



## **Studie zur Bedarfsermittlung des Breitbandpektrums der BOS in Breitbandmobilfunknetzen**

**3. Mai 2022**

## Kurzzusammenfassung

Diese Studie untersucht Möglichkeiten zur bedarfsgerechten Bereitstellung von Breitbandanwendungen und Diensten für die einsatzkritische Sprach- und Datenkommunikation der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) in der Bundesrepublik Deutschland, durch ein landesweites, einheitliches Funknetz in dem Frequenzbereich 470 bis 694 MHz.

Grundlage für diese Studie bilden Bedarfserhebungen unter den Nutzern des Digitalfunks BOS sowie die Analyse der rechtlich-regulatorischen Rahmenbedingungen für die Frequenznutzung bis zum Jahr 2030 und darüber hinaus.

**Im Ergebnis der Untersuchungen wird ein künftiger Spektrumsbedarf von mindestens 60 MHz für Breitbandanwendungen im Digitalfunk BOS festgestellt.**

**Nach aktuellem Sachstand stehen für den Zeitraum nach 2030 keine neu zu erschließenden Frequenzen mehr für den Betrieb eines landesweiten BOS-Kommunikationsnetzes für die einsatzkritische Kommunikation der BOS in der Bundesrepublik Deutschland zur Verfügung.** Dabei wird angenommen, dass die Ende 2033 frei werdenden Frequenzen, insbesondere in den Bereichen 700 MHz und 900 MHz weiterhin dem öffentlichen Mobilfunk gewidmet bleiben.

Mit der ITU-Resolution 235 (WRC-15) wurde der avisierte Frequenzbereich für eine Nutzung durch Mobilfunktechnologien (*Mobile Service bzw. International Mobile Telecommunications, IMT*) in der ITU Region 1<sup>1</sup> identifiziert. Gemäß ITU-Resolution 811 (WRC-19) soll im Rahmen der WRC-23, auf Grundlage von Kompatibilitätsuntersuchungen mit bereits bestehenden Frequenznutzungen, über dessen weitere Verwendung entschieden werden. Mit einer entsprechenden Beschlussfassung im Rahmen der WRC-23 könnte demnach also ein zusätzliches Frequenzspektrum von bis zu 224 MHz für Mobilfunktechnologien in der ITU-Region 1 verfügbar gemacht werden.

Frequenzen unterhalb von 1 GHz weisen für die alltägliche Arbeit der BOS unverzichtbare, gute Gebäudedurchdringungseigenschaften auf und eignen sich ideal für eine kosteneffiziente, funktechnische Versorgung ländlicher Räume auf der Grundlage der bereits bestehenden, einheitlichen Netzinfrastruktur des BOS-Digitalfunknetzes.

Eine sichere, flächendeckende, hochverfügbare und zukunftsfähige mobile Breitbandkommunikation ist darüber hinaus ein elementarer Baustein zur Gewährleistung der öffentlichen Sicherheit und der Rettung von Menschenleben.

**Die Öffnung des Frequenzbereichs 470 bis 694 MHz für den Mobilfunk und die Zuteilung eines Frequenzspektrums von mindestens 60 MHz für ein eigenbeherrschtes und leistungsstarkes mobiles BOS-Breitbandnetz ist daher unerlässlich.**

---

<sup>1</sup> Afrika, Europa inklusive Island, dem Nahen Osten, dem westlichen Persischen Golf, Irak, Russland, den ehemaligen Sowjetrepubliken und der Mongolei

## Inhaltsverzeichnis

<b>Kurzzusammenfassung .....</b>	<b>2</b>
<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>3</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>5</b>
1.1 Anforderungen an Breitband - Public Protection and Disaster Relief (PPDR) Frequenzen .....	6
1.2 Gegenstand und Ziel der Studie .....	8
1.3 Aufbau der Studie.....	8
<b>2 Rahmenbedingungen der Frequenznutzung .....</b>	<b>10</b>
2.1 Aktuelle Frequenznutzung im Digitalfunk BOS und Ausblick .....	10
2.1.1 Frequenzuteilungen TETRA .....	10
2.1.2 Breitbandnutzung im 700 MHz Band .....	11
2.2 Analyse Frequenznutzung 470 bis 694 MHz in Deutschland, europäischen Ländern und international.....	12
2.2.1 Frequenznutzung (470 bis 694 MHz) national .....	12
2.2.2 Frequenznutzung (470 bis 694 MHz) international .....	14
2.3 Public Protection and Disaster Relief (PPDR) - Nationale und internationale Situation .....	22
2.3.1 Public Protection and Disaster Relief (PPDR) im Sub-700 MHz Band .....	22
<b>3 Einflussfaktoren für den Frequenzbedarf .....</b>	<b>24</b>
3.1 Heutiger und zukünftiger Bedarf .....	24
3.2 Grundlegende Trends verändern unsere Gesellschaft.....	25
3.2.1 Demografischer Wandel .....	26
3.2.2 Kulturelle Veränderungen .....	27
3.2.3 Änderungen der Freizeitgestaltung.....	27
3.2.4 Änderungen im zwischenmenschlichen Verhalten.....	28
3.3 Gesellschaftliche Veränderungen in Wohnumfeld und Mobilität .....	28
3.3.1 Wohnumfeld im Kontext städtischer/ländlicher Bereich .....	29
3.3.2 Zukünftige Herausforderungen im Zuge von Pandemien oder Umweltkatastrophen.....	29
3.4 Technische Veränderungen.....	30
<b>4 Methodik .....</b>	<b>31</b>
4.1 Einführung in die Methodologie .....	31
4.2 Inhalte des Fragenkatalogs .....	33
4.2.1 Ergebnisse aus dem Fragebogen.....	35
4.3 Ermittlung von (Einzel-)Datenraten.....	36
4.3.1 Nutzungshäufigkeit.....	38
4.3.2 Anzahl der verwendeten Geräte .....	38

4.3.3	Abfragehäufigkeit .....	40
4.3.4	Upload/Download .....	40
4.3.5	Dateigrößen .....	40
4.3.6	Einsatzdauer .....	42
4.4	Verkehrsmodell .....	43
4.4.1	Methodik.....	43
<b>5</b>	<b>Ergebnis.....</b>	<b>51</b>
5.1	Ergebnisse basierend auf aktuellen Zahlen .....	52
5.2	Ergebnisse basierend auf zukünftiger Wertung .....	54
5.3	Zusammenfassung resultierender Spektrumsbedarf .....	56
5.4	Plausibilisierung der Ergebnisse.....	57
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>59</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>61</b>
	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>61</b>
	<b>Abkürzungen und Glossar.....</b>	<b>63</b>
	<b>Literaturverzeichnis/Referenzierte Dokumente.....</b>	<b>66</b>
	<b>Anhang A1 .....</b>	<b>70</b>
	<b>Anhang A2 .....</b>	<b>73</b>
	<b>Autoren .....</b>	<b>76</b>

# 1 Einleitung

Der Digitalfunk der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben in der Bundesrepublik Deutschland (Digitalfunk BOS) ermöglicht aktuell die bundesweite, organisationsübergreifende, einsatzkritische Sprach- und schmalbandige Datenkommunikation (z.B. Kurznachrichten, Statusmeldungen) der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) sowie der Bundeswehr auf Grundlage des TETRA-Bündelfunkstandards.

Mit der technischen Weiterentwicklung und durch Änderungen der gesellschaftlichen Rahmenbedingungen (z.B. zunehmenden Digitalisierung, demographischer Wandel) verändern sich jedoch die Anforderungen der BOS an eine moderne, einsatzkritische Kommunikation.

Durch den zunehmenden Einsatz digitaler Medien und moderner Kommunikationstechnologien im Arbeitsalltag der BOS-Kräfte (z.B. Videokommunikation, Drohnen- und Robotersteuerung) wandelt sich deren Kommunikationsbedarf von einer ursprünglich einsatzkritischen Sprachkommunikation zu einer modernen, einsatzkritischen und breitbandigen Datenkommunikation.

Bereits zum aktuellen Zeitpunkt nutzen die BOS neben dem TETRA-Bündelfunk diverse kommerzielle und eigenständige breitbandfähige Netzwerke und Dienste für die einsatzkritische und unkritische Kommunikation (z.B. Glasfaser, Mobil- und Satellitenfunk, WiFi für z.B. Drohnensteuerung, Datenbankabfragen, Bild- und Videoübertragungen, Applikationen für die Alarmierung und Einsatzkoordination sowie Dokumentation und Auswertung).

Hinsichtlich der Sicherheit, Netzabdeckung und Netzverfügbarkeit entsprechen diese Lösungen in der Regel jedoch nicht den Anforderungen der BOS an eine einsatzkritische Kommunikation. Zudem ermöglichen sie nur bedingt den organisations- sowie grenzübergreifenden Informationsaustausch (z.B. im Rahmen gemeinsamer Einsatzlagen verschiedener BOS sowohl innerhalb der Bundesrepublik Deutschland als auch in den europäischen Nachbarstaaten).

Der effiziente Schutz von Menschenleben und die Aufrechterhaltung der öffentlichen Sicherheit erfordern daher die Bereitstellung einer einheitlichen, sicheren und hochverfügbaren, breitbandigen Kommunikationsinfrastruktur für die einsatzkritische Sprach- und Datenkommunikation der BOS.

Diese ist insbesondere erforderlich, um im Bedarfsfall (z.B. Personenfahndungen, Großsinsatzlagen, Naturkatastrophen, Terroranschläge und militärische Konflikte) eine kontinuierliche, sichere, unabhängige und gegen Manipulation durch Dritte resistente Kommunikation der BOS zu gewährleisten.

Aufgrund der hohen Sicherheits- und Verfügbarkeitsanforderungen (d.h. impliziert Hochverfügbarkeit, Informationssicherheit, Integrität, Redundanz usw.), welche weit über die

Anforderungen an bestehende kommerzielle Netze hinausgehen, muss diese Kommunikationsinfrastruktur als eigenständiges und eigenbeherrschtes Netzwerk mit ausreichendem Frequenzspektrum für die benötigten funktechnischen Übertragungen konzipiert und betrieben werden.

Um den Digitalfunk BOS zukunftsfähig zu machen und an die veränderten Anforderungen der Nutzer anzupassen, wurde mit dem Beschluss der 29. Sitzung des Verwaltungsrates der BDBOS vom 08.12.2016 die Modernisierung des BOS-Digitalfunknetzes sowie dessen Umstellung auf den IP-Standard und die Einführung von BOS-Breitbanddiensten im Digitalfunk BOS auf Grundlage verfügbarer und zukunftsweisender Breitbandtechnologien beschlossen.

Zudem sind die aktuell auf Grundlage des TETRA-Standards bereitgestellten Kommunikationsdienste für den netzgebundenen Betrieb sowie für den netzunabhängigen Direktbetrieb zwischen den Endgeräten (z.B. Einzelruf, Gruppenruf, Notruf, Alarmierung, Statusmeldungen, Kurznachrichten, u.a.) perspektivisch durch entsprechende Breitbandtechnologien abzulösen.

Für die bedarfsgerechte, ortsunabhängige Bereitstellung der genutzten Dienste durch das BOS-Digitalfunknetz ist ein ausreichendes Frequenzspektrum für die notwendigen funktechnischen Übertragungen erforderlich.

## **1.1 Anforderungen an Breitband - Public Protection and Disaster Relief (PPDR) Frequenzen**

Gemäß den Grundsätzen der Bundesnetzagentur<sup>2</sup> sollen Frequenzen möglichst als zusammenhängendes Spektrum zugeteilt werden. Dies wird im Hinblick auf die Vergabe von Spektrum für zukünftige BOS Netze ausdrücklich begrüßt. Für die Bereitstellung von Frequenzen für LTE und 5G NR geht die Bundesnetzagentur (BNetzA) zudem von Blöcken à 2 x 5 MHz (gepaart) bzw. 5 MHz (ungepaart) als kleinste technisch sinnvolle Spektrumsmenge aus. Dies ist notwendig, um potentielle negative Rückwirkungen auf Frequenznutzungen in benachbarten Frequenzbereichen sowie ggf. damit einhergehende Nutzungseinschränkungen zu minimieren und die Effizienz der Frequenznutzung zu erhöhen.

Darüber hinaus sollte das zu nutzende Frequenzspektrum für moderne und zukunftsweisende Funktechnologien standardisiert und dessen Nutzung international harmonisiert sein bzw. werden, um Skaleneffekte der Industrie langfristig nutzen zu können und die erforderliche System- und Endgerätetechnologie zu marktüblichen Preisen verfügbar zu machen.

---

<sup>2</sup> BNetzA – Orientierungspunkte und Bedarfsabfrage zur Bereitstellung von Frequenzen in den Bereichen 800 MHz, 1.800 MHz und 2,6 GHz für den ausbau digitaler Infrastrukturen - <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/Telekommunikation/Breitband/MobilesBreitband/MobilesBreitband-node.html>

Diesbezüglich sollte das zu nutzende Frequenzspektrum durch handelsübliche Systemtechnik und Endgeräte unterstützt werden, um auf bestehende und zuverlässige Markenprodukte und Technologien zurückgreifen zu können und kostenintensive Neuentwicklung sowie Spartenprodukte zu vermeiden.

Die BOS benötigt jederzeit und an jedem Ort eine leistungsstarke und mobile Datenkommunikation, um ihre Einsätze sowohl im Tagesgeschäft, als auch in Sonder- oder Katastrophenlagen erfolgreich zu bewältigen.

Aufgrund der spezifischen Ausbreitungs- und Durchdringungseigenschaften von elektromagnetischen Wellen sollte sich das zu verwendende Frequenzspektrum daher deutlich unterhalb von 1 GHz befinden, um auch eine für die alltägliche Arbeit der BOS unerlässliche ausreichende Gebäudedurchdringung sowie eine kosteneffiziente Flächenversorgung auf Grundlage der bestehenden Netzinfrastruktur des BOS-Digitalfunknetzes zu ermöglichen.

Die Bandbreite des für BOS-Breitbandanwendungen nutzbaren Spektrums muss zudem groß genug sein, um die Kommunikation der BOS bei der Erfüllung ihrer täglichen Aufgaben sowie im Rahmen erhöhter Bedarfe bei z.B. Großveranstaltungen und bei Katastropheneinsätzen zu gewährleisten.

Auf der WRC-23 wird über die Öffnung des Frequenzbereichs 470 bis 694 MHz für eine Nutzung durch Mobilfunktechnologien (*Mobile Service bzw. International Mobile Telecommunications, IMT*) in der ITU Region 1<sup>3</sup> entschieden.

Die in dem avisierten Frequenzbereich für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland bestehenden Frequenzuteilungen für Rundfunkdienste und Anwendungen zur professionellen drahtlosen Produktion laufen im Jahr 2030 aus.

Unter Berücksichtigung der technischen Entwicklungen im Bereich der Rundfunkdienste und der sich verändernden Gewohnheiten beim Medienkonsum<sup>4</sup> ist es möglich, dass die Frequenzbedarfe sowohl der BOS als auch des Rundfunks im Bereich 470 bis 694 MHz gedeckt werden können.

Mit einer entsprechenden Beschlussfassung im Rahmen der ITU sowie auf nationaler Ebene könnte also bis 2030 ein für BOS-Breitbandanwendungen adäquates Frequenzspektrum von 60 MHz standardisiert, harmonisiert und verfügbar gemacht werden.

---

<sup>3</sup> Afrika, Europa inklusive Island, dem Nahen Osten, dem westlichen Persischen Golf, Irak, Russland, den ehemaligen Sowjetrepubliken und der Mongolei

<sup>4</sup> BnetzA – Studie zur zukünftigen Nutzung des UHF-Bands - [https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen\\_Institutionen/Frequenzen/Studien/StudieZukunftUHF-Band.html](https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/Studien/StudieZukunftUHF-Band.html)

## 1.2 Gegenstand und Ziel der Studie

Die vorliegende Studie analysiert die aktuelle Frequenznutzung im Digitalfunk BOS sowie die Nutzung von Breitbandanwendungen und Diensten der BOS und leitet hieraus den Spektrumsbedarf ab, der für die langfristige, bedarfsgerechte funktechnische Bereitstellung von einsatzkritischen Kommunikationsdiensten („Mission Critical Services“) im Rahmen eines zukünftigen, eigenbeherrschten, landesweiten und flächendeckenden BOS-Breitbandnetzes besteht.

## 1.3 Aufbau der Studie

Den Ausgangspunkt der vorliegenden Bedarfsanalyse hinsichtlich des benötigten Frequenzspektrums für die BOS-Breitbandkommunikation bilden die Antworten eines Fragenkataloges, der ausgewählten BOS-Einsatzkräften zur Beantwortung vorlag. Dieser enthält Fragen zur aktuellen und prognostizierten Nutzung von Breitband-Anwendungen im einsatzkritischen Umfeld sowie der Ableitung der hieraus resultierenden Datenraten und benötigten Bandbreiten. Während die derzeitigen Breitbandbedarfe der BOS ausschließlich über vergleichsweise unsichere kommerzielle Netze gedeckt werden, muss vor allem mit Blick auf die Sicherstellung der „Mission Critical Services“ die Deckung der künftigen Bedarfe in einem eigenbeherrschten, bedarfsgerechten, landesweiten und flächendeckenden Breitbandnetz im Fokus liegen. Die Bedarfserhebung im Rahmen dieser Studie soll den alternativlosen Bedarf der BOS an ausreichend Frequenzspektrum in einem geeigneten Frequenzbereich untermauern.

Darüber hinaus ist die Analyse der rechtlichen und regulatorischen Rahmenbedingungen für die Frequenznutzung sowie der weiteren bestehenden und potentiellen Nutzungsansprüche in dem Zielband notwendig, um entsprechende Strategien für deren Erschließung zu entwickeln.

Im ersten Schritt wird in Kapitel 2 die aktuelle Zuteilungssituation und die Nutzung der Frequenzen durch die BOS analysiert. Dazu werden die Frequenzen auf Grundlage des aktuellen Frequenzplanes der Bundesnetzagentur vom Januar 2021 und ihre derzeitige Nutzung dargestellt. Im weiteren Verlauf des Kapitels wird auf rechtliche und weitere Rahmenbedingungen eingegangen. Es folgt eine Betrachtung der nationalen und internationalen Frequenznutzung. In der internationalen Betrachtung wird nach den ITU-Regionen 1 bis 3 unterschieden. Zum Ende des Kapitels 2 wird kurz auf die Situation im Nachbarband 700 MHz eingegangen.

Kapitel 3 beschreibt die Problemstellung, die den zusätzlichen Frequenzbedarf im betrachteten Spektrum begründet; neue technologische Entwicklungen und grundsätzliche Veränderungen in der Gesellschaft führen zu Veränderungen von Einsatzszenarien und damit ändert sich auch der Kommunikationsbedarfe der BOS. Weiter werden hier die Vorgehensweise und das Verkehrsmodell der Bedarfsanalyse beschrieben.



In Kapitel 4 wird zunächst die Methodik zur Ermittlung der Spektrumsbedarfe aufgezeigt, bevor in Kapitel 5 der darauf basierende zukünftige Bedarf abgeleitet wird.

## 2 Rahmenbedingungen der Frequenznutzung

In diesem Kapitel wird die aktuelle und geplante Frequenznutzung in den relevanten Spektrumsbereichen (unterhalb von 1 GHz) in Deutschland und international betrachtet.

### 2.1 Aktuelle Frequenznutzung im Digitalfunk BOS und Ausblick

#### 2.1.1 Frequenzuteilungen TETRA

Wie eingangs beschrieben, ermöglicht der Digitalfunk BOS aktuell die organisationsübergreifende, einsatzkritische Sprach- und schmalbandige Datenkommunikation (z.B. Kurznachrichten, Statusmeldungen) der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) sowie der Bundeswehr auf Grundlage des TETRA-Bündelfunktstandards.

Die auf Grundlage der europäischen Harmonisierung der Frequenznutzungen für die einsatzkritische BOS-Kommunikation<sup>5,6,7</sup> sowie im Einklang mit den Bestimmungen des Frequenzplans der Bundesrepublik Deutschland (Stand: Januar 2021)<sup>8</sup> hierfür bestehende Frequenzuteilung an die BDBOS umfassen aktuell ein Frequenzspektrum von 2 x 5 MHz (380,00 bis 385,00 MHz (uplink); 390,00 bis 395,00 MHz (downlink)). Dieses ist gemäß Frequenzplan der Bundesrepublik Deutschland bundesweit zugeteilt und grundsätzlich für eine militärische Nutzung gewidmet.

Zusätzlich besteht auf Grundlage von Vereinbarungen mit dem militärischen Hoheitsträger die Möglichkeit, ein Spektrum von 2 x 1,5 MHz in den ebenfalls militärisch gewidmeten Frequenzbereichen 385,00 bis 386,50 MHz (uplink) sowie 395,00 bis 396,50 MHz (downlink) standortbezogen mit zu nutzen.

Darüber hinaus ist der BDBOS ein Spektrum von 1 x 3,9 MHz in dem auf primärer Basis für den Radioastronomie-Funkdienst gewidmeten Frequenzbereich 406,10 bis 410,00 MHz zugeteilt<sup>9</sup>. Aufgrund von Bestimmungen zum Schutz des Radioastronomie-Funkdienstes ist der Frequenzbereich jedoch nicht uneingeschränkt bundesweit nutzbar. Mit der absehbaren und in etwa für das Jahr 2030 geplanten Abkündigung des TETRA basierten Digitalfunks BOS gehen die entsprechenden Frequenznutzungsrechte der BDBOS in den Frequenzbereichen (380,00 bis 386,50 MHz sowie 390,00 bis 396,50 MHz) gemäß Frequenzplan wieder an den militärischen Hoheitsträger über.

---

<sup>5</sup> ECC Decision (08)05: "The harmonisation of frequency bands for the implementation of digital Public Protection and Disaster Relief (PPDR) radio applications in bands within the 380-470 MHz range"

<sup>6</sup> ERC/DEC/(01) 19 „Harmonised frequency bands to be designated for the Direct Mode Operation (DMO) of the Digital Land Mobile Systems for the Emergency Services"

<sup>7</sup> ECC/DEC/(06) 05 „Harmonised frequency bands to be designated for Air-Ground-Air operation (AGA) of the Digital Land Mobile Systems for the Emergency Services"

<sup>8</sup> Teilplaneinträge 234003, 236001

<sup>9</sup> Teilplaneinträge:244001, 244002

Die ggf. dann noch verbleibenden Frequenznutzungsrechte im Frequenzbereich 406,10 bis 410,00 MHz sind für die Verwendung in einem landesweiten BOS-Breitbandnetz weder ausreichend noch geeignet.

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

Tabelle 1 Genutztes Spektrum für digitalen BOS-Sprechfunk (TETRA) in Deutschland<sup>10</sup>

Somit stehen für den Zeitraum nach 2030 keine Frequenzen mehr für den Betrieb eines landesweiten Kommunikationsnetzes für die einsatzkritische Kommunikation der BOS in der Bundesrepublik Deutschland zur Verfügung.

### 2.1.2 Breitbandnutzung im 700 MHz Band

Auf Grundlage der europaweiten Harmonisierung der Frequenznutzungen für die Breitbandkommunikation von BOS und KRITIS (*Broadband Public Protection and Disaster Relief*, BB-PPDR) gemäß (ECC/DEC(16)02<sup>11</sup>) bestehen im Frequenzplan der Bundesrepublik Deutschland entsprechende Widmungen für eine bundesweite Nutzung im Umfang von 2 x 5 MHz (Band 68) und 2 x 3 MHz (Band 28) gemäß Abbildung 1. Aus Gesprächen mit Lieferanten ist zwar bekannt, dass einzelne Systemtechnikhersteller derzeit prüfen, Radiosysteme für diesen Frequenzbereich kommerziell anzubieten. Die Situation bei den Chip Lieferanten und den davon abhängigen Endgeräteherstellern ist aber weiterhin unklar. Aktuell ist es daher nicht möglich, diese Frequenzen trotz ihrer Nachbarschaften zu den öffentlichen Mobilfunknetzbetreibern Telefónica (TF), Deutsche Telekom (TM) und Vodafone (VF) bei der Bedarfserhebung fest einzuplanen.

<sup>10</sup> BnetzA – Studie zur zukünftigen Nutzung des UHF-Bands - [https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen\\_Institutionen/Frequenzen/Studien/StudieZukunftUHF-Band.html](https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/Studien/StudieZukunftUHF-Band.html)

<sup>11</sup> ECC Decision Harmonised technical conditions and frequency bands for the implementation of Broadband Public Protection and Disaster Relief (BB-PPDR) systems v. 08.03.2019

Frequenzbereich [MHz]	BNetzA Frequenzteilplan/ Eintrag	Funkdienst
698-703	249A/ 249A003	Funkanwendungen der BOS/ Militär
703-733	249A/ 249A004	Drahtloser Netzzugang zum Angebot von Telekommunikationsdiensten
733-736	249A/ 249A005	Funkanwendungen der BOS/ Militär
753-758	249A/ 249A006	Funkanwendungen der BOS/ Militär
758-788	249A/ 249A007	Drahtloser Netzzugang zum Angebot von Telekommunikationsdiensten
788-790	249A/ 249A008	Funkanwendungen der BOS/ Militär
790-791	250/ 250001	Funkanwendungen der BOS/ Militär

Tabelle 2 Auszug aus dem deutschen Frequenzplan (698 bis 791 MHz)



Abbildung 1 Auszug aus dem deutschen Frequenzplan (698 bis 791 MHz)

## 2.2 Analyse Frequenznutzung 470 bis 694 MHz in Deutschland, europäischen Ländern und international

Die Nutzung des UHF-Frequenzbereichs zwischen 470 und 694 MHz wird momentan national und international intensiv diskutiert. Der Frequenzbereich ist derzeit vornehmlich für Rundfunkdienste und Anwendungen zur professionellen drahtlosen Produktion gewidmet. Die zukünftigen Nutzungsmöglichkeiten für dieses Spektrum sind ein zentraler Punkt der Agenda der WRC-23. Die entsprechenden Tagesordnungspunkte wurden bereits in der vorherigen Weltfunkkonferenz 2019 festgelegt.

### 2.2.1 Frequenznutzung (470 bis 694 MHz) national

Im folgenden Kapitel wird die Nutzung des Frequenzbandes zwischen 470 und 694 MHz national dargestellt. Die folgende Tabelle zeigt einen Auszug aus dem deutschen Frequenzplan (Stand 2021) [21]. Der deutsche Frequenzplan liefert folgende Applikationen im zu untersuchenden Frequenzbereich in tabellarischer Form.

Frequenz-Bereich [MHz]	BNetzA Frequenzteilplan/ Eintrag	Funkdienst
470-494	249/ 249001	Windprofil Messradar (Radare zur höhenabhängigen Bestimmung der Windrichtung, Windgeschwindigkeit und Temperatur)
470-608	249/ 249002	Funkmikrofone (Übertragung von Sprach-, Musik- und Tonsignalen zur Nutzung durch Funkmikrofone) Max. ERP 50mW
470 - 694	249/ 249003	Militärische Funkanwendungen (Einzelfrequenzen für militärische Nutzung sind mit der BNetzA zu koordinieren)
470 - 694	249/ 249004	Betriebsfunk (Übertragung von Sprach- und Tonsignalen für Reportagezwecke) Max. ERP 30W, Kanalbandbreite 20kHz
470 - 694	249/ 249005	Fernsehrundfunk (Übertragung von digitalen Bild-, Ton- und Datensignalen auf Basis des DVB-T oder DVB-T2 Standards). Die Übertragung von Rundfunk hat Vorrang vor der Übertragung sonstiger Inhalte (Mediendienste, Teledienste). Kanalbandbreite/Kanalraster 8MHz
608-614	249/ 249006	Radioastronomie (Empfangen von Funkwellen und Strahlungen aus dem Weltraum)
614-694	249/ 249007	Funkmikrofone (Übertragung von Sprach-, Musik- und Tonsignalen zur Nutzung durch Funkmikrofone) Max. ERP 50mW

Tabelle 3 Auszug aus dem deutschen Frequenzplan (470 bis 694 MHz)

Der deutsche Frequenzplan (Stand 2021) [21] liefert folgende Applikationen im zu untersuchenden Frequenzbereich in grafischer Form.

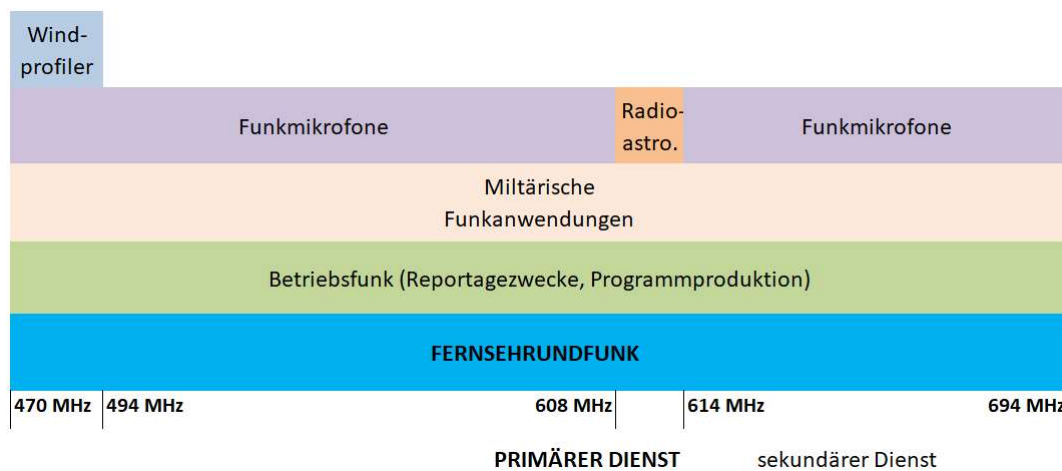


Abbildung 2 Auszug aus dem deutschen Frequenzplan

Aus den Verwaltungsvorschriften der BNetzA für Rundfunkdienste [23] geht für DVB-T unter Verwendung der Betriebsarten für DVB-T2 und für T-DAB hervor, dass grundsätzlich die Dauer der rundfunkrechtlichen Zuweisung maßgebend ist, längstens jedoch eine

Zuweisung bis 31.12.2030 erfolgt. Der damalige Präsident der Bundesnetzagentur Jochen Homann, versicherte im März 2021 [31], dass die UHF-Frequenzen zwischen 470 und 694 MHz "bis mindestens 2030" der Kultur und den Rundfunkanstalten zur Verfügung stehen werden<sup>12</sup>. Somit folgt Deutschland dem Beschluss des europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2017, bis mindestens 2030 dieses Frequenzband für die terrestrische Bereitstellung von Rundfunkdiensten und die Nutzung durch Funkanwendungen zur Übertragung von Ton und Bild zur Programmerstellung und bei Veranstaltungen (Programme Making and Special Events, PMSE) verfügbar zu machen.

Neben der Nutzung durch den primären Dienst Rundfunk finden sich folgende Dienste zur sekundären Nutzung im UHF Frequenzbereich 470 bis 694 MHz.

Dienste	Beschreibung	Frequenz [MHz]	Laufzeit	Interessensvertreter
PMSE (Program Making and Special Events)	Technologien der Veranstaltungstechnik wie drahtlose Kameras und drahtlose Mikrofone	470 - 608MHz 614 - 694MHz	31.12.2030	-Programmproduktion -Initiativen der Kultur- und Kreativwirtschaft (z.B. SOS) -Endgerätehersteller
Radioastronomie	Radioteleskop	608 - 614 MHz	Mind. 2023	-BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung)
Windprofilmessradar	Meteorologische Messsysteme	470 - 494 MHz	Mind. 2023	-DWD (Deutscher Wetterdienst)
Nichtöffentlicher mobiler Landfunk	Betriebsfunk für Sprach- und Datenübertragung Reportagefunk Meldeübertragungstrecken/ Tonübertragungstrecken	470 - 694 MHz	Mind. 2023	Rundfunkanstalten, Programmproduzenten
Militärische Funkanwendungen	Einzelfrequenzen für militärische Nutzung mit der Bundesnetzagentur zu koordinieren	470 - 694 MHz	Mind. 2023	Militär

Tabelle 4 Sekundäre Zuweisungen im Frequenzbereich 470 bis 694 MHz

## 2.2.2 Frequenznutzung (470 bis 694 MHz) international

Im folgenden Kapitel wird die Nutzung des Frequenzbandes zwischen 470 und 694 MHz international dargestellt. Dabei wird die Situation für die drei ITU Regionen beleuchtet. Die ITU Region 1 und der europäische Teilbereich der CEPT Länder wird hierbei besonders detailliert dargestellt.

<sup>12</sup> Diese Aussage des Präsidenten der BNetzA wurde in der Pressemitteilung Elisabeth Motschmann vom 11.03.2021 berichtet. In derselben Pressemitteilung wurde noch darauf hingewiesen: „Diese Frequenzen sind Kultur und Rundfunk bis 2030 zugewiesen worden. Auf der für das Jahr 2023 angesetzten nächsten Weltfunkkonferenz wären aber andere Entscheidungen denkbar.“ Der Präsident der BNetzA hat keine vorfristigen Eingriffe zu Gunsten anderen Bedarfsträger, sondern die Einhaltung der bisherigen vertraglichen Zuweisung bis 2030 zugesichert.

Für die Zuweisung von Frequenzbereichen an Funkdienste ist die Erde durch die Internationale Fernmeldeunion (International Telecommunication Union, ITU) in drei Regionen wie folgt eingeteilt:

- Region 1: Afrika, Europa inklusive Island, dem Nahen Osten, dem westlichen Persischen Golf, Irak, Russland, den ehemaligen Sowjetrepubliken und der Mongolei,
- Region 2: Amerika, Grönland und einigen der östlichen pazifischen Inseln,
- Region 3: Asien (ausgenommen das Territorium der ehemaligen Sowjetunion), Iran sowie den östlich angrenzenden Gebieten und den überwiegenden Teil Ozeaniens.

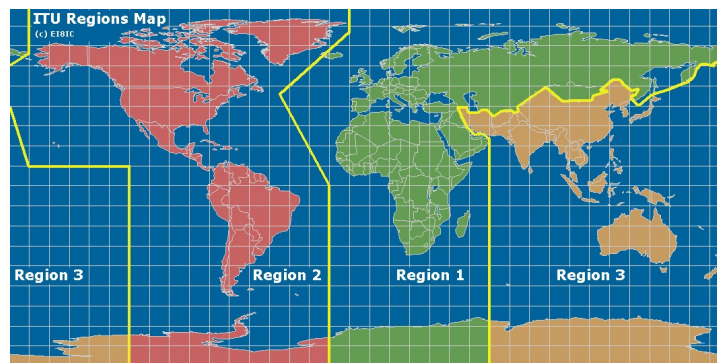


Abbildung 3 ITU Regionen

Basierend auf der letzten Weltfunkkonferenz im Jahre 2019 (WRC-19 in Sharm el-Sheikh) resultiert die aktuelle Vollzugsordnung für den Funkdienst (Radio Regulation 2020, RR-2020) [22], der die Frequenzzuweisungen auf primärer und sekundärer Basis in den drei ITU Regionen aufzeigt.

### 2.2.2.1 ITU Region 1

Die folgenden aktuellen Frequenzzuteilungen gehen aus dem aktuellen Vollzugsordnung für den Funkdienst RR-2020 [22] für die Region 1 hervor. Die Dienste in Großbuchstaben sind primär zugewiesen, die anderen Dienste sekundär<sup>13</sup>.

Frequenzbereich [MHz]	Allokation
460 - 470	FIXED MOBILE 5.286AA Meteorological-satellite (space-to-Earth) 5.287 5.288 5.289 5.290
<b>470 - 694</b>	<b>BROADCASTING</b> <b>5.149 5.291A 5.294 5.296 5.300 5.304 5.306 5.312</b>
694 - 790	MOBILE except aeronautical mobile 5.312A 5.317A BROADCASTING 5.300 5.312

Tabelle 5 Allokationen internationaler Frequenzplan in Region 1

#### 2.2.2.1.1 Umfrage in ITU Region 1 zur Nutzung des UHF Bandes

Eine aktuelle ITU-Umfrage unter allen Ländern der ITU-Region 1 wurde in der WRC-23 Vorbereitungsgruppe analysiert (WP 6A Rapporteur Group on AI 1.5 der WRC-23) [26]. Die Umfrage beschäftigt sich mit der aktuellen Nutzung des UHF-Bandes im Bereich 470 bis 694 MHz in Bezug auf Rundfunk und andere Dienste und gibt somit ein aktuelles Stimmungsbild der verantwortlichen Frequenzregulierer aus den betroffenen Ländern.

Im Detail wurden u.a. folgende Fragen adressiert:

*Q1: Wie hoch sehen Sie den Anteil der Bevölkerung in Ihrem Land, welcher digitales terrestrisches Fernsehen konsumiert im Frequenzbereich 470 bis 694 MHz?*

In der nachfolgenden Darstellung sind die Antworten visualisiert. Die Farbaufteilung erfolgt entsprechend den in der Legende jeweils aufgelisteten Prozentsätze.

<sup>13</sup> Primärnutzer dürfen durch Sekundäranwendungen nicht gestört werden, während sekundäre Anwender Störungen durch primäre Funkdienste hinzunehmen haben.



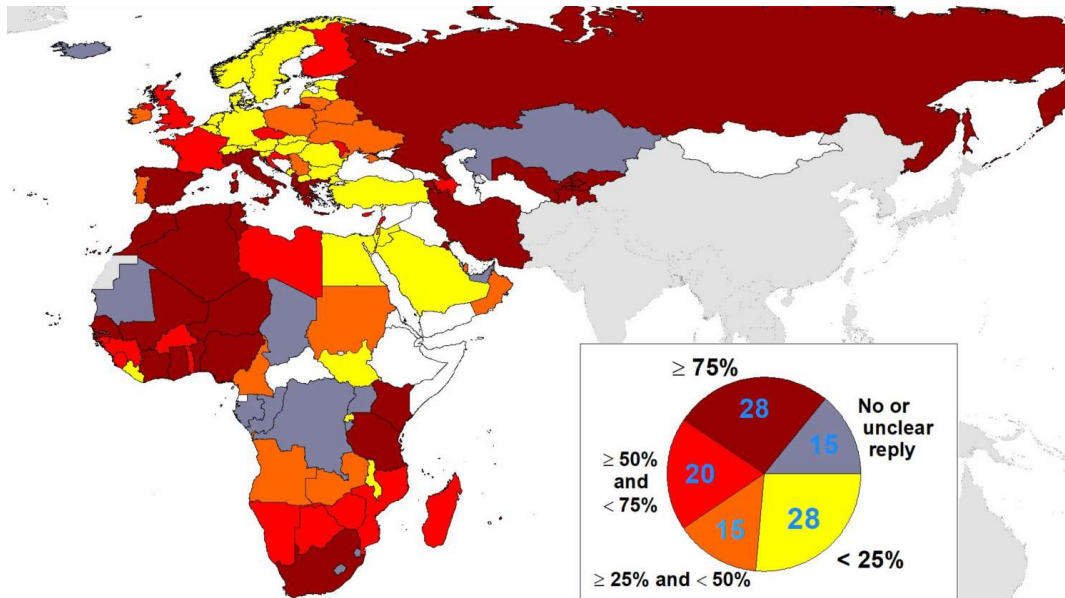


Abbildung 4 Auswertung ITU Fragebogen Nutzung 470 bis 694 MHz (Q1)

Q22: Sind weitere Dienste, neben digitalem terrestrischem Fernsehen, in Ihrem Land im Frequenzbereich 470 bis 694 MHz in Betrieb und, wenn ja, auf welcher Basis?

In der nachfolgenden Darstellung sind die Antworten visualisiert:

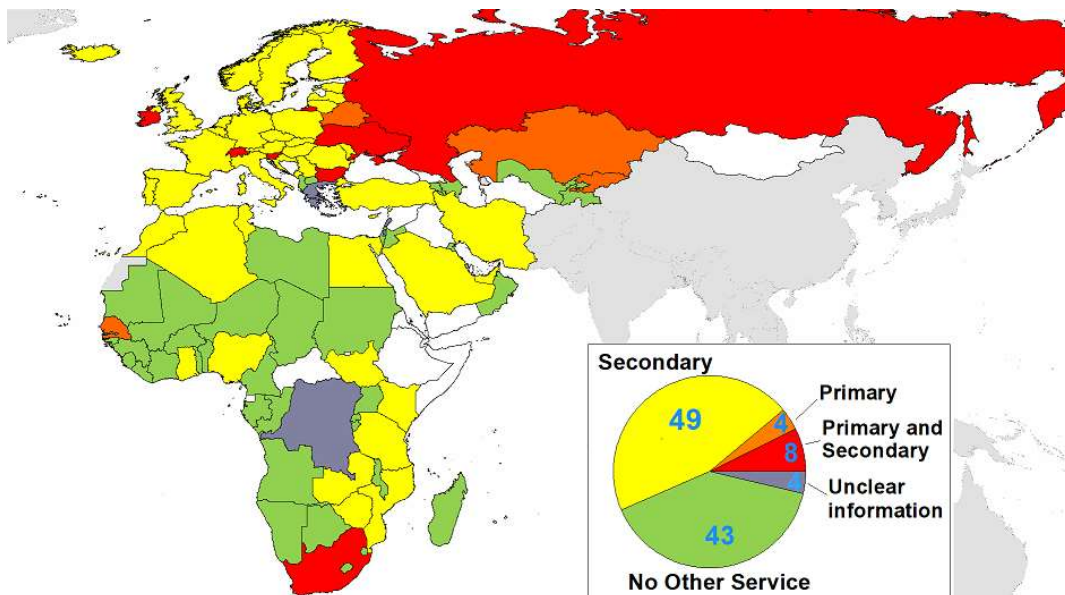


Abbildung 5 Auswertung ITU Fragebogen Nutzung 470 bis 694 MHz (Q22)

Q23: Wie viel Frequenzspektrum erachten Sie als notwendig in Ihrem Land, um genügend Spektrum für den Rundfunkdienst bereitstellen zu können?

In der nachfolgenden Darstellung sind die Antworten visualisiert<sup>14</sup>:

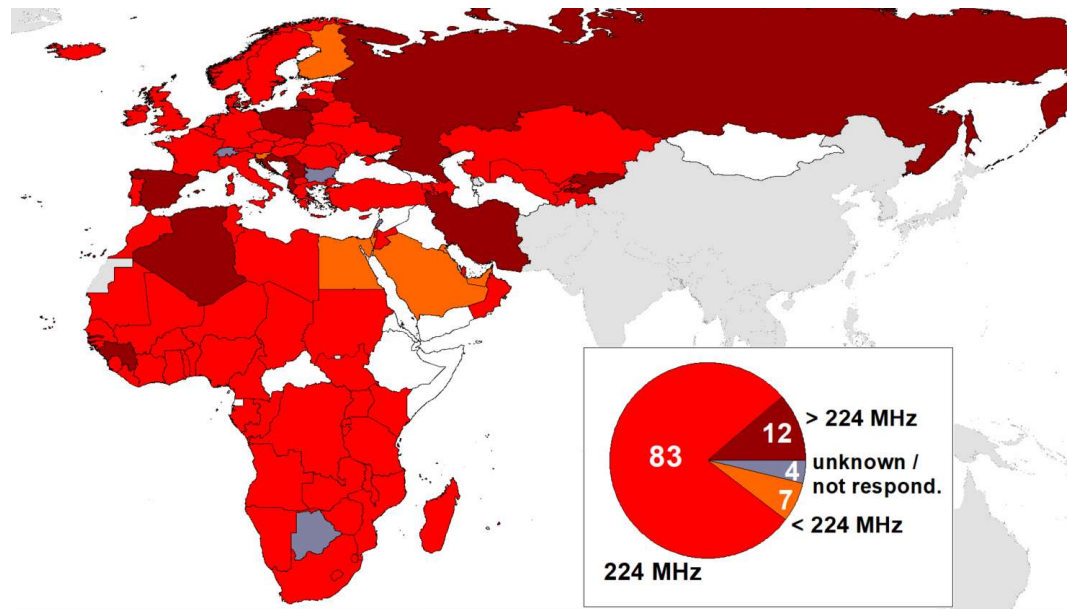


Abbildung 6 Auswertung ITU Fragebogen Nutzung 470 bis 694 MHz (Q23)

Eine weitere ITU Umfrage der WP 5A [25] adressiert unter anderem die Frage bzgl. des Spektrumsbedarfs für non-IMT Land Mobile Services im Frequenzband 470 bis 694 MHz. Die bisherigen Ergebnisse zeigen dabei mögliche Spektrumsbedarfe für den Schutz der Öffentlichkeit und Katastrophenhilfe (Public Protection and Disaster Relief, PPDR) für Deutschland und Frankreich. Frankreich z.B. konkretisiert in seiner Antwort den Bedarf des Spektrums von 6 MHz zwischen 688 und 694 MHz mit dem Ziel, ein Duplex von 688 bis 698 MHz (UL) und 743 bis 753 MHz (DL) zu ermöglichen.

### 2.2.2.1.2 Interessenvertreter in Europa

- Europäische Rundfunkanstalten

Wie in Deutschland sind auch die internationalen öffentlich-rechtlichen und privaten Rundfunkanstalten Interessenvertreter in dem zu untersuchen UHF-Band zwischen 470 und 694 MHz. Das Interesse bezieht sich auf die Verbreitung von Rundfunk in diesem Frequenzbereich. Zusätzlich gab es in der Vergangenheit

<sup>14</sup> Der Beschluss (EU) 2017/899 des europäischen Parlaments und des Rates vom 17.05.2017 über die Nutzung des Frequenzbands 470–790 MHz in der Union, garantiert die Verfügbarkeit des Bandes für den Rundfunkdienst bis mindestens 2030. Über 2030 hinaus können je nach künftigem Bedarf des Rundfunkdienstes neue Dienste in dieses Band eingeführt werden. Die BDBOS sieht den Rundfunk mit vorsichtig reduziertem Bedarf, da die Moderne auf andere Medien als den terrestrischen Rundfunk zeigt.

5G Broadcasting Testausendungen mit Projektpartnern aus Rundfunk und Mobilfunk, um den Empfang auf mobilen Endgeräten (Smartphone, Tablet) zu testen. Bei Beibehaltung des bisherigen Contents würde dies allerdings zu keiner Reduzierung des Spektrumsbedarfs im Vergleich zu DVB-T2 führen.

- European Broadcasting Union (EBU)

Die EBU mit Sitz in Genf wurde 1950 gegründet und ist ein Zusammenschluss aus derzeit 72 Rundfunkanstalten in 56 Staaten Europas, Nordafrikas und Vorderasiens. Das Ziel der Union ist es, ein Netzwerk zum Austausch von Nachrichtenfildern zu etablieren und technische Entwicklungen und Standardisierungen im Radio- und Fernsehbereich voranzutreiben. Neben den 72 Vollmitgliedern hat die EBU auch 33 assoziierte Mitglieder aus 21 weiteren Staaten.

- Broadcast Network Europe (BNE)

Die BNE repräsentiert international 18 Rundfunknetzbetreiber, die Netze in 20 europäischen Staaten betreiben.

- Association of Professional Wireless Production Technology (APWPT)

APWPT ist ein internationaler Verband, der die Interessen der Nutzer und Hersteller drahtloser Produktionsmittel vertritt. APWPT engagiert sich in internationalen Gremien der Standardisierung und Regulierung und wirkt unterstützend für die Mitglieder im Bereich Frequenzfragen und Frequenzprobleme. Nach den bisherigen Digitalen Dividenden ist ihr Ziel, das verbliebene UHF-Spektrum für ihre Dienste zu schützen. Projektgruppen beschäftigen sich jedoch mit PMSE-xG, da 5G und die damit verbundenen geringen Latenzen eventuell eine Option für den Anwendungsfall der drahtlosen Produktionsmittel darstellen könnte.

- Mobilfunkvertreter

Wie in Deutschland setzen sich auch internationale Mobilfunkbetreiber und Organisationen dafür ein, weitere Flächenfrequenzen im Bereich 470 bis 694 MHz für den Mobilfunk bereitzustellen, um zukünftige Bedarfe speziell im ländlichen Raum zu decken. Laut GSMA ist das Ziel eine co-primäre Zuweisung im gesamten Band 470 bis 694 MHz in Region 1. Darüber hinaus ist der Frequenzbereich 663 bis 698 MHz (uplink) / 617 bis 652 MHz (downlink) als offizielles LTE-Band (Band 71, FDD) ausgewiesen und in Kanada und USA auch bereits für Mobilfunk zugewiesen (siehe ITU Region 2). Auch in der ITU Region 3 (siehe unten) wird bereits über eine Umwidmung für den Mobilfunk nachgedacht.

Nach Aussagen renommierter Hersteller sind für das Frequenzband 71 (FDD) sowohl Basisstationen als auch Endgeräte (GSMA zeigt ca. 250 Endgeräte) verfügbar.

Zwar wäre es prinzipiell auch möglich, das Band 71 analog dem geplanten Vorgehen der Bundesnetzagentur bei 2,6 GHz<sup>15</sup> von FDD- auf TDD-Nutzung umzuwidmen, es bliebe aber zu klären, welche Auswirkungen dies auf die Verfügbarkeit der Systemtechnik hat. In Bezug auf eine Flexibilisierung des Uplink Downlink Verhältnisses hätte TDD hier klare Vorteile.

Des Weiteren wäre zu klären, ob der Vorteil, das LTE-Frequenzband 71 (für das bereits heute Technik verfügbar ist) zu nutzen, die Nachteile einer höheren Standortdichte im Vergleich zum unteren Rand des Frequenzbandes kompensieren kann. Zudem wäre zu prüfen, ob es bei Verwendung von Band 71 möglich ist, durch technologische Weiterentwicklungen wie MIMO oder V-RAN/O-RAN möglichst einen Großteil der bereits gehärteten Standorte der BDBOS sinnvoll wieder zu verwenden, im Fall von V-RAN/O-RAN z.B. für die zentralen RAN Komponenten wie CUs und DUs.

- Vertreter aus der Wissenschaft

Wie in Deutschland setzen sich auch international Vertreter für die wissenschaftliche Nutzung von Frequenzbereichen im Bereich 470 bis 494 MHz und 608 bis 614 MHz ein. Für den Frequenzbereich zwischen 470 und 494 MHz setzen sich jeweils die nationalen meteorologischen Dienste, also die Wetterdienste der europäischen Staaten, ein wie z.B. Meteo-France (Frankreich), Met Office (UK), Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie (Schweiz) oder Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (Niederlande). Bezüglich des Frequenzbereichs zwischen 608 und 614 MHz gibt es nahezu in jedem Land Radioteleskope zum Zwecke der Radioastronomie oder Atmosphärenforschung wie z.B. in Frankreich (IRAM Plateau de Bure Interferometer), Großbritannien (Jodrell-Bank-Radiobservatorium), Italien (Sardinia Radio Telescope) oder Schweden (Onsala Space Observatory).

### 2.2.2.2 ITU Region 2

Dieses Kapitel zeigt die Nutzung des Frequenzbandes zwischen 470 und 694 MHz in der ITU-Region 2, welche die in Abbildung 3 gekennzeichneten Länder in Amerika, Grönland und einigen der östlichen pazifischen Inseln umfasst.

Folgende aktuelle Frequenzuteilungen gehen aus der aktuellen Vollzugsordnung für den Funkdienst RR-2020 [22] für die Region 2 hervor. Im Vergleich zur exklusiven Nutzung des Rundfunks in Region 1, ist in Region 2 im 600 MHz Band eine weitere Nutzung durch andere Dienste möglich. Die Dienste in Großbuchstaben sind primär zugewiesen, die anderen Dienste sekundär:

---

<sup>15</sup> BNetzA – Orientierungspunkte und Bedarfsabfrage zur Bereitstellung von Frequenzen in den Bereichen 800 MHz, 1.800 MHz und 2,6 GHz für den ausbau digitaler Infrastrukturen - <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/Telekommunikation/Breitband/MobilesBreitband/MobilesBreitband-node.html>

Frequenzbereich [MHz]	Allokation
460 - 470	FIXED MOBILE 5.286AA Meteorological-satellite (space-to-Earth) 5.287 5.288 5.289 5.290
470 - 512	<b>BROADCASTING</b> Fixed Mobile 5.292 5.293 5.295
512 - 608	<b>BROADCASTING</b> 5.295 5.297
608 - 614	<b>RADIO ASTRONOMY</b> Mobile-satellite except aeronautical mobile-satellite (Earth-to-space)
614 - 698	<b>BROADCASTING</b> Fixed Mobile 5.293 5.308 5.308A 5.309
698 - 806	MOBILE 5.317A BROADCASTING Fixed 5.293 5.309

Tabelle 6 Allokationen internationaler Frequenzplan in Region 2

Trotz der sekundären Zuweisung wurde in den USA das 600 MHz Band vom Rundfunk geräumt und in 2017 an die Mobilfunkbetreiber versteigert, in Kanada geschah dies in 2021. In weiteren südamerikanischen Ländern wie z.B. Mexiko, Guatemala ist eine Versteigerung des 600 MHz Bands für den Mobilfunk vorgesehen.

### 2.2.2.3 ITU Region 3

Dieses Kapitel zeigt die Nutzung des Frequenzbandes zwischen 470 und 694 MHz in der ITU-Region 3, welche die in Abbildung 3 gekennzeichneten Länder in Asien (ausgenommen das Territorium der ehemaligen Sowjetunion), Iran sowie die östlich angrenzenden Gebiete und den überwiegenden Teil Ozeaniens umfasst.

Folgende aktuelle Frequenzzuweisungen gehen aus der aktuellen Vollzugsordnung für den Funkdienst RR-2020 [22] für die Region 3 hervor. Im Vergleich zur exklusiven Nutzung des Rundfunks in Region 1, ist in Region 3 im Band 470 bis 694 MHz eine Nutzung durch andere Dienste möglich. Die Dienste in Großbuchstaben sind primär zugewiesen, die anderen Dienste sekundär.

Frequenzbereich [MHz]	Allokation
460 - 470	FIXED MOBILE 5.286AA Meteorological-satellite (space-to-Earth) 5.287 5.288 5.289 5.290
470 - 585	FIXED MOBILE 5.296A BROADCASTING 5.291 5.298
585 - 610	FIXED MOBILE 5.296A BROADCASTING RADIONAVIGATION 5.149 5.305 5.306 5.307
610 - 694	FIXED MOBILE 5.296A 5.313A 5.317A BROADCASTING 5.149 5.305 5.306 5.307 5.320
694 - 890	FIXED MOBILE 5.296A 5.313A 5.317A BROADCASTING 5.149 5.305 5.306 5.307 5.320

Tabelle 7 Allokationen internationaler Frequenzplan in Region 3

Ausnahmen dieser Frequenz-Allokationen sind durch entsprechende Fußnoten gekennzeichnet. Die ITU-APT (Asia Pacific Telecommunity) hat eine Nutzung des 600 MHz Bandes für Mobilfunk vorgeschlagen. Die indischen Behörden haben bereits entschieden, dieses Spektrum den drei großen Mobilfunkbetreibern anzubieten.

## 2.3 Public Protection and Disaster Relief (PPDR) - Nationale und internationale Situation

### 2.3.1 Public Protection and Disaster Relief (PPDR) im Sub-700 MHz Band

In den vorhergehenden Kapiteln wurde die aktuelle Nutzung im Frequenzbereich 470 bis 694 MHz aufgezeigt. Neben den Windprofilradaranwendungen (470 bis 494 MHz) und der Radioastronomie (608 bis 614 MHz) bilden Anwendungen zur Programmproduktion und zur terrestrischen Rundfunkprogrammverbreitung den größten spektralen Anteil. Die Digitalisierung im terrestrischen Rundfunk und auch die Evolution der Technologien haben zu einer deutlichen spektralen Effizienzsteigerung geführt. Gleichzeitig aber wurden durch die Reduzierung um über 40% des ursprünglich verfügbaren UHF-Spektrums

durch die sogenannten Digitalen Dividenden die verfügbaren Ressourcen deutlich eingeschränkt. Auch die Erwartungshaltung der Fernsehzuschauer bzgl. der Qualität (FullHD/ 4k) ist gestiegen, was eine gewisse Bandbreite pro Programm voraussetzt.

Nach Aussagen des Präsidenten der Bundesnetzagentur folgt auch Deutschland dem EU-Ratsbeschluss [32] vom 17. Mai 2017 und versichert somit, dass die UHF-Frequenzen zwischen 470 und 694 MHz bis mindestens 2030 für Kultur und die Rundfunkanstalten zur Verfügung stehen sollen. Daher ist eine anderweitige Nutzung nicht vor 2030 zu erwarten. Nach dem Lamy Report [33] vom August 2014 ist im Jahr 2025 eine Überprüfung der Nutzung nach 2030 vorgesehen.

Die EU hat im Oktober 2021 eine Studie mit dem Titel „Study on the use of the sub-700 MHz UHF Band (470 – 694 MHz)“ vergeben, welche sich diesem Thema annehmen soll. Ergebnisse diesbezüglich oder ein Veröffentlichungsdatum der Ergebnisse der Studie sind zum gegenwertigen Zeitpunkt nicht bekannt.

Zudem wurde eine Studie mit dem Titel „Perspektiven zur Nutzung des UHF-Bandes 470-694 MHz nach 2030“<sup>16</sup> im Auftrag der Bundesnetzagentur erstellt. Diese steht mit Stand vom 18.11.2021 auf der Webseite der Bundesnetzagentur zur Verfügung.

---

<sup>16</sup> Perspektiven zur zukünftigen Nutzung des UHF-Bands - Bundesnetzagentur - <https://www.bundesnetzagentur.de/uhf-studie.html>

### 3 Einflussfaktoren für den Frequenzbedarf

Die Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) müssen in den kommenden Jahren durch verschiedene Veränderungen die Anforderungen einer bedarfsgerechten Kommunikation neu bewerten. Im Folgenden wird daher zunächst auf Veränderungen in der Gesellschaft eingegangen und dann bewertet, wie zukünftige Einsatzszenarien der BOS davon beeinflusst werden können.

#### 3.1 Heutiger und zukünftiger Bedarf

Der aktuelle Bedarf der breitbandigen BOS-Mobilfunksysteme wird anhand der Befragung der Einsatzkräfte analysiert, vgl. hierzu Kapitel 4.2. Im Fragenkatalog werden sowohl gegenwärtige als auch zukünftige Nutzungen der Anwendungen berücksichtigt. Fragen werden für die jeweilige Kategorie der Szenarien, also den Normalbetrieb, die geplante Lage und die Katastrophenlage, gestellt.

Die heutigen Anwendungen sind, wie in Kapitel 4.3.5 Tabelle 15 aufgeführt, Einsatzplan, Einsatzauftrag, Lageplan, Luftbilder, Umfeldkarte, Datenbanken, Vorgangsbearbeitung, Patientendaten, Bio-Sensorik, Fahrzeug-Sensorik, EKG, CT-Diagramme, Ersthelfer-App, Spontanhelferaktion, Online-Fahrzeugdatenbank, Online-Gefahrstoffdatenbank, Hydrantenpläne, Online-Fahndungsdatenbank, Online-Kennzeichenüberprüfung, Online-Giftdatenbank, Recherche, Dynamisches Verkehrsrouting, Social Media, Katwarn/Nina, Text, Bild, Sprachnachrichten, Telefonie, Videonachricht, Videokonferenz, Email ohne Anhang, Email mit Anhang, Videosequenz, Wärmebildkamera, Body Cam, Video Livebild, Einzelruf und Gruppenruf.

Der zukünftige Bedarf wird wesentlich durch zwei Faktoren beeinflusst. Zum einen durch einen weiteren Anstiegs des Einsatzaufkommens und zum anderen durch einen kontinuierlichen Anstieg der Nutzungshäufigkeit von breitbandigen Anwendungen.

Ein kontinuierliches Wachstum des Einsatzaufkommens, zum Beispiel im öffentlichen Rettungsdienst in Deutschland, konnte auch schon in den vergangenen zwei Jahrzehnten beobachtet werden.



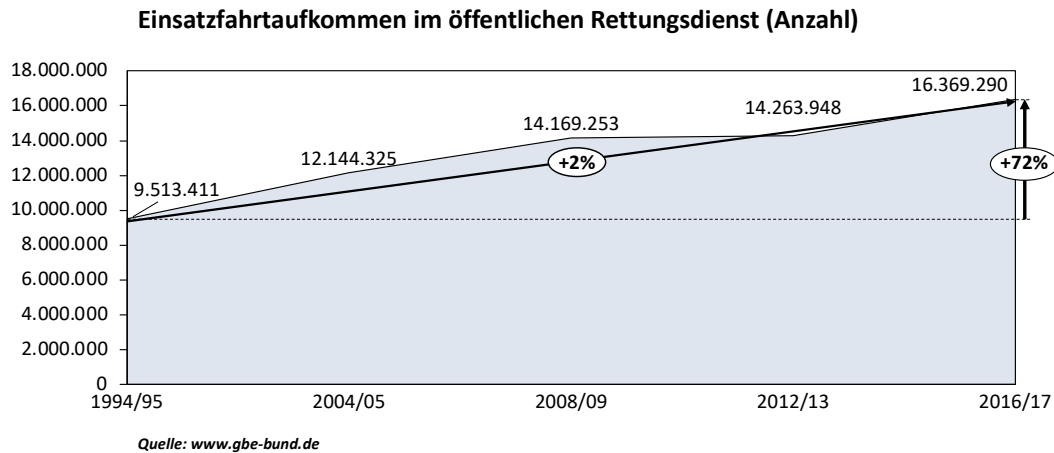


Abbildung 7: Einsatzaufkommen im öffentlichen Rettungsdienst

Der zukünftige Bedarf in 2030 wird daher auf Grundlage der heutigen Anwendungen und unter Berücksichtigung einer Steigerungsrate abgeschätzt. Für die zukünftige Datennutzung von Anwendungen wie etwa dem Einsatzauftrag wird, wie in Kapitel 4.3 formuliert, eine lineare Steigerungsrate von 1% bis 2030 angenommen; andere Anwendungen wie z.B. die Sensorik werden zunächst bis 2025 mit einer Steigerungsrate von 1% und danach bis 2030 mit einer Steigerungsrate von 5% berechnet. Die zukünftigen Herausforderungen und Veränderungen erklären, warum die Datennutzung stets steigt bzw. der Bedarf in Zukunft deutlich höher liegt, vgl. Kapitel 3.2 und 3.3.

### 3.2 Grundlegende Trends verändern unsere Gesellschaft

Veränderungen in der Gesellschaft werden durch langfristige Trends beeinflusst z.B. bei der Mobilität, der Freizeitgestaltung und der Nutzung von Technologie. Diese Veränderungen haben auch Auswirkungen auf BOS-Einsatzkräfte, die mit diesem veränderten Verhalten in der Gesellschaft konfrontiert werden und diesem im Einsatz u.a. auch mit geeigneten technischen Mitteln begegnen müssen. Dazu gehört insbesondere auch die Übertragung von Bildern und Videos sowie die breitbandige Übertragung von z.B. Sensor- oder Medizindaten. Beides setzt eine Erhöhung der Übertragungsbandbreiten in den mobilen Telekommunikationsnetzen der BDBOS voraus. Hierzu müssen die geeigneten Frequenzen zugewiesen und auf der Netzseite die Voraussetzungen für eine effektive, ausfallsichere und eigenbeherrschte Nutzung geschaffen werden. Zur weiterführenden Untersuchung der Bedarfe werden wesentliche Trends nachfolgend kurz dargestellt.

### 3.2.1 Demografischer Wandel

Die Bevölkerungsgröße wird von drei demografischen Komponenten direkt beeinflusst: Geburten, Sterbefälle und Differenz zwischen den Zuzügen nach und Fortzügen aus Deutschland (Wanderungssaldo). Da die Geburten und Sterblichkeit auch zwei wesentliche Faktoren des demografischen Wandels sind, hängt die Veränderung der Bevölkerungszahl eng mit dem demografischen Wandel zusammen.

Seit 1973 übersteigt in Deutschland die Zahl der Gestorbenen die Zahl der Geborenen. Ohne einen positiven Wanderungssaldo, der diese negative "natürliche" Bevölkerungsbilanz kompensiert, würde die Bevölkerungszahl bereits seit über 40 Jahren abnehmen. Dies war zum Beispiel Mitte der 1980er Jahre und zwischen 2003 und 2010 der Fall. In den Jahren 2013 bis 2019 nahm die Bevölkerungszahl zu, da der Wanderungssaldo die negative Differenz zwischen den Geburten und Sterbefällen überkompensiert hat.<sup>17</sup>

Ein zweiter Effekt dieser Entwicklung ist das steigende Durchschnittsalter der Bevölkerung in Deutschland, den man an der Veränderung innerhalb der Altersgruppen erkennen kann.

#### Bevölkerung nach Altersgruppen Veränderungsrate zum Vorjahr in %

Jahr	Insgesamt	im Alter von... bis unter ... Jahren				
		unter 20	20 bis 40	40 bis 60	60 bis 80	80 und mehr
2020	0,0	0,0	-0,5	-1,1	0,5	4,5
2019	0,2	0,2	0,1	-1,1	0,4	5,4
2018	0,3	0,3	0,5	-0,8	0,3	4,6

Abbildung 8: Bevölkerung nach Altersgruppen (Statistisches Bundesamt)

Aus dieser Entwicklung kann ein Einfluss auf die Anzahl und die Art von Rettungs- und Notarzt-Einsätzen abgeleitet werden, da diese bei zunehmenden Alter häufiger werden. Darüber hinaus kann wegen komplexerer lebensbedrohender Notfälle die Hinzunahme von Fachpersonal, z.B. durch Telediagnostik per Video- und Sensorübertragung, erforderlich werden, die den Bedarf der notwendigen Bandbreite erhöht. Dies zeigt auch die Untersuchung des Instituts für Notfallmedizin und Medizinmanagement am Klinikum der Universität München, wonach sich das Einsatzfahrtaufkommen im Rettungsdienst von

<sup>17</sup> Statistisches Bundesamt, Quelle: destatis.de

1994 bis 2013 fast verdoppelt hat [8]. Die o.g. Untersuchung kommt außerdem zu dem Ergebnis, dass auch ein Anstieg schwerer und lebensbedrohlicher Ereignisse zu beobachten ist. Wichtig im Zusammenhang mit den Aufgaben der BOS ist auch die Erkenntnis, dass diese Veränderungen nicht nur im bodengebundenen Rettungsdienst, sondern auch in der Luftrettung beobachtet werden.

### **3.2.2 Kulturelle Veränderungen**

Durch Zuwanderung ist in Zukunft mit einer größeren sprachlichen Vielfalt in der Bevölkerung zu rechnen [9]. Das berührt die Anforderungen an Einsatzszenarien der BOS und deren Bedarfe an einsatzkritische Kommunikation. Als Beispiel hierfür kann z.B. die Notwendigkeit der Einbindung von Live-Dolmetschern per Telefon- oder Videokonferenz genannt werden, um mit Personen kommunizieren zu können, die sich besonders in Not-situationen nicht sicher in deutscher Sprache verständigen können. Dadurch steigt der Bandbreitenbedarf für solche Einsatzfälle erheblich gegenüber einer reinen Datenübermittlung oder einem persönlichen Gespräch ohne zusätzliche aber notwendige technische Unterstützung.

### **3.2.3 Änderungen der Freizeitgestaltung**

Neben der steigenden Lebenserwartung mit den oben beschriebenen möglichen Auswirkungen auf Anzahl und Ausprägung von Rettungseinsätzen, ist eine zunehmende Erlebnisorientierung der jüngeren Altersgruppen zu beobachten. Dies können sowohl Großveranstaltungen, Konzerte, Versammlungen usw. als auch sportliche Betätigungen wie Mountain Biking, Fallschirmspringen oder andere verletzungsrisikante Sportarten sein, die ggf. auch an abgelegenen Orten an Land, in der Luft oder auf dem Wasser stattfinden. Siehe dazu: „Neue Entwicklungen bei Natursportarten, Konfliktpotentiale und Lösungsmöglichkeiten“ [36].

Die weiter zunehmende Anzahl von Endgeräten und Applikationen kann im kommerziellen Sektor besonders bei Großveranstaltungen, Konzerten oder Versammlungen usw. unter Umständen zu unzureichender oder fehlender Mobilfunkversorgung führen.

Ein Einsatz im abgelegenen Gelände kann einen größeren Aufwand an Einsatzkräften und Equipment erforderlich machen. Dafür ist eine erhöhte Kommunikationsbandbreite erforderlich, wenn z.B. Video- oder Wärmebildkameraaufnahmen in einem Rechenzentrum mit Künstlicher Intelligenz (KI) ausgewertet werden, um Personen aufzufinden oder mehrere Rettungsmannschaften zu koordinieren. Dabei können sich die Einsatzkräfte nicht auf die Verfügbarkeit von kommerziell bereitgestellten Diensten verlassen, sondern benötigen eigene hochverfügbare Dienste, die ggf. weit über die Sprachkommunikation hinausgehen (z.B. Videoübertragung, Drohnensteuerung, usw.).

### 3.2.4 Änderungen im zwischenmenschlichen Verhalten

Im zwischenmenschlichen Verhalten lässt sich beobachten, dass Menschen sich immer mehr in sozialen Netzwerken bewegen. Das zieht einschneidende Veränderungen im zwischenmenschlichen Verhalten nach sich, z.B. indem sich spontan und ohne offizielle Meldung Menschen versammeln können. Dies können friedliche Partyevents, aber auch organisierte Veranstaltungen gewaltbereiter Menschen sein. Die BITKOM hat dies bereits 2011 in der Untersuchung "Soziale Netzwerke - Eine repräsentative Untersuchung zur Nutzung sozialer Netzwerke im Internet" dargestellt und seither immer wieder bestätigt [37]. Diese Entwicklungen lassen einen veränderten Kommunikationsbedarf innerhalb der BOS, z.B. mittels Videokommunikation, Zusammenschaltung verschiedener Einsatzverbände u.ä. erwarten. Der höhere Bandbreitenbedarf resultiert dabei sowohl aus der höheren Anzahl der Endgeräte, als auch aus den Bandbreiten pro Endgerät zur Übertragung von Bewegtbildern.

In der o.g. Untersuchung des Instituts für Notfallmedizin und Medizinmanagement am Klinikum der Universität München [8] wurde festgestellt, dass es schwer quantifizierbare Einflussgrößen auf die Nachfrage der Notfallrettung gibt. Hierbei zu nennen ist z.B. die Abnahme der Hemmschwelle, einen Notruf abzusetzen, was zu einer Erhöhung der Anzahl von Notrufen führt. Andererseits ist ein verantwortungsvolles Handeln in Notfällen und z.B. eine zusätzliche Videoübertragung bei der Notrufabsetzung eher positiv zu bewerten, wenn damit die Vorbereitung der Rettungskräfte auf einen Notfall in Bezug auf notwendiges Fachpersonal oder technische Ausstattung erleichtert werden kann.

Bei der Vorstellung der bundesweiten Fallzahlen zur „Politisch motivierten Kriminalität im Jahr 2020“ [35] durch das BKA ist ein überproportionaler Anstieg zu erkennen. Das äußert sich unter anderem in dem im Jahr 2020 gestiegenen Gesamtstraftaten-Aufkommen um 8,5 Prozent, die Gesamtzahl der politisch motivierten Gewalttaten stieg sogar um 18,8 Prozent. Hier ist für die Zukunft zu untersuchen, ob die bestehenden Einsatzszenarien in Bezug auf die Steuerung und Dokumentation (z.B. mittels Bodycams) diese neuen Anforderungen berücksichtigen oder ob die Kommunikationseinrichtungen bei Einsätzen mit Gewalt gegen Einsatzkräfte ausgeweitet werden müssen, was mit einem höheren Datenratenbedarf einherginge.

### 3.3 Gesellschaftliche Veränderungen in Wohnumfeld und Mobilität

Für die Untersuchung der Veränderungen und des Einflusses im Wohnumfeld wurde der Ergebnisbericht der Studie „Mobilität in Deutschland – MiD; Zeitreihenbericht 2002 – 2008 – 2017“ aus Dezember 2019 herangezogen [10].

Man kann davon ausgehen, dass die dort festgestellten Trends nach wie vor anhalten bzw. sich im Zuge der demografischen Entwicklung noch verstärken.

Ältere Menschen leben heute häufiger in ländlichen Regionen als vor 15 Jahren, der Anteil junger Menschen nimmt vor allem in den Metropolen zu.

### **3.3.1 Wohnumfeld im Kontext städtischer/ländlicher Bereich**

In einer vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur entwickelte Raumtypologie-Studie (RegioStaR) [11] wurde ermittelt, dass junge Haushalte mit Personen unter 35 Jahren immer weniger werden und der Anteil der Haushalte mit Personen über 65 Jahren weiter ansteigt. Außerdem leben ältere Menschen heute häufiger in ländlichen Regionen als noch vor 15 Jahren und der Anteil jüngerer Menschen in den Metropolregionen nimmt zu. Weiterhin wurde festgestellt, dass der Anteil von Personen ab 50 in den Stadtregionen ab- und in den Landregionen zugenommen hat.

Es wurden auch das Verkehrsaufkommen und die zurückgelegten Wege untersucht. Im Laufe der letzten Jahre ist die Anzahl der Wege zwar gesunken, gleichzeitig ist aber die zurückgelegte Strecke (Personenkilometer) angestiegen. Außerdem hat die Anzahl an Mitfahrern im beobachteten Zeitraum stark abgenommen. Somit sind immer mehr Personen allein unterwegs und legen längere Wege zurück, z.B. um täglich zur Arbeitsstätte in der Stadt zu pendeln. Da in ländlichen Bereichen die Anfahrten von Rettungskräften zu Unfallstellen länger sein können, ist eine frühzeitige Möglichkeit der Übermittlung weiterer Informationen zu einem Notfall oder Unfall sinnvoll. In den städtischen Bereichen entsteht im Gegensatz dazu z.B. die Herausforderung, die zunehmende Anzahl von Einsätzen besser zu koordinieren. Mithilfe einer Bild- und Videokommunikation mit einer notrufabsetzenden Person können ggf. dringende von weniger dringenden Einsätzen vor der Anfahrt unterschieden werden. In beiden Fällen geht dies mit höheren Bedarfen an Datenraten für die Kommunikation einher.

### **3.3.2 Zukünftige Herausforderungen im Zuge von Pandemien oder Umweltkatastrophen**

Im Zuge der Corona-Pandemie 2020/2021 haben sich Herausforderungen und Veränderungen in vielen Lebensbereichen ergeben. Für die Zukunft müssen die Erfahrungen daraus ausgewertet und Schlüsse für die BOS bei evtl. zukünftig auftretenden Pandemien und anderen vergleichbaren Notlagen gezogen werden.

Katastrophenlagen sind für die Einsatzkräfte immer mit besonderen Anforderungen verbunden. Die Hochwasser-Ereignisse in NRW und Rheinland-Pfalz im Sommer 2021 haben selbst das hochverfügbare Sprechfunk-Kommunikationsnetz der BOS an die Grenzen der leitungsgebundenen Kommunikation geführt. Leitungsgebundene Verbindungen wurden schlichtweg weggespült. Das öffentliche Kommunikationsnetz ist in solchen Fällen keine adäquate Rückfall-Option. Alternative, innovative, breitbandige drahtlose Verbindungen werden zukünftig das Breitbandkommunikationsnetz der BOS geeignet härten. Dafür ist ein ausreichendes Frequenzspektrum in einem geeigneten Frequenzbereich notwendig.

### 3.4 Technische Veränderungen

Die rasanten technologischen Entwicklungen haben in verschiedenen Aspekten einen großen Einfluss auf die Anforderungen an die Einsatzszenarien der BOS. Die künftigen breitbandigen Anwendungen der BOS, wie der zunehmende Einsatz von Drohnen und Robotern oder die Nutzung der Echtzeit-Videoübertragung stellen völlig neue Anforderungen an Verfügbarkeiten, Bandbreiten und Latenzen des einsatzkritischen Kommunikationsnetzes der BOS. So muss sichergestellt werden, dass die Einsatzkräfte technologisch mindestens ebenso ausgestattet sind wie die allgemeine Bevölkerung, um in entsprechenden Einsatz- und Gefährdungslagen reagieren zu können.

Genauso wichtig ist der Aspekt, dass für die Anforderungen der BOS eigene Kommunikationsstrukturen geschaffen werden, da die Einsatzkräfte unabhängig von öffentlichen Kommunikationsnetzen agieren müssen. Ein Beispiel ist die Überlastung der öffentlichen Mobilfunknetze, wenn zwar ein Empfangssignal verfügbar ist, tatsächlich aber keine Kapazität in den Netzen zur Verfügung steht. Zudem ist nicht nur für Sprache (heute exklusiv und eigenbeherrscht über TETRA), sondern auch für einsatzkritische Breitbandanwendungen zukünftig eine Priorisierung der Kommunikation von Einsatzkräften nach dem individuellen Bedarf der BOSen zwingend erforderlich. Dies ist aktuell in den öffentlichen Mobilfunknetzen ebenso nicht möglich wie eine bedarfsgerechte variable Verteilung von Uplink- und Downlink-Verkehren.

Die einsatzkritische mobile Breitbandkommunikation bedarf daher einer geeigneten eigenbeherrschten Netzinfrastruktur, die den hohen Anforderungen und der notwendigen Flexibilität der BOSen gerecht wird. Nur so kann eine sichere, flächendeckende, hochverfügbare und zukunftsfähige mobile Breitbandkommunikation als elementarer Baustein zur Gewährleistung der öffentlichen Sicherheit und zum Schutz von Leib und Leben garantiert werden.

## 4 Methodik

Nachdem die veränderten Kommunikationsbedarfe, insbesondere der gestiegene Bedarf an breitbandigen Anwendungen und ihre jeweiligen Ursachen dargelegt wurden, widmet sich das folgende Kapitel der Erläuterung der Methodik in der Bestimmung des tatsächlichen Frequenzbedarfs für die genannten Anwendungen.

### 4.1 Einführung in die Methodologie

Für die Bedarfserhebung wurden aus verschiedenen BOS mehrere BOS-Partner ausgewählt. Dabei wurde darauf geachtet, dass die BOS-Partner ein repräsentatives Abbild der BOS widerspiegeln. Zusätzlich wurde die geografische Lage, und entsprechende Verteilung über Deutschland, der BOS-Partner berücksichtigt.

Die BOS-Partner wurden aus den folgenden Bereichen und Organisationen ausgewählt:

- Bundespolizei
- Landespolizei mehrerer Länder
- Spezialkräfte der Polizei
- Berufsfeuerwehren
- Freiwillige- und Werkfeuerwehren
- Rettungsdienst
- Katastrophenschutz
- Technisches Hilfswerk
- Zoll
- BAG

Für die Bedarfserhebung wurden Anwendungen ausgewählt, die bereits heute zur Verfügung stehen und aktiv genutzt werden. Über Trends wurden zukünftige Anwendungen ermittelt und in die Bedarfserhebung eingebunden. Fehlende Anwendungen, die sich aus der täglichen Anwendung ergeben, konnten durch die Teilnehmer angegeben werden und wurden ebenfalls betrachtet. Durch unterschiedliche Formulierungen in den Fragestellungen wurden die Antworten auf Plausibilität überprüft.

Durch eine vorherige Nutzerbefragung und „Friendly-User-Tests“ wurde die Bedarfserhebung so aufbereitet, dass sie online durchgeführt werden konnte. Damit konnten die Einschränkungen der Besuchs- und Reisetätigkeiten, die aus der Corona Pandemie resultierten, erfolgreich ausgeglichen werden. Die „Friendly-User“, Einsatzkräfte aus Polizei, Feuerwehr sowie Mitarbeiter der Autorisierten Stellen, wurden zwischenzeitlich immer wieder zur Plausibilität einzelner Ergebnisse und zum taktischen Vorgehen befragt. Der Kommunikationsbedarf der BOS wurde in drei operative Bereiche unterteilt, da sich der Kommunikationsbedarf wesentlich voneinander unterscheidet.

- **Kategorie A – Normalbetrieb:** Diese Kategorie entspricht im Wesentlichen dem Tagesdienst der jeweiligen Einsatzkraft. Im Sprachgebrauch wurde dazu die AAO-Lage (Allgemeine Aufbauorganisation) verwendet. Kennzeichen dieser Lage ist der überschaubare Personaleinsatz mit einer geringen Dichte von Einsatzkräften am Ort des Geschehens. In öffentlichen Kommunikationsnetzen treten hierbei keine Einschränkungen auf.
- **Kategorie B – geplante/Ad-hoc-Lagen:** Diese Kategorie wurde verwendet, um Demonstrationen, Großveranstaltungen und große Einsätze abzubilden. Im Sprachgebrauch wurde dazu der Begriff der BAO-Lage (Besondere Aufbauorganisation) verwendet. Kennzeichen dieser Lage ist ein hoher Personaleinsatz mit einer hohen Dichte der Einsatzkräfte an den Orten des Geschehens. Demonstrationen/Großveranstaltungen zeichnen sich auch dadurch aus, dass sie nicht auf eine Position beschränkt sind, sondern sich zeitlich und örtlich bewegen. Darüber hinaus sind sie planbar. In öffentlichen Kommunikationsnetzen kann es dabei zu Überlastsituationen kommen.
- **Kategorie C – Katastrophenlage:** Diese Kategorie wurde verwendet, um Naturkatastrophen und Großschadenslagen abzubilden. Kennzeichen dieser Lage ist ein hoher Personaleinsatz mehrerer BOS-Kräfte an einem Einsatzort. Dieser Einsatzort kann sich dabei über eine große Entfernung und/oder große Fläche erstrecken. Diese Einsätze sind zudem nicht planbar. Durch Beschädigung oder Zerstörung der Infrastruktur können öffentliche Kommunikationsnetze in dieser Lage ausfallen.

Bei der Ermittlung des Kommunikationsbedarfes wurde zunächst unterschieden, ob eine Anwendung Daten vornehmlich sendet oder empfängt. Beispielsweise sendet eine Kennzeichenüberprüfung weniger Daten (Kennzeichen) als sie empfängt (Kennzeichen, Autotyp, Fahrgestellnummer, Halter etc.). Darüber hinaus wurden für alle drei Einsatzkategorien immer die gleichen Anwendungen betrachtet. So konnte beispielsweise gezeigt werden, dass Luftbilder oder Umfeldkarten in einer Katastrophenlage häufiger verwendet werden.

Diese anwendungsbezogene Betrachtung dient als Berechnungsgrundlage für die zukünftige Nutzung des BOS Breitbandmobilfunknetzes.

Im Mittelpunkt der Befragung steht die Einsatzkraft mit einem digitalen mobilen Endgerät. Dies kann ein bereits genutztes Smartphone oder ein Laptop/Notebook sein. Diese Einsatzkraft kommuniziert über die Luftschnittstelle des mobilen Kommunikationsnetzes mit weiteren Einsatzkräften, einer mobilen Einsatzleitung, der Leitstelle, dem Internet oder weiteren digitalen Endgeräten (z.B. Sensorik, Wärmebildkamera etc.) oder Fahrzeugen. Dabei wird über die Anwendung festgelegt, ob die Einsatzkraft vornehmlich Empfänger oder Sender der Nachricht (Daten) ist. Beispielsweise werden Nachrichten über den Messenger, sowohl als Sender (Upload) und auch als Empfänger (Download),



vom Endanwender genutzt. Eine Wärmebildkamera wird dagegen als Sender (Upload von Livebildern) betrachtet.

## 4.2 Inhalte des Fragenkatalogs

Für die Befragung der Einsatzkräfte wurde ein Fragenkatalog entwickelt, der die derzeitige Nutzung widerspiegelt und für die Zukunft einen Trend erkennen lässt. Dazu wurde neben der Häufigkeit der Nutzung auch die Wichtigkeit der Anwendung für die Arbeit erfragt. Die Anwendungen selbst werden im weiteren Verlauf näher erläutert. Das gilt für die drei unterschiedlichen operativen Bereiche und auch für die zukünftige Entwicklung. Darüber hinaus wurden die Antworten in ihrer Bedeutung entsprechend gewichtet. BOS-spezifische Anwendungen (z.B. Feuerwehrplan) konnten von allen Teilnehmern in der Beantwortung ausgewählt werden. Dies diente dazu, die Antwort auf Plausibilität zu überprüfen. Darüber hinaus kann so nachgewiesen werden, dass verschiedene BOS auf die Daten einer anderen BOS im Einsatzfall zugreifen möchte (z.B. auf Karten, die nicht im Bestand der BOS sind).

In dem Abschnitt „Allgemeine Fragen“ des Fragenkatalogs wurden zunächst Alter, Geschlecht, Behörde/Organisation und Funktion, sowie die Einsatzzahlen für die Jahre 2016 bis 2020 abgefragt.

In den Abschnitten 2 bis 7 wurde die gegenwärtige und zukünftige Nutzung von Breitbandanwendungen erfragt. Hierbei lag der Fokus auf der Bestimmung, welche Datenanwendungen im Upload (Senden) oder Download (Empfang) verwendet werden. Zusätzlich wurde die dazu verwendete Technik (Smartphone, Drohne etc.) abgefragt. Das gilt jeweils für alle drei Kategorien A, B und C (siehe oben). Darüber hinaus wurde die Wichtigkeit einer Anwendung abgefragt.

Im Abschnitt 8 bis 13 wurde die tatsächliche Nutzungshäufigkeit der Anwendung erfragt. Anwender und Anwenderinnen konnten angeben, bei wie vielen Einsätzen sie durchschnittlich die Anwendung verwenden.

Die folgenden Beispiele zeigen einen Ausschnitt aus dem Fragebogen. Diese Fragen wurden für die jeweilige Kategorie, als auch für die zukünftige Nutzung gestellt. Darüber hinaus wurde die Wichtigkeit der Anwendung erfragt.

Beispiele:

- Welche Unterstützungsdatenbanken nutzen Sie heute?

	Empfang	Bearbeiten / Senden
Fahrzeug DB (Industrie)		
Gefahrstoff-Datenbank		
Hydrantenpläne		
Fahndungsdatenbank (Personen / Sachen)		
Fahndungsdatenbank (Kfz-Kennzeichen)		
Giftdatenbank		
Sonstige		

Tabelle 8 Abfrage der Unterstützungsdatenbanken Senden / Empfang

- Wie wichtig finden Sie folgende Internetanwendungen?

	Sehr wichtig	Wichtig	Neutral	Unwichtig	Sehr unwichtig	Weiß nicht
Recherche						
Dynamisches Verkehrsrouting						
Social Media*						
Sonstige						

Tabelle 9 Abfrage der Wichtigkeit von Internetanwendungen

\* Social Media-Anwendung wurde nach der Friendly-User-Befragung aufgenommen.

- Wie häufig nutzen Sie folgende Datenbankanwendungen?

	> 80%	80-60%	60-40%	40-20%	< 20%	Weiß nicht
Fahrzeug DB (Industrie)						
Gefahrstoff-Datenbank						
Hydrantenpläne						
Fahndungsdatenbank (Personen / Sachen)						
Fahndungsdatenbank (Kfz-Kennzeichen)						
Giftdatenbank						
Sonstige						

Tabelle 10 Abfrage der Nutzungshäufigkeit von Unterstützungsdatenbanken

Die vollständige Liste der Anwendungen ist im Anhang aufgeführt.

#### 4.2.1 Ergebnisse aus dem Fragebogen

Aus den Antworten konnte folgender Status ermittelt werden:

- **Vollständig ausgefüllter Fragebogen:** Bei einem vollständig ausgefüllten Fragebogen wurden alle Antwortmöglichkeiten auswertbar ausgefüllt. Die Antworten wurden direkt in die Bearbeitung übernommen.
- **Unvollständig ausgefüllter Fragebogen:** Unvollständig ausgefüllte Fragebögen wurden je nach Bearbeitungsstand einzeln betrachtet und analysiert.
  - Fehlende Antworten zur zukünftigen Nutzungsentwicklung wurden je nach Anwendung linear mit 1% Steigerungsrate bis 2030 berechnet, andere Anwendung wurden linear mit 1% bis 2025 und danach mit 5% Steigerungsrate berechnet (siehe Kapitel 5). Dies erfolgt in Anlehnung an die sehr konservativen Annahmen in den vollständig ausgefüllten Fragebögen.
  - Fehlende Antworten zur zukünftigen Wichtigkeit wurden nicht betrachtet. Dieser Fragenkomplex diente zur Verifizierung anderer Fragen und zur Ergänzung bei fehlenden Antworten zur Nutzungshäufigkeit.
  - Fehlende Antworten zu einzelnen Lagen wurden über die Nutzungshäufigkeit und Wichtigkeit der Anwendung ermittelt.

Generell hatten die Antworten der Anwender eine hohe Aussagekraft. Durch die Betrachtung von Nutzungshäufigkeit, zukünftige Entwicklung und Wichtigkeit der Anwendung über alle drei operativen Bereiche, konnte immer ein gesichertes Bild der BOS gewonnen werden.

### 4.3 Ermittlung von (Einzel-)Datenraten

Für die einzelnen Anwendungen wurden für die Applikation typische Datengrößen ermittelt. Dazu wurden z.B. mit verschiedenen Messengern unterschiedliche Bild-, Text- und Videonachrichten versendet und empfangen. Für Bild- und Videonachrichten wurden zudem unterschiedliche Auflösungen und Nachrichtenlängen verwendet. Sprachnachrichten wurden mit verschiedenen Sprachdecodern und Nachrichtenlängen erstellt und versendet. Aus den ermittelten Datengrößen wurde eine „typische“ Datengröße für den Maximalwert, Mittelwert und Minimalwert bestimmt.

Für Anwendungen, die im Streamingmodus Daten senden/empfangen, wurde die „typische“ Datenrate in kbps nach dem oben beschriebenen Verfahren ermittelt.

Für den Tagesdienst (Kategorie A) wird die Annahme getroffen, dass bei einer Alarmierung alle erforderlichen Daten unmittelbar auf ein oder mehrere Endgeräte übertragen werden. Damit wird die für die Berechnung erforderliche „Peak-hour“ im Breitbandmobilfunknetz abgebildet.

Dies trifft auf die geplanten Großveranstaltungen (Kategorie B) oder Katastrophenlage (Kategorie C) nicht zu. Vielmehr ist hierbei anzunehmen, dass alle erforderlichen Einsatzdaten von der Einsatzkraft zu unterschiedlichen Zeiten abgerufen werden. Darüber hinaus ist bei BAO-Lagen die Einsatzdauer wesentlich länger. Für Katastrophenlagen sind nochmals längere Einsatzzeiten anzunehmen. In dem Abschnitt wird nicht zwischen Up- und Downlink unterschieden. Die Berechnung der Datenrate ist für beide Richtungen identisch und wird erst im späteren Verlauf der Spektrumsbedarfsermittlung getrennt untersucht.

Die Datenrate wurde mit folgender Formel ermittelt:

$$\text{Datenrate\_Anwendung } x = \left( \sum_{i=1}^6 (a_i * b_i * c) * m * n * \frac{8}{3600} \right)$$

Formel 1 Formel zur Berechnung der Datenrate einer Anwendung

x = Datenrate der Anwendung; m = Dateigröße; n = Abfragehäufigkeit; a = Geräteanzahl; b = Gerätewahrscheinlichkeit; c = Nutzungshäufigkeit

Im ersten Schritt wurde die Anzahl der eingesetzten Geräte in der Friendly-User-Umfrage ermittelt. In der Aufsummierung der einzelnen Gerätewahrscheinlichkeiten ergibt

sich die Gesamtgerätezahl für einen Einsatz. Diese Gesamtgeräteanzahl eines Einsatzes wird mit der Datengröße  $m$  der Anwendung und der Abfragehäufigkeit  $n$  multipliziert. Die Datengröße ist in der Einheit „MB“ angegeben. Um auf die geforderte Datenrate  $\text{kbps}$  zu kommen, muss dieser Wert mit 8 (8 Bit = 1Byte) multipliziert werden und durch 3600 geteilt werden (1h = 60 Minuten = 3600 Sekunden).

Für Livebilder und Gespräche (Streaminganwendungen) wurde folgende Formel angewandt:

$$\text{Datenrate\_Anwendung } x = \left( \sum_{i=1}^6 (a_i * b_i * c) * m * n \right)$$

Formel 2 Formel zur Berechnung der Datenrate einer Streaminganwendung

$x$  = Datenrate der Anwendung;  $m$  = Dateigröße;  $n$  = Abfragehäufigkeit;  $a$  = Geräteanzahl;  $b$  = Gerätewahrscheinlichkeit;  $c$  = Nutzungshäufigkeit

Die Datenrate dieser Streaminganwendungen wurde bereits in  $\text{kbps}$  ermittelt und es ist keine Umrechnung erforderlich.

Im nächsten Schritt wurde die wahrscheinliche Einsatzdauer ermittelt. Grundlage dazu war eine Vorstudie der IABG zum Thema „Data Analytics in Leitstellen“ [28], bei der eine durchschnittliche Einsatzdauer ermittelt wurde. Die Formel dazu lautet:

$$\text{Datenrate\_Einsatzdauer} = \sum_{i=1}^6 (\text{Datenrate\_Anwendung} / d_i) * e_i$$

Formel 3 Formel zur Berechnung der Datenrate über die Einsatzdauer

$x$  = Datenrate der Anwendung;  $d$  = Einsatzdauer;  $e$  = Einsatzdauerwahrscheinlichkeit

Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass mit einer längeren Einsatzdauer die Datenrate geringer ist. Die Nutzung der Anwendung verteilt sich hierbei auf einen längeren Zeitraum. Eine typische „Peak hour“ ist hier nicht festzustellen. Diese Betrachtungsweise haben wir auch für Streaminganwendungen angewendet. Basis für diese Annahme ist die angegebene Nutzungshäufigkeit der Anwendung. Bei einer mehrmaligen Nutzung ist davon auszugehen, dass diese Anwendung nicht im „Dauerbetrieb“ verwendet wird.

Der Gruppenruf wird je nach verwendeter Broadcasttechnik (z.B. (e)MBMS) nur mit 40% des Gesamtwertes bewertet. Dieser Wert spiegelt zum einen den reduzierten Kapazitätsbedarf bei Einsatz von Broadcasttechnologien wider und gleichzeitig das vermehrte Verwenden von mehreren Rufgruppen während eines Einsatzes, da nicht alle Endgeräte in einer Rufgruppe sind.

### 4.3.1 Nutzungshäufigkeit

Bei der Nutzungshäufigkeit konnte der Anwender angeben, wie oft er eine Anwendung im täglichen Dienst bei einer besonderen Lage oder Katastrophe verwendet. Dabei standen folgende Auswahlmöglichkeiten zur Verfügung:

- 0-20%; 20-40%; 40-60%; 60-80%, 80-100%

Daraus wurden die maximalen, minimalen und durchschnittlichen Werte genommen. Beispiel: angekreuzt wurde 60-80%. Die minimale **Nutzungshäufigkeit** beträgt 60, der mittlere Wert 70 und der Maximalwert 80.

### 4.3.2 Anzahl der verwendeten Geräte

Bei der Anzahl der verwendeten Einsatzmittel (Smartphone, Laptop/Notebook, Tablet u.ä.) wurde die Annahme getroffen, dass nicht jede Einsatzkraft ein breitbandiges Endgerät im Einsatz nutzt. Beispiel: Der Fahrer eines Einsatzfahrzeuges kann während der Fahrt kein weiteres Einsatzmittel bedienen. Weiterhin können sich Einsatzleiter und weitere Abschnittsleiter über zusätzliche Breitbandgeräte eine Übersicht der Lage verschaffen. Die Anzahl der Geräte wurde statistisch gemittelt. Beispiel: Von 1 Polizeieinsatzwagen mit 2 Einsatzkräften und einem Breitbandkommunikationsgerät bis Löschzug mit 6 Einsatzfahrzeugen und 6 Breitbandkommunikationsgeräten. Der Mittelwert über die verwendeten Geräte ist die **Geräteanzahl**. Für die Kategorie A haben wir gemeinsam mit den Friendly-Usern aus der Vielzahl der Einsätze und Einsatzszenarien die Geräteanzahl erarbeitet.

Die **Gerätewahrscheinlichkeit** gibt an, wie wahrscheinlich eine gleichzeitige Verwendung von Breitbandkommunikationsgeräten in einem Einsatz ist. Näherungsweise haben wir hierbei eine Gaußsche Normalverteilung in der Kategorie A angenommen.

Die folgende Tabelle zeigt die Gerätewahrscheinlichkeit in der Kategorie A einer BOS:

Geräteanzahl	1	2	3	4	5	6
Gerätewahrscheinlichkeit	0,021	0,136	0,341	0,341	0,136	0,021

Tabelle 11 Anzahl der eingesetzten Geräte in der Kategorie A einer BOS

Da in der Kategorie B wesentlich mehr Einsatzkräfte zum Einsatz kommen, sind hier andere Werte für die Geräteanzahl und Gerätewahrscheinlichkeit verwendet worden. Datengrundlage für die eingesetzten Geräte bildet eine Analyse der ALDB aus dem Jahr 2019 über die geplanten Einsätze [29]. Schwerpunktmäßig sind hierbei hauptsächlich geplante Einsätze zu Fußballspielen aufgeführt. Diese haben wir für die Geräteanzahl und Gerätewahrscheinlichkeit als Basis verwendet.

Darüber hinaus haben wir die Annahme getroffen, dass rund 10% der Einsatzkräfte (z.B. Einsatzleiter, Gruppenleiter etc.) Breitbandendgeräte im Einsatz haben und darüber die erforderlichen Anwendungen nutzen. Wir gehen bei den geplanten Einsätzen weiterhin davon aus, dass hierbei Einsatzkräfte verschiedener Bundesländer mit eigenen Einsatzleitern etc. eingesetzt werden. Daher wurde der 10%-Ansatz nicht durchgängig einberechnet, sondern nach oben angepasst.

Die folgende Tabelle zeigt die eingesetzten Geräte in der Kategorie B:

Geräteanzahl	10	30	50	85	150	1000
Gerätewahrscheinlichkeit	0,021	0,136	0,136	0,341	0,341	0,021

Tabelle 12 Anzahl der eingesetzten Geräte in der Kategorie B einer BOS

Für die Anwendung „Gruppenruf“ gilt die oben getroffene Annahme nicht. Hier müssen alle Einsatzkräfte von ihren Einsatzleitern erreichbar sein. Die folgende Tabelle zeigt die eingesetzten Geräte in der Kategorie B für die Anwendung „Gruppenruf“:

Geräteanzahl Gruppenruf	100	300	500	850	1500	10000
Gerätewahrscheinlichkeit	0,021	0,136	0,341	0,341	0,136	0,021

Tabelle 13 Anzahl der eingesetzten Geräte in Kategorie B einer BOS in der Anwendung Gruppenruf

Die Datenlage für die Kategorie C ist gering. Es gibt weitaus weniger Katastropheneinsätze als gemeinhin angenommen. Selbst der Waldbrand in Jüterbog (Landkreis Teltow-Fläming) in den Jahren 2018/19 war keine Katastrophe im Sinne der allg. Definition. Daher wurde die Datenbasis aus den Katastrophenschutzübungen von 2019 genommen.

Die folgende Tabelle zeigt die eingesetzten Geräte in der Kategorie C:

Geräteanzahl	100	200	300	400	800	2000
Gerätewahrscheinlichkeit	0,021	0,136	0,341	0,341	0,136	0,021

Tabelle 14 Anzahl der eingesetzten Geräte in Kategorie C einer BOS

### 4.3.3 Abfragehäufigkeit

Bei der Abfragehäufigkeit wird angegeben, wie oft eine Anwendung während eines Einsatzes abgefragt wird. Beispiel: Die Onlinefahndungsdatenbank (Personen/Sachen) wird während eines Einsatzes mehrmals abgerufen, weil mehrere Personen zu überprüfen sind. Dazu wird im Gegensatz der Hydrantenplan nur einmal abgerufen, weil diese Pläne sich während eines Einsatzes nicht verändern. Für jede Anwendung wurde BOS-spezifisch die **Abfragehäufigkeit** durch Friendly-User-Abfragen bestimmt.

### 4.3.4 Upload/Download

Für die Ermittlung des Bedarfs ist eine Unterscheidung zwischen Up- und Download erforderlich. Die Einsatzkräfte konnten hierbei angeben, für welche Anwendung sie Daten zur Verfügung stellen oder welche Daten sie empfangen. Beispiel: Der Einsatzauftrag wird von der Leit- oder Befehlsstelle an die Einsatzkraft übermittelt (**Download**). Die Einsatzkraft überträgt mit einer Wärmebildkamera das aktuelle Lagebild an die Einsatzleitung (**Upload**).

### 4.3.5 Dateigrößen

Die Dateigrößen wurden mit Erfahrungswerten aus der Friendly-User-Befragung und eigenen Versuchsreihen ermittelt. Beispielsweise versenden einige Email-Server nur Anhänge mit einer maximalen Größe von 10MB. Daher wurde die maximale Dateigröße für Emails mit Anhang auf 10MB gesetzt. Das gilt auch für Einsatzpläne der Feuerwehr, die zusätzlich per Email versendet werden können. Videonachrichten und Bildnachrichten wurden mit verschiedenen Messengern und Komprimierungsraten versendet. Daraus ergaben sich für die Anwendung typische **Dateigrößen**.

Die nachfolgende Tabelle zeigt alle verwendeten Dateigrößen an.

Anwendung	m <sub>max</sub>	m <sub>med</sub>	m <sub>min</sub>
Einsatzplan (FW)	10MB	4,8MB	0,3MB
Einsatzauftrag	0.8MB	0,55MB	0,3MB
Lageplan	1,223MB	0,558MB	0,054MB
Luftbilder	136,14MB	31,11MB	0,369MB
Umfeldkarte	10MB	4,8MB	0,3MB
Datenbanken	1,2MB	0,8MB	0,5MB
Vorgangsbearbeitung	0.8MB	0,55MB	0,3MB
Patientendaten	0,5MB	0,3MB	0,1MB
Sensorik (Bio)	0,15MB	0,09MB	0,05MB
Sensorik (Fahrzeug)	0,15MB	0,09MB	0,05MB



Anwendung	m <sub>max</sub>	m <sub>med</sub>	m <sub>min</sub>
EKG	0,869MB	0,558MB	0,158MB
CT-Diagramme	10MB	5,2MB	1,8MB
Ersthelfer App	0,15MB	0,09MB	0,05MB
Spontanhelferaktion	0,15MB	0,09MB	0,05MB
Online Fahrzeugdatenbank (Rettungskarte)	0,9MB	0,6MB	0,4MB
Online Gefahrstoffdatenbank	1,2MB	0,8MB	0,5MB
Hydrantenpläne	10MB	4,8MB	0,3MB
Online Fahndungsdatenbank (Personen, Sachen)	0,9MB	0,6MB	0,4MB
Online Kennzeichenüberprüfung	0,5MB	0,3MB	0,1MB
Online Giftdatenbank	1,2MB	0,8MB	0,5MB
Recherche	2,1MB	0,9MB	0,5MB
Dynamisches Verkehrsrouting	0,9MB	0,6MB	0,4MB
Social Media	0,3MB	0,25MB	0,13MB
Katwarn / Nina	0,15MB	0,09MB	0,05MB
Text (Messenger)	0,28kB	0,14kB	0,05kB
Bild (Messenger)	0,282MB	0,221MB	0,118MB
Sprachnachrichten (Messenger)	0,267MB	0,159MB	0,082MB
Telefonie (Messenger)	96kbps	84kbps	72kbps
Videonachricht (Messenger)	34,648MB	12,47MB	3,587MB
Videokonferenz (Messenger)	1223kbps	869kbps	558kbps
Email (ohne Anhang)	0,584MB	0,326MB	0,112MB
Email mit Anhang	10MB	4,8MB	0,3MB
Videsequenz	98,653MB	50,095MB	17,487MB
Wärmebildkamera	1223kbps	869kbps	558kbps
Body Cam	969kbps	558kbps	158kbps
Video Livebild	1223kbps	869kbps	558kbps
Einzelruf	96kbps	84kbps	72kbps
Gruppenruf	96kbps	84kbps	72kbps

Tabelle 15 Dateigrößen der einzelnen Anwendungen

#### 4.3.6 Einsatzdauer

Die Einsatzdauer wird in allen Kategorien verwendet. Sie beschreibt, wie lange ein Einsatz durchschnittlich dauert. Datengrundlage waren eigene Untersuchungen der IABG [28] und die Auswertungen der ALDB zu den geplanten BAO-Lagen aus dem Jahr 2019 [29]. In der Kategorie C wurden die Daten der Katastrophenschutzübungen aus dem Jahr 2019 als Datengrundlage verwendet.

Die folgende Tabelle zeigt die statistische Einsatzdauer einer BOS in der Kategorie A. Die maximale Einsatzdauer wurde in den Gesprächen mit den Friendly-Usern auf 6h begrenzt, da das auch nur in ~2% der Fälle angenommen wird. Darüber hinaus wurden die Werte der Einsatzdauerwahrscheinlichkeit nach der Gaußschen Normalverteilung entsprechend verschoben.

Einsatzdauer in h	1	2	3	4	5	6
Einsatzdauerwahrscheinlichkeit	0,341	0,341	0,136	0,136	0,021	0,021

Tabelle 16 Einsatzdauer in der Kategorie A einer BOS

Grundlage für die Einsatzdauer ist die Datenanalyse der ALDB zu den geplanten Lagen der Kategorie B. Wie in Kapitel 4.2 beschrieben, bildet die Datengrundlage schwerpunktmäßig geplante Einsätze bei Fußballspielen. Dies spiegelt sich auch in der geplanten Einsatzdauer wider. Die folgende Tabelle zeigt die statistische Einsatzdauer einer BOS in der Kategorie B:

Einsatzdauer in h	2	8	24	48	240	500
Einsatzdauerwahrscheinlichkeit	0,341	0,5	0,08	0,06	0,01	0,01

Tabelle 17 Einsatzdauer in der Kategorie B einer BOS

Die Datenlage für die Kategorie C ist gering. Daher wurde, wie in Kapitel 4.2 die Datenbasis aus den Katastrophenschutzübungen von 2019 genommen.

Die folgende Tabelle zeigt die statistische Einsatzdauer einer BOS in der Kategorie C:

Einsatzdauer in h	2	20	50	100	250	500
Einsatzdauerwahrscheinlichkeit	0,341	0,341	0,136	0,136	0,021	0,021

Tabelle 18 Einsatzdauer in der Kategorie C einer BOS

## 4.4 Verkehrsmodell

In diesen Abschnitt soll aufgezeigt werden, welcher Bedarf an Spektrum für BOS bereitgestellt werden muss, um verschiedenen Einsatzszenarien und die damit verbundene notwendige funkbasierende Sprach- und Datenkommunikation zu ermöglichen. In einem ersten Schritt wurde ein Verkehrsmodell entwickelt, welches es ermöglicht, das Datenaufkommen abzuschätzen und in dessen Folge den Spektrumsbedarf für die verschiedenen Einsatzszenarien zu bestimmen. Wesentliche Parameter dieses Verkehrsmodells und die Methodik werden in Kapitel 4.4.1 beschrieben. Auf Grundlage dieses Verkehrsmodells und den Auswertungen der Befragungen der Behörden kann somit ein Spektrumsbedarf ermittelt werden. Kapitel 4.4.1.2 analysiert die resultierenden Spektrumsbedarfe auf Basis der zu betrachtenden Einsatzszenarien.

### 4.4.1 Methodik

Mit einem Fragenkatalog an die Behörden sollen bekannte Nutzungsszenarien hinsichtlich mobiler Breitbandanwendungen der BOS analysiert werden. Dazu wurden Interviews mit den polizeilichen und nichtpolizeilichen Nutzergruppen durchgeführt.

Die Fragen wurden so gestellt, dass sich daraus ein Verkehrsmodell über den zu erwartenden Breitbandbedarf erstellen lässt. Dabei wird in folgende Einsatzlagen unterschieden:

- KATA: Tagesdienst (AAO-Lage)
- KATB: Geplante / ad hoc Lage (BAO-Lage)
- KATC: Katastrophenlagen

Basierend auf den Antworten dieser Umfrage lässt sich der Datenbedarf ermitteln, welcher neben der spektralen Effizienz und der Einbeziehung der Anzahl der angenommenen Funkzellen pro Einsatzlage ein weiterer Eingangsparameter zur Berechnung des Spektrumsbedarfs darstellt. Die Methodik zur Verwendung dieser Umfrageergebnisse und Parameter sowie weiterführende Informationen bezüglich getroffener Annahmen befinden sich weiter unten in diesem Kapitel.

Die Funktionsweise der Matrix lässt sich wie im folgenden Diagramm zusammenfassen und unterteilt sich in:

- Ermittlung Datenbedarf
- Ermittlung Spektrumsbedarf

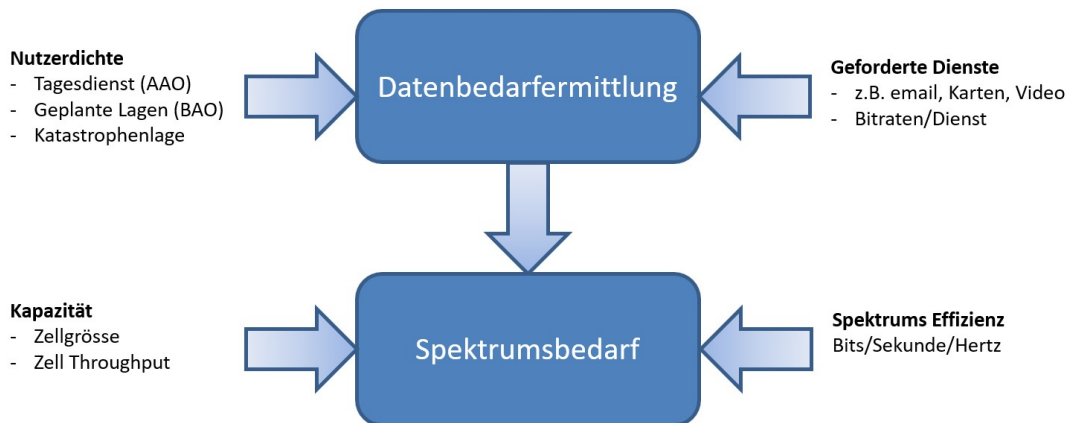


Abbildung 9 Zusammenfassung Verkehrsmodell

#### 4.4.1.1 Datenbedarfsermittlung

Basierend auf den Antworten der Umfrage lassen sich die geforderten Gesamtdatenraten für die verschiedenen Einsatzlagen berechnen. Im Einzelnen werden bei der Umfrage die Art, die Wichtigkeit und die Häufigkeit der Daten-, Video- und Sprachanwendungen für die verschiedenen Einsatzarten ermittelt. Dabei bezieht sich die Umfrage neben der aktuellen Nutzung auch auf die zu erwartende zukünftige Nutzung. Durch diese Informationen und durch die Einbeziehung einer anwendungsbezogenen Dateigröße (im Falle einer Dateiübermittlung wie z.B. Lageplänen) oder Datenrate (im Falle einer Streaming-Anwendung wie z.B. Übertragung von Videolivebildern) lässt sich nun eine Gesamtdatenrate ermitteln, welche bei der nachfolgenden Spektrumsbedarfsermittlung verwendet wird.

Die Umfrageergebnisse resultieren aus der Befragung folgender Bedarfsträger.

BOS
Bundesamt für Güterverkehr
Berufsfeuerwehr Frankfurt am Main
Berufsfeuerwehr Reutlingen
Bundespolizei Hubschrauberstaffel
Bundespolizei Präsidium
Freiwillige Feuerwehr Werder
LKA Niedersachsen Digitalfunk
LKA Niedersachsen Informationsmanagement
Mobile Einsatzkommando III/ Niedersachsen
Mobile Einsatzkommando IV/ Niedersachsen
Polizei Berlin
Polizei Hamburg
Rettungsdienst Reutlingen

BOS
Zentrale Kriminalinspektion Lüneburg
Zoll Deutschland
Bundeskriminalamt
Rettungsdienst Johanniter

Tabelle 19 Befragte BOS

#### 4.4.1.2 Spektrumsbedarfsermittlung

Der resultierende Gesamtdatenratenbedarf aus der vorangegangenen Datenbedarfsermittlung ist eine wichtige Eingangsgröße zur Berechnung des Spektrumsbedarfs. Durch die bekannte Größe des Einsatzgebietes und unter Annahme einer durchschnittlichen Zellgröße ist es möglich, die Verkehrslast in einer Zelle zu bestimmen. Diese Verkehrslast kann nun unter Berücksichtigung der technologieabhängigen spektralen Effizienz in einen Spektrumsbedarf umgerechnet werden. Die untenstehende Abbildung beschreibt exemplarisch die Methodik zur Bestimmung des benötigten maximalen Spektrums grafisch. Die Abbildung gilt unter Berücksichtigung der statistischen Verteilung der Nutzungshäufigkeit (Kapitel 4.3.1), Anzahl der verwendeten Geräte (Kapitel 4.3.2), Dateigröße (Kapitel 4.3.5) und Einsatzdauer (Kapitel 4.3.6) sinngemäß auch für die Bestimmung des mittleren Spektrumsbedarf. In Kapitel 5 zeigen die Ergebnisse das Mindestspektrum sowohl unter maximalen als auch unter mittleren Anforderungen.

„Mittlere Anforderungen“ bedeutet hier, dass der Bedarf im zeitlichen Mittel für Einsatzlagen gedeckt werden kann und dass in Zeiten von Lastspitzen während der Einsatzlagen der Spektrumsbedarf nicht vollständig gedeckt werden kann. Es kann somit in Verkehrsspitzen zu Einschränkungen in der Dienstqualität kommen. Diesem wirtschaftlich begründeten Risiko kann nur mit organisatorischen Maßnahmen, z.B. durch den Einsatz von „mobilen Funkzellen“ zur temporären Kapazitätserhöhung, begegnet werden.

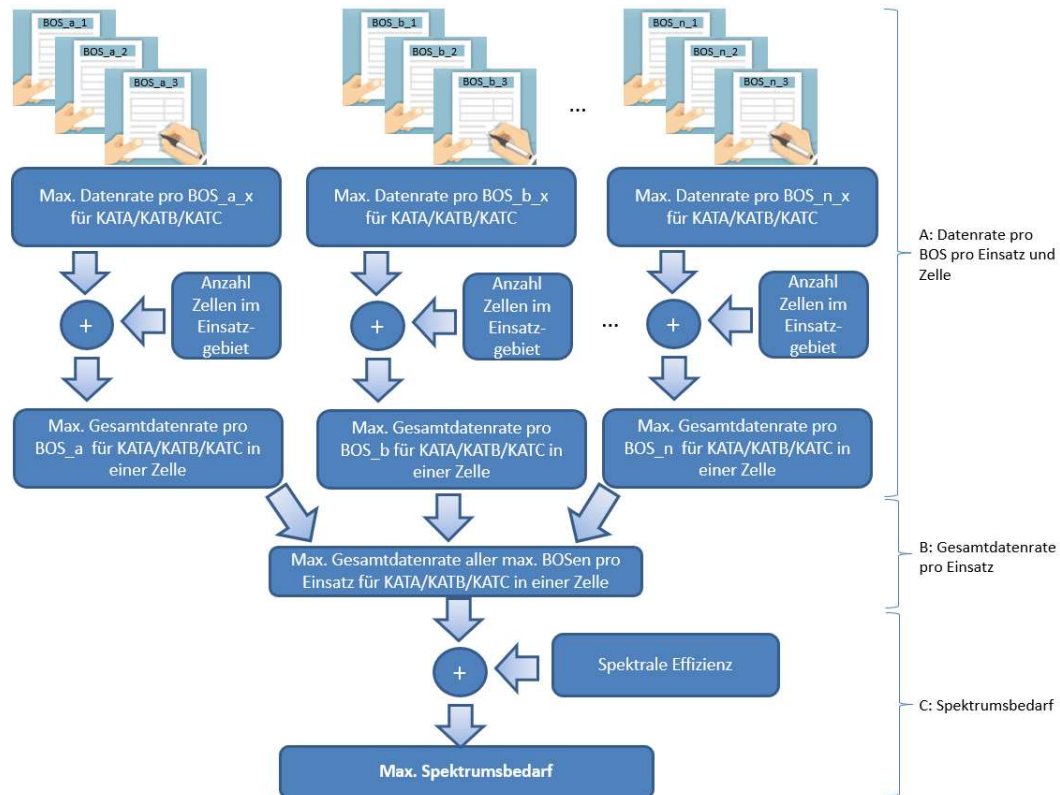


Abbildung 10 Methodik zu Ermittlung des Spektrumsbedarfs

**Schritt A:** Aus den Umfragen resultiert pro befragte BOS der jeweilige Einzeldatenverbrauch pro Anwendung für die jeweilige Einsatzkategorie. Die berücksichtigten Anwendungen für die verschiedenen Einsatzlagen sind in Anhang A1 erklärt. Durch Aufsummierung dieser Einzelverbräuche lässt sich der maximale Datenverbrauch pro befragter BOS in den jeweiligen Einsatzkategorien ermitteln.

$$\text{Max. GesamtDR BOS}_x\text{KAT}_x = \sum \text{DRAnw}_a, \text{DRAnw}_b, \dots, \text{DRAnw}_n$$

Formel 4-4: Berechnung der Gesamtdatenrate pro befragte BOS

Formel 4-5 zeigt exemplarisch eine Formel zur Berechnung der maximalen Gesamtdatenrate anhand der Polizei Berlin (*Max. DR<sub>Polizei\_BE</sub>*) für die Einsatzlage AAO (*KATA*), darüber hinaus wird in dem Annex dieses Dokumentes ein numerisches Beispiel aufgeführt.

$$\text{Max. DR}_{\text{Polizei\_BE\_KATA}} = \sum \text{DR}_{\text{Telefonie}}, \text{DR}_{\text{Video}}, \dots, \text{DR}_{\text{Datenbankabfrage}}$$

Formel 4-5: Berechnung der Gesamtdatenrate pro befragter BOS - Beispiel

Um die benötigte Bandbreite zu ermitteln, ist es wichtig zu bestimmen, welche Datenrate in einer Mobilfunkzelle benötigt wird. Durch die Einbeziehung der Anzahl der angenommenen Funkzellen pro Einsatzlage lässt sich somit die Gesamtdatenrate pro befragter BOS und Einsatzszenario in einer Zelle ermitteln.

$$\text{Max. Datenrate BOS}_x\text{KAT}_x \text{ pro Zelle} = \frac{\text{Max. Gesamtdatenrate BOS}_x\text{KAT}_x}{\text{Anzahl der Zellen}}$$

Formel 4-6: Berechnung max. Gesamtdatenrate pro befragter BOS pro Zelle

Formel 4-7 zeigt exemplarisch eine Formel zur Berechnung der maximalen Gesamtdatenrate anhand der Polizei Berlin pro Zelle (*Max. Datenrate Polizei\_BE*) für die Einsatzlage Katastrophe (*KATC*).

$$\text{Max. Datenrate Polizei\_BE\_KATC pro Zelle} = \frac{\text{Max. Gesamtdatenrate Polizei\_BE\_KATC}}{\text{Anzahl der Zellen}}$$

Formel 4-7: Berechnung max. Gesamtdatenrate pro befragter BOS pro Zelle - Beispiel

Für die Lagen AAO (KATA), BAO (KATB) und Katastrophe (KATC) wird von einem Einsatz in einem bestimmten Gebiet ausgegangen, welches durch eine festgelegte Anzahl von Mobilfunkzellen versorgt wird. Im Falle, dass mehrere Umfrageergebnisse derselben BOS vorliegen, werden die Umfrageergebnisse berücksichtigt, welche die maximale Datenrate pro Zelle für die jeweiligen Einsatzlagen aufzeigen.

$$\begin{aligned} &\text{Max. DR BOS}_x\text{KAT}_x \text{ pro Zelle} \\ &= \text{MAX}(\text{Max. DR BOS}_{x_1}\text{KAT}_x; \text{Max. DR BOS}_{x_2}\text{KAT}_x; \text{Max. DR BOS}_{x_n}\text{KAT}_x) \end{aligned}$$

Formel 4-8: Berechnung max. Gesamtdatenrate pro befragter BOS pro Zelle bei mehreren Umfrageergebnissen

Formel 4-9 zeigt exemplarisch eine Formel zur Berechnung der maximalen Gesamtdatenrate einer BOS pro Zelle für eine bestimmte Einsatzlage im Falle mehrerer Umfrageergebnisse. Dieses KATA Beispiel (*KATA*) zeigt die Ermittlung der max. Gesamtdatenrate der Polizei (*Max. DR Pol*) auf Grundlage der Umfrageergebnisse der Polizei Hamburg (*Max. DR Pol\_HH*) und der Polizei Berlin (*Max. DR Pol\_BE*).

$$\begin{aligned} \text{Max. DR Pol\_KATA\_proZelle} &= \text{MAX}(\text{Max. DR Pol\_HH\_KATA}; \text{Max. DR Pol\_BE\_KATA}) \\ &\text{als Zahlenbeispiel:} \\ 3000\text{kbps} &= \text{MAX}(3000\text{kbps}; 2800\text{kbps}) \end{aligned}$$

Formel 4-9: Berechnung max. Gesamtdatenrate pro befragter BOS pro Zelle - Beispiel

**Schritt B:** Die in Schritt A durchgeführte Ermittlung der maximalen Datenrate in einer Zelle wird für alle BOS durchgeführt, um daraus die befragte BOS zu ermitteln, welche den höchsten Datenratenbedarf hat. Basierend auf dieser Selektion lassen sich Einsätze

für die drei Einsatzarten konstruieren, an denen diese Behörden mit dem maximalen Datenbedarf teilnehmen. In der Tabelle 20 im Kapitel 0 ist aufgeführt, welche BOS je Einsatzlage (KAT A, KAT B, KAT C) bei einem Einsatz an einem Einsatzort beteiligt sein können. Da durchaus die Möglichkeit besteht, dass die aufgeführten BOS alle zeitgleich bei einem Einsatz beteiligt sind, erfolgt eine Aufsummierung der Datenaufkommen aller diesbezüglich aufgelisteten BOS. Die berücksichtigten Anwendungen und das Nutzungsverhalten in der jeweiligen Einsatzlage basieren auf den Umfrageergebnissen. Resultierend aus diesem Ansatz lässt sich dann die maximale Gesamtdatenrate pro Einsatzszenario und Zelle ermitteln.

$$\text{Max. DR KATx pro Zelle} = \sum \text{Max. DR}_{BOSa}, \text{Max. DR}_{BOSb}, \dots \text{Max. DR}_{BOSn}$$

Formel 4-10: Berechnung max. Datenrate pro Einsatz

Formel 4-11 zeigt exemplarisch eine Formel zur Berechnung der maximalen Gesamtdatenrate pro Zelle für KATA (*Max. DR KATA*) durch die Summierung der max. Datenraten der beteiligten BOS (*Max. DR<sub>x</sub>*).

$$\text{Max. DR KATA pro Zelle} = \sum \text{Max. DR}_{\text{Polizei}}, \text{Max. DR}_{\text{Feuerwehr}}, \dots \text{Max. DR}_{\text{Zoll}}$$

Formel 4-11: Berechnung max. Datenrate pro Einsatz - Beispiel

**Schritt C:** Als finaler Schritt C wird nun basierend auf dieser ermittelten maximalen Datenrate in Schritt B und der Annahme einer spektralen Effizienz der Funktechnologie der Bedarf an Spektrum bestimmt.

$$\text{Spektrumsbedarf}_{KATx} = \frac{\text{Max. Datenrate KATx pro Zelle}}{\text{Spektrale Effizienz}}$$

Formel 4-12: Berechnung Spektrumsbedarf

Der maximale zu erwartende Spektrumsbedarf wird unter Berücksichtigung der aktuellen Situation sowie für die zu erwartende zukünftige Situation ermittelt.

Die daraus resultierenden Ergebnisse werden im Kapitel 5 dargestellt.



#### 4.4.1.3 Annahmen

Folgende Annahmen wurden zur Bestimmung des Spektrumsbedarfs getroffen:

- Nachfolgend ist eine Auflistung dargestellt, die aufzeigt, zu welchen der drei Einsatzszenarien eine BOS zugeordnet ist und somit für den jeweiligen Einsatzfall berücksichtigt wird:

BOS	KAT A	KAT B	KAT C
Feuerwehr	x	x	x
LKA	x	x	x
Bundespolizei	x	x	x
Landespolizei	x	x	x
Zoll	x	x	
MEK	x	x	x
BAG	x	x	
BKA	x	x	
ZKI	x	x	
Rettungsdienst	x	x	x

Tabelle 20 BOS pro Einsatzkategorie

- Die spektrale Effizienz gibt das Verhältnis zwischen Datenübertragungsrate (Bit/Sekunde) und Bandbreite des Signals (Hertz) wieder und ist technologieabhängig. Bezüglich der angenommenen spektralen Effizienz wird in dieser Studie auf einen aktuellen 5G Performance Test Report der 3GPP referenziert [24]. Die dort beschriebenen spektralen Effizienzen für NR TDD<sup>18</sup> im 700 MHz Bereich ergeben über alle Antennenkonfigurationen, Bandbreiten, Rahmenstruktur und Subträgerabständen gemittelt einen Wert von Upload 5,14 b/s/Hz und Download 8,05 b/s/Hz. Daher wird in der Studie für den Upload eine durchschnittliche spektrale Effizienz von 5 b/s/Hz angenommen, für den Download 8 b/s/Hz. Die Studie betrachtet die Nutzung des UHF Bereichs von 470 – 694 MHz, in diesem Frequenzbereich können aufgrund der Wellenlänge nur sehr beschränkt neue Technologien wie MIMO und Beamforming eingesetzt werden.
- Die Normierung des berechneten Gesamtdatenaufkommens pro Zelle wird in Abhängigkeit der Einsatzlage wie folgt angenommen:
  - Die AAO Lage (KAT A) bezieht sich auf den alltäglichen Dienst einer BOS Einsatzkraft. In dieser Alltagsorganisation werden die üblichen Arbeiten erledigt wie im Falle der Polizei z.B. Verkehrsunfälle oder Wohnungsein-

<sup>18</sup> Bei der 3GPP Selbstevaluierung von 5G NR wird die Spektrum Effizienz sowohl in TDD als auch in FDD für die Trägerfrequenz von 700 MHz berücksichtigt. Weil derzeit nicht bekannt ist, ob in Zukunft TDD oder FDD eingesetzt wird, und die Spektrum Effizienz von TDD relativ niedriger ist, was zu einem etwas höheren Bedarf am Frequenzspektrum führt, wird TDD von unseren Beratern in dieser Studie berücksichtigt.

- brüche. Dies erfolgt separat von anderen BOS. Da das Einsatzgebiet lokal beschränkt ist, wird eine Verteilung des zu erwartenden Datenaufkommens im Falle einer AAO Lage in einer Funkzelle angenommen.
- Die BAO Lage (KAT B) bezieht sich üblicherweise auf geplante Großeinsätze wie Demonstrationen oder Großveranstaltungen und ist erforderlich, wenn die Lage durch die AAO nicht mehr zu bewältigen ist. In dieser Lage operieren mehrere BOS-Kräfte mit erhöhtem Personaleinsatz in einem etwas größeren Einsatzgebiet. Als Beispiel für eine typische BAO Lage ist ein Fußballspiel der Bundesliga anzusehen. Hierbei ist nicht nur das Fußballstadion selbst in Betracht zu ziehen, sondern auch das Umfeld in einem gewissen Bereich, um beispielsweise Zuschauerströme in Richtung Stadion zu kontrollieren. Die durchschnittliche Funkzellengröße kann mit wenigen 100 Metern im urbanen und mit einigen wenigen Kilometern im ländlichen Gebiet angenommen werden. Um eine Versorgung auch in der urbanen Region zu gewährleisten, wird für die BAO Lage ein Einsatzgebiet angenommen, welches der Größe von zwei Funkzellen entspricht. Aus diesem Grund wird eine Verteilung des zu erwartenden Datenaufkommens im Falle einer BAO Lage auf zwei Funkzellen angenommen.
  - Für KAT C, d.h. im Katastrophenfall (z.B. Hochwasser) wird ebenfalls von einem erhöhtem Personaleinsatz mehrerer BOS-Kräfte in einem größeren Einsatzgebiet ausgegangen. Wie oben erwähnt, kann die Funkzellengröße variieren in Abhängigkeit von der Region (urban, ländlich). Im Katastrophenfall ist von einer größeren Einsatzfläche im Vergleich zur BAO Lage auszugehen, die je nach Situation stark variieren kann. Um auch für Katastrophenlagen gewappnet zu sein, die in einem eher begrenzten Gebiet auftreten, wird eine Einsatzfläche angenommen, welche der Größe von fünf Funkzellen entspricht. Aus diesem Grund wird eine Verteilung des zu erwartenden Datenaufkommens im Katastrophenfall auf fünf Funkzellen angenommen.

## 5 Ergebnis

Nachfolgende Ergebnisse wurden basierend auf den Auswertungen der Fragebögen und der in Kapitel 4 beschriebenen Methodik errechnet. Die Auswertung wurde unter Berücksichtigung aller angegebenen Dienste und Annahmen durchgeführt. Des Weiteren werden die Ergebnisse auf die aktuelle Nutzung der Anwendungen und auf eine zukünftig zu erwartende Wertung bezogen. In der nachfolgenden Abbildung ist die prinzipielle Vorgehensweise visualisiert.



Abbildung 11 Ergebnisse - Spektrumsbedarfsermittlung

Für die zukünftige Datennutzung wurde, je nach Anwendung (z.B. Einsatzauftrag und weitere), eine lineare Steigerungsrate von 1% bis 2030 aus den Einsatzzahlen der Berliner Polizei aus den Jahren 2012 bis 2020 [34] sowie aus den vollständig ausgefüllten Fragebögen abgeleitet (siehe Abschnitt 4.2.1). Andere Anwendungen (z.B. Sensorik-Daten und weitere) wurden auf Basis dieser sehr konservativen Annahmen zunächst bis 2025 mit einer Steigerungsrate von 1% berechnet und danach bis 2030 mit einer Steigerungsrate von 5%.

Dass die Befragten die zu erwartenden Steigerungsraten durch die zunehmende Digitalisierung der Einsatzkräfte nur sehr moderat einschätzen, kann mehrere Gründe haben. Zum einen arbeiten aktuell nur die Leitstellen und die Einsatzleiter einer BOS vor Ort mit breitbandigen Applikationen und Endgeräten. Sie steuern den Großteil der Einsatzkräfte bei größeren Einsatzlagen (den Polizeibeamten in Schutzkleidung bei einer Demo oder der Feuerwehrmann im brennenden Gebäude) weiterhin weitgehend über Sprache. Zum anderen ist heute z.B. die breitbandige Übertragung von Videobildern bei Massenveranstaltungen nur sehr eingeschränkt und unter strengen Datenschutzrichtlinien möglich. In der Konsequenz werden derartige Videodaten (z.B. von Bodycams) heute zunächst im Gerät aufgezeichnet und erst zur Lagenachbesprechung wieder herangezogen. Sollte sich hier die Rechtslage ändern, z.B. weil die Übertragung zukünftig in einem eigenbeherrschten und kontrollierten Netz der BDBOS in Echtzeit möglich ist, ist sicherlich von einem deutlich höheren Bandbreitenbedarf auszugehen.

Um diesen Bandbreitenbedarf grob abzuschätzen, erfolgt in Abschnitt 5.4 zudem eine Plausibilisierung der in den Abschnitten 5.1 bis 5.3 berechnete Bedarfe anhand der Entwicklung in den öffentlichen Mobilfunknetzen.

## 5.1 Ergebnisse basierend auf aktuellen Zahlen

Folgende Tabelle zeigt die mittlere Datenrate in kbps pro BOS und kumuliert als Gesamtdatenrate unter Berücksichtigung aller angegebenen Anwendungen. Die Datenraten sind für alle drei Einsatzarten (KATA/KATB/KATC) jeweils für Uplink und Downlink angegeben und spiegeln die aktuelle mittlere Nutzung wider. Die Berechnungen zeigen, dass die BAO Lage (KATB) die höchste Datenrate aufzeigt, gefolgt von der Katastrophensituation (KATC) und der AAO Lage (KATA). Dies ist hauptsächlich begründet in der Art der benutzten Anwendungen, der Anzahl der Nutzer und der Häufigkeit der Nutzung pro Einsatzlage. Darüber hinaus werden in KATC im Vergleich zu KATB weniger BOS angenommen und die kumulierte Datenrate verteilt sich über ein größeres Gebiet. Das geringste Datenaufkommen besteht in KATA. Trotz der Annahme einer sehr lokalen Nutzung ist natürlich das Nutzungsverhalten im Tageseinsatz weniger datenintensiv, aufgrund einer geringeren Zahl der Einsatzkräfte, im Vergleich zu KATB und KATC Lagen.

BOS	KATA		KATB		KATC	
	UL	DL	UL	DL	UL	DL
<b>TOTAL</b>	<b>27 605</b>	<b>55 142</b>	<b>105 833</b>	<b>182 824</b>	<b>55 779</b>	<b>74 579</b>
Feuerwehr	3 148	2 867	13 417	21 664	455	465
LKA	223	8 607	164	1 071	149	242
Polizei	2 272	3 115	51 928	54 866	51 856	70 268
Zoll	1 340	3 969	53	1 145	-	-
MEK	7 212	18 000	27 419	62 860	1 210	2 057
BAG	1 215	2 289	650	3 978	-	-
Bundespolizei	5 014	6 734	6 759	31 220	2 089	1 482
ZKI	335	1 746	333	679	-	-
BKA	5 673	4 269	4 597	4 458	-	-
Rettungsdienst	1 174	3 547	512	884	14	58

Tabelle 21 Datendurchsatz (mittlerer) in kbps für alle Dienste – aktuelle Zahlen

Folgende Tabelle zeigt die maximale Datenrate in kbps pro BOS und kumuliert als Gesamtdatenrate unter Berücksichtigung aller angegebenen Anwendungen. Die Datenraten sind für alle drei Einsatzarten (KATA/KATB/KATC) jeweils für Uplink und Downlink angegeben und spiegeln die aktuelle maximale Nutzung wider. Diese maximale Nutzung unterscheidet sich gegenüber der vorigen Betrachtung der mittleren Nutzung in einer

höheren Annahme der angegebenen Nutzungshäufigkeit der Anwendung und einer maximal angenommenen Dateigröße bzw. Datenrate der jeweiligen Anwendungen. Im vorigen Kapitel ist dies detailliert erläutert. Dadurch zeigt der maximale Datendurchsatz gegenüber dem mittleren Datendurchsatz höhere Werte, deckt aber durch die erwähnten, erweiterten Annahmen bzgl. Nutzungshäufigkeit und Dateigröße bzw. Dateirate auch Situationen mit erhöhtem Datendurchsatz ab.

BOS	KATA		KATB		KATC	
	UL	DL	UL	DL	UL	DL
<b>TOTAL</b>	<b>53 807</b>	<b>97 614</b>	<b>193 052</b>	<b>329 392</b>	<b>90 178</b>	<b>185 511</b>
Feuerwehr	5 757	5 439	19 905	55 097	1 065	1 086
LKA	517	15 365	647	2 158	267	427
Polizei	4 273	5 454	67 786	81 292	82 698	176 607
Zoll	1 780	7 137	106	2 417	-	-
MEK	14 496	30 285	79 688	124 302	2 531	3 696
BAG	2 097	3 803	1 859	6 351	-	-
Bundespolizei	11 380	13 030	14 535	48 254	3 594	3 596
ZKI	1 204	3 322	1 162	1 629	-	-
BKA	10 085	8 011	6 522	6 380	-	-
Rettungsdienst	2 218	5 768	843	1 511	22	98

Tabelle 22 Datendurchsatz (maximal) in kbps für alle Dienste – aktuelle Zahlen

Basierend auf den Gesamtdatenraten in Tabelle 21 und Tabelle 22 für alle angegebenen Anwendungen zeigt die nachfolgende Tabelle den resultierenden Spektrumsbedarf in MHz unter mittleren und maximalen Anforderungen für alle drei Einsatzarten unter Berücksichtigung der aktuellen Nutzung.

Szenario	Spektrum UL [MHz]		Spektrum DL [MHz]		Gesamtspektrum [MHz]	
	MIT	MAX	MIT	MAX	MIT	MAX
KATA	5,52	10,76	6,89	12,20	12,41	22,96
KATB	21,17	38,61	22,85	41,17	44,02	79,78
KATC	11,16	18,04	9,32	23,19	20,48	41,22

Tabelle 23 Mittl. und max. Spektrumsbedarf in MHz für alle Dienste – aktuelle Zahlen

## 5.2 Ergebnisse basierend auf zukünftiger Wertung

Folgende Tabelle zeigt die mittlere Datenrate in kbps pro BOS und kumuliert als Gesamtdatenrate unter Berücksichtigung aller angegebenen Anwendungen. Die Datenraten sind für alle drei Einsatzarten (KATA/KATB/KATC) jeweils für Uplink und Downlink angegeben und spiegeln die zukünftige mittlere Nutzung wider. Gegenüber der aktuellen Nutzung zeigt die zu erwartende zukünftige Nutzung höhere Werte. Dies ist hauptsächlich zu begründen durch die Angaben der Befragten in den Umfragen. Hierbei wird in der Regel von einem Zuwachs der Einsätze sowie einer zukünftig erhöhten Nutzung von Anwendungen mit höheren Datenraten ausgegangen.

BOS	KATA		KATB		KATC	
	UL	DL	UL	DL	UL	DL
<b>TOTAL</b>	<b>34 085</b>	<b>67 135</b>	<b>129 294</b>	<b>216 187</b>	<b>62 244</b>	<b>87 899</b>
Feuerwehr	3 864	3 243	14 803	25 610	526	538
LKA	260	10 728	206	1 277	185	262
Polizei	2 701	3 802	56 913	60 822	57 469	82 936
Zoll	1 469	4 600	59	1 369	-	-
MEK	8 849	22 364	35 167	73 782	1 407	2 346
BAG	1 333	2 553	764	4 419	-	-
Bundespolizei	6 626	8 384	8 728	34 719	2 641	1 753
ZKI	428	2 175	419	802	-	-
BKA	7 262	5 387	11 659	12 397	-	-
Rettungsdienst	1 293	3 898	575	990	15	64

Tabelle 24 Datendurchsatz (mittlerer) in kbps für alle Dienste – zukünftige Zahlen

Folgende Tabelle zeigt die maximale Datenrate in kbps pro BOS und kumuliert als Gesamtdatenrate unter Berücksichtigung aller angegebenen Anwendungen. Die Datenraten sind für alle drei Einsatzarten (KATA/KATB/KATC) jeweils für Uplink und Downlink angegeben und spiegeln die zukünftige maximale Nutzung wider.

BOS	KATA		KATB		KATC	
	UL	DL	UL	DL	UL	DL
<b>TOTAL</b>	<b>67 237</b>	<b>120 587</b>	<b>242 436</b>	<b>407 397</b>	<b>101 931</b>	<b>231 136</b>
Feuerwehr	7 150	6 375	22 267	68 713	1 295	1 320
LKA	600	19 327	831	2 638	337	494
Polizei	5 183	6 714	74 531	92 519	92 511	220 331
Zoll	1 953	8 599	119	3 003	-	-
MEK	18 043	37 976	103 608	152 111	3 112	4 418
BAG	2 326	4 318	2 293	7 244	-	-
Bundespolizei	15 036	16 542	18 872	54 757	4 650	4 464
ZKI	1 560	4 208	1 492	2 015	-	-
BKA	12 925	10 146	18 342	22 661	-	-
Rettungsdienst	2 462	6 382	81	1 737	26	110

Tabelle 25 Datendurchsatz (maximal) in kbps für alle Dienste – zukünftige Zahlen

Basierend auf den Gesamtdatenraten in Tabelle 24 und Tabelle 25 für alle angegebenen Anwendungen zeigt nachfolgende Tabelle den resultierenden Spektrumsbedarf in MHz unter mittleren und maximalen Anforderungen für alle drei Einsatzarten unter Berücksichtigung der zukünftigen Nutzung.

Szenario	Spektrum UL [MHz]		Spektrum DL [MHz]		Gesamtspektrum [MHz]	
	MIT	MAX	MIT	MAX	MIT	MAX
KATA	6,82	13,45	8,39	15,07	15,21	28,52
KATB	25,86	48,49	27,02	50,92	52,88	99,41
KATC	12,45	20,39	10,99	28,89	23,44	49,28

Tabelle 26 Mittl. und max. Spektrumsbedarf (MHz) für alle Dienste – zukünftige Zahlen

### 5.3 Zusammenfassung resultierender Spektrumsbedarf

Tabelle 27 zeigt zusammenfassend die Spektrumsbedarfe für die verschiedenen Einsatzszenarien aktuell und zukünftig unter Berücksichtigung aller Dienste. Es stellt sich heraus, dass in KATB (BAO-Lage) der größte Spektrumsbedarf zu erwarten ist.

Szenario	Aktuelle Zahlen		Zukünftige Wertung	
	MIT	MAX	MIT	MAX
KATA	12,4	23,0	15,2	28,5
<b>KATB</b>	<b>44,0</b>	<b>79,8</b>	<b>52,9</b>	<b>99,4</b>
KATC	20,5	41,2	23,4	49,3

Tabelle 27 Zusammenfassung Spektrumsbedarfe in MHz

Abbildung 12 zeigt diese Zusammenfassung der Spektrumsbedarfe aus Tabelle 27 in grafischer Form. Die Bedarfe sind mit der beschriebenen durchschnittlich angenommenen spektralen Effizienz berechnet.

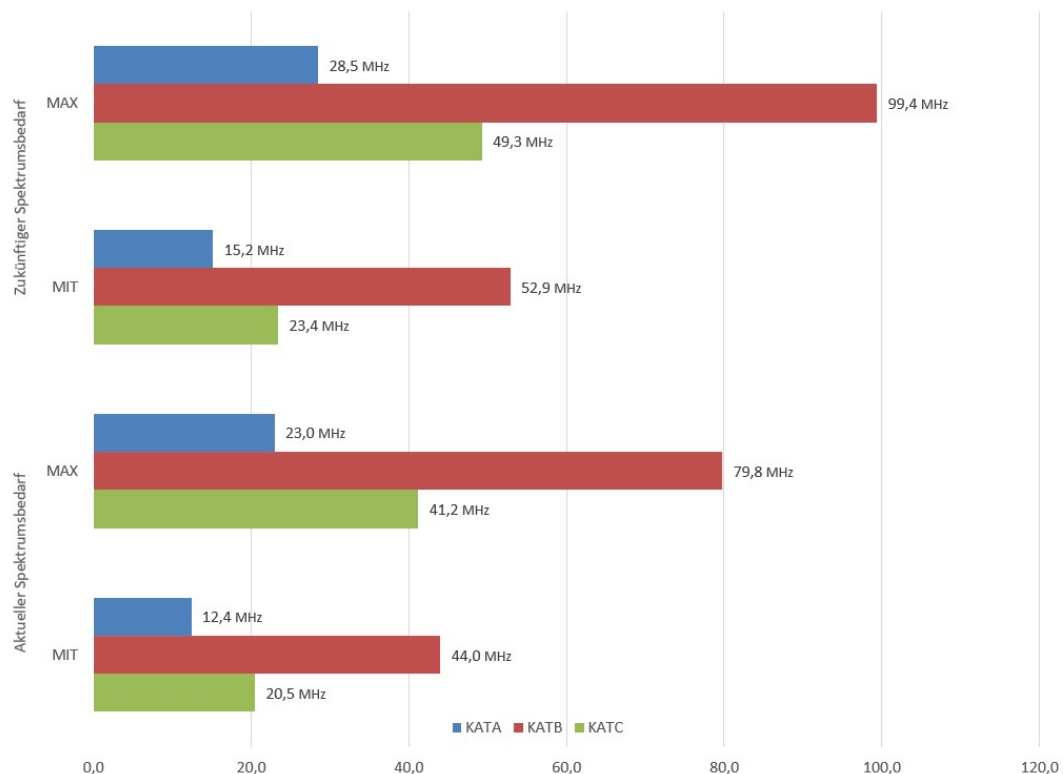


Abbildung 12 Zusammenfassung Spektrumsbedarfe in MHz



Die Ergebnisse zeigen bereits heute für die BAO Lage einen Spektrumsbedarf unter mittleren Anforderungen von 44 MHz und unter maximalen Anforderungen einen Spektrumsbedarf von 79,8 MHz. Bezüglich der sehr konservativ angenommenen zukünftigen Nutzung steigen die Werte für die BAO Lage moderat auf einen mittleren Spektrumsbedarf von 52,9 MHz und einen Spektrumsbedarf unter maximalen Anforderungen von 99,4 MHz.

Ausgehend von dem zukünftigen mittleren Spektrumsbedarf von 52,9 MHz ist zu bedenken, dass eine Segmentierung in 5, 10 oder 20 MHz Blöcken vorgesehen ist. Darüber hinaus ist es sinnvoll, zusätzliches Spektrum bereitzustellen, um einerseits zukünftige Anwendungen realisieren zu können und andererseits einer geringeren spektralen Effizienz, resultierend aus schlechteren Empfangsbedingungen z.B. am Zellenrand, gerecht zu werden. Aus diesen Gründen ist ein Spektrumsbedarf von mindestens 60 MHz in einem zusammenhängenden Frequenzbereich (2 x 30 MHz FDD) angebracht.

Somit könnten bei Nutzung von 60 MHz Spektrum heute in geplanten Lagen (KAT B) durchschnittlich 75% des Bedarfes (60 MHz / 79,8 MHz) und zukünftig durchschnittlich 60% (60 MHz / 99,4 MHz) gedeckt werden. Für die anderen Kategorien wäre eine Volldeckung der Bedarfe statistisch wahrscheinlich.

## 5.4 Plausibilisierung der Ergebnisse

In den Kapiteln 5.1 bis 0 wird der Bedarf an Spektrum anhand einer detaillierten Herleitung durch die Nutzung von Anwendungen ermittelt. In diesem Kapitel wird der Bedarf abstrakt anhand von Trends und Entwicklungen in den Bereichen Gesellschaft und Technologie beschrieben.

Bis 2030 muss die BDBOS eine Alternative zu dem bestehenden TETRA Netz aufbauen, um weiterhin die Dienstleistungen mit bedarfsgerechter und zeitgemäßer Kommunikationstechnik zu ermöglichen.

Die zunehmende Alterung der Gesellschaft wird zum einen in Summe zu mehr Einsätzen führen und zum anderen die Anzahl verfügbarer Mitarbeiter im Bereich der BOS und angrenzender Bereiche reduzieren. Der Mangel an Fachkräften im Gesundheitswesen wird sich tendenziell auch auf andere BOS-Bereiche ausdehnen. Dieser Trend wird die digitale Unterstützung von BOS-Leistungen in den kommenden Jahren weiter beschleunigen. Das Konzept der Telenotärzte wurde inzwischen in mehreren Bundesländern, z.B. Bayern<sup>19</sup> und NRW<sup>20</sup>, erfolgreich erprobt und hat sich bereits bei zahlreichen Einsätzen bewährt.

---

<sup>19</sup> <https://www.telenotarzt.bayern/>

<sup>20</sup> <https://www.telenotarzt.de/>

Ohne eine breitbandige BOS-Kommunikationsinfrastruktur mit ausreichender Kapazität und der Möglichkeit, diese auch eigenständig, lageabhängig zu verwalten, wird eine entsprechende hochverfügbare Einsatzunterstützung kaum möglich sein.

Um den ermittelten Spektrumsbedarf von ca. 60 MHz, je nach Einsatzlage von 44 MHz bis 99 MHz (siehe 0), zu plausibilisieren, ist ein Vergleich der Spektrumsentwicklung der kommerziellen Netze interessant, da diese ebenfalls eine Entwicklung von Sprache und schmalbandigen Anwendungen hin zu einem datenzentrierten Netz genommen haben. Hierzu soll nur der Sub-1GHz-Bereich verglichen werden, da die hohen Bandbreiten (1.800 MHz bis 3.700 MHz) für LTE und 5G für eine sehr viel höhere Benutzerzahl in Ballungsräumen dienen.

Zu Beginn der 1990 Jahre sind die kommerziellen Netze mit Bereich von 900 MHz mit einem Spektrum von 20 MHz (2 x 10 MHz) im Bereich GSM (2G) gestartet und haben damit im wesentlichen Sprachdienste und später dann mit GPRS erste schmalbandige Datendienste angeboten. Im weiteren Verlauf bis hin zur Nutzung von 5G sind für die Flächenversorgung im ländlichen Bereich und die Versorgung in Innenräumen die Bereiche 700 MHz und 800 MHz hinzugekommen. Somit verfügen die kommerziellen Netze im Frequenzbereich unter 1 GHz heute über das dreifache Spektrum, nämlich je 60 MHz (20 MHz jeweils in den Bereichen 700, 800 und 900 MHz). Damit können sie heute auch in der Fläche breitbandige Datendienste anbieten.

Für die BDBOS ist in der Fläche sowie für eine zuverlässige Innenraumversorgung ein ähnlicher Faktor im Spektrumsbedarf zu erwarten.

Kommerzielle Netze lösen die Herausforderung des kontinuierlich steigenden Datenübertragungsbedarfs in dichter besiedelten Gebieten durch Hinzunahme der Frequenzen oberhalb von 1 GHz<sup>21</sup>. Dies ist der BOS unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten so nicht möglich, da Einsatzlagen nur bedingt planbar sind und sich nicht rein an der Bevölkerungsstruktur orientieren. Beispiele hierfür sind Zuganglücke, größere Auffahrunfälle im ländlichen Raum sowie die noch nicht lange zurückliegenden Flutkatastrophen.

**Daher ist für die BOS ein eigenbeherrschtes Netz zwingend notwendig, um flexibel und lageabhängig innerhalb des eigenen Spektrums priorisieren zu können und nur wo notwendig dauerhaft (durch Verdichtung) oder auch temporär zusätzliche Versorgung aufzubauen.**

Für weitere Lastspitzen über die 60 MHz hinaus, kann dann in Einzelfällen für niedrig priorisierte Anwendungen ergänzend auch auf kommerzielle Netze zurückgegriffen werden.

---

<sup>21</sup> BDBOS Frequenzübersicht - [https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen\\_Institutionen/Frequenzen/OffentlicheNetze/Mobilfunk/DrahtloserNetzzugang/Projekt2018/Frequenzen700bis3600\\_pdf.pdf?jsessionid=454F6F5E02CAC762E389AE73CC2A8B8E?\\_\\_blob=publicationFile&v=5](https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/OffentlicheNetze/Mobilfunk/DrahtloserNetzzugang/Projekt2018/Frequenzen700bis3600_pdf.pdf?jsessionid=454F6F5E02CAC762E389AE73CC2A8B8E?__blob=publicationFile&v=5)

## 6 Zusammenfassung

Die Antworten eines an die Einsatzkraft gerichteten Fragebogens spiegelt die Nutzung von breitbandiger Technik und Anwendung heute und zukünftig wider. Der Kommunikationsbedarf wird in drei Kategorien unterschieden. Diese sind: Normalbetrieb; geplante/Ad-hoc-Lagen; Katastrophenlage. Zusätzliche Parameter wie Nutzungshäufigkeiten von Anwendungen oder auch die Einschätzung der Notwendigkeit der Verfügbarkeit einer Anwendung und deren resultierende Wichtung, sind, neben der Ableitung der Datenraten aus den genannten Anwendungen, Eingangsgrößen für das Verkehrsmodell zur Ermittlung der Gesamtdatenraten.

Das Verkehrsmodell modelliert, unter Berücksichtigung der Daten aus dem Fragebogen, der spektralen Effizienz der Übertragungstechnologie sowie unter Annahme von durchschnittlichen Zellgrößen und Funkzellen je Einsatzfläche, den Spektrumsbedarf.

Die ermittelten durchschnittlichen Spektrumsbedarfe basierend auf aktuellen Erhebungen und zukünftigen Hochrechnungen sind in folgender Tabelle zusammengefasst.

Szenario	Aktuelle Zahlen		Zukünftige Wertung	
	MIT	MAX	MIT	MAX
Normalbetrieb	12,4	23,0	15,2	28,5
<b>Geplante Lage</b>	<b>44,0</b>	<b>79,8</b>	<b>52,9</b>	<b>99,4</b>
Katastrophenlage	20,5	41,2	23,4	49,3

Tabelle 28 Zusammenfassung Spektrumsbedarfe in MHz

Bereits heute liegt der mittlere Spektrumsbedarf in einer geplanten Lage bei 44 MHz, maximal bei 80 MHz Bandbreite. Künftig werden hier die Bedarfe, begründet im sich verändernden Kommunikationsverhalten der BOS und der wachsenden Zahl breitbandiger Anwendungen, voraussichtlich auf ca. 53 bis 100 MHz steigen.

Bei einem zugrundeliegenden künftigen mittleren Bedarf von 52,9 MHz und der nach 3GPP standardisierten Segmentierung in 5, 10 und 20 MHz Frequenzblöcke erscheint es aus heutiger Sicht sinnvoll, zusätzliches Spektrum vorzusehen. Somit können auch lokal geringere spektrale Effizienzen, resultierend aus schlechteren Empfangsbedingungen, wie z.B. am Zellenrand, kompensiert werden.

**Aus diesen Gründen ist ein Spektrumsbedarf von mindestens 60 MHz in einem zusammenhängenden Frequenzbereich (z.B. 2 x 30 MHz FDD) empfehlenswert. Für die für die Anwendungen der BOS Frequenzen erscheint ein Spektrum im UHF-**

**Band 470 bis 694 MHz als der geeignetste Bereich zur Sicherung der einsatzkritischen Kommunikation der BOS in Deutschland.<sup>22</sup>**

Während am oberen Rand des UHF Bandes bereits heute Funksysteme und Endgeräte für das dort angesiedelte LTE Band 71 verfügbar sind, bietet der untere Rand des UHF Bandes den Vorteil, einen Großteil der heute bereits besonders gehärteten TETRA-Standorte aufgrund von ähnlichen Ausbreitungsbedingungen wieder verwenden zu können. In wie weit der Nachteil der Ausbreitungsbedingungen im LTE Band 71 durch neue Technologien wie z.B. Multiantennensysteme (MIMO) und/oder neue verteilte Netzarchitekturen im Funknetz (V-RAN/O-RAN) kompensiert werden kann, müsste in einer weiteren Studie genauer analysiert werden.

---

<sup>22</sup> Der TETRA-Digitalfunk der BDBOS ist gegenwärtig im Frequenzband 380 - 385 MHz (Uplink) und 390 - 395 MHz (Downlink) betrieben. Für ein zukünftiges Breitband-Digitalfunknetz besteht theoretisch die Möglichkeit, durch einen Tausch der Systemtechnik das TETRA-Frequenzband und die Standorte in die breitbandige Versorgung zu integrieren und weiter zu nutzen. Wenn der BDBOS in Zukunft die Frequenz nahe der 470 MHz im Rundfunk-UHF-Band zugewiesen werden könnte, würden die Standorte des heutigen TETRA-Netzes zu einem sehr großen Teil die Basis des zukünftigen Netzes bilden. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass für diesen Frequenzbereich derzeit weder Netzanlagen noch Endgeräte existieren.“

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Auszug aus dem deutschen Frequenzplan (698 bis 791 MHz) .....	12
Abbildung 2 Auszug aus dem deutschen Frequenzplan .....	13
Abbildung 3 ITU Regionen .....	15
Abbildung 4 Auswertung ITU Fragebogen Nutzung 470 bis 694 MHz (Q1).....	17
Abbildung 5 Auswertung ITU Fragebogen Nutzung 470 bis 694 MHz (Q22) .....	17
Abbildung 6 Auswertung ITU Fragebogen Nutzung 470 bis 694 MHz (Q23) .....	18
Abbildung 7: Einsatzaufkommen im öffentlichen Rettungsdienst.....	25
Abbildung 8: Bevölkerung nach Altersgruppen (Statistisches Bundesamt).....	26
Abbildung 9 Zusammenfassung Verkehrsmodell .....	44
Abbildung 10 Methodik zu Ermittlung des Spektrumsbedarfs .....	46
Abbildung 11 Ergebnisse - Spektrumsbedarfsermittlung .....	51
Abbildung 12 Zusammenfassung Spektrumsbedarfe in MHz .....	56

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Genutztes Spektrum für digitalen BOS-Sprechfunk (TETRA) in Deutschland.....	11
Tabelle 2 Auszug aus dem deutschen Frequenzplan (698 bis 791 MHz).....	12
Tabelle 3 Auszug aus dem deutschen Frequenzplan (470 bis 694 MHz).....	13
Tabelle 4 Sekundäre Zuweisungen im Frequenzbereich 470 bis 694 MHz.....	14
Tabelle 5 Allokationen internationaler Frequenzplan in Region 1.....	16
Tabelle 6 Allokationen internationaler Frequenzplan in Region 2.....	21
Tabelle 7 Allokationen internationaler Frequenzplan in Region 3.....	22
Tabelle 8 Abfrage der Unterstützungsdatenbanken Senden / Empfang.....	34
Tabelle 9 Abfrage der Wichtigkeit von Internetanwendungen .....	34
Tabelle 10 Abfrage der Nutzungshäufigkeit von Unterstützungsdatenbanken .....	35
Tabelle 11 Anzahl der eingesetzten Geräte in der Kategorie A einer BOS.....	38
Tabelle 12 Anzahl der eingesetzten Geräte in der Kategorie B einer BOS.....	39
Tabelle 13 Anzahl der eingesetzten Geräte in Kategorie B einer BOS in der Anwendung Gruppenruf .....	39
Tabelle 14 Anzahl der eingesetzten Geräte in Kategorie C einer BOS .....	39
Tabelle 15 Dateigrößen der einzelnen Anwendungen .....	41
Tabelle 16 Einsatzdauer in der Kategorie A einer BOS.....	42
Tabelle 17 Einsatzdauer in der Kategorie B einer BOS.....	42
Tabelle 18 Einsatzdauer in der Kategorie C einer BOS .....	42
Tabelle 19 Befragte BOS.....	45
Tabelle 20 BOS pro Einsatzkategorie .....	49
Tabelle 21 Datendurchsatz (mittlerer) in kbps für alle Dienste – aktuelle Zahlen .	52
Tabelle 22 Datendurchsatz (maximal) in kbps für alle Dienste – aktuelle Zahlen .	53

Tabelle 23	Mittl. und max. Spektrumsbedarf in MHz für alle Dienste – aktuelle Zahlen.....	53
Tabelle 24	Datendurchsatz (mittlerer) in kbps für alle Dienste – zukünftige Zahlen.....	54
Tabelle 25	Datendurchsatz (maximal) in kbps für alle Dienste – zukünftige Zahlen.....	55
Tabelle 26	Mittl. und max. Spektrumsbedarf (MHz) für alle Dienste – zukünftige Zahlen.....	55
Tabelle 27	Zusammenfassung Spektrumsbedarfe in MHz.....	56
Tabelle 28	Zusammenfassung Spektrumsbedarfe in MHz.....	59
Tabelle 29	Berechnung der max. Gesamtdatenrate [kbps] pro BOS am Beispiel der Berliner Polizei für KATC .....	71
Tabelle 30	Ergebnisse zu Schritt A (aktuelle, mittlere Zahlen, pro Zelle) in kpbs .....	72
Tabelle 31	Berechnung der Datenrate in der Kategorie C der Polizei BE (zur besseren Darstellung wurden die Zahlen gerundet) .....	75

## Abkürzungen und Glossar

Abkürzung/ Begriff	Bedeutung
<b>3GPP</b>	3rd Generation Partnership Project
<b>5G</b>	5. Generation (des Mobilfunks)
<b>AI</b>	Agenda Item
<b>ARD</b>	Arbeitsgemeinschaft der öffentlich-rechtlichen Rundfunkanstalten der Bundesrepublik Deutschland
<b>APWPT</b>	Association of Professional Wireless Production Technology
<b>BAG</b>	Bundesamt für Güterverkehr
<b>BCH</b>	Bose-Chaudhuri-Hocquenghem
<b>BKA</b>	Bundeskriminalamt
<b>BNE</b>	Broadcast Network Europe
<b>BNetzA</b>	Bundesnetzagentur
<b>BDBOS</b>	Bundesanstalt für den Digitalfunk der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben
<b>BMW</b>	<b>Fehler! Linkreferenz ungültig.</b>
<b>BOS</b>	Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben
<b>CEPT</b>	Conférence Européenne des Admin. des Postes et des Télécommunications
<b>DTMB</b>	Digital Terrestrial Multimedia Broadcast
<b>DVB-T2 HD</b>	Digital Video Broadcasting – Terrestrial High Definition
<b>DWD</b>	Deutscher Wetterdienst
<b>EBU</b>	European Broadcasting Union
<b>EFIS</b>	ECO Frequency Information System
<b>ERP</b>	Effective Radiated Power
<b>E-UTRA</b>	evolved UMTS Terrestrial Radio Access
<b>FEC</b>	Forward Error Correction
<b>FeMBMS</b>	Further evolved Multimedia Broadcast Multicast Service)
<b>HD</b>	High Definition

<b>HEVC</b>	High Efficiency Video Coding
<b>HPHT</b>	High-Power High-Tower
<b>IMT</b>	International Mobile Telecommunication
<b>IPTV</b>	Internet Protocol Television
<b>ISDB-T</b>	Integrated Services Digital Broadcasting – Terrestrial
<b>ITU</b>	International Telecommunication Union
<b>LDPC</b>	Low-Density-Parity-Check
<b>LKA</b>	Landeskriminalamt
<b>LTE</b>	Long Term Evolution
<b>(e)MBMS</b>	(evolved)Multimedia Broadcast Multicast Services
<b>MEK</b>	Mobiles Einsatzkommando
<b>MOCN</b>	Multi Operator Core Network
<b>MORAN</b>	Multi Operator Radio Access Network
<b>MPiFR</b>	Max-Planck-Institut für Radioastronomie
<b>MVNO</b>	Mobile Virtual Network Operator
<b>NARFA</b>	National Radio Frequency Agency
<b>OFDM</b>	Orthogonal Frequency Division Multiplex
<b>PMSE</b>	Programme Making and Special Events
<b>PP</b>	Pilot Pattern
<b>PPDR</b>	Public Protection and Disaster Relief
<b>QAM</b>	Quadratur-Amplituden-Modulation
<b>QPSK</b>	Quaternary Phase-Shift Keying
<b>RAN</b>	Radio Access Network
<b>RR</b>	Radio Regulations
<b>RS</b>	Reed-Solomon
<b>RRC</b>	Regional Radio Conference
<b>SD</b>	Standard Definition
<b>SFN</b>	Single Frequency Network
<b>SOS</b>	Save our Spectrum
<b>TKG</b>	Telekommunikationsgesetz



<b>UHF</b>	Ultra High Frequency
<b>VCC</b>	Versatile Video Coding
<b>VO</b>	Vollzugsordnung
<b>VVnömL</b>	Verwaltungsvorschriften für Frequenzuteilungen im nichtöff. mobilen Landfunk
<b>WARC</b>	World Administrative Radio Conference
<b>WRC-23</b>	World Radiocommunication Conference 2023
<b>ZAK</b>	Zulassung und Aufsicht der Mediananstalten
<b>ZDF</b>	Zweites Deutsches Fernsehen
<b>ZKI</b>	Zentrale Kriminalinspektion Lüneburg

## Literaturverzeichnis/Referenzierte Dokumente

### Referenzierte Dokumente

Nr.	Dokument
[1]	<p>Frequenzplan gemäß §54 TKG</p> <p>Dateiname: <a href="https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/Grundlagen/Frequenzplan/frequenzplan-node.html">https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/Grundlagen/Frequenzplan/frequenzplan-node.html</a></p>
[2]	<p>BOS-Funkrichtlinie, Stand laut Internetseite der BDBOS: 20.06.2013</p> <p>Dateiname: <a href="https://www.bdbos.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Gesetzestexte/BOS-Funkrichtlinie.html">https://www.bdbos.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Gesetzestexte/BOS-Funkrichtlinie.html</a></p>
[3]	<p>BOS-Funkrichtlinie, Stand laut Internetseite der BDBOS: 20.06.2013</p> <p>Dateiname: <a href="https://www.bdbos.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Gesetzestexte/BOS-Funkrichtlinie.html">https://www.bdbos.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Gesetzestexte/BOS-Funkrichtlinie.html</a></p>
[4]	<p>Seite „Digitalfunk BOS: Gut vorbereitet im Betrieb“, Heiko Seyfferth, Julia Schaub, BDBOS</p> <p>Dateiname: <a href="https://crisis-prevention.de/kommunikation-it/digital-funk-bos-gut-vorbereitet-im-betrieb.html">https://crisis-prevention.de/kommunikation-it/digital-funk-bos-gut-vorbereitet-im-betrieb.html</a></p>
[5]	<p>Studie zum mittel und langfristigen Kapazitätsbedarf der BOS in der drahtlosen Kommunikation, IABG mbH, 20.05.2010</p>
[6]	<p>BOS-Funkrichtlinie, Stand laut Internetseite der BDBOS: 20.06.2013</p> <p>Dateiname: <a href="https://www.bdbos.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Gesetzestexte/BOS-Funkrichtlinie.html">https://www.bdbos.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Gesetzestexte/BOS-Funkrichtlinie.html</a></p>
[7]	<p>BOS-Funkrichtlinie, Stand laut Internetseite der BDBOS: 20.06.2013</p> <p>Dateiname: <a href="https://www.bdbos.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Gesetzestexte/BOS-Funkrichtlinie.html">https://www.bdbos.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Gesetzestexte/BOS-Funkrichtlinie.html</a></p>
[8]	<p>F. Sieber, R. Kotulla, B. Urban, S. Groß, S. Prückner, Entwicklung der Frequenz und des Spektrums von Rettungsdienstesätzen in Deutschland. Notfall Rettungsmed 2020; online, Open Access</p>

- [9] Verena Benoit, Yasemin El-Menouar und Marc Helbling, Zusammenleben in kultureller Vielfalt, Vorstellungen und Präferenzen in Deutschland, 1. Auflage 2018, Bertelsmann Stiftung
- [10] infas, DLR, IVT und infas 360 (2019): Mobilität in Deutschland (im Auftrag des BMVI)
- [11] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), Regionalstatistische Raumtypologie (RegioStaR), Internetseite  
Dateiname: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/regionalstatistische-raumtypologie.html>
- [12] [http://www.dvb-t2hd.de/files/Senderstandorte\\_und\\_Kanale\\_\(Stand\\_Februar\\_2019\).pdf](http://www.dvb-t2hd.de/files/Senderstandorte_und_Kanale_(Stand_Februar_2019).pdf)
- [13] [https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen\\_Institutionen/Frequenzen/Firmenetze/PMSE/PMSE-node.html](https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/Firmenetze/PMSE/PMSE-node.html)
- [14] [https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen\\_Institutionen/Frequenzen/Grundlagen/Frequenzplan/frequenzplan-node.html](https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/Grundlagen/Frequenzplan/frequenzplan-node.html)
- [15] <https://www.irt.de/de/themengebiete/funksysteme/5g-broadcast>
- [16] <https://www.bmvg.de/de/themen/ruestung/digitalisierung/umsetzungsstrategie-digitale-bundeswehr>
- [17] <https://sos-save-our-spectrum.org/koennen-drahtlose-produktionsmittel-5g-nutzen/>
- [18] <http://www.vodafone.de> und [www.telekom.de](http://www.telekom.de)
- [19] <https://www.die-medienanstalten.de/publikationen/digitalisierungsbericht-video>
- [20] <https://www.infosat.de/digital-tv/digitalisierungsbericht-video-2020-zahl-der-dvb-t2-haushalte-auf-241-millionen-haushalte>
- [21] BNetzA Frequenzplan (Januar 2021)
- [22] Radio Regulation Vol.1(2020)
- [23] Verwaltungsvorschrift für Frequenzuteilung für den Rundfunkdienst (VVRuFu) (Juni 2018)
- [24] 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Study on self-evaluation towards IMT-2020 submission (Release 16)

---

	Dokumentenname: 3GPP TR 37.910 V16.1.0 (2019-09)
[25]	WP 5A Questionnaire on agenda item 1.5 REGARDING non-IMT LAND MOBILE (LMS)
[26]	Questionnaire on spectrum use and spectrum needs for terrestrial television broadcasting in the UHF frequency band in connection with WRC-23 agenda item 1.5 (ITU-R SG06 Circular 104)
[27]	APM23-2 Input 06 - GSMA Input Agenda Item 1.5
[28]	IABG: Data Analytics in Leitstellen
[29]	ALDB: Anzahl der geplanten Lagen in 2019
[30]	Für mehr Wohlstand und Lebensqualität aller Generationen“ Eine demografiefpolitische Bilanz der Bundesregierung, Stand Februar 2017 <a href="https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/themen/heimat-integration/demografie/demografiebilanz.pdf?__blob=publicationFile&amp;v=4">https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/themen/heimat-integration/demografie/demografiebilanz.pdf?__blob=publicationFile&amp;v=4</a>
[31]	Pressemitteilung Elisabeth Motschmann (Mitglied des Bundestags) vom 11.03.2021
[32]	Beschluss (EU) 2017/899 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2017 über die Nutzung des Frequenzbands 470-790 MHz in der Union
[33]	Report to the European Commission. Results of the work of the high level group on the future use of UHF Band (470-790 MHz)
[34]	Schriftliche Anfrage an das Abgeordnetenhaus Berlin Drucksache 18/26570
[35]	Bericht des BKA an das BMI zu den bundesweiten Fallzahlen zur „Politisch motivierten Kriminalität im Jahr 2020 vom 04.05.2021 <a href="https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/veroeffentlichungen/2021/05/pmk-2020-bundesweite-fallzahlen.pdf?__blob=publicationFile&amp;v=4">https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/veroeffentlichungen/2021/05/pmk-2020-bundesweite-fallzahlen.pdf?__blob=publicationFile&amp;v=4</a>
[36]	Ralf Roth/Edwin Jakob/Alexander Krämer; Neue Entwicklungen bei Natursportarten, Konfliktpotentiale und Lösungsmöglichkeiten Zusammenfassung der Ergebnisse des „F& E - Vorhaben Nr. 80187050“ im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz; Deutsche Sporthochschule Köln

---

---

[https://www.dshs-koeln.de/fileadmin/redaktion/Institute/Natursport\\_und\\_Oekologie/Veroeffentlichungen/Schriftenreihe/IN-OEK\\_Band\\_15\\_Entwicklungen\\_Natursportarten.pdf](https://www.dshs-koeln.de/fileadmin/redaktion/Institute/Natursport_und_Oekologie/Veroeffentlichungen/Schriftenreihe/IN-OEK_Band_15_Entwicklungen_Natursportarten.pdf)

[37]

„Soziale Netzwerke Eine repräsentative Untersuchung zur Nutzung sozialer Netzwerke im Internet“ 2011 BITKOM Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e. V.

<https://www.bitkom.org/sites/default/files/file/import/BITKOM-Publikation-Soziale-Netzwerke.pdf>

## Anhang A1

Anwendung	UL Max.	UL Mit.	DL Max.	DL Mit.
<b>Gesamt</b>	<b>413 492</b>	<b>259 280</b>	<b>485 587</b>	<b>263 722</b>
Einsatzpläne (Feuerwehrplan)	0	0	9 423	3 958
Einsatzaufträge	0	0	628	216
Lagepläne	0	0	4 802	1 972
Luftbilder	0	0	53 450	0
Umfeldkarte	0	0	0	0
Datenbanken	236	141	4 711	2 827
Vorgangsbearbeitung	2 513	1 512	2 513	1 512
Patientendaten	0	0	0	0
Sensorik (Bio)	0	0	0	0
Sensorik (Fahrzeug)	0	0	0	0
EKG	0	0	0	0
CT-Diagramme	0	0	0	0
Ersthelfer-App	0	0	0	0
Spontanhelferaktion	0	0	0	0
Fahrzeug DB (Rettungskarte)	3	1	57	19
Gefahrstoff DB	0	0	0	0
Hydrantenpläne	0	0	1 570	377
Fahndungsdatenbank (Personen, Sachen)	0	0	0	0
Kennzeichenprüfung	0	0	0	0
Giftdatenbank	0	0	0	0
Recherche	0	0	6 596	2 473
Dyn. Verkehrsrouting	0	0	424	141
Social Media	0	0	188	137
Katwarn / Nina	0	0	24	7
Text (Messenger)	1	0	1	0
Bild (Messenger)	1 107	781	1 107	781
Sprachnachrichten (Messenger)	13	4	13	4
Telefonie (Messenger)	16 961	7 420	16 961	7 420
Videonachricht (Messenger)	21 765	3 917	21 765	3 917
Videokonferenz /s (Messenger)	86 430	30 706	86 430	30 706
ohne Anhang	1 376	691	1 376	691
mit Anhang	11 778	5 088	11 778	5 088
Videosequenz	0	0	7 747	1 967
Wärmebildkamera	17 286	9 212	0	0
BodyCam	0	0	0	0

Anwendung	UL Max.	UL Mit.	DL Max.	DL Mit.
VideoLivebild /s	0	0	0	0
Einzelruf /s	678	297	678	0
Gruppenruf /s	253 345	199 509	253 345	199 509

Tabelle 29 Berechnung der max. Gesamtdatenrate [kbps] pro BOS am Beispiel der Berliner Polizei für KATC

BOS	KAT	MIT DR UL Zelle	MIT DR DL Zelle
Berufsfeuerwehr Frankfurt am Main	KATA	708	2 867
	KATB	13 417	21 664
	KATC	455	465
Berufsfeuerwehr Reutlingen	KATA	406	1 229
	KATB	1 733	1 963
	KATC	308	315
Bundesamt für Güterverkehr	KATA	1 215	2 289
	KATB	650	3 978
	KATC	0	0
Landeskriminalamt/ NI/ Digital-funk	KATA	204	8 607
	KATB	164	1 071
	KATC	149	242
Landeskriminalamt/ NI/ Informationsmanagement	KATA	223	3 800
	KATB	124	893
	KATC	10	124
Mobile Einsatzkommando III/ NI	KATA	3 335	5 996
	KATB	27 419	62 860
	KATC	1 210	2 057
Polizei/ Hamburg	KATA	841	2 634
	KATB	51 267	54 866
	KATC	43 101	70 268
Zoll/ Deutschland	KATA	1 340	3 969
	KATB	53	1 145
	KATC	0	0
Freiwillige Feuerwehr Werder	KATA	3 148	1 921
	KATB	3 067	3 185
	KATC	134	183
Polizei/ Berlin	KATA	2 272	3 115
	KATB	51 928	54 292
	KATC	51 856	52 744

BOS	KAT	MIT DR UL Zelle	MIT DR DL Zelle
Mobile Einsatzkommando IV/ NI	KATA	7 212	18 000
	KATB	26 263	62 860
	KATC	1 081	1 969
Bundespolizei Hubschrauberstaffel	KATA	4 874	4 252
	KATB	6 759	16 547
	KATC	2 089	1 202
Bundespolizei Präsidium	KATA	5 014	6 734
	KATB	3 289	31 220
	KATC	1 223	1 482
Rettungsdienst/ Reutlingen	KATA	1 174	1 827
	KATB	0	0
	KATC	0	0
Zentrale Kriminalinspektion/ Lüneburg	KATA	335	1 746
	KATB	333	679
	KATC	0	0
BKA	KATA	5 673	4 269
	KATB	4 597	4 458
	KATC	0	0
Rettungsdienst Johanniter	KATA	745	3 547
	KATB	512	884
	KATC	14	58

Tabelle 30 Ergebnisse zu Schritt A (aktuelle, mittlere Zahlen, pro Zelle) in kpbs



## Anhang A2

Anwendung	D	U	Nutzungshäufigkeit		Abfragehäufigkeit	Dateigröße in KB bzw. kbps für Streamingdienst		Downloadrate in kbps		Uplinkrate in kbps		Downloadrate Zukunft in kbps		Uplinkrate Zukunft in kbps	
			o	w		Max(x)	Mit(x)	Max(x)	Mit(x)	Max(x)	Mit(x)	Max(x)	Mit(x)	Max(x)	Mit(x)
<b>Summe</b>								<b>485587</b>	<b>263722</b>	<b>413492</b>	<b>259280</b>	<b>553344</b>	<b>291121</b>	462556	287347
Einsatzpläne (Feuerwehrplan)	x		80	70	15	10000	4800	9423	3958	0	0	10306	4328	0	0
Einsatzaufträge	x		20	10	50	800	550	628	216	0	0	687	236	0	0
Lagepläne	x		100	90	50	1223	558	4802	1972	0	0	5252	2156	0	0
Luftbilder															
Umfeldkarte															
Datenbanken		x	100	90	50	1200	800	4711	2827	236	141	5153	3092	258	155
Vorgangsbearbeitung		x	80	70	50	800	550	2513	1512	2513	1512	3337	2008	3337	2008
Patientendaten															
Sensorik (Bio)															
Sensorik (Fahrzeug)															
EKG															

Anwendung	D o w n l i n k	U p l i n k	Nutzungshäufig- keit	Abfra- gehäu- figkeit	Dateigröße in KB bzw. kbps für Streamingdienst	Downloadrate in kbps	Uplinkrate in kbps	Downloadrate Zu- kunft in kbps	Uplinkrate Zu- kunft in kbps						
CT-Diagramme															
Ersthelfer-App															
Spontan- helferaktion															
Fahrzeug DB (Rettungskarte)	x		20	10	4	900	600	57	19	3	1	62	21	3	1
Gefahrstoff DB															
Hydrantenpläne	x		20	10	10	10000	4800	1570	377	0	0	1718	412	0	0
Fahndungsda- tenbank (Perso- nen, Sachen)															
Kennzeichen- prüfung															
Giftdatenbank															
Recherche	x		80	70	50	2100	900	6596	2473	0	0	8760	3285	0	0
Dyn. Verkehrsrouting	x		20	10	30	900	600	424	141	0	0	563	188	0	0
Social Media	x		80	70	10	300	250	188	137	0	0	206	150	0	0
Katwarn / Nina	x		20	10	10	150	90	24	7	0	0	26	8	0	0
Text (Messen- ger)		x	40	30	150	0,28	0,14	1	0	1	0	2	1	2	1
Bild (Messen- ger)		x	100	90	50	282	221	1107	781	1107	781	1470	1037	1470	1037

Anwendung	D o w n l i n k	U p l i n k	Nutzungshäufig- keit	Abfra- gehäu- figkeit	Dateigröße in KB bzw. kbps für Streamingdienst	Downloadrate in kbps	Uplinkrate in kbps	Downloadrate Zu- kunft in kbps	Uplinkrate Zu- kunft in kbps						
Sprachnachrichten (Messenger)		x	20	10	3	267	159	13	4	13	4	14	4	14	4
Telefonie (Messenger)		x	20	10	25	96	84	16961	7420	16961	7420	18550	8116	18550	8116
Videonachricht (Messenger)		x	20	10	40	34648	12470	21765	3917	21765	3917	28907	5202	28907	5202
Videokonferenz /s (Messenger)		x	20	10	10	1223	869	86430	30706	86430	30706	94527	33583	94527	33583
ohne Anhang		x	100	90	30	584	326	1376	691	1376	691	1827	918	1827	918
mit Anhang		x	100	90	15	10000	4800	11778	5088	11778	5088	12882	5565	12882	5565
Videsequenz	x		20	10	5	98653	50095	7747	1967	0	0	10288	2612	0	0
Wärmebildkamera		x	40	30	1	1223	869	0	0	17286	9212	0	0	22958	12234
BodyCam															
VideoLivebild /s															
Einzelruf /s		x	20	10	1	96	84	678	0	678	297	742	0	742	325
Gruppenruf /s		x	100	90	150	96	84	253345	199509	253345	199509	277079	218200	277079	218200

Tabelle 31 Berechnung der Datenrate in der Kategorie C der Polizei BE (zur besseren Darstellung wurden die Zahlen gerundet)

## Autoren

<b>Firma</b>	<b>Name</b>
TÜV NORD IT Secure Communications	Dr. Hans-Jürgen Schrewe
TÜV NORD IT Secure Communications	Uwe Lührig
IABG	Ulrich Wroblewski
LS Telcom	Markus Morgen
LS Telcom	Andreas Streit
STF Gruppe	Frédéric Dildei