verkehrssysteme.

Dabei soll das Frequenzspektrum jedoch dienste-agnostisch bereitgestellt werden.<sup>55</sup>

Der Bedarf von 50 MHz im Spektrum < 1 GHz wird im Folgenden näher betrachtet. Nutzt man diese Bandbreite in der klassischen Konfiguration 10-MHz-Träger; 15-kHz-Subträger wären hier theoretisch folgende maximale Datenraten realisierbar: 556,4 MBit/s bei 2x2 MIMO und 1.112,9 MBit/s bei 4x4 MIMO.

### 3.5.1 High-Definition Maps

Eine zentrale Anwendung des automatisierten Fahrens sind hochgenaue, geschichtete digitale Referenzkarten.<sup>56</sup> Fahrzeugnavigationssysteme wie bspw. von TomTom (TomTom ADAS und neu TomTom HD Maps)<sup>57</sup> oder HERE (HERE HD Live Maps)<sup>58</sup> erfassen über die Fahrzeugsensorik und ein eingebautes Gyroskop Fahrspuren, Straßengefälle und Kurvenradien der Fahrbahn. In Kombination mit den geschichtet gespeichert und abgebildeten Kartendaten und Referenzpunkten sowie deutlich größeren GPS-Daten wird so die Position des eigenen Fahrzeugs auf der Fahrbahn zentimetergenau bestimmt. Darüber hinaus erfassen und kontextualisieren diese Systeme Straßenbeschilderung und Lichtsignale.<sup>59</sup> Die Daten kombinieren sie mit den im Fahrzeug auf Highspeed-Festplatten gespeicherten HD-Map-Daten. Die HD-Map-Daten werden durch Flotten von Erfassungsfahrzeugen (z. B. auf Basis von LIDAR- und Kamerasensorik) der Kartenhersteller erstellt und in den Fahrzeugen gespeichert. Diese Informationen stellt das Map-System den Fahrzeugassistenzsystemen zur Verfügung.<sup>60</sup>

Die Berücksichtigung der aktuellen Verkehrslage in den Navigationssystemen erfolgt bereits seit vielen Jahren über Mobilfunk (soweit im Fahrzeug vorhanden und aktiviert). Anders als die Kartenanwendungen für Betriebssysteme mobiler Endgeräte (Google Maps für Android, Apple Karten für iOS), die ihre dynamischen Informationen direkt aus den Smartphone-Zellpositions- und GPS-Daten der Handys ziehen, nutzen externe Navigationssystemhersteller die heute i. d. R. über GSM-M2M-übermittelten Positionsdaten derjenigen Fahrzeuge, welche über ein Navigationssystem des Herstellers verfügen, sowie die Daten, die von den Verkehrsbehörden/Polizeien bereitgestellt werden. (Hierzu

<sup>55</sup> vgl. 5gaa (2020): "A Visionary Roadmap for Advanced Driving Use Cases, Connectivity Technologies, and Radio Spectrum Needs", abrufbar unter: <https://5gaa.org/news/the-new-c-v2x-roadmap-for-automotive-connectivity/> +&cd=1&hl=de&ct=clnk&gl=de

<sup>56</sup> Die zentrale (Grund-)Komponente bildet ein zusammenhängender Netzgraph, bestehend aus Knoten und Kanten. Diese Objekte werden mithilfe von Attributen genauer beschrieben. So beschreibt beispielsweise das Attribut Kantentyp, ob es sich bei der betreffenden Kante um einen Fußweg, Radweg oder die Fahrbahn zum Beispiel einer Erschließungsstraße oder einer Autobahn handelt. Mithilfe von Attributen wird auch die Geometrie der Kanten wie etwa die Anzahl der Fahrstreifen, deren Kurvenradien und Betrachtung erlaubter Geschwindigkeiten, Fahrstreifenbreite und deren Zustand, zum Beispiel hinsichtlich der Griffbarkeit, beschrieben. Die Attribute werden in Schichten verarbeitet und enthalten alle statischen oder dynamischen Zustände jedes einzelnen Objekts (zum Beispiel temporäre Reduzierung der Spurenzahl).

<sup>57</sup> Die HD-Karten von TomTom (TomTom HD Maps) decken aktuell alle Autobahnen in 19 Ländern Westeuropas\* sowie das gesamte Autobahn- und Schnellstraßennetz auf dem US-amerikanischen Festland (ohne Alaska) ab. vgl. <https://www.tomtom.com/blog/autonomous-driving/adas-map-vs-hd-map/>

<sup>58</sup> <https://www.here.com/platform/automotive-services/hd-maps>

<sup>59</sup> Hierfür werden die Verkehrszeichen und Lichtsignalanlagen optisch ausgewertet und mit dem Netzgraphen der HD-Karten verbunden.

<sup>60</sup> vgl. Seif et. Al. (2016): "Autonomous Driving in the iCity-HD Maps as a Key Challenge of the Automotive Industry"

zählen tlw. bereits auch Infrastruktursensordaten von Staumeldern oder Bodentemperaturfühlern). Diese Informationen werden zentral verarbeitet und über Mobilfunk an die Navigationsgeräte zurückgespielt.

Die neuen HD Maps werden zusätzlich mit den neuen Sensor-Daten der Sensorik-Flotte des Kartenherstellers versorgt. Hierfür wird die Gesamtkarte in viele Kartenabschnitte (Kacheln) unterteilt. Zu Fahrtbeginn, nach Eingabe des Fahrziels, lädt das Navigationsgerät je nach Aktualitätsstand der gespeicherten Karte die jeweils aktuellen Daten der Kacheln für die wahrscheinlichsten Routen herunter (z. B. über TomTom Autostream<sup>61</sup>). Hierbei handelt es sich um hochkomprimierte Kachelinformationen von partiellen und inkrementellen Kartenupdates, die keine hohen Datenraten erforderlich machen. (Größere Softwareupdates des Navigationsmoduls werden stationär über WLAN aufgespielt.)

Für das automatisierte Fahren werden dynamische HD Maps entwickelt. Das bedeutet zum einen, dass neben den periodischen Karten-Updates der Sensor-Flotte und der heutigen Quellen von Verkehrsflussinformationen zukünftig über ein Sensor-Sharing anderer vernetzter Fahrzeuge und ggf. auch Backend-Informationen der Verkehrszentralen aus der Datenerfassung vernetzter Roadside-Units aktuellste Veränderungen des Straßenzustands (Nebelbänke, Aquaplaning, Straßenglätte) oder der Fahrspursituation (z. B. bei Wanderbaustellen) erfasst und an alle, die diese Kacheln durchfahren, verteilt werden.

Damit wird das Thema Sensor-Sharing für eine laufende Aktualisierung der HD-Karteninformationen relevant. Auf einer weiteren hochdynamischen Kartenschicht (Map Layer) könnten über Mobilfunk auch kurzfristigste Veränderungen der Verkehrslage im Bereich von wenigen Sekunden übertragen werden. Hierzu gehören die Phasen der Lichtsignalanlagen, die Verkehrsdichte, das aktuelle Geschwindigkeitsniveau sowie die Position von Rettungsfahrzeugen. In Kombination mit den fahrzeugeigenen Sensordaten zum lokalen Fahrzeugbewegungsumfeld sowie der eigenen Position und Geschwindigkeit, entsteht so ein vollständiges digitales Abbild (digitaler Zwilling) der aktuellen, lokalen Verkehrsumgebung.

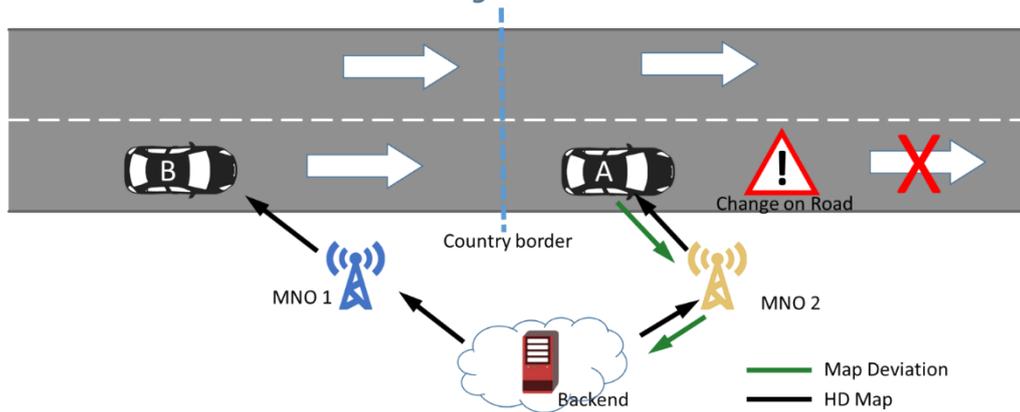
Aktuell muss für eine solche latenzarme Verbreitung von Sensor- und Videodaten der Fahrzeuge noch die Unterstützung von Mobile Edge Clouds der Mobilfunknetzbetreiber in Anspruch genommen werden. Ein solches Szenario wird aktuell im Testfeld 5GCroCo erprobt.<sup>62</sup>

---

<sup>61</sup> [https://www.tomtom.com/products/autostream/?gclid=CjwKCAiAwrf-BRA9EiwAUWwKXq52OGR-JUj6HR2kpY7algrC4t8mwArIY9JlbgPqMYOOdejZicVXiNRoC89AQAvD\\_BwE](https://www.tomtom.com/products/autostream/?gclid=CjwKCAiAwrf-BRA9EiwAUWwKXq52OGR-JUj6HR2kpY7algrC4t8mwArIY9JlbgPqMYOOdejZicVXiNRoC89AQAvD_BwE)

<sup>62</sup> <https://5gcroco.eu/>

**Abb. 19: 5GCroCo-Testfeldaufbau: Verbreitung von HD-Map-Updates auf Basis von Sensor-Sharing**



Quelle: 5GCroCo

Während die heutigen Karten-Updates nur schmalbandige Mobilfunkverbindungen erfordern, würde das Aussenden dynamischer Sensorkarten durch einzelne Fahrzeuge, die Verarbeitung in einer Mobile Edge Cloud oder im Backend und die Rückübertragung an alle Verkehrsteilnehmer höhere Mobilfunkdatenraten für die Übertragung von Nahezu-Echtzeitdaten der Streckenabschnitte notwendig machen.

Allerdings ist hierbei davon auszugehen, dass diese Informationen in der Zelle jeweils als Groupcast-/Push-Technologie an alle Dienste-Abonnenten verteilt werden und nicht als Unicast-Verbindung übertragen werden. Zudem wird es sich bei diesen Diensten immer um Service-Dienste oberhalb der notwendigen Sicherheitsdienste handeln, die nur für bestimmte Fahrzeugmodelle oder auf Basis von Abonnements nutzbar werden.

Ein zusätzlicher Datenraten-Bedarf von mehreren Hundert Mbit/s erscheint hierfür ab 2031 nicht erforderlich.

### 3.5.2 Teleoperiertes Fahren

Eine Anwendung des automatisierten Fahrens, die eine ständige, gesicherte Mobilfunkverbindung von Fahrzeugen erfordert, ist das teleoperierte Fahren. Das Lenken von Fahrzeugen aus einem sog. „Vehicle Control Center“ heraus wird von Lkw-Herstellern wie Scania (zusammen mit Ericsson) oder SAIC Motors (zusammen mit Huawei) zur Unterstützung autonom fahrender Lkws (im Stand-alone- oder Platooning-Modus) vorangetrieben.

Im Unterschied zum Personenverkehr müssen hier theoretisch keine Personen von A nach B befördert werden. Wenn ein autonom fahrender Lkw jedoch aufgrund einer Störung oder eines Unfalls ein Emergency- oder Safe-Stop-Manöver durchführt oder der Lkw geparkt, entladen oder betankt/aufgeladen werden muss, besteht ggf. der Bedarf für einen Telepiloten, der das Fahrzeug überprüft und ggf. manuell weiterfährt.<sup>63</sup>

Diese Fahrzeuge müssen bereits im normalen Betriebsmodus für die kontinuierliche Kontrolldatenübermittlung über Mobilfunk mit dem Vehicle-Control-Center in Verbindung stehen. Wenn die Situation für ein teleoperiertes Eingreifen eines Fahrers auftritt, erhöhen sich diese Anforderungen in Bezug auf Datenraten und Latenz. Aktuelle Pilot-

<sup>63</sup> 5GCroCo (2019): Deliverable D5.1 Description of 5GCroCo Business Potentials

projekte im Bereich des automatisierten Fahrens arbeiten hier mit einem Datendurchsatz für den Video-Uplink von 10 bis 25 Mbit/s im Datenupload und einer Latenz (Round-Trip-Time) von 50 ms.<sup>64</sup>

Die Forschung zeigt, dass die menschliche Gehirnleistung Latenzen von 15 ms als vollständig unverzögert wahrnimmt und erst Latenzen oberhalb von 100 ms als Verzögerung wahrgenommen werden, die sich ggf. negativ auf das Fahrverhalten auswirken.<sup>65</sup> Daher werden Latenzen von 20 bis 50 ms als akzeptable Latenz für teleoperiertes Fahren angesehen.<sup>66</sup>

Diese Latenzanforderung hat bei Piloten für teleoperiertes Fahren auf Basis von LTE- und 5G-NR-Netzen (mit 4G Core) noch den Einsatz von Mobile Edge Cloud Computing in der Funkzelle bzw. in einer benachbarten Funkzelle erforderlich gemacht. Mit dem Einsatz von 5G-Core-Networks (Cloud-RAN) und der damit reduzierten Zahl von Routern und Gateways reduziert sich die Latenz in den Mobilfunkzellen perspektivisch auf rd. 10 ms RTT.<sup>67</sup> Diese Performanz entspricht der Versorgungsaufgabe aus der Frequenzauktion 2019<sup>68</sup> und ist nach derzeitiger Ansicht der MNOs ausreichend, um zukünftig über 5G-Networkslicing entlang der Fahrbahnen gesicherte und performante Verbindungen für den Ausnahmefall des teleoperierten Fahrens zur Verfügung zu stellen.<sup>69</sup>

Allerdings ist zu berücksichtigen, dass in der technischen Spezifikation der 3GPP für V2X-Anwendungen für das teleoperierte Fahren bis 250 km/h Latenzzeiten von maximal 5 ms angesetzt werden,<sup>70</sup> was auch bei 5G-Core einen erhöhten Einsatz von Edge-Cloud-Computing und ggf. einer stärkeren Verdichtung der Mobilfunkzellen entlang von Verkehrswegen erforderlich machen würde, welche dann wiederum nicht Frequenzen unter 1 GHz zur Anwendung bringen würden.

Ob teleoperiertes Fahren in sehr hoher Geschwindigkeit jedoch zukünftig ein reales Anwendungsszenario wird, ist mit Blick auf die fahrzeugzentrierte Entwicklung des autonomen Fahrens fraglich. Hinzu kommt die oben erwähnte menschliche Gehirnleistung, welche Latenzen deutlich oberhalb von 5 ms noch als unverzögert wahrnimmt.

Zumindest mit Blick auf die Datenraten erscheint die Umsetzung von teleoperiertem Fahren als Ausnahmesituation in einer Zelle auf Basis von 5G-Networkslicing mit dem heute bereits zugeteilten Spektrum realisierbar. Ggf. geht dies kurzfristig zu Lasten von

---

<sup>64</sup> <https://www.ericsson.com/en/mobility-report/articles/remote-monitoring-and-control-of-vehicles>

<sup>65</sup> <https://www.ericsson.com/en/blog/2020/12/5g-latency-test-rc-hobby>

<sup>66</sup> <https://www.ericsson.com/en/blog/2020/12/5g-latency-test-rc-hobby>

<https://www.t-systems.com/de/en/industries/automotive/connected-mobility/teleoperated-driving>

[https://www.itu.int/en/ITU-T/focusgroups/vm/Documents/FG-VM\\_6th\\_meeting\\_presentations/Dirk\\_Hetzer\\_presentation.pdf](https://www.itu.int/en/ITU-T/focusgroups/vm/Documents/FG-VM_6th_meeting_presentations/Dirk_Hetzer_presentation.pdf)

[https://5gcroco.eu/images/5GCroCo\\_5GPPP\\_TB.pdf](https://5gcroco.eu/images/5GCroCo_5GPPP_TB.pdf)

Journal of Sensor and Actuator Networks (Mai 2020): "On the Needs and Requirements Arising from Connected and Automated Driving", abrufbar unter:

[https://www.researchgate.net/figure/Network-requirements-for-the-5GCAR-use-cases\\_tbl1\\_341418952](https://www.researchgate.net/figure/Network-requirements-for-the-5GCAR-use-cases_tbl1_341418952)

<sup>67</sup> <https://www.t-systems.com/de/en/industries/automotive/connected-mobility/teleoperated-driving>

<sup>68</sup> vgl. Präsidentenkammerentscheidungen III und IV - Auktion 2019,

[https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen\\_Institutionen/Breitband/MobilesBreitband/Frequenzauktion/2019/Auktion2019.html?nn=267664](https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Breitband/MobilesBreitband/Frequenzauktion/2019/Auktion2019.html?nn=267664)

<sup>69</sup> <https://www.t-systems.com/de/en/industries/automotive/connected-mobility/teleoperated-driving>

<sup>70</sup> vgl. ETSI TS 22.186 abrufbar unter:

<https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3180>

[https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/122100\\_122199/122186/16.02.00\\_60/ts\\_122186v160200p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/122100_122199/122186/16.02.00_60/ts_122186v160200p.pdf)

Best-Effort-Datenanbindungen, dürfte jedoch im Gesamtumfang nur kurzfristige Auswirkungen auf die sonstige Datennutzung in der Mobilfunkzelle haben.

### **3.6 Zusammenfassung Zukünftiger Spektrumsbedarf des öffentlichen Mobilfunks**

Die durchgeführte Analyse zeigt, dass eine Befriedigung der zukünftigen Datennachfrage für den Großteil der Bevölkerung nur teilweise durch eine zusätzliche Nutzung des TV-UHF-Spektrums erreicht werden könnte. Primär wären zukünftige Kapazitätsbedarfe durch Investitionen in Netzverdichtung zu lösen. Je stärker das Wachstum des Datenverkehrsvolumens ausfällt, umso geringer ist der Grenznutzen, den das TV-UHF-Spektrum zur Deckung der stark wachsenden Bedarfe leisten könnte. Dies gilt für Räume, die dicht besiedelt sind sowie für Räume mit mittlerer Besiedlungsdichte (vgl. Kap. 3.4.4).

Für die 20 Prozent der Bevölkerung, die in ländlichen Gebieten (dünn besiedelte Räume, mit 75 Personen und weniger pro Quadratkilometer) leben, würde das TV-UHF-Spektrum jedoch nach 2030 einen kapazitativen Mehrwert bieten. Laut durchgeführter Modellrechnung würde die vollständige Ergänzung des TV-UHF-Spektrums als Mobilfunkpektrum dazu führen, dass bei einem Antennenradius von 10 km<sup>2</sup> im moderaten Szenario immerhin eine Einwohnerdichte von 74,5 Personen pro km<sup>2</sup> vollständig versorgt werden könnte. Im Falle des dynamischen Szenarios wäre die vollständige Versorgung bei einem Antennenradius von 10 km<sup>2</sup> allerdings nur bis zu einer Einwohnerdichte von 34,3 Personen pro km<sup>2</sup> gewährleistet.

Die Anforderungen der zukünftigen digitalen Mobilität hingegen erfordern aus heutiger Sicht keine massive Erhöhung der Datenraten im ländlichen Raum. Sollte sich dies durch neue Anwendungen in der Zukunft ändern, wäre die Frage, ob die Dienste auf den Infrastrukturen aller MNOs parallel realisiert werden müssen, oder ob diese Dienste durch Kooperationen der Mobilfunknetzbetreiber effizienter bereitgestellt werden könnten.

## 4 Dienstanalyse Public Protection and Disaster Relief (PPDR) und militärischer Bedarf

### 4.1 Einführung

Behörden und Organisationen, die für die Aufrechterhaltung von Recht und Ordnung, den Schutz von Leben und Eigentum sowie für Notsituationen zuständig sind, werden durch die ITU unter dem Akronym PPDR (Protection and Disaster Relief) zusammengefasst.<sup>71</sup>

In Deutschland gehören Bundes- und Landespolizeien, Feuerwehren, Zoll, Rettungsdienste, Technisches Hilfswerk und Katastrophenschutzorganisationen zu den Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS). Neben diesen ist seit dem 21. Februar 2019 auch die Bundeswehr berechtigter Teilnehmer am Digitalfunk BOS.

Das Bundesministerium der Verteidigung (BMVg), das Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI), die National Radio Frequency Agency – Germany (NARFA DEU) und die Bundesanstalt für den Digitalfunk der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BDBOS) bilden die Stakeholderschaft für PPDR in Deutschland.

### 4.2 Gegenwärtige Frequenznutzung durch PPDR

Die BDBOS betreibt seit 2007 den digitalen Sprechfunk der BOS. Das Funknetz der BDBOS basiert auf dem für Sprache optimierten TETRA-Standard (Terrestrial Trunked Radio).<sup>72</sup> Mit dem TETRA-Netz ab 380 MHz (vgl. Tab. 11) betreibt die BDBOS eine nationale, einsatzkritische Infrastruktur mit ca. 4.600 Basisstationen und einer Flächenabdeckung von 99,2 Prozent für rund 900.000 Nutzer (Stand: Juli 2020).<sup>73</sup> Das gegen Abhören gesicherte und gehärtete TETRA-Netz bildet die Basis für die Sprachkommunikation der BOS und der Bundeswehr. Gegenüber öffentlichen Mobilfunknetzen zeichnet sich das BOS-Netz zudem durch eine hohe Verfügbarkeit bis hin zur Schwarzfallfestigkeit aus. Breitbandige Anwendungen sind auf Basis des TETRA-Standards nicht realisierbar.

---

<sup>71</sup> vgl. ITU-T Recommendation E.102, online unter: <https://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=13875&lang=en>

<sup>72</sup> "The TETRA standard foresees frequency channels with a carrier spacing of 25 kHz and 4 time slots per carrier or traffic channels. The overall achievable user data rate is 36 kbit/s per carrier." vgl. ITU (2020): Germany (Federal Republic of) – Current spectrum use and future spectrum needs of critical communications for governmental use. Document 5A/200-E, 02.11.2020

<sup>73</sup> vgl. ITU (2020): Germany (Federal Republic of) – Current spectrum use and future spectrum needs of critical communications for governmental use. Document 5A/200-E, 02.11.2020

**Tab. 11: Genutztes Spektrum für digitalen BOS-Sprechfunk (TETRA) in Deutschland 2020**

Deployment Scenario	Used Spectrum in Germany
TMO [BOS-Nutzung]	380 – 385 MHz (uplink) 390 – 395 MHz (downlink)
Additional TMO [Bundeswehr-Nutzung]	385 – 386.5 MHz (uplink) 395 – 396.5 MHz (downlink)
EURO-DMO	specific channels in TMO spectrum
Additional DMO [BOS-Nutzung]	406.1 - 410 MHz
DMO-Repeater	specific channels in TMO and DMO spectrum
AGA	Specific channels in TMO spectrum
Ad-hoc coverage	Specific channels in TMO spectrum
Indoor	Specific channels in TMO spectrum

Quelle: ITU (2020): Germany (Federal Republic of) – Current spectrum use and future spectrum needs of critical communications for governmental use. Document 5A/200-E, 02.11.2020. Anmerkung in eckigen Klammern: Goldmedia.

Für breitbandige PPDR-Anwendungen im 700-MHz-Bereich wurden durch die ECC-Entscheidung (16)02 zweimal 3 MHz (733-736/788-791 MHz) und zweimal 5 MHz (698-703 MHz/753-758 MHz) ab 2018 bereitgestellt.

In der Praxis hat sich hierbei herausgestellt, dass praktisch nur die beiden 3-MHz-Blöcke genutzt werden können, da keine BOS-Geräte für die 5-MHz-Blöcke (im LTE Band 68) kommerziell verfügbar sind.<sup>74</sup> Die beiden 5-MHz-Blöcke könnten daher aktuell nur mit einem unverhältnismäßig großen finanziellen Aufwand erschlossen werden.<sup>75</sup>

### 4.3 Zukünftiger Spektrumsbedarf und künftige Betriebsszenarien

Bei den BOS sowie dem Militär besteht zum einen ein **gemeinsamer Bedarf** an Frequenzspektrum für sog. „**einheitliche Breitbanddienste**“ zur Erfüllung der ihnen übertragenen behördlichen Aufgaben. Für die zukunftsfähige Aufrechterhaltung der einsatzkritischen Sprachkommunikation als auch zur Deckung des steigenden Bedarfs für breitbandige Kommunikationsdienste wird die Nutzung von zusätzlichem Frequenzspektrum nötig. Dies gilt nicht zuletzt, da das bislang von den BOS genutzte TETRA-Netz nicht breitbandfähig ist und der bislang für TETRA genutzte Frequenzbereich 380–385 MHz (Uplink) und 390–395 MHz (Downlink) eine Frequenzressource der Bundeswehr darstellt, die leihweise durch die BOS genutzt wird und nach 2030 wieder an die Bundeswehr zurückfallen soll.

Darüber hinaus meldet die Bundeswehr für die Erfüllung ihrer Verteidigungsaufgaben einen **gesonderten militärischen Bedarf** an eigenem Frequenzspektrum an, das vorrangig zur infrastrukturunabhängigen Vernetzung von landbasierten und bodennahen mobilen Systemen erforderlich ist.

<sup>74</sup> Tabelleneintrag 698-703 MHz: „No equipment is available actually“ in ITU (2020): Germany (Federal Republic of) – Current spectrum use and future spectrum needs for governmental usage in 470 MHz to 960 MHz. Document 5A/201-E, 02.11.2020, Tab. 2, S. 6.

<sup>75</sup> vgl. ITU (2020): Germany (Federal Republic of) – Current spectrum use and future spectrum needs for governmental usage in 470 MHz to 960 MHz. Document 5A/201-E, 02.11.2020

Für die Deckung des Spektrumsbedarfes für die einheitlichen Breitbanddienste von BOS und Bundeswehr und den gesonderten Bedarf der Bundeswehr wird **von der BDBOS und der NARFA DEU ein Frequenzspektrum im Umfang von 160 MHz** im Low-Band < 1 GHz als notwendig erachtet.<sup>76</sup> Hiervon entfallen 60 MHz für die einheitlichen Breitbanddienste von BDBOS und Bundeswehr und 30 bis 100 MHz für den gesonderten militärischen Bedarf der Bundeswehr. Aufgrund fehlender Spezifizierungen wird im Rahmen dieser Studie davon ausgegangen, dass es sich hierbei um Brutto-Forderungen handelt, die eine evtl. zur berücksichtigende Mittenlücke mit einpreisen.

### 4.3.1 Künftige Bedarfe für Breitbanddienste

Die nachfolgende Tabelle zeigt die typischen Anwendungen für PPDR-Funkdienste. Hier zeigt sich, dass neben der Video-Übertragung aktuell keine Einzelanwendung echte Breitband-Verbindungen benötigt. Die Summe der Anwendungen sowie die zunehmende Konnektivität von Geräten im PPDR-Umfeld erhöhen jedoch insgesamt zunehmend den Bandbreitenbedarf.

**Tab. 12: Typische Anwendungen für PPDR-Funkdienste**

Use cases	Application example	Communication services
<b>Voice transmission</b>	Group call (one to many) and direct call (one to one)	Voice
<b>Activity recording and processing</b>	Mobile office, proof evidence for court hearings	data (text, pictures and documents) and non-real-time video
<b>Retrieve of mission supporting information</b>	Data base query, verification from identity cards, verification of fingerprints, documents scanner, internet access, face recognition	data (text, pictures and documents)
<b>Geo-data, traffic and routing information</b>	Routing information, maps, geo-information systems	data (text, pictures, documents and location information)
<b>Telemetry</b>	Tele emergency doctor (transmission of vital data), first aid applications and transmission of other sensors data	data (audio, text, pictures, documents and location information) and non-real-time video
<b>Messenger</b>	Messengers applications for data and video transmission (one-to-many and one-to-one)	data (text, pictures, audio and location information) and non-real-time video
<b>E-mail</b>	E-mail systems	data (text, pictures and audio) and non-real-time video
<b>Call-out</b>	Call-out and alarming applications	data (text)
<b>Administrative tasks</b>	Digital drivers' logbook, patrol plan, translator application	data (text, documents and audio) and non-real-time video
<b>Video streaming</b>	Video group call (one to many), direct video call (one to one),	real-time video

<sup>76</sup> vgl. BDBOS/NARFA DEU (2019): Strategie der BDBOS und Bundeweher künftiger gemeinsamer Nutzung von Frequenzen zur Breitbandkommunikation. Version 1.0, 04.09.2019.

Use cases	Application example	Communication services
	real-time video (e.g. drone reconnaissance for enhanced situational awareness)	

Quelle: ITU (2020): Germany (Federal Republic of) – Current spectrum use and future spectrum needs for governmental usage in 470 MHz to 960 MHz. Document 5A/201-E, 02.11.2020, S. 4

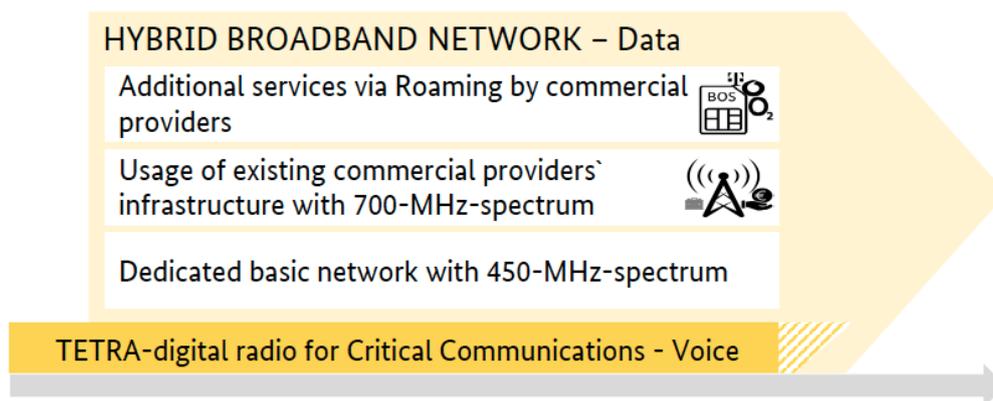
Die PPDR-Breitbanddienste lassen sich in einsatzunterstützende Dienste (Messenger, Karten, KFZ-Halterabfragen, Übermittlung von Fahndungsfotos, Anbindung an Führungs- und Informationssysteme etc.) und einsatzkritische Dienste unterscheiden (Telemetrie, Drohnenaufklärung, Telemedizin etc.). Bei einsatzkritischen Diensten ist im Vergleich zu den einsatzunterstützenden Diensten eine besonders geringe Übertragungslatenz erforderlich.

Im Vergleich zu öffentlichen Mobilfunknetzen und -Anwendungen kommt dem Uplink bei PPDR-Diensten eine erhöhte Bedeutung zu. Bei bestimmten Anwendungen ist der Uplink gegenüber dem Downlink der dominante Pfad. Dies gilt auch für die Video-Übertragung.

#### 4.3.1.1 Kurz- und mittelfristige Perspektive

In kurz- und mittelfristiger Perspektive steht die Mitnutzung kommerzieller Mobilfunknetze bzw. die Mitnutzung von Netzinfrastrukturen kommerzieller Mobilfunknetze im Vordergrund der Überlegungen. Um die zukünftigen breitbandigen Bedarfe zu decken, wurde von Seiten der BDBOS im Jahr 2019 eine Breitbandstrategie erarbeitet, welche die kurz- und mittelfristigen Planungen bis 2030 umfasst. Kernstück der Strategie ist ein hybrides Breitband-Netzwerk, das neben dem TETRA-basierten Sprechfunk zusätzliche, breitbandige Dienste über verschiedene, neuartige Infrastrukturen ermöglicht.

**Abb. 20: Vorschlag der BDBOS für ein hybrides Breitband-Datennetz, 2019**



Quelle: BDBOS (2019): A Broadband Strategy for German Critical Communications. Vortrag von Barbara Held auf der Critical Communications Europe (CCEurope) 2019, 12.03.2019.

Das hybride Breitband-Datennetz ist eine Kombination aus dem bisherigen digitalen TETRA-Sprechfunk und standardisierter 3GPP-Mobilfunktechnologie für darüber hinausgehende, nicht-kritische Breitbandbedarfe und zusätzliche Dienste, wie etwa Messenger-Dienste, Datenbankabfragen, Führungsinformationssysteme sowie Videoübertragungen und andere datenintensive Anwendungen.

Das vorgeschlagene hybride Breitband-Netzwerk beruht auf vier Säulen:

- Mitnutzung existierender kommerzieller Mobilfunknetze (Roaming)
- Mitnutzung der Netzinfrastrukturen kommerzieller Mobilfunknetze zum eigenbeherrschten Betrieb eines BOS-Netzes im dedizierten PPDR-Spektrum des 700-MHz-Bandes (RAN-Sharing)
- Dediziertes Basis-Breitbandnetz im 450-MHz-Band (nicht weiter realisierbar)
- Weiterbetrieb des TETRA-Sprechfunks im 380-MHz-Band für einsatzkritische Sprachkommunikation (bis 2030)

Die einsatzunterstützenden Breitband-Dienste sollen nach diesen Planungen kurz- bis mittelfristig zunächst in Kooperation mit Netzbetreibern des kommerziellen Mobilfunks (MNOs) realisiert werden. Die einsatzkritischen Breitband-Dienste sollen mittel- bis langfristig über ein künftig eigenbeherrschtes Breitbandnetz des BDBOS ermöglicht werden.

Die in der Breitbandstrategie der BDBOS von 2019 außerdem diskutierte Variante eines Basis-Breitbandnetzes im 450-MHz-Band lässt sich hingegen nicht weiter verwirklichen, da das Spektrum durch die Präsidentenkammer-Entscheidung vom 16.11.2020 anderweitig zugeteilt wurde und nicht mehr durch ein BOS-Basis-Breitbandnetz genutzt werden kann.

#### ***Exkurs: Nutzung kommerzieller Mobilfunknetze für PPDR-Dienste im Ausland***

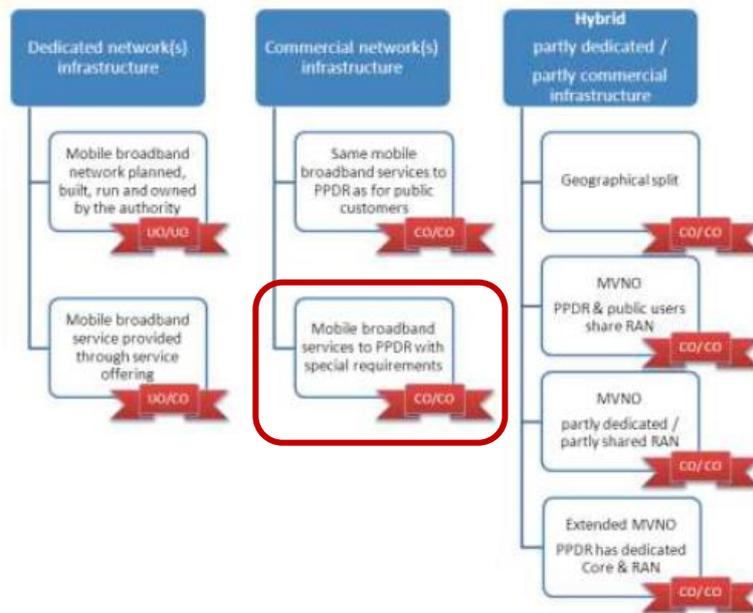
International haben sich aktuell bereits Staaten gegen einen eigenen PPDR-Netzbetrieb auf dedizierten Frequenzen entschieden. Diese setzen stattdessen auf einen externen Betrieb des Funknetzes durch kommerzielle Mobilfunkanbieter.

#### ***Vereinigtes Königreich***

Im Vereinigten Königreich wird seit 2019 das LTE-basierte „Emergency Services Network“ (ESN) ausgerollt. Das ESN ersetzt in England, Wales und Schottland den gegenwärtig noch genutzten TETRA-basierten Funkdienst „Airwave“ und migriert PPDR-Funkdienste auf Standard-Mobilfunktechnologie (PS-LTE). Zu den Nutzern des ESN gehören Polizei, Feuerwehr, Rettungsdienste und weitere Nutzer, wie etwa Versorgungsunternehmen oder die Seenotrettung. Die Planungen für das ESN begannen 2014. Ende 2015 wurde bekannt gegeben, dass der Netzbetreiber EE den Netzbetrieb übernehmen wird. Es wird von rd. 300.000 künftigen Nutzern für das ESN ausgegangen.

Das „Emergency Services Network“ ist ein dediziertes Kernnetzwerk für PPDR-Dienste, das zur terrestrischen Verbreitung ausschließlich das kommerzielle Netz des Mobilfunknetzbetreibers EE nutzt. Eigenes PPDR-Spektrum kommt nicht zum Einsatz, der Sprach- und Datenverkehr des ESN wird über das Netz und das Spektrum von EE realisiert und genießt hierbei Vorrang vor allen anderen kommerziellen Mobilfunkdiensten von EE. Die PPDR-Kommunikation haben auch zu Spitzenzeiten und in stark frequentierten städtischen Gebieten Priorität gegenüber dem restlichen Netzverkehr. Damit stellt das ESN ein über kommerzielle Infrastruktur realisiertes PPDR-Netz mit besonderen Eigenschaften dar (vgl. Abb. 21).

Abb. 21: Übersicht PPDR-Betreibermodelle



Quelle: PPDR-TC; Public Protection and Disaster Relief Transformation Centre (2016): FP7-SEC-313015. Final Publishable Summary Report, S. 14. [Rote Umrandung: Goldmedia]

Legende: UO-UO: User Owned – User Operated; UO-CO: User Owned – Commercial Operated; CO-CO: Commercial Owner – Commercial Operated

Die Netzinfrastruktur von EE muss für das ESN-Netz erweitert werden, in ländlichen Gebieten werden mind. 300 neue 4G-Standorte errichtet. Insgesamt wird mit 19.000 Sendestandorten für das ESN geplant. Die neu errichteten Standorte können über ein Infrastruktur-Sharing auch von EE-Wettbewerbern mitgenutzt werden, sodass sich die Flächenversorgung durch die Errichtung des ESN insgesamt verbessert. Die bestehenden Standorte müssen jedoch auch aufgerüstet werden, um missionskritischen Dienste unterstützen zu können. Diese sind erst seit Release 17 spezifiziert, ältere Technik von EE muss für das ESN erneuert werden.

Zu den ersten Diensten, die auf dem ESN bereits verfügbar sind, zählen u. a. „ESN Connect“ und „ESN Direct“. „ESN Connect“ ist ein Datendienst zur Fahrzeugvernetzung mit unterschiedlichen Priorisierungsstufen, während „ESN Direct“ ein einsatzkritisches Messaging-Produkt für Smartphones<sup>77</sup> ist, welches über Push-To-Talk (Mission Critical PTT) verfügt.

### Südkorea

Bereits 2016 wurde bekanntgegeben, dass auch Südkorea einen LTE-basierten PPDR-Funkdienst errichtet (Public Safety LTE bzw. PS-LTE). Das Netz, das im 700-MHz-Band arbeitet, ist seit März 2021 in Betrieb und sendet auf rd. 4.400 Basisstationen. Das Netz wird durch die beiden größten MNOs in Südkorea, SK Telecom und KT, betrieben. Die speziell an PPDR-Bedürfnisse angepasste Technik (Mission Critical PTT incl. Multicasting für Videoinhalte) kommt größtenteils von Samsung. Eine Besonderheit des Südkoreanischen Public-Safety-LTE-Netzes ist die geplante Integration weiterer LTE-Dienste wie LTE-Rail (LTE-R) und LTE-Maritime (LTE-M) in ein einzelnes 700-MHz-Frequenzband.

<sup>77</sup> Das entsprechende ESN-Smartphone wird von Samsung produziert.

#### 4.3.1.2 Langfristige Perspektive

Langfristig sieht die BDBOS den Bedarf für ein von dedizierter Infrastruktur unterstütztes, hochverfügbares, krisenfestes und ad-hoc-fähiges Breitbandnetz, das auf Basis marktverfügbarer **standardisierter Übertragungsverfahren** und Endgeräte (4G, 5G usw.) arbeitet. Das Spektrum im Frequenzbereich 470–694 MHz ist nach Ansicht der BDBOS aufgrund der günstigen Ausbreitungscharakteristiken (u. a. Deep-Indoor-Versorgung) und der erzielbaren Datenraten besonders für ein zukünftiges BOS-Breitbandnetz geeignet.

Der Aufbau des künftigen BOS-Breitband-Datennetzes muss auch die Migration des schmalbandigen TETRA-Sprachnetzes auf das künftige BOS-Breitbandnetz mitberücksichtigen, da die Nutzungsrechte des bislang für TETRA genutzten Spektrums 2032 wieder an die Bundeswehr zur militärischen Nutzung zurückfallen.

Der **ressortgemeinsame** Spektrumsbedarf der Sicherheitskräfte (BOS und Bundeswehr) wird langfristig mit 60 MHz beziffert.<sup>78</sup>

Zur Realisierung des Breitband-Datennetzes werden vier verschiedene Betreibermodelle diskutiert.

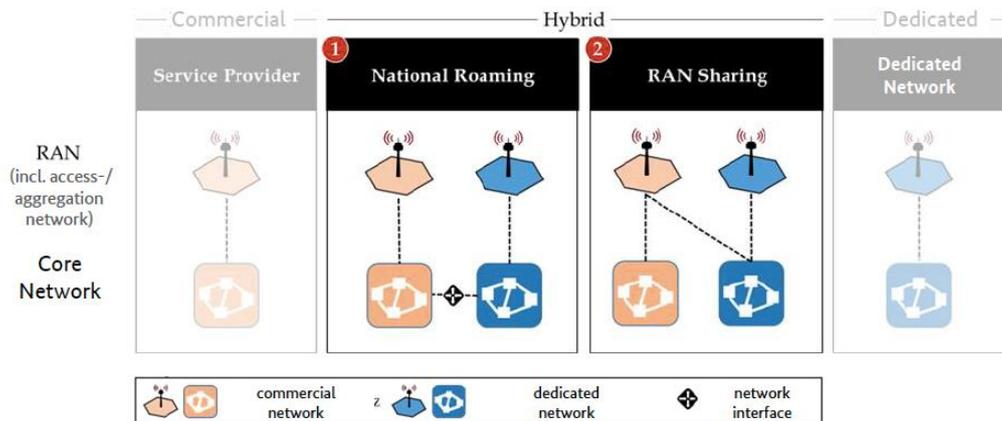
1. **Kommerzieller Betrieb:** Realisierung des PPDR-Netzes als Dienst durch einen externen Netzbetreiber. Das PPDR-Netz wird auf Basis definierter QoS-Parameter oder ggf. auch mittels Slicing flächendeckend als virtuelles Mobilfunknetz auf der Infrastruktur und dem Spektrum eines MNO realisiert.
2. **Hybrider Betrieb I (Roaming):** Zuzüglich zum eigenen Netzbetrieb ließe sich bei bestehenden öffentlichen Mobilfunknetzen ein virtuelles Netz als Dienst extern einkaufen, welches immer dann als Rückfall-Ebene genutzt wird, wenn ein dediziertes eigenes Netz nicht zur Verfügung steht (Roaming-Option).
3. **Hybrider Betrieb II (RAN-Sharing):** Netzinfrastrukturen von öffentlichen Mobilfunknetzen werden mitgenutzt (RAN-Sharing). Beim RAN-Sharing werden auch aktive Netzinfrastrukturen gemeinsam genutzt, das PPDR-Funknetz würde jedoch auf dedizierten Frequenzen operieren. Die Fähigkeit zur Eigenbeherrschung des PPDR-Funknetzes in einem Mitnutzungsszenario setzt hierbei voraus, dass bis 2030 die notwendigen technischen Bedingungen für RAN-Sharing geschaffen werden.<sup>79</sup>
4. **Eigener Betrieb:** Die Realisierung des PPDR-Breitband-Datennetzes erfolgt vollständig in Eigenregie der Sicherheitsbehörden, so wie dies aktuell beim TETRA-Sprechfunk der Fall ist. Das Netz wird auf dedizierten Frequenzen, mit eigener passiver und aktiver Netzwerktechnik und von eigenen Sendestandorten aus betrieben. Hierfür könnten bisherige TETRA-Standorte größtenteils aufgerüstet werden. Allerdings müsste das Netz für eine flächendeckende Abdeckung weiter verdichtet, und zusätzliche Standorte müssten erschlossen werden.

---

<sup>78</sup> vgl. BDBOS/NARFA DEU (2019): Strategie der BDBOS und Bundeswehr künftiger gemeinsamer Nutzung von Frequenzen zur Breitbandkommunikation. Version 1.0, 04.09.2019.

<sup>79</sup> Derzeit läuft die Entwicklung mit Ausgründung des Infrastrukturgeschäfts der Mobilfunknetzbetreiber in TowerCos bereits stark in Richtung Site-Sharing und Sharing der Backhaul-Anbindung („Multi-Operator Core Network“, MOCN). Um betreiberübergreifend RAN-Sharing (Multi-Operator Radio Access Network, MORAN) nutzen zu können, müssen jedoch Systemkomponenten zwischen Backend und RAN herstellerübergreifend kompatibel sein. Hierfür wird derzeit die Open-RAN-Initiative vorangetrieben. Ggf. findet das RAN-Sharing nach 2030 dann bereits zunehmend direkt in den Vermittlungsstellen im Rahmen einer Cloud-RAN-basierten Netzwerkvirtualisierung statt und man nutzt im Feld die Antenna Arrays der Mobilfunknetzbetreiber mit.

**Abb. 22: Favorisierte Betreibermodelle der BDBOS für ein Breitband-Datennetz, 2019**



Quelle: BDBOS (2019): A Broadband Strategy for German Critical Communications. Vortrag von Barbara Held auf der Critical Communications Europe (CCEurope) 2019, 12.03.2019.

Die **vollständige Übertragung des Netzbetriebs** auf einen kommerziellen Betreiber öffentlicher Mobilfunknetze bietet Vor- und Nachteile: Eine Ergänzung des TETRA-Sprechfunks um mobile Breitband-Dienste ist dringend notwendig. Voraussichtlich in naher Zukunft werden daher BOS-Dienstebetreiber in den Bundesländern Verträge für Breitbanddienste auf Basis von 5G extern einkaufen (müssen).

Perspektivisch ist es von hoher Relevanz, wie sich dieses Zusammenspiel zwischen den BOS-Netzbetreibern und den MNOs entwickeln wird: Hierbei sind der Service Level, den die MNOs den BOS-Netzbetreibern auf Basis von 5G (ggf. mit Networkslicing) bieten können und die Erfahrungen hieraus bis 2030 entscheidend. Es ist denkbar, dass nach Rückgabe des TETRA-Frequenzbandes an die Bundeswehr bestimmte BOS-Dienste dauerhaft über MNO-Netze realisiert werden. Die Vorteile lägen in der führenden Flächenabdeckung sowie an der schnelleren Partizipation am technischen Fortschritt, da Netzinvestitionen nicht selbst vorgenommen werden müssen. Die Nachteile liegen in den oben bereits dargestellten geringeren Eingriff in die Netzsteuerung (z. B. in Bezug auf Uplink- und Downlink-Bandbreiten). Allerdings bietet 5G mit seinen QoS-Konfigurationen und ggf. auch Slicing deutlich mehr Optionen als LTE, sodass sich erst durch den praktischen Einsatz herausstellen wird, wie stichhaltig der Einwand „Netzsteuerung“ unter den neuen technischen Möglichkeiten sein wird.

Von der BDBOS werden die **beiden hybriden Betreibermodelle** vorrangig diskutiert. Der Eigenbetrieb eines dedizierten Breitband-Datennetzes mit Flächendeckung wird ebenso wenig favorisiert, wie der vollständige externalisierte Betrieb durch einen Netzbetreiber (vgl. Abb. 22). Der Vorteil beider hybrider Betreibermodelle ist, dass in Kooperation mit einem kommerziellen Netzbetreiber ein flächendeckender Breitbandbetrieb vergleichsweise schnell und kostengünstig ermöglicht wird und dennoch, bei entsprechendem dauerhaftem oder temporärem Bedarf, ein eigenbeherrschtes Netz auf dedizierten Frequenzen betrieben werden kann. Dieses eigenbeherrschte Netz kann sich dabei, je nach den spezifischen Erfordernissen, auf Ballungsgebiete mit hohem PPDR-Bedarf oder lokale, temporäre Einsatzgebiete beschränken.

Beide hybriden Betreibermodelle haben Vor- und Nachteile: Gegen die Mitnutzung öffentlicher Mobilfunknetze (Roaming-Option) sprechen in erster Linie Sicherheitsbedenken, da die Hardware der Mobilfunkunternehmen außerhalb des direkten Zugriffs der BOS-Betreiber ist und keine besonders gehärteten und von MNOs keine zertifizierten

Netzwerkkomponenten eingesetzt werden. Zudem liegt auch das Netzwerkmanagement auf Seiten Dritter und damit außerhalb der Kontrolle der Sicherheitsbehörden. Auch die verfügbaren Endgeräte (Smartphones) sind nicht zertifiziert und bieten nicht das aus bisherigen PPDR-Anwendungen gewohnte Schutzniveau. Zudem gelten ebenfalls Sicherheitsbedenken, solange beim RAN-Sharing keine besonders gehärteten und zertifizierten Netzwerkkomponenten eingesetzt würden. Allerdings ist es denkbar, dass die im Rahmen des RAN-Sharings verwendeten Standorte zumindest schwarzfallfähig nachgerüstet werden könnten (z.B. durch Dieselaggregate).

Die **Eigenbeherrschung des PPDR-Funknetzes** wird von den Sicherheitsbehörden im Allgemeinen befürwortet, da hierauf abhängig vom Einsatzszenario Dienste priorisiert werden können, während das Netzwerkmanagement bei externem Netzbetrieb nur durch den Betreiber vorgenommen werden kann. Dies ist z. B. bei geplanten Einsatzlagen (besondere, sicherheitsrelevante Großereignisse) oder Katastropheneinsätzen entscheidend, in denen erfahrungsgemäß auch die Spektrumsressourcen der öffentlichen Mobilfunknetze stark beansprucht werden und deren Infrastruktur gegenüber Elementarschäden stärker verwundbar ist. Gegen den eigenbeherrschten Netzbetrieb im dedizierten PPDR-Spektrum des 700-MHz-Bandes (RAN-Sharing) sprechen die mangelnde kommerzielle Verfügbarkeit von geeigneten Netzwerkausrüstungskomponenten und Endgeräten und die auf absehbare Zeit nicht zu erreichende flächendeckende Netzverfügbarkeit.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass aktuell noch nicht absehbar ist, ob und welche der theoretischen Umsetzungsvarianten erfolgen werden. Es spricht einiges dafür, dass es spezifische Lösungen für verschiedene PPDR-Dienste, abhängig von ihrer räumlichen Anforderung und ihrer Kritikalität, geben könnte. Diese können über dedizierte PPDR-Netze, teilweise als Ad-Hoc-Netze, und über kommerzielle Mobilfunknetze realisiert werden. Die bisherigen Überlegungen zeigen auf, dass die PPDR-Betreiber grundsätzlich an einer solchen flexiblen Nutzung unterschiedlicher Betreibermodelle interessiert sind.

Die bisherigen Überlegungen zu hybriden Betreibermodellen lassen vermuten, dass eine flächendeckende Abdeckung wie bei TETRA nicht mehr angestrebt wird. Für die Flächenversorgung kämen dann z. B. Roaming-Vereinbarungen mit MNOs zum Tragen.

In der derzeitigen, frühen Projektphase wird jedoch an allen Betreiber-Optionen festhalten, da auch die konkreten Anwendungsszenarien der künftigen Dienste noch offen sind und der Spezifizierung bedürfen.

Grundsätzlich sprechen Realisierungshorizont und Kosteneffizienz für die Übertragung des Netzbetriebs an einen kommerziellen Betreiber bzw. Roaming-Option, während Flexibilitäts-, Resilienz- und Sicherheitsaspekte eher für das RAN-Sharing bzw. den eigenbeherrschten Netzbetrieb sprechen. In kurzfristiger Perspektive werden Kooperationen mit kommerziellen MNOs kommen, allerdings ist die langfristige Perspektive noch nicht absehbar. Eine vollständige Auslagerung des Netzbetriebes ist zwar grundsätzlich denkbar, allerdings werden die konkreten Entwicklungen in anderen Ländern erst noch aufzeigen, wie sinnvoll diese Option zu beurteilen ist.

Wichtig zu betonen ist, dass für BOS-Dienste das Low-Band-Spektrum von besonderem Vorteil ist, da es aufgrund seiner physikalischen Ausbreitungseigenschaften eine Deep-Indoor-Versorgung gewährleistet. Für die Erfüllung von Sicherheitsaufgaben ist es notwendig, dass auch innerhalb von großer Gebäudestrukturen (Krankenhäuser, Parkhäuser, Tiefgaragen etc.) ein verlässlicher Funkbetrieb für Sprache und Daten gewährleistet

ist. Spektrum im Mid-Band ist hierfür aufgrund der Gebäudeabsorption weniger geeignet. Aus ähnlichen Gründen zur Stützung der Deep-Indoor-Versorgung setzen auch die öffentlichen Mobilfunknetz-Betreiber die Sub-GHz-Bänder in den Städten ein.

Für die BOS-Dienste wäre jedoch konkreter zu spezifizieren, welche Anwendungen auch deep-indoor mit Breitband-Anbindungen zu versorgen wären. Hier stellt sich z. B. die Frage, ob eine Live-Video-Übertragung von Bodycams im Gegensatz zu einer Videoaufzeichnung zum zukünftigen Standard-Anforderungsprofil gehört. Wenn sich dieses bestätigt, wäre zu prüfen, ob es sich hierbei zukünftig um einsatzkritische oder einsatzunterstützende Anwendungen handelt. Im zweiten Fall könnten auch hierfür die Netze der öffentlichen Mobilfunkbetreiber zum Einsatz kommen. Geht man davon aus, dass die Behörden zukünftig auch den bereits zugeteilten PPDR-Block bei 698 MHz – 703 MHz technisch nutzbar machen können, wäre zudem dieses Spektrum in die Bedarfsrechnung mit einzubeziehen.

### 4.3.2 Gesonderter militärischer Bedarf der Bundeswehr

Nach Einschätzung der Bundeswehr sind gesonderte, rein militärische Breitband-Bedarfe zur resilienten, infrastrukturunabhängigen Vernetzung von landbasierten und bodennahen mobilen Systemen, welche gute Ausbreitungsbedingungen benötigen, ab dem Jahr 2030 vorrangig mit Spektrum oberhalb von 470 MHz zu decken. Frequenzen im Mid-Band würden diese Ausbreitungseigenschaften nicht in diesem Umfang mitbringen.

Zudem zählen zum gesonderten militärischen Bedarf der Bundeswehr auch Bedarfe für alliierte Truppenteile sowie für Aufmarsch- und Transitverpflichtungen gegenüber NATO-Bündnispartnern („Host Nation Support“), die unter den bestehenden Frequenzplanungen nur mit erheblichem Koordinierungsaufwand erfüllt werden können.

Begründet wird der Bedarf mit der Modernisierung und Digitalisierung der Streitkräfte unter der langfristigen strategischen Zielsetzung der Landes- und Bündnisverteidigung. Die zukünftigen Anwendungen ab 2030 befinden sich in unterschiedlichem Entwicklungsstand, sodass die konkrete technische Realisierung mitunter noch offen ist. Allerdings zeichnen sich steigende Spektrumsbedarfe beim Truppen- und Soldatenfunk bereits aus der zunehmenden Digitalisierung der Landstreitkräfte ab.

Vor allem die deutlich steigende Zahl an Teilnehmern und vernetzter Sensorik am Boden und in der Luft bedingt den künftig wachsenden Bandbreiten- und Spektrumsbedarf für militärische Anwendungen. Eine genauere Spezifizierung dieses Bedarfs steht jedoch noch aus.

Im Folgenden werden die geplanten Anwendungen der Bundeswehr überblicksartig dargestellt.<sup>80</sup>

Zukünftig wird die taktische Vernetzung im Rahmen von digitalisierten landbasierten Operationen (D-LBO) einen signifikanten Stellenwert für die Landstreitkräfte einnehmen. Für digitale Lagebilder, Bild- und Videoübertragungen, die Sensorkommunikation und

---

<sup>80</sup> Beschreibungen der detaillierten operativen Anforderungen konnten den Autoren der Studie von der Bundeswehr nicht zur Verfügung gestellt werden, da die Studie keiner Geheimhaltungsstufe unterliegt. Eine tiefere Befassung mit den formulierten Bedarfen kann innerhalb der Studie daher nicht stattfinden.

Drohnensteuerung, den Einsatz von echtzeitfähigen Battle-Management-Systemen sowie den Einsatz von „Sensor-to-Shooter“- und „Sensor-To-Effector“-Plattformen ist die Vernetzung mit breitbandigen zellularen Netzen essenziell.

UHF-Spektrum wird dabei als notwendig erachtet, um eine hinreichend leistungsfähige Konnektivität für landbasierte Operationen, wie z. B. die Luftverteidigung vom Boden, mit hohen Anforderungen an Datenübertragungsvolumina, Echtzeitfähigkeit und Störresistenz bereitzustellen, und hierfür eine hinreichende Durchdringung von typischen mitteleuropäischen Räumen mit hoher natürlicher Dämpfung der Wellenausbreitung (Mittelgebirgslagen, Wälder) zu ermöglichen.

Im Vergleich zu zivilen Anwendungen besteht bei militärischen Systemen aufgrund der besonderen Anforderungen an Redundanz, Störfestigkeit unter ungünstigen Bedingungen (z. B. geringe Antennenhöhen mit niedrigem Wirkungsgrad) ein deutlich erhöhter Spektrumsbedarf.

Der gesonderte militärische Bedarf für die primären Anwendungsfälle in Friedenszeiten (Ausbildung, Manöver und Katastrophenschutz) besteht meist nur temporär und für einen begrenzten geographischen Bereich. Grundsätzlich ermöglicht die zeitliche und örtliche Beschränkung des gesonderten militärischen Bedarfes daher die koordinierte Nutzung des notwendigen Frequenzspektrums mit anderen Funkanwendungen wie z. B. Audio-PMSE, die in ihrer Nutzung ebenfalls zeitlich und örtlich begrenzt sind.

**Die Bundeswehr geht davon aus, dass ein gesonderter, rein militärischer UHF-Spektrumsbedarf von 100 MHz besteht.<sup>81</sup>**

Es besteht ein dauerhafter, örtlich begrenzter Mindestbedarf von 60 MHz für Übungszwecke in festen Einrichtungen und entlang wichtiger Marschrouten, sowie ein hoher szenarioabhängiger, örtlich begrenzter Aufwuchsbedarf bis 100 MHz, der in der Nutzung graduell staffelbar ist. Die Mitnutzung durch andere Funkdienste ist gut koordinierbar, da der volle Aufwuchsbedarf in der Regel für Großübungen und Manöver besteht. Diese Einsatzfälle haben einen langen Vorlauf und sind entsprechend planbar.

Unabhängig von zugewiesenen Frequenzressourcen kann die Bundeswehr im Rahmen der Notfallbewältigung oder bei Naturkatastrophen und besonders schweren Unglücksfällen sowie im Spannungs- und Verteidigungsfall gem. §65 TKG (zukünftig §104 TKG) nach Bedarf auf andere Frequenzressourcen zugreifen.

### 4.3.3 Europäische/Internationale Koordinierung von PPDR-Frequenzen

#### 4.3.3.1 Public Protection and Disaster Relief (PPDR)

Zwingende Voraussetzung für eine PPDR-Nutzung innerhalb des Frequenzbandes 470–694 MHz ist eine europaweit harmonisierte Frequenznutzung.

Derzeit unterscheiden sich die Frequenzbelegungen für PPDR-Dienste in Europa teilweise deutlich, was u. a. die Hebung von Synergiepotenzialen bei der Beschaffung von

---

<sup>81</sup> Andere Bundeswehr-Anwendungen, vor allem solche, die eine feste Netzinfrastruktur voraussetzen, sollen weiterhin durch Mitnutzung beim zivilen BOS-Funk realisiert werden (vgl. Kapitel 4.3.1).

Hardware erschwert. Eine PPDR-Nutzung für digitalen Sprechfunk findet im europäischen Ausland auch im 430-MHz-Band und 450-MHz-Band u. a. statt – Frequenzbereiche, die in Deutschland für anderen Anwendungen zugeteilt sind.

Seit der Bereitstellung von 700-MHz-Frequenzen für PPDR im Jahr 2015 hat sich herausgestellt, dass allein die nationale Zuteilung von Frequenzspektrum nicht hinreichend ist, um die kommerzielle Verfügbarkeit von Endgeräten zu gewährleisten.

Um die hohen Entwicklungskosten für die benötigten Chipsätze zu amortisieren, sind die Ausrüster/Hersteller auf die Produktion großer Stückzahlen angewiesen. Im Vergleich zum Volumengeschäft mit Chipsätzen in Smartphones ist PPDR ein recht kleiner Nischenmarkt mit geringen Absatzzahlen und überdies langen Endgeräte-Produktlebensdauern.

Es erscheint daher fraglich, ob die Nachfrage aus einem Markt wie Deutschland mit ca. 900.000 BOS-Teilnehmern (vgl. S. 54) allein groß genug ist, um Ausrüster/Hersteller zu einem kommerziellen Markteintritt in den Endgerätemarkt zu bewegen.

Für die praktische Nutzung des Spektrums ist daher neben der europaweiten Standardisierung der Bänder auch eine europäisch koordinierte Nachfrage entscheidend, um einen unter Wettbewerbsbedingungen kommerziell tragfähigen Endgerätemarkt mit verschiedenen Endgeräteherstellern zu schaffen.

Allgemeine Interessensbekundungen für eine PPDR-Nutzung im Frequenzbereich 470–694 MHz gibt es dem Vernehmen nach aus weiteren europäischen Ländern wie bspw. Frankreich, Belgien oder Finnland.

Eine mit anderen bevölkerungsreichen europäischen Staaten harmonisierte Spektrumnutzung und koordinierte Gerätenachfrage würde die Chancen auf kommerziell verfügbare Endgeräte signifikant erhöhen.

#### **4.3.3.2 Besonderer militärischer Bedarf**

Auch für eine rein militärische Nutzung von Teilen des Frequenzbandes 470–694 MHz wäre eine europaweit harmonisierte Frequenznutzung entscheidend.

Aufgrund der räumlichen Lage Deutschlands und der daraus resultierenden Bedeutung für NATO-Transit- und Aufmarschrouten kommt einer europäisch koordinierten Nutzung von UHF-Frequenzen eine kritische Bedeutung zu, da auch andere Bündnis-Streitkräfte in der Lage sein müssten, in Deutschland auf diesem Frequenzband zu operieren. Zudem bestehen zahlreichen Rüstungskoperationen mit Frankreich und anderen Partnernationen, die zum Großteil vergleichbare zukünftige Spektrumsbedarfe anmelden und bei harmonisierter Frequenznutzung signifikante Synergiepotenziale erzielen können. So hat beispielsweise Frankreich bereits generelles Interesse erklärt, den Frequenzbereich 470–694 MHz, insbesondere den Frequenzbereich 470-512 MHz, für Ad-hoc-Netze für Sicherheitskräfte zu nutzen.<sup>82</sup>

Im NATO Joint Civil/Military Frequency Agreement (NJFA) wurde der Frequenzbereich 410 MHz –790 MHz bereits für eine zukünftige militärische Nutzung voridentifiziert. Die Positionsfindung bezgl. einer Harmonisierung ist derzeit innerhalb der NATO in der Er-

---

<sup>82</sup> vgl. ITU (2020): FRANCE: WRC-23 AGENDA ITEM 1.5: SPECTRUM USE, FUTURE SPECTRUM NEEDS AND TECHNICAL CHARACTERISTICS FOR PRIVATE GLOBAL PROTECTION NON-IMT MOBILE APPLICATIONS, undatierter Entwurf

arbeitung und ist noch nicht abgeschlossen. Militärische Gremien aus mehreren Nationen haben jedoch bereits ihr Interesse an einer Frequenznutzung durch PPDR im Bereich 470-694 MHz erklärt.

## 5 Dienstanalyse Programme Making and Special Events (PMSE)

### 5.1 Einführung

Funkanwendungen zur Übertragung von Ton und Bild zur Programmerstellung und bei Veranstaltungen sind im internationalen Sprachgebrauch unter dem Begriff „Programme Making and Special Events“ (PMSE) bekannt. Bei PMSE handelt es sich um sehr verschiedene Funkanwendungen, die sich in ihren technischen Spezifikationen und benutzten Frequenzbändern stark voneinander unterscheiden können. PMSE-Anwendungen stellen einen Teilbereich des nichtöffentlichen mobilen Landfunks dar.

Die BNetzA unterscheidet grundsätzlich die folgenden PMSE-Funkanwendungen:

- Allgemeiner Fernsehfunk des nichtöffentlichen mobilen Landfunks (Drahtlose Kameras, Videofunkstrecken)
- Funkmikrofone (Drahtlose Mikrofone)
- Betriebsfunk für Führungszwecke (Führungsfunk)
- Reportagefunk<sup>83</sup>

**Videofunkstrecken** zur Kurzstreckenübertragung von Bildsignalen drahtloser Kameras – hierzu zählen sowohl Überwachungskameras als auch Fernsehkameras (z. B. für die Bildübertragung von der Kamera zum Ü-Wagen) – werden auf Einzelfrequenzen oberhalb von 2 GHz realisiert. Für den klassischen **Betriebsfunk** sind Frequenzen oberhalb von 2 GHz und unterhalb des TV-UHF-Spektrums zugewiesen.

Beim **Reportagefunk**, d. h. der Signalübertragung zwischen einem Ü-Wagen und einem TV-Sendezentrum, unterscheidet man zwischen Bild- und Ton-Übertragung. Während für die Bildübertragung seit langem Satellitenfrequenzen im Rahmen des sog. „Satellite-News-Gathering“ (SNG) und mittlerweile auch zunehmend Glasfaserstrecken genutzt werden, findet eine reine Tonübertragung für Radiosendungen teilweise noch über terrestrische Reportagesender (Drehantennen auf einem Ü-Wagen) statt.

Diese Reportagesender nutzen für die Übertragung von Audiosignalen (z. B. für eine Hörfunk-Live-Schleife zum Funkhaus) regional ungenutzte Frequenzen des TV-UHF-Spektrums (Sekundärnutzung). Sie haben typischerweise eine Sendeleistung von 25 Watt und werden in einem Radius von 5 bis 30 km Entfernung vom Funkhaus eingesetzt.<sup>84</sup> Zusätzlich wird das UHF-Band auch für die Tonübertragungen vom Veranstal-

---

<sup>83</sup> vgl.: [https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen\\_Institutionen/Frequenzen/Firmennetze/PMSE/PMSE-node.html](https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/Firmennetze/PMSE/PMSE-node.html)

<sup>84</sup> vgl. <https://www.film-tv-video.de/business/2005/01/18/broadcast-solutions-liefert-horfunk-reportage-wagen-an-den-rbb/>

tungsort in den Ü-Wagen genutzt. Allerdings werden diese „Reportagestrecken“ zunehmend von Ü-Wagen realisiert, die entweder über einen Satelliten-Sender (Satellite-News-Gathering/SNG) verfügen und damit Bild und Ton gleichzeitig übertragen können oder den Live-Stream per Mobilfunk (LTE) übertragen. (Der Sprechfunk zwischen den Mitarbeitern vor Ort wurde vorher bereits seit langem über GSM-Telefonie in die Sendezentrale verlängert.) Darüber hinaus verfügen viele Veranstaltungsorte mittlerweile über VDSL- oder Glasfaseranschlüsse (LWL), auf denen man qualitätsgesicherte Verbindungen zur Audioübertragung buchen kann.<sup>85</sup> In den letzten Jahren kommen für einzelne Ton- und Bildübertragung verstärkt auch ansteckbare Mobilfunk-Module (LTE-Sticks) zum Einsatz, mit denen die Signale direkt vom Mikro oder der Kamera über das Internet in die Sendezentralen übertragen werden.<sup>86</sup> Damit dürfte langfristig das UHF-Band für Reportagestrecken nur noch eine untergeordnete Rolle spielen.

Für den Einsatz von **Funkmikrofonen (drahtlose Mikrofone)** und In-Ear-Monitoren hingegen ist die Sekundärnutzung regional nicht belegter DVB-T2-Frequenzen auch perspektivisch von zentraler Bedeutung. Im Speziellen handelt es sich um Funkmikrofone der professionellen Veranstaltungstechnik, die auf temporären Groß- und Sportveranstaltungen sowie bei Messen zum Einsatz kommen. In Konzert- und Theaterhäusern sowie in Film- und TV-Produktionsstudios sind solche Funkmikrofone häufig auch dauerhaft („fest“) installiert. Sie kommen indoor und outdoor zum Einsatz. **Diese PMSE-Technik steht daher im Fokus der Analyse und wird vereinfacht als „PMSE“ bezeichnet.**

Seit dem 2. Quartal 2020 gilt für die Sekundärnutzung des Spektrums zwischen 470-608 MHz und 614-694 MHz durch Funkmikrofone eine Allgemeinzuteilung. Damit ist eine Nutzung ohne vorherige Anmeldung bei der Bundesnetzagentur möglich. Die neue Allgemeinzuteilung ist befristet und endet zum 31. Dezember 2030.<sup>87</sup>

Aufgrund des bestehenden terrestrischen Programmbouquets und der Sendernetzplanung stehen an Orten in DVB-T2-Kerngebieten, in denen 6 Multiplexe betrieben werden, maximal 168 MHz (75 Prozent des Spektrums) für eine sekundäre Nutzung im TV-UHF-Band zur Verfügung. Das effektiv verfügbare Spektrum für PMSE ist jedoch kleiner, weil professionelle Nutzer Schutzabstände von den mit DVB-T2-Bouquets belegten 8-MHz-Kanäle einhalten.<sup>88</sup> In ländlichen Regionen, in denen nur die öffentlich-rechtlichen Programmbouquets über DVB-T2 verbreitet werden, ist das für PMSE nutzbare Spektrum entsprechend größer. Allerdings besteht in diesen Regionen i. d. R. ein deutlich geringerer Bedarf.

[https://books.google.de/books?id=Vp3CDAAAQBAJ&pg=PA477&lpg=PA477&dq=h%C3%B6rfunk+reportagewagen+sng&source=bl&ots=TKJ8ijs02E&sig=ACfU3U3ZnHFc0vpMbRqNKDTUB-MLkaxKkJA&hl=de&sa=X&ved=2ahUKewjx0a\\_554\\_zAhWPgPOHHYjCC2UQ6AF6BAGiEAM#v=one-page&q=h%C3%B6rfunk%20reportagewagen%20sng&f=false](https://books.google.de/books?id=Vp3CDAAAQBAJ&pg=PA477&lpg=PA477&dq=h%C3%B6rfunk+reportagewagen+sng&source=bl&ots=TKJ8ijs02E&sig=ACfU3U3ZnHFc0vpMbRqNKDTUB-MLkaxKkJA&hl=de&sa=X&ved=2ahUKewjx0a_554_zAhWPgPOHHYjCC2UQ6AF6BAGiEAM#v=one-page&q=h%C3%B6rfunk%20reportagewagen%20sng&f=false)

<sup>85</sup> vgl.: [https://ausschreibungen-deutschland.de/417405\\_SNG\\_Reportagewagen\\_Hoerfunktue35](https://ausschreibungen-deutschland.de/417405_SNG_Reportagewagen_Hoerfunktue35) Referenznummer\_der\_Bekanntmachung\_E1020180126\_2018\_Hamburg

<sup>86</sup> vgl. [https://www.deutschlandfunk.de/innovationen-im-rundfunk-tschiess-ue-wagen-hallo-cloud.2907.de.html?dram:article\\_id=446072](https://www.deutschlandfunk.de/innovationen-im-rundfunk-tschiess-ue-wagen-hallo-cloud.2907.de.html?dram:article_id=446072)

<sup>87</sup> Vgl. BNetzA Vgf. 34/2020, Ziff. 3.9.

<sup>88</sup> Aufgrund von erforderlichen Schutzabständen zu DVB-T2-Kanälen kann das direkt an einen Kanal angrenzende Spektrum nicht genutzt werden. Bei 6 Multiplexen, wie in Ballungsräumen üblich, sind dies bereits 12 einzelne Schutzabstände, die das effektiv nutzbare Spektrum für Sekundärnutzungen verringern. Aus diesem Grund werden auch einzelne freie Kanäle zwischen zwei mit DVB-T2 belegten 8-MHz-Kanälen häufig nicht für Funkmikrofone genutzt.

### **Technische Anforderungen von Funkmikrofonen und In-Ear-Monitoren**

PMSE-Funkmikrofone erfüllen bei Live-Darbietungen eine kritische Funktion. Daher gelten für PMSE-Mikrofone besonders hohe Anforderungen an die Übertragungsqualität (i. e. Frequenz- und Dynamikumfang) und die Zuverlässigkeit der Übertragung.

Es kommen analoge und digitale Übertragungsverfahren zum Einsatz, die Bandbreite eines Mikrofonlinks (i. e. Übertragung zwischen Funkmikrofon und Empfänger-Anlage) beträgt typischerweise 200 kHz.<sup>89</sup> Eine niedrige Übertragungslatenz ist wesentlich für ihre Funktion. Für die 2-Wege-Übertragung von Mikrofon zu Empfänger-Einheit und zurück zum In-Ear-Monitor (IEM) des Künstlers ist eine Latenz von weniger als 4 ms erforderlich.

Weiterhin sind ein niedriger Energieverbrauch (i. e. niedrige Sendeleistung), eine gute Wellenausbreitung auch durch Gebäudewände und eine geringe Körperabsorption<sup>90</sup> wünschenswert.

Der Sub-1-GHz-Frequenzbereich ist für PMSE-Anwendungen sehr gut geeignet, da ein vgl. geringer Energieaufwand der Funkübertragung mit günstigen Übertragungseigenschaften und geringer Körperabsorption einhergeht. Der wichtigste Frequenzbereich für PMSE-Mikrofone ist seit vielen Jahren 470-694 MHz, den sie als eine Sekundäranwendung des mobilen Landfunkdienstes nutzen. Die Primäranwendung des Frequenzbereiches ist das terrestrische Fernsehen.

Als lokal begrenzte Anwendungen mit niedriger Sendeleistung koexistiert die PMSE-Nutzung ohne größere Probleme mit der primären Anwendung DVB-T2, da dessen Frequenznutzung sehr transparent und planbar ist.

---

<sup>89</sup> vgl. ITU (2020): Document 5A/68-E; 5C/51-E. Germany (Federal Republic of): PROPOSAL REGARDING A WORKING DOCUMENT TOWARDS A PRELIMINARY DRAFT NEW REPORT ITU-R M. [AUDIO PMSE USAGE]. Stand: 13.07.2020, S. 7

<sup>90</sup> Wenn sich Künstler auf der Bühne bewegen und drehen, kann es leicht zu Abschattungen durch den Körper des Künstlers kommen, was sich negativ auf die Signalübertragung auswirken kann.

## 5.2 Gegenwärtige Frequenznutzung durch PMSE (Funkmikrofone)

Die Nutzung von Funkmikrofonen in der professionellen Veranstaltungstechnik hat in den vergangenen Jahren stetig zugenommen. Bei Live-Veranstaltungen werden die drahtlosen Installationen zunehmend komplexer. Dies gilt vor allem für Großveranstaltungen (Festivals mit mehreren Bühnen) und Shows mit zahlreichen InterpretInnen und/oder zahlreichen Auftritten (z. B. Musicals).

**Hinzu kommt, dass es inzwischen mehr und mehr üblich ist, sämtliche Musiker mit drahtlosem In-Ear-Monitoring (IEM) auszustatten, was die Anzahl der benötigten Funkverbindungen deutlich erhöht.** Im Fernsehen nutzen z. B. Casting-, Talent- und Tanzshows extensiv die Möglichkeiten drahtloser PMSE-Anwendungen.

Der Einsatz professioneller Funkmikrofone nimmt auch bei kleinen Veranstaltungen zu. Funkstrecken lösen seit Jahren kontinuierlich kabelgebundene Lösungen bei Gesprächsrunden, Vorträgen und Reporter-Außendrehen ab.

Größere Produktionen nutzen häufig 10 oder mehr TV-Kanäle (von jeweils 8 MHz) um damit eine dreistellige Anzahl von Funkmikrofonen zu betreiben.

Je nach Anwendung (Funkmikrofon, IEM etc.) können 12 bis >25 Audiokanäle in einem TV-Kanal untergebracht werden.

Im März 2020 (vor der Allgemeinzuteilung) gab es bei der BNetzA 18.773 Frequenzzuteilungen für PMSE-Anwendungen. Eine Empfänger-Anlage kann hierbei jeweils mehrere Mikrofone/IEMs drahtlos anbinden.

**Tab. 13: Frequenzzuteilungen für Funkmikrofone im UHF-Frequenzbereich 470 MHz-694 MHz, 2016-2019**

	2016	2017	2018	2019
Neuzuteilungen	1.997	1.420	1.136	1.038
Rückgaben/Verzichte	521	252	194	283
Zuwachs an Zuteilungen	1.476	1.168	942	755
<b>Zuteilungen in Summe<sup>91</sup></b>	<b>15.908</b>	<b>17.076</b>	<b>18.018</b>	<b>18.773</b>
<i>Schätzung betriebsfähiger Mikrofone</i>	<i>79.540</i>	<i>85.380</i>	<i>90.090</i>	<i>93.865</i>

Quelle: Goldmedia/Fraunhofer IIS auf Basis Angaben BNetzA

Die Anzahl Mikrofone, die pro Empfänger-Anlage betrieben werden, kann nur geschätzt werden. Zudem ist von einer erheblichen Dunkelziffer an Empfangsgeräten auszugehen, die in den vergangenen Jahren ohne Zuteilung betrieben wurden. Goldmedia geht in einer konservativen Schätzung davon aus, dass mindestens ca. 5 Mikrofone pro Empfänger-Anlage für eine überschlägige Hochrechnung angesetzt werden können. Aufgrund der erheblichen Dunkelziffer dürfte dieser Wert noch am unteren Rand der realistischen Annahmen über die Zahl der betriebenen PMSE-Funkmikrofone liegen.

Aufgrund der seit 2020 geltenden Allgemeinzuteilung ist mittelfristig mit einem deutlichen Anwachsen der vorhandenen Gerätebasis zu rechnen, da sich Aufwand und Kosten zum Betreiben einer PMSE-Funkmikrofons durch die regulatorische Vereinfachung

<sup>91</sup> Die Werte wurden ausgehend von der Anzahl der Zuteilungen im März 2020 berechnet, geringe Abweichungen zum Jahresendwert sind möglich.

deutlich reduziert haben. Dies gilt insbesondere für den Bereich der semi-professionellen Anwender (MusikerInnen im Heimstudio und in Proberäumen, YoutuberInnen etc.).

Je nach Einsatzgebiet unterscheiden sich die Spektrumsanforderungen von PMSE erheblich. Großveranstaltungen und sogenannte „Mega-Events“ (z. B. Tour de France, Eurovision Song Contest) können zeitlich und lokal begrenzt erhebliche Spektrumsanforderungen von mehr als 150 MHz haben (vgl. Tab. 14). Bei solchen Ereignissen kommen sämtliche Audio-PMSE-Anwendungen zum Einsatz (Funkmikrofone, IEM, Regiefunk etc.), die auf PMSE-Equipment aus verschiedenen Quellen realisiert werden (oft in verschiedenen Ländern von verschiedenen Nutzerkreisen gemietete Veranstaltungstechnik).

**Tab. 14: Deployment Scenarios of Audio PMSE and typical spectrum requirement**

Use	Deployment			
	Required spectrum (typical value)	Typical audio channel count (Live Event)	Type of use	Area of use
<b>Live Event – Music, Theater – Sport, Olympics</b>	Small: 20 MHz Medium: 45 MHz Large: 90 MHz Mega: > 150 MHz  > 95% in the band 470–694 MHz; Talkback might use DECT technology	Small: 16+ Microphones; In-Ear Monitors 4-8+ Medium: 24+ Microphones; In Ear Monitors 8-16+ Large: 64+ Wireless Microphones; In-Ear Monitors 16-24+ Mega: 192+ Wireless Microphones (sometimes 1.000+); In-Ear Monitors 44+	Scheduled Nomadic or Fixed; Air-borne possible	Indoor and outdoor
<b>Presentation, Conferencing</b>	Small: 8 MHz Medium: 20 MHz Large: 45 MHz Mega: 100 MHz +	-	Nomadic or Fixed	Predominantly indoor, but also outdoor
<b>News Gathering: Local News, International News</b>	1-2 teams: 5 MHz 10 teams: 20 MHz 50 teams: 50 MHz Mega event: 100 MHz +	-	Ad-Hoc Nomadic or Mobile, Air-borne possible	Predominantly outdoor, but also indoor
<b>Studio – Studio Production</b>	Small: 20 MHz Medium: 45 MHz Large: 90 MHz	-	Nomadic or Fixed	Predominantly indoor
<b>Studio – Project Studio Production</b>	<b>10 MHz</b>	-	<b>Nomadic or Fixed</b>	<b>Predominantly indoor</b>

Quelle: ITU (2020): Document 5A/68-E; 5C/51-E. Germany (Federal Republic of): PROPOSAL REGARDING A WORKING DOCUMENT TOWARDS A PRELIMINARY DRAFT NEW REPORT ITU-R M. [AUDIO PMSE USAGE]. Stand: 13.07.2020, S. 9/S. 27

Bei solchen Großveranstaltungen ist es bereits Praxis, dass Spektrum zeitweise aus Nicht-PMSE-Spektrum „geliehen“ wird, um die Spektrumsanforderungen zu befriedigen. Eine weitere Komplexität entsteht bei Großveranstaltungen, wenn zusätzlich PMSE durch Anwender außerhalb des Veranstaltungsregimes zum Einsatz kommt, etwa vor Ort mobile TV-Nachrichten-Teams.

In nomadischen Szenarien kommt es zeitlich und räumlich begrenzt zu teilweise sehr umfangreichen Spektrumsanforderungen durch PMSE-Funkmikrofone. Tab. 15 gewährt einen exemplarischen Überblick über einige Spektrumsanforderungen von Großereignissen in Deutschland zwischen 2015 und 2016. Neben Musikfestivals kommt es bei Landtagswahlen regelmäßig zu hohen Spektrumsanforderungen. Der Sonderfall von Veranstaltungen, die auf sehr geringem Raum (z. B. Sitz des Landtags plus Nebengebäude und Vorplätze) eine sehr hohe Spektrumsanforderung haben, werden dabei auch als „Hot Spot Scenarios“ bezeichnet. Der Hintergrund hierfür ist, dass auf kleinem Raum (indoor) zahlreiche Rundfunksender mit jeweils mehreren EB-Teams auf die verfügbaren Frequenzressourcen zugreifen.

**Tab. 15: Spectrum Recordings in Germany, 2015-2016**

Name	Start Date	Stop Date	Start Freq. [MHz]	Stop Freq. [MHz]	Scan units	Available for PMSE [MHz]	Minimum required spectrum [MHz]
Landtagswahl Bremen 2015	10.05.2015		470	862	2	296	<b>129,0</b>
Bürgerschaftswahlen Hamburg 2015	15.02.2015		470	862	2	288	<b>114,0</b>
DFB Pokalfinale Berlin 2015	30.05.2015		470	862	3	272	<b>110,5</b>
Wacken Open Air 2015, 1st and 2nd day	29.07. 2015	30.07. 2015	470	862	2	328	<b>172,5</b>
Wacken Open Air 2016, 1st to 3rd day	03.08. 2016	05.08. 2016	470	862	2	308	<b>201,8</b>

Quelle: APWT (2019): A methodology for the practical recording of PMSE frequency use and a quick summary of more than 10 years of spectrum observation in the event production. Präsentation vom 03.09.2019, Folie 45 (Auszug)

Die Association of Professional Wireless Production Technology (APWPT) hat die Spektrumsbelegung mit PMSE und anderen Funkanwendungen mithilfe einer eigens entwickelten Methodik<sup>92</sup> bei Großveranstaltungen über mehr als eine Dekade erhoben und für Deutschland eine Längsschnittanalyse erstellt. (vgl. nachfolgende Abbildung).

Das Ergebnis der Datenauswertung des APWPT weist deutlich auf einen zunehmenden typischen Spektrumsbedarf im Zeitverlauf durch PMSE-Anwendungen hin, wobei Großereignisse einen deutlich höheren Spektrumsbedarf haben können<sup>93</sup>, als die alltäglichen PMSE-Anforderungen von überwiegend festinstallierten Einrichtungen.

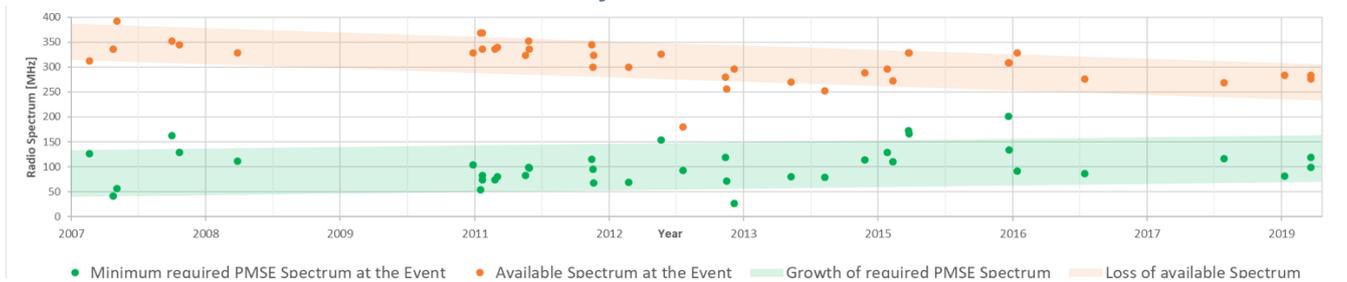
<sup>92</sup> vgl. APWT (2019): A methodology for the practical recording of PMSE frequency use and a quick summary of more than 10 years of spectrum observation in the event production. Präsentation vom 03.09.2019.

<sup>93</sup> vgl. Datenpunkt von 2016 mit 200 MHz an genutztem Spektrum durch PMSE

Über denselben Zeitraum haben sich die Reserve an freiem, durch PMSE belegbarem Spektrum reduziert. Dies liegt insbes. an der Umsetzung der Digitalen Dividende I (Frequenzvergabe 2010) und Digitale Dividende II (Frequenzvergabe 2015), mit denen ehem. TV-Spektrum dem Mobilfunk zugewiesen wurde.

Die Auswertung der Daten durch den APTWT impliziert, dass sich die Spektrumsreserve – innerhalb des Samples der zwischen 2007 und 2018 beobachteten Ereignisse – halbiert hat. Die Auswertung des APWPT gibt damit einen guten Überblick über die allgemeinen zeitlichen Entwicklungstendenzen an PMSE-Bedarfen im TV-UHF-Band. Die methodische Darstellung von PMSE-Audio-Links als aggregierte Bandbreite in MHz bietet einen theoretischen Bezugsrahmen für einen Bedarfsvergleich. Allerdings stellen diese Ergebnisse aufgrund weiterer praxisrelevanter Faktoren<sup>94</sup> nur eine erste Annäherung dar.

**Abb. 23: Minimum required and available Spectrum für Audio PMSE in 470-862 MHz in Germany**



Quelle: APWT (2019): A methodology for the practical recording of PMSE frequency use and a quick summary of more than 10 years of spectrum observation in the event production. Präsentation vom 03.09.2019, Folie 45

### Zugeweilte Frequenzbereiche

Um den Verlust an belegbarem Spektrum zwischen 694 MHz und 862 MHz durch Umsetzung der Digitalen Dividenden auszugleichen, wurden weitere Frequenzbänder für die Nutzung durch PMSE freigegeben. Diese umfassen u. a. die Frequenzbereiche 1350-1400 MHz und 1518-1525 MHz. Zudem wurde das VHF-Band III (174 MHz - 230 MHz) allgemein für die Nutzung durch PMSE-Funkanwendungen zugeteilt<sup>95</sup>.

Diese Frequenzbänder sind für hochqualitative Audio-Übertragungen jedoch nur eingeschränkt zu benutzen. Das VHF-Band ist stark von elektromagnetischen Interferenzen durch nicht ausreichend abgeschirmte Mikroprozessoren belastet, die im Umfeld der Bühne betrieben werden. Da in heutigen Bühnenaufbauten der Einsatz von prozessorgesteuerten Systemen mit Taktfrequenzen (wie z. B. LED-Wände, Großbildschirme, Energiesparlampen) allgegenwärtig ist, die EMF-Störungen (Elektromagnetische Felder) erzeugen, eignet sich das VHF-Band nicht für den Regelbetrieb professioneller Audio-Anwendungen. Hier kommen daher vornehmlich Consumer-Systeme und semi-professionelle Systeme zum Einsatz.

Die Mittenlücken des 700er und 800er Mobilfunkbandes werden aufgrund ihrer Nähe zum Mobilfunk (insbes. dem Mobilfunk-Upload) ebenfalls ungern für professionelle Setups verwendet. Die schiere Anzahl funkender Endgeräte an einem Veranstaltungsort

<sup>94</sup> u. a. Gerätetechnik in Verwendung, örtliche und zeitliche Wiederverwendung von Frequenzen, Frequenzplanungsannahmen (z. B. zur Intermodulation), Art der Veranstaltung etc.

<sup>95</sup> vgl. BNetzA-Verfügung VfG 59 / 2015

erhöhen die Wahrscheinlichkeit eines nicht-konform arbeitenden Gerätes (Außerbandaussendungen) oder Störungen durch sehr geringe Entfernungen zwischen einem sendenden LTE-Endgerät und einem PMSE-Empfänger. Aktuelle professionelle PMSE-Systeme nutzen diese Frequenzbereiche daher i. d. R. nicht.

In der Kosten-Nutzen-Abwägung besser geeignet sind die Frequenzen im UHF-Mid-Band zwischen 1350 MHz und 1525 MHz. Allerdings bestehen hier zum Teil deutliche Einschränkungen in der Nutzung. So können die 100 MHz im unteren Teil dieses Mid-Band-Abschnittes (1350 - 1400 MHz und 1452 - 1492 MHz), welche für PMSE besser geeignet sind, nur für Indoor-Veranstaltungen und auch nur auf Anfrage mit Einzelzuteilung durch die BNetzA genutzt werden. Entsprechend wenig Equipment ist für diese Frequenzbereiche verfügbar.

Eine Übersicht über die aktuell für den mobilen Landfunk und die Nutzung durch Funkmikrofone zugeteilten Frequenzbereiche gibt die nachfolgende Tabelle.

**Tab. 16: Zugewiesene Frequenzbereiche zum Betrieb von Funkmikrofonen**

Fre- quenz- teilplan	Frequenz- teilbereich	Frequenznutzung	Kanal- band- breite	Einschränkungen <sup>96</sup>	Nutzer- kreis
185	32,475 - 34,325 MHz	Funkmikrofone (10 mW ERP <sub>max</sub> )	50 kHz		ziv, mil
186	34,475 - 35,825 MHz	Funkmikrofone (50 mW ERP <sub>max</sub> )	150 kHz	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Große Antennen erforderlich, wenig geeignet für körpergetragene Geräte</li> <li>▪ Nicht geeignet für Mehrkanalsysteme aufgrund begrenzter Bandbreite</li> </ul>	ziv
187	36,61 - 37,75 MHz	Funkmikrofone (10 mW ERP <sub>max</sub> )	50 kHz		ziv, mil
188	37,75 - 38,125 MHz	Funkmikrofone (10 mW ERP <sub>max</sub> )	50 kHz		ziv, mil
224	174 - 223 MHz	Funkmikrofone (50 mW ERP <sub>max</sub> )			<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ VHF-Spektrum</li> <li>▪ Niedrige Frequenzen erfordern große Antennen</li> </ul>
225	223 - 230 MHz	Funkmikrofone (50 mW ERP <sub>max</sub> )		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Taktfrequenzen in elektronischen Geräten erzeugen EMF-Störungen</li> </ul>	ziv, mil
249	<b>470 - 608 MHz 614 - 694 MHz</b>	<b>Funkmikrofone</b> (50 mW ERP <sub>max</sub> )		<b>TV-UHF-Band Sekundärnutzung nicht genutzter DVT2-Kanäle à 8 MHz</b>	ziv
249A	733 - 758 MHz	Funkmikrofone (50 mW ERP <sub>max</sub> )		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Duplex-Lücke mit Risiko nicht-konformer Mobilfunkgeräte</li> <li>▪ Einzelzuteilung erforderlich</li> </ul> Nutzung nur auf Anfrage	ziv

<sup>96</sup> In Anlehnung an: ITU (2020): Document 5A/68-E; 5C/51-E. Germany (Federal Republic of): PROPOSAL REGARDING A WORKING DOCUMENT TOWARDS A PRELIMINARY DRAFT NEW REPORT ITU-R M. [AUDIO PMSE USAGE]. Stand: 13.07.2020, Tabelle 2, S. 9

				<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Weitere Einzelkanäle zwischen 758-788 and 791-821 ebenfalls nutzbar</li> </ul>	
250	823 - 832 MHz	Drahtlose PMSE (100 mW EIRP <sub>max</sub> )		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Duplex-Lücke mit Risiko nicht-konformer Mobilfunkgeräte</li> </ul>	ziv
251	863 - 865 MHz	Funkmikrofone im Nahbereich (10 mW ERP <sub>max</sub> )	200 kHz	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Geringe Sendeleistung, geringer Radius</li> </ul>	ziv, mil
260	1350 - 1400 MHz	Funkmikrofone (50 mW e.i.r.p) (indoor)		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Einzelzuteilung erforderlich</li> <li>▪ Nutzung nur auf Anfrage</li> <li>▪ Nur Indoor-Nutzung</li> </ul>	mil
264	1452 - 1492 MHz	Funkmikrofone (50 mW e.i.r.p)		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Einzelzuteilung erforderlich</li> <li>▪ Nutzung nur auf Anfrage</li> <li>▪ Nur Indoor-Nutzung</li> </ul>	ziv
265	1492 - 1518 MHz	Funkmikrofone (50 mW e.i.r.p) (indoor)		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Einzelzuteilung erforderlich</li> <li>▪ Nutzung nur auf Anfrage</li> <li>▪ Nur Indoor-Nutzung</li> </ul>	mil
266	1518 - 1525 MHz	Funkmikrofone im Nahbereich (50 mW e.i.r.p)		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Einzelzuteilung erforderlich</li> <li>▪ Nutzung nur auf Anfrage</li> <li>▪ Nur Indoor-Nutzung</li> </ul>	ziv, mil
290	1785 - 1805 MHz	Drahtlose PMSE-Ausrüstungen, Funkmikrofone (82 mW EIRP <sub>max</sub> )		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ (Gerade noch) akzeptable Ausbreitung</li> <li>▪ Signifikant erhöhte Körperabsorption</li> </ul>	ziv, mil
290	1880 – 1900 MHz	Schnurlose Telekommunikation (DECT) (250 mW ERP <sub>max</sub> )		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Nur DECT-Nutzung</li> <li>▪ DECT-Weiterentwicklung ermöglicht jedoch auch Funkmikro-Einsatz</li> </ul>	ziv, mil

Quelle: Goldmedia/Fraunhofer IIS auf Basis BNetzA (2021): Frequenzplan, Stand: Januar 2021; VVnömL B9.2, Stand: Juli 2020, Allgemeinzuteilungen

Die Nutzung von Spektrum oberhalb von 2 GHz ist aufgrund der damit verbundenen hohen physikalischen Abschirmungseffekte durch Körper und Gegenstände/Gebäude-teile und die damit verbundenen Reichweiteneinschränkungen technisch bislang nicht möglich. Zudem würde die Nutzung der allgemein zugeteilten Frequenzbereiche bei 2,4 GHz und 5 GHz durch WLAN-Funk gestört.

### 5.3 Zukünftiger Spektrumsbedarf und künftige Betriebsszenarien

Der Bedarf an Spektrum für drahtlose Produktionsmittel hat sich durch die zunehmende Anzahl von Produktionen, die höheren Qualitätsanforderungen an die Audio- und Videoqualität in den letzten Jahren erhöht und wird mittel- bis langfristig weiter zunehmen.

Großveranstaltungen mit zunehmender Nutzung von drahtloser Veranstaltungstechnik stellen an das Frequenzmanagement für sämtliche Funkanwendungen (PMSE, Rundfunk, PPDR, Betriebsfunk, Mobilfunk) hohe Anforderungen (zum Teil deutlich über 100

MHz Spektrum für PMSE). Auch der alltägliche Grundbedarf von professionellen PMSE-Anwendungen wächst, allerdings stellen für künftige Nutzungsszenarien vor allem die Steigerungsbedarfe bei Großveranstaltungen eine Herausforderung dar.

Aufgrund der hierdurch bedingten zunehmenden Spreizung von Grundbedarfen und Steigerungsbedarfen ist es grundsätzlich überlegenswert, für die unterschiedlichen Bedarfsarten auch unterschiedliches Spektrum zur Verfügung zu stellen.

Die Spektrumsanforderungen für PMSE unterscheiden sich deutlich, je nach örtlichem und zeitlichem Bedarf. Die EU-Kommission ging 2014 davon aus, dass die Bedarfe (zu diesem Zeitpunkt) örtlich bis zu 144 MHz betragen, bei einem täglichen Frequenzbedarf („Sockelbedarf“) von 96 MHz.<sup>97</sup> Es ist davon auszugehen, dass vor allem die Maximalbedarfe seitdem deutlich gestiegen sind.

Während die Sekundärnutzung des terrestrischen Fernseh-Spektrums für PMSE-Grundbedarfe ideal geeignet ist, sind Steigerungsbedarfe in Ballungsräumen durch Sekundärnutzung des Fernseh-Spektrums nur bedingt bedienbar. Künftige WMAS-Systeme (siehe nächster Abschnitt) benötigen zum Betrieb ein zusammenhängendes Spektrum von mehr als 10 MHz, um ihre Effizienzen bei der Spektrumsbelegung zu realisieren. Solche großen Spektrumsblöcke könnten kaum im TV-Spektrum und nicht dauerhaft bereitgestellt werden. Einige technologische Perspektiven zur Zukunft von PMSE werden im Folgenden kurz vorgestellt.

### **PMSE-Multikanalsysteme (WMAS)**

Um das verfügbare Spektrum effizient nutzen zu können, verfügen PMSE-Systeme über verschiedene Betriebsmodi. Damit ist es möglich, die Zahl der Audio-Kanäle sowie deren Übertragungsqualität und -reichweite flexibel anzupassen.

Der ETSI-Standard EN 300 422-1/2/3 definiert drei grundsätzliche Funkschnittstellen:

- Schmalband (analog) mit Punkt-zu-Punkt-Verbindung (link-based)
- Schmalband (digital) mit Punkt-zu-Punkt-Verbindung (link-based)
- Breitband-Multikanalsysteme (Wireless Multi Audio-channel System; WMAS) mit zentraler Empfänger-Einheit für mehrere Funkmikrofone<sup>98</sup>

**Tab. 17 Technische Parameter von PMSE-Multikanalsystemen (WMAS)**

Parameter	Description
Application	PMSE – system-based approach
Channel bandwidth/ Channel Spacing	Typical {6, 7, 8} MHz (international DTT channel grid) or 10 MHz/ Free tuning but accommodating predominant channel raster of incumbent.
Modulation/ Occupied Bandwidth	Digital Modulation
Direction	Multiple audio planes, bi-directional Multiple control data planes, bi-directional
Transmit Power/ Power Spectral Density (PSD)	Typical: max. 50 mW e.i.r.p. below 1 GHz max. 50 mW e.i.r.p. above 1 GHz

<sup>97</sup> vgl. Durchführungsbeschluss der Kommission vom 1. September 2014 über harmonisierte technische Bedingungen für die Nutzung von Funkfrequenzen durch drahtlose PMSE-Audioausrüstungen in der Union, bekanntgegeben unter Aktenzeichen C(2014) 6011. Amtsblatt der Europäischen Union, L 263/29, vom 03.09.2014.

<sup>98</sup> vgl. ITU (2020): Germany (Federal Republic of): Proposal regarding a working document towards a Preliminary draft new Report ITU-R m. [Audio PMSE USAGE]. Document 5A/68-E; Document 5C/51-E

Parameter	Description
Transmit Spectrum Mask	EN 300 422
Channel Access and occupation	Typical TDD TDMA Constant duty cycle, up to 100% occupancy in time.
Frequency planning assumptions	ETSI TR 103 450
Relevant Standard	EN 300 422

Quelle: ITU (2020): Germany (Federal Republic of): Proposal regarding a working document towards a Preliminary draft new Report ITU-R m. [Audio PMSE USAGE]. Document 5A/68-E; Document 5C/51-E

Die sich in der Entwicklung befindlichen digitalen Multikanalsysteme werden bidirektional arbeiten und weitere PMSE-Anwendungen (z. B. IEMs, Talkback) in ein Übertragungssystem integrieren können. Die Anforderungen der verschiedenen Anwendungen können hierbei flexibel konfiguriert werden (Senderichtung, Qualität, Latenz, Robustheit etc.). WMAS arbeiten typischerweise innerhalb des 8-MHz-Kanalrasters<sup>99</sup> und können auch zur Systemerweiterung mit Kanalbündelung mehrerer Kanäle betrieben werden. Innerhalb eines 8-MHz-Kanals (Spannbreite liegt hier vielfach zwischen 6 und 10 MHz) werden im Standardmodus 24 Verbindungen ermöglicht. Je nach Anforderungsprofil kann die Zahl der Verbindungen zudem abhängig von der Qualitätsanforderung variiert werden.

WMAS-Systeme können analog oder digital arbeiten. Während digitale Übertragungen Vorteile bei der Übertragungsqualität und Frequenzeffizienz bieten, ist die kaum vorhandene Latenz analoger Systeme den digital arbeitenden Systemen noch überlegen.

WMAS-Systeme sind derzeit kommerziell noch nicht marktreif, jedoch existieren funktionsfähige Prototypen. Mit einer Markteinführung wird zwischen 2024 und 2027 gerechnet. Um möglichst flexibel Spektrum nutzen zu können, werden diese Systeme insbes. auch für den Einsatz im Mid-Band bis 1,8 GHz konfiguriert. Um hier den Gerätemarkt und den grenzübergreifenden Einsatz zu unterstützen, wäre eine europäische Harmonisierung von PMSE-Spektrum im Mid-Band bis 1,8 GHz für professionelle Audio-Anwendungen von hoher Bedeutung.

### DECT

Im herkömmlichen DECT sind die Latenzen zu groß, um Funkmikrofone und IEMs für Bühnenanwendungen zu nutzen. DECT wird jedoch als Alternative für Talkback-Anwendungen z. B. im Bereich des Regiefunks genutzt, um das UHF-Frequenzspektrum zu entlasten. Bei Großveranstaltungen kann so der Spektrumsbedarf für den Regiefunk vom Bereich 470-694 MHz in das DECT-Band (1880-1900 MHz) verlagert werden, wodurch etwas mehr Mikrofonkanäle im Bereich 470-694 MHz betrieben werden können.

Weiterentwicklungen des DECT-Standards (z. B. DECT evolution und DECT-2020 NR) bieten zudem günstige Perspektiven für kleinere PMSE-Anwendungen (Konferenzen, Vorträge, Proberäume). Die Datenrate, Robustheit und Latenz wurden dementsprechend optimiert.

<sup>99</sup> Die schmalbandigen Punkt-zu-Punkt-Funksysteme sind in der Regel in ihren Frequenzen frei einstellbar und in ihrer Nutzung nicht auf die 8-MHz-Rasterschritte beschränkt.

### **Aktives Frequenzmanagement bei Großveranstaltungen**

Neben den technischen Entwicklungspotentialen und der frequenzregulatorischen Entwicklung könnte der Spektrumsbedarf auch durch eine geänderte Anwendungspraxis, z. B. beim Frequenzmanagement bei Großveranstaltungen, beeinflusst werden<sup>100</sup>. Ein solches Vorgehen erforderte allerdings einen erhöhten Koordinationsaufwand und aktives Frequenzmanagement seitens der Veranstalter. So kann etwa durch eine stärkere örtliche und zeitliche Wiederverwendung von Frequenzen bei Festivals mit wechselnden Bands die Frequenzeffizienz gegenüber der häufigen Praxis erhöht werden, bei der typischerweise für jede Band dedizierte Frequenzen für die gesamte Dauer der Veranstaltung festgelegt werden.

Seit über zehn Jahren befinden sich für ein effektives Frequenzmanagement durch PMSE-Geräte zudem sog. „**Cognitive Radio**“-Systeme in der Entwicklung. Da weltweit die grundsätzlich für Funkmikrofone verfügbaren Spektren lokal sehr unterschiedlich belegt sind, verfolgt Cognitive Radio den Ansatz, in vorgegebenen Frequenzbändern nicht belegte Frequenzbereiche zu suchen und diese als Frequenzressource zu nutzen. Sofern im Verlauf der Nutzung Störungen auftreten, sollen die Systeme in Echtzeit die Betriebsparameter an die Umgebungsbedingungen anpassen. Diese Anpassungsfähigkeit betrifft die Trägerfrequenz, die Sendeleistung und das Modulationsverfahren. Die Konfiguration und Rekonfiguration übernimmt ein Software Defined Radio (SDR).<sup>101</sup>

Solche als „C-PMSE“ bezeichneten autonomen Netzknoten sind aufgrund der hohen Komplexität jedoch selbst in aktuellen Systemen nur als teil-kognitive Systeme im Einsatz. Das bedeutet, sie übermitteln neben Audiodaten auch Steuerdaten. Die automatische Zuweisung von Frequenzkanälen an die Endgeräte basiert jedoch auf vorab durchgescannten Frequenzbereichen.

Der Bedarf für voll-kognitive Systeme würde sich erhöhen, sollten zukünftig Endgeräte des öffentlichen Mobilfunks allgemeinzugeweihte oder für PMSE zugeweihte Frequenzspektren mitnutzen.

### **PMSE-xG**

Der 5G-Mobilfunkstandard ist grundsätzlich zur latenzarmen Signalübermittlung fähig (Ultra Reliable Low Latency Communication, URLLC) und bietet mit Network Slicing die technischen Voraussetzungen, um die komplexen Anforderungen von PMSE (URLLC, kontinuierliches Streaming, Multicast etc.) innerhalb eines Mobilfunkstandards abzubilden. Zudem harmonisiert PMSE-xG, im Unterschied zu herkömmlichen PMSE-Anwendungen, mit Mobilfunkanwendungen in benachbarten Bandlagen.

Der Einsatz von 5G für PMSE befindet sich derzeit in der Entwicklung. Erste Aspekte zum Einsatz von 5G-URLLC in nomadische Anwendungsszenarien wurden innerhalb des PMSE-xG-Forschungsprojektes unter Beteiligung des BMVI von 2016 bis 2018 erforscht.<sup>102</sup> Die Arbeiten wurden im kürzlich beendeten<sup>103</sup> Forschungsprojekt zu „Live Interactive PMSE Services“ (LIPS) des BMWi fortgeführt.<sup>104</sup> Die Anwendungsfelder für den PMSE-TV-Einsatz werden bis 2022 im Projekt 5G PROLIVE von Innosuisse erforscht.

---

<sup>100</sup> vgl. Abschnitt 6.1 des ECC-Berichts 323

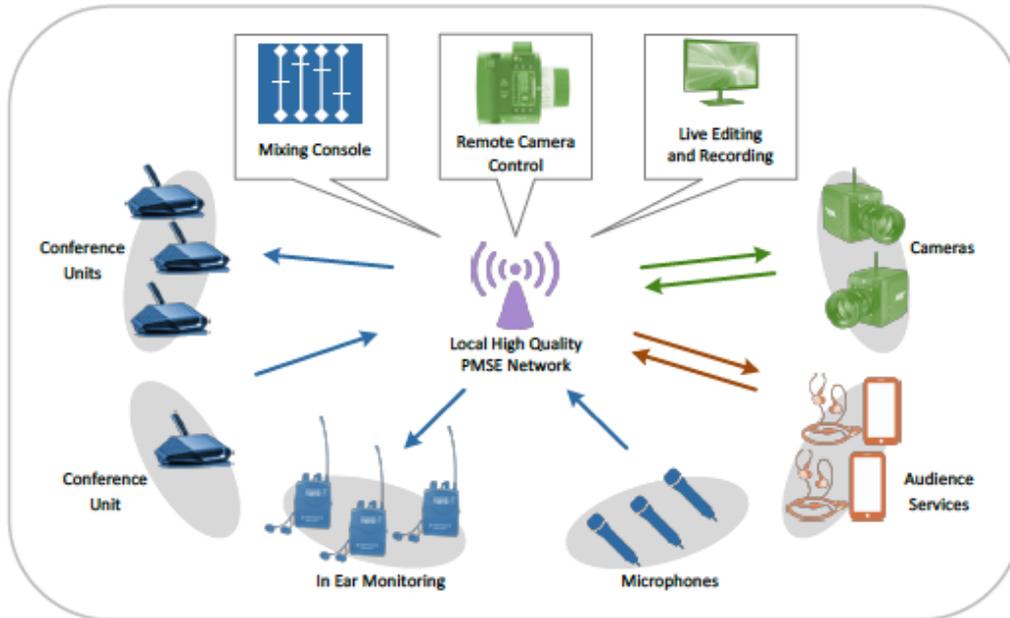
<sup>101</sup> vgl. <https://www.itwissen.info/CR-cognitive-radio-Cognitive-Radio.html>

<sup>102</sup> vgl. [pmse-xg.research-project.de](http://pmse-xg.research-project.de)

<sup>103</sup> Projektlaufzeit: 01.04.2018 - 30.09.2020

<sup>104</sup> vgl. [lips-project.de](http://lips-project.de)

**Abb. 24: Topologie von 5G-PMSE-Anwendungen**



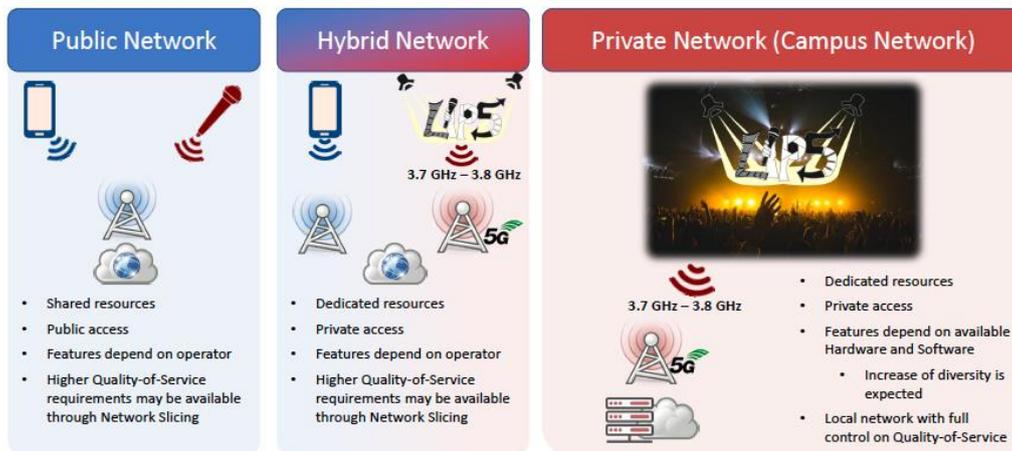
Quelle: PMSE-xG (2017): White Paper PMSE and 5G, Version 1.01 vom 27.03.2017

Ein großer Vorteil beim Einsatz von kommerzieller Mobilfunktechnologie sind die Skaleneffekte beim Einsatz von weit verbreiteter Standard-Mobilfunktechnologie.

Durch Mobilfunktechnologie wird zudem die Kombination verschiedener Frequenzbänder und Betriebsmodelle zur Realisierung eines Dienstes wesentlich vereinfacht. Allerdings sind aufgrund der spezifischen Ausbreitungscharakteristika nicht beliebige Frequenzbänder für sämtliche PMSE-Anwendungsszenarien geeignet (vgl. Tab. 16). Auch stellen die unterschiedlichen Systemarchitekturen von herkömmlichen PMSE-Systemen (Ad-hoc-Netze) und 5G-Netzen (Betrieb durch Dritte, i. e. Netzbetreiber) zusätzliche Herausforderungen für eine praktische Nutzung im PMSE-Umfeld dar, die weit über die rein physikalische Bewertung der Ausbreitungscharakteristika für PMSE-Nutzungsszenarien hinausgehen.

Grundsätzlich sind bei Mobilfunktechnologie verschiedene Betriebsmodelle denkbar. Ein lokales, nichtöffentliches 5G-Netz für PMSE könnte von den Veranstaltern selbst betrieben werden. Darüber hinaus eröffnen sich weitere Perspektiven, z. B. durch externen Netzbetrieb durch einen Dienstleister oder einen Mobilfunknetzbetreiber (MNO). Ein MNO hätte dabei die Möglichkeit, das Veranstaltungsnetz sowohl auf einer Ad-hoc-Infrastruktur oder virtuell auf seiner bestehenden Netzwerkinfrastruktur zu betreiben. Zudem besteht die Möglichkeit, dedizierte Campusnetze in dauerhaft betriebenen Veranstaltungsstätten einzurichten.

**Abb. 25: Konzept öffentlicher und privater 5G-Netzwerke**



Quelle: Fraunhofer HHI (2020): Live Audience Service SC-PTM for Massive Audience Events and the Opportunities of Private Networks. Präsentation vom 16.10.2020

Erste Ergebnisse deuten darauf hin, dass lokale, nichtöffentliche 5G-Netze als Sekundärnutzer (auf Basis eines evolved Licensed Shared Access, eLSA) oder in allgemein zugeteiltem Spektrum selbst im Millimeterband oberhalb von 24 GHz gewisse Perspektiven für PMSE bieten könnten. Damit stünde perspektivisch sehr viel Spektrumskapazität auch für PMSE zur Verfügung.

Allerdings bewegen sich die bisherigen Erkenntnisse hierzu noch auf der Ebene von Grundlagenforschung. Herkömmliche PMSE-Systeme sind den experimentellen PMSE-xG-Systemen in allen zentralen Produkteigenschaften (Latenz, Energieverbrauch etc.) noch deutlich überlegen. Umfangreiche weitere Entwicklungsarbeit ist hierzu nötig. Eine konkrete Implementierung von PMSE-Anwendungen ist daher derzeit noch nicht abzusehen. Die Standardisierung wird wahrscheinlich graduell erfolgen und sich, im Erfolgsfall, über mehrere künftigen Mobilfunk-Standard-Releases erstrecken.<sup>105</sup>

Zudem ist bereits jetzt absehbar, dass Mobilfunk-basierte PMSE-Funknetze aufwendige Antennen-Setups (Antenna Arrays) und Anwendungs-Knowhow erforderlich machen. Sie sind damit sowohl als Festinstallation als auch als Ad-hoc-Netze auf lange Sicht nur eine Option für große Veranstaltungshäuser bzw. für Großveranstaltungen.

### **Zusammenfassung Zukünftiger Spektrumsbedarf PMSE**

Die Spektrumsanforderungen für PMSE unterscheiden sich deutlich, je nach örtlichem und zeitlichem Bedarf. Die EU-Kommission ging 2014 von Spitzenbedarfen bis zu 144 MHz aus, bei einem alltäglichen Frequenzbedarf („Sockelbedarf“) von 96 MHz.<sup>106</sup> Seitdem wächst alltägliche Grundbedarf von professionellen PMSE-Anwendungen. Allerdings stellen vor allem die Steigerungsbedarfe bei Großveranstaltungen eine Herausforderung dar.

Alternativen zum TV-UHF-Spektrum sind aktuell nur eingeschränkt nutz- und verfügbar. Zum Beispiel bieten DECT-Systeme Entlastung bei Regiefunk und anderen Formen der

<sup>105</sup> vgl. ITU (2020): Germany (Federal Republic of): Proposal regarding a working document towards a Preliminary draft new Report ITU-R m. [Audio PMSE USAGE]. Document 5A/68-E; Document 5C/51-E

<sup>106</sup> vgl. Durchführungsbeschluss der Kommission vom 1. September 2014 über harmonisierte technische Bedingungen für die Nutzung von Funkfrequenzen durch drahtlose PMSE-Audioausrüstungen in der Union, bekanntgegeben unter Aktenzeichen C(2014) 6011. Amtsblatt der Europäischen Union, L 263/29, vom 03.09.2014.

Talkback-Nutzung und können zukünftig (DECT 2020) auch für einzelne Mikrofonstrecken eingesetzt werden. Das anmeldefrei nutzbare Spektrum im 800er Band wird aufgrund möglicher Störungen i. d. R. nur im Rahmen semi-professioneller Anwendungen für einzelne Funkstrecken genutzt. Die anmeldepflichtige Nutzung von Mid-Band-Frequenzen ist bislang nur in Innenräumen bzw. in Nahbereichen möglich. Zudem steht für dieses Frequenzspektrum bislang kaum Equipment zur Verfügung. Für hochqualitative Audiolinks bleibt UHF-Spektrum daher auf absehbare Zeit unverzichtbar.

Langfristig könnten 5G-basierte PMSE-Systeme im UHF-High-Band eine Alternative für hochqualitative Audiolinks darstellen. Allerdings ist aufgrund physikalischer und struktureller Herausforderungen ungewiss, ob die Technologie Marktreife erreicht.

Optimierungspotenzial bieten WMAS-Systeme, die bei Großveranstaltungen mit vielen Audiolinks eine effizientere Frequenznutzung ermöglichen, jedoch zum Betrieb breitbandiges, zusammenhängendes Spektrum benötigen.

Ein Lösungsansatz, um der zunehmenden Spreizung von Grund- und Steigerungsbedarfen zu begegnen, wäre daher, den Bedarf von Großveranstaltungen besser als bislang durch Spektrum im Frequenzbereich 1350 MHz bis 1492 MHz zu bedienen und die Beschränkungen auf eine reine Indoor-Nutzung aufzuheben. Dies könnte Entlastung für zeitlich und örtlich begrenzte Hot-Spot-Bedarfe bringen, sowie das erforderliche zusammenhängende Spektrum für zukünftige WMAS-Systeme bereitstellen.

## 6 Zwischenfazit: Künftige Bedarfe und Nutzungsoptionen für den Frequenzbereich 470–694 MHz

### 6.1 Zusammenfassung der Bedarfe

Die Forderungen der Stakeholder an eine Spektrumsbereitstellung im UHF-Frequenzbereich 470-694 MHz lässt sich wie folgt zusammenfassen:

**Tab. 18: Zusammenfassung der Spektrumsforderungen für den Frequenzbereich 470-694 MHz**

Stakeholder	Spektrumsforderung
<b>Öffentlich-rechtlicher Rundfunk</b>	Erhalt des Status-quo mit Vollzugriff auf den Frequenzbereich 470-694 MHz zur Übertragung von DVB-T2 zur Aufrechterhaltung eines kostenfreien und resilienten TV-Empfangsweges ohne Satellitenschüssel und als Basis für eine schrittweise Einführung von 5G-Broadcast
<b>Freenet TV/Media Broadcast</b>	Erhalt des Status-quo mit Vollzugriff auf den Frequenzbereich 470-694 MHz zur Übertragung von DVB-T2
<b>Öffentliche Mobilfunknetzbetreiber</b>	Zuweisung von möglichst viel Spektrum oder des gesamten Spektrums aus dem TV-UHF-Band für den öffentlichen Mobilfunk, um u. a. Datenraten im ländlichen Raum zu erhöhen, bzw. autonomes Fahren besser zu unterstützen
<b>PPDR mit BOS und Militär</b>	Zuweisung von 60 MHz Spektrum im TV-UHF-Band zur Umsetzung breitbandiger Funkdienste auf eigenen Netzinfrastrukturen für BOS-Anwendungen (v. a. im Bereich Video-Übertragung) und für die zivil-militärische Kommunikation
<b>Gesonderter militärischer Bedarf</b>	Dringender Sockel-Bedarf und langfristig aufwachsender Bedarf von in Summe 100 MHz für taktisch-mobile militärische Anwendungen im Rahmen von Ausbildung, multinationalen Übungen und Versorgung von in Deutschland stationierten Einheiten der Nato-Partner (Host Nation Support)
<b>PMSE</b>	Aufrechterhaltung der aktuellen Mitnutzungsoptionen von bis zu 170 MHz im TV-UHF-Band und Erweiterung der Nutzungsmöglichkeiten in anderen Bändern unterhalb von 2 GHz für Großveranstaltungen

Quelle: Goldmedia-Analyse

Auf Basis der vorausgegangenen Analyse der künftigen Bedarfe von Funkdiensten und Dienstbetreibern lassen sich diese Forderungen wie folgt bewerten:

Der Frequenzbedarf des **öffentlich-rechtlichen Rundfunks** für die Übertragung linearer TV-Programme über DVB-T2 wird trotz anstehender rechtlicher Änderungen bei

den Kabelanschlüssen in Mietwohnungen vermutlich nicht langfristig durch eine substantiell steigende Nutzung gestützt. Bis zum Ende dieses Jahrzehnts wird die Nutzung linearer TV-Programme (nach Normalisierung der aktuell pandemiebedingten Erhöhung der Live-TV-Nutzung) weiter zurückgehen. Dies wird sich relational auf die Nutzung von DVB-T2 mit einem Nutzermarktanteil von 6,3 Prozent (Stand 2020) auswirken. Zudem ist DVB-T2 häufig ein nachrangiger TV-Empfangsweg, der vor allem bei Zweitgeräten verbreitet ist. Die technischen Voraussetzungen, mindestens einen weiteren alternativen Empfangsweg für lineares Fernsehen zu nutzen, sind zukünftig überall gegeben. In diesem Kontext könnten Nutzungs-Schwellwerte diskutiert werden, bei deren Unterschreitung eine Abschaltung vertretbar wäre.

Die zwischenzeitliche Einführung von 5G-NR-Broadcast ist nicht zwangsweise an einen langfristigen Weiterbetrieb von DVB-T2 gebunden, da es sich um eigene Inhalte für mobile Nutzungssituationen handelt. Ein solches Programmangebot könnte mit einem Rumpfspektrum im derzeitigen TV-UHF-Band realisiert werden. Allerdings würde sich die Frage stellen, ob ein 5G-NR-Broadcastbetrieb an Sendestandorten ohne parallelen DVB-T2-Betrieb wirtschaftlich sinnvoll wäre. Es ist daher denkbar, dass ein forciertes Ausstieg aus der DVB-T2-Übertragung die Weiterentwicklung eines mobil empfangbaren 5G-NR-Broadcast-Angebots verhindert.

Für **Freenet TV/Media Broadcast** stellt die DVB-T2-Verbreitung weiterhin die Grundlage des Freenet TV-Geschäftsmodells dar. DVB-T2 ist ein qualitativer Differenziator zu rein IP-basierten OTT-TV-Diensten, deren Empfang am Endgerät im Vergleich zu DVB-T2 häufiger technische Probleme aufweist (z. B. adaptiv geringere Bildqualität bei geringerer Datenrate). Es ist zu berücksichtigen, dass eine Diskussion über eine mögliche Einstellung der DVB-T2-Verbreitung ab 2031 negative Konsequenzen für die DVB-T2-Nutzung der nächsten Jahre haben könnte. Aktuell besteht hier die Perspektive, dass aufgrund der Streichung der Umlagefähigkeit von Basis-Kabelanschlüssen über die Wohnungsmiete kurz- bis mittelfristig Kunden hinzugewonnen werden können.

Der **professionelle Veranstaltungsfunk (Audio PMSE)** bleibt langfristig auf die Nutzung von UHF-Low-Band, wie aktuell im Bereich 470–694 MHz, angewiesen, um qualitativ hochwertige, störungsfreie Funkverbindungen ohne große Abschattungen nutzen zu können. Ein Ausweichen in das UHF-High-Band (> 2 GHz) unter Einsatz von Mobilfunktechnologie (PMSE-xG) erscheint langfristig zwar denkbar, wäre dann jedoch nur mit hohem technischem, organisatorischem und monetärem Aufwand realisierbar.

**PPDR-Betreiber (BOS-Dienste und ziviler Bedarf der Bundeswehr)** äußern einen konkreten Bedarf für zusätzliches gemeinsam genutztes Spektrum im Umfang von 60 MHz

- a) als Ersatz des bislang genutzten Frequenzspektrums für TETRA-Sprechfunk nach 2030 in einem für Mobilfunk standardisierten Frequenzband
- b) für Breitband-Datendienste zur Einsatzunterstützung (Messaging, Anbindung an Datenbanken und Informationssysteme, Video-Live-Übertragung etc.) mit guter Deep-Indoor-Versorgung und für neuartige einsatzkritische Dienste (Drohnenauflösung, Telemedizin etc.) mit geringer Übertragungslatenz.

Hierbei ist jedoch aktuell offen, welche Funkdienste und Spektrumsanteile zukünftig großflächig bzw. flächendeckend über eine feste Infrastruktur abgebildet, und welche Anwendungen eher über kleinräumige Ad-hoc-Netze realisiert werden sollen. Hier wird

sich über die in den nächsten Jahren erwartbare verstärkte Mitnutzung öffentlicher Mobilfunknetze auf Basis von 5G (in Ergänzung zum TETRA-Netz) zeigen, ob die Breitbandbedarfe langfristig einen eigenen Netzbetrieb (ggf. in Kombination mit Roaming) erforderlich machen. Die Alternative wäre eine vollständige Bedarfsdeckung durch kommerzielle Mobilfunknetze. Hierbei wird auch die Frage nach der spezifischen Notwendigkeit von Sub-GHz-Frequenzen in städtischen Räumen für verschiedene Anwendungen (v. a. auch deep-indoor-verfügbare Datenraten) zu beantworten sein.

Die **Bundeswehr** hat für militärische Anwendungen einen konkreten Bedarf für taktisch-mobile Ad-hoc-Breitbandnetze, der bislang verstärkt durch Frequenzleihe bedient wird. Da der Bedarf an Spektrum mit Blick auf Drohnen und andere Live-Bildübertragungen ebenfalls stark anwächst, wäre hier ein für militärische Ausbildung, Übungen und zur Unterstützung multinationaler Korps ständig verfügbares Frequenzspektrum sinnvoll. Allerdings fehlen sowohl für den formulierten Sockelbedarf als auch für den Langfristbedarf die konkreten Spezifizierungen und Zeitpläne zur Belegung der Forderungen.

Die **Mobilfunknetzbetreiber** stehen vor der Herausforderung, die in Zukunft stark anwachsende Datennutzung durch Mobilfunknutzer und vernetzte Geräte auch außerhalb von Ballungsräumen bedienen zu können. Dieser Bedarf kann neben weiteren Verbesserungen der Mobilfunktechnologien zukünftig vornehmlich durch mehr Spektrum und kleinere Mobilfunkzellen (Zellverdichtung) erreicht werden.

Die Analyse zeigt, dass für mind. 80 Prozent der Bevölkerung, welche in hochverdichteten Räumen sowie in Räumen mittlerer Besiedlungsdichte leben, im Jahr 2031 eine Zellverdichtung erfolgen muss. In diesen Räumen können dann auch die Frequenzen im Mid-Band raumdeckend eingesetzt werden. In dünn besiedelten Räumen jedoch kann das TV-UHF-Band auch über 2031 hinaus Kapazitätsbeiträge bieten. Der Anteil der Bevölkerung im ländlichen Raum, der über 2031 mit Hinzunahme der Frequenzen aus dem TV-UHF-Band ohne Zellverdichtung vollständig versorgt werden kann, ist stark szenarioabhängig.

## 6.2 Mögliche Hauptszenarien einer zukünftigen Nutzung

Auf Basis dieser Bewertung können drei Hauptszenarien für eine zukünftige Nutzung des TV-UHF-Bandes identifiziert werden, die unter verschiedenen Rahmenbedingungen im Zeitverlauf eine unterschiedliche Relevanz einnehmen können:

### **Hauptszenario: Erhalt des Status Quo**

Diese Option kommt zum Tragen, wenn die WRC-23 gegen eine ko-primäre Nutzung des TV-UHF-Spektrums durch Mobilfunkanwendungen optiert oder eine protokollarische Nebenvereinbarung IMT-Anwendungen auf Downlink-Only-Verfahren<sup>107</sup> eingrenzt. Letzteres würde bedeuten, das TV-UHF-Band kann nur für 5G-NR-Broadcast und regional ggf. auch als Supplementary-Downlink-Kanal (SDL) für den Mobilfunk genutzt werden.

Damit wäre eine Diskussion über eine ko-primäre Nutzung des TV-UHF-Bandes vermutlich nicht beendet, sondern würde auf die WRC 2027 verschoben. Dies verschafft dem Rundfunk jedoch die Zeit, um in 5G-NR-Broadcast zu investieren und sichert die Option, die Relevanz des Spektrums für video-basierten Broadcast längerfristig zu erhalten.

Für Deutschland würde diese Situation bedeuten, dass man für die Bedarfe der anderen Stakeholder zwingend alternative Spektrumperspektiven entwickeln müsste.

### **Hauptszenario: Kooperative Nutzung**

Unter der Voraussetzung, dass die WRC 23 bereits die Grundlage für eine ko-primäre Nutzung schafft, wäre es möglich, auf eine längerfristige kooperative Nutzung des TV-UHF-Spektrums hinzuwirken. Dies würde bedeuten, dass der Rundfunk Teile des heute genutzten Spektrums durch technische Änderungen freigibt. Die möglichen Optionen unter Berücksichtigung des Erhalts einer Sekundärnutzung für den Veranstaltungsfunk (PMSE) sowie die Implikationen einer Frequenzkoordinierung mit Anrainerstaaten werden in Kap. 7 beleuchtet.

### **Hauptszenario: Mobilfunk als Primärnutzer**

Unter der Prämisse einer schrumpfenden linearen TV-Nutzung könnte im Zeitverlauf über eine Abschaltung der linearen TV-Programmübertragung über Broadcast-Technologie insbes. für DVB-T2 diskutiert werden.

In Umsetzung einer entsprechenden WRC-Entscheidung stünde damit grundsätzlich das gesamte Spektrum für Mobilfunkanwendungen der Stakeholder PMSE, öffentlicher Mobilfunk, BOS und Bundeswehr zur Verfügung.

Hierbei wäre insbes. zu beachten, dass PMSE-Anwendungen örtlich nicht störungsfrei in einem Spektrum arbeiten können, in denen Mobilfunkgeräte innerhalb der PMSE-Funkstrecken/-Radien einen Uplink nutzen. Dieses Hauptszenario wird in Kapitel 8 beleuchtet.

---

<sup>107</sup> In einem solchen Verfahren könnte das TV-UHF-Band nur für 5G-Broadcast und regional ggf. auch als Supplementary-Downlink-Kanal (SDL) für den Mobilfunk genutzt werden.

## 7 Hauptszenario Kooperative Nutzung des TV-UHF-Spektrums

Auf Basis der Diensteanalyse und der vorliegenden Forderungen nach Spektrum ergibt sich bei Fortführung des DVB-T2-Sendernetzbetriebs der Bedarf für eine verstärkt kooperative Nutzung des TV-UHF-Spektrums spätestens ab dem Jahr 2031.

In Summe steht ein zusätzlicher Frequenznutzungsbedarf von mind. 81 MHz für den öffentlichen Mobilfunk und bis zu 160 MHz für PPDR (BOS) und rein militärische Nutzung im Raum. Diese Frequenzforderungen könnten anteilig bedient werden, wenn die derzeitige Frequenznutzung durch den Rundfunk optimiert und in Teilen eingeschränkt würde.

Für eine kooperative Nutzung des TV-UHF-Spektrums werden folgende fünf Optionen erörtert:

1. Beibehaltung einer DVB-basierten terrestrischen TV-Übertragung mit neuer Videokompression (DVB-Tx)
2. Umstellung der Sendetechnik von DVB-T2 auf 5G-NR-Broadcast
3. Umbau der Sendenetze mit stärkerer Einbindung von Medium Power/Medium Tower bzw. Low Power/Low Tower-Standorten
4. Fokussierung auf DVB-T2-Kernverbreitungsgebiete mit verstärkter Harmonisierung der Programm-Bouquets
5. Fokussierung auf DVB-T2-Kernverbreitungsgebiete sowie Reduktion der terrestrischen Programmbouquets

### 7.1 Option 1: Beibehaltung einer DVB-basierten terrestrischen TV-Übertragung mit neuer Videokompression (DVB-Tx)

#### 7.1.1 Darstellung der Option

Bisher wurden auf dem Gebiet der Videokompression ca. alle acht bis zehn Jahre entscheidende Fortschritte in der Entwicklung erzielt. Dabei wurde jeweils eine Effizienzsteigerung um den Faktor zwei, d.h. eine Halbierung der Datenrate bei gleicher Qualität, erreicht.

In der Theorie gilt dies auch für den 2020 vorgestellten Videocodec H.266 (auch Codec Versatile Video Coding (VVC) genannt), der offizielle Nachfolger des aktuell für DVB-T2 in Deutschland verwendeten Videocodecs H.265, der auch als „High Efficiency Video Coding“ (HEVC) bezeichnet wird.

Der bereits 2018 von der Alliance for Open Media (AOM), einem Konsortium aus Apple, Amazon, ARM, Cisco, Facebook, Google, IBM, Intel, Microsoft, Mozilla, Netflix und Nvidia, eingeführte Videocodec AV1, mit dem Netflix und Google ihre UHD-Inhalte codieren und der bereits in vielen TV-Geräten z. B. von Samsung und LG verbaut ist, bietet demgegenüber nur eine theoretische Effizienzsteigerung von 30 Prozent.

Durch die Nutzung effizienterer Videokompressionsverfahren könnten zusätzliche Programme oder mehrere bestehende Programme im höherwertigen UHD-Standard übertragen werden. (Letzteres setzt voraus, dass bis 2031 in größerem Umfang lineare TV-Programme in dieser Bildqualität produziert werden.) Damit würden die Kapazitätsgewinne eines neuen Video-Codex neutralisiert, wie die nachfolgende Tabelle zeigt.

Alternativ könnten jedoch mit neuen Video-Codex die für ein HD-Programm benötigte Bandbreite in etwa halbiert werden (H.266). Die dadurch gewonnene freie Bandbreite könnte bei der terrestrischen TV-Übertragung über DVB-Tx, anstatt für ein größeres Programmangebot bzw. die Einführung von UHD, auch zur Einsparung von UHF-Spektrum genutzt werden.

**Tab. 19: DVB-Tx-Betriebsvarianten bei Verwendung neuer Videokompressionsverfahren**

Bildformat/ Kompression	Programme insgesamt	UHF- Kanäle	Bandbreiten- bedarf	Freierwerdende Bandbreite
<b>Status-quo</b> DVB-T2 HD 1080p/50 H.265	bis zu 40 (je nach Region)	6	48 MHz	-
<b>Status-quo mit H.266</b> DVB-Tx HD 1080p/50 H.266	ca. 40	<b>3</b>	24 MHz	<b>24 MHz</b>
<b>Mehr Programme mit H.266</b> DVB-Tx HD 1080p/50 H.266	<b>bis zu 80</b> (Faktor 2)	6	48 MHz	0 MHz
<b>UHD mit H.266</b> DVB-Tx UHD 2160p/50 H.266	<b>ca. 12</b>	6	48 MHz	0 MHz

Quelle: Goldmedia/Fraunhofer IIS

Damit wäre grundsätzlich, wie in der obenstehenden Tabelle dargestellt, pro Bedeckung eine Bandbreitenreduktion von 24 MHz erzielbar. Für das gesamte TV-UHF-Spektrum würde dies einer Bandbreitenreduktion von 96 MHz entsprechen, die einer ko-primären Nutzung zugeteilt werden könnten.

Zieht man unabhängige Analysen zu den Codex heran, so werden die theoretischen Effizienzsteigerungen in der Praxis jedoch bei HD und UHD wohl nicht erreicht. Analysen von BBC R&D<sup>108</sup> zeigen, dass die Effizienzsteigerungen von H.266 ggü. H.265 für HD-Streams nur bei 27 Prozent und für UHD-Streams etwa bei 35 Prozent liegen. Allerdings wird es bis zum Jahr 2028 wohl eine weitere Evolutionsstufe bei der Videocodierung geben. Damit können die in der obenstehenden Tabelle genannten Spektrumsgewinne vermutlich auch in der Praxis erzielt werden.

Weitere Effizienzen ließen sich erzielen, wenn statt einer Einfachnutzung einzelner Trägerfrequenzen im Single-Input-Single-Output-Modus (SISO) auch eine Mehrfachnutzung der Trägerfrequenzen (Multiple Input Multiple Output – MIMO) erfolgen würde, wie dies heute bereits bei LTE im Einsatz ist.

### 7.1.2 Bewertung

Würde man ab 2031 auf ein künftiges DVB-Tx-System mit dem neuesten Videokompressionsstandard umstellen und hierbei die maximale HD-Auflösung (1080p/50) der

<sup>108</sup> vgl. <https://www.winxdvd.com/video-converter/h266-vc-vs-av1.htm>

DVB-T2-Verbreitung beibehalten, könnte pro Sendestandort ein lokaler Spektrumsge-  
winn von mind. 24 MHz (50 Prozent der belegten Bandbreite) erzielt werden. Dies ent-  
spräche einer Räumung von 96 MHz des heute zur Programmverbreitung benötigten  
Spektrums.

Dieser Spektrumsge-  
winn würde einen gewissen Anteil der in den vorausgegangenen  
Kapiteln dargestellten künftigen Spektrumsbedarfe der verschiedenen Funkdienste be-  
dienen können. Eine Umstellung der Videokompression als alleiniges Instrument wäre  
allerdings nicht ausreichend, um ab 2031 den aktuellen Programmumfang weiter über  
terrestrischen Rundfunk zu verbreiten und zudem sämtliche weiteren Spektrumsbedarfe  
zu decken.

Denkbar wäre auch bei DVB-T2 von einem Single-Input-Single-Output-Modus (SISO)  
auf eine Mehrfachnutzung der Trägerfrequenzen (Multiple Input Multiple Output –  
MIMO) umzustellen (vgl. Kap. 7.2.1.2). Dadurch ließe sich die Übertragungskapazität der  
Funkzelle fast verdoppeln, wodurch sich der zur Übertragung benötigte Spektrumsbe-  
darf wiederum halbieren ließe. Da jedoch aktuell keine intensiven Bemühungen erkenn-  
bar sind, einen neuen DVB-Tx-Standard zu entwickeln, ist fraglich, ob man für eine sol-  
che Distributionsform, die dann auch neue Empfangstechnik erforderlich macht, inter-  
national/in Europa Nachfrage erzeugen könnte.

Letztendlich erfordern alle Überlegungen von Option 1 aufgrund der Einführung einer  
neuen Videokompression und ggf. auch Sendetechnologie die Neuanschaffung von  
neuen DVB-Tx-Empfängern (TV-Geräte mit integrierten Tunern, Set-Top-Boxen oder  
TV-Sticks), ohne dass die ZuschauerInnen daraus einen eigenen Vorteil (mehr Pro-  
gramme oder eine höhere Bildqualität) ziehen könnten. Dieser unverhältnismäßige Auf-  
wand für einen Gerätetausch würde voraussichtlich zu hohen Nutzerverlusten vor allem  
an IP-basierte Plattformen (OTT) führen. Diese werden sich bis zum Jahr 2031 noch deut-  
lich stärker als direkter Wettbewerber zu DVB-Tx positionieren.

## **7.2 Option 2: Umstellung der Sendetechnik von DVB-T2 auf 5G-NR-Broadcast**

### **7.2.1 Darstellung der Option**

Ähnlich wie bei dem im LTE-Mobilfunkstandard bereits definierten Broadcast-Modus  
eMBMS wird 5G-NR-Broadcast zukünftig die Möglichkeit bieten, lineare Video-Streams  
über unterschiedliche Sendemastinfrastrukturen von High-Power/High-Tower- bis Low-  
Power/Low-Tower-Standorten über Mobilfunk als Broadcast-Downstream zu verbreiten.

Die Rundfunkveranstalter planen zwar nicht, den stationären Empfang terrestrischer TV-  
Signale ab 2031 von DVB-T2 auf eine künftige Evolutionsstufe von DVB-Tx oder 5G-NR-  
Broadcast vollständig zu migrieren. 5G-NR-Broadcast soll stattdessen dafür genutzt  
werden, additiv neuartige lineare TV-Angebote für den mobilen TV-Empfang auf Smart-  
phones und anderen mobilen Screen-Devices auszustrahlen. Ein Empfang von 5G-NR-  
Broadcast auf TV-Geräten in Haushalten ist nicht intendiert.

Auch wenn hierzu von Seiten der Rundfunkveranstalter keine Absicht besteht, wurde im  
Rahmen dieser Studie geprüft, ob der Einsatz von 5G-NR-Broadcast grundsätzlich eine

signifikant effizientere Nutzung des Spektrums für den stationären Empfang des heute verbreiteten Programmangebots ermöglichen würde.

Hierbei stellt sich die Frage, ob durch einen Switch-Over von DVB-T2 hin zu 5G-NR-Broadcast eine signifikant höhere spektrale Effizienz erreicht werden könnte. Denn eine sich daraus ergebende geringere Spektrumsbelegung durch das terrestrische Fernsehen könnte eine ko-primäre Nutzung und weitere Funkdienste im TV-UHF-Band ermöglichen. Hierfür sind die Spektrumsanforderungen von DVB-T2 und 5G-NR-Broadcast miteinander zu vergleichen:

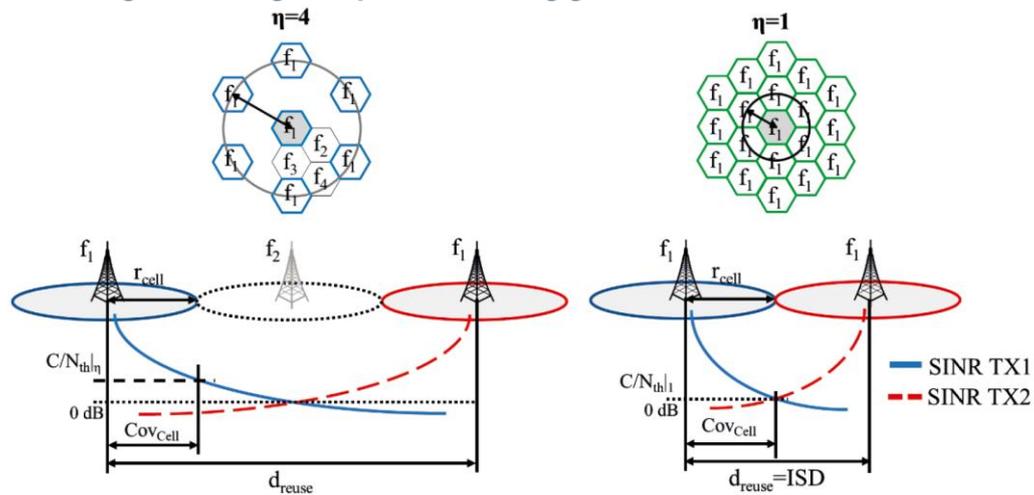
DVB-T2 ist auf die Übertragung eines großen Programmbouquets mit wenigen Senderanlagen für den stationären Empfang optimiert. Eine mobile Nutzung ist nur bis etwa 60 km/h möglich. Die Qualität des Nutzsignals (Signal to interference plus noise ratio, SINR) liegt auch am Zellrand noch deutlich über 0 dB.

Um das hohe SINR zu gewährleisten, werden benachbarte DVB-T2-Funkzellen auf anderen Trägerfrequenzen (Kanälen) betrieben. Dafür werden die Zellen in zusammenhängende Gruppen zusammengefasst (cell cluster), in der sich keine Trägerfrequenz wiederholt. Zellen auf derselben Trägerfrequenz sind durch die größere Entfernung, die der Gruppengröße entspricht, entkoppelt. Der Re-Use-Faktor der Frequenzen liegt bei einer klassischen Zellgruppe grob vereinfacht bei 7 (6 umliegende Zellkanten eines Hexagons mit jeweils einer Frequenz plus der belegten Frequenz innerhalb des Hexagons). In der Praxis liegt der Re-Use-Faktor über das komplette Spektrum in Deutschland bei rd. 4,67 (vgl. Kap. 2.3).

5G-NR-Broadcast kann wie DVB-T2 in Gruppen zu  $\eta$  Zellen betrieben werden, also einem Re-Use-Faktor  $\eta > 1$ . Bei gleicher Zellstruktur würde kein prinzipieller Unterschied bezüglich der Sendekapazität bestehen.

Jedoch ist 5G-NR-Mobilfunk für einen Re-Use-Faktor von  $\eta = 1$  ausgelegt. Daraus ergibt sich für 5G-NR-Broadcast zusätzlich die Option, ohne Zellgruppen und verschiedenen Trägerfrequenzen zu arbeiten, sondern stattdessen den gleichen Kanal in den direkt benachbarten Zellen erneut zu belegen. Das hierfür notwendige niedrigere SINR am Zellrand führt jedoch dazu, dass eine geringere Kapazität pro Zelle erreicht werden kann. Der Zusammenhang zwischen SINR am Zellrand und dem Re-Use-Abstand ist in nachfolgender Abbildung anhand von Beispielen mit Re-Use-Faktor von  $\eta = 4$  und  $\eta = 1$  veranschaulicht: In der linken Abbildung zeigt sich, dass das Nutzsignal der Frequenz 1 am Zellrand noch deutlich über 0 dB liegt, während in der rechten Grafik das Nutzsignal am Zellrand bei 0 dB liegt.

**Abb. 26 Schematische Darstellung der Interferenz am Zellrand von Zellen mit gleicher Trägerfrequenz in Abhängigkeit von Re-Use-Faktor**



$n$  = Re-Use-Faktor,  $f$  = Frequenz,  $C$  = carrier,  $N$  = noise,  $d$  = Reuseentfernung,  $SINR\ TX$  = Signal to Interference and Noise Ratio from Transmitter

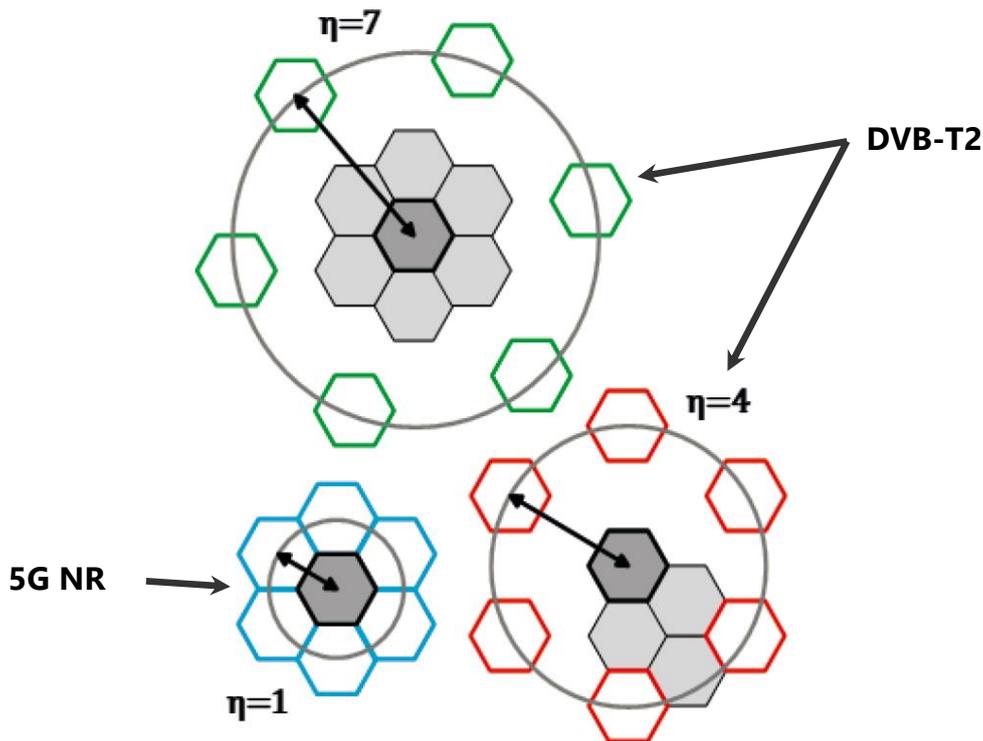
Quelle: Gimenez/Gomez-Barquero/Morgade/Stare (2017): Wideband Broadcasting: A Power-Efficient Approach to 5G Broadcasting

**Prinzipieller Vergleich DVB-T2 mit Re-Use-Faktor  $\eta > 1$  und 5G-NR-Broadcast mit Re-Use-Faktor  $\eta = 1$**

Wie zuvor ausgeführt können DVB-T2 und 5G-NR-Broadcast in einer Zellstruktur mit einem Re-Use-Faktor  $\eta > 1$  betrieben werden und sind hierbei in ihrer Sendekapazität vergleichbar. Es stellt sich daher die Frage, ob die Option eines Re-Use-Faktors  $\eta = 1$  für 5G-NR-Broadcast einen Vorteil gegenüber der Zellgruppen mit verschiedenen Trägerfrequenzen ergibt.

Als Beispiel wird für DVB-T2 ein Re-Use-Faktor von  $\eta = 7$  angenommen. Abb. 27 zeigt einige gebräuchliche Zellgruppenstrukturen auf Grundlage des idealtypischen Hexagons einer Funkzelle.

**Abb. 27: Darstellung von gebräuchlichen Zellgruppen mit verschiedenen Re-Use-Faktoren bei idealtypischen hexagonalen Funkzellen**



Quelle: Gimenez/Gomez-Barquero/Morgade/Stare (2017): *Wideband Broadcasting: A Power-Efficient Approach to 5G Broadcasting*

Aufgrund des hohen SINR durch den Re-Use-Faktor  $\eta = 7$  kann für DVB-T2 als Modulation 256QAM (8 Bit pro Unterträger) mit einer Kodierungsrate von 5/6 verwendet werden.<sup>109</sup> Das entspricht ungefähr einer Datenrate von 50 Mbps pro 8-MHz-Kanal.<sup>110</sup>

Wählt man für 5G-NR-Broadcast einen Re-Use-Faktor  $\eta = 1$ , so kann durch das niedrige SINR als Modulation nur QPSK<sup>111</sup> (2 Bit pro Unterträger) mit einer Kodierungsrate zwischen 0.5 und 0.6 verwendet werden. Das entspricht ungefähr einer Datenrate von 9 Mbps pro 10-MHz-Träger.<sup>112</sup>

Unter Berücksichtigung des Re-Use-Faktors ergeben sich als dann folgende Sendekapazitäten pro MHz Spektrum:

- DVB-T2:  $\frac{50 \text{ Mbps}}{8 \text{ MHz}} / 7 = 0,89 \text{ Mbps/MHz}$
- 5G-NR-Broadcast:  $\frac{9 \text{ Mbps}}{10 \text{ MHz}} = 0,90 \text{ Mbps/MHz}$

Es zeigt sich somit, dass auch ein Re-Use-Faktor von  $\eta = 1$  eine vergleichbare Sendekapazität gegenüber der aktuellen DVB-T2-Verbreitung besitzt. Die bei 5G-NR-Broadcast im Re-Use-Szenario  $\eta = 1$  niedrigere Datenrate pro Kanal durch QPSK-Modulation wird durch die Belegung von mehr Spektrum pro Zelle (mehrere Kanäle) kompensiert.

Das bedeutet: Der Spektrumsbedarf ist in der Gesamtschau vergleichbar, da bei 5G-NR-Broadcast im Re-Use-Szenario  $\eta = 1$  zwar die Belegung unterschiedlicher Kanäle bei

<sup>109</sup> ebenda

<sup>110</sup> ebenda

<sup>111</sup> ebenda

<sup>112</sup> Quelle: 3GPP TS 38.306: *User Equipment (UE) radio access capabilities*, Kap. 4.1.2

angrenzenden Funkzellen entfällt, dafür jedoch mehr Kanäle in jeder Zelle belegt werden müssen, um die Modulationsschema niedrigerer Ordnung auszugleichen.

5G-NR-Broadcast bietet daher gegenüber DVB-T2 keine überlegene spektrale Effizienz. Dennoch bietet der Einsatz von 5G-NR-Broadcast Vorteile gegenüber DVB-T2:

- Niedrige Modulationsordnung erfordert sehr viel niedrigere Sendeleistung pro Kanal
- Vereinfachung des Funksystems
- Kostenersparnis
- Besserer Mobilempfang

Sowie eine bessere Nutzung des Frequenzbandes durch

- geringere Schutzabstände
- besseres statistisches Multiplexing (pooling)<sup>113</sup>
- flexiblere Kanalbandbreiten

Weiter optimiert werden könnte die Effizienz durch den Einsatz neuester Videokompressionsverfahren (vgl. Kap. 7.1). Dies gilt jedoch sowohl für 5G-NR-Broadcast als auch für einen denkbaren DVB-T2-Nachfolger (DVB-Tx).

In beiden Übertragungsstandards (DVB-Tx und 5G-NR-Broadcast) könnte zudem, statt einer Einfachnutzung einzelner Trägerfrequenzen im Single-Input-Single-Output-Modus (SISO), auch eine Mehrfachnutzung der Trägerfrequenzen (Multiple Input Multiple Output – MIMO) erfolgen, wie dies heute bereits bei LTE im Einsatz ist. MIMO ist ein wesentlicher Technologiebaustein von 5G-NR. Allgemein benötigt MIMO zwar einen Rückkanal zur Anpassung an den Mobilfunkkanal. Es wäre aber denkbar, mit kreuzpolarisierten Antennen auf einen Rückkanal zu verzichten, so dass 2x2 MIMO auch für Broadcast-Übertragungen genutzt werden könnte. Dadurch würde sich die Übertragungskapazität der Funkzelle fast verdoppeln, wodurch sich der zur Übertragung benötigte Spektrumsbedarf wiederum halbieren ließe.

---

<sup>113</sup> Quelle: Gimenez/Gomez-Barquero/Morgade/Stare (2017): *Wideband Broadcasting: A Power-Efficient Approach to 5G Broadcasting*

## 7.2.2 Bewertung

Eine einfache Umstellung von DVB-T2 auf 5G-NR-Broadcast führt in der theoretischen Analyse nicht zu einer spektral effizienteren Frequenznutzung.

5G NR ermöglicht zwar einen Reuse-Faktor von 1, dies geht aber zu Lasten der Datenrate. Das bedeutet, einem Re-Use-Gewinn von 1 zu 4 bzw. 7 steht ein Modulationsverlust von 5 zu 1 gegenüber. So müsste (fast) das gesamte Spektrum genutzt werden, um dieselben Datenraten mit einer Modulation niedriger Ordnung zu übertragen, die eine DVB-T2-Funkzelle in einer Zellgruppe mit einer Modulation hoher Ordnung in einem Bruchteil des Spektrums realisieren kann.

Nur durch die zusätzliche Einführung von MIMO-Technologie für 5G-NR-Broadcast und dem Einsatz der neuesten, 2030 verfügbar werdenden Videokompressionsverfahren könnte die Frequenzeffizienz (im Sinne von übertragenen TV-Programmen pro Spektrum) gesteigert werden. Gleiches könnte jedoch auch in einer neuen Generation des DVB-Standards (DVB-Tx) umgesetzt werden, auch wenn diese Möglichkeiten von den Rundfunkveranstaltern derzeit nicht verfolgt wird.

Der Technologiewechsel generiert durch die Möglichkeit der mobilen Nutzung einen erkennbaren Mehrwert gegenüber der DVB-T2-Verbreitung. Allerdings stellt der Austausch der Empfangsgeräte ein nicht zu unterschätzendes Migrationsrisiko dar. Es ist zu befürchten, dass die heutigen stationären DVB-T2-Nutzerinnen und Nutzer bei einem Technologiewechsel für ihren stationären Empfang in Teilen auf andere TV-Verbreitungswege und -Plattformen (Satellit, Kabel, IP/OTT) ausweichen würden, anstatt sich ein neues DVB-Tx-Empfangsgerät zu kaufen. Damit würde der terrestrische Übertragungsweg im Saldo trotz mobilem Mehrwert dennoch Nutzer verlieren, da für den stationären TV-Empfang durch eine Umstellung kein erkennbarer nutzerseitiger Mehrwert entsteht.

Die hohe Breitband-Verfügbarkeit, das sich bis 2031 weiter in Richtung IP-Dienste entwickelndem Nutzerverhalten sowie die niedrigen technischen Zugangsschwellen zum IP-basierten TV-Empfang lassen den Kauf neuer Empfangsgeräte für den stationären terrestrischen TV-Empfang unattraktiv erscheinen.

## 7.3 Option 3: Umbau der Sendernetze mit stärkerer Einbindung von MPMT-/LPLT-Standorten

### 7.3.1 Darstellung der Option

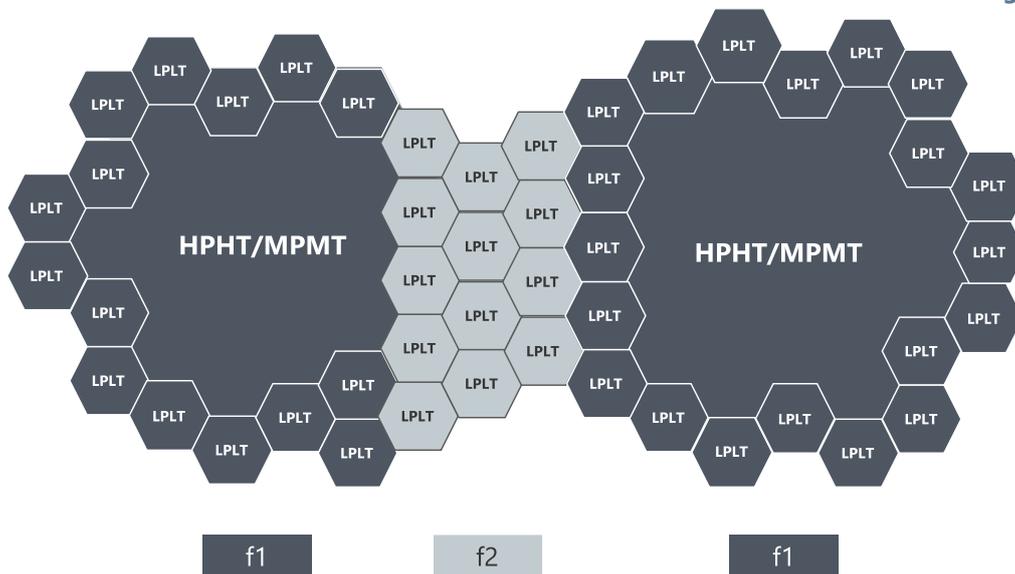
Eine Alternative, mit welcher der Re-Use-Faktor von DVB-T2 ohne Technologiewechsel und ohne Veränderung des Programmangebots verbessert werden kann, wäre der Umbau der Sendernetze mit stärkerer Einbindung von Medium- und Low-Power-Sendestandorten. Dieser würde durch trennschärfere Bedeckungen den Re-Use-Faktor optimieren und eine effizientere Nutzung des Spektrums ermöglichen.

Der hohe Bedarf an unterschiedlichen Frequenzen (TV-Kanälen) zur Verbreitung insbesondere der öffentlich-rechtlichen Multiplexe entsteht dadurch, dass die Rundfunkanstalten der ARD für verschiedene Regionen in den Bundesländern unterschiedliche Programm bouquets schnüren und die hierdurch belegten, unterschiedlichen Frequenzen

aufgrund der hohen Sendeleistung von Rundfunksendern mit entsprechend hohen Guardbereichen erst in großer räumlicher Entfernung wieder erneut belegt werden können (vgl. Kap. 2.3).

Dies würde bedeuten, bei großen High-Power/High-Tower-Sendestationen (Sendeleistung bis 100 kW und typische Radien von 40 km) die Leistung zu reduzieren und dafür in den äußeren Rändern der heutigen Ausleuchtungszonen kleinere und mittlere Sendeanlagen (Sendeleistung bis 5 kW und Radien bis 10 km) als Füllsender einzusetzen. Damit ließen sich die unerwünschten Überreichweiten deutlich reduzieren, ohne dass eine Minderversorgung in den Randlagen der HPHT-Funkzellen einträte. Im Idealfall könnten hierbei sogar beide HPHT-Funkzellen auf derselben Frequenz arbeiten, während die Füllsender zwischen den beiden großen Zellen als SFN auf einer alternativen Frequenz betrieben werden.

**Abb. 28: Mischbetrieb aus HPHT- und LPLT-Funkzellen zur Rundfunkverbreitung**



Quelle: Goldmedia/Fraunhofer IIS

Auf dieser Basis ließe sich der Re-Use-Faktor rechnerisch von heute 4 bis 5 auf etwa 2 bis 2,5 reduzieren. Damit würde sich auch der Spektrumsbedarf in etwa halbieren. Es könnten rd. 100 MHz an Spektrum des TV-UHF-Bandes geräumt werden, ohne dass das bisherige Programmangebot oder die bisherigen DVB-T2-Verbreitungsgebiete angepasst werden müssten.

Zur Ausstrahlung der MPMT- und LPLT-Funkzellen könnten Standorte des öffentlichen Mobilfunks genutzt werden, die über deren Infrastrukturgesellschaften (ATC Germany, DFMG, Vantage Towers) angemietet werden können.

Hierbei ist zu berücksichtigen, dass das in obiger Abbildung dargestellte Szenario eine idealtypische Situation abbildet. In der Realität sind die HPHT Ausleuchtungszonen für die verschiedenen Multiplexe pro Region unterschiedlich geographisch zugeschnitten. Ein HPHT-Standort kann in der Mitte einer Zelle (Allotment) stehen, während in der nächsten Zelle der Versorger am Rand des Allotment steht. Damit stößt das Konzept einer durchgängigen Rand-Versorgung mit LPLT-Sendern an seine Grenzen. Trotzdem ist davon auszugehen, dass mit entsprechendem Aufwand eine deutliche Spektrums-effizienz erzielt werden könnte.

### 7.3.2 Bewertung

Für einen solchen Sendernetzumbau müsste an den Ausleuchtungsändern großer HPHT-Rundfunkzellen eine Vielzahl an kleinen Funkzellen mit jeweils rd. 10 km Radius errichtet werden. Für jede dieser kleinen Funkzellen müssten bereits bestehende Mobilfunk-Sendeanlagen angemietet, separate DVB-T2-Sendetechnik installiert, und die Standorte ggf. mit weiteren Glasfaserlinien für die Programmzuführung erschlossen werden. Beispielhaft müsste bei einer idealtypischen HPHT-Funkzelle mit einem Bedeckungsradius von 40 km ein hexagonförmiger Zellrand von 240 km durch Funkzellen mit niedriger Leistung versorgt werden. Bei einer typischen Sub-GHz-Mobilfunkzelle (Hexagon-Kantenlänge 4 km und -Diagonalen von 6,9 km) entspräche dies mindestens 35 zusätzlicher Sendestandorte, nur um den unmittelbaren Zellrand abzudecken. Unter Berücksichtigung realer Gegebenheiten und der zusätzlich zu bedeckenden Guard-Bereiche muss von einer mindestens dreistelligen Anzahl an zusätzlichen Standorten pro heutiger HPHT-Funkzelle ausgegangen werden. Dieser Umbau wäre sehr teuer und käme aus Sicht der Rundfunkveranstalter für den Erhalt eines alten Verbreitungsstandards ohne zusätzlichen Nutzen für die Zuschauer und damit ohne Aussicht auf eine durch die Maßnahme generierte Nutzungssteigerung wohl kaum in Frage.

## 7.4 Option 4: Fokussierung auf DVB-T2-Kernverbreitungsgebiete mit verstärkter Harmonisierung der Programm-Bouquets

### 7.4.1 Darstellung der Option

Eine weitere Möglichkeit, mit der der Re-Use-Faktor von DVB-T2 ohne Technologiewechsel und bei gleicher Programmviefalt verbessert werden kann, wäre eine Reduktion des bislang auf Flächendeckung konzipierten Verbreitungsgebiete der öffentlich-rechtlichen Programm-Multiplexe auf DVB-T2-Kernverbreitungsgebiete. Kernverbreitungsgebiete von DVB-T2 sind die Regionen, in denen auch die drei Programm-Multiplexe mit privaten TV-Programmen („Freenet TV“) empfangen werden können.

Wie in Kap. 2.2.1 dargestellt, wird DVB-T2 außerhalb der Kernverbreitungsgebiete kaum als TV-Empfangsweg genutzt, da DVB-T2 aufgrund des eingeschränkten Programmangebots (keine Privatsender) hier wenig attraktiv ist und aufgrund geringer Feldstärken kaum indoor empfangen werden kann.

So nutzen außerhalb der DVB-T2-Kernverbreitungsgebiete weniger als 360.000 Haushalte, rd. 0,9 Prozent der deutschen TV-Haushalte, DVB-T2 als (einen unter ggf. mehreren) TV-Empfangswegen.

Dies entspricht rd. 15 Prozent der DVB-T2-Nutzerbasis. Diesen Haushalten stehen in der Regel sowohl der Satellitenempfang und (wie in Kap. 2.2.2 dargestellt) auch der Breitbandanschluss als alternativer TV-Empfangswege zur Verfügung.

Die DVB-T2-Kernregionen sind vereinfacht ausgedrückt Ballungsräume und deren Umland. Um sinnvoll die Nutzung des Frequenzspektrums zu verbessern, gilt es, die Frequenznutzung anhand der Besiedlungsstruktur und den zu ihrer Versorgung optimalen technischen Parametern zu optimieren. In der Regel bedeutet dies, mittels Single-Frequency-Networks (SFN) größere Zellen mit mehreren Sendeanlagen zu bilden, die einen

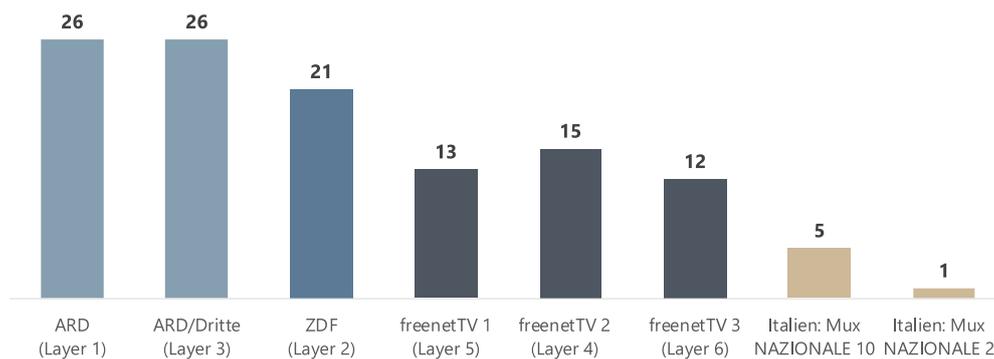
Ballungsraum (bis rd. 100 km im Durchmesser) vollständig auf einer einzelnen Frequenz versorgen. Besonders kleinräumige MFN-Abdeckungen führen hingegen zu einer ineffizienten Belegung von Spektrum.

Die aktuell zwischen den Landesrundfunkanstalten (LRA) vereinbarte Programmbelegung der LRA-eigenen Multiplexe sowie Abstimmung der Sendediagramme (u. a. Sendeleistung) führt in Grenzregionen häufig zu einer Mehrfachversorgung mit größtenteils identischen Programmen auf verschiedenen 8-MHz-Kanälen.

Die nachfolgende Abbildung verdeutlicht dies: Für eine flächendeckende Versorgung mit individuellen Bundesland-Bedeckungen nutzt die ARD im Layer 3 („ARD/Dritte“) sämtliche 26 Kanäle des Spektrums. Im Vergleich hierzu benötigt der flächendeckende ZDF-Multiplex 21 Kanäle.

Das Bouquet von Freenet TV, welches nur in DVB-T2-Kernverbreitungsgebieten verbreitet wird, belegt durchschnittlich nur rd. 14 Kanäle für seine terrestrische Verbreitung. Im Vergleich zum Layer 3 („ARD/Dritte“) belegt Freenet TV nur rd. die Hälfte der Kanäle, versorgt damit dennoch 85 Prozent der DVB-T2-nutzenden TV-Haushalte.

**Abb. 29: Belegte UHF-TV-Kanäle für nationale DVB-T2-Layer in Deutschland und Italien**



Bei länder- bzw. landesrundfunkanstaltsübergreifenden Ballungsräumen (z. B. Rhein-Main-Gebiet, Metropolregion Rhein-Neckar) müssten die beteiligten Landesrundfunkanstalten daher die Belegung ihrer ARD-Multiplexe, insbesondere der regionalen Multiplexe, harmonisieren, um ein gemeinsames SFN betreiben zu können. Der regionale Multiplex bietet Platz für rd. 6 Programme. Insofern besteht genug Kapazität, sämtliche Dritte Programme der angrenzenden Landesrundfunkanstalten über einen Multiplex zu verbreiten. Zwar wird auch heute in der Regel das benachbarte „Dritte“ durch eine LRA mitverbreitet. Allerdings besteht keine harmonisierte Programmbelegung bei den ARD-Multiplexen der verschiedenen LRA. Das bedeutet, dass auch bei nur marginalen Programmunterschieden (z. B. ein unterschiedliches Programm, 5 gemeinsame Programme) in technischer Sicht ein separater Multiplex verbreitet werden muss, welcher eigene Sendernetze und eigene Spektrumsbelegungen benötigt.

Sogar beim überregionalen ARD-Multiplex („Das Erste“ etc.) weichen einzelne LRA in der Programmzusammenstellung sehr stark ab, was es nicht erlaubt, durch eine Harmonisierung von Bouquets, einheitlicher Signalzuführung und optimaler Sendetechnik weitere Spektrumseffizienzen zu realisieren.

Abb. 30: Programmbelegung ARD: nationaler und regionaler Multiplex

	BR	HR	MDR	NDR	RB	rbb	SR	SWR	WDR
ARD-Mux	Das Erste HD tagesschau24 HD arte HD Phoenix HD ONE HD	Das Erste HD tagesschau24 HD arte HD Phoenix HD ONE HD	arte HD Phoenix HD ONE HD WDR HD Köln BR Nord HD hr HD	Das Erste HD tagesschau24 HD arte HD Phoenix HD ONE HD		Das Erste HD tagesschau24 HD rbb Berlin HD MDR Sachsen HD NDR FS NDS HD SWR BW HD/rbb Brandenburg HD dyn(*)	Das Erste HD Phoenix HD arte HD ONE HD SR Fernsehen HD	Das Erste HD tagesschau 24 HD arte HD Phoenix HD ONE HD	tagesschau24 HD Phoenix HD NDR NDS HD MDR S-Anhalt HD SWR RP HD SWR RP HD (alle Standorte)
Regional-Mux	BR Süd/Nord dyn (HD) SWR BW HD MDR Thüringen HD hr HD rbb Berlin HD (*) ARD alpha	hr HD BR Nord (HD) SWR RP HD rbb Berlin HD NDR FS NDS HD	Das Erste HD tagesschau24 HD MDR Sachsen HD MDR S-Anhalt HD (dyn.) MDR Thüringen HD (dyn.) rbb Brandenburg HD NDR FS NDS HD** SWR BW HD**	NDR FS NDS HD WDR HD Köln MDR S-Anhalt HD / NDR FS MV HD BR Süd HD / NDR FS SH HD hr HD / NDR FS HH HD		arte HD Phoenix HD ONE HD WDR HD Köln BR Nord HD hr HD	SWR BW HD SWR RP HD BR Süd HD hr HD WDR HD Köln	SWR BW HD SWR RP HD BR Süd HD hr HD WDR Köln HD	Das Erste HD WDR HD Aachen WDR HD Köln WDR HD Bonn arte HD ONE HD [Aachen, Aachen Stolberg, Bonn, Gummersbach, Hohe Warte, Köln]
weiterer Regional-Mux		hr HD MDR Thüringen HD SWR RP HD WDR HD Köln NDR NDS HD		NDR FS SH HD MDR S-Anhalt HD WDR HD Köln / NDR FS NDS HD BR Süd HD / NDR FS HH HD SWR BW HD / NDR FS MV HD	RB HD				Das Erste HD WDR HD Düsseldorf WDR HD Duisburg WDR HD Wuppertal arte HD ONE HD [Düsseldorf, Kleve, Langenberg, Weesl, Wuppertal]
weiterer Regional-Mux				NDR FS MV HD rbb Brandenburg HD MDR S-Anhalt HD / NDR FS SH HD BR Süd HD / NDR FS HH HD WDR HD Köln / NDR FS NDS HD					Das Erste HD WDR HD Dortmund WDR HD Essen arte HD ONE HD [Dortmund, Essen, Gelsenkirchen, Hagen, Langenberg]
weiterer Regional-Mux				NDR FS HH HD					
Anm.:	Während der dyn. Ausenanderschaltung BR in der Regionalzeit entfällt rbb im Regional-Mux		* dynamische PMT-Umschaltung auf NDR FS NDS HD bzw. SWR BW HD** NDR FS NDS HD und SWR BW HD sind außerhalb der Regionalzeiten des MDR zu empfangen	Dynamische PMT-Umschaltung zwischen Programm A / B in den Zeiten 16-18.15 Uhr und 19.30 - 20 Uhr Die Bundeslandzuordnung ist unter www.ndr.de/technik -> DVB-T2 zu finden.		* dynamische PMT-Umschaltung zwischen rbb Brandenburg HD und SWR BW HD (tgl. 19.27-20.00) SWR HD ist nur außerhalb der Regionalzeit des rbb zu empfangen			Das WDR-Sendegebiet ist in verschiedene Regionen mit unterschiedlicher Zusammensetzung der WDR-Regionalversion eingeteilt

Quelle: ARD/IRT/MEDIA BROADCAST/ZDF; Stand: 22.03.2017

Im internationalen Vergleich zeigt sich, dass auf Basis von DVB-T2 erheblich effizientere Frequenzbelegungen möglich sind. Die italienische Spektrumsbelegung ermöglicht 10 nationale Programmmultiplexe und zudem 4 lokale Multiplexe. Erreicht wird dieses (im Vergleich zu Deutschland) große Programmangebot (14 Layer statt 7 Layer) durch einen äußerst effizienten, über die gesamte Nord-Süd-Ausdehnung Italiens (knapp 1.200 km) realisierten SFN-Betrieb. In der Regel werden die nationalen Multiplexe Italiens daher zwischen Mailand und Messina überwiegend auf einer einzelnen Frequenz (SFN-Betrieb) ausgestrahlt (vgl. Abb. 32).<sup>114</sup> Damit erreicht Italien über das ganze Verbreitungssystem einen Re-Use-Faktor von 2,0.<sup>115</sup> Zum Vergleich: Über das gesamte terrestrische DVB-T2-Verbreitungssystem erreicht Deutschland nur einen Re-Use-Faktor von 4,7.

Der Vorschlag zur Fokussierung der Verbreitung auf DVB-T2-Kerngebiete mit verstärkter Harmonisierung der Programm-Bouquets lautet demnach:

- Öffentlich-rechtliche Anstalten verbreiten Ihr Programmangebot künftig vorrangig in DVB-T2-Kernverbreitungsgebieten, in denen sich die Nachfrage nach DVB-T2 konzentriert.
- Die Landesrundfunkanstalten der ARD koordinieren das Bouquet ihres überregionalen Programm-Multiplexes, um eine SFN-Verbreitung ihres überregionalen Programmangebots zu ermöglichen.
- Benachbarte Landesrundfunkanstalten der ARD koordinieren das Bouquet ihrer regionalen Programm-Multiplexe, um eine SFN-Verbreitung in länderübergreifenden Ballungsräumen zu ermöglichen

Im Ergebnis kann der Bedarf an Planeinträgen deutlich gesenkt werden, da die flächendeckende Versorgung unter Berücksichtigung der jeweiligen Sendgebiete der Landesrundfunkanstalten kein notwendiges Kriterium der Frequenzplanung mehr darstellt.

<sup>114</sup> Wo Flächendeckung technisch nicht zu realisieren ist, werde in Einzelfällen (Grenzkoordination o. ä.) auch Randbedeckungen durch 1 bis max. 4 alternative Kanäle versorgt.

<sup>115</sup> Quelle: <http://www.litaliaindigitale.it/muxnazionali/newsmuxnazionali/201804-news-aprile-2018/180410-agcom-procedimento-per-l-adozione-del-piano-nazionale-delle-frequenze-in-dvbt2>

Eine Umstellung bspw. auf bundesweite SFN-Netze stößt auf technische Hürden: Untersuchungen zu SFN-Netzen der EBU haben gezeigt, dass die Nutzung zu großer räumlicher Abdeckungen über eine Frequenz zu einer Verschlechterung der Abdeckung führen kann. Durch ungünstige Anordnung der Senderstandorte und dadurch auftretende Interferenzen reduziert sich die erzielbare Versorgungsabdeckung. Als Lösung bieten sich mehrere kleinräumigere SFNs an, die auf unterschiedlichen Frequenzen arbeiten. In der Studie der EBU wurde exemplarisch für Deutschland eine landesweite Abdeckung unter Nutzung von sieben UHF-Kanälen für einen Multiplex aufgezeigt.<sup>116</sup>

Mit diesen Maßnahmen würde, analog zur existierenden Kanalbelegung von Freenet TV, wie in der nachfolgenden Tabelle dargestellt überschlägig rd. 7 Kanäle (56 MHz) an Spektrum gewonnen. Damit könnte eine Reduktion des Re-Use-Faktors auf 3,5 realisiert werden.

**Abb. 31 Nötiges Spektrum und Versorgungseffizienz (in Haushalten/MHz) zur DVB-T2-Versorgung inner- und außerhalb der Verbreitungskerngebiete**

Betreiber	Allotments mit Sendeanlagen	Belegtes Spektrum	DVB-T2-HH	DVB-T2-HH/MHz
Freenet (3 Muxe) (nur in Kerngebieten)	42 (47,7 %)	168 MHz (21 Kanäle)	2,052 Mio.	12. 214
Öff.-rechtlicher Rundfunk (3 Muxe) (flächendeckend)	88 (100 %)	224 MHz (28 Kanäle)	2,427 Mio.	10.835
<b>Öff.-rechtlicher Rundfunk außerhalb der Kerngebiete (<math>\Delta</math> zu Freenet-Verbreitung)</b>	<b><math>\Delta</math> 46 (52,2 %)</b>	<b><math>\Delta</math> 56 MHz (7 Kanäle)</b>	<b><math>\Delta</math> 0,375 Mio.</b>	<b>6.669</b>

Quelle: Goldmedia/Fraunhofer IIS

In der Folge müssten 15 Prozent der DVB-T2-Empfangshaushalte (358 Tsd. HH = 0,9 Prozent aller TV-Haushalte) aufgrund des neuen Sendegebietszuschnitts auf einen anderen (ggf. bereits vorhandenen) Empfangsweg wechseln. Von den 358 Tsd. betroffenen Haushalten nutzen 301 Tsd. HH bereits das Internet bzw. OTT-Dienste. Maximal 57 Tsd. Haushalte aus dieser Gruppe haben bislang keinen aktiven Internetanschluss (vgl. Kap. 2.2.2), auch wenn ein Anschluss grundsätzlich verfügbar wäre.

Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass ein nicht unerheblicher Teil auch dieser Haushalte DVB-T2 nicht als alleinigen Hauptempfangsweg für Fernsehen, sondern nur als ergänzenden Empfangsweg für TV-Zweitgeräte nutzt. Bei Wegfall von DVB-T2 stünden diesen max. 57.000 Haushalten Stand heute zwar kein bereits vorhandener Internetanschluss zur Verfügung, stattdessen allerdings ein alternativer Empfang über Satellit.

<sup>116</sup> vgl. EBU (2014): TR 029: DVB-T2 Single Frequency Networks and Spectrum Efficiency, 2014

## 7.4.2 Bewertung

Das Spektrum, das durch o. g. Maßnahmen gewonnen werden könnte, würde eine koprime Nutzung des TV-UHF-Bandes ermöglichen, z. B. gemeinsam mit Zivilschutzaufgaben (PPDR). Das geräumte Spektrum i. H. v. 56 MHz entspricht etwa dem von BDBOS und Bundeswehr formulierten künftigen gemeinsamen Spektrumsbedarf von 60 MHz.

Eine zusätzliche, rein militärische Nutzung dieses Spektrums wäre ebenfalls denkbar, falls PPDR-Funkdienste nur regional begrenzt (z. B. in Ballungsräumen) auf dedizierter Infrastruktur (stationäre Sendemasten oder mobile Ad-hoc-Netze) realisiert werden und eine eher im ländlichen Raum und regional begrenzt (Übungsplätze, Marschrouten etc.) stattfindende militärische Nutzung eng mit der BDBOS koordiniert wird.<sup>117</sup> Sofern geplant ist, dieses Spektrum (langfristig) flächendeckend für PPDR zu nutzen, wäre eine zusätzliche, rein militärische Nutzung dieses Frequenzbereichs nicht möglich.

Aus Sicht der DVB-T2-Nutzer in den DVB-T2-Kerngebieten würde sich durch eine Harmonisierung der ARD-Multiplexbelegungen und einer Optimierung der Planeinträge (von einem einmaligen Sendersuchlauf abgesehen) kaum Änderungen ergeben. Ausnahmen wäre ggf. eine geänderte Zusammensetzung der Dritten Programme. Im Sonderfall Nordrhein-Westfalen könnte sich ggf. zudem die Notwendigkeit ergeben, die subregionalen „Lokalzeit“-Fenster vermehrt über IP zuzuführen.

Eine Sekundärnutzung des PPDR-Frequenzblocks ist für PMSE-Dienste nicht möglich, da beide Anwendungen überwiegend im städtischen Bereich genutzt werden und jegliche bidirektionaler Mobilfunknutzung mit PMSE-Nutzung unvereinbar ist. Die empfindlichen Funkmikrofone und In-Ear-Monitore würden durch den Uplink von sendenden Geräten gestört.

Für PMSE-Anwender verblieben in diesem Modell noch über 100 MHz für die Sekundärnutzung im TV-UHF-Band. Damit bliebe ein Grund- bzw. Sockelbedarf für alltägliche Anwendungen weiter abgedeckt. Zusätzliche Kapazitäten müssten jedoch für größere und Groß-Veranstaltungen geschaffen werden. Hier müsste ggf. im Paket über eine Änderung der Mitnutzungsmöglichkeiten des Mid-Bands im Frequenzbereich 1350 MHz bis 1492 MHz durch Funkmikrofone entschieden werden. Dieses Spektrum ist aktuell nur für Indoor-Anwendungen und nur auf Anfrage nutzbar.

Eine Mitnutzung des freiwerdenden Spektrums an den öffentlichen Mobilfunk wäre ebenfalls grundsätzlich denkbar, falls breitbandige PPDR-Dienste zukünftig (in Teilen) über öffentlichen Mobilfunknetzen bzw. in einem anderen Frequenzband realisiert würden.

Dann verbliebe ein Koordinierungsbedarf für die militärische Mitnutzung des Frequenzbandes durch die Bundeswehr. Dieser Mitnutzungsbedarf bestünde lokal dauerhaft für die Beübung sowie entlang wichtiger Marschrouten und zeitlich begrenzt örtlich übergreifend für Großübungen und Host Nation Support.

Grundvoraussetzung wäre, dass zum Zeitpunkt der militärischen Nutzung keine Anwendungen des öffentlichen Mobilfunks in dem Bandabschnitt aktiv sind. Ob Störungen

---

<sup>117</sup> Um Probleme durch Überreichweiten etc. ausschließen zu können, müsste in Gebieten mit militärischer Nutzung oder in Gebieten, die an militärische Nutzungen angrenzen, PPDR-Funk auf anderen Frequenzen oder über öffentliche Mobilfunknetze realisiert werden.

allein durch Abschalten von Mobilfunkantennen bzw. Abstandregelungen von militärischen Übungsgebieten für die TV-UHF-Band-Nutzung vermieden werden können, müsste geprüft werden.

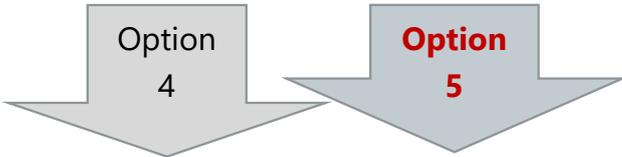
## 7.5 Option 5: Fokussierung auf DVB-T2-Kernverbreitungsgebiete sowie Reduktion der terrestrischen Programmbouquets

### 7.5.1 Darstellung der Option

Um weiteres Spektrum im TV-UHF-Band für andere Funkdienste bereitzustellen, kann die zuvor beschriebene Option 4 um zusätzliche Maßnahmen erweitert werden. Signifikantes zusätzliches Spektrum ließe sich dienstbar machen, wenn man die Zahl der plan-koordinierten nationalen DVB-T2-Layer von 6 auf 5 oder 4 nationale Multiplexe reduzieren würden.

Damit ließen sich, in Kombination mit den Maßnahmen aus Option 4, zwischen 84 und 112 MHz Spektrum für andere Funkdienste erzielen.

**Abb. 32 Spektrumsgewinne durch zusätzliche Reduktion von DVB-T2-Layern (Multiplexe)**



<b>Reduktion um ... Multiplexe</b>	<b>0 Muxe</b>	<b>1 Mux</b>	<b>2 Muxe</b>
Weiter durch DVB-T2 belegtes Spektrum	168 MHz	140 MHz	112 MHz
<b>Spektrumsgewinn</b>	<b>56 MHz</b>	<b>84 MHz</b>	<b>112 MHz</b>

Quelle: Goldmedia/Fraunhofer IIS

Um die daraus resultierende Verringerung des Programmumfangs der terrestrischen Programmübertragung auszugleichen, müssen verstärkt Programme IP-basiert an die Nutzer zugeführt werden. Dies ist aktuell bereits bei der Freenet TV-Plattform auf Basis des HbbTV-Standards etabliert. Der hybride TV-Standard HbbTV ermöglicht es seit 2010, dass Internetinhalte über den DVB-T2-Transportstrom an das empfangende Endgerät signalisiert werden. Solange das Endgerät an das Internet angeschlossen ist, können Broadcast-Inhalte bei Bedarf auch über das Internet (over-the-top) empfangen werden. Das terrestrische Bouquet wird damit um zusätzliche Programme erweitert, die nicht terrestrisch verbreitet werden, aber dennoch empfangbar sind. Aus Nutzersicht entsteht bei einer solch hybriden Nutzung aus Terrestrik und Internet kein Medienbruch. Das Freenet TV-Portal muss bei einer solch hybriden Nutzung nicht verlassen werden. In Zukunft könnte der DVB-I-Standard die Nutzung onlinebasierten Programmverbreitung noch deutlich vereinfachen (vgl. Kap. 2.4). Auch ein dynamischer automatischer Umstieg von Broadcast und Internetinhalten ist möglich, um beispielsweise für einzelne

Programmteile das Broadcast-HD-Signal temporär durch einen OTT-Stream ersetzen zu können. Dies kann zum Beispiel für lokale und regionale Fensterprogramme relevant sein, oder falls für einen Programmteil eine höhere Auflösung (UHD) über das Internet angeboten wird.

## 7.5.2 Bewertung

Die Reduktion der nationalen DVB-T2-Layer würde dazu führen, dass entweder die öffentlich-rechtlichen Sendergruppen oder die Freenet AG (oder beide) bislang terrestrisch verbreitete Programme auf eine IP-basierte Übertragung umstellen müssten. Sofern nur ein Layer reduziert würde, müsste ggf. ein Kompromiss zwischen den beteiligten Sendernetzbetreibern geschlossen werden, um eine Partei nicht übermäßig zu benachteiligen.

Die Verlagerung von 5 bis zu 14 Programmen auf eine IP-Übertragung stellt bei dem heute verfügbaren Programm bouquet aus Nutzersicht keinen Technologiewechsel dar. Ohne vernetztes Endgerät werden sie weiterhin die reichweitenstärksten Programme aller Veranstaltergruppen über DVB-T2 empfangen können. Zudem sind spätestens seit 2015 sämtliche Smart-TVs und DVB-T2-Receiver (Set-Top-Boxen) in Deutschland mit der entsprechenden Technik ausgerüstet. In Zukunft könnten zudem auch die sich stärker verbreitenden HDMI-Sticks mit dem künftigen branchenübergreifenden DVB-I-Standard ausgerüstet sein.

Für die Dienstebetreiber im Bereich PPDR (BDBOS und Bundeswehr) böte Option 5 die Möglichkeit, die kommunizierten Bandbreitenbedarfe im TV-UHF-Band ab 2031 besser bzw. vollständig decken zu können.

Die Bundeswehr würde von dieser Option profitieren, da Option 5 die Möglichkeit bietet, einen größeren zusammenhängenden Frequenzblock für eine primär militärische Nutzung zuzuteilen. Die Bundeswehr wäre damit ggf. in der Lage, bei Bedarf und unter Mitnutzung der PPDR-Frequenzen flächendeckend ein Spektrum von bis zu 100 MHz für die taktisch-mobile Breitbandkommunikation zu nutzen.

Von einer dedizierten Zuweisung von Spektrumsanteilen für rein militärische Zwecke könnten auch die PMSE-Funkdienste profitieren, da dieses Spektrum in Ballungsräumen grundsätzlich vollständig für eine Sekundärnutzung durch PMSE zur Verfügung stünde.

Der Veranstaltungsfunk PMSE und die taktisch-mobilen militärischen Funkanwendungen fallen räumlich nicht zusammen und sind im Bedarfsfall zu Friedenszeiten koordinierbar. Eine Mitnutzung des militärischen Spektrums durch PMSE-Dienste wird auch von der Bundeswehr als gut vereinbar angesehen.

Teilt man die mit einer Reduktion von zwei Multiplexen gewonnenen 112 MHz hälftig auf PPDR und Militär auf, verbleibt für PMSE durch Lückennutzung im verbleibenden Broadcast-Band von 112 MHz und vollständiger Nutzung eines militärischen Bandes von 56 MHz gegenüber der heutigen Situation in etwa derselbe Spektrumsumfang.

Sofern nur ein nationaler DVB-T2-Layer reduziert würde, wäre zu prüfen, ob auch bei einem Frequenzgewinn von „nur“ 84 MHz eine Teilung des Frequenzbandes in einen PPDR-Teil und einen rein militärischen Teil sinnvoll wäre. Nur ein dediziert für die militärische Nutzung zugewiesener Frequenzbereich könnte durch PMSE-Dienste mitgenutzt werden.

Unter dieser Voraussetzung kann auch zukünftig das aktuell im TV-UHF-Band verfügbare Spektrum weiter für PMSE bereitgestellt werden. Für den Großteil der kleinen und mittleren Veranstaltungen dürfte das im TV-UHF-Band weiterhin mitnutzbare Spektrum ohnehin ausreichend sein, sodass der Großteil des aktuellen Equipments, der das Mid-Band nicht nutzen kann, auch nicht vorzeitig gegen neues Equipment ausgetauscht werden muss.

Wie in Option 4 sollten auch bei Option 5 die Nutzungsoptionen für PMSE im Mid-Band (1350-1492 MHz) um eine Outdoor-Nutzung erweitert werden, um das aktuell nutzbare Gesamt-Spektrum vollständig zu erhalten und Wachstumspotenziale für Großveranstaltungen zu bieten.

Zusätzlich wäre auch in diesem Szenario denkbar, dass der öffentliche Mobilfunk dieses Spektrum mitnutzt. Eine regional koordinierte, vollständige Mitnutzung des freiwerdenden Spektrums wäre ggf. möglich, wenn neben der militärischen Nutzung auch der eigene Netzbetrieb durch PPDR regional begrenzt bleibt (Hybrider Betrieb) oder PPDR-Breitbanddienste vollständig auf öffentlichen Mobilfunknetzen abgebildet werden.

In diesem Fall verblieben jedoch für PMSE-Anwendungen jenseits der deutlich reduzierten freien Kapazitäten im verbleibenden DVB-T2-Spektrum vermutlich keine weiteren Mitnutzungsoptionen in diesem Spektrum.

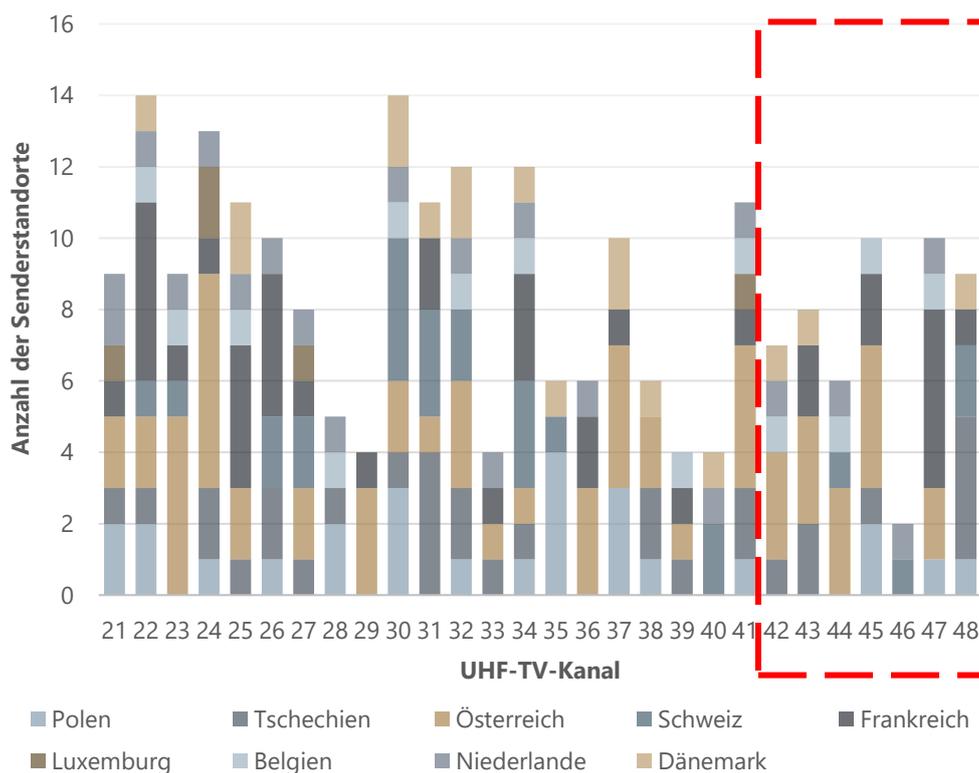
## 7.6 Eignung von Frequenzbereichen unter Berücksichtigung der Anrainer-Koordinierung

Um 56 bis 112 MHz an zusammenhängendem Spektrum im TV-UHF-Band in Deutschland für Mobilfunkdienste zu erzielen, wird die Räumung von rd. 7 bis 14 der 28 TV-Kanäle notwendig.

Dies hat vor allem in den Grenzregionen mit den Anrainerstaaten Konsequenzen, da hier voraussichtlich auch nach 2031 weiterhin terrestrischer Rundfunk übertragen wird. Mobilfunk- oder PPDR-Sender auf der deutschen Seite der Grenzregion und DVB-T2-Sender auf der Anrainer-Seite würden sich gegenseitig stören. Daher ist es für eine flächendeckende ko-primäre Nutzung in Deutschland notwendig, dass auch in den Grenzregionen der Anrainerstaaten der betreffende Frequenzbereich geräumt wird.

Die Analyse des aktuell von den Anrainern genutzten Spektrums ergibt, dass Spektrum am oberen TV-Band in Grenzregionen wahrscheinlich einfacher zu räumen ist. Dies wird in den nachfolgenden Grafiken nach Kanalnummern (Abb. 33) und nach Anrainerstaaten (Abb. 34) geordnet dargestellt.

**Abb. 33: Aggregiert Belegung an UHF-TV-Kanälen durch Anrainer in Grenzregionen zu Deutschland**



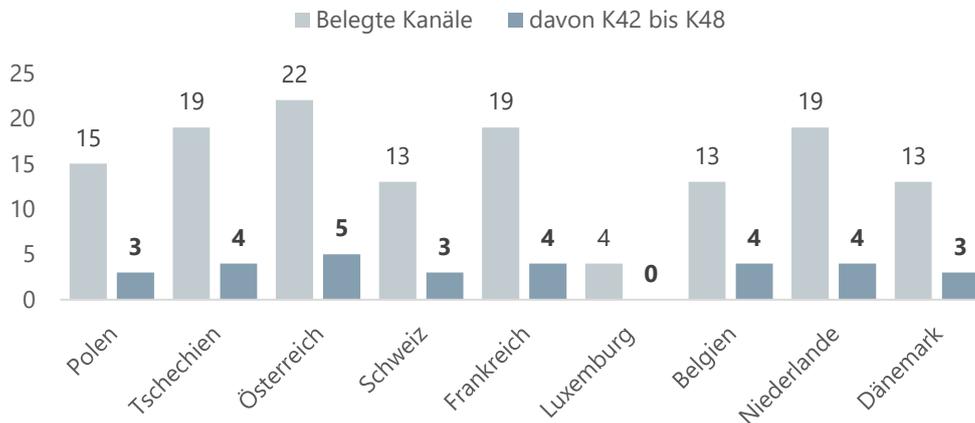
Quelle: Goldmedia/Fraunhofer IIS auf Basis von Bundesnetzagentur – UHF Rechtlayer DVB-T2, Stand 26.09.2017

Abb. 34 verdeutlicht, dass in den Anrainerstaaten im oberen Bereich des TV-UHF-Bandes derzeit etwa 3-5 Kanäle durch Multiplexe belegt sind, die bei einer Mobilfunknutzung in Deutschland den Kanal wechseln müssten.

Anrainer wie Polen, Frankreich, und Tschechien würden für 2031 aufgrund der stärkeren Nutzung von DVB-T2 als TV-Empfangsweg vermutlich keine ko-primäre Zuteilung im

TV-UHF-Band vornehmen. Auf Basis einer grundlegenden WRC-Entscheidung (2023) zugunsten einer ko-primären Nutzung und anschließender Übernahme in EU-Beschlüsse bestünde hier jedoch ein Verhandlungsgebot für eine Neukoordinierung der Frequenzen.

**Abb. 34: Grenznahe Kanalbelegung durch Anrainer im gesamten TV-UHF-Spektrum sowie im oberen Frequenzbereich ab Kanal 42, 2017**



Quelle: Goldmedia/Fraunhofer IIS auf Basis von Bundesnetzagentur – UHF Reichtelayer DVB-T2, Stand 26.09.2017

Weitere Vorteile, die sich, neben einer leichteren Koordinierbarkeit, am oberen TV-UHF-Band ergeben, sind:

1. Das obere TV-UHF-Band grenzt unmittelbar an einen bereits zugeteilten PPDR-Block bei 698 MHz – 703 MHz an. Da die Notwendigkeit für ein Guard-Band zwischen 694 MHz und 698 MHz nicht weiter gegeben wäre, würde sich das für PPDR nutzbare Spektrum um weitere 9 MHz erhöhen.
2. Teile des oberen TV-Frequenzbereichs sind bereits international als 5G-Band definiert (Band 71, 617-698 MHz). Dieses Band wird etwa in den USA für den öffentlichen Mobilfunk verwendet. Damit bieten sich perspektivische Vorteile für die künftige Verfügbarkeit von Endgeräten in diesem Frequenzband, da bereits für einen großen Mobilfunkmarkt Chipssets für diesen Frequenzbereich produziert werden.

Wollte man das gesamte Band 71 mit seiner Spektrumspaarung (617 – 652 Downlink, 663 – 698 Uplink) nutzen, müsste jedoch eine Änderung der aktuellen Frequenzzuteilung für BOS-Dienste im Frequenzbereich 698 MHz – 703 MHz erfolgen. Unter diesen Bedingungen könnte eine Mobilfunknutzung in Band 71 ermöglicht werden, die auch Blockweise auf PPDR und öffentlichen Mobilfunk verteilt werden könnte.

Die militärische Bedarfe der Bundeswehr könnten mit einem FDD konfigurierten Bandprofil vermutlich kaum bedient werden, weil militärische Anwendungen mehr Flexibilität in der Bandnutzung erfordern.

Zudem würde bei einer Nutzung von Band 71 durch Mobilfunktechnik das (mit-)nutzbare Spektrum von PMSE auf 115 MHz reduziert. Dies würde den Bedarf von PMSE an Mitnutzbarkeit anderer Frequenzbereiche im Mid-Band (für die dann wiederum Technik am Markt verfügbar sein muss) deutlich erhöhen.

## 7.7 Zwischenfazit: Optionen einer kooperativen Nutzung des TV-UHF-Bands

Die Analyse der Optionen, wie Teile des TV-UHF-Spektrums für eine ko-primäre Nutzung durch Mobilfunk-Dienste nutzbar gemacht werden können, ergab Folgendes: Aus heutiger Sicht erscheinen die geprüften Optionen 4 und 5 geeignet, um bedarfsgerecht und mit vertretbarem Aufwand Spektrum für die bisherigen Incumbents sowie für neue, ko-primärer Funkdienste (Mobilfunk, PPDR und Militär) zur Verfügung zu stellen.

Die Optionen 1 bis 3 generieren nicht genügend Spektrum für zusätzliche Dienste bzw. erfordern einen hohen finanziellen Aufwand für die Umstrukturierung der Sendernetzstrukturen. Zudem ist zu berücksichtigen, dass durch die Notwendigkeit der Neuschaffung von Empfangsgeräten die Nutzerbasis des terrestrischen Fernsehens deutlich verkleinert würde.

Durch eine Harmonisierung der Verbreitungsgebiete der öffentlich-rechtlichen Anbieter mit dem Verbreitungsgebiet der privaten TV-Sender, welche durch die Freenet AG ausgestrahlt werden (Option 4), könnten abgeschätzt bis zu 56 MHz bereitgestellt werden. Durch eine darüberhinausgehende Einschränkung des terrestrisch verbreiteten Programmangebots (Option 5) könnten abgeschätzt in Summe bis zu 112 MHz bereitgestellt werden.

Damit könnten die Spektrumsforderungen von PPDR und Militär zu größeren Teilen oder sogar vollständig bedient werden. Eine zusätzliche koordinierte Mitnutzung dieses Spektrums durch den öffentlichen Mobilfunk wäre ebenfalls denkbar. Voraussetzung wäre, dass PPDR-Breitbanddienste in Hybridmodellen (mit regional begrenztem eigenem Netzbetrieb) oder vollständig im öffentlichen Mobilfunknetz umgesetzt werden.

Folgende Rahmenbedingungen blieben in allen Fällen bestehen:

- a) Weiternutzung des TV-UHF-Bandes für die terrestrische TV-Verbreitung ohne Technologiewechsel für Dienstebetreiber und TV-Nutzer
- b) Entwicklungsperspektiven für mobile TV-Angebote auf Basis von 5G-NR-Broadcast im Eigenbetrieb des Rundfunks
- c) Mitnutzbares Spektrum für PMSE-Anwendungen für kleinere und mittlere Veranstaltungen (Sockelbedarf)

Weitere wichtige Nebenbedingungen dieser Optionen sind

1. eine zukünftige Outdoor-Nutzbarkeit des Mid-Bands im Frequenzbereich 1350 MHz bis 1492 MHz durch PMSE, um den absehbaren Steigerungsbedarfe der Branche bei größeren und Groß-Veranstaltungen zu bedienen und
2. eine stärkere technische Verschränkung von DVB-T2-Rundfunk und IP-Streaming unter Einsatz von HbbTV- und ggf. DVB-I-Standards.

## 8 Hauptszenario Mobilfunk als Primärnutzer des UHF-Bandes

### 8.1 Einstellung einer terrestrischen Rundfunk-Verbreitung linearer TV-Programme

#### 8.1.1 Darstellung der Option

Sollte die Entscheidung getroffen werden, dass aufgrund sinkender Relevanz der linearen TV-Übertragung über die Terrestrik der DVB-T2-Sendebetrieb zugunsten anderer Dienste eingestellt werden soll, stünde inländisch das gesamte TV-UHF-Spektrum für Mobilfunkanwendungen zur Verfügung. Hier stellt sich dann die Frage nach der Aufteilung des Spektrums unter den Stakeholdern PMSE, Mobilfunk, BOS und Bundeswehr.

Auch in einem solchen Szenario wäre zu klären, ob und welche PPDR-Funkdienste zukünftig (in welchen Regionen) auf Basis eigener Frequenzen im TV-UHF-Band umgesetzt werden sollen und welche Dienste ggf. auch Netze des öffentlichen Mobilfunks mitnutzen können.

Zur Vermeidung von Störungen der PMSE-Anwendungen müsste ein Frequenzspektrum von rund 100 MHz in Frequenzblöcken von bis zu 10 MHz bereitstehen, das in städtischen Bereichen für Veranstaltungsfunk genutzt werden kann. Damit wäre zumindest der 2014 definierte Sockelbedarf für PMSE abgedeckt.

Konkret bedeutet das: Öffentlicher Mobilfunk oder auch PPDR-Dienste, die im TV-UHF-Band aktiv werden, müssten im Umkreis städtischer Bereiche Spektrum im o. g. Umfang auf dem TV-UHF-Band freihalten.

Grundsätzlich ist denkbar, dass diese Spektrumsressource mit zunehmendem Einsatz digitaler Systeme (z. B. unter Verwendung von Cognitive-Radio-Networks) flexibel zwischen 470 und 694 MHz bereitgestellt werden kann. Um eine anmeldefreie Nutzung zu ermöglichen, müsste jedoch ein konkretes Spektrum definiert werden.

Eine Sekundärnutzung von PMSE-Geräten in rein militärischem Spektrum erscheint, wie in Kap. 7 dargestellt, hingegen ohne größeren koordinativen Aufwand möglich.

#### 8.1.2 Bewertung der Option

In dieser Option stünde grundsätzlich das gesamte TV-UHF-Spektrum für Mobilfunkanwendungen der Stakeholder PMSE, öffentlicher Mobilfunk, BOS und Bundeswehr zur Verfügung. Eine effiziente Nutzung dieses Spektrums könnte erreicht werden, wenn Spektrumsanteile für bestimmte Anwendungen lokal und regional zum Einsatz kommen können. Zu diesen lokalen/regionalen Anwendungen zählen zumindest PMSE und die militärischen Anwendungen. Ggf. werden zukünftig auch die breitbandigen PPDR-Dienste ebenfalls nur regional/lokal eigenständig betrieben.

Die von diesen Anwendungen genutzten Spektren könnten außerhalb bestimmter Radien vom öffentlichen Mobilfunk genutzt werden.

Dies bedeutet konkret, der öffentliche Mobilfunk könnte einen bestimmten Anteil des heutigen TV-UHF-Spektrums ohne Einschränkungen nutzen. Der andere Anteil könnte je nach Bedarf koordiniert genutzt werden. Sofern PPDR-Breitbandnetze in städtischen

Bereichen durch BOS und Bundeswehr selbst genutzt werden, könnten sowohl für PMSE als auch für PPDR Spektrumsressourcen in städtischen Bereichen reserviert werden. Hinzu kämen Militärstandorte, Übungsareale und Marschrouten, die dauerhaft oder anlassbezogen militärisch genutzt werden. Für diese Orte und Strecken müssten ebenfalls Spektrumsressourcen für breitbandige Militär-Anwendungen freibleiben.

Zudem wäre die Frage, ob im ländlichen Raum zeitlich begrenzt weiterer PMSE-Bedarf bedient werden kann, um bspw. Festivals durchzuführen. In diesen Fällen hätte auch dort eine Mobilfunknutzung in den definierten Spektrumsbereichen zu unterbleiben.

Welche Flächen damit übrig bleiben, um störungsfrei das vorrangig für PPDR, Militär und PMSE nutzbare Spektrum für öffentlichen Mobilfunk einzusetzen, wäre zu prüfen. Als Option, um insbes. im ländlichen Raum die mobilen Datenraten weiter zu erhöhen, erscheint eine solche Konstellation allerdings sinnvoll.

Ein weiterer eingrenzender Faktor wäre jedoch die längere oder anhaltende DVB-T2-Nutzung in Anrainerstaaten: Schaut man auf die in Kap. 7.6 dargestellte Nutzung des UHF-Spektrums für die DVB-T2-Übertragung durch die Anrainer, wird deutlich, dass eine vollständige und flächendeckende Nutzung des TV-UHF-Nutzung durch Mobilfunkdienste intensiv koordiniert werden müsste. Dies scheint nur im Rahmen einer europaweiten Koordinierung möglich.

Das könnte bedeuten, dass man (wie in Kap. 7.6 dargestellt) zuerst nur den oberen Teil des Spektrums für eine flächendeckende Mobilfunknutzung in Deutschland mit den Anrainern neu koordiniert. Lokale Anwendungen von Militär, PMSE und ggf. auch PPDR (wenn nicht als flächendeckendes Breitbandnetz betrieben) könnten hingegen in Frequenzbereichen stattfinden, in denen die Anrainer weiterhin DVB-T2 nutzen. Das damit verbundene Störpotenzial<sup>118</sup> und die daraus resultierenden, (vor allem in den Grenzregionen) tatsächlich nutzbaren Spektrumsanteile können im Rahmen dieser Studie nicht analysiert werden.

## **8.2 Zusatzoption: 5G-NR-Broadcast-Übertragung linearer TV-Programme durch öffentlichen Mobilfunk**

### **8.2.1 Darstellung der Option**

Für den Rundfunk müsste eine Einstellung von DVB-T2 und Übertrag der Kapazitäten an den Mobilfunk nicht zwangsweise das Ende einer Broadcast-Übertragung in diesem Spektrum bedeuten. Zum einen bestünde die Option, dass der öffentlich-rechtliche Rundfunk und ggf. auch Freenet TV einen MNO damit beauftragt, das lineare TV-Angebot über 5G-NR-Broadcast im eigenen Netz zu verbreiten. Die zweite Option bestünde darin, nur ein mobiles Angebot zusammen mit einem MNO in einem Mobilfunknetz über 5G-NR-Broadcast zu realisieren.

Durch den Einsatz von Slicing könnte die Übertragung von Rundfunkinhalten getrennt von den restlichen Mobilfunkanwendungen des Netzbetreibers erfolgen. Ein solches,

---

<sup>118</sup> Die Polizei hätte ggf. Bedarf für breitbandige PPDR-Funkdienste auch auf der anderen Seite einer Grenzregion, um flüchtige Straftäter im Zuge der Nacheile verfolgen zu können.

logisch getrenntes „Fernsehnetz“ wäre u. U. zur Gewährleistung des Quality-of-Service notwendig. Zum Empfang kämen in den Empfangsgeräten adressierbare SIM-Karten zum Einsatz, die nur den Fernsehempfang ermöglichen.

Wie in Kap. 2.5.2.2 dargestellt, ist es technisch möglich, dass 5G-Broadcast auch dynamisch bereitgestellt wird. TV-Programme, die nur von wenigen Zuschauern in einer Funkzelle nachgefragt werden, könnten als Unicast (Webstream) ausgeliefert werden. Wenn sich aber viele Zuschauer für das gleiche Programm interessieren, kann das Netz nahtlos zwischen den Betriebsarten Unicast und Multicast (bzw. Broadcast) umschalten, um Skaleneffekte zu generieren.

Die Nutzung einer regulären zellenbasierten Infrastruktur ermöglicht es, auch ohne den Einsatz von SFNs in benachbarten Zellen die gleiche Frequenz zu nutzen (Cell Reuse Faktor 1). Bei einer nutzungsabhängigen Übertragung von Programminhalten (als Uni- bzw. Multicast) lässt sich so die verfügbare Bandbreite pro Zelle optimal ausnutzen.

Damit könnten im Vergleich zur Signalverbreitung durch Rundfunksender der für die Fernsehverbreitung genutzte Spektrumsanteil bei geringer Fernsehnutzung dynamisch reduziert werden.

## 8.2.2 Bewertung

Ein dynamischer Sendernetzbetrieb über das 5G-Sendenetz eines Mobilfunknetzbetreibers würde es ermöglichen, das genutzte Spektrum für 5G-NR-Broadcast dynamisch zu optimieren, um bei geringer Nachfrage Spektrum für andere Mobilfunkdienste bereitzustellen.

Relevant für die Bewertung ist, dass ein Sendernetzbetrieb durch einen Mobilfunknetzbetreiber einen Paradigmenwechsel darstellen würde: Die ARD-Anstalten betreiben zumindest in den alten Bundesländern ihr DVB-T2-Sendenetz in Eigenregie. Gleiches gilt für Freenet TV, wo Media Broadcast im Konzernverbund die Sender betreibt. Da Media Broadcast nur begrenzt über eigene Sendetürme verfügt, mietet das Unternehmen für seine Kunden Stellflächen bei der Deutschen Funkturm AG und anderen Funkturm-betriebsgesellschaften (TowerCos) an.

Eine Verlagerung des Broadcast-Betriebs auf die Netzinfrastrukturen eines MNOs würde (anders als bei einer Umstellung eigener DVB-T2-Sender) den Aufbau neuer Sendefunkinfrastruktur erforderlich machen. Ggf. sind auch zusätzliche Leitungsanbindungen für die Signalführung notwendig. Zusätzliche Kosten könnten durch Forderung nach höherer Ausfallsicherheit (Redundanzen z. B. bei der Stromversorgung) entstehen. Dies könnte sich preislich in den Angeboten für eine Rundfunkverbreitung über Mobilfunknetze niederschlagen.

Hier wäre zu prüfen, ob ein solcher Kostenaufwand für Dienste mit unklarem Marktpotenzial – sei es ein stationäres oder mobiles 5G-NR-Broadcast-Angebot – finanzierbar bzw. wirtschaftlich realisierbar wäre.

Zudem wäre bei einer Integration des Sendernetzbetriebs in ein bestehendes Mobilfunknetz die Verwaltung der e-SIM-Karten für den Fernsehempfang zu klären: Hier müsste die e-SIM-Infrastruktur eines MNOs den kostenfreien und kostenpflichtigen Empfang für alle TV-Nutzer in Deutschland ermöglichen.

Zumindest für den öffentlich-rechtlichen Rundfunk, der bestrebt ist, kostenfreie Empfangsmöglichkeiten für beitragsfinanzierte, lineare TV-Programme zu bewahren, könnte

auch eine andere Lösung gefunden werden: Im Gegenzug für Spektrum im TV-UHF-Band könnten MNOs die mobile Nutzung der öffentlich-rechtlichen TV-Programme für alle Mobilfunkkunden kostenfrei gestalten. Eine solche Option der Live-TV-Nutzung ohne Anrechnung auf das bezahlte Mobilfunkdatenvolumen (Streaming-Flatrate) besteht derzeit nur im Rahmen von Premium-Abonnements.

## 9 Rechtliche Bewertung

Aus rechtlicher Sicht stellen sich insbesondere die implizierten Änderungen der Verbreitung des öffentlich-rechtlichen Rundfunks als (verfassungsrechtlich) prüfbedürftig heraus. Das Rundfunk(verfassungs-)recht ist dabei im Wesentlichen durch die Rechtsprechung des Bundesverfassungsgerichts geformt, die daher, soweit vorliegend relevant, zunächst kurz zu umreißen ist, auch um den Gesamtkontext in seiner Genese besser zu verstehen (8.1.). Denn das Rundfunk(verfassungs-)recht ist für die Beantwortung von drei eng verwobenen rundfunkverfassungsrechtlichen Fragen von Bedeutung, die sich angesichts der sich abzeichnenden Option einer reduzierten DVB-T2-Verbreitung stellen: Erstens ist zu prüfen, ob eine Reduktion der terrestrischen Verbreitung rundfunkverfassungsrechtlich insoweit problematisch ist, als DVB-T2 als umfassende terrestrische Verbreitungsform Gegenstand der verfassungsrechtlich zwingend vorgesehenen Grundversorgung ist und daher die denkbaren Reduktionen bzw. Modifikationen der DVB-T2-Verbreitung gegebenenfalls verfassungsrechtlich unzulässig sind (8.2). Sofern in den Szenarien teilweise die mobile terrestrische Rundfunkverbreitung von DVB-T2 auf anderweitige Verbreitungsarten verlagert wird, die als Infrastrukturen nicht mehr vom öffentlich-rechtlichen Rundfunk, sondern von Dritten betrieben werden, sei es ein in Form eines verstärkten Rückgriffs auf die „klassischen“ Hauptübertragungswege der Kabelnetz- und Satellitenbetreiber oder zunehmend auf Anbieter breitbandigen Internets (IP-TV-, OTT- oder privaten Mobilfunkanbieter (MNOs) im Fall der 5G-Verbreitung), ist zweitens zu untersuchen, ob aus verfassungsrechtlicher Sicht die Übertragungsinfrastruktur einer (terrestrischen) Versorgung in der Hand des öffentlich-rechtlichen Rundfunks liegen muss (8.3). Schließlich stellt sich drittens die Frage, ob im Fall des reduzierten und anschließend beschränkten eigenständigen Rückgriffs des öffentlich-rechtlichen Rundfunks auf eine terrestrische Verbreitungsinfrastruktur die Geltendmachung des Rundfunkbeitrags in Frage gestellt wird bzw. inwiefern aus rundfunk(verfassungs)rechtlicher Sicht das Vorhalten einer kostenlosen Verbreitungsinfrastruktur für den öffentlich-rechtlichen Rundfunk geboten ist (8.4). Nach Beantwortung der drei aufgeworfenen Fragen ist eine resümierende Zusammenfassung möglich (8.5).

### 9.1 Die vorliegend relevante verfassungsgerichtliche Überformung des Rundfunkrechts

Zu untersuchen ist also, inwiefern sich aus dem Verfassungsrecht und insbesondere aus dem Grundversorgungsgebot spezifische Anforderungen für die Verbreitung des öffentlich-rechtlichen Rundfunks auf der Transportebene ergeben und wie insofern das Zusammenspiel mit dem Rundfunkbeitragsrecht zu sehen ist. Wie soeben angeführt, ist das Rundfunkverfassungsrecht insoweit im Wesentlichen durch die Rechtsprechung des Bundesverfassungsgerichts geprägt.<sup>119</sup> Das Bundesverfassungsgericht hat angesichts der Sondersituation des Rundfunks für die Rundfunkfreiheit die entsprechenden objektiven Grundrechtsgehalte ausgreifend entwickelt und daraus umfassende Anforderungen an den gesetzlichen Ordnungsrahmen in Bezug auf die Staats-, Partei- und Wirtschaftsförderung des Rundfunks und das damit primär bezweckte Ziel der Meinungsvielfalt abgeleitet. Dabei ist kaum ein Grundrecht derart überformt worden durch die Rechtsprechung des Bundesverfassungsgerichts wie die Rundfunkfreiheit.<sup>120</sup> Allerdings ist

<sup>119</sup> Die folgenden Ausführungen orientieren sich zum Teil an *Kühling*, BeckOKInfoMedien, Art. 5 Rn. 45 ff.

<sup>120</sup> Absatz entnommen aus *Kühling*, BeckOKInfoMedien, Art. 5 Rn. 45.

dieser primäre Fokus der Absicherung des Pluralismus auf der *Inhalteebene* stets im Auge zu behalten, wenn Fragen der Konsequenzen für die *Transportebene* daraus gezogen werden.<sup>121</sup>

Das Verhältnis vom Rundfunk- zum Telekommunikationsrecht und damit von der Inhalte- zur Übertragungsebene wurde vom Bundesverfassungsgericht schon sehr früh im Jahr 1961 in dessen erstem Rundfunkurteil so aufgelöst, dass den fernmeldetechnischen Einrichtungen mit Blick auf den Rundfunk als Ganzes eine untergeordnete und dienende Funktion zukomme.<sup>122</sup> Es liegt nach dieser Rechtsprechung ein Vorrangverhältnis des Rundfunks vor.<sup>123</sup> Dies dient der Absicherung der Staatsfreiheit des Rundfunks und soll ebenso eine Beeinflussung rundfunkrechtlicher Entscheidungen durch den Bund verhindern.<sup>124</sup> Mit Blick auf die Rundfunkfreiheit war vor allem entscheidend, dass das Gericht auch vor dem Hintergrund der historischen Erfahrungen den Rundfunk einerseits als öffentliche Aufgabe qualifiziert<sup>125</sup>, die jedoch andererseits staatsfern zu organisieren sei.<sup>126</sup> Das Urteil betont zugleich die wichtige Rolle der Rundfunkfreiheit für die öffentliche Meinungsbildung und erstreckt diese keineswegs nur auf die politisch relevanten Themen und Formate, sondern auch auf den Unterhaltungsbereich, was für die anschließende Expansion des öffentlich-rechtlichen Rundfunks von Bedeutung ist.<sup>127</sup> Diese Ansicht wurde in weiteren Entscheidungen fortgeführt und weitere Einzelheiten zur Stellung des Rundfunks geklärt.<sup>128</sup> Damit wird zwar das dienende, nachrangige Verhältnis der Telekommunikationsinfrastruktur betont, aber zugleich auch deutlich gemacht, dass es aus rundfunkverfassungsrechtlicher Sicht im Kern auf die Bereitstellung entsprechender inhaltlicher Angebote ankommt.

Weniger grundlegender und eher bestätigender Natur ist die zehn Jahre später ergangene 2. Rundfunk-Entscheidung vom 27.7.1971<sup>129</sup>. In der Sache ging es um die verfassungsrechtliche Zulässigkeit der Qualifikation der Tätigkeit der Rundfunkanstalten als gewerblicher oder beruflicher Art, um sie anschließend einer Mehrwertsteuer zu unterwerfen. Das Bundesverfassungsgericht verneinte dies unter Anknüpfung an die 1. Rundfunk-Entscheidung und den dort hervorgehobenen öffentlichen Aufgabencharakter des Rundfunks.<sup>130</sup> Ergänzend weist das Gericht dem Rundfunk als „einem der mächtigsten Kommunikationsmittel und Massenmedien“<sup>131</sup> in Anlehnung an die Integrationslehre Smends<sup>132</sup> eine „integrierende Funktion für das Staatsganze“ zu<sup>133</sup>, die „nicht dem freien Spiel der Kräfte überlassen werden“ dürfe<sup>134</sup>. Es bleibt also bei dem Fokus auf der inhaltlichen Bedeutung des öffentlich-rechtlichen Rundfunks.

<sup>121</sup> Zu dieser zentralen Unterscheidung der verschiedenen Ebenen grundlegend *Kühling*, Sektorspezifische Regulierung in den Netzwirtschaften, 2004, S. 46 ff. und sodann zur Inhalteebene S. 113 ff.

<sup>122</sup> BVerfGE 12, 205; *Holznel*, Frequenzeffizienz und Rundfunkspektrum, MMR 2008, 207 (209).

<sup>123</sup> BVerfGE 12, 205; *Holznel*, MMR 2008, 207 (209).

<sup>124</sup> BVerfGE 12, 205; *Holznel*, MMR 2008, 207 (209).

<sup>125</sup> BVerfGE 12, 205 (246) – Deutschland-Fernsehen; umfassend hierzu *Paulus/Nölscher*, ZUM 2017, 177 (177 f.).

<sup>126</sup> BVerfGE 12, 205 (260 ff.) – Deutschland-Fernsehen; zur Bedeutung der Staatsferne im Zeitalter der Medienkonvergenz *Paulus/Nölscher* ZUM 2017, 177 (178).

<sup>127</sup> Absatz entnommen aus *Kühling*, BeckOKInfoMedien Art. 5, Rn. 46.

<sup>128</sup> vgl. dazu u.a. BVerfGE 31, 314; BVerfGE 57, 295.

<sup>129</sup> BVerfGE 31, 314 – Mehrwertsteuer.

<sup>130</sup> BVerfGE 31, 314 (329) – Mehrwertsteuer.

<sup>131</sup> BVerfGE 31, 314 (325) – Mehrwertsteuer.

<sup>132</sup> *Smend*, Verfassung und Verfassungsrecht, 1928, 67 ff.

<sup>133</sup> BVerfGE 31, 314 (329) – Mehrwertsteuer.

<sup>134</sup> BVerfGE 31, 314 (325) – Mehrwertsteuer.

Während die 1. Rundfunk-Entscheidung die Grundlagenentscheidung zum öffentlich-rechtlichen Rundfunk darstellt, übernimmt die 3. Rundfunk-Entscheidung vom 16.6.1981<sup>135</sup> zwei Dekaden später jene Funktion für den privaten Rundfunk. Die Entscheidung knüpft im Übrigen wiederum an die Grundlage der 1. Rundfunk-Entscheidung an, begründet das Konzept der Rundfunkfreiheit als „dienende Freiheit“ und baut darauf die Notwendigkeit einer positiven Rundfunkordnung auf.<sup>136</sup> Auch in dem seinerzeit neuen dualen System von privatem und öffentlich-rechtlichem Rundfunk liegt der Fokus demnach auf der Absicherung des Pluralismus auf der Inhaltebene.

Das 4. Rundfunkurteil beschäftigte sich sodann mit dem Verhältnis von öffentlich-rechtlichen und privaten Anbietern, sowie mit der von den Rundfunkanstalten zu sichernden und vorliegend besonders relevanten Grundversorgung.<sup>137</sup> Das Bundesverfassungsgericht hat die Anforderungen an den privaten Rundfunk in einer dualen Rundfunkordnung ausdifferenziert, aber auch die Aufgaben der öffentlich-rechtlichen Rundfunkanstalten näher konkretisiert. Mit Blick auf den öffentlich-rechtlichen Rundfunk entwickelte das Gericht dessen Aufgabe der „Grundversorgung“, die letztlich erstens eine flächendeckende Verbreitung, zweitens einen umfassenden inhaltlichen Programmstandard und drittens einen Binnenpluralismus verlangt.<sup>138</sup> Das Gericht begründete den Grundversorgungsauftrag mit der geringeren Orientierungsbedürftigkeit der öffentlich-rechtlichen Rundfunkprogramme an Einschaltquoten<sup>139</sup>, sodass dieser unabhängig vom Aufkommen privater Rundfunkveranstalter weiter gelte.<sup>140</sup> Damit wird – vorliegend relevant – die Grundversorgung nicht nur inhaltlich akzentuiert, sondern auch in ihrer Verbreitungsdimension und den damit einhergehenden Finanzierungsimplicationen gewürdigt. Wörtlich heißt es insoweit:

„In dieser Ordnung ist die unerläßliche ‚Grundversorgung‘ Sache der öffentlich-rechtlichen Anstalten, zu der sie imstande sind, weil ihre terrestrischen Programme nahezu die gesamte Bevölkerung erreichen und weil sie nicht in gleicher Weise wie private Veranstalter auf hohe Einschaltquoten angewiesen, mithin zu einem inhaltlich umfassenden Programmangebot in der Lage sind. (...) Im Zeichen der Erweiterung des Rundfunkangebots um privat veranstaltete und europäische Programme kommt es darauf an zu gewährleisten, daß der klassische Auftrag des Rundfunks erfüllt wird, der neben seiner Rolle für die Meinungs- und politische Willensbildung, neben Unterhaltung und über laufende Berichterstattung hinausgehender Information seine kulturelle Verantwortung umfaßt. Das gilt namentlich unter Gesichtspunkten des sich entwickelnden und an Bedeutung gewinnenden europäischen Rundfunkmarktes. Unter den Bedingungen eines solchen Marktes bleiben dem gebietsbezogenen nationalen, insbesondere dem terrestrischen Rundfunk gerade diese essentiellen Funktionen (dazu näher: Bullinger, AfP 1985, S. 257 [258 ff.]). Sie sind nach Lage der Dinge in erster Linie als solche der öffentlich-rechtlichen Anstalten anzusehen. Darin

<sup>135</sup> BVerfGE 57, 295 – FRAG.

<sup>136</sup> BVerfGE 57, 295 (320 ff.) – FRAG; Absatz entnommen aus *Kühling*, BeckOKInfoMedien Art. 5, Rn. 48.

<sup>137</sup> BVerfGE 73, 118; *Hakenberg*, in Creifelds (Hrsg.), Rechtswörterbuch, 25. Edition 2020, Rundfunkurteile des Bundesverfassungsgerichts.

<sup>138</sup> Noch deutlicher in BVerfGE 74, 297 (326) – Baden-Württemberg; umfassend zur aufkommenden Diskussion um die Grundversorgung *Starck* NJW 1992, 3257 und *Kühling/Kellner*, ZUM 2018, 825 (827 ff.).

<sup>139</sup> BVerfGE 73, 118 (157 f.) – LRG Niedersachsen.

<sup>140</sup> Zu darin angelegten Ansätzen einer Bestands- und auch Entwicklungsgarantie befürwortend: *Berg* AfP 1987, 457 (461); krit. *Kull* AfP 1987, 365 (367 f.), der keinerlei Grundlage für eine Programmexpansion sieht; ebenso *Schmitt/Glaeser* DVBl. 1987, 14 (19 f.).

und in der Gewährleistung der Grundversorgung für alle finden der öffentlich-rechtliche Rundfunk und seine besondere Eigenart, namentlich die Finanzierung durch Gebühren, ihre Rechtfertigung; die Aufgaben, welche ihm insoweit gestellt sind, machen es notwendig, die technischen, organisatorischen, personellen und finanziellen Vorbedingungen ihrer Erfüllung sicherzustellen.“<sup>141</sup>

Und mit Blick auf die aufkommende Verbreitung des Rundfunks über Satellit führt das Bundesverfassungsgericht aus:

„Wegen der erheblichen Kosten für den Empfang durch den einzelnen Teilnehmer ist mit einem längeren Zeitraum zu rechnen, innerhalb dessen nur ein Teil der Haushalte von dieser Empfangsmöglichkeit Gebrauch machen wird. Im Ergebnis wird daher die Zahl der für alle Teilnehmer im Bereich eines Bundeslandes, im regionalen sowie im lokalen Bereich empfangbaren Programme noch längere Zeit hindurch auf terrestrische Programme beschränkt bleiben.“<sup>142</sup>

Auch im dualen Rundfunksystem müssen also nicht nur öffentlich-rechtliche Rundfunkinhalte bereitgestellt werden, sondern diese müssen auch – seinerzeit weiterhin primär über die terrestrische Verbreitung – ubiquitär zu verhältnismäßigen Kosten verfügbar sein. Die 5. Rundfunk-Entscheidung vom 24.3.1987<sup>143</sup> bringt eine weitere Austarierung des Verhältnisses zwischen privatem und öffentlich-rechtlichem Rundfunk, die in einem publizistischen Wettbewerb miteinander gesehen werden<sup>144</sup>. Die Teilnahme an diesem Wettbewerb ist nach Ansicht des Gerichts auch für die öffentlich-rechtlichen Rundfunkveranstalter rundfunkfrei geschützt<sup>145</sup>, eine strikte Grenzziehung oder Aufgabenteilung in dem Sinne, dass der öffentlich-rechtliche Rundfunk auf die Grundversorgung beschränkt sei („Minimalversorgung“), erfolge nicht<sup>146</sup>. Dabei legte das Gericht vor allem den Grundstein für die spätere Expansion der öffentlich-rechtlichen Rundfunkangebote durch die Einräumung einer Entwicklungsgarantie<sup>147</sup> und das Gebot der finanziellen Absicherung der geschützten Programme.<sup>148</sup> Die Entwicklungsgarantie ist Folge eines dynamischen Verständnisses des Rundfunkbegriffs, der sich den aktuellen technischen Entwicklungen anzupassen hat. Vor diesem Hintergrund werden auch „rundfunkähnliche Dienste“ unter die Rundfunkfreiheit gefasst, namentlich Videotext, Abruf- und Zugriffsdienste. Der „gleichzeitige Empfang“ wird damit nicht als notwendiger Bestandteil der Rundfunkdefinition angesehen. Dieser ist vielmehr geprägt durch den Sendecharakter und die unbestimmte Anzahl an Rezipienten, die eine Auswahlentscheidung treffen<sup>149</sup>. Gleichzeitig wird die einschränkende Feststellung getroffen, dass die Grundversorgungsaufgabe eine regionale oder lokale Versorgung über die landes- und bundesweite Verbreitung hinaus nicht verlange. Begründet wird dies mit der Behauptung, insoweit gebe es keine hinreichenden lokalen und regionalen Themen, die nicht schon

<sup>141</sup> BVerfGE 73, 118 (123).

<sup>142</sup> BVerfGE 73, 118 (123).

<sup>143</sup> BVerfGE 74, 297 – Baden-Württemberg.

<sup>144</sup> BVerfGE 74, 297 (332) – Baden-Württemberg.

<sup>145</sup> BVerfGE 74, 297 (332) – Baden-Württemberg.

<sup>146</sup> BVerfGE 74, 297 (325) – Baden-Württemberg; dazu ausführlicher *Goerlich/Radeck* JZ 1989, 53 (55 ff.); *Libertus*, Grundversorgungsauftrag und Funktionsgarantie, 1991, 52 ff.; krit. *Kull AfP* 1987, 462; *Ory ZUM* 1987, 427 (428 ff.); *Seemann DÖV* 1987, 844 (845 ff.).

<sup>147</sup> BVerfGE 74, 297 (353 ff.) – Baden-Württemberg; krit. *Bullinger* JZ 1987, 928 „vom Monopolrundfunk zum Expansionsrundfunk“.

<sup>148</sup> BVerfGE 74, 297 (342) – Baden-Württemberg; krit. dazu *Degenhart* ZUM 1988, 47 (56 f.); zur Entwicklungs- und Bestandsgarantie heute *Schmitt* NVwZ 2018, 769 (771 f.) und *Schütz* MMR 2018, 36 (37).

<sup>149</sup> BVerfGE 74, 297 (350 ff.) – Baden-Württemberg.

durch die landesweiten Programme abgedeckt seien. Voraussetzung sei jedoch, dass gesetzliche Regelungen vorhanden sind, die eine angemessene Vielfaltsicherung durch die privaten Anbieter gewährleisten<sup>150</sup>.<sup>151</sup> Die Entwicklungsgarantie bezieht sich damit vor allem auf die inhaltliche Seite, die allerdings nicht auf die Verbreitung lokaler und regionaler Themen ausgedehnt wird. Insofern wird die Gewährleistung eines hinreichenden Pluralismus auch durch private Anbieter für möglich gehalten.

Für die Frage der Absicherung der Verbreitungswege betont das Bundesverfassungsgericht unter Verweis auf das 4. Rundfunkurteil allerdings nochmals:

„Wesentlich sind nach dem Urteil vom 4. November 1986 vielmehr drei Elemente: eine Übertragungstechnik, bei der ein Empfang der Sendungen für alle sichergestellt ist, bis auf weiteres mithin die herkömmliche terrestrische Technik (BVerfGE 73, 118 [123]); weiterhin der inhaltliche Standard der Programme im Sinne eines Angebots, das nach seinen Gegenständen und der Art ihrer Darbietungen oder Behandlung dem dargelegten Auftrag des Rundfunks nicht nur zu einem Teil, sondern voll entspricht; schließlich die wirksame Sicherung gleichgewichtiger Vielfalt in der Darstellung der bestehenden Meinungsrichtungen durch organisatorische und verfahrensrechtliche Vorkehrungen.“<sup>152</sup>

In der 6. Rundfunk-Entscheidung vom 5.2.1991<sup>153</sup> wurden die in den vorangehenden Entscheidungen aufgezeigten Elemente des öffentlich-rechtlichen Rundfunks und insbesondere die Bestands- und Entwicklungsgarantie weiter ausbuchstabiert<sup>154</sup> und um Ausführungen zur Finanzierung ergänzt. Insgesamt sind Ansätze erkennbar, dem Gesetzgeber einen größeren Gestaltungsspielraum zu belassen.<sup>155</sup> Für den vorliegenden Zusammenhang besonders relevant ist die Betonung, dass die Entwicklungsgarantie gleichermaßen die Übertragungsformen einschließlich neuer nicht-terrestrischer Übertragungstechniken erfasst<sup>156</sup>.<sup>157</sup> Dies ist vor dem Hintergrund der seinerzeit aufkommenden Kabelverbreitung von Rundfunkprogrammen und der Knappheitsprobleme bei der Kabelbelegung zu sehen.

Wörtlich heißt es insoweit:

„Unter dieser Bedingung, die auch die Antragsteller nicht in Abrede stellen, obliegt die – umfassend zu verstehende – Grundversorgung der Bevölkerung den öffentlich-rechtlichen Rundfunkanstalten. Die Bestands- und Entwicklungsgarantie bedeutet dabei nichts anderes als die Sicherung der Voraussetzungen, die die Grundversorgung der Bevölkerung möglich machen. Angesichts der schnellen Entwicklung des Rundfunkwesens, namentlich der Rundfunktechnik, würde eine auf den gegenwärtigen Zustand bezogene Garantie nicht ausreichen, die Wahrnehmung der Grundversorgungsaufgabe sicherzustellen. Die Garantie kann sich daher nicht auf die herkömmliche Technik der terrestrischen Übertragung beschränken. Wenn neben diese andere Übertragungsformen treten oder sie verdrängen, wird auch die Nutzung der neuen Übertragungsformen von der

---

<sup>150</sup> BVerfGE 74, 297 (327 f.) – Baden-Württemberg.

<sup>151</sup> Absatz entnommen aus *Kühling*, BeckOKInfoMedien, Art. 5 Rn. 50.

<sup>152</sup> BVerfGE 74, 297 (326) – Baden-Württemberg.

<sup>153</sup> BVerfGE 83, 238 – WDR.

<sup>154</sup> BVerfGE 83, 238 (299 f.) – WDR; dazu krit. *Degenhart* DVBl. 1991, 510 (512 ff.).

<sup>155</sup> BVerfGE 83, 238 (316) – WDR; dazu *Kull AfP* 1991, 716 ff.; *Ory AfP* 1991, 402.

<sup>156</sup> BVerfGE 83, 238 (299) – WDR.

<sup>157</sup> Absatz entnommen aus *Kühling*, BeckOKInfoMedien, Art. 5 Rn. 51.

Gewährleistung der Grundversorgung umfasst. Dasselbe gilt für das Programmangebot der öffentlich-rechtlichen Anstalten, das für neue Publikumsinteressen oder neue Formen und Inhalte offen bleiben muss. Gegenständlich und zeitlich offen und dynamisch ist der Begriff der Grundversorgung allein an die Funktion gebunden, die der Rundfunk im Rahmen des von Art. 5 Abs. 1 GG geschützten Kommunikationsprozesses zu erfüllen hat. Daher ergeben sich auch die Grenzen der auf die Grundversorgung bezogenen Bestands- und Entwicklungsgarantie alleine aus der Funktion des Rundfunks. Jedenfalls soweit die gesetzliche Bestands- und Entwicklungsgarantie des öffentlichrechtlichen Rundfunks von seiner Aufgabe im dualen System getragen wird, besitzt sie auch eine verfassungsrechtliche Grundlage.“<sup>158</sup>

Mit der 7. Rundfunk-Entscheidung vom 6.10.1992<sup>159</sup>, baut das Bundesverfassungsgericht die bereits in der WDR-Entscheidung angelegte Finanzierungsgarantie des so angelegten öffentlich-rechtlichen Rundfunks umfassend aus. Sie wird auf das zur Erfüllung des Programmauftrags Erforderliche fixiert, wobei keine Begrenzung auf die Programme der Grundversorgung erfolgt, sondern festgestellt wird, dass auch die weiteren Programme im Rahmen des Auftrags zu finanzieren sind<sup>160, 161</sup>. Den notwendigen Grundrechtsschutz auch mit Blick auf die Finanzierung über Rundfunkgebühren hat das Bundesverfassungsgericht sodann in der 8. Rundfunk-Entscheidung vom 22.2.1994<sup>162</sup> umfassend ausgebaut.<sup>163</sup>

Die 10. Rundfunk-Entscheidung vom 17.2.1998<sup>164</sup> enthält zentrale Aussagen zu dem für den Rundfunk wichtigen Recht der Kurzberichterstattung.

Für den vorliegenden Zusammenhang relevant ist sodann wiederum die 12. Rundfunkentscheidung vom 11.9.2007<sup>165</sup>, in der vom Bundesverfassungsgericht klargestellt wird, dass sich nach seiner Einschätzung nichts an der Notwendigkeit der Grundversorgung durch den öffentlich-rechtlichen Rundfunk geändert hat, da die ökonomischen Zwänge zu Vielfaltsdefiziten im privaten Rundfunk führen<sup>166, 167</sup>.

Auch in dem in jüngerer Zeit ergangenen 15. Rundfunkurteil des Bundesverfassungsgerichts zum Rundfunkbeitrag<sup>168</sup> wird diese Rechtsprechungslinie fortgesetzt. In der Sache ging es um die verfassungsrechtliche Überprüfung des Rundfunkbeitrags, den das Bundesverfassungsgericht umfassend – auch am Maßstab des Art. 3 GG – geprüft und als im Wesentlichen verfassungskonform bestätigt hat. Lediglich die Erhebung eines Rundfunkbeitrags für Zweitwohnungen wurde als gleichheitswidrig verworfen.<sup>169</sup>

Zusammengefasst geht es damit für den vorliegenden Zusammenhang nach der Rechtsprechung des Bundesverfassungsgerichts darum, dass eine Pluralismussicherung gewährleistet wird, die in inhaltlicher Hinsicht entwicklungs offen ist und einen öffentlich-

---

<sup>158</sup> BVerfGE 83, 238 (299) – WDR.

<sup>159</sup> BVerfGE 87, 181 – Hessen 3.

<sup>160</sup> BVerfGE 87, 181 (203) – Hessen 3.

<sup>161</sup> Absatz entnommen aus *Kühling*, BeckOKInfoMedien, Art. 5 Rn. 52.

<sup>162</sup> BVerfGE 90, 60 – Rundfunkgebühren I.

<sup>163</sup> *Kühling*, BeckOKInfoMedien, Art. 5 Rn. 53.

<sup>164</sup> BVerfGE MMR 1998 (202).

<sup>165</sup> BVerfGE 119, 181 – KEF.

<sup>166</sup> BVerfGE 119, 181 (215 ff.) – KEF.

<sup>167</sup> Ausführlicher *Kühling*, in BeckOKInfoMedien, Art. 5 Rn. 57.

<sup>168</sup> BVerfG, Urt. v. 18.7.2018 – 1 BvR 1675/16.

<sup>169</sup> Absatz entnommen aus *Kühling*, BeckOKInfoMedien, Art. 5 Rn. 58.

rechtlichen Rundfunk erfordert, der nicht nur institutionell und organisatorisch unabhängig ist, sondern auch in finanzieller Hinsicht. Zudem ist eine Absicherung der ubiquitären Verbreitung des öffentlich-rechtlichen Rundfunks auch in technischer Hinsicht entlang der sich entwickelnden Verbreitungstechniken zu gewährleisten. Diese, die Beantwortung der drei aufgeworfenen Rechtsfragen steuernden allgemeinen Leitlinien der Verfassungsrechtsprechung sind sodann im Folgenden näher zu vertiefen, um die Fragen zu beantworten.

## 9.2 Inhalt und Grenzen der Grundversorgung

Fraglich ist insoweit zunächst, ob die umfassenden Garantien der Grundversorgung einer Reduktion der terrestrischen Verbreitung über DVB-T2 als umfassende terrestrische (und auch mobile) Verbreitungsform entgegenstehen und daher die vorgesehenen Modifikationen gegebenenfalls verfassungsrechtlich unzulässig sind.

Den Grundversorgungsauftrag hat – wie soeben aufgezeigt – das Bundesverfassungsgericht in der 4. Rundfunkentscheidung<sup>170</sup> entwickelt und in der 5. und 6. Rundfunkentscheidung hinsichtlich der ausdifferenzierten Bestands- und Entwicklungsgarantie des öffentlich-rechtlichen Rundfunks nicht nur statisch, sondern auch dynamisch abgesichert.<sup>171</sup>

Der Grundversorgungsauftrag ergibt sich aus der Funktion der Rundfunkfreiheit in Form der Gewährleistung einer freien individuellen und öffentlichen Meinungsbildung nach Art. 5 Abs. 1 S. 2 Var. 2 GG.<sup>172</sup> Der Gewährleistungsbereich gibt dabei die Bedingungen vor, ohne welche die Medien ihre Funktion nicht in angemessener Weise erfüllen können.<sup>173</sup>

Diese Aufgabe erfordert zum einen die Freiheit des Rundfunks vor staatlicher Beherrschung oder Einflussnahme und bedarf darüber hinaus einer positiven Ordnung, die organisatorische und materielle Regeln aufstellt, die sicherstellen, dass die Vielfalt der bestehenden Meinungen im Rundfunk möglichst breit und vollständig Ausdruck finden.<sup>174</sup> Diese Regelungen haben sich an der Aufgabe der Rundfunkfreiheit zu orientieren und müssen geeignet sein, die Gewährleistung nach Art. 5 Abs. 1 GG zu bewirken.<sup>175</sup>

Dabei muss zum Einen sichergestellt sein, dass die öffentlich-rechtlichen Rundfunkanstalten für die Gesamtheit der Bevölkerung Programme zur Verfügung stellen, die umfassend und in der vollen Breite des klassischen Rundfunkauftrags informieren, und dass im Rahmen dieses Programmangebots Meinungsvielfalt in der verfassungsrechtlich gebotenen Weise hergestellt und verbreitet wird.<sup>176</sup> Dies betrifft die Anforderung an einen

---

<sup>170</sup> BVerfGE 73, 118 – LRG Niedersachsen.

<sup>171</sup> BVerfGE 74, 297 – Baden-Württemberg; BVerfGE 83, 238 – WDR.

<sup>172</sup> BVerfGE 57, 296 (319 f.); BVerfGE 73, 118 (152).

<sup>173</sup> BVerfG, NJW 1988, 1715; BVerfGE 78, 101; BVerfGE 117, 244.

<sup>174</sup> BVerfGE 73, 118 (152 f.); BVerfGE 74, 297 (324).

<sup>175</sup> BVerfGE 73, 118 (153); BVerfGE 74, 297 (324).

<sup>176</sup> BVerfGE 74, 297.

umfassenden inhaltlichen Programmstandart der öffentlich-rechtlichen Rundfunkanstalten.<sup>177</sup> Darüber hinaus beinhaltet die Grundversorgung eine flächendeckende Verbreitung, sowie einen Binnenpluralismus.<sup>178</sup> Begründet wird der Grundversorgungsauftrag mit der geringeren Orientierungsbedürftigkeit der öffentlich-rechtlichen Rundfunkprogramme am Zwang der Einschaltquoten.<sup>179</sup> Ferner sei die unerlässliche Grundversorgung Sache der öffentlich-rechtlichen Anstalten, weil sie zu einem umfassenden Programmangebot und dessen Verbreitung imstande sind.<sup>180</sup> Der Begriff Grundversorgung bezeichnet dabei weder eine Mindestversorgung, auf die der öffentlich-rechtliche Rundfunk beschränkt ist, noch zieht er eine Grenze oder Aufgabenverteilung im Verhältnis zum privaten Rundfunk.<sup>181</sup> Vielmehr ist sicherzustellen, dass die öffentlich-rechtlichen Rundfunkanstalten für die Gesamtheit der Bevölkerung Programme anbieten, die umfassend und in voller Breite informieren und Meinungsvielfalt in der verfassungsrechtlich gebotenen Art präsentiert wird.<sup>182</sup>

Das Bundesverfassungsgericht adressiert 1986 dabei noch das terrestrische Programm der öffentlich-rechtlichen Anstalten, welches nahezu die gesamte Bevölkerung erreicht und zu einem inhaltlich umfassenden Programmangebot in der Lage ist.<sup>183</sup> Diese Aufgabe erfasse die essentiellen Funktionen des Rundfunks für die demokratische Ordnung genau wie für das kulturelle Leben in der Bundesrepublik.<sup>184</sup> Im Rahmen dieser Aufgabenerfüllung sei es dabei notwendig, die technischen, organisatorischen, personellen und finanziellen Vorbedingungen sicherzustellen.<sup>185</sup> Das Ziel ist die Verbreitung der Vielfalt der bestehenden Meinungen im Rundfunk in möglichst großer Breite und Vollständigkeit.<sup>186</sup> Den öffentlich-rechtlichen Rundfunk trifft dabei eine umfassende Vollversorgungspflicht in einem dualen System, das dem privaten Rundfunk nur eine nachrangige Rolle zuteilt.<sup>187</sup>

Das 4. Rundfunkurteil aus dem Jahr 1986 erkennt bereits die Verbesserung und Entwicklung durch die noch sehr unpräzise als „Neue Medien“ identifizierten neuen Verbreitungswege (v.a. Satellit, aber auch Kabel) und spricht von einer fortschreitenden Entwicklung, die Konsequenzen auf der Inhalteebene durch das Hinzutreten weiterer – auch ausländischer – Rundfunkprogramme hat, sich aber auch auf die technische Verbreitungsebene bezieht.<sup>188</sup> Es statuiert, dass im Bereich terrestrischer Frequenzen die Knappheit wenig verändert fortbesteht, weshalb die Regulierung derzeit so erfolgt; eine Änderung in Zukunft wird aber nicht ausgeschlossen.<sup>189</sup> Auch die technische Entwicklung sei von Bedeutung, durch welche sich die Voraussetzungen der Veranstaltung und

<sup>177</sup> Kühling, in BeckOKInfoMedien, Art. 5, Rn. 49; Siehe auch BVerfGE 74, 297 (326) – Baden-Württemberg; Kühling/Kellner ZUM 2018, 825 (827 ff.).

<sup>178</sup> Kühling, in BeckOKInfoMedien, Art. 5, Rn. 49; Siehe auch BVerfGE 74, 297 (326) – Baden-Württemberg; Kühling/Kellner ZUM 2018, 825 (827 ff.).

<sup>179</sup> BVerfGE 73, 118 (157 f.) – LRA Niedersachsen, vgl. Kühling, in BeckOKInfoMedien Art. 5, Rn. 49.

<sup>180</sup> BVerfGE 73, 118 (157).

<sup>181</sup> BVerfGE 74, 297 (326).

<sup>182</sup> BVerfGE 74, 297 (325 f.); BVerfGE 83, 238 (298).

<sup>183</sup> BVerfGE 73, 118 (121 f.) (154) (157 f.).

<sup>184</sup> BVerfGE 73, 118.

<sup>185</sup> BVerfGE 73, 118 (121 f.).

<sup>186</sup> BVerfGE 57, 295 (319); BVerfGE 73, 118 (152 f.); BVerfGE 90, 60 (88).

<sup>187</sup> Cornils, in: Binder/Vesting, Beck'scher Kommentar zum Rundfunkrecht, 4. Aufl. 2018, Präambel, Rn. 39; BVerfGE 136, 9, Rn. 31 f.; BVerfGE 73, 118 (158).

<sup>188</sup> BVerfGE 73, 118 (121 f.) (154).

<sup>189</sup> BVerfGE 73, 118 (122 f.).

Verbreitung von Rundfunksendungen verbessert haben.<sup>190</sup> Aus der 4. Rundfunkentscheidung ergibt sich des Weiteren, dass dem Grundversorgungsauftrag nicht Genüge getan ist, wenn nicht die gesamte Bevölkerung erreicht wird.

Wörtlich heißt es insoweit:

„Da die Zahl der auf diesem Wege erreichten Teilnehmer wesentlich hinter der nahezu die Gesamtheit der Bevölkerung umfassenden Zahl der Teilnehmer zurückbleibt, welche terrestrische Rundfunkprogramme empfangen können, sind jene Programme nur partiell in der Lage, die Aufgabe eines Mediums und Faktors öffentlicher Meinungsbildung zu erfüllen.“<sup>191</sup>

Die Übertragungsart spielt also dann eine Rolle, wenn sie nicht geeignet ist, nahezu die gesamte Bevölkerung zu erreichen und damit hinter dem terrestrischen Übertragungsweg zurückbleibt. Dies entspricht auch dem konzeptionellen Ansatz im 5. Rundfunkurteil dar, indem das Bundesverfassungsgericht in Anbetracht der vorangegangenen Entscheidung die Übertragungstechnik als ein komplementäres Element der Grundversorgung adressiert.<sup>192</sup> Demnach sei wesentlich „eine Übertragungstechnik, bei der ein Empfang der Sendungen für alle sichergestellt sei, bis auf weiteres mithin die herkömmliche terrestrische Technik“.<sup>193</sup>

Daran knüpft das Bundesverfassungsgericht in der 6. Rundfunk-Entscheidung v. 5.2.1991 an. Dort wird explizit ausgeführt, dass sich angesichts der schnellen Entwicklung der Rundfunktechnik die Garantie nicht auf die herkömmliche Technik der terrestrischen Übertragung beschränken lassen kann.<sup>194</sup> Weiter heißt es, dass, wenn neben die Terrestrik andere Übertragungsformen treten oder sie verdrängen, auch die Nutzung der neuen Übertragungsformen von der Gewährleistung der Grundversorgung erfasst wird.

In der Entscheidung des Bundesverfassungsgerichts zu der Kurzberichterstattung im Fernsehen vom 17.2.1998<sup>195</sup> stellte das Gericht darauf ab, dass das Fernsehen zwar nicht das einzige Medium sei, das Informationen über Ereignisse von allgemeiner Bedeutung bietet. Es sei jedoch das einzige Medium, das gleichzeitig in Bild und Ton über ein Ereignis zu berichten vermag.<sup>196</sup> Aufgrund des dadurch vermittelten Eindrucks der Authentizität und des Miterlebens, ebenso aufgrund seiner unkomplizierten Verfügbarkeit sei es das Medium geworden, aus dem die große Masse der Bevölkerung seine Informationen bezieht.<sup>197</sup> Schon darin wird ersichtlich, dass der damalige Grundgedanke einer Anpassung an die aktuellen Umstände bedarf, da nunmehr gerade nicht mehr das „klassische“ Fernsehen das alles dominierende Medium darstellt, von dem der Großteil der Bevölkerung seine Informationen bezieht, sondern es aufgrund des technischen Fortschritts mannigfaltige andere Möglichkeiten gibt, sich Informationen zu beschaffen, die ebenso gleichzeitig in Bild und Ton erfolgen und unkompliziert verfügbar sind.

---

<sup>190</sup> BVerfGE 73, 118 (154).

<sup>191</sup> BVerfGE 73, 118 (155).

<sup>192</sup> BVerfGE 74, 297 (326).

<sup>193</sup> BVerfGE 74, 297 (326); BVerfGE 73, 118 (123).

<sup>194</sup> BVerfGE 83, 238 (299).

<sup>195</sup> BVerfGE MMR 1998 (202).

<sup>196</sup> BVerfGE MMR 1998 (202).

<sup>197</sup> BVerfGE MMR 1998 (202).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Grundversorgung unerlässliche Aufgabe der öffentlichen-rechtlichen Anstalten ist, welche sich aus dem Gewährleistungsbereich der Rundfunkfreiheit nach Art. 5 Abs 1 S. 2 GG ergibt. Sie bezieht sich primär und originär auf die inhaltliche Seite, erfasst aber komplementär genauso die technische. Inhaltlich muss die Grundversorgung der Bevölkerung durch die Gewährleistung der notwendigen technischen, organisatorischen, personellen und finanziellen Bedingungen gesichert sein. Dies erfasst technisch auch das Gebot, die Verbreitungsmöglichkeiten zu gewährleisten.<sup>198</sup> Die Ausgestaltung ist Aufgabe des Gesetzgebers, dem dabei ein weiter Gestaltungsspielraum zukommt.<sup>199</sup> Dabei ergeben sich die Grenzen für den Rundfunk hinsichtlich der Bestands- und Entwicklungsgarantie aus der Funktion, die dieser im Rahmen des von Art. 5 Abs. 1 S. 2 GG geschützten Kommunikationsprozesses zu erfüllen hat.<sup>200</sup> Diese Garantien erstrecken sich auf neue Dienste mittels neuer Techniken, die zukünftig Funktionen des ursprünglichen Rundfunks übernehmen können.<sup>201</sup> Ein bestimmtes Modell oder die Ausgestaltung werden verfassungsrechtlich gerade nicht vorgeschrieben.<sup>202</sup> Vielmehr ist die Ausgestaltung der Grundversorgung entwicklungs offen und dynamisch sowie allein anhand der Funktion der Rundfunkfreiheit auszurichten. Voraussetzung ist jedoch, dass die Verbreitungsart geeignet ist, nahezu die Gesamtheit der Bevölkerung zu erreichen. Nur dann kann die Gewährleistung der freien und öffentlichen Meinungsbildung nach Art. 5 Abs. 1 GG gesichert sein.

Es ist somit festzuhalten, dass die technische Verfügbarkeit des öffentlich-rechtlichen Rundfunks flächendeckend sichergestellt sein muss. Dies bedeutet gleichzeitig nicht, dass ein bestimmter Übertragungsweg vorgeschrieben ist, solange die technische Verbreitung auch auf anderem Weg sichergestellt ist und daher ein geeigneter Weg im Sinne der Gewährleistungsverantwortung vorliegt, so dass die Aufgabe der Grundversorgung erfüllt wird.

Eine Reduktion der terrestrischen Verbreitung ist daher rundfunkverfassungsrechtlich nicht problematisch, auch wenn DVB-T2 als umfassende terrestrische (und auch mobile) Verbreitungsform zurückgeführt wird. Denn diese spezielle Verbreitungsform ist nicht spezifischer Gegenstand der verfassungsrechtlich zwingend vorgesehenen Grundversorgung. Entscheidend ist vielmehr, dass über die verbleibenden übrigen Verbreitungswege (Kabel, Satellit, Breitband und künftig mobil verstärkt auch via 5G) eine ubiquitäre Versorgung der Bevölkerung mit den öffentlich-rechtlichen Rundfunkprogrammen bereits umfassend gegeben ist. Dazu bedarf es nicht der Verfügbarkeit von DVB-T2, die von zunehmend weniger Haushalten im niedrigen einstelligen Prozentbereich genutzt werden. Sofern also jedenfalls für die Bevölkerung flächendeckend und damit grundsätzlich für jeden Haushalt tatsächlich eine zumutbare Zugangsvariante zu diesen öffentlich-rechtlichen Rundfunkinhalten verfügbar ist, werden die verfassungsrechtlichen Anforderungen erfüllt. In der Diktion des Bundesverfassungsgerichts dürfen nur nicht für alle verbleibenden Verbreitungswege für die Haushalte die Bereitstellung nur zu „erheblichen Kosten für den Empfang durch den einzelnen Teilnehmer“ erfolgen, so dass in der Folge jeweils „nur ein Teil der Haushalte von dieser Empfangsmöglichkeit Gebrauch machen wird“.<sup>203</sup> Demnach muss einerseits senderseitig eine Verbreitung der

<sup>198</sup> BVerfGE 78, 101; BVerfG, BVerfGE 117, 244.

<sup>199</sup> vgl. BVerfGE 57, 295 (321 f.), (325f f); BVerfGE 83, 238 (296), (315 f.).

<sup>200</sup> BVerfGE 83, 238.

<sup>201</sup> BVerfGE 83, 238.

<sup>202</sup> BVerfGE 57, 295, 320 f.; BVerfGE 73, 118, 153; BVerfGE 83, 238, 296.

<sup>203</sup> BVerfGE 73, 118 (123).

Programme über jedenfalls eine Infrastruktur für jeden Haushalt technisch möglich und vorhanden sein und damit eine senderseitige Erreichbarkeit gegeben sein. Zudem müssen die öffentlich-rechtlichen Rundfunkanstalten auch – sofern notwendig – über die Mittel verfügen, um die Absicherung dieses Übertragungsweges zu gewährleisten. Andererseits muss zumindest eine entsprechende Infrastruktur auch empfangsseitig zu angemessenen Entgelten verfügbar sein. Beides ist grundsätzlich über die Kabel-, Breitband- und Satellitenverbreitung gegeben. Sofern das weiterhin der Fall ist, bedarf es nicht der zusätzlichen Bereitstellung von DVB-T2 als terrestrischem Verbreitungsweg. Dass einzelne Haushalte bislang auf die Nutzung von DVB-T2 zurückgegriffen haben und für diese bei einer Reduktion jenes Verbreitungsweges weitere – angemessene – Kosten entstehen, ist verfassungsrechtlich unschädlich. Daher sind die vorgesehenen Modifikationen verfassungsrechtlich zulässig. Das gilt erst recht für eine Reduktion der Verbreitung lokaler Rundfunkprogramme, die ohnehin, wie dargestellt, schon inhaltlich nach der Rechtsprechung des Bundesverfassungsgerichts nicht fester Bestandteil des Grundversorgungsauftrags sind.

### 9.3 Anspruch des öffentlich-rechtlichen Rundfunks auf direkten Zugriff auf Infrastruktureinrichtungen

Verfassungsrechtliche Hindernisse könnten sodann noch spezifischer in Bezug auf Szenarien entstehen, die teilweise die mobile terrestrische Rundfunkverbreitung von DVB-T2 reduzieren und auf eine anderweitige Verbreitungsarten verlagern, die als Infrastrukturen nicht mehr vom öffentlich-rechtlichen Rundfunk, sondern von Dritten betrieben werden, sei es ein in Form eines verstärkten Rückgriffs auf die „klassischen“ Hauptübertragungswege der Kabelnetz- und Satellitenbetreiber oder zunehmend auf Anbieter breitbandigen Internets (IP-TV-, OTT- oder privaten Mobilfunkanbieter (MNOs) im Fall der 5G-Verbreitung). Das wäre verfassungsrechtlich problematisch, wenn als Ausfluss der Rundfunkfreiheit jedenfalls *eine* Übertragungsinfrastruktur in der Hand oder zumindest dem primären Zugriff des öffentlich-rechtlichen Rundfunks unterliegen muss.

Der Gewährleistungsbereich der Rundfunkfreiheit nach Art. 5 Abs. 1 S. 2 Var. 2 GG erfasst wie dargestellt (soeben 8.1 und 8.2) die Absicherung der notwendigen technischen, organisatorischen, personellen und finanziellen Bedingungen.<sup>204</sup> Hinsichtlich der Grundversorgung trifft die öffentlich-rechtlichen Anstalten eine umfassende Vollversorgungspflicht in einem dualen System, das dem privaten Rundfunk nur eine nachrangige Rolle zuteilt.<sup>205</sup> Das Ziel dabei ist die Verbreitung der Vielfalt der bestehenden Meinungen im Rundfunk in möglicher Breite und Vollständigkeit.<sup>206</sup> Element der Grundversorgung ist auch die Gewährleistung einer flächendeckenden Verbreitung.<sup>207</sup> Nach der 4. Rundfunkentscheidung ist die unerlässliche Grundversorgung primär Aufgabe der öffentlich-rechtlichen Rundfunkanstalten, da diese zu einem inhaltlich umfassenden Programmangebot imstande sind aufgrund ihrer terrestrischen Programme, die nahezu die gesamte

<sup>204</sup> Siehe dazu bereits oben unter 8.2.

<sup>205</sup> Cornils, in: Binder/Vesting, Beck'scher Kommentar zum Rundfunkrecht, 4. Aufl. 2018, Präambel, Rn. 39; BVerfGE 136, 9, Rn. 31 f.; BVerfGE 73, 118 (158).

<sup>206</sup> BVerfGE 57, 295 (319); BVerfGE 73, 118 (152 f.); BVerfGE 90, 60 (88).

<sup>207</sup> Kühling, in BeckOKInfoMedien, Art. 5, Rn. 49; siehe auch BVerfGE 74, 297 (326) – Baden-Württemberg; Kühling/Kellner ZUM 2018, 825 (827 ff.).

Bevölkerung erreichen.<sup>208</sup> Diese Entscheidung stellt damit auf die terrestrische Übertragungsart ab. Das ist jedoch auch nur insoweit der Fall, wie die Funktion der Rundfunkfreiheit tangiert ist. So muss sichergestellt sein, dass die Verbreitung der individuellen und öffentlichen Meinungsfreiheit nach Art. 5 Abs. 1 S. 2 Var. 2 GG gewährleistet ist und dafür zumindest ein geeigneter Übertragungsweg existiert, auf dem die breite Öffentlichkeit und (nahezu) die gesamte Bevölkerung erreicht wird. Daraus und aus den bisherigen Ausführungen ergibt sich aber, dass verfassungsrechtlich kein spezifischer Zugriff der öffentlich-rechtlichen Rundfunkanstalten geboten ist.

Auch einfachgesetzlich bedarf es gemäß § 48 S. 1 MStV mit Blick auf die Wahrung des Versorgungsauftrags geeigneter Übertragungswege. Insoweit wird den öffentlich-rechtlichen Rundfunkanstalten aber gerade ein Spielraum überlassen, der nicht näher festgeschrieben wird. Allein als Zielvorgabe wird den Anstalten gemäß § 48 S. 2 MStV mit auf den Weg gegeben, auch dabei „die Grundsätze der Wirtschaftlichkeit und Sparsamkeit zu beachten“. Dies war lange Zeit anders, als der Rundfunk noch zwingend an die Übertragungsform „terrestrische Ausstrahlung“ gebunden und an dieser auch zu erkennen war. Heute hat der Rundfunk und damit auch die Rundfunkfreiheit den dienstspezifischen Charakter des Übertragungsweg verloren.<sup>209</sup> Die Anpassung an die technischen Entwicklungen und Bedingungen entspricht im Übrigen auch den bereits angeführten Grundsätzen der Wirtschaftlichkeit und Sparsamkeit nach § 48 S. 2 MStV. Erforderlich ist, dass der Rundfunkempfang grundsätzlich im gesamten Bundesgebiet gegeben sein muss, was eine realistische Nutzungsmöglichkeit erfordert.<sup>210</sup> Soweit dies gewahrt ist, besteht kein Anspruch und auch nicht das Bedürfnis, den öffentlich-rechtlichen Rundfunkanstalten direkten Zugriff auf eine spezifische Infrastruktur zu gewähren.

Insoweit greifen im Übrigen in verfassungsrechtlicher Hinsicht, das zeigen die bisherigen Ausführungen, auch nicht die Zielvorgaben der institutionellen, organisatorischen und prozeduralen Besonderheiten des öffentlich-rechtlichen Rundfunks, die als drittes Element für die primär erforderliche Bereitstellung der inhaltlichen Grundversorgung erforderlich sind. Denn die Verfügbarkeit hinreichender technischer Verbreitungswege ist objektiv unproblematisch messbar und muss nur als solches Vorhandensein, unabhängig davon, wer diese Leistung erbringt.

Passend dazu statuiert das Bundesverfassungsgerichts mit Urteil vom 18.3.2018, dass Beitragsschuldner nur dann erfolgreich einen Antrag auf Befreiung des Rundfunkbeitrags nach § 4 Abs. 6 S. 1 RBStV stellen können, wenn es ihnen objektiv unmöglich ist, Rundfunk zu empfangen, und dies, so ist zu ergänzen, zumindest über irgendeinen Übertragungsweg.

Insofern heißt es wörtlich in der Entscheidung:

„Weiterhin soll im privaten Bereich ein zur Befreiung führender besonderer Härtefall nach § 4 Abs. 6 Satz 1 RBStV vorliegen, wenn es einem Rundfunkbeitragschuldner objektiv unmöglich ist, Rundfunk zu empfangen (vgl. Landtag von Baden-Württemberg, Drucksache 15/197, S. 41), wenn also die Möglichkeit zur Nutzung objektiv ausgeschlossen ist; dementsprechend sind nach § 4 Abs. 1 Nr. 10 RBStV taubblinde Menschen vom Rundfunkbeitrag befreit.“<sup>211</sup>

---

<sup>208</sup> BVerfGE 73, 118 (157).

<sup>209</sup> vgl. Kühling, in: BeckOKInfoMedien, Art. 5 Rn. 5, 7.

<sup>210</sup> BVerfGE 149, 222, Rn. 76 ff.

<sup>211</sup> BVerfGE 149, 222 (252, Rn. 85).

Damit erkennt der Gesetzgeber an, dass es mehrere mögliche Übertragungswege gibt, auf die referenziert werden kann und dies vollkommen unabhängig davon, von wem dieser Übertragungsweg zur Verfügung gestellt wird. Ferner findet sich eine gesetzlich normierte Härtefallregelung für den Fall, dass der Empfang objektiv unmöglich ist.

Ergänzend dazu sei angemerkt, dass es für die Rundfunkqualität eines Angebots nicht signifikant darauf ankommt, ob die Inhalte analog, digital, terrestrisch, über Kabel, satellitär, über das Internet<sup>212</sup> oder Mobilfunkfrequenzen<sup>213</sup> verbreitet werden.<sup>214</sup> Der Rundfunkbegriff ist auch insoweit dynamisch zu verstehen und muss dem veränderten Realbereich angepasst werden.<sup>215</sup>

Solange also die Möglichkeit eines Empfangs und demnach eine entsprechende Versorgung sichergestellt ist, ist ein direkter Zugriff auf die Übertragungsinfrastrukturen keine Notwendigkeit. Dafür spricht auch, dass dem Gesetzgeber ein weiterer Gestaltungsraum zukommt, wie er seinem Gewährleistungsauftrag nachkommt.<sup>216</sup> Die Grenzen für den Rundfunk ergeben sich vielmehr aus der Funktion, die dieser im Rahmen des von Art. 5 Abs. 1 S. 2 Var. 2 GG geschützten Kommunikationsprozesses zu erfüllen hat.<sup>217</sup> Solange der (öffentlich-rechtliche) Rundfunk diese Funktion weiterhin ungestört erfüllen kann, d.h. insbesondere die technischen Voraussetzungen vorhanden sind und geeignete Maßnahmen und ggf. Verpflichtungen vorliegen, die einen Zugriff auf die Verbreitungswege über Dritte gewährleisten, bedarf es keines direkten Zugriffs auf Infrastruktureinrichtungen von Seiten des öffentlich-rechtlichen Rundfunks.

Es ergibt sich somit weder aus der Verfassung noch auf einfachgesetzlicher Ebene ein Anspruch des öffentlich-rechtlichen Rundfunks auf den direkten Zugriff auf einen Übertragungsweg im Allgemeinen bzw. auf DVB-T2 im Besonderen.

## 9.4 Auswirkungen auf die Erhebung des Rundfunkbeitrags

Weiterhin bleibt zu klären, welche Auswirkungen die oben aufgeführten Szenarien auf den Rundfunkbeitrag haben, ob also im Fall des reduzierten und anschließend beschränkten eigenständigen Rückgriffs des öffentlich-rechtlichen Rundfunks auf eine terrestrische Verbreitungsinfrastruktur die Geltendmachung des Rundfunkbeitrags in Frage gestellt wird bzw. inwiefern aus rundfunk(verfassungs)rechtlicher Sicht das Vorhalten einer kostenlosen Verbreitungsinfrastruktur für den öffentlich-rechtlichen Rundfunk geboten ist.

Soweit die öffentlich-rechtlichen Rundfunkanstalten die Grundversorgung gewährleisten müssen, sind diese nach der Rechtsprechung des Bundesverfassungsgerichts hinreichend und staatsfrei zu finanzieren.<sup>218</sup> Die Finanzierung in Form des Rundfunkbeitrags

---

<sup>212</sup> Zum „Internetfernsehen“ *Klaes*, ZUM 2009, 135.

<sup>213</sup> S. auch *Ricke*, IPTV und Mobile TV, Neue Plattformanbieter und ihre rundfunkrechtliche Regulierung, 2011, 203 ff.

<sup>214</sup> Entnommen aus *Kühling*, BeckOKInfoMedien, Art. 5 Rn. 63.

<sup>215</sup> BVerfGE 74, 297 (350) – Baden-Württemberg; 83, 238 (299) – WDR; vgl. zur Interpretation der Rundfunkfreiheit im Wandel der Medienlandschaft und zum Folgenden bereits *Kühling*, Die Informations- und Kommunikationsgrundrechte in einer gewandelten Informations- und Mediengesellschaft, in: Wahl (Hrsg.), Verfassungsänderung, Verfassungswandel, Verfassungsinterpretation, 2008, 409 ff.

<sup>216</sup> vgl. BVerfGE 57, 295 (321 f.), (325 f.); BVerfGE 83, 238 (296), (315 f.)

<sup>217</sup> BVerfGE 83, 238.

<sup>218</sup> BVerfGE 73, 118 (158); LGR Niedersachsen, 83, 238 (298).

knüpft also an die Grundversorgungsauftrag des öffentlich-rechtlichen Rundfunks an. In der 4. Rundfunkentscheidung heißt es, dass in der Gewährleistung der Grundversorgung für alle der öffentlich-rechtliche Rundfunk seine besondere Eigenart findet, die auch die Finanzierung durch Gebühren (bzw. jetzt Beiträge) rechtfertigen.<sup>219</sup> Die Aufgaben, die den öffentlichen-rechtlichen Rundfunkanstalten insoweit gestellt sind, machen es notwendig, die technischen, personellen sowie finanziellen Vorbedingungen zu ihrer Erfüllung sicherzustellen.<sup>220</sup>

Nach § 34 Abs. 1 MStV muss die Finanzausstattung den öffentlich-rechtlichen Rundfunk in die Lage versetzen, seine verfassungsmäßigen und gesetzlichen Aufgaben zu erfüllen und insbesondere den Bestand und die Entwicklung gewährleisten. Der Auftrag des öffentlich-rechtlichen Rundfunks wird in § 26 Abs. 1 MStV definiert. Demnach besteht der Auftrag in der Herstellung und der Verbreitung ihrer Angebote als Medium und Faktor des Prozesses freier individueller und öffentlicher Meinungsbildung, um dadurch die demokratischen, sozialen und kulturellen Bedürfnisse der Gesellschaft zu erfüllen, wobei sie angehalten sind, einen umfassenden Überblick zu geben und hierdurch die internationale Verständigung, die europäische Integration und den gesellschaftlichen Zusammenhang und Bund und Ländern fördern sollen.<sup>221</sup>

Der öffentlich-rechtliche Rundfunk finanziert sich nach § 35 MStV durch Rundfunkbeiträge, Einnahmen aus Rundfunkwerbung und sonstigen Einnahmen. Vorrangige Finanzierungsquelle ist nach § 35 S. 1 Hs. 2 MStV der Rundfunkbeitrag. Nach § 35 S. 2 MStV ist die Erhebung eines besonderen Entgelts für Programme und Angebote im Rahmen seines Auftrags unzulässig, wobei Begleitmaterialien davon ausgenommen sind.

Der Bedarf der Finanzierung ergibt sich anhand der Kriterien aus § 36 MStV. Demnach wird der Finanzbedarf regelmäßig entsprechend den Grundsätzen von Wirtschaftlichkeit und Sparsamkeit, einschließlich der damit verbundenen Rationalisierungspotentiale, auf der Grundlage von Bedarfsmeldungen durch die unabhängige Kommission zur Ermittlung des Finanzbedarfs der Rundfunkanstalten (KEF) geprüft und übermittelt (Abs. 1). § 36 Abs. 2 MStV stellt Vorgaben auf, die dabei insbesondere zugrunde zu legen sind, wie nach Nr. 2 anhand des Entwicklungsbedarfs im Sinne von zulässigen neuen Rundfunkprogrammen, die Teilhabe an den neuen rundfunktechnischen Möglichkeiten in der Herstellung und zur Verbreitung von Rundfunkprogrammen sowie die Möglichkeit der Veranstaltung neuer Formen von Rundfunk. Ferner soll nach § 36 Abs. 2 Nr. 1 MStV der bestandsbezogene Bedarf insbesondere zugrunde gelegt werden, was die wettbewerbsfähige Fortführung der bestehenden Rundfunkprogramme sowie die durch Staatsvertrag aller Länder zugelassenen Fernsehprogramme betrifft. Nach § 36 Abs. 4 MStV erfolgt die Beitragsfestsetzung sodann durch Staatsvertrag. Dies ist so erfolgt und geregelt im Rundfunkbeitragsstaatsvertrag der Länder.<sup>222</sup>

Nach § 2 Abs. 1 RBStV ist im privaten Bereich für jede Wohnung von deren Inhaber ein Rundfunkbeitrag zu errichten. Diese Person wird als Beitragsschuldner legal definiert. Befreiungen davon ergeben sich aus § 4 RBStV, so z.B. für Empfänger von Sozialhilfe (Nr. 1) oder für Empfänger von Grundsicherung im Alter und bei Erwerbsminderung (Nr. 2).

---

<sup>219</sup> BVerfGE 73, 118 (58).

<sup>220</sup> BVerfGE 73, 118 (158).

<sup>221</sup> Siehe dazu bereits oben unter 8.1.3.

<sup>222</sup> Rundfunkbeitragsstaatsvertrag v. 15.12.2010, GVBl. 2011 S. 258, 2012 S. 18, BayRS 02-28-S, zuletzt geändert durch Art. 2 des Vertrages vom 17.11.2017 (GVBl. 2018 S. 210, 2020 S. 202) (Vollzitat nach bayer.RedR).

Ferner regelt § 4 Abs. 2 RBStV Möglichkeiten der Ermäßigung des Beitrags. Nach § 4 Abs. 6 RBStV gibt es überdies eine Befreiung im Härtefall auf gesonderten Antrag. Im nicht-privaten Bereich reguliert § 5 RBStV die Erhebung des Beitrags anhand einer Staffelung. Beitragsgläubiger ist nach § 10 RBStV die örtliche Landesrundfunkanstalt und in dem nach dem RBStV bestimmten Umfang das ZDF, das Deutschlandradio sowie die Landesmedienanstalten.

Der mit der Erhebung des Rundfunkbeitrags ausgeglichene Vorteil liegt in der Möglichkeit, den öffentlich-rechtlichen Rundfunk nutzen zu können.<sup>223</sup> Zu Beiträgen können die Bürger und Bürgerinnen herangezogen werden, sofern ihnen jeweils ein Vorteil individuell-konkret zugerechnet werden kann und dessen Nutzung realistischerweise möglich erscheint. Es kommt dabei nicht auf das Vorhandensein von Empfangsgeräten in der Wohnung oder einen Nutzungswillen an. Anknüpfungspunkt im privaten Bereich ist die Wohnung.<sup>224</sup>

Der Rundfunkbeitrag wird erhoben für die Möglichkeit, das Programm des öffentlich-rechtlichen Rundfunks zu empfangen und dient dabei gemäß § 1 RBStV der funktionsgerechten Finanzgestaltung.<sup>225</sup> In diesem Sinne dient die Abgabe einem besonderen Finanzbedarf.<sup>226</sup> Die Rechtfertigung der Rundfunkbeitragspflicht gegenüber dem Beitragsschuldner ergibt sich aus dem rundfunkspezifischen Finanzierungszweck.<sup>227</sup> Demnach stellt die Beitragserhebung das angemessene Mittel dar, um den verfassungsunmittelbaren Anspruch auf eine funktionsgerechte Finanzausstattung zu erfüllen.<sup>228</sup> Aus diesem Grund ist es auch zulässig, die Beitragspflicht ohne Rücksicht auf die Nutzungsgewohnheit auf alle Rundfunkteilnehmer zu erstrecken.<sup>229</sup>

Die Erhebung des Rundfunkbeitrags ist nicht daran gekoppelt, ob ein Empfangsgerät vorhanden ist oder nicht.<sup>230</sup> Hinsichtlich der Erhebung des Beitrags gibt es Befreiungsmöglichkeiten, die nicht den Gewährleistungsanspruch aus Art. 5 Abs. 1 S. 2 Var. 2 GG tangieren. Ebenso verhält es sich für den Fall, dass Bürger nicht in der Lage sind, sich Empfangsmöglichkeiten zu beschaffen. Dies betrifft grundsätzlich die Daseinsvorsorge des Staates in Form der Sozialhilfe, nicht aber den Gewährleistungsanspruch nach Art. 5 Abs. 1 S. 2 Var. 2 GG.<sup>231</sup> Das entspricht im Übrigen auch anderen verfassungsrechtlichen Konstruktionen. So genügt auch im Rahmen des Grundversorgungsstandards mit Telekommunikationsdienstleistungen nach Art. 87 f Abs. 1 GG in Verbindung mit der Universaldienstverpflichtung gemäß den §§ 78 ff. TKG die Verfügbarkeit der Telefonie und des Internetzugangs für jedermann, an jedem Standort und zu erschwinglichen Preisen<sup>232</sup>, d.h. gerade nicht kostenlos.

Das Bundesverfassungsgericht betont in seinem jüngsten Beitrags-Urteil vom 18.7.2018 im Übrigen wie bereits angeführt, dass für die Beitragserhebung maßgeblich sei, dass von der Nutzungsmöglichkeit in realistischer Weise Gebrauch gemacht werden können

---

<sup>223</sup> BVerfGE 149, 222.

<sup>224</sup> Zu diesen Erwägungen: BVerfGE 149, 222; ebenso: BVerwG, Urt. v. 18.3.2016 – 6 C 6/15, Rn. 6 ff., 14.

<sup>225</sup> BVerfGE 149, 222, Rn. 59.

<sup>226</sup> BVerfGE 149, 222, Rn. 59.

<sup>227</sup> BVerwG, Urt. v. 18.3.2016 – 6 C 6/15, Rn. 17.

<sup>228</sup> BVerwG, Urt. v. 18.3.2016 – 6 C 6/15, Rn. 17

<sup>229</sup> BVerfGE 87, 181, 201; BVerfGE 90, 60, (90f.).

<sup>230</sup> BVerfGE 149, 222, Rn. 90.

<sup>231</sup> vgl. zu dieser Thematik: BSG, Urt. v. 9.6.2011 – B 8 SO 3/ 10 R; LSG Schleswig-Holstein, Urt. v. 9.12.2009 – L 9 SO 5/09; BVerwG, Urt. v. 18.12.1997 – 5 C 7-95 – Sozialhilfe für ein gebrauchtes Fernsehgerät.

<sup>232</sup> *Cornils*, in Beck'scher TKG-Kommentar 4. Auflage 2013, Teil B. Einl. A Rn. 4.

muss.<sup>233</sup> Dies sei dadurch gewährleistet, dass sich Empfangsgeräte ohne großen finanziellen Aufwand beschaffen lassen.<sup>234</sup> Anderenfalls gibt es jedoch auch dafür wieder staatliche Unterstützung im Bedarfsfall. Ferner ist auch hier nur die Rede von keinem „großen“ finanziellen Aufwand, nicht davon, dass gar keine Kosten anfallen dürfen.

Nach jener Entscheidung gilt die Verschaffung der Nutzungsmöglichkeit im Übrigen nicht mehr als Vorteil, der vom Rundfunkbeitrag abgedeckt werden soll.

Wörtlich führt das Gericht insoweit aus:

„Die Zuleitung der Nutzungsmöglichkeit in die Wohnung zählt hingegen nicht mehr zu dem Vorteil, den der Rundfunkbeitrag abdecken soll. Aus den Gesetzesmaterialien und dem Vortrag in der mündlichen Verhandlung geht hervor, dass die Gesetzgeber den lokalen Empfang des Rundfunkangebots in der Wohnung nicht als Teil der zwingend zu erbringenden öffentlichen Leistung, sondern lediglich als mögliche Zusatzleistung angesehen haben, bei deren Nichterfüllung die Beitragspflicht bestehen bleiben sollte. Hierzu können weitere Vorkehrungen erforderlich sein, um den Empfang über Satellit, Kabel, Internet oder Mobilfunk zu ermöglichen.“<sup>235</sup>

Der lokale Empfang ist also nicht Teil der zwingend zu erbringenden öffentlichen Leistung, sondern allenfalls eine mögliche Zusatzleistung.<sup>236</sup> Bei Nichterfüllung bleibt die Beitragspflicht erhalten.<sup>237</sup> Dass weitere Vorkehrungen erforderlich sind, um den Empfang über Satellit, Kabel, Internet oder Mobilfunk zu ermöglichen, schadet nicht und ändert nichts am Anspruch der Beitragsgläubiger auf die Erhebung des Rundfunkbeitrags.<sup>238</sup> Nur wenn der Empfang von öffentlich-rechtlichem Rundfunk objektiv unmöglich ist, ist, wie bereits angeführt, ein Härtefall nach § 4 Abs. 6 S. 1 RBStV anzunehmen, der auf Antrag zur Befreiung von der Beitragspflicht führt.<sup>239</sup> Dies gilt ebenso für Personen, für die der Rundfunkempfang von vorneherein keinen denkbaren Nutzen zu bringen vermag, wie insbesondere für zugleich gehörlose und stark sehbehinderte („taubblinde“) Menschen, die ausdrücklich nach § 4 Abs. 1 Nr. 10 RBStB von der Beitragspflicht (auf Antrag) befreit sind.<sup>240</sup> Überdies gibt es Ermäßigungen für Personen, die das Angebot nur teilweise nutzen können, vgl. § 4 Abs. 2 RBStV.<sup>241</sup> Weitere Befreiungen sind für Fälle der Sozialhilfe vorgesehen, vgl. § 4 Abs. 1 RBStV.

Festzuhalten ist demnach, dass Voraussetzung für die Erhebung des Rundfunkbeitrags auch nach einem etwaigen Wegfall oder einer Reduktion der terrestrischen Verbreitung die Möglichkeit des Rundfunkempfangs bleibt, wobei grundsätzlich Anknüpfungspunkt für die Erhebung die Wohnung gemäß § 2 i.V.m. § 3 MStV ist. Ob Empfangsgeräte oder ein tatsächlicher Nutzungswille fehlen, ist unerheblich und führt nicht zum Entfall der Beitragspflicht. Dasselbe gilt für den Fall, dass der Haushalt bislang auf DVB-T2 für den Empfang zurückgegriffen hat und nunmehr mit – angemessenen – Umrüstkosten

---

<sup>233</sup> BVerfGE 149, 222, Rn. 90.

<sup>234</sup> BVerfGE 149, 222, Rn. 119.

<sup>235</sup> BVerfGE 149, 222 (264 f., Rn. 85).

<sup>236</sup> BVerfGE 149, 222, Rn. 85.

<sup>237</sup> BVerfGE 149, 222, Rn. 85.

<sup>238</sup> BVerfGE 149, 222, Rn. 85.

<sup>239</sup> BVerfGE 149, 222, Rn. 85; vgl. auch Landtag von Baden-Württemberg, Drucksache 15/197, S. 41; *Lent*, in: Gerseof/Paal (Hrsg.), BeckOK Informations- und Medienrecht, 31. Edition, Stand 01.02.201, RBeitrStV § 4 Rn. 12.5.

<sup>240</sup> BVerfGE 149, 222, Rn. 85.

<sup>241</sup> BVerfGE 149, 222, Rn. 85.

(Satellit, Kabel etc.) konfrontiert wird. Allenfalls dort, wo der Empfang objektiv unmöglich ist – wobei dies auch nicht auf die terrestrische Übertragung beschränkt ist – liegt ein Härtefall nach § 4 Abs. 6 S. 1 RBStV vor, der zur Befreiung von der Beitragspflicht führt. Dies gilt allerdings wiederum auch nur auf Antrag, sodass auch für diese Beitragschuldner die Pflicht grundsätzlich nicht automatisch entfällt. Ein (partieller) Wegfall der terrestrischen Verbreitung (via DVB-T2) kann also allenfalls dazu führen, dass der Finanzbedarf gemäß § 36 MStV ggf. erneut von der Kommission zur Ermittlung des Finanzbedarfs der Rundfunkanstalten geprüft und ermittelt werden muss, wobei der Bedarf ohnehin regelmäßig zur Überprüfung steht, vgl. § 36 Abs. 1 MStV. Daher ergeben sich für die Erhebung des Rundfunkbeitrags bei einem möglichen (teilweisen) Wegfall der terrestrischen Übertragung keine Änderungen.

## 9.5 Zusammenfassung

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die verfassungsrechtliche Stellung des Rundfunks nach Art. 5 Abs. 1 S. 2 Var. 2 GG gemäß der Rechtsprechung des Bundesverfassungsgerichts zwar bei allen Überlegungen und den vorgeschlagenen Szenarien mit einzubeziehen und zu beachten ist, aber nicht zu rechtlich relevanten Hürden führt. In Beantwortung der drei aufgeworfenen Fragen gilt,

- erstens, dass eine Reduktion der terrestrischen Verbreitung rundfunkverfassungsrechtlich insoweit unproblematisch ist, da DVB-T2 nicht als umfassende terrestrische Verbreitungsform Gegenstand der verfassungsrechtlich zwingend vorgesehenen Grundversorgung ist und daher die diskutierten Modifikationen verfassungsrechtlich zulässig sind. Es muss lediglich einerseits senderseitig eine Verbreitung der Programme über jedenfalls eine Infrastruktur für jeden Haushalt technisch möglich und vorhanden sein und damit eine senderseitige Erreichbarkeit nahezu der gesamten Bevölkerung, also nahezu aller Haushalte, über jedenfalls eine (wenn auch für die unterschiedlichen Haushalte über eine divergierende) Infrastruktur gegeben sein. Zudem müssen die öffentlich-rechtlichen Rundfunkanstalten auch – sofern notwendig – über die Mittel verfügen, um die Absicherung dieses Übertragungsweges bzw. des Zusammenspiels verschiedener Übertragungswege zu gewährleisten. Andererseits muss zumindest eine entsprechende Infrastruktur auch empfangsseitig zu angemessenen Entgelten verfügbar sein. Beides ist grundsätzlich über die Kabel-, Breitband- und Satellitenverbreitung gegeben. Sofern das weiterhin der Fall ist, bedarf es von Verfassungswegen nicht der zusätzlichen Bereitstellung von DVB-T2 als terrestrischem Verbreitungsweg.

- Zweitens gilt, sofern in den Szenarien teilweise die mobile terrestrische Rundfunkverbreitung von DVB-T2 auf eine 5G-Mobilfunkverbreitung oder anderweitige Verbreitungsarten verlagert wird, die als Infrastruktur nicht mehr vom öffentlich-rechtlichen Rundfunk, sondern von Dritten, etwa privaten Mobilfunkanbietern (MNOs) im Fall der 5G-Verbreitung, betrieben werden, dann ist auch dies verfassungsrechtlich zulässig. Denn es muss keineswegs eine (terrestrische) Übertragungsinfrastruktur in der Hand des öffentlich-rechtlichen Rundfunks liegen.

- Schließlich gilt drittens, dass im Fall des reduzierten und anschließend beschränkten eigenständigen Rückgriffs des öffentlich-rechtlichen Rundfunks auf eine terrestrische Verbreitungsinfrastruktur die Geltendmachung des Rundfunkbeitrags keineswegs in Frage gestellt wird. So folgt aus rundfunk(verfassungs)rechtlicher nicht die Pflicht zum Vorhalten einer kostenlosen Verbreitungsinfrastruktur für den öffentlich-rechtlichen Rundfunk in Form von DVB-T2.

## 10 Zusammenfassende Bewertung und Ausblick

### 10.1 Zusammenfassung der Szenario-Analyse

Ziel der Studie „Perspektiven zur Nutzung des UHF-Bands 470-694 MHz nach 2030“ ist es, Szenarien für eine bedarfsgerechte Zuteilung des TV-UHF-Spektrums nach Auslaufen der aktuellen Frequenzzuteilung im Jahr 2030 an *bestehende Nutzer* und *neue Bedarfsträger* unter Berücksichtigung der künftigen Nachfrage und technologischer Effizienzpotenziale zu entwickeln.

Zu den bestehenden Nutzern zählen neben den öffentlich-rechtlichen Rundfunkveranstaltern und der Media Broadcast (Freenet AG), die über das Frequenzspektrum lineare TV-Programme auf Basis von DVB-T2 verbreiten, die professionellen Anwender von Veranstaltungstechnik (PMSE), deren Funkdienst aus physikalischen Gründen auf die Sekundärnutzung des TV-UHF-Spektrums angewiesen ist.

Als zukünftige Nutzer kommen aktuell der öffentliche Mobilfunk, Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) und die Bundeswehr, zusammengefasst als „Protection and Disaster Relief“ (PPDR) bezeichnet, sowie die Bundeswehr für eine rein militärische Nutzung (z. B. für Übungen, Manöver, Marschrouten, Host-Nation-Support) in Frage. Die Mobilfunknetzbetreiber machen Bedarf für dieses Spektrum geltend, um höhere Datenraten bei der Flächenversorgung realisieren zu können. Für PPDR und Bundeswehr gilt es, Spektrum für breitbandige Anwendungen zu erhalten.

Grundlegend kommen für die zukünftige Nutzung des TV-UHF-Bandes drei Hauptszenarien in Betracht:

1. eine **Aufrechterhaltung des Status-quo**, d. h. der Frequenznutzung durch den Rundfunk mit Fortführung des DVB-T2-Sendebetriebs und zusätzlicher Einführung von mobilen 5G-NR-Broadcast-Diensten mit vollständiger Aufrechterhaltung der Sekundärnutzung durch PMSE-Dienste
2. eine zukünftige **kooperative Nutzung des TV-UHF-Spektrums** auf Basis einer Reduktion der Spektrumsnutzung durch den Rundfunk zugunsten von PPDR, Militär und öffentlichem Mobilfunk mit Aufrechterhaltung einer Sekundärnutzung durch PMSE
3. eine zukünftige **Primärnutzung des TV-UHF-Spektrums durch Mobilfunktechnik** (für MNOs, PPDR und Militär) unter Mitnutzung durch PMSE

Tiefer untersucht wurden im Rahmen dieser Studie die Hauptszenarien zwei und drei.

Die **Hauptoption einer kooperativen Nutzung** würde es bei deutlicher Einschränkung der heutigen DVB-T2-Verbreitung (Reduktion der Verbreitungsgebiete auf Kernregionen und Abschaltung von ein oder zwei Multiplexen) erlauben, (tlw. deutlich) über 80 MHz an zusammenhängendem Spektrum freizustellen und Bedarfe von PPDR, Militär und Mobilfunk anteilig zu bedienen.

Die Analyse der aktuellen Spektrumsnutzung zeigt, dass die Freiräumung des oberen Teils des TV-UHF-Spektrums mehrere Vorteile bietet: Zum einen könnten diese Frequenzen aufgrund der geringeren Nutzung einfacher mit Anrainerstaaten koordiniert

werden. Zum anderen wäre so auch eine Verbindung des Spektrums mit den für PPDR bereits zugeteilten Frequenzen zwischen 698 MHz und 703 MHz möglich.

Die **Hauptoption einer Primärnutzung des TV-UHF-Spektrums durch Mobilfunktechnik** würde die Abschaltung der terrestrischen TV-Übertragung bedeuten. In diesem Szenario würde sich der DVB-T2-Empfang linearer TV-Programme auf alternative Empfangswege verlagern. Die terrestrischen TV-Sendernetzbetreiber sollten in diesem Fall die Gelegenheit erhalten, den Wechsel der Empfangstechnologie strategisch, produkttechnisch und kommunikativ vorzubereiten, bevor die Option einer Abschaltung öffentlich breit diskutiert wird. Zudem ist zu berücksichtigen, dass eine Abschaltung der DVB-T2-Verbreitung die Weiterentwicklung einer eigenständigen 5G-NR-Broadcast-Technologie hemmen könnte.

Für beide Hauptoptionen ist entscheidend, ob der Behördenfunk (PPDR) zukünftig vollständig oder zu großen Teilen über eigene Frequenzressourcen oder über das öffentliche Mobilfunknetz realisiert wird und ob dieser Netzbetrieb flächendeckend oder lokal/regional erfolgt.

Sollte die Lösung sein, dediziertes Breitbandspektrum für BOS-Dienste nur in städtischen Bereichen einzusetzen und im ländlicheren Raum (bei Bedarf) die Netze des öffentlichen Mobilfunks zu nutzen (Hybrid-Betrieb), wäre eine koordinierte militärische Mitnutzung des PPDR-Spektrums im ländlichen Raum denkbar. Dies würde den Gesamtbedarf an Spektrum für PPDR und militärische Zwecke ggf. verringern.

Im Falle der Hauptoption „Mobilfunk als Primärnutzer“ könnte der übrige Frequenzbereich grundsätzlich vom Mobilfunk genutzt werden, müsste sich jedoch eng mit PMSE koordinieren. Das bedeutet, ein größerer Teil des Spektrums (100 MHz und ggf. mehr) dürfte im weiten Umkreis von Städten und Open-Air-Veranstaltungsorten (hier ggf. nur temporär) nicht durch öffentlichen Mobilfunk oder PPDR genutzt werden, um Störungen von PMSE-Funkstrecken zu vermeiden.

Sollte es gelingen, die Spektrums-Konkurrenz zwischen BOS und dem öffentlichen Mobilfunk aufzuheben, in dem man für breitbandige PPDR-Dienste alternatives Spektrum bereitstellt oder die Nutzung langfristig auf öffentliche Mobilfunknetze überführt, verbliebe der Koordinationsbedarf zwischen Mobilfunk, PMSE und militärischer Nutzung.

Leichter zu koordinieren wäre eine gemeinsame Nutzung von militärischen Anwendungen und PMSE, da hier aufgrund der räumlichen Trennung eine vollständige Sekundärnutzung ohne Schnittmengen möglich erscheint. Eine exklusive Reservierung von Frequenzen würde jedoch bedeuten, größere Anteile von zusammenhängendem Spektrum (mind. 100 MHz) Diensten vorzubehalten, die darauf nur lokal und vielfach nur temporär zugreifen.

Eine gemeinsame Nutzung von PPDR und PMSE auf denselben Frequenzen schließt sich dagegen aus, weil PPDR- genauso wie PMSE-Funkdienste im städtischen Bereich und oftmals gemeinsam vor Ort eingesetzt werden.

Perspektiven für eine Abdeckung zukünftiger Steigerungsbedarfe der PMSE-Anwender für Groß-Veranstaltungen könnten durch eine Outdoor-Nutzbarkeit des Mid-Bands im Frequenzbereich 1350 MHz bis 1492 MHz geschaffen werden.

Schaut man auf die Anrainer-Situation, erscheint eine großflächige Mobilfunknutzung des gesamten TV-UHF-Bandes im Inland derzeit schwer koordinierbar. In den Grenzbereichen würden sich Mobilfunk-Sendemasten und DVB-T2-Sender gegenseitig stören.

Sofern nicht zeitnah eine europaweite Neukoordinierung des TV-UHF-Spektrums in Gang käme, böte sich hier ein mehrstufiger Migrationsprozess an: Dabei bliebe die Nutzung durch den öffentlichen Mobilfunk zu Beginn auf den oberen Teil des TV-UHF-Spektrums begrenzt, während im unteren Teil mit entsprechendem Abstand zur Grenze ausschließlich lokal betriebene Dienste des Militärs und der PMSE sowie ggf. auch der PPDR-Gruppe zur Anwendung kommen könnten.

## 10.2 Zusammenfassung der rechtlichen Bewertung

Die rechtliche Analyse zeigt, dass die verfassungsrechtliche Stellung des Rundfunks nach Art. 5 Abs. 1 S. 2 Var. 2 GG gemäß der Rechtsprechung des Bundesverfassungsgerichts zwar bei allen Überlegungen und den vorgeschlagenen Szenarien mit einzubeziehen und zu beachten ist, aber nicht zu rechtlich relevanten Hürden führt. So gilt,

- erstens, dass eine Reduktion der terrestrischen Verbreitung rundfunkverfassungsrechtlich insoweit unproblematisch ist, da DVB-T2 nicht als umfassende terrestrische Verbreitungsform Gegenstand der verfassungsrechtlich zwingend vorgesehenen Grundversorgung ist und daher die diskutierten Modifikationen verfassungsrechtlich zulässig sind. Es muss lediglich einerseits senderseitig eine Verbreitung der Programme über jedenfalls eine Infrastruktur für jeden Haushalt technisch möglich und vorhanden sein und damit eine senderseitige Erreichbarkeit nahezu der gesamten Bevölkerung, also nahezu aller Haushalte, über jedenfalls eine (wenn auch für die unterschiedlichen Haushalte über eine divergierende) Infrastruktur gegeben sein. Zudem müssen die öffentlich-rechtlichen Rundfunkanstalten auch – sofern notwendig – über die Mittel verfügen, um die Absicherung dieses Übertragungsweges bzw. des Zusammenspiels verschiedener Übertragungswege zu gewährleisten. Andererseits muss zumindest eine entsprechende Infrastruktur auch empfangsseitig zu angemessenen Entgelten verfügbar sein. Beides ist grundsätzlich über die Kabel-, Breitband- und Satellitenverbreitung gegeben. Sofern das weiterhin der Fall ist, bedarf es von Verfassungswegen nicht der zusätzlichen Bereitstellung von DVB-T2 als terrestrischem Verbreitungsweg, so dass entsprechende Modifikationen verfassungsrechtlich zulässig sind.

- Zweitens gilt, sofern in den Szenarien teilweise die mobile terrestrische Rundfunkverbreitung von DVB-T2 auf anderweitige Verbreitungsarten verlagert wird, die als Infrastruktur nicht mehr vom öffentlich-rechtlichen Rundfunk, sondern von Dritten betrieben werden, auch dies verfassungsrechtlich zulässig ist. Denn es muss keineswegs eine (terrestrische) Übertragungsinfrastruktur in der Hand des öffentlich-rechtlichen Rundfunks liegen.

- Schließlich gilt drittens, dass im Fall des reduzierten und anschließend beschränkten eigenständigen Rückgriffs des öffentlich-rechtlichen Rundfunks auf eine terrestrische Verbreitungsinfrastruktur die Geltendmachung des Rundfunkbeitrags keineswegs in Frage gestellt wird. So folgt aus rundfunk(verfassungs)rechtlicher Sicht nicht die Pflicht zum Vorhalten einer kostenlosen Verbreitungsinfrastruktur für den öffentlich-rechtlichen Rundfunk in Form von DVB-T2. Aus rundfunkverfassungsrechtlicher Sicht wäre demnach auch eine Einstellung des DVB-T2-Sendenetzbetriebs zulässig.

## 10.3 Ausblick

Neben dem Frequenzbedarf der MNOs bilden die angemeldeten Bedarfe der BOS-Netzbetreiber und des Militärs für breitbandige Kommunikationsdienste einen zentralen Anstoß für die Diskussion um eine veränderte Nutzung des TV-UHF-Bandes.

Für den Fall, dass im Rahmen der WRC-23 die Entscheidung für eine ko-primäre Nutzung des TV-UHF-Bandes in Europa ohne einschränkende Nebenvereinbarungen getroffen wird, müssten darauf aufbauend **Meilensteine definiert und kontinuierliche Statusanalysen durchgeführt werden**, um den tatsächlich erwartbaren Nutzungsumfang durch den zivilen Behördenfunk und das Militär besser einschätzen zu können.

Hierzu könnte z. B. eine deutsche **PPDR-Migrationsstrategie** zählen, die erläutert, wie die aktuell geplante und über die nächsten 10 Jahre verstärkt erfolgende Mitnutzung öffentlicher Mobilfunknetze schließlich in die Ablösung des TETRA-Sprechfunks und einen eigenständigen PPDR-Breitbandnetzbetrieb (flächendeckend/ballungsraumbezogen/lokal) münden soll. Auch Anstrengungen der deutschen Behörden, hin zu einer EU-weit koordinierten PPDR-Nutzung im TV-UHF-Band, könnten hier wichtige Meilensteine zu einer erfolgreichen Realisierung darstellen.

Der **gesonderte militärische Bedarf** müsste vor einer Spektrumszuteilung ebenfalls weiter konkretisiert und auch auf der Zeitachse dargestellt werden. Zugleich müsste frühzeitig die Mit- oder Sekundärnutzung militärisch genutzter Spektren durch PMSE, PPDR oder öffentlichen Mobilfunk und die damit verbundenen räumlichen Trennungen und Ausnahmeregelungen vereinbart und koordiniert werden.

Sofern die Entscheidung für eine zukünftige kooperative Nutzung des TV-UHF-Spektrums fällt, wäre es hilfreich, wenn der **Rundfunk** seine langfristigen Strategien zur Nutzung von Rundfunktechnologien zur Verbreitung linearer TV-Programme konkretisiert. Hierbei könnte insbes. der Beitrag von DVB-T2 vor dem Hintergrund der Nutzungsentwicklung begründet werden. Zudem wäre die Rollenverteilung bei der Entwicklung einer reduzierten Spektrumsnutzung durch den Rundfunk zu klären.

Für die **professionellen Nutzer von Veranstaltungstechnik** ist entscheidend, dass eine europäische Harmonisierung von PMSE-Spektrum im Mid-Band bis 1,8 GHz für professionelle Audio-Anwendungen gelingt. Ziel wäre es, dass entsprechende Absatzmärkte entstehen und Profi-Equipment grenzübergreifend auch in höheren Bandlagen eingesetzt werden kann. Die weltweit zunehmende Komplexität der Sekundärnutzung von Frequenzen erfordert zudem Systeme, die ein breites Frequenzspektrum bedienen können und ggf. eigenständig in der Lage sind, auf Störung während der Übertragung dynamisch zu reagieren. Langfristig wird es relevant sein, ob die Entwicklungen im Bereich Mobilfunk-basierter PMSE-Technik (PMSE-xG) die Steigerungsbedarfe bei Großveranstaltungen durch Nutzung von Frequenzen oberhalb von 2 GHz bedienen können.

Die **Betreiber öffentlicher Mobilfunknetze** müssten ihre Frequenzbedarfe ebenfalls konkretisieren und Einschätzungen liefern, ob ihr Nutzungsinteresse auch an gemeinsam genutzten, hoch-koordinierten Spektrumsanteilen bestehen würde, die nur außerhalb von Städten, Event-Flächen und militärischen Übungsgebieten/Marschrouten sowie ggf. auch außerhalb von Gebieten mit eigenständigem PPDR-Netzbetrieb einsetzbar sind.