

Fachbereich VIII: Maschinenbau, Veranstaltungstechnik, Verfahrenstechnik

Studiengang: Veranstaltungstechnik und -management

**Untersuchung der Auswirkungen einer 3. Digitalen Dividende
auf die Nutzung drahtloser Übertragungstechnik in der
Veranstaltungsbranche**

Abschlussarbeit zur Erlangung des Grades

Master of Engineering

Vorgelegt von:	Florian Glaß
Anschrift:	[Adresse nachträglich entfernt]
E-Mail-Adresse:	s89582@bht-berlin.de
Matrikel-Nummer:	939346
Erstgutachter und Betreuer:	Prof. Dr. rer. nat. Alexander Lindau
Zweitgutachter:	Prof. Thomas Sakschewski
Bearbeitungsbeginn:	01. April 2023
Bearbeitungsende:	01. September 2023

Gender-Erklärung

Zugunsten einer besseren Lesbarkeit wird in der vorliegenden Masterarbeit auf genderspezifische Formulierungen und Mehrfachnennungen verzichtet. Die gewählte Schreibweise bezieht sich stets auf weibliche, männliche sowie diverse Personen und soll als geschlechtsunabhängig verstanden werden.

Kurzreferat

Ende 2023 könnte es zu einer wegweisenden Entscheidung im Bereich Funktechnik kommen. Auf der Weltfunkkonferenz soll über eine mögliche Neuaufteilung des Frequenzbereichs 470 bis 694 MHz beraten werden. Am Ende der Konferenz könnten Regulierungsmaßnahmen verabschiedet werden, die die Nutzungsrechte für diesen Bereich neu regeln. Dies wäre der mögliche Grundstein für eine 3. Digitale Dividende und in der Folge könnte es zu einer weitreichenden Umstrukturierung der bisherigen Frequenzlandschaft kommen.

Die Veranstaltungsbranche wäre von einer solchen Entwicklung maßgeblich betroffen. Der Frequenzabschnitt 470 bis 694 MHz wird bei Veranstaltungen vorrangig für Funkmikrofone, In-Ear-Systeme und Intercom-Anlagen genutzt. Er stellt den größten verfügbaren Frequenzraum für die benannten Anwendungen dar und ist eine essentielle Ressource, um komplexe Großveranstaltungen mit zahlreichen Funksystemen realisieren zu können. Darüber hinaus ermöglichen diese Frequenzen aufgrund ihrer Wellenlänge sehr gute Ausbreitungseigenschaften und Reichweiten. In Zeiten von großflächigen Bühnen mit Breiten von 60 Metern und mehr sind solche Eigenschaften unerlässlich, um weitreichende Funkabdeckungen effizient realisieren zu können.

Wenn im Rahmen der anstehenden Weltfunkkonferenz eine Umwidmung des Frequenzbereichs 470 bis 694 MHz beschlossen werden sollte und eine 3. Digitale Dividende resultierend zustande kommt, wäre dies eine tiefgreifende Zäsur für die Veranstaltungsbranche. Eine partielle oder komplette Vergabe des Frequenzabschnitts 470 bis 694 MHz an andere Bedarfsträger würde Veranstaltungsbetriebe und Produkthersteller vor zahlreiche Herausforderungen stellen. Sie müssten sich an die veränderte Frequenzsituation anpassen und zugleich Lösungen finden, wie auch zukünftig der stetig wachsende Funktechnikbedarf bei Veranstaltungen sicher abgedeckt werden kann. Das Ziel der nachfolgenden Masterarbeit ist es, die Tragweite einer 3. Digitalen Dividende für die Veranstaltungsbranche zu untersuchen und in diesem Zuge mögliche Lösungsvarianten für die Zukunft zu betrachten.

Abstract

At the end of 2023, a ground breaking decision may be made in the field of radio technology. The World Radiocommunication Conference will discuss a possible reallocation of the 470 – 694 MHz frequency range. At the end of the conference, regulatory measures could be approved which would rearrange the rights of use for this frequency range. This would be the possible cornerstone for a 3rd Digital Dividend and, as a follow up, there could be a far-reaching restructuring of the existing frequency landscape.

The event industry would be significantly affected by such a development. The 470 – 694 MHz frequency spectrum is used at events mainly for wireless microphones, in-ear-monitoring, and intercom systems. It represents the largest available frequency space for these applications and is an essential resource for realising complex large-scale events with numerous radio systems. In addition, these frequencies enable very good propagation characteristics and ranges, due to their wavelength. In times of large stages with widths of 60 metres and more, such features are vital in order to provide wide-ranging radio coverage efficiently.

If a reallocation of the 470 – 694 MHz frequency band is decided within the framework of the upcoming World Radiocommunication Conference and a 3rd Digital Dividend will emerge as a result, this would be a profound turning point for the event industry. A partial or complete allocation of the 470 – 694 MHz frequency range to other users would create numerous challenges for event companies and product manufacturers. They would have to adapt to the changed frequency situation and at the same time find solutions on how to ensure that the constantly growing demand for radio technology at events can be covered in the future. The aim of the following master's thesis is to investigate the impact of a 3rd Digital Dividend on the event industry and to examine possible solutions for the future.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	I
Einheitenverzeichnis	II
1 Einleitung	1
2 Einführung in die Funktechnik der Veranstaltungsbranche	4
3 Zuständige Institutionen und rechtliche Aspekte der Frequenznutzung	9
4 Die Digitalen Dividenden in der Übersicht	12
4.1 Die Vorgeschichte und der Weg zur ersten Dividende	12
4.2 Die 1. Digitale Dividende und ihre Auswirkungen	16
4.3 Die 2. Digitale Dividende und ihre Folgen	20
4.4 Die aktuelle Diskussion zu einer möglichen 3. Digitalen Dividende	23
5 Umfrage in der Veranstaltungsbranche zum Thema Funktechnik	29
5.1 Zielsetzungen und Untersuchungsdesign	30
5.2 Letzte Vorbereitungen und Durchführung der Befragung.....	35
5.3 Auswertung der Umfrageergebnisse	36
5.4 Einordnung und Zusammenfassung der Umfrageergebnisse.....	57
6 Lösungskonzepte für PMSE nach einer 3. Digitalen Dividende	65
6.1 Schadensersatzleistungen und alternative Frequenzbereiche.....	65
6.2 Erörterung von technischen Entwicklungen im Bereich PMSE	71
6.3 Frequenzmanagement zur optimierten Spektrumsausnutzung.....	82
7 Fazit	85

Quellenverzeichnis

Anhang

Danksagung

Eidesstattliche Erklärung

Abkürzungsverzeichnis

3GPP	3rd Generation Partnership Project
APWPT	Association of Professional Wireless Production Technologies
BNetzA	Bundesnetzagentur
BOS	Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben
CEPT	European Conference of Postal and Telecommunications Administrations
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications
DMX	Digital Multiplex
DVB-T	Digital Video Broadcasting - Terrestrial
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FCC	Federal Communications Commission
FDD	Frequency Division Duplex
FreqP	Frequenzplan
FreqV	Frequenzverordnung
ICTs	Information and Communication Technologies
IGVV	Interessengemeinschaft Veranstaltungswirtschaft
IMT	International Mobile Telecommunications
Intercom	Inter Communication
IPTV	Internet Protocol Television
ITU	International Telecommunication Union
LTE	Long Term Evolution
MIK NRW	Ministerium für Inneres und Kommunales des Landes Nordrhein-Westfalen
PMSE	Programme Making and Special Events
RR	Radio Regulations
RRC	Regional Radiocommunication Conference
SFN	Single Frequency Network
T-DAB	Terrestrial - Digital Audio Broadcasting
TETRA	Terrestrial Trunked Radio

TKG	Telekommunikationsgesetz
UdSSR	Union der Sozialistischen Sowjetrepubliken
UHF	Ultra High Frequency (300 MHz bis 3.000 MHz)
VDT	Verband Deutscher Tonmeister
Vfg.	Verfügung
VHF	Very High Frequency (30 MHz bis 300 MHz)
VPLT	Verband für Medien- und Veranstaltungstechnik, ehemals Verband für professionelle Licht- und Tontechnik
VVKuNz	Verwaltungsvorschriften für Frequenzzuteilungen im Rahmen von Kurzzeitnutzungen
VVnöML	Verwaltungsvorschriften für Frequenzzuteilungen im nichtöffentlichen mobilen Landfunk
WLAN	Wireless Local Area Network
WMAS	Wireless Multichannel Audio Systems
WRC	World Radiocommunication Conference

Einheitenverzeichnis

m	Abstand in Metern
B	Datenmenge in Bytes
GB	Datenmenge in Gigabytes, entspricht $1 \text{ B} \cdot 10^9$
EB	Datenmenge in Exabytes, entspricht $1 \text{ B} \cdot 10^{18}$
m ²	Fläche in Quadratmetern
Hz	Frequenz in Hertz
kHz	Frequenz in Kilohertz, entspricht $1 \text{ Hz} \cdot 10^3$
MHz	Frequenz in Megahertz, entspricht $1 \text{ Hz} \cdot 10^6$
GHz	Frequenz in Gigahertz, entspricht $1 \text{ Hz} \cdot 10^9$
mW	Sendeleistung in Milliwatt, entspricht $1 \text{ W} \cdot 10^{-3}$
s	Zeit in Sekunden
ms	Zeit in Millisekunden, entspricht $1 \text{ s} \cdot 10^{-3}$
µs	Zeit in Mikrosekunden, entspricht $1 \text{ s} \cdot 10^{-6}$

1 Einleitung

Die vorliegende Masterarbeit setzt sich mit den Szenarien einer möglichen 3. Digitalen Dividende auseinander und beleuchtet potenzielle Folgen, die diesbezüglich für die Veranstaltungsbranche entstehen könnten. Der vorstehende Satz impliziert bereits, dass es sich um eine hypothetische Betrachtung handelt. Die 3. Digitale Dividende ist bis dato nicht existent und stellt ein Theoriemodell dar.

Die Vorgänger waren 2010 die 1. und 2015 die 2. Digitale Dividende. Bei diesen wurden Frequenzen aus den Bereichen 700 MHz und 800 MHz an den Mobilfunk versteigert. Die Veranstaltungsbranche hat zuvor diese Abschnitte für den Betrieb von Funksystemen genutzt und musste in Konsequenz der Versteigerungen die Bereiche auf absehbare Zeit räumen. Funkanlagen, die für diese Frequenzbänder konfiguriert waren, konnten in der Folge nicht mehr eingesetzt werden. Die Veranstaltungsbetriebe waren gezwungen ihre Funksysteme umrüsten zu lassen oder in neue Anlagen zu investieren.

Im Hinblick auf eine mögliche 3. Digitale Dividende wird aktuell die perspektivische Nutzung des Bereichs 470 bis 694 MHz diskutiert. Die Veranstaltungsbranche setzt in diesem Abschnitt verschiedene Funksysteme ein und ist somit von der Diskussion unmittelbar betroffen. Maßgeblich für den weiteren Verlauf wird die nächste Weltfunkkonferenz Ende 2023 sein. Diese wird in Dubai vom 20. November bis zum 15. Dezember stattfinden.¹ Auf der Konferenz wird die zukünftige Verwendung des besagten Frequenzbandes debattiert werden. Die Gespräche werden sich dabei auf die ITU-Region 1 beziehen. Mithilfe von Studien sollen bis dahin die Frequenznutzung und der Bedarf der Funkdienste untersucht werden, die im Bereich von 470 bis 960 MHz aktiv sind. Darüber hinaus soll geprüft werden, inwieweit die verschiedenen Dienste in einem Frequenzraum nebeneinander koexistieren können. Auf Basis der Ergebnisse der vorgenommenen Studien könnte im Rahmen der Weltfunkkonferenz für die ITU-Region 1 eine Neuaufteilung des Frequenzabschnitts 470 bis 694 MHz beschlossen werden.² Dies könnte der Ausgangspunkt für eine 3. Digitale Dividende sein und darin resultieren, dass die Veranstaltungsbranche erneut Frequenzen abgeben muss.

¹ Vgl. ITU (o. J.): <https://www.itu.int/>

² Vgl. ITU (2022): *World Radiocommunication Conference 2023 (WRC-23)*, S. 63 f.

Die Möglichkeit, dass der angesprochene Frequenzbereich neu zugewiesen wird, ist bereits auch in nationalen Dokumenten vermerkt. In einer von der Bundesnetzagentur veröffentlichten Allgemeinzuteilung für Funkmikrofone, die für den Frequenzraum 470 bis 698 MHz gilt, ist der folgende Hinweis zu finden:

„Der betroffene Frequenzbereich wird auf der Weltfunkkonferenz (WRC) 2023 hinsichtlich seiner künftigen Widmung untersucht. Die Ergebnisse werden europäisch und national bewertet. Eine Erwartungshaltung für die Nutzung des Frequenzbereichs nach 2030 kann nicht mit dieser Frequenzzuteilung begründet werden.“³

Gemäß dieser Formulierung kann folglich nicht per se davon ausgegangen werden, dass die Zuteilung verlängert wird und Funkmikrofone in dem erwähnten Frequenzbereich nach 2030 noch betrieben werden dürfen.

Das vorherige Beispiel verdeutlicht die Aktualität und Relevanz des Themas. Die Masterarbeit liegt zeitlich vor der ausschlaggebenden Weltfunkkonferenz und kann daher den Ausgang der Veranstaltung nur hypothetisch betrachten. Eine 3. Digitale Dividende hätte das Potenzial die momentane Frequenzlandschaft signifikant umzustellen. Der Bereich 470 bis 694 MHz stellt eine wichtige Frequenzressource dar, die notwendig ist, um mehrere Funkanwendungen bei einer Veranstaltung parallel betreiben zu können. Sollte diese Ressource eingeschränkt werden oder wegfallen, könnte die Einsatzweise von Funktechnik bei Veranstaltungen sich nachhaltig verändern. Dieses Entwicklungspotenzial wurde zum Anlass genommen, sich im Rahmen der Masterarbeit vertiefend mit der Thematik der 3. Digitalen Dividende zu beschäftigen.

Die Zielstellung der vorliegenden Arbeit ist es, die möglichen Szenarien einer 3. Digitalen Dividende zu betrachten und dahingehend potenzielle Folgen für die Veranstaltungsbranche zu untersuchen. Darüber hinaus sollen denkbare Lösungskonzepte für die Zukunft erörtert werden. Auf dieser Basis wurde die folgende Fragestellung formuliert, die mithilfe der Ausarbeitung beantwortet werden soll:

Welche Folgen würden für den Veranstaltungssektor entstehen, wenn im Zuge einer 3. Digitalen Dividende bisher nutzbare Frequenzen aus dem Bereich zwischen 470 und 694 MHz an andere Bedarfsträger vergeben werden?

³ BNetzA, Vfg. 34/2020, geändert durch Vfg. 99/2022, S. 2

Der Betrachtungswinkel der Masterarbeit wird sich auf den Veranstaltungsbereich in Deutschland konzentrieren. Um die notwendigen Hintergründe und Informationen zu der gesetzten Forschungsfrage erarbeiten zu können, sollen aktuelle Studien herangezogen werden, die in Vorbereitung der Weltfunkkonferenz erstellt worden sind. Als weitere Quellen werden Fachliteratur, Fachzeitschriften, Veröffentlichungen zuständiger Regulierungsbehörden sowie Herstellerinformationen einbezogen. Des Weiteren ist in der Veranstaltungsbranche eine Umfrage zum Thema Funktechnik durchgeführt worden. Mithilfe der Ergebnisse der Umfrage sollen Erkenntnisse zum Stellenwert des Frequenzbereichs 470 bis 694 MHz gewonnen werden. Die Umfrage beinhaltete Fragestellungen zur Bedarfsentwicklung der Funktechnik, zur Frequenznutzung, zum Vorkommen von Spektrumsengpässen und zu möglichen Auswirkungen, sollten zukünftig weniger Frequenzen für den Veranstaltungsbereich zur Verfügung stehen. Die erzielten Ergebnisse aus der Erhebung sollen dazu beitragen, die gestellte Forschungsfrage später beantworten zu können.

Für den weiteren Verlauf der Ausarbeitung ist der folgende Untersuchungsgang geplant: Im zweiten Kapitel soll eine kurze Einführung in die Funktechnik der Veranstaltungsbranche erfolgen. Anhand eines vergangenen Festivals wird die heutige funktechnische Komplexität von Veranstaltungen dargelegt. Des Weiteren werden spezielle Kriterien erläutert, die Funksysteme bei Veranstaltungen erfüllen müssen. Das anschließende dritte Kapitel soll dazu dienen, verantwortliche Institutionen für die Frequenzregulierung vorzustellen und rechtliche Zusammenhänge der Frequenznutzung zu erklären. Auf Basis dieser Erläuterungen wird im vierten Abschnitt die bisherige Geschichte der Dividenden wiedergegeben und schließlich übergeleitet zur aktuellen Situation der 3. Digitalen Dividende. Im fünften Kapitel soll als nächstes die durchgeführte Umfrage beschrieben werden. In diesem Abschnitt wird das Untersuchungsdesign der Befragung erläutert und die erzielten Ergebnisse werden ausgewertet. Das sechste Kapitel ist möglichen Lösungsvarianten der Zukunft gewidmet. Es werden alternative Frequenzbereiche, neue technische Konzepte sowie mögliche Strategien des Frequenzmanagements betrachtet. Zuletzt folgt das Fazit. Die gewonnenen Erkenntnisse der Arbeit werden zusammengeführt und es wird eine Schlussbetrachtung vorgenommen.

2 Einführung in die Funktechnik der Veranstaltungsbranche

Funktechnische Lösungen sind heutzutage bei Veranstaltungen omnipräsent. Sie sind sowohl auf der Bühne als auch hinter den Kulissen in vielfältigen Einsatzfeldern zu finden. Im Audibereich kommen typischerweise Funkmikrofone, In-Ear-Systeme oder auch Führungsfunkanlagen zum Einsatz. Das Gewerk Licht arbeitet mit Wireless-DMX, um Scheinwerfer ansteuern zu können. Im Bereich des Videos werden Funkstrecken eingesetzt, um Bildsignale zu übertragen. Das Rigging prüft mithilfe von funkbasierten Messzellen die aktuellen statischen Lasten an den Kettenzügen und die Pyrotechnik kann via Funk bei einer Veranstaltung ihre Effekte fernzünden. Die produktionsübergreifende Kommunikation zwischen den einzelnen Abteilungen verläuft über drahtlose Intercom-Strecken. Die beispielhafte Aufzählung zeigt die heutige Präsenz und Relevanz von funkbasierten Anwendungen im Veranstaltungsbereich. Dies kann auf die Vorteile zurückgeführt werden, die der drahtlose Übertragungsweg allgemein ermöglicht.

Der Wegfall der Kabelverbindung erlaubt ein hohes Maß an Bewegungsfreiheit für die Nutzer. Dies kann vor allem für Künstler und Darsteller bedeutsam sein, die für ihre Performance freie Bewegungsmöglichkeiten benötigen und in diesem Zuge die gesamte Szenenfläche uneingeschränkt ausnutzen möchten. Weiterhin ist es auch für die produktionsinterne Kommunikation entscheidend, dass die Beteiligten sich miteinander verständigen und zugleich frei bewegen können. Vor allem wenn die mitwirkenden Akteure weitläufig verteilt bei einer Veranstaltung arbeiten, ist die Möglichkeit einer mobilen Kommunikation vonnöten. Der Mobilfunk kann diese Funktion nicht immer erfüllen. Je nach Lage des Veranstaltungsorts kann der Funkempfang aufgrund von Abdeckungsproblemen eingeschränkt oder bei einem sehr hohen Besucherandrang überlastet sein. Drahtlose Intercom-Systeme gewähren an dieser Stelle den nötigen Bewegungsfreiraum für die Beteiligten und gleichzeitig die Unabhängigkeit vom Mobilfunknetz.

Ein weiterer Vorteil der drahtlosen Übertragung ist, dass durch die Einsparung von Kabelwegen Stolpergefahren reduziert und daraus eventuell resultierende Verletzungen für Personen vermieden werden können. Neben der Möglichkeit einer Verletzung besteht auch die Gefahr, dass beim Stolpern zuvor verlegte Leitungen abgerissen werden und es in der Folge zu einer Signalunterbrechung kommt.

Ebenfalls vorteilhaft ist bei Funksystemen, dass diese vergleichsweise schnell aufgebaut und betriebsbereit sind. Das alternative Verlegen von Kabelstrecken bedarf der Planung und ist in der Durchführung zeitintensiv. Häufig lassen sich Kabelwege nicht auf direkter Strecke ziehen, da auf Durchgänge und Fluchtwege Rücksicht genommen werden muss. Des Weiteren sind für Übergänge extra Kabelbrücken mit einzukalkulieren, um Stolpergefahren an diesen Stellen zu minimieren. Bei längeren Strecken kann es zudem erforderlich sein, dass Kabelstandards gewandelt werden müssen, um Übertragungsverluste gering zu halten. Funktechnische Lösungen sind hingegen weniger aufwendig in der Installation.

Die erläuterten Vorteile zeigen auf, warum sich Funktechnik in den verschiedensten Einsatzgebieten bei Veranstaltungen etabliert hat. Anhand des vergangenen Lollapalooza-Festivals 2022 in Deutschland wird ersichtlich, in welchem Maßstab Funktechnik heutzutage bei Veranstaltungen eingesetzt wird. Das Festival fand vom 24. bis zum 25. September auf dem Gelände des Berliner Olympiastadions statt.⁴ Bei der Veranstaltung traten auf fünf Bühnen verteilt über 60 Künstler und Musiker auf. Des Weiteren wurden mehrere Nebengebäude bespielt. Entsprechend dieser Anzahlen konnte bei dem Festival eine erhöhte Nutzungsdichte von Funkfrequenzen verzeichnet werden. Für das Frequenzmanagement bei der Veranstaltung war das Team um Marco Völzke, Matthias Fehr und Dominik Feltes zuständig. Mithilfe eines aufgebauten Netzwerkes aus Messstationen überwachten sie stetig das lokale Frequenzspektrum. Darüber hinaus kümmerten sie sich um die übergeordnete Koordination der Frequenzen und unterstützten dahingehend die Künstler sowie deren Technikteams. Über den Zeitraum des Festivals sind bei Marco Völzke und seinen Kollegen insgesamt 631 Anfragen für die Nutzung von Frequenzen eingegangen. Maximal konnte bei dem Festival ein paralleler Einsatz von 525 Frequenzen registriert werden. Die Messstationen erfassten neben den geplanten Anwendungen 103 unkoordinierte Frequenzeinsätze, die außerhalb des Festivalgeländes lagen. Nicht koordinierte Funksysteme können bei Veranstaltungen dieser Größenordnung problematisch sein. Im Fall einer Koexistenz von mehreren koordinierten und nicht koordinierten Funkstrecken kann seitens eines Frequenzmanagements ein störungsfreier Betrieb nicht mehr garantiert werden.⁵

⁴ Vgl. Weiss (2022): <https://www.tagesspiegel.de/>

⁵ Vgl. Völzke et al. (2023): *Kein Platz für eine Funke?*, S. 36 – 41

Für das Lollapalooza-Festival stand eine Frequenzkapazität von 196 MHz zur Verfügung. Freizulassende Bereiche für den Mobilfunk und für DVB-T2 wurden von dieser Größe bereits abgezogen. Diese verfügbare Kapazität hat laut Marco Völzke dennoch nicht ausgereicht. Es mussten mehrere Frequenzanfragen abgelehnt werden.⁶ Das erläuterte Praxisbeispiel veranschaulicht die funktechnische Komplexität, die eine Veranstaltung heutzutage haben kann. Weiterhin lässt sich bei diesem Beispiel feststellen, dass trotz einer zentralen Frequenzkoordination nicht alle Funkanwendungen wie geplant umsetzbar waren und Engpässe im Frequenzspektrum bestanden.

Funksysteme, die bei Veranstaltungen, wie zum Beispiel dem Lollapalooza-Festival, zum Einsatz kommen, müssen bestimmten Anforderungen gerecht werden. An erster Stelle sei genannt, dass diese ein hohes Maß an Zuverlässigkeit erfüllen müssen. Sollten Übertragungsverluste entstehen, könnten wichtige Inhalte und Daten verloren gehen. Im Kontext eines professionellen Einsatzes wären solche Verluste nicht tolerierbar. Künstler würden beispielsweise bei einer anhaltenden Signalstörung die Bühne verlassen.⁷ Dementsprechend ist beim Einsatz von Funktechnik die Übertragungssicherheit von hoher Bedeutung.

Ein weiterer wichtiger Parameter ist die Latenz. Diese Größe beschreibt ein Zeitfenster, welches zur Signalverarbeitung benötigt wird. Latenzen treten bei digitalen Systemen auf. Sie resultieren größtenteils aus dem Wandlungsprozess des Signals von analog zu digital und wieder zurück. Zu beachten ist in diesem Kontext, dass Latenzen sich in einer Übertragungskette mit mehreren Signalverarbeitungsstufen aufaddieren können.⁸ Je nach Anwendungsfall muss überprüft werden, wie viel Latenz zulässig ist. Lange Zeitverzögerungen durch Latenzen können im Audibereich für Musiker oder Redner auf der Bühne irritierend wirken. Ab zirka 3 ms werden die ersten Zeitversätze dabei wahrnehmbar. Ab einer Größenordnung von 7 ms wird die Zeitverzögerung störend für die Nutzer.⁹ Der Latenzwert muss daher stets berücksichtigt und eingehalten werden.

⁶ Vgl. Völzke et al. (2023): *Kein Platz für eine Funke?*, S. 38

⁷ Vgl. Fischer und Ackermann (2022):

Spectrum demand of professional wireless production tools (PMSE), S. 4

⁸ Vgl. Arasin (2023): *Einrichtungen für drahtlose Mikrofone*, S. 214

⁹ Vgl. Shure (2020): *Master Class Drahtlostechnik*, S. 125

Neben der Zuverlässigkeit und der Latenz müssen Funkssysteme einen gewissen Mindeststandard an Übertragungsqualität erfüllen können. Dies gilt speziell für den drahtlosen Transport von Audio- und Videodaten. Laut Fischer und Ackermann können Drahtlossysteme den Ausgangspunkt für verschiedene Übertragungswege bilden. Demzufolge werden hohe Ansprüche an diese gestellt, da Qualität im weiteren Verlauf nur herunter- und nicht heraufskaliert werden kann.¹⁰



Abb. 1: Taschensender in einer Perücke eingearbeitet (Quelle Shure)



Abb. 2: Moderatorin mit zwei Taschensendern am Gürtel (Quelle Sennheiser)

Um die zuvor erläuterte Bewegungsfreiheit für die Nutzer gewährleisten zu können, müssen drahtlose Übertragungseinheiten kompakt und portabel gestaltet sein. Die Geräte sollen bei Bühneneinsätzen möglichst unauffällig erscheinen und werden deswegen teilweise extra in Kostümen eingearbeitet (siehe Abb. 1 und 2). Diesen Anforderungen folgend müssen die Einheiten innerhalb bestimmter Baugrößen bleiben und dürfen nicht zu schwer sein.¹¹ Im Umkehrschluss bedeutet dies weiter, dass der verfügbare Bauraum nur begrenzte Batterie- und Akkugrößen zulässt. An dieser Stelle muss ein Kompromiss gefunden werden. Die Batterielaufzeit des Funksystems muss in manchen Fällen nicht nur für die Veranstaltung ausreichen, sondern auch darüber hinaus. Eingearbeitete Taschensender müssen teilweise frühzeitig angeschaltet werden, da andernfalls die Maske und das Kostüm nicht abgeschlossen werden können (siehe Abb. 1). Bei einem Musical ist dies eventuell mehrere Stunden vor der eigentlichen Aufführung der Fall. Dementsprechend müssen Funkssysteme kompakt und zugleich auch energieeffizient gestaltet sein.¹²

¹⁰ Vgl. Fischer und Ackermann (2022):

Spectrum demand of professional wireless production tools (PMSE), S. 5

¹¹ Vgl. ebenda, S. 6

¹² Vgl. Fischer und Stratix (2017): *Digitisation of wireless microphones, S. 23*

Weitere wichtige Parameter bei der Verwendung von Drahtlostechnik sind die Ausbreitungscharakteristik der elektromagnetischen Wellen sowie die Reichweite. Diese Eigenschaften sind an den Frequenzbereich geknüpft, in welchem ein Funksystem agieren kann. Niedrige Frequenzen mit größeren Wellenlängen bieten tendenziell vorteilhafte Ausbreitungsbedingungen. Bei höheren Frequenzen mit geringen Wellenlängen besteht eher eine Gefahr von Abschattungseffekten, die die Reichweite eingrenzen können.¹³

Als letzte Anforderungen sollen die harmonisierte Frequenznutzbarkeit sowie die Frequenzagilität vorgestellt werden. Eine grenzübergreifende Einsetzbarkeit von Funksystemen ist vor allem für Tourneeproduktionen von hoher Bedeutung.¹⁴ Somit entfällt die Notwendigkeit, dass je nach Land gegebenenfalls extra konforme Funktechnik beschafft werden muss. Dementsprechend bezieht sich diese Anforderung weniger auf die Funksysteme selbst, sondern eher auf den regulatorischen Rahmen, der geschaffen werden muss. Wenn keine ausreichende Harmonisierung vorliegen sollte, ist Frequenzagilität umso wichtiger. Das heißt, dass die Geräte in ihrer Frequenznutzung flexibel sind.¹⁵ Diese Möglichkeit wird bei Funkanlagen als Schaltbandbreite bezeichnet. Diese umfasst die durchstimmbaren Frequenzbereiche eines Funksystems.¹⁶ Eine größere Schaltbandbreite erlaubt mehr Auswahlmöglichkeiten bei den Frequenzen. Sollte ein Teilbereich eines Frequenzbandes nicht harmonisiert beziehungsweise nicht legal nutzbar sein, ist es mit ausreichender Schaltbandbreite möglich, in einen alternativen konformen Bereich zu wechseln. Eine Bandbreite mit mehreren Frequenzauswahloptionen ist zudem nötig, um von gestörten Abschnitten in unbelastete ausweichen zu können.

In diesem Kapitel ist deutlich geworden, dass Funktechnik bei Veranstaltungen diverse Vorteile bieten kann und daher vielfältig eingesetzt wird. Das Praxisbeispiel Lollapalooza-Festival zeigte exemplarisch die funktechnische Dimension einer heutigen Veranstaltung sowie die damit verbundenen Herausforderungen. Darüber hinaus wurden Anforderungen an Funksysteme erarbeitet. Inhalte dieses Kapitels werden in der Ausarbeitung zu späteren Zeitpunkten wieder aufgegriffen.

¹³ Vgl. Ederhof (2020): *Das Mikrofonsbuch*, S. 383 sowie S. 388 – 391

¹⁴ Vgl. Fischer und Ackermann (2022):

Spectrum demand of professional wireless production tools (PMSE), S. 9

¹⁵ Vgl. ebenda, S. 9

¹⁶ Vgl. Arasin (2023): *Einrichtungen für drahtlose Mikrofone*, S. 209

3 Zuständige Institutionen und rechtliche Aspekte der Frequenznutzung

Bevor die Betrachtung zu den Dividenden beginnen kann, sollen in diesem Kapitel noch kurz Organisationen und Behörden vorgestellt werden, die am Prozess der Frequenzregulierung beteiligt sind. Zusätzlich werden rechtliche Zusammenhänge der Frequenznutzung erklärt. Diese Hintergrundinformationen sind erforderlich für die spätere Darstellung und Beschreibung der Dividenden.

Bezüglich der Institutionen ist an erster Stelle die Internationale Fernmeldeunion (ITU) zu nennen. Es handelt sich um eine Sonderorganisation der Vereinten Nationen, deren Arbeitsfeld auf Informations- und Kommunikationstechnologien (ICTs) spezialisiert ist. Die Zielsetzung der ITU ist auf internationaler Ebene eine Konnektivität zwischen Kommunikationsnetzen zu ermöglichen. In der Praxis wird dies umgesetzt, indem Frequenzbereiche und Satellitenbahnen von der ITU global zugewiesen werden. Des Weiteren erarbeitet die Organisation technische Standards und setzt sich weltweit für die Förderung von unterversorgten Gemeinschaften ein, damit diese einen verbesserten Zugang zu ICTs erhalten.¹⁷ Zu der ITU zählen 193 Mitgliedsstaaten und über 900 Unternehmen, Universitäten, Forschungsinstitute sowie internationale und regionale Organisationen.¹⁸ Die ITU selbst ist noch einmal untergliedert in die drei Teilbereiche ITU-R (Radiocommunication), ITU-D (Development) und ITU-T (Standardization), die jeweils verschiedene Aufgabengebiete innehaben. Der Sektor ITU-R ist zuständig für die Koordination von Funkdiensten und verwaltet die internationale Nutzung des Frequenzspektrums sowie die Satellitenbahnen.¹⁹ In diesem Sektor werden technische Bestimmungen sowie Verfahrensabläufe zur Frequenznutzung erarbeitet. Die Mitgliedsstaaten entwickeln und verabschieden konkrete Regeln, die bei der Verwendung von Frequenzen einzuhalten sind. Diese Regeln sind in den sogenannten Radio Regulations niedergeschrieben. Sie gelten als internationaler Vertrag und sind verbindlich für die Mitgliedsstaaten der ITU.²⁰

¹⁷ Vgl. ITU (o. J.): <https://www.itu.int/>

¹⁸ Vgl. ITU (o. J.): <https://www.itu.int/>

¹⁹ Vgl. ITU (o. J.): <https://www.itu.int/>

²⁰ Vgl. Beutler (2012): *The Digital Dividend of Terrestrial Broadcasting*, S. 23

Vgl. ITU (2023): *Collection of the basic texts adopted by the Plenipotentiary Conference*, S. 10

In Artikel 5 der Radio Regulations sind diverse Frequenzzuweisungstabellen zu finden. In diesen Übersichten ist dargestellt, welche Frequenzbereiche von welchen Funkdiensten in bestimmten Regionen verwendet werden dürfen. Des Weiteren werden dazugehörige Nutzungsbedingungen aufgelistet.²¹ Die ITU unterscheidet bezüglich der Frequenzuteilungen drei geografische Gebiete. Deutschland sowie Europa gehören zur Region 1 gemeinsam mit Afrika, Vorderasien, der Mongolei und den ehemaligen Staaten der UdSSR. Zu Region 2 zählen Amerika sowie Grönland. Region 3 umfasst den verbleibenden asiatischen Raum, Australien sowie das Gebiet Ozeanien (siehe auch Anhang 1). Zuweisungen von Frequenzen können allgemeingültig oder für jede ITU-Region individuell beschlossen werden.²²

Die Überprüfung und gegebenenfalls die Änderung der Radio Regulations erfolgt über die Weltfunkkonferenz (WRC). Die Rahmenbedingungen für Funkdienste werden auf diese Weise angepasst. Die WRC ist ein wichtiges Instrument zur Gestaltung und Fortschreibung der Radio Regulations. Die Veranstaltung findet in der Regel alle 2 bis 4 Jahre statt.²³

In nächster Stufe ist auf europäischer Ebene die CEPT als Institution zu nennen. In der Organisation arbeiten politische Entscheidungsträger und Regulierungsbehörden aus insgesamt 46 europäischen Ländern zusammen. Die Mitglieder der CEPT wollen die Telekommunikation, das Frequenzspektrum und die Postvorschriften weitreichend harmonisieren. Auf diese Weise soll die Effizienz und Koordination der Bereiche im Interesse der europäischen Gesellschaft verbessert werden.²⁴

In Deutschland ist die Bundesnetzagentur zuständig für die Frequenzkoordination. Ihre Arbeit erfolgt auf der Grundlage des Telekommunikationsgesetzes (TKG). Die Behörde verfolgt das Ziel, Frequenzen markt- und zukunftsorientiert zu regulieren. In diesem Zuge soll der Wettbewerb gefördert und gleichzeitig Chancengleichheit gewährleistet werden. In der Praxis wird die Frequenzregulierung mithilfe von Verordnungen und Bescheiden gesteuert.²⁵

²¹ Vgl. Radio Regulations, S. 35 – 41

²² Vgl. Dodel und Wörfel (2012): *Satellitenfrequenzkoordination*, S. 239

²³ Vgl. ebenda, S. 233 f.

²⁴ Vgl. CEPT (2023): *CEPT. All about our organisation*, S. 2

²⁵ Vgl. Freyer (2017): *Nachrichten-Übertragungstechnik*, S. 82

Die Bundesregierung ist laut § 89 Absatz 1 des TKGs dazu ermächtigt, Frequenzzuweisungen für die Bundesrepublik Deutschland zu erlassen. Die Zuweisungen werden in der sogenannten Frequenzverordnung festgelegt, die wiederum vom Bundesrat gebilligt werden muss. Gemäß § 89 Absatz 2 heißt es weiter, dass bei der Zuweisung von Frequenzen internationale Vereinbarungen, die europäische Harmonisierung sowie der technische Entwicklungsstand zu beachten sind.²⁶ Die Bundesnetzagentur erläutert weiterführend, dass die Festlegungen in der nationalen Frequenzverordnung auf Basis der internationalen Frequenzzuweisungen der Radio Regulations (Artikel 5) erfolgen.²⁷ Die erläuterte Passage aus dem Gesetzestext und die Ausführung der Bundesnetzagentur verdeutlichen die Abhängigkeitsbeziehung zwischen den international geltenden Vereinbarungen und dem nationalen Recht.

Neben der Aufschlüsselung der Frequenzbereiche und der zugehörigen Funkdienste beinhaltet die Frequenzverordnung zudem Informationen zu den Nutzungsrechten. Es wird unterschieden zwischen primären und sekundären Funkdiensten. Primäre Dienste genießen ein Schutzrecht und dürfen durch sekundäre nicht beeinträchtigt werden.²⁸ Bevor Frequenzen grundsätzlich genutzt werden können, ist laut dem TKG eine vorherige Frequenzzuteilung notwendig, sofern das Gesetz keine andere Regelung vorsieht.²⁹ Eine Frequenzzuteilung ist eine behördlich erteilte oder durch Rechtsvorschriften legitimierte Zulassung, die es erlaubt, bestimmte Frequenzen unter Einhaltung von vorgegebenen Bedingungen zu verwenden.³⁰ Es kann unterschieden werden zwischen den Kategorien Allgemein-, Einzel- und Kurzzeitzuteilung. Allgemeinzuteilungen erlauben eine Frequenznutzung durch die Allgemeinheit und sind antragsfrei. Einzelzuteilungen werden vergeben, wenn Allgemeinzuteilungen nicht möglich sind und bedürfen eines Antrags.³¹ Kurzzeitzuteilungen sind zeitlich befristet und können für Veranstaltungen bei der Bundesnetzagentur extra beantragt werden.³²

²⁶ Vgl. TKG, § 89 Absatz 1 und 2

²⁷ Vgl. BNetzA (o. J.): <https://www.bundesnetzagentur.de/>

²⁸ Vgl. FreqV, § 3 Absatz 3, 4 und 5

²⁹ Vgl. TKG, § 91 Absatz 1

³⁰ Vgl. TKG, § 3 Satz 14

³¹ Vgl. TKG, § 91 Absatz 2, 3 und 4

³² Vgl. VVKuNz, S. 5 f.

Funksysteme, die zur Bild- und Audioübertragung dienen und bei Veranstaltungen sowie zur Programmerstellung zum Einsatz kommen, werden im internationalen Sprachgebrauch unter der Abkürzung PMSE (Programme Making and Special Events) zusammengefasst. Weiterführende Details zu dieser Gruppe können den Verwaltungsvorschriften für Frequenzuteilungen im nichtöffentlichen mobilen Landfunk (VVnömL) entnommen werden.³³

4 Die Digitalen Dividenden in der Übersicht

Mithilfe der vorherigen Kapitel sind beispielhafte funktechnische Anwendungen der Veranstaltungsbranche sowie erste rechtliche Hintergründe der Frequenznutzung aufgezeigt worden. Der 4. Abschnitt soll dazu dienen, die Thematik der Digitalen Dividenden einzuführen. Es wird ein Rückblick auf die bisherige Geschichte gegeben und übergeleitet zur aktuellen Diskussion der 3. Digitalen Dividende.

4.1 Die Vorgeschichte und der Weg zur ersten Dividende

Um die Bezeichnung und den Werdegang der Digitalen Dividende verstehen zu können, ist ein Zeitsprung in das letzte Jahrhundert sowie ein Blick in die Geschichte des Rundfunks nötig. Die analoge Terrestrik ist historisch betrachtet der älteste Empfangsweg des Fernsehens und war in Deutschland bis Mitte der 1980er Jahre vorherrschend. Zum Empfang des TV-Signals dienten Dachantennen. Daher wurde damals auch vereinfacht von Antennenfernsehen gesprochen.³⁴ Der analoge Übertragungsweg hatte allerdings Limitierungen und sollte mit der Zeit an seine Grenzen stoßen. Für die Terrestrik standen im VHF- und UHF-Frequenzbereich insgesamt 51 Kanäle mit je 7 bis 8 MHz Bandbreite zur Verfügung. Diese konnten nur bedingt ausgenutzt werden. Es war nicht möglich, zwei Sender zugleich auf einem Kanal zu betreiben. Beide Signale wären mit gleicher Frequenz und versetzter Laufzeit beim Empfänger eingetroffen. Dies hätte zu Geisterbildern im Fernsehen geführt und das Programmbild wäre gestört worden. Geisterbilder traten ebenfalls auf, wenn das analoge terrestrische Signal während seiner Ausbreitung durch zum Beispiel Gebäude reflektiert wurde. Infolge kamen beim Empfänger das Originalsignal und eine zeitversetzte Reflektion an und das Programm wurde gestört.³⁵

³³ Vgl. BNetzA (o. J.): <https://www.bundesnetzagentur.de/>

³⁴ Vgl. Schwiegelshon (2013): *Distribution von Bewegtbildinhalten*, S. 340 und S. 343

³⁵ Vgl. ebenda, S. 343 f.

Um die Überlagerung von mehreren Sendern zu vermeiden und vermehrte Störungen durch Geisterbilder zu reduzieren, wurden bei der analogen Terrestrik Schutzabstände vorgesehen. Sender gleicher Frequenz wurden räumlich getrennt. Je nach Region variierte somit die Zahl der nutzbaren Frequenzen. Vor allem an den Landesgrenzen konnten Engpässe entstehen, da auch die Nachbarländer für ihre Sendeanlagen Kapazitäten benötigten. Dementsprechend wurde es erforderlich, die Frequenzen auch auf internationaler Ebene zu koordinieren. Die Frequenzausnutzung der analogen Terrestrik war nicht sehr effizient, da nur ein TV-Programm pro Kanal übertragen werden konnte. Hinzu kam die beschriebene Problematik der Schutzabstände.³⁶ Von den insgesamt 51 Kanälen sollen regional nur zwischen 6 bis 8 tatsächlich verfügbar gewesen sein, die für die Ausstrahlung des analogen Fernsehens genutzt werden konnten.³⁷ Die alternativen TV-Verbreitungswege Satellit und Kabel boten mit der Zeit vergleichsweise mehr Programme an. Ab den 1990er Jahren hat die analoge Terrestrik aus diesem Grund immer mehr Nutzerzahlen verloren.³⁸

Der neue Standard DVB-T (Digital Video Broadcasting - Terrestrial) sollte zur Lösung verhelfen. Er hat eine weit bessere Übertragungskapazität als der analoge Vorgänger. Mehrere TV-Programme können gesammelt über einen Datenstrom (Multiplex) übertragen werden. Auf diese Weise lassen sich bis zu vier Programme pro Kanal realisieren. Implementierte Fehlerschutzmechanismen reduzieren die Störanfälligkeit und der DVB-T-Empfänger ist in der Lage durch Reflektionen hervorgerufene Echosignale eher zu tolerieren, solange diese in einer gewissen Laufzeit bleiben.³⁹ Darüber hinaus ist die Möglichkeit eines Single Frequency Networks (SFN) gegeben. Das heißt, dass alle Sender mit dem gleichen Multiplexsignal die gleiche Sendefrequenz nutzen können. Sollten Signale von benachbarten Sendern auftreten, behandelt der DVB-T-Empfänger diese als Echos.⁴⁰ An dieser Stelle greifen die Fehlerschutzmechanismen und die Übertragung bleibt störungsfrei.

³⁶ Vgl. Schwiegelshon (2013): *Distribution von Bewegtbildinhalten*, S. 344

³⁷ Vgl. Janik (2011): *Rundfunktechnik und Infrastrukturegulierung*, S. 177

³⁸ Vgl. Janik (2011): *Rundfunktechnik und Infrastrukturegulierung*, S. 177
Vgl. Schwiegelshon (2013): *Distribution von Bewegtbildinhalten*, S. 344

³⁹ Vgl. DVB-T Projektbüro Saarland (2007): *DVB-T Leitfaden*, S. 2

⁴⁰ Vgl. Fischer (2016): *Digitale Fernseh- und Hörfunktechnik in Theorie und Praxis*, S. 484 f.
Vgl. DVB-T Projektbüro Saarland (2007): *DVB-T Leitfaden*, S. 2

Der damals neue DVB-T-Standard ermöglichte somit im Vergleich zur analogen Terrestrik eine wesentlich bessere Übertragungsdichte und Frequenzausnutzung. Das Beispiel DVB-T verdeutlicht, wie mithilfe neuer digitaler Übertragungsstandards freie Frequenzkapazitäten geschaffen werden konnten. Als Digitale Dividende werden jene Frequenzen bezeichnet, die durch die Digitalisierung des Rundfunks freigeworden sind.⁴¹

Die Digitale Dividende geht demnach aus einer technischen Entwicklung hervor und ist nicht frequenzpolitisch herbeigeführt worden. Laut einer damaligen ersten Schätzung der Bundesnetzagentur sollte durch die Effizienzsteigerung der Übertragung ein Frequenzraum von insgesamt 330 MHz frei werden.⁴²

Die Betitelung Digitale Dividende ist nicht ganz unumstritten und kann teilweise irreführend sein. Eine Dividende bezieht sich im klassischen Sinne auf den Anteil eines Gewinns. Frequenzspektrum kann per se nicht gewonnen werden, da es sich um eine Größe mit definiertem Umfang handelt. Zudem ist der ursprüngliche Begriff Dividende tendenziell positiv besetzt. Diese Deutung kann im Hinblick auf die Digitale Dividende irreführend sein, da jene für bestimmte Gruppen nicht zum Vorteil sein sollte.⁴³ Dies wird später noch ersichtlich.

Der digitale terrestrische Übertragungsweg eröffnete nun neue Möglichkeiten und die bestehenden Frequenzpläne mussten daher überarbeitet werden. Das auf europäischer Ebene letzte gültige Regelwerk war bis dahin der sogenannte Stockholm Plan von 1961. Der Plan definierte die Frequenznutzungen für das terrestrische Fernsehen. Das Regelwerk war nun veraltet und sollte einer Revision unterzogen werden. Die CEPT fragte im Jahr 2000 bei der ITU an, ob es möglich wäre, regionale Radiokonferenzen abzuhalten, um den Stockholm Plan zu überarbeiten. Der Hintergrund der Anfrage war, dass eine möglichst schnelle Einführung des DVB-T-Standards im europäischen Raum herbeigeführt werden sollte. Die ITU genehmigte den Antrag der CEPT und regionale Konferenzen zur Überarbeitung der Frequenzplanung konnten veranstaltet werden.⁴⁴

⁴¹ Vgl. Neumann (2009): *Begriffsbestimmung und Erfahrungsberichte*, S. 7

⁴² Vgl. ebenda, S. 8

⁴³ Vgl. SOS – Save Our Spectrum (2018):

Frequenzen für Menschen – jederzeit, überall und störungsfrei, S. 10

Vgl. Jung und Kleibrink (2018): *Digitale Dividende*, S. 5

⁴⁴ Vgl. Beutler (2012): *The Digital Dividend of Terrestrial Broadcasting*, S. 32 f.

Afrikanische Staaten sowie mehrere Länder der arabischen Welt äußerten das Interesse, an diesen gesonderten Radiokonferenzen teilzunehmen, da sie selbst eine veraltete Vereinbarung von 1989 hatten, die ebenfalls zu überarbeiten war. Da nun mehrere Interessensgruppen zusammengekommen waren, wurde entschieden, dass die im Zuge der regionalen Radiokonferenzen angestrebte Frequenzplanung für weite Teile der ITU-Region 1 sowie für den Iran durchgeführt werden sollte.⁴⁵ (Übersicht ITU-Regionen siehe Anhang 1)

Die erste regionale Konferenz RRC-04 sollte dazu dienen, grundlegende Kriterien für die Frequenzplanung und die gemeinsame Nutzung zu definieren. Für die nachfolgende Konferenz RRC-06 war es vorgesehen, zu einer Übereinkunft zu gelangen und einen neuen Frequenzplan zu verabschieden. Dies gelang auch. Am Ende resultierte das sogenannte GE06-Abkommen. Diese Vereinbarung umfasste einen neuen Frequenzplan für DVB-T und T-DAB (digitales terrestrisches Radio) im VHF- und UHF-Frequenzbereich. Des Weiteren wurde eine Umstellungsfrist festgelegt. Der Wechsel zur digitalen Übertragung sollte bis zum 17. Juni 2015 vollzogen werden. Für einige nicht-europäische Länder wurde die Übergangsfrist auf 2020 aufgeschoben. Aus Sicht der CEPT war 2015 zu spät angesetzt und sie entschied, dass ihre Mitglieder bereits bis 2012 den Wechsel abschließen sollten.⁴⁶ Für die Digitale Dividende waren diese Fristen bedeutsam. Die zusätzlichen Frequenzkapazitäten können erst nach Abschaltung der analogen Systeme freigesetzt werden.⁴⁷

Mithilfe des GE06-Abkommens wurde die Einführung der digitalen terrestrischen Übertragung vorbereitet. Des Weiteren sind Fristen für die Abschaltung der analogen Sender vereinbart worden und somit sollte absehbar werden, wann die Digitale Dividende in Kraft treten wird. Zu diesem Zeitpunkt war noch ungeklärt, wie das zukünftig freiwerdende Frequenzspektrum verwendet werden soll.

⁴⁵ Vgl. Beutler (2012): *The Digital Dividend of Terrestrial Broadcasting*, S. 32 f.

⁴⁶ Vgl. Beutler (2012): *The Digital Dividend of Terrestrial Broadcasting*, S. 32 f. und S. 39
Vgl. ITU (2006): *Final Acts RRC-06*, S. 6 und S. 20

⁴⁷ Vgl. ITU (o. J.): *GE06 Agreement – The end of the transition period*, S. 5

4.2 Die 1. Digitale Dividende und ihre Auswirkungen

Im Herbst 2007 fand die nächste Weltfunkkonferenz der ITU statt und die bestehenden Radio Regulations sollten überprüft werden. Um diesen umfassenden Prozess im Vorfeld zu strukturieren, wurde eine Agenda festgelegt. Einer der Themenpunkte im Hinblick auf die Digitale Dividende war, dass geprüft werden sollte, welche Frequenzbänder perspektivisch für IMT (International Mobile Telecommunications) infrage kommen könnten.⁴⁸ IMT ist ein Obergriff, den die ITU für mobile Breitbandssysteme verwendet.⁴⁹

Aus damaliger Sicht der CEPT sollten bei der Weltfunkkonferenz 2007 die Radio Regulations für das Frequenzband 470 bis 862 MHz vorerst nicht verändert werden. Erst auf der nächsten Weltfunkkonferenz 2011 sollte besprochen werden, ob ein Teil des Frequenzabschnitts an den Mobildienst zugewiesen wird. In Europa liefen zu diesem Zeitpunkt noch Untersuchungen, wie das Frequenzspektrum nach dem Umstellungsprozess von analog zu digital für Mobilanwendungen genutzt werden könnte. Die Ergebnisse standen noch aus und sollten abgewartet werden. Die CEPT äußerte dennoch, dass sie Gegenvorschläge aus anderen Staatsregionen berücksichtigen und falls nötig entsprechende Maßnahmen ergreifen werde.⁵⁰

Entgegen der ursprünglichen Positionierung der CEPT wurde bei der Weltfunkkonferenz 2007 beschlossen, dass der Frequenzbereich 790 bis 862 MHz in der ITU-Region 1 dem Mobildienst zugewiesen wird. Die Zuteilung erfolgte auf primärer Basis (Vgl. Kapitel 3) und sollte zum 17. Juni 2015 wirksam werden. Dieses Datum entsprach zugleich der definierten Übergangsfrist aus dem GE06-Abkommen. Bis zu diesem Zeitpunkt sollte die Rundfunkübertragung von analog auf digital umgestellt werden. In der Abschlusserklärung der WRC 2007 wurde zudem die Option vermerkt, dass eine Frequenznutzung durch den Mobildienst bereits vor 2015 möglich ist. Die Bedingungen dafür waren, dass der Mobildienst in der Übergangszeit bis 2015 kein Schutzrecht hat und andere Funkdienste in dieser Zeit nicht stören darf.⁵¹

⁴⁸ Vgl. Beutler (2012): *The Digital Dividend of Terrestrial Broadcasting*, S. 58

⁴⁹ Vgl. ITU (2022): *ITU-R FAQ on International Telecommunications (IMT)*, S. 1

⁵⁰ Vgl. Beutler (2012): *The Digital Dividend of Terrestrial Broadcasting*, S. 59

⁵¹ Vgl. ITU (2008): *Final Acts WRC-07*, S. 22 – 25

Vgl. Beutler (2012): *The Digital Dividend of Terrestrial Broadcasting*, S. 59 f.

Der Beschluss der Weltfunkkonferenz 2007, Frequenzen an den Mobildienst direkt zuzuweisen, kam überraschend und stellte gewissermaßen einen Sonderfall dar. Normalerweise werden potenzielle Frequenzen für Funkdienste identifiziert, dann werden Studien zur Kompatibilität und zu Nutzungsbedingungen durchgeführt und abschließend fällt die Entscheidung über eine mögliche Frequenzzuweisung. In diesem Fall war es umgekehrt. Zuerst wurde die Zuweisung beschlossen und dann folgte die Definition der Bedingungen. Beutler führt dies darauf zurück, dass ein hoher politischer und ökonomischer Druck bestanden haben muss, zusätzliche Frequenzen für den Mobildienst bereitzustellen.⁵²

Die Entscheidung der WRC 2007 ist nachfolgend entsprechend in nationales Recht überführt worden. Der Mobilfunk wurde im deutschen Frequenzbereichszuweisungsplan als Funkdienst für den Abschnitt 790 bis 862 MHz erfasst.⁵³ Darüber hinaus konnte bereits 2008 in Deutschland die Umstellung des analogen terrestrischen Fernsehens auf das digitale (DVB-T) weitestgehend abgeschlossen werden.⁵⁴ Dies ermöglichte die frühzeitige Öffnung des Frequenzbandes für den Mobilfunk. Daraufhin versteigerte die Bundesnetzagentur 2010 Frequenzspektrum an verschiedene Mobilfunkunternehmen. Die Anbieter Telekom, Vodafone D2 und Telefónica O2 Germany konnten Zuschläge für mehrere Frequenzblöcke gewinnen. Die Versteigerungen von Frequenzen zwischen 790 und 862 MHz erbrachten über 3,5 Milliarden Euro.⁵⁵ Bezüglich der Aufteilung des Spektrums wurde ein Frequenzduplexverfahren (FDD) gewählt. In dieser Hinsicht sei kurz erläutert, dass Mobilsysteme über zwei Kommunikationspfade agieren – einmal vom Endgerät zur Basisstation (Uplink) und wieder zurück (Downlink). Damit diese Strecken nicht miteinander interferieren, sind Schutzmechanismen erforderlich. Beim FDD wird dies erreicht, indem Up- und Downlink frequenzseitig voneinander getrennt werden.⁵⁶ Bei der Versteigerung der Bundesnetzagentur sind demgemäß Frequenzblöcke von je 2 x 5 MHz vergeben worden (einmal Uplink sowie einmal Downlink).⁵⁷

⁵² Vgl. Beutler (2012): *The Digital Dividend of Terrestrial Broadcasting*, S. 61

⁵³ Vgl. Zweite Verordnung zur Änderung der Frequenzbereichszuweisungsplanverordnung (2009), S. 16 und S. 47

⁵⁴ Vgl. Riegler (2009): *Die neue digitale Rundfunk- und Fernsehwelt*, S. 53

⁵⁵ Vgl. BNetzA (2013): <https://www.bundesnetzagentur.de/>

Vgl. BNetzA (o. J.): *Präsentation zum Ende der Frequenzauktion 2010*, S. 1

⁵⁶ Vgl. Beutler (2012): *The Digital Dividend of Terrestrial Broadcasting*, S. 88 f.

⁵⁷ Vgl. BNetzA (o. J.): *Präsentation zum Ende der Frequenzauktion 2010*, S. 1

Downlink (791 – 821 MHz)			Duplex- lücke	Uplink (832 – 862 MHz)		
O ₂	Vodafone	Telekom		O ₂	Vodafone	Telekom

Abb. 3: Aufteilung des Frequenzspektrums zwischen den Mobilfunkanbietern im FDD-Verfahren nach der 1. Digitalen Dividende (eigene Darstellung, Daten gemäß BNetzA)

Diese als 1. Digitale Dividende bezeichnete Frequenzvergabe sollte die PMSE-Nutzer indirekt auch betreffen. Erst 2006 wurden die Abschnitte 790 bis 814 MHz sowie 838 bis 862 MHz für Funkmikrofone allgemein zugeteilt. Die Zuteilung war befristet bis 2015 und galt für Rundfunkanstalten, private Programmanbieter, Veranstalter und sonstige professionelle Anwender (z. B. Musiker).⁵⁸ Der Mobilfunk begann nach der Ersteigerung der Frequenzen ab 2010 mit dem Ausbau der LTE-Infrastruktur. In der Konsequenz konnten Störungen für PMSE-Betreiber auftreten, die parallel in diesem Frequenzbereich aktiv waren. Bei der Nutzung von Funkmikrofonen bestand die Gefahr von Störgeräuschen. Infolge der LTE-Einstrahlung konnte die Funktionalität der Funkanlagen bis hin zur Unbrauchbarkeit eingeschränkt werden.⁵⁹ Eine gemeinsame Frequenznutzung durch PMSE und Mobilfunk war folglich nicht möglich.

Ein zentraler Kritikpunkt des APWPT-Verbands (Interessensvertretung PMSE) war in dieser Hinsicht, dass PMSE-Nutzer nicht ohne Weiteres in Funkssysteme mit diesen Frequenzen investiert hätten, wenn absehbar gewesen wäre, dass infolge des LTE-Ausbaus die Nutzbarkeit des Frequenzbereichs frühzeitig eingeschränkt werden sollte.⁶⁰ Dieser Argumentation folgend ist der zeitliche Abstand zwischen der Liberalisierung und der Beschränkung des Frequenzbandes sehr kurz gewesen. Die Lebensdauer von PMSE-Funksystemen wird üblicherweise auf 10 Jahre bemessen. In der Praxis werden die Anlagen, vor allem im öffentlichen Bereich, in der Regel deutlich länger eingesetzt.⁶¹ Der Produktlebenszyklus von Funksystemen, die im Zuge der Allgemeinzuteilung 2006 beschafft worden sind, ist demnach frequenzpolitisch verkürzt worden.

⁵⁸ Vgl. BNetzA, Vfg. 91/2005, S. 1 – 3 und S. 5

⁵⁹ Vgl. Deutscher Städtetag et al. (2012): *Einführung der Mobilfunktechnik LTE und ihre Auswirkungen auf Funkmikrofone*, S. 2 f.

⁶⁰ Vgl. Event Elevator (2011): <https://eventelevator.de/>

⁶¹ Vgl. APWPT (2009): *Professionelle drahtlose Produktionsmittel: Veränderungen in der UHF-Frequenznutzung und Vorschläge für Lösungsansätze*, S. 2

Laut einer damaligen Ermittlung des APWPT-Verbands waren von der Umstellung durch die 1. Digitale Dividende zirka 700.000 drahtlose Produktionsmittel betroffen.⁶² In der Konsequenz mussten PMSE-Nutzer in andere Frequenzbereiche wechseln. Dazu war es erforderlich, in neue Funksysteme zu investieren beziehungsweise vorhandene umrüsten zu lassen. Der daraus resultierende Schaden wurde auf mehr als 1,4 Milliarden Euro geschätzt.⁶³ Um wirtschaftliche Nachteile für die Nutzer zu kompensieren, verabschiedete das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie gemeinsam mit dem Finanzministerium eine Billigkeitsrichtlinie, in der Regelungen für Schadensersatzleistungen definiert wurden. Antragsberechtigt waren Nutzer, die Störungen durch den Mobilfunk belegen konnten und nachweislich Funksysteme zwischen 2006 und 2009 erworben hatten.⁶⁴ Für die Ersatzleistungen stellte der Bund insgesamt 124 Millionen Euro zur Verfügung.⁶⁵

Da für PMSE-Betreiber die Frequenzbereiche 790 bis 814 MHz sowie 838 bis 862 MHz langfristig nicht mehr nutzbar sein sollten, ermöglichte die Bundesnetzagentur die Verwendung von alternativen Frequenzbändern. Es wurden folgende Frequenzräume für den PMSE-Betrieb zusätzlich geöffnet beziehungsweise erweitert:

- 1.785 – 1.805 MHz (erweitert von 1.800 auf 1.805 MHz)
- 1.452 – 1.477,5 MHz (geöffnet)
- 174 – 230 MHz (geöffnet)⁶⁶

Darüber hinaus sollte die Duplexlücke im 800-MHz-Bereich zur Verfügung gestellt werden.⁶⁷ Für den professionellen PMSE-Einsatz wurde weiterhin das Band 470 bis 790 MHz freigegeben. Zuvor war die Nutzung des Frequenzbandes den Rundfunkanstalten vorbehalten.⁶⁸ Die Bundesnetzagentur schuf auf diese Weise Ausgleichsmöglichkeiten, um den Frequenzverlust für PMSE zu kompensieren.

⁶² Vgl. Event Elevator (2011): <https://eventelevador.de/>

⁶³ Vgl. Event Elevator (2011): <https://eventelevador.de/>

⁶⁴ Vgl. RL-BillStörKo (2013), S. 1

⁶⁵ Vgl. Deutscher Bundestag (2015): *Auktion der Funkfrequenzen im zweiten Quartal 2015*, S. 5

⁶⁶ Vgl. BNetzA (2009): *Entscheidung der Präsidentenkammer vom 12.10.2009*, S. 35 f.

⁶⁷ Vgl. BNetzA, Vfg. 2/2015, S. 1

⁶⁸ Vgl. BNetzA (2009): *Entscheidung der Präsidentenkammer vom 12.10.2009*, S. 36

4.3 Die 2. Digitale Dividende und ihre Folgen

Die 1. Digitale Dividende sollte nicht die letzte sein und wenige Jahre später erfolgte eine erneute Umstrukturierung des Frequenzspektrums. Auf der Weltfunkkonferenz 2012 wurde beschlossen, dass in der ITU-Region 1 der Frequenzabschnitt 694 bis 790 MHz dem Mobildienst zugewiesen werden soll. Für die folgende Weltfunkkonferenz 2015 war es diesbezüglich geplant, die konkreten regulatorischen und technischen Bedingungen auszuarbeiten. Die erteilte Zuteilung sollte nach der Weltfunkkonferenz 2015 wirksam werden.⁶⁹ Laut einem damaligen Bericht sollen vor allem afrikanische und arabische Staaten darauf hingewirkt haben, dass der besagte Frequenzbereich für den Mobildienst freigegeben wird.⁷⁰ Der Beschluss bezog sich auf die ITU-Region 1. Demnach galt die Zuweisung auch für den europäischen Raum. Die Weltfunkkonferenz 2015 bestätigte die Entscheidung und die Länder konnten in der Folge offiziell mit der Umstellung des Frequenzbereichs beginnen.⁷¹

Bereits vor dem finalen Entschluss auf der WRC 2015 versteigerte die Bundesnetzagentur Frequenzen aus dem 700-MHz-Band. Die Begründung seitens der Behörde war, dass andere Frequenzzuweisungen für den Mobilfunk ausliefen und neu versteigert werden mussten. Um den Aufwand gering zu halten, wurden die Auktionen für mehrere Frequenzbänder zusammengelegt. Des Weiteren war die Erwartung, dass die Freigabe des 700-MHz-Bands auf der WRC 2015 bestätigt werden wird.⁷² Dies war, wie zuvor beschrieben, schlussendlich auch der Fall.

Im Rahmen der Auktion ersteigerten die Anbieter Telekom, Vodafone und Telefónica Germany verschiedene Frequenzblöcke im 700-MHz-Bereich. Das Frequenzband wurde, wie schon bei der 1. Digitalen Dividende, nach dem Frequenzduplexverfahren (FDD) aufgeteilt. Die einzelnen Blöcke setzten sich wieder jeweils aus 2 x 5 MHz zusammen (Up- und Downlink). Die Versteigerungen im 700-MHz-Bereich erbrachten insgesamt etwas über eine Milliarde Euro.⁷³

⁶⁹ Vgl. ITU (2012): *Final Acts WRC-12*, S. 257 f.

⁷⁰ Vgl. Wilmsmann (2012): <https://eventelevador.de/>

⁷¹ Vgl. ITU (2016): *Final Acts WRC-15*, S. 15, S. 19 und S. 288

⁷² Vgl. Kaminski (2016): <https://www.production-partner.de/>

⁷³ Vgl. BNetzA (2015): *Rundenergebnisse Frequenzauktion 2015, Runde 181*

Uplink (703 – 733 MHz)			Duplex- lücke	Downlink (758 – 788 MHz)		
O ₂	Telekom	Vodafone		O ₂	Telekom	Vodafone

Abb. 4: Aufteilung des Frequenzspektrums zwischen den Mobilfunkanbietern im FDD-Verfahren nach der 2. Digitalen Dividende (eigene Darstellung, Daten gemäß BNetzA)

Die PMSE-Nutzer waren ebenfalls von dieser Frequenzumwidmung betroffen. Das Band 470 bis 790 MHz war, wie zuvor beschrieben, ein Nutzungsbereich für die PMSE-Betreiber. Im Abschnitt 470 bis 710 MHz befanden sich die PMSE-Anwendungen des Rundfunks. Die sonstigen professionellen Nutzer waren zwischen 710 und 790 MHz aktiv. Demzufolge sollte die letztere Gruppe von der Frequenzumstellung eher benachteiligt sein.⁷⁴ Veranstaltungsbetriebe und Musiker zählten zu dieser vorrangig betroffenen Gruppe.

Die Frequenzvergabe sollte vor allem für die PMSE-Nutzer schwerwiegend sein, die ihre Funkssysteme infolge der 1. Digitalen Dividende auf den 700-MHz-Bereich umgestellt haben. Die Anwender waren nun gezwungen, den Frequenzbereich erneut zu wechseln. Der Mobilfunk sollte außerdem zeitnah mit dem Ausbau der Infrastruktur beginnen. Es wurde daher erwartet, dass für PMSE bereits ab 2017 die ersten Einschränkungen auftreten werden.⁷⁵ Demnach sollte der Frequenzbereich nicht lange nutzbar bleiben. Aufgrund der Zuteilung an den Mobilfunk mussten auch DVB-T-Anbieter den Abschnitt räumen. Diese waren ebenfalls in diesem Frequenzband aktiv. Die Sender wurden in den Frequenzbereich unterhalb von 700 MHz verlegt. Im Zuge der nötigen Umstellung sollte zugleich der neue Standard DVB-T2 eingeführt werden. Um diesen Wechsel vollziehen zu können, war eine Simulcast-Phase notwendig – also ein paralleler Betrieb von DVB-T und DVB-T2. Am Ende der Überführung sollte sich das gesamte terrestrische Fernsehen im Abschnitt von 470 bis 694 MHz befinden. Dies bedeutete im Umkehrschluss für die PMSE-Anwender, dass dieser vorhandene Frequenzraum sich weiter verdichten sollte.⁷⁶

⁷⁴ Vgl. BNetzA (o. J.): *Strategische Aspekte zur Verfügbarkeit von Frequenzen für den Breitbandausbau in Deutschland*, S. 27

⁷⁵ Vgl. RL-UmstKoPMSE700 (2015), S. 1

⁷⁶ Vgl. Kaminski (2016): <https://www.production-partner.de/>
Vgl. RL-UmstKoPMSE700 (2015), S. 1

Die PMSE-Betreiber mussten das betroffene Frequenzband schlussendlich verlassen. Diesbezüglich war es wieder nötig, in neue Funkssysteme mit anderen Schaltbandbreiten zu investieren oder bestehende Systeme vom Hersteller modifizieren zu lassen. Mitte des Jahres 2019 konnte schließlich die Räumung der 700-MHz-Umgebung abgeschlossen werden.⁷⁷ Zwischen dem ersten Entschluss der ITU und der nationalen Räumung lag somit ein zeitlicher Abstand von 7 Jahren. Demnach ist auch hier der Lebenszyklus von Funksystemen frequenzpolitisch verkürzt worden. Wie viele PMSE-Systeme von dieser Frequenzvergabe schließlich betroffen waren und wie hoch der entstandene Schaden gewesen sein soll, ist nicht genau bekannt.

Es gab, wie bereits bei der 1. Digitalen Dividende, die Möglichkeit, Schadensersatz zu beantragen. Einen Anspruch hatten professionelle Nutzer, deren Funkanlagen von der Umstellung zwischen 694 und 790 MHz betroffen waren. Des Weiteren waren Anwender antragsberechtigt, die ihre Funkssysteme aufgrund der veränderten Rundfunkbelegung nur noch eingeschränkt nutzen konnten. Dies galt für Anlagen im Frequenzbereich von 470 bis 694 MHz. In beiden Fällen musste eine vor dem 31.12.2015 ausgestellte Frequenzzuteilung nachgewiesen werden.⁷⁸ Für die Nutzung dieser Frequenzbereiche war damals eine Einzelzuteilung notwendig, die bei der Bundesnetzagentur beantragt werden musste. Ausgleichszahlungen wurden nur für Funkanlagen gewährt, die zwischen 2012 und 2015 beschafft worden sind. Für Antragsteller, die aus dem gemeinnützigen Bereich kamen oder sich in öffentlich-rechtlicher Trägerschaft befanden, galt ein erweiterter Zeitraum von 1997 bis 2015. Um antragsberechtigt zu sein, musste für den Bereich von 694 bis 790 MHz keine konkrete Störungsbetroffenheit nachgewiesen werden.⁷⁹ Dies war eine wesentliche Änderung im Vergleich zu den damaligen Antragsbedingungen bei der 1. Digitalen Dividende.

Um die Einschränkung der verfügbaren Frequenzkapazitäten für PMSE-Betreiber zu kompensieren, ergriff die Bundesnetzagentur wieder regulatorische Maßnahmen. Die Unterteilung zwischen PMSE-Anwendungen des Rundfunks und sonstigen professionellen Betreibern wurde für den Abschnitt 470 bis 790 MHz aufgelöst.

⁷⁷ Vgl. BNetzA (2019): *Räumung des 700 MHz Bandes für den Mobilfunk abgeschlossen*, S. 1

⁷⁸ Vgl. RL-UmstKoPMSE700 (2015), S. 1

⁷⁹ Vgl. ebenda, S. 1 f.

Die verbleibenden Frequenzen aus dem Bereich konnten somit nun von beiden Gruppen gleichermaßen flexibel genutzt werden.⁸⁰ Weiterhin ist die Duplex-Lücke zwischen 733 und 758 MHz für die Verwendung freigegeben worden. Des Weiteren steht heute im Gigahertzbereich für PMSE ein vergrößerter Abschnitt von 1.452 bis 1.525 MHz zur Verfügung. Das Teilgebiet 1.452 bis 1.492 MHz wird allerdings ebenfalls vom Mobilfunk verwendet. Der Bereich stellt eher eine Zusatzkapazität dar und darf nur unter Einhaltung von bestimmten Bedingungen genutzt werden.⁸¹ Zusätzlich ist für PMSE-Anwendungen der Frequenzraum 1.350 bis 1.400 MHz geöffnet worden. Eine Frequenznutzung ist allerdings nur im Innenbereich zulässig.⁸² Zuletzt ist 2022 die Grenze des Abschnitts 470 bis 694 MHz auf 698 MHz angehoben worden.⁸³ Auf diese Weise wurden sukzessive alternative oder erweiterte Frequenzbereiche für PMSE geschaffen.

4.4 Die aktuelle Diskussion zu einer möglichen 3. Digitalen Dividende

Die ersten beiden Dividenden haben ein vergleichsweise ähnliches Verlaufsmuster aufgezeigt. An erster Stelle steht die Entscheidung der WRC, danach folgt eine Übersetzung in das nationale Recht und es findet eine Frequenzauktion statt. PMSE-Anwender müssen in der Folge in andere Frequenzbereiche migrieren. Es werden Möglichkeiten für Schadensersatzleistungen geschaffen und alternative Frequenzbänder werden bereitgestellt. Inzwischen ist die Debatte bei einer möglichen 3. Digitalen Dividende angelangt und die WRC 2023 könnte den Startpunkt für einen erneuten Zyklus dieser Art bilden. Wie in der Einleitung bereits beschrieben, bezieht sich die aktuelle Diskussion auf den Bereich 470 bis 694 MHz. Die ITU-Mitglieder führen diesbezüglich Studien durch, debattieren verschiedene Szenarien und erarbeiten ihre Positionen im Hinblick auf die anstehende Weltfunkkonferenz. An der erläuterten Frequenzumgebung sind neben den bestehenden Nutzergruppen auch externe Bedarfsträger interessiert. In diesem Kapitel sollen die verschiedenen Gruppen mit ihrer Interessenslage kurz vorgestellt werden. Die Perspektive der Betrachtung wird sich primär auf die Situation in Deutschland beziehen.

⁸⁰ Vgl. BNetzA (2015): *Präsidentenkammerentscheidung – Auktion 2015*, S. 3 f.

⁸¹ Vgl. VVnömL, S. 124 f.

⁸² Vgl. BNetzA, Vfg. 6/2022

⁸³ Vgl. BNetzA, Vfg. 34/2020, geändert durch Vfg. 99/2022, S. 1

Mobilfunk: Über die bisherigen Frequenzvergaben hinaus hat der Mobilfunk nach wie vor ein großes Interesse an Frequenzen, die unterhalb von einem Gigahertz liegen. Im Sub-GHz-Bereich sind die Ausbreitungseigenschaften der elektromagnetischen Wellen vorteilhaft. Je niedriger die Frequenzen sind, desto größer ist der mögliche Abdeckungsradius einer Funkzelle. Demnach sind niedrige Frequenzen für den Mobilfunk aus ökonomischer Sicht sehr attraktiv, da sie eine verbesserte Reichweite gewährleisten. Diese Ausbreitungsfähigkeit ist bedeutsam, um weitreichende ländliche Gebiete effizient versorgen zu können.⁸⁴

Hinsichtlich der zukünftigen Frequenzaufteilung zwischen den Mobilfunkdiensten ist zu beachten, dass die Anbieterstruktur sich in Deutschland verändert hat. 2019 ist über ein Frequenzauktionsverfahren der neue Dienstanbieter 1&1 Drillisch hinzugekommen. Dieser hat Frequenzen bei 2,1 und 3,6 GHz ersteigert. Für ein flächendeckendes Angebot von Sprach- und Datenverbindungen benötigt 1&1 Drillisch ebenfalls einen Zugang zum Sub-GHz-Bereich. Um einen Markteintritt zu ermöglichen, müssten in diesem Abschnitt die bestehenden Frequenzen des Mobilfunks neu aufgeteilt werden. Dies würde im Umkehrschluss bedeuten, dass die drei aktuellen Betreiber eventuell Frequenzen an 1&1 Drillisch abgeben müssten.⁸⁵ Um diesem möglichen Spannungsfeld entgegen zu wirken, schlägt der Netzbetreiber Vodafone vor, dass das 600-MHz-Band für den Mobilfunk als Ausgleichslösung geöffnet werden sollte.⁸⁶

Eine weitere perspektivische Herausforderung für die Mobilfunkdienste wird die stetig wachsende Nachfrage nach mobilem Datenvolumen darstellen. Für das Jahr 2014 wurde in Deutschland ein Gesamtverbrauch von rund 0,4 Milliarden Gigabyte verzeichnet. Im Jahr 2021 erreichte der Datenverkehr eine Größe von knapp 5,5 Milliarden Gigabyte.⁸⁷ Anhand dieser Zahlen wird das bisherige Wachstumstempo deutlich sichtbar. Es wird darüber hinaus erwartet, dass dieser Trend sich über die nächsten Jahre hinweg fortsetzen wird. Laut dem Ericsson Mobility Report November 2022 ist die steigende Beliebtheit von Videoanwendungen ein wesentlicher Faktor, weshalb der mobile Datenverkehr weiterhin

⁸⁴ Vgl. Krämer (2009): *Bewertung der WRC-07 Entscheidungen aus Sicht der Telekommunikation*, S. 83 – 86

⁸⁵ Vgl. Goldmedia et al. (2021): *Perspektiven zur Nutzung des UHF-Bands 470-694 MHz ab 2030*, S. 34

⁸⁶ Vgl. Vodafone (2020): *Stellungnahme der Vodafone GmbH zum Frequenzkompass 2020*, S. 1 f.

⁸⁷ Vgl. BNetzA (2022): *Jahresbericht 2021*, S. 62

wachsen wird. Zu der Kategorie der Videoanwendungen zählen zum Beispiel Video-on-Demand-Dienste oder Social-Media-Plattformen mit Videoeinbettungen. Das Segment Video beansprucht heute rund 70 % des weltweit genutzten Datenvolumens. Es wird erwartet, dass der Wert bis 2028 auf 80 % wachsen wird. Der weltweite mobile Datenverkehr soll bis dahin von 90 auf 324 Exabyte/Monat ansteigen (Vgl. Anhang 2).⁸⁸ Um dieser Entwicklung gerecht zu werden, wollen die Mobilfunkdienste die Funkzellen verdichten, ihr Frequenzspektrum erweitern und in den technologischen Fortschritt investieren. Das Frequenzspektrum im UHF-Bereich könnte zukünftig eingesetzt werden, um die ländlichen Gebiete mit ausreichend Datenkapazitäten zu versorgen.⁸⁹

Ein erhöhter Datenbedarf wird weiterhin für das autonome Fahren prognostiziert. Fahrzeuge dieser Generation sollen auf Basis des Mobilfunknetzes ständige Updates mit hochpräzisen Karteninformationen erhalten. Des Weiteren soll über die Mobilfunkinfrastruktur das teleoperierte führerlose Fahren von Transportfahrzeugen unterstützt werden. Aus Sicht des Industriekonsortiums 5GAA benötigt der Mobilfunk dafür weitere Frequenzressourcen. Im Sub-GHz-Bereich sollen diesbezüglich 50 MHz nötig sein. Oberhalb von einem Gigahertz müsste der Mobilfunk weitere 500 MHz erhalten.⁹⁰ Der Frequenzbedarf des Mobilfunks würde sich somit deutlich erhöhen. Um diesen Bedarf zukünftig abdecken zu können, werden voraussichtlich weitere Frequenzkapazitäten im UHF-Bereich nötig sein.

Terrestrisches Fernsehen: Eine weitere Interessensgruppe bildet der Rundfunk. Dieser betreibt, wie aus dem vorherigen Unterkapitel bekannt, DVB-T-Sender im Frequenzband von 470 bis 694 MHz. Für das Jahr 2021 konnte die Terrestrik als TV-Übertragungsweg einen Anteil von 7 % in Deutschland verzeichnen. Ein leichtes Wachstum ab 2019 konnte fortgesetzt werden. Satellit und Kabel erreichten 2021 jeweils einen Anteil von 44 %. Sie stellen somit die vorrangigen Übertragungswege dar. Die Kategorie IPTV erzielte zusammengefasst 15 %.⁹¹

⁸⁸ Vgl. Ericsson (2022): *Ericsson Mobility Report*, S. 25 und S. 38

⁸⁹ Vgl. Goldmedia et al. (2021): *Perspektiven zur Nutzung des UHF-Bands 470-694 MHz ab 2030*, S. 41 und S. 46

⁹⁰ Vgl. Goldmedia et al. (2021): *Perspektiven zur Nutzung des UHF-Bands 470-694 MHz ab 2030*, S. 48
Vgl. 5G Automotive Association (2020): *A visionary roadmap for advanced driving use cases, connectivity technologies, and radio spectrum needs*, S. 13

⁹¹ Vgl. Die Medienanstalten – ALM GbR (2021): *Digitalisierungsbericht Video 2021*, S. 22

DVB-T hat laut den Zahlen einen geringeren Stellenwert als Übertragungsweg. Fortführend ist zu erläutern, dass eine Entwicklungstendenz zur nicht-linearen zeitversetzten Mediennutzung registriert werden kann. Primär bei jüngeren Generationen sind Videoangebote im Internet und Streamingdienste beliebt und das Nutzeraufkommen steigt in diesen Bereichen. Die Zahlen des linearen Fernsehens hingegen bleiben konstant.⁹² Goldmedia prognostiziert, dass das lineare Fernsehen zukünftig an Bedeutung verlieren wird. 2030 soll die gesamte Videonutzung der Bevölkerung (> 14 Jahre) nur noch zu 15 % auf das lineare Fernsehen zurückgehen. In Anbetracht eines perspektivischen Rückgangs des konventionellen Fernsehens und der Trendentwicklung hin zu Onlineplattformen wird sich langfristig die Frage stellen, inwieweit lineare TV-Kanäle in ihrem bisherigen Umfang fortbestehen werden.⁹³ Dies betrifft folglich auch den Bereich des terrestrischen Fernsehens.

Die Position des Rundfunks bezüglich der WRC 2023 ist, dass der Status quo erhalten werden soll. Das heißt, der Rundfunk bleibt der alleinige Primärnutzer der Frequenzen zwischen 470 und 694 MHz. In diesem Zuge wird von jener Interessensgruppe betont, dass DVB-T ein wichtiger und zugleich kostengünstiger Versorgungsweg ist. Die Übertragung ist autark vom Internet sowie vom Mobilfunk. Des Weiteren soll die Infrastruktur sicher und redundant aufgebaut sein, sodass DVB-T im Katastrophenfall ein wichtiges Informationsmedium darstellen kann.⁹⁴ Darüber hinaus laufen aktuell Untersuchungen zu der Nutzung von 5G als Broadcast-Technologie für den Rundfunk. Das Ziel ist es, lineare TV-Signale auf Basis des Mobilfunkstandards terrestrisch verbreiten zu können. Die Signale sollen für Smartphones nutzbar werden, ohne dass ein Verbrauch von mobilem Datenvolumen erforderlich ist. Um dies zu erreichen, soll der bisherige Mobilfunkstandard 5G weiterentwickelt werden. Für diese zukünftige Technologie käme auch eine Nutzung des UHF-Spektrums zwischen 470 und 694 MHz infrage.⁹⁵ Demzufolge hat der Rundfunk sowohl für DVB-T als auch zukünftig für 5G ein Interesse am Erhalt der bisherigen Frequenzen.

⁹² Vgl. ARD/ZDF-Forschungskommission (2022):

ARD/ZDF-Massenkommunikation Trends 2022, S. 15 – 18

⁹³ Vgl. Goldmedia et al. (2021): *Perspektiven zur Nutzung des UHF-Bands 470-694 MHz ab 2030*, S. 14 f.

⁹⁴ Vgl. Allianz für Rundfunk- und Kulturfrequenzen (2023): *Frequenzen: Zukunft von terrestrischem Fernsehen sowie Produktionsbetrieb und Kultur in Deutschland*, S. 4 und S. 7

⁹⁵ Vgl. Goldmedia et al. (2021): *Perspektiven zur Nutzung des UHF-Bands 470-694 MHz ab 2030*, S. 20 und S. 29

BOS und Militär: Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) sowie das Militär haben ebenfalls Bedarf an zusätzlichem Frequenzspektrum im UHF-Bereich. Zu der Gruppe der BOS zählen Landes- sowie Bundespolizeien, Feuerwehren, der Zoll, Rettungsdienste, Katastrophenschutzorganisationen und das Technische Hilfswerk. Für diese Behörden und Organisationen wird ein eigener BOS-Digitalfunk betrieben, der von der Bundeswehr mitbenutzt wird. Das Funknetz basiert auf dem TETRA-Standard und ist essentiell für die Sprachkommunikation der BOS und der Bundeswehr.⁹⁶

Die beiden Interessensgruppen wollen für die fortlaufende Erfüllung ihrer Aufgaben mehr Frequenzen zur Verfügung gestellt bekommen. Dies sei nötig, um auch zukünftig die Funktion der einsatzkritischen Sprachkommunikation gewährleisten zu können. Des Weiteren liegt ein steigender Bedarf nach breitbandigen Kommunikationsdiensten vor, für die ebenfalls Frequenzkapazitäten nötig sind. Das aktuell verwendete TETRA-Netz ist nicht breitbandfähig.⁹⁷ Zukünftig wird erwartet, dass die BOS-Gruppe 60 MHz an zusätzlichem Frequenzspektrum benötigen wird. Dieses sollte sich aufgrund der guten Ausbreitungseigenschaften im Sub-GHz-Bereich befinden. Der UHF-Abschnitt von 470 bis 694 MHz gilt in dieser Hinsicht als besonders geeignete Umgebung.⁹⁸ Neben dieser Forderung wird für die Bundeswehr ein gesonderter militärischer Frequenzbedarf formuliert. Dieser wird grob auf 30 bis 100 MHz beziffert. Begründet wird dieser Anspruch mit der fortschreitenden Modernisierung und Digitalisierung der Streitkräfte. Der gesonderte militärische Bedarf ist in Friedenszeiten in der Regel nur temporär und lokal erforderlich.⁹⁹

PMSE: Wie in den vorherigen Unterkapiteln erläutert, betreibt die PMSE-Gruppe Funkssysteme im Frequenzband von 470 bis 694 MHz. Die Nutzung erfolgt auf sekundärer Basis. Der primäre Rundfunkdienst hat beim Frequenzeinsatz ein dementsprechendes Vorrecht gegenüber PMSE. Die gemeinsame Koexistenz funktioniert seit Jahren, da die Frequenznutzung des Rundfunks transparent und

⁹⁶ Vgl. Goldmedia et al. (2021): *Perspektiven zur Nutzung des UHF-Bands 470-694 MHz ab 2030*, S. 54

⁹⁷ Vgl. ebenda, S. 55

⁹⁸ Vgl. Schrewe et al. (2022): *Studie zur Bedarfsermittlung des Breitbandspektrums der BOS in Breitbandmobilfunknetzen*, S. 2 und S. 59 f.

⁹⁹ Vgl. Goldmedia et al. (2021): *Perspektiven zur Nutzung des UHF-Bands 470-694 MHz ab 2030*, S. 56 und S. 63 f.

somit für PMSE planbar ist.¹⁰⁰ Der benannte Frequenzraum ist für PMSE bedeutsam, da dieser aus physikalischen Gründen günstige Ausbreitungseigenschaften bietet und eine energieeffiziente Funkübertragung ermöglicht. Zugleich treten in dieser Frequenzumgebung nur geringe Körperabsorptionseffekte auf. Diese Bedingungen sind wichtig für den Betrieb von PMSE-Systemen (Vgl. Kapitel 2).¹⁰¹

Für Funkmikrofone konnte in den vergangenen Jahren ein Wachstum verzeichnet werden (siehe auch Anhang 3). Im Veranstaltungsbereich werden kabelgebundene Mikrofone sukzessive durch Funklösungen ersetzt. Des Weiteren kommen drahtlose In-Ear-Systeme vermehrt zum Einsatz. Infolge der Allgemeinzuteilung 2020 wird für das Frequenzband zwischen 470 und 694 MHz eine weiter wachsende Nutzerdichte erwartet. Für die Verwendung dieser Frequenzen entstehen jetzt keine Lizenzkosten mehr und der mit der Genehmigung verbundene Aufwand entfällt. Dementsprechend kann davon ausgegangen werden, dass mehr Anwender, vor allem auch semiprofessionelle, diesen Abschnitt zukünftig nutzen werden.¹⁰² Der Bereich 470 bis 694 MHz ist somit eine wichtige Einsatzumgebung für PMSE. Es wird gefordert, dass der Frequenzabschnitt für die zukünftige Nutzung erhalten bleiben soll.¹⁰³

Neben dem Rundfunk und PMSE nutzen aktuell das Militär, der Wetterdienst sowie die Radioastronomie einzelne Frequenzbereiche zwischen 470 und 694 MHz. Die benannten Gruppen haben angegeben, dass sie die Frequenzen auch in Zukunft benötigen werden.¹⁰⁴ Somit existieren sieben verschiedene Stakeholder, die einen Bedarf für diese Frequenzen geäußert haben. Teilweise fordern sie Bestandsschutz oder einen Zugang zu dem Bereich. Es wird ersichtlich, dass die Sachlage sehr komplex ist. Die Aufgabe, eine neue Verteilungslösung für den Abschnitt zu finden, wird herausfordernd sein. Die Weltfunkkonferenz 2023 steht diesbezüglich vor einem schwierigen Entscheidungsprozess.

¹⁰⁰ Vgl. Goldmedia et al. (2021): *Perspektiven zur Nutzung des UHF-Bands 470-694 MHz ab 2030*, S. 68

¹⁰¹ Vgl. ebenda, S. 68

¹⁰² Vgl. ebenda, S. 69 f.

¹⁰³ Vgl. ebenda, S. 81

¹⁰⁴ Vgl. Allianz für Rundfunk- und Kulturfrequenzen (2023): *Frequenzen: Zukunft von terrestrischem Fernsehen sowie Produktionsbetrieb und Kultur in Deutschland*, S. 5

5 Umfrage in der Veranstaltungsbranche zum Thema Funktechnik

Die Vorgeschichte zu den Digitalen Dividenden sowie die aktuelle Debatte zum Frequenzbereich 470 bis 694 MHz sind nun bekannt. In diesem fünften Kapitel soll untersucht werden, welche potenziellen Folgen für die Veranstaltungsbranche entstehen könnten, wenn der zuvor beschriebene Frequenzabschnitt im Rahmen einer 3. Digitalen Dividende an andere Bedarfsträger vergeben werden sollte.

Zur besseren Einordnung sei noch erläutert, dass die Betitelung 3. Digitale Dividende nicht per se damit gleichzusetzen ist, dass Frequenzspektrum an den Mobilfunk versteigert wird. Aufgrund der Vorgeschichte könnte ein solcher Zusammenhang angenommen werden. Unter dem Dachbegriff 3. Digitale Dividende wären auch andere Verteilungs- oder Vergabeszenarien denkbar.

Wie im vorherigen Kapitel darlegt, nutzt die Veranstaltungsbranche primär Funkmikrofone und In-Ear-Monitoring im Frequenzband von 470 bis 694 MHz. Dazu kommen noch Intercom-Systeme. Diese Anwendungen wären von einer Neuaufteilung des Frequenzbereichs entsprechend betroffen. Die Rundfunkanstalten und die Programmproduzenten nutzen ebenfalls diese Funksysteme. Des Weiteren verwenden sie den Frequenzbereich 470 bis 694 MHz für den Reportagefunk. Zu dieser Kategorie zählen unter anderem Meldeübertragungsstrecken. Beteiligte bei einer Fernsehproduktion können auf Basis dieser Strecken kommunizieren und Informationen austauschen, um Bild- und Tonübermittlungen zu koordinieren. Kommunikationskanäle dieser Art können zum Beispiel zwischen einem Übertragungswagen und einem Studio aufgebaut werden.¹⁰⁵ Die Programmproduzenten sowie der Rundfunk zählen mit diesen Anwendungen ebenfalls zur PMSE-Gruppe. Um hinsichtlich einer 3. Digitalen Dividende die Folgen für diese Akteure analysieren zu können, wäre eine gesonderte Betrachtung erforderlich. Im Umfang dieser Ausarbeitung wird eine solche fortführende Untersuchung nicht vorgenommen. Der Fokus dieser Arbeit wird sich auf den Veranstaltungssektor konzentrieren. In diesem Zusammenhang soll sich die nachfolgend verwendete Bezeichnung PMSE auf die funktechnischen Anwendungen der Veranstaltungsbranche beziehen.

¹⁰⁵ Vgl. VVnömL, S. 129 f. und S. 136 – 142

Aufgrund der Tatsache, dass die 3. Digitale Dividende bisher nur ein Theoriemodell darstellt, gestaltet es sich zum heutigen Zeitpunkt schwierig, konkrete Folgen für die Veranstaltungsbranche vorhersagen zu können. Auf Basis von aktuellen Daten ist es allerdings möglich, erste Rückschlüsse zu ziehen, wie sich Veränderungen in der Frequenzlandschaft auf den Veranstaltungssektor auswirken könnten. Ausgehend von diesem Grundgedanken wurde im Rahmen dieser Masterarbeit eine Umfrage zum Thema Funktechnik durchgeführt. Diese richtete sich an Veranstaltungsbetriebe in Deutschland. Mithilfe der gewonnenen Erhebungsdaten sollen mögliche Auswirkungen einer 3. Digitalen Dividende ermittelt und bewertet werden.

Das vorliegende Kapitel ist dieser Befragung gewidmet. Zuerst werden dahingehend die Zielstellungen und das Forschungsdesign erläutert. Als nächstes wird der Ablauf der Umfrage kurz wiedergegeben. Danach folgt die Ergebnisauswertung. Am Ende des Kapitels werden die Erkenntnisse aus der Umfrage eingeordnet und zusammenfassend betrachtet.

5.1 Zielsetzungen und Untersuchungsdesign

Mithilfe der Befragung sollten verschiedenste Aspekte zu dem Themengebiet der Funktechnik ergründet werden. Der erste zu überprüfende Themenpunkt war, inwieweit sich der Bedarf nach Funktechnik in den letzten Jahren entwickelt hat. Gemäß den Erläuterungen im vorherigen Kapitel wäre zu erwarten, dass die Nachfrage im Veranstaltungsbereich tendenziell gestiegen ist. Dies würde übereinstimmen mit den Daten der Bundesnetzagentur. Die Behörde konnte für den Frequenzbereich 470 bis 694 MHz von 2016 bis 2019 ein Wachstum an Frequenzuteilungen verzeichnen. Demzufolge wird die Anzahl der Funksysteme am Markt wahrscheinlich gewachsen sein (siehe auch Anhang 3).¹⁰⁶

Im Rahmen der Umfrage sollte geprüft werden, ob dieser Trend von Unternehmen und Einrichtungen aus der Veranstaltungsbranche bestätigt werden kann. In diesem Zusammenhang war weiterhin zu untersuchen, ob eine Abhängigkeit zwischen dem Tätigkeitsbereich der Betriebe und der Entwicklungstendenz existiert.

¹⁰⁶ Vgl. Goldmedia et al. (2021): *Perspektiven zur Nutzung des UHF-Bands 470-694 MHz ab 2030*, S. 69

Eine weitere Zielstellung der Umfrage war, den Stellenwert des Frequenzbereichs 470 bis 694 MHz zu analysieren. Wie zuvor beschrieben, bietet der Frequenzraum vorteilhafte Bedingungen. Er wird im Veranstaltungsbereich für unterschiedliche Anwendungen verwendet. In der Studie „Perspektiven zur Nutzung des UHF-Bands 470–694 MHz ab 2030“ von Goldmedia et al. wird der benannte Frequenzraum als wichtigster Bereich für Funkmikrofone ausgewiesen.¹⁰⁷ In einer europaweiten Umfrage des APWPT-Verbands 2021 gaben 85 % der befragten PMSE-Anwender an, dass sie diesen Frequenzabschnitt nutzen.¹⁰⁸ Anhand der Erläuterungen wird deutlich, dass das erwähnte Frequenzband eine wichtige Betriebsgrundlage für Funkssysteme darstellt.

Für die Befragung im Rahmen dieser Ausarbeitung war vorgesehen, die Bedeutung des Frequenzbereichs fortführend zu untersuchen. Der Fokus sollte sich hierbei auf den deutschen Veranstaltungssektor beziehen. Es wurden diesbezüglich Fragen konzipiert, welche Funkanwendungen die Nutzer in welchen Frequenzbereichen verwenden. Die gewonnenen Ergebnisse aus der Umfrage sollen später mit denen aus der europaweiten APWPT-Studie verglichen werden. Darüber hinaus sollte der Stellenwert von alternativen Frequenzbändern jeweils festgestellt und analysiert werden. Um weiterführend die Bedeutung des Frequenzbereichs 470 bis 694 MHz ergründen zu können, war es geplant, die Zusammensetzung der Technikbestände von den Veranstaltungsbetrieben zu überprüfen. Die Zielstellung war, zu ermitteln, wie viele Funkssysteme die Betriebe anteilig in dem benannten Frequenzabschnitt besitzen.

Mithilfe der Erhebung sollte außerdem überprüft werden, inwiefern die Betriebe bisher von Spektrumsengpässen betroffen waren. Im Fall des beschriebenen Lollapalooza-Festivals 2022 existierte eine Spektrumsknappheit. Es konnten, wie zuvor erläutert, nicht alle Frequenzanfragen für diese Veranstaltung realisiert werden. Fischer und Ackermann berichten in einer Veröffentlichung von 2022 weiterführend, dass Veranstalter und Theaterregisseure in Gesprächen ihnen gegenüber geäußert haben, dass sie vorzugsweise mehr Drahtlostechnik einsetzen möchten. Aufgrund von begrenzten Frequenzkapazitäten sind ihre Möglichkeiten in

¹⁰⁷ Vgl. Goldmedia et al. (2021): *Perspektiven zur Nutzung des UHF-Bands 470-694 MHz ab 2030*, S. 68

¹⁰⁸ Vgl. APWPT (2021): <https://apwpt.org/>

der Praxis eingeschränkt. Sie sind gezwungen, die Gestaltung der Aufführungen an die funktechnische Machbarkeit anzupassen.¹⁰⁹ Gemäß dem Fallbeispiel des Lollapalooza-Festivals und laut den erläuterten Schilderungen kommen bereits heute Spektrumsengpässe bei Veranstaltungen vor. Eine laufende Untersuchung des APWPT-Verbands zeigt zudem, dass die Situation sich zukünftig verschärfen könnte. Der Verband hat über einen Zeitraum von 17 Jahren Frequenzspektrumsdaten von weltweit über 100 Veranstaltungen erfasst und dokumentiert. Die Daten wurden für den Bereich von 470 bis 694 MHz gesammelt. In der Zusammenstellung der Messergebnisse wird deutlich, dass der Frequenzbedarf bei Veranstaltungen über die Jahre gestiegen ist. Demgegenüber ist das im Schnitt lokal verfügbare Frequenzspektrum gesunken (Vgl. Anhang 4).¹¹⁰ Sollten sich diese beiden Entwicklungstendenzen perspektivisch fortsetzen, wird Spektrumsangel bei Veranstaltungen zukünftig häufiger auftreten. Demnach kann zusammenfassend gesagt werden, dass Spektrumsknappheit in der Veranstaltungsbranche vorkommt und in Zukunft eine größere Problematik darstellen kann. Hinsichtlich der Umfrage sollte geprüft werden, inwiefern diese Thematik bei den Betrieben präsent ist. Das Lollapalooza-Festival und die Erläuterungen von Fischer und Ackermann stellen einzelne Beispiele dar. Das Ziel der Erhebung war, die Häufigkeit von Spektrumsengpässen zu untersuchen. Auf diese Weise sollten Daten gewonnen werden, um die Problematik fortführend in der Breite analysieren zu können.

Mit der Befragung sollte weitergehend ermittelt werden, ob es bestimmte Veranstaltungsarten gibt, die im Fall einer Frequenzverknappung stärker betroffen wären als andere. Dafür wurden Fallszenarien einer 3. Digitalen Dividende konzipiert, die eine solche Einschränkung für PMSE herbeiführen würden. Die befragten Betriebe sollten dahingehend einschätzen, welche Veranstaltungen ihrer Erfahrung nach am ehesten betroffen wären.

Der letzte Untersuchungspunkt der Erhebung sollte sein, inwieweit eine zukünftige Rückkehr zu kabelgebundenen Lösungen realisierbar wäre. In Anbetracht einer potenziellen Frequenzverknappung wäre dies gegebenenfalls eine Ausweichoption. Die Betriebe sollten hierzu ebenfalls eine Einschätzung abgeben. Rein technisch

¹⁰⁹ Vgl. Fischer und Ackermann (2022):

Spectrum demand of professional wireless production tools (PMSE), S. 28

¹¹⁰ Vgl. APWPT (2022): *Koordinierung und Beobachtung von Funkfrequenzen*, S. 2 und S. 15 - 19

betrachtet können kabelgebundene Varianten eine Alternative darstellen. Ob diese Option tatsächlich praxistauglich ist, soll mithilfe der Beurteilungen der Unternehmen erörtert werden.

Auf Grundlage des ermittelten Forschungsstands und der daraus abgeleiteten Zielstellungen ist ein entsprechender Fragebogen für die Erhebung entwickelt worden (siehe Anhang 5). Dieser wurde nach einem Mixed-Methods-Design konzipiert. Dies bedeutet, dass quantitative und qualitative Forschungsansätze miteinander verbunden wurden.¹¹¹ Zum Beispiel waren die Antwortmöglichkeiten bei den Fragestellungen zu den Frequenznutzungsbereichen weitestgehend vorgegeben. Dies entspricht eher einem quantitativen Ansatz. Bei diesem wird allgemein mit strukturierten Abläufen und standardisierten Erhebungsmethoden gearbeitet. Die Frage zu den kabelgebundenen Lösungen war hingegen offen formuliert. Diese Art der Fragestellung zeichnet ein qualitatives Vorgehen aus. Bei dieser Methode werden die Antwortmöglichkeiten nicht strikt vorgegeben. Die Struktur der Datenerhebung ist freier gestaltet und ermöglicht somit auch unerwartete Ergebnisse.¹¹²

Die Untersuchung wurde als grundlagenwissenschaftliche Studie angelegt und sollte zum Erkenntnisfortschritt beitragen. Das Design entsprach einer empirischen Analyse. Mithilfe der selbst durchgeführten Datenerhebung (Primärstudie) sollten Informationen zum beschriebenen Themenfeld gewonnen werden. Das Erkenntnisinteresse der Befragung war vorrangig deskriptiv ausgerichtet. Innerhalb einer Grundgesamtheit sollte die Verbreitung von spezifischen Merkmalen untersucht werden. Im vorliegenden Fall bezog sich dies auf die funktechnische Bedarfsentwicklung und die Frequenznutzungsbereiche der befragten Veranstaltungsbetriebe. Weiterhin gehörte die Thematik der Spektrumsengpässe dazu. Das Forschungsinteresse war teilweise auch explanativ und explorativ geprägt. Hergeleitete Theorien und Annahmen sollten überprüft werden (explanativ). Auf der explorativen Ebene wurde untersucht, inwieweit im Fall einer Spektrums einschränkung bestimmte Veranstaltungen funktechnisch noch umsetzbar bleiben und ob dahingehend eine Rückkehr zu kabelgebundenen Lösungen möglich wäre.¹¹³

¹¹¹ Vgl. Döring (2022): *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften*, S. 186

¹¹² Vgl. ebenda, S. 186

¹¹³ Vgl. ebenda, S. 187 f. und S. 193 f.

Die Befragung ist als Feldstudie vorgesehen worden und begrenzte sich auf den Veranstaltungssektor in Deutschland. Die Umfrage erfolgte in Form einer Gruppenstudie. Aus der infrage kommenden Grundgesamtheit wurde eine Stichprobe gezogen.¹¹⁴ Der konzipierte Fragebogen wurde online für die Beantwortung zur Verfügung gestellt. Auf diese Weise sollte die Weiterleitung und Verbreitung der Befragung vereinfacht werden.

Entsprechend der aufgestellten Zielsetzungen und dem Untersuchungsdesign richtete sich die erstellte Umfrage allgemein an Unternehmen und Organisationen aus dem Veranstaltungssektor in Deutschland, die eigene Funktechnik besitzen und diese regelmäßig bei Veranstaltungen einsetzen. Die Zielgruppe sollte auf diese Weise, wie für die Ausarbeitung geplant, geografisch eingegrenzt werden. Die Bedingungen für den Besitz eigener Funktechnik und deren Gebrauch bei Veranstaltungen wurden gesetzt, weil in der Erhebung Fragestellungen zu Technikbeständen und dem praktischen Einsatz von Funktechnik vorkamen. Zur Zielgruppe gehörten somit unter anderem Dienstleister für Veranstaltungstechnik, Theater, Kulturhäuser sowie Betreiber von Veranstaltungsflächen.

Einzelne semiprofessionelle PMSE-Betreiber wie Künstler oder Musiker sind nicht in die Umfrage einbezogen worden. Dies liegt zum einen darin begründet, dass der Schwerpunkt der Analyse sich auf den professionellen Bereich beziehen sollte. Zum anderen wurde davon ausgegangen, dass spezifische Fragen zu Spektrumsengpässen und Entwicklungsszenarien aus der Perspektive von semiprofessionellen Nutzern nur schwer zu beantworten sein werden. Im Kontext einer funktechnisch komplexen Veranstaltungsumgebung, wie zum Beispiel dem Lollapalooza-Festival, wird angenommen, dass ein zentraler technischer Dienstleister die Frequenzkoordinierung für die Künstler übernimmt. Es ist dennoch festzuhalten, dass diese Gruppe ebenfalls von einer 3. Digitalen Dividende betroffen wäre.

¹¹⁴ Vgl. Döring (2022): *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften*, S. 207 und S. 216

5.2 Letzte Vorbereitungen und Durchführung der Befragung

Um die Erhebung in Form einer Online-Befragung umsetzen zu können, wurde die Plattform des Anbieters empirio verwendet. Dieser bietet eine Art Baukastensystem an, um Online-Umfragen erstellen zu können. Auf diese Weise wurde der zuvor entwickelte Fragebogen in ein entsprechendes Online-Format überführt. Des Weiteren konnten bei empirio eine Startseite mit Hintergrundinformationen, eine vorgeschaltete Einverständniserklärung sowie eine Kommentarfeldfunktion hinzugefügt werden. Ein Duplikat der durchgeführten Online-Umfrage kann über den Anhang 6 eingesehen werden. Dort befindet sich eine Verlinkung, die zu einer Kopie der Umfrage führt.

Nach der Erstellung der ersten Umfrageversion auf der Seite von empirio folgte eine kurze Pre-Test-Phase. Mehrere Personen wurden darum gebeten, die Befragung auszuprobieren. Mithilfe des Feedbacks der Testpersonen konnte die Umfrage schrittweise verbessert werden. Nachdem die letzten Anpassungen eingearbeitet waren, startete die Befragung offiziell am 19. April. Die Laufzeit war begrenzt bis zum 26. Mai. In dieser Phase sollte die Umfrage weitreichend verbreitet werden, um möglichst viele Teilnehmer zu gewinnen. Dafür ist bei mehreren Branchenverbänden sowie Media-Plattformen angefragt worden, ob eine Unterstützung diesbezüglich möglich wäre. Darüber hinaus ist die Umfrage über verschiedene Social-Media-Kanäle und persönliche Kontakte weitergeleitet worden. Zusätzlich wurde ein Direkt-Mailing an mehrere Betriebe aus dem Veranstaltungsbereich verschickt. In Summe haben sich somit folgende Verteilungswege und Kooperationen ergeben:

- Verbände: Zusammenarbeit mit VPLT und VDT, Verbandsmitglieder wurden per Newsletter über die Befragung informiert
- Media-Plattformen: Event Elevator, Stage 223, SOS – Save Our Spectrum, Mothergrid, Weiterleitung der Umfrage via Social Media bzw. über Newsletter
- Social Media: Postings in diversen Foren sowie über private Kanäle
- Direkt-Mailing: Informationsschreiben an 730 Betriebe versendet
- Sonstiges: Beitrag im DTHG-Forum, Bewerbung über Mailverteiler des Studiengangs, Direktansprache von Betrieben, Weiterleitung über private Kontakte

Mittels dieser Distributionswege konnten insgesamt 246 Teilnehmer gewonnen werden. Die Umfrage wurde planmäßig am 26. Mai beendet. Die generierten Rohdaten wurden von dem Dienstleister empirio in Form einer Tabellenkalkulation ausgegeben. Im nächsten Schritt galt es nun die gewonnenen Daten zu sichten und auszuwerten.

5.3 Auswertung der Umfrageergebnisse

In diesem Unterkapitel sollen nachfolgend die Resultate der durchgeführten Erhebung beschrieben und erläutert werden. Die geschlossenen Fragen werden in Form einer deskriptiv statistischen Analyse ausgewertet. Eine fortführende inferenzstatistische Untersuchung wird nicht vorgenommen. Mit der Erhebung sollten keine komplexeren Wirkungszusammenhänge oder Hypothesenpaare überprüft werden. Aus diesen Gründen werden Analysemethoden der Inferenzstatistik hier nicht zur Anwendung kommen. Die offen formulierten Fragestellungen sollen auf interpretative Art ausgewertet werden. Die gegebenen Antworten werden in zuvor festgelegte Kategorien eingeordnet und in Übersichten zusammengefasst.

Die generelle Erläuterung der Ergebnisse wird auf zusammenfassende Art und Weise erfolgen. Aus Übersichtsgründen werden nicht immer alle Zahlen und Größen im Text wiedergegeben. Die vollständigen Werte und die grafische Aufbereitung können parallel dem Anhang 7 entnommen werden. Abbildungen werden im weiteren Verlauf nur vereinzelt dargestellt. Die Rohdaten der Erhebung und die detaillierte Auswertung befinden sich im digitalen Anhang der Ausarbeitung. Der entsprechende Zugangslink ist im Anhang 11 zu finden.

Vor der Ergebnisanalyse wurden die Datensätze erst einmal gesichtet. Dabei ist festgestellt worden, dass manche Teilnehmer nicht zur Zielgruppe passten oder Unregelmäßigkeiten bei den Antworten vorkamen. Insgesamt war dies bei 9 Datensätzen der Fall. Diese wurden herausgefiltert und für die spätere Auswertung nicht weiter berücksichtigt. Zum Teil handelte es sich um Einzelpersonen (z. B. Filmtonmeister), die im Rahmen dieser Umfrage nicht zur Zielgruppe zählten. Manche Unternehmen haben ihr Tätigkeitsfeld nicht eindeutig beschrieben und es war kein Bezug zum Veranstaltungssektor ersichtlich. In einem Fall wirkten die gewählten Antworten eines Teilnehmers beliebig und

der Datensatz wurde daher herausgenommen. Eine detaillierte Aufschlüsselung, warum bestimmte Teilnehmer ausgeschlossen worden sind, kann dem beigelegten Rohdatensatz entnommen werden. Nach der Eingrenzung verblieben 237 Fragebögen für die Auswertung.

Tätigkeitsbereiche der Teilnehmer: Die erste Fragestellung in der Umfrage war, in welches Tätigkeitsfeld sich die Betriebe selbst einordnen würden. 168 Teilnehmer gaben diesbezüglich an, als Dienstleister für Veranstaltungstechnik tätig zu sein. Knapp 71 % der Befragten gehören somit zu dieser Gruppe. Sie stellt mit Abstand den größten Anteil dar. Danach folgen die Theater mit rund 20 %. Insgesamt haben 48 Einrichtungen aus dem Theaterbereich teilgenommen. Nach diesen beiden Gruppen ist das Feld der Befragten anteilig etwas weiter aufgestellt. Die Umfrage wurde darüber hinaus von Konzert- und Opernhäusern, Unternehmen aus dem Messebereich, Tagungsstätten, Betreibern von Veranstaltungsflächen und von TV-Produktionsunternehmen beantwortet. In der Befragung wurden verschiedene Tätigkeitskategorien zur Auswahl gestellt. Zudem gab es die Möglichkeit einer Freitexteingabe. Die Teilnehmer konnten mehrere Bereiche auswählen. Kombinationen von Tätigkeitsgebieten, wie zum Beispiel Messe und Tagungsstätte, waren dementsprechend möglich.

TV-Produktionsunternehmen sind in den erweiterten Kreis der Zielgruppe aufgenommen worden. Veranstaltungsformate können im Rahmen von Fernsehproduktionen zur Unterhaltung und als Live-Element dienen. Dazu zählen beispielsweise Talkshows oder Produktionen von Wettbewerbsdarbietungen wie zum Beispiel „Deutschland sucht den Superstar.“ Diese Shows werden primär für die Fernsehausstrahlung konzipiert. Das Live-Publikum ist dabei Teil der Inszenierung.¹¹⁵ Die Grundlage solcher Fernsehproduktionen ist demnach ein Veranstaltungsformat, welches umgesetzt werden muss. Spezialisierte TV-Produktionsunternehmen können diese Aufgabe übernehmen und sind somit auch mögliche Betreiber von Funktechnik bei Veranstaltungen. Aus diesem Grund zählten diese Unternehmen auch zur Zielgruppe der durchgeführten Umfrage.

¹¹⁵ Vgl. Sakschewski und Paul (2017): *Veranstaltungsmanagement*, S. 20 f.

Bedarfsentwicklung Funktechnik: Die zweite Fragestellung der Erhebung bezog sich auf die Nachfrage nach funktechnischen Lösungen für Veranstaltungen. Die Betriebe wurden hierzu befragt, wie sich ihr Bedarf in den letzten acht Jahren entwickelt hat. Das Zeitfenster ist bewusst größer gewählt worden, um den vermutlich negativen Effekt der Corona-Jahre überbrücken zu können.

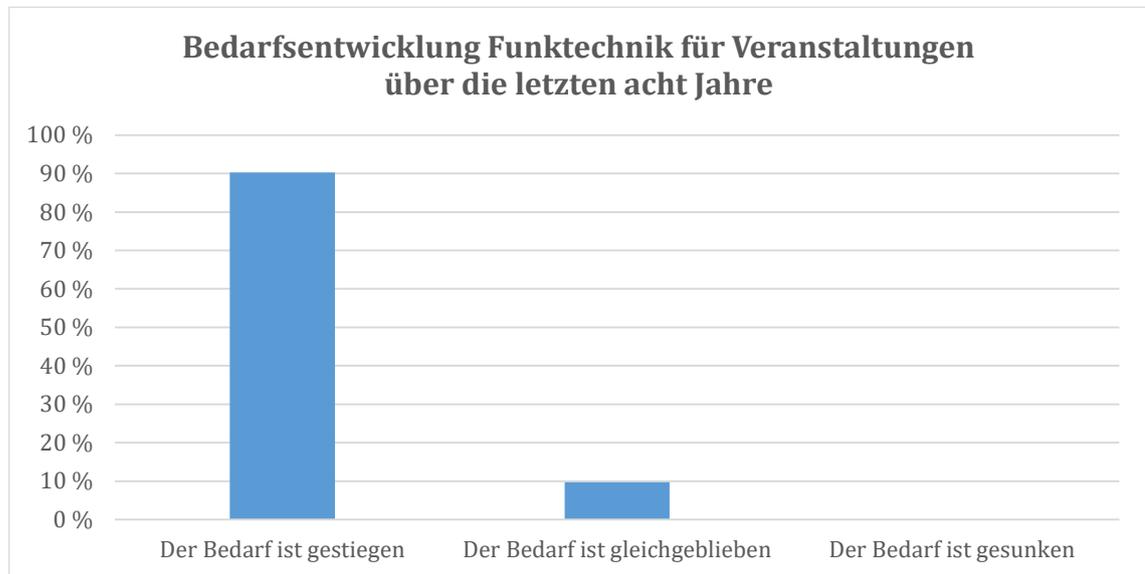


Abb. 5: Umfrageergebnisse zur Bedarfsentwicklung von Drahtlostechnik (eigene Darstellung)

Mit deutlicher Mehrheit haben 214 Umfrageteilnehmer ($\approx 90\%$) angegeben, dass in dem benannten Zeitintervall ihr Bedarf nach funktechnischen Lösungen gestiegen ist. Bei 23 Unternehmen hat sich die Nachfrage nicht verändert. Bei keinem der Teilnehmer ist der Bedarf gesunken. Eine Abhängigkeit zwischen der tendenziellen Entwicklung und dem Tätigkeitsbereich der Betriebe hat sich nicht herausgestellt. Die Teilnehmer mit dem gleichgebliebenen Bedarf waren vorrangig Dienstleister für Veranstaltungstechnik und Theater. Da diese beiden Gruppen aber auch den größten Anteil der Befragten darstellen, kann hier nicht von einer Tendenz gesprochen werden.

Das Umfrageergebnis zeigt eindeutig, dass der Bedarf nach funktechnischen Lösungen gewachsen ist. Das Resultat passt inhaltlich auch mit den gestiegenen Frequenzuteilungszahlen zusammen, die die Bundesnetzagentur bis 2019 erfasst hat (Vgl. Anhang 3). Laut der Umfrage sind funktechnische Lösungen für Veranstaltungen von wachsender Relevanz und die Nachfrage ist in den letzten Jahren gestiegen.

Funkanwendungen zwischen 470 und 694 MHz: Mit der nächsten Fragestellung sollte ermittelt werden, welche Funksysteme im Bereich zwischen 470 und 694 MHz betrieben werden. Für die Betrachtung einer 3. Digitalen Dividende und deren Auswirkungen ist diese Einordnung bedeutsam, um einschätzen zu können, welche Funkanwendungen in welchem Maßstab voraussichtlich betroffen wären.

Die Betriebe sind dahingehend befragt worden, welche Funkapplikationen sie in diesem Frequenzabschnitt einsetzen. Bei der Auswertung dieser Frage musste mit einem reduzierten Datensatz von 177 Antworten gearbeitet werden. Es wurde festgestellt, dass aufeinanderfolgende Fragen zum Themengebiet Intercom teils widersprüchlich beantwortet worden sind. Dies hat die vorliegende Fragestellung rückwirkend auch betroffen. Eine genauere Erläuterung, warum die Reduktion erforderlich war, erfolgt zu einem späteren Zeitpunkt.

171 Umfrageteilnehmer gaben im Zuge dieser Frage an, dass sie Funkmikrofone in dem benannten Frequenzbereich einsetzen. Knapp 97 % der in diesem Fall 177 Befragten haben diese Angabe getroffen. An zweiter Stelle folgt In-Ear-Monitoring. 138 Teilnehmer (≈ 78 %) nutzen diese Anwendung innerhalb der erläuterten Frequenzen. Intercom steht an dritter Position mit nahezu 24 % (42 Antworten). In 6 Fällen wurde angegeben, dass zwischen 470 und 694 MHz keine Funksysteme verwendet werden. Bei dieser Frage konnten generell mehrere Funkanwendungen ausgewählt werden. Weiterhin existierte die Möglichkeit einer Freitexteingabe. Ein Unternehmen hat in dem Freitextfeld den Betriebsfunk als separate Anwendung aufgeführt. Eine andere Firma nannte neben dem Betriebsfunk noch den Regiefunk und die Telemetrie. Betriebs- sowie Regiefunk stellen weitgefaste Oberbegriffe dar. Grundlegend handelt es sich um Funkanwendungen, die zur Sprach- beziehungsweise Datenübertragung dienen.¹¹⁶ Intercom-Systeme erfüllen die gleiche Funktion. In dieser Ausarbeitung werden der Regie- und der Betriebsfunk daher in die Kategorie Intercom eingeordnet. Bei der weiter genannten Telemetrie werden allgemein Messwerte übertragen. Dies kann kabelgebunden oder drahtlos erfolgen.¹¹⁷ Auch diese Bezeichnung ist entsprechend weitgefaste. Eine Anwendung der Telemetrie bei Veranstaltungen könnte zum Beispiel die Messung von statischen Lasten in einem Tragwerk sein.

¹¹⁶ Vgl. VVnömL, S. 18 und S. 132

¹¹⁷ Vgl. Dudenredaktion (o. J.): <https://www.duden.de/>

Frequenzbereiche für Funkmikrofone und In-Ear-Monitoring: Mithilfe der Umfrage sollte des Weiteren geprüft werden, welche Frequenzbereiche mit welcher Priorität für In-Ear-Monitoring und Funkmikrofone genutzt werden. Für die Teilnehmer wurde diesbezüglich eine Übersicht aus Bereichen zusammengestellt und sie konnten den jeweils zutreffenden Nutzungsgrad auswählen (vorrangig, regelmäßig, selten, kein Gebrauch). In der Umfrage war es möglich, die verschiedenen Nutzungsklassen mehrfach zu vergeben. Die zur Auswahl gestellten Frequenzabschnitte sind auf Grundlage der VVnömL und mithilfe von Herstellerangaben recherchiert worden. Die Fragestellung wurde für In-Ear-Monitoring und Funkmikrofone zusammengefasst, weil beide Anwendungen die gleichen Frequenzräume nutzen. Die Bundesnetzagentur klassifiziert diese auch als eine Gruppe.¹¹⁸

Der Frequenzabschnitt 470 – 698 MHz steht im Vergleich der Nutzungsprioritäten mit klarem Abstand an erster Stelle. 78 % der Befragten gaben an, diesen Frequenzbereich primär für In-Ear-Monitoring und Funkmikrofone zu nutzen. In absoluten Zahlen entspricht dies 185 Antworten. Der Datensatz wurde nicht reduziert und ist mit 237 Teilnehmern vollständig.

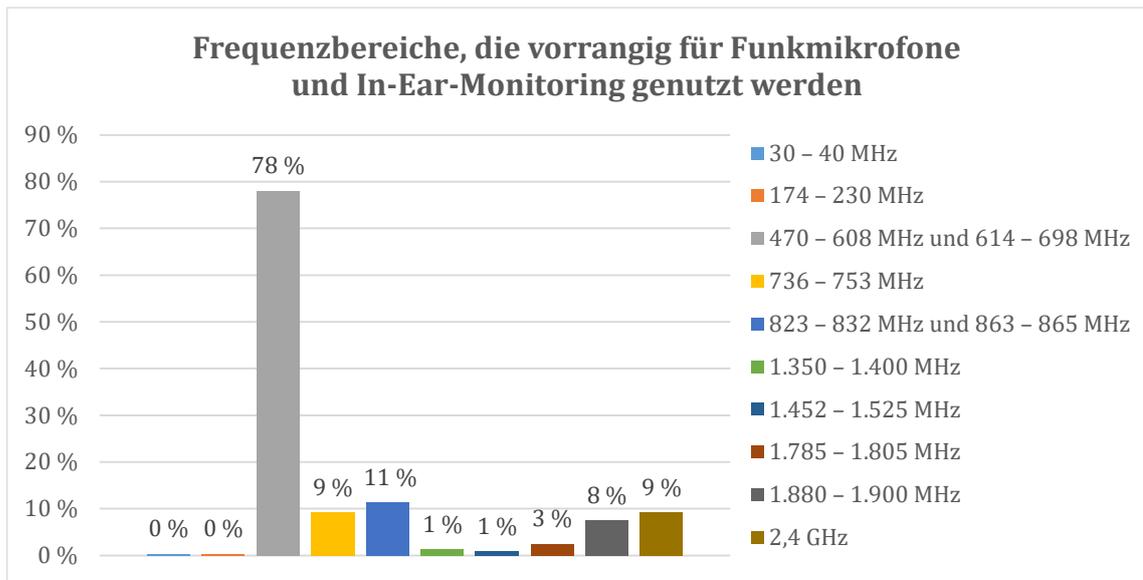
Danach folgen in der Priorität die Frequenzbereiche 823 – 832 MHz zusammen mit 863 – 865 MHz und 736 – 753 MHz. Weiterhin zählt der Frequenzraum bei 2,4 GHz zur oberen Rangliste der Betriebe. Der DECT-Bereich (1.880 – 1.900 MHz) ist im tendenziell mittleren Feld angeordnet. Die verbleibenden Abschnitte 30 – 40 MHz, 174 – 230 MHz, 1.350 – 1.400 MHz, 1.452 – 1.525 MHz und 1.785 – 1.805 MHz werden laut den befragten Betrieben eher selten bis gar nicht genutzt.

Im Freitextfeld der Umfrage wurde der 5-GHz-Bereich noch als Frequenzumgebung für Funkmikrofone aufgezählt. Ein teilnehmendes Unternehmen gab an, diesen regelmäßig für Tischmikrofone zu nutzen. Die 5-GHz-Abschnitte 5.150 – 5.350 MHz und 5.470 – 5.725 MHz sind vorrangig für WLAN-Anwendungen vorgesehen. Innerhalb der Frequenzbereiche können aber auch Drahtlossysteme wie Funkmikrofone betrieben werden.¹¹⁹

¹¹⁸ Vgl. VVnömL, S. 124

¹¹⁹ Vgl. Pieper (2015): *Das P.A. Handbuch*, S. 122 f.

Vgl. BNetzA, Vfg. 136/2022, geändert durch Vfg. 49/2023, S. 1



*Abb. 6: Umfrageergebnisse für die ausgewählte Kategorie „vorrangige Nutzung“
(eigene Darstellung, die Beschriftung der Säulen ist gerundet)*

Laut den Umfrageergebnissen ist das Frequenzband 470 – 698 MHz der primäre Nutzungsbereich für Funkmikrofone und In-Ear-Monitoring. Die zuvor gestellte Erwartung, dass der besagte Frequenzabschnitt für PMSE eine wichtige Betriebsgrundlage bildet, kann an dieser Stelle für die benannten Anwendungen bestätigt werden. Die Befragungsergebnisse zeigen zudem, dass die alternativen Frequenzräume in der Nutzungspriorität deutlich hinter dem Frequenzband 470 – 698 MHz stehen (siehe Abb. 6 und für detaillierte Zahlen Anhang 7).

Technikbestände Funkmikrofone und In-Ear-Monitoring: Die fünfte Fragestellung knüpfte an die zuvor erläuterte an. Die Betriebe wurden speziell zum Frequenzabschnitt 470 bis 694 MHz befragt, wie viele ihrer In-Ear-Monitoring-Systeme und Funkmikrofone sich anteilig in diesem Bereich befinden. Hinsichtlich einer potenziellen 3. Digitalen Dividende ist diese fortführende Angabe relevant. Auf diese Weise lässt sich vorläufig beurteilen, in welchem Umfang die Technikbestände der Unternehmen betroffen wären.

In der vorherigen Frage ist die Nutzungspriorität des Frequenzbereichs 470 bis 698 MHz untersucht worden. In der vorliegenden Betrachtung wird die Grenze bereits bei 694 MHz gesetzt. Dies hat damit zu tun, dass PMSE-Anwendungen in Deutschland laut der aktuellen Rechtslage bis 698 MHz betrieben werden dürfen (Vgl. S. 23). Die internationale Debatte zu einer 3. Digitalen Dividende bezieht sich wiederum auf den Bereich 470 bis 694 MHz. Aus diesem Grund wurde eine Unterscheidung zwischen den beiden Fragen vorgenommen.

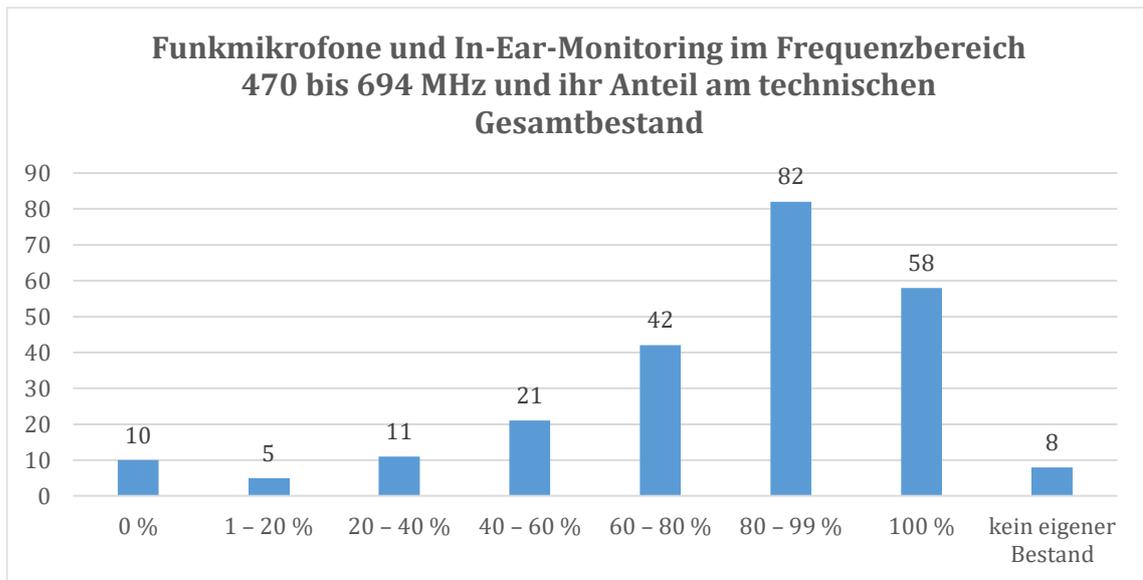


Abb. 7: Umfrageergebnisse anteiliger Technikbestand In-Ear-Monitoring und Funkmikrofone im Bereich 470 bis 694 MHz (eigene Darstellung)

Aufbauend auf den Resultaten der vorherigen Frage wäre für die Technikbestände anzunehmen, dass der Großteil der Funkmikrofone und In-Ear-Systeme sich im Bereich zwischen 470 und 694 MHz befinden wird. Die Ergebnisse der Umfrage bestätigen dies (siehe Abb. 7). Bei 82 Unternehmen liegen 80 bis 99 % des technischen Gesamtbestands in dieser Frequenzumgebung. Im Fall von 58 Betrieben befinden sich sämtliche Funkmikrofone und In-Ear-Systeme in dem benannten Frequenzgebiet. An dritter Stelle haben 42 Unternehmen angegeben, dass ihr Inventar zu 60 bis 80 % innerhalb dieser Frequenzen liegt.

Zusammengerechnet setzt sich bei 203 Teilnehmern der Bestand zu 40 % und mehr aus Systemen zusammen, die für den Frequenzbereich 470 bis 694 MHz konfiguriert sind. Dies trifft für 86 % der Befragten zu. Sollte es zu einer 3. Digitalen Dividende kommen, wären diese Betriebe demnach signifikant betroffen. Bei knapp einem Viertel der Teilnehmer würde die Gefahr bestehen, dass der gesamte technische Bestand umgestellt werden muss.

Frequenzbereiche für Intercom: Wie aus der dritten Frage bekannt, wären Intercom-Systeme von einer Frequenzumstellung voraussichtlich auch betroffen. Mit dem vorliegenden Fragepunkt sollte weiterführend geprüft werden, welche Frequenzbereiche in welchem Umfang für Intercom genutzt werden. Die Frage ist ähnlich konzipiert wie die zur Thematik der Funkmikrofone und der In-Ears. Nur die Frequenzbereiche wurden entsprechend der Anwendung angepasst.

Für diesen Teil der Erhebung musste, wie bei der Frage 3, mit einem reduzierten Datensatz von 177 Teilnehmern gearbeitet werden. Die Problematik war, dass in mehreren Fällen die Fragen 3 und 6 widersprüchlich zueinander beantwortet worden sind. Manche Teilnehmer gaben in Frage 3 an, dass sie Intercom-Systeme zwischen 470 und 694 MHz einsetzen. In der vorliegenden Frage 6 sagten sie aus, dass sie jenen Bereich für Intercom nicht nutzen. Der inhaltliche Konflikt trat auch andersherum auf. Da nicht reproduziert werden konnte, an welcher Stelle die Fehler entstanden sind, wurde der Datensatz für beide Fragen reduziert. Mögliche Ursachen für diese Widersprüche sollen in der zusammenfassenden Betrachtung der Umfrage erörtert werden.

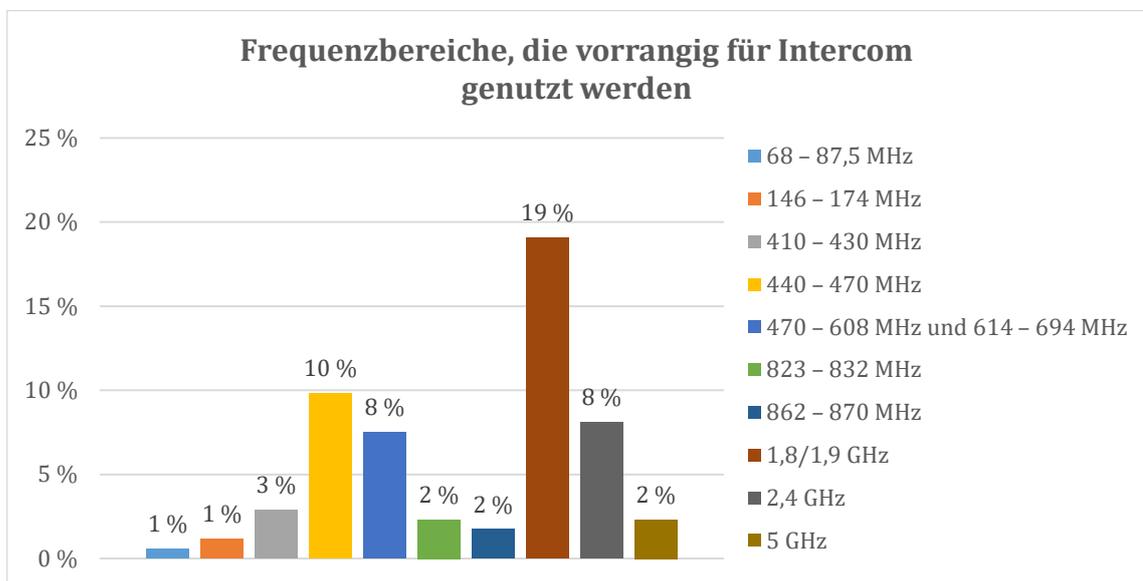


Abb. 8: Umfrageergebnisse für die ausgewählte Kategorie „vorrangige Nutzung“ (eigene Darstellung, die Beschriftung der Säulen ist gerundet)

Neben der Reduzierung aus inhaltlichen Gründen ist die vorliegende Frage von vier weiteren Personen übersprungen worden. Für die Auswertung standen somit insgesamt 173 Datensätze zur Verfügung.

Aus diesen geht hervor, dass der DECT-Abschnitt zwischen 1,8 und 1,9 GHz der primäre Frequenznutzungsbereich für Intercom-Systeme ist (siehe Abb. 8 und Anhang 7). Der Vorsprung zu den nachrangigen Frequenzabschnitten ist weniger eindeutig als bei den Funkmikrofonen und den In-Ear-Systemen. Auf der nächsten Ebene der Nutzungspriorität befinden sich die Bereiche 440 – 470 MHz und 470 – 694 MHz. Zu dieser mittleren Kategorie zählt ebenfalls der Frequenzraum bei 2,4 GHz. Die übrig gebliebenen Frequenzabschnitte werden von den Umfrageteilnehmern eher selten genutzt oder generell nicht verwendet.

Das Ergebnis der Umfrage zeigt, dass der Frequenzbereich zwischen 470 und 694 MHz regelmäßig für Intercom-Systeme genutzt wird. Jedoch steht er in der Einsatzpriorität nicht an erster Stelle. Laut der Umfrage liegt der für Intercom primär verwendete Frequenzbereich zwischen 1,8 und 1,9 GHz (DECT). Demzufolge ist der Frequenzraum von 470 bis 694 MHz eine relevante Betriebsgrundlage für Intercom, allerdings repräsentiert er nicht die wichtigste Nutzungsbasis wie bei den Funkmikrofonen und den In-Ear-Systemen. Dies würde fortführend bedeuten, dass Intercom-Anwendungen im Fall einer 3. Digitalen Dividende voraussichtlich weniger signifikant betroffen wären als Funkmikrofone und In-Ear-Systeme. Dieser vermutlich unterschiedliche Auswirkungsgrad auf die jeweiligen Funkanwendungen soll mithilfe der nächsten Fragestellung weitergehend untersucht werden.

Technikbestände Intercom: Anknüpfend an die zuvor gestellte Frage sollten die Betriebe nun im nächsten Schritt beantworten, inwieweit sich ihr Bestand an Intercom-Anlagen im Frequenzbereich von 470 bis 694 MHz befindet. Das Frageformat war im Grundsatz genauso aufgebaut wie bei den Funkmikrofonen und den In-Ear-Systemen. Die Teilnehmer hatten die Möglichkeit für ihr Inventar das jeweils zutreffende Prozentintervall auszuwählen.

Der insgesamt aus 237 Teilnehmern bestehende Datensatz musste für diese Frage erneut eingegrenzt werden. Die Gründe sind andere als im vorherigen Fall. Einzelne Teilnehmer gaben in Frage 6 an, dass sie den Frequenzraum zwischen 470 und 694 MHz für Intercom nicht verwenden. In der hier zu erläuternden Frage 7 führten sie hingegen auf, dass ihr Intercom-Bestand sich zu 60 % und mehr in dem benannten Frequenzbereich befinden soll. Die Aussagen wirken gegensätzlich und sind daher für die Auswertung der vorliegenden Fragestellung herausgenommen worden. Die Grenze wurde bei einem Inventarumfang von 60 % gesetzt. Es könnte die Beziehung vorliegen, dass Unternehmen Intercom-Anlagen in dem Bereich besitzen, diese aber nicht mehr nutzen. Aus diesem Grund ist diese Kombination zu einem gewissen Grad zugelassen worden.

Darüber hinaus haben zwei Betriebe den Frageteil nicht beantwortet und sind weiter zur nächsten Frage gegangen. Nach den erläuterten Reduzierungen sind für die Auswertung insgesamt 217 Datensätze verblieben.

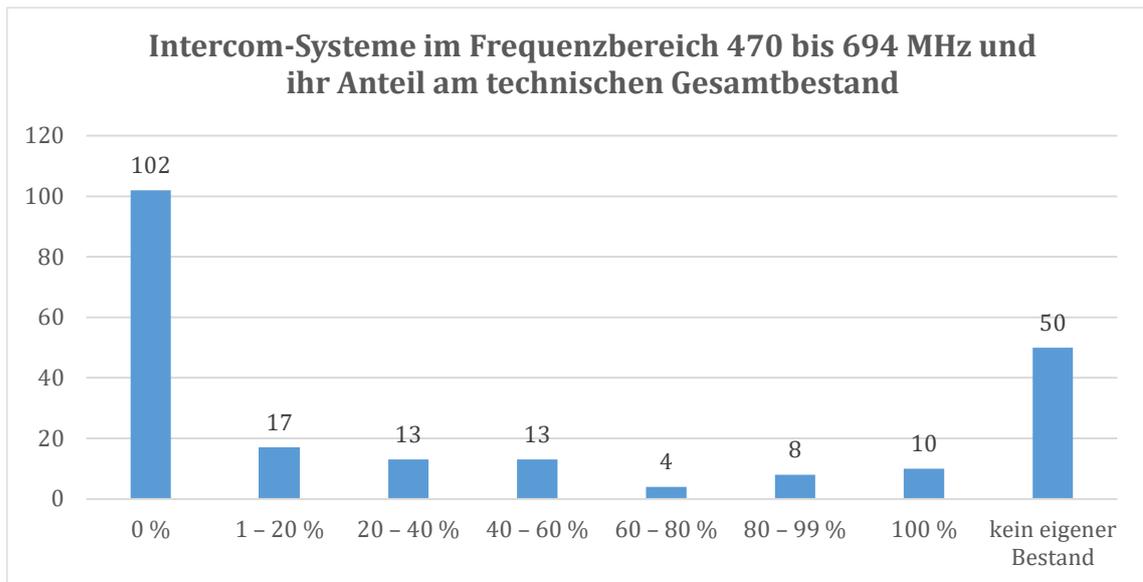


Abb. 9: Umfrageergebnisse anteiliger Technikbestand Intercom im Bereich 470 bis 694 MHz (eigene Darstellung)

Die meisten Unternehmen (102 Antworten) gaben an, dass sich in ihrem Bestand keine Intercom-Anlagen befinden, die auf Grundlage der Frequenzen zwischen 470 und 694 MHz betrieben werden. Von den 217 Befragten trifft dies für 47 % zu. 50 Betriebe besitzen generell keine eigenen Intercom-Systeme (rund 23 %). Statistisch gesehen ist das nachfolgende Feld der Antworten weitgefächert aufgestellt. Die Angaben sind gleichmäßig verteilt und prozentual auf einem ähnlichen Niveau (siehe Abb. 9).

Der aus der Frage 6 hergeleitete Rückschluss, dass der Frequenzabschnitt 470 bis 694 MHz für Intercom-Anlagen eine eher sekundäre Nutzungsoption darstellt, wird von den hier aufgeführten Ergebnissen bestätigt. Die meisten Betriebe verwenden ausschließlich andere Frequenzbereiche oder nutzen diese zu einem größeren Anteil.

Bei 35 Teilnehmern besteht der Intercom-Bestand zu 40 % und mehr aus Systemen, die zwischen 470 und 694 MHz betrieben werden. Bei zirka 16 % der Befragten ist dies der Fall. Ohne die inhaltlich begründete Datenreduzierung liegt diese Zahl bei rund 23 % (53 betroffene Teilnehmer bei 235 Datensätzen). Die gleiche Zusammenrechnung ergab bei den Funkmikrofonen und den In-Ears einen Wert von 86 % (203 Teilnehmer bei 237 Datensätzen). Bei der Gegenüberstellung der Zahlen ist zu beachten, dass die genannten Prozentwerte auf verschiedenen Grundgrößen basieren und eine Vergleichbarkeit nur bedingt gegeben ist. Dennoch wird eine Tendenz ersichtlich.

Laut den ermittelten Zahlen hat der Frequenzbereich 470 bis 694 MHz als Betriebsgrundlage einen höheren Stellenwert für Funkmikrofone und In-Ears als vergleichsweise für Intercom-Systeme. Im Hinblick auf eine mögliche 3. Digitale Dividende wären Intercom-Anlagen trotzdem potenziell betroffen. Die Umfrage zeigt, dass der zur Debatte stehende Frequenzbereich teilweise für diese Anwendungen genutzt wird. Einige Betriebe müssten ihr Inventar entsprechend anpassen. Bei den Funkmikrofonen und den In-Ear-Anlagen müsste voraussichtlich ein wesentlich größerer Anteil der technischen Bestände umgestellt werden.

Vorkommen von Spektrumsengpässen: Mithilfe der Umfrage sollte des Weiteren geprüft werden, in welchem Maßstab die Veranstaltungsbetriebe bisher von Spektrumsengpässen betroffen waren. Von den 237 Befragten äußerten 91 ($\approx 38\%$), dass sie bei vergangenen Veranstaltungen schon bewusst weniger Funktechnik eingesetzt haben, weil ein Mangel an verfügbarem Frequenzspektrum vorlag beziehungsweise zu erwarten war. 138 Umfrageteilnehmer ($\approx 58\%$) sagten aus, dass sie ihre funktechnische Planung aus diesem Grund bisher nicht anpassen mussten. Die verbleibenden 8 Betriebe aus der Befragung machten zu dieser Thematik keine Angabe.

Anhand der Ergebnisse kann festgehalten werden, dass Spektrumsengpässe im Veranstaltungsbereich bereits vorgekommen sind und somit eine reale Problematik darstellen. Fast 40 % der Befragten sind von einer solchen Einschränkung schon betroffen gewesen. Auf Basis der Umfragezahlen handelt es sich demzufolge nicht um Einzelvorkommnisse, sondern um eine durchaus verbreitete Problemstellung, mit der bereits mehrere Betriebe konfrontiert waren. Für die weitere Einordnung ist zu erläutern, dass die gestellte Frage nicht impliziert, dass eine einzelne Frequenz nicht nutzbar wäre. Dies würde nur eine Vorstufe darstellen. Die Frage hat sich auf den Fall bezogen, dass gesamte Funkanlagen aufgrund fehlender Spektrumskapazitäten nicht eingesetzt werden können. Je nach Schaltbandbreite des Funksystems ist demnach ein tendenziell erweiterter Frequenzraum und nicht eine Einzelfrequenz betroffen. Ein Szenario, bei welchem mehrere Frequenzen nicht verwendbar sind, ist dementsprechend als kritischer einzustufen. In einer fortführenden Analyse wäre zu untersuchen, warum in den erfassten Fällen der Umfrage jeweils ein Frequenzmangel vorlag.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass Spektrumsengpässe bei Veranstaltungen bereits aufgetreten sind. In der Folge mussten Reduzierungen beim Funktechnikeneinsatz vorgenommen werden. Das Lollapalooza-Festival 2022 stellt ein jüngeres Beispiel für diese Problematik dar. Sollten die Frequenzen infolge einer 3. Digitalen Dividende weiter verknappert werden, würde die Situation sich folglich verschärfen. In der Konsequenz würden bei Veranstaltungen häufiger Frequenzengpässe auftreten. Ein derartiges Entwicklungsszenario wäre für die Veranstaltungsbranche kritisch und würde perspektivisch den Betrieb von Funktechnik erschweren.

Einschränkung des Frequenzspektrums (Fallbeispiel 1): Für die anschließende Fragestellung wurde ein Szenario einer perspektivischen Frequenzverknappung entworfen, um dahingehend mögliche Auswirkungen untersuchen zu können. Das entwickelte Fallbeispiel basiert auf der Annahme, dass der Bereich 614 bis 694 MHz an andere Bedarfsträger vergeben wird. Die Frequenzumgebung könnte in der Folge für PMSE-Anwendungen nicht mehr genutzt werden. Die Betriebe sollten einschätzen, ob sie ihre Veranstaltungen in diesem Fall funktechnisch noch umsetzen könnten. Die Perspektive sollte sich hierbei auf Veranstaltungen beziehen, die die Unternehmen regelmäßig betreuen.

113 Umfrageteilnehmer gaben an, dass bestimmte Veranstaltungen nicht mehr vollumfänglich realisierbar wären. Knapp 48 % von den 237 Befragten haben diese Aussage getroffen. 81 Betriebe ($\approx 34\%$) äußerten, dass sie ihre Veranstaltungen voraussichtlich wie bisher umsetzen könnten. 43 Befragte ($\approx 18\%$) haben zu diesem Fallbeispiel keine Einschätzung getroffen.

Demzufolge würde bei fast 50 % der befragten Betriebe das unmittelbare Risiko bestehen, dass sie die funktechnischen Anforderungen für ihre Veranstaltungen nicht mehr erfüllen könnten. Hinzukommend ist zu berücksichtigen, dass in dem konstruierten Fallbeispiel nur ein Teilabschnitt des diskutierten Frequenzbereichs beleuchtet wurde. Laut den Umfrageergebnissen wäre diese partielle Einschränkung für zahlreiche Veranstaltungsbetriebe bereits problematisch. In diesem Zusammenhang wird nochmals ersichtlich, dass der Frequenzabschnitt 470 bis 694 MHz eine wichtige Betriebsbasis für PMSE darstellt.

Die Betriebe, die geäußert haben, dass ausgewählte Veranstaltungen nicht mehr umsetzbar wären, wurden anschließend zu einer Teilfrage weitergeleitet, in der sie die konkret betroffenen Veranstaltungsarten aufzählen sollten. Für diese Frage waren keine Antwortmöglichkeiten vorgegeben und eine direkte statistische Auswertung war somit nicht möglich. Um die Ergebnisse dennoch quantifizieren und einordnen zu können, wurde daher mit einer Häufigkeitsanalyse gearbeitet. In diesem Verfahren wird in vorliegenden Materialien (z. B. Textunterlagen) das Vorkommen von bestimmten Elementen untersucht. Die Analyse erfolgt nach einem System von definierten Kategorien. Passende Fundstellen werden in die entsprechenden Klassen eingeordnet und schließlich ausgezählt. Datensätze können auf diese Weise strukturiert und zusammengefasst werden. Abschließend ist eine Gegenüberstellung der verzeichneten Häufigkeiten möglich.¹²⁰

Im konkreten Anwendungsfall sollten Veranstaltungsarten erfasst werden. Als Grundlage für die entsprechende Kategorienbildung wurde ein Unterteilungsmodell nach Bowdin et al. gewählt. In der herausgesuchten Vorlage werden Veranstaltungen nach Form und Inhalt klassifiziert. Bowdin et al. unterscheiden diesbezüglich zwischen Cultural Events, Business Events und Sports Events.¹²¹ In der Literatur existieren weitere Modelle, die detailliertere Abgrenzungen enthalten und dementsprechend feinteiliger aufgebaut sind.¹²² Für die Analyse der vorliegenden Fragestellung wurde aus Übersichtsgründen die eher allgemein gefasste Klassifizierung von Bowdin et al. gewählt. Zur Einordnung der Befragungsergebnisse sollte diese Betrachtungsebene ausreichend sein.

Das Vorgehen bei der Aufstellung der Kategorien war folglich deduktiv geprägt. Auf Basis von theoretischen Vorüberlegungen wurde für die Auswertung ein bestehendes Modell aus der Forschung ausgewählt, welches als Vorlage für die Kategoriendefinition dienen sollte.¹²³

Mithilfe der beschriebenen Methodik und des festgelegten Schemas nach Bowdin et al. war es nun im nächsten Schritt möglich, die Antworten der Umfrageteilnehmer zu prüfen und einzuordnen.

¹²⁰ Vgl. Mayring (2015): *Qualitative Inhaltsanalyse*, S. 12 – 15 und S. 65

¹²¹ Vgl. Bowdin et al. (2011): *Events Management*, S. 22 – 29

¹²² Vgl. Sakschewski und Paul (2017): *Veranstaltungsmanagement*, S. 15 – 18

¹²³ Vgl. Mayring (2015): *Qualitative Inhaltsanalyse*, S. 85

Wie bereits erläutert, konnten aufgrund der Verknüpfungsbedingung nur bestimmte Teilnehmer die Frage sehen und beantworten. Vereinzelt Angaben mussten ausgeschlossen werden, da sie nicht eindeutig waren oder weil kein Bezug zu einer Veranstaltungsart gegeben war. Des Weiteren wurde die Frage auch von ein paar Teilnehmern übersprungen. Abzüglich dieser Faktoren verblieben für die Auswertung 85 Datensätze. Aus diesen geht hervor, dass zu einem größeren Anteil Kulturveranstaltungen (Cultural Events) betroffen wären. Sollte das 600-MHz-Band anderweitig vergeben werden, wie im skizzierten Fallbeispiel, könnten Veranstaltungen in diesem Bereich nicht mehr wie bisher umgesetzt werden. Die Kategorie Kulturveranstaltung wurde insgesamt 72-mal erfasst. Die Befragten zählten als konkrete Beispiele Theateraufführungen, Opern, Musicals und Konzerte auf. An zweiter Position stehen Industrieveranstaltungen (Business Events). Für diese Gruppe wurden 44 Einträge gezählt. Die Umfrageteilnehmer nannten exemplarisch Tagungen, Konferenzen und Messen, die im Fall der beschriebenen Spektrums-einschränkung nur noch bedingt realisierbar wären. An dritter Stelle befindet sich die Kategorie der Sportveranstaltungen (Sports Events). Für die Gruppe konnten insgesamt 13 Einträge verzeichnet werden. Als Musterbeispiele wurden ein Reitturnier und eine Motorsportveranstaltung aufgeführt.

Hinzukommend zählten die Befragten in 7 Fällen Fernsehproduktionen auf, die zukünftig beeinträchtigt sein könnten. TV-Produktionen können im Rahmen aller drei Veranstaltungsbereiche, die Bowdin et al. definieren, vorkommen. Zu beachten ist, dass die Trennung zwischen Berichterstattung und Eigenproduktion sich aus den Teilnehmerantworten nicht herleiten lässt und daher nicht exakt gegeben ist. Im Hinblick auf die Ausarbeitung und die Umfrage sollte der Bereich der Berichterstattung nicht weiter betrachtet werden. Im vorliegenden Fall ist jedoch zu argumentieren, dass wenn der Rundfunk Frequenzprobleme bei Veranstaltungen erwartet, dass diese im Umkehrschluss für die durchführenden Veranstaltungsbetriebe ebenfalls bestehen könnten. Aufgrund dieser denkbaren Verkettung und der Möglichkeit, dass die Befragten sich auf selbstproduzierte Veranstaltungen beziehen, wurde bei der Auswertung entschieden, dass bei einer Nennung von Fernsehproduktionen potenziell alle Veranstaltungsarten betroffen sein könnten. In der Häufigkeitsanalyse wurden die Punkte entsprechend vergeben.

Das Ergebnis der betrachteten Teilfrage zeigt, dass eine Fremdvergabe des 600-MHz-Bereichs sich auf sämtliche Veranstaltungsformate auswirken würde. Für alle aufgestellten Veranstaltungskategorien konnten Einträge erfasst werden. Die funktechnische Umsetzbarkeit von Veranstaltungen wäre somit übergreifend gefährdet. In der Häufigkeitsanalyse war eine Tendenz in Richtung der Kulturveranstaltungen zu erkennen. Diese Kategorie wurde von den Teilnehmern am häufigsten genannt. Dass diverse Veranstaltungen in diesem Sektor betroffen wären, erscheint schlüssig. Darsteller und Musiker nutzen für ihre Bühnenauftritte regelmäßig Funkmikrofone und drahtlose In-Ear-Systeme. Bezüglich der Häufigkeit folgen nach den Kulturveranstaltungen die Industrieveranstaltungen im mittleren Feld. An letzter Stelle stehen die Sportveranstaltungen. Sollten die benannten Frequenzen umgewidmet werden, wären diese Bereiche ebenfalls beeinträchtigt.

Einschränkung des Frequenzspektrums (Fallbeispiel 2): Das zuvor konstruierte Fallbeispiel wurde für die nächste Fragestellung angepasst. Die grundlegende Annahme war dieses Mal, dass der gesamte Frequenzabschnitt 470 bis 694 MHz anderweitig vergeben wird. Die Veranstaltungsbranche könnte die Frequenzen in der Folge nicht mehr nutzen. Abgesehen von der Änderung des Frequenzbereichs war die Frage identisch zusammengesetzt wie die vorherige. Die Betriebe sollten abermals beantworten, ob bei einer derartigen Einschränkung ihre Veranstaltungen funktechnisch noch realisierbar wären. Die fortführende Teilfrage zu den betroffenen Veranstaltungsarten wurde ebenfalls wieder gestellt. Mithilfe der gesamten Fragestellung sollte eine kritischere Stufe einer 3. Digitalen Dividende untersucht werden.

Im Hinblick auf die bisherigen Ergebnisse wäre zu erwarten, dass bei den Umfrageteilnehmern mehr Veranstaltungen im Zuge dieser erweiterten Frequenzverknappung betroffen wären. Die Annahme wird von den Zahlen bestätigt. 180 von 237 Befragten ($\approx 76\%$) äußerten, dass die funktechnische Realisierbarkeit ihrer Veranstaltungen nicht mehr vollständig gegeben wäre. 21 Betriebe ($\approx 9\%$) erwarten keine Einschränkungen in dieser Hinsicht. 36 Teilnehmer ($\approx 15\%$) haben zu dieser Fragestellung keine Position bezogen. Für das 1. Fallbeispiel gaben 48 % der Betriebe an, dass Veranstaltungen absehbar beeinträchtigt wären. Im 2. Szenario ist diese Zahl auf 76 % gestiegen.

Die beschriebenen Werte verdeutlichen, dass dieses Szenario für PMSE-Anwender voraussichtlich kritischer wäre als das vorangestellte. Es wird erneut ersichtlich, dass der benannte Frequenzabschnitt eine bedeutende Betriebsgrundlage für Funkanwendungen repräsentiert und dahingehend in der Veranstaltungsbranche umfassend genutzt wird.

In der anschließenden Teilfrage sollten die Teilnehmer weiter ausführen, bei welchen Veranstaltungsarten sie mit Einschränkungen rechnen würden. Für die Auswertung standen diesbezüglich 142 Datensätze zur Verfügung. Zu berücksichtigen ist wieder, dass nur die Betriebe zu dieser Frage weitergeleitet wurden, die zuvor angegeben haben, dass sie Beeinträchtigungen erwarten. Die Fragestellung wurde zudem in manchen Fällen übersprungen. Bestimmte Antworten mussten aus inhaltlichen Gründen ausgeschlossen werden, da keine genauen Veranstaltungsarten aufgeführt wurden. In Summe resultierten somit die 142 Datensätze. Die Einordnung der Daten nach Veranstaltungskategorien erfolgte methodisch auf die gleiche Art und Weise wie in dem vorherigen Fallbeispiel.

Die Gewichtung der ausgezählten Antworten ist ähnlich aufgestellt wie im ersten Szenario. An vorderster Position stehen wieder die Kulturveranstaltungen. Für diese Kategorie wurden 125 Einträge verzeichnet. In mittlerer Lage befinden sich die Industrieveranstaltungen. Der Sektor wurde insgesamt 97-mal erfasst. Sportveranstaltungen belegen mit 49 gezählten Angaben den dritten Rang. Die Sonderkategorie Fernsehproduktion wurde 12-mal genannt. Mit dieser wurde in gleicher Art und Weise verfahren wie im vorherigen Fallbeispiel.

Wie bereits im ersten Szenario ist erneut festzustellen, dass Veranstaltungen übergreifend betroffen wären. Für alle nach Bowdin et al. entwickelten Kategorien konnten Einträge verzeichnet werden. Diese Erkenntnis wird von den ermittelten Zahlen deutlicher widerspiegelt als im ersten Szenario. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass mehr Teilnehmer Beeinträchtigungen in diesem Zuge erwarten und die Frage dementsprechend beantwortet haben. Die Reihenfolge der verschiedenen Veranstaltungsarten hat sich in der Häufigkeitsverteilung nicht verändert und ist in gleicher Form zusammengesetzt wie im vorangegangenen Szenario. Die Kategorie der Kulturveranstaltungen wurde abermals am häufigsten aufgezählt.

Weiterführend ist zu erläutern, dass sich in beiden Fallbeispielen bestimmte Argumentationsketten der Betriebe wiederholt haben. Mehrere Teilnehmer sagten aus, dass Frequenzprobleme absehbar bei Großveranstaltungen auftreten würden. Die daraus zu ziehende Schlussfolgerung wäre, dass je größer die Veranstaltungen sind, desto höher könnte das potenzielle Funkaufkommen sein. Das Frequenzspektrum wäre aufgrund der Anzahl der Anwendungen frühzeitig ausgelastet und Engpässe könnten in der Folge auftreten. In ähnlicher Form argumentierten andere Teilnehmer, dass sie vor allem bei einem vermehrten Einsatz von Funksystemen Probleme erwarten würden. Abzugrenzen ist an dieser Stelle, dass ein paralleler Betrieb von mehreren Funkanwendungen nicht per se im Zusammenhang mit einer Großveranstaltung stehen muss. Das Ministerium für Inneres und Kommunales (MIK) des Landes Nordrhein-Westfalen hat in einem Orientierungsrahmen Großveranstaltungen anhand drei verschiedener Kriterien definiert:

1. Bei Veranstaltungen dieser Kategorie werden täglich mehr als 100.000 Besucher erwartet.
2. Die Anzahl der zeitgleich erwarteten Besucher übersteigt ein Drittel der Einwohner der Kommune und es befinden sich voraussichtlich mindestens 5.000 Besucher zum gleichen Zeitpunkt auf dem Veranstaltungsgelände.
3. Es besteht ein erhöhtes Gefährdungspotenzial bei der Veranstaltung.

Alle drei Aufzählungen würden individuell eine Großveranstaltung kennzeichnen. Es handelt sich um Oder- und keine Und-Bedingungen.¹²⁴ Ein erhöhtes Funkaufkommen kann auch bei Veranstaltungen auftreten, die unterhalb dieser definierten Größenordnungen liegen. Darüber hinaus erklärte ein Teilnehmer, dass es perspektivisch vor allem in Ballungsgebieten zu Frequenzengpässen kommen könnte. Der Argumentation folgend wäre anzunehmen, dass die Funknutzungsdichte in urbanen Gebieten tendenziell höher ist als in ländlichen Gegenden. Vorstellbar wären in diesem Kontext zum Beispiel mehrere Veranstaltungsstätten, die sich in der gleichen Umgebung befinden und bei denen zeitgleich Funkanwendungen betrieben werden. In einem solchen Fall wäre es durchaus möglich, dass sich die verschiedenen Veranstaltungsorte bei der Frequenznutzung wechselseitig beeinflussen. Für jeden Anwender würde somit ein

¹²⁴ Vgl. MIK NRW (2012): *Sicherheit von Großveranstaltungen im Freien*, S. 5 f.

reduzierter Anteil vom Frequenzspektrum verbleiben. Konstellationen dieser Art wären eher in städtischen Gebieten zu erwarten. Es erscheint daher schlüssig, dass bei einer Frequenzverknappung vorrangig urbane Areale betroffen wären, in denen mehrere verschiedene PMSE-Anwender auf engem Raum aktiv sind. Die Funknutzungsdichte wäre entsprechend erhöht und die Auslastungsgrenze des Frequenzspektrums könnte vorzeitig erreicht werden.

Die ergänzenden Erläuterungen der Teilnehmer haben eine neue Betrachtungsebene eröffnet, die über die zuvor gesetzten Veranstaltungskategorien hinausgeht. Laut den Erklärungen und den weiterführend getroffenen Schlussfolgerungen würde sich eine Frequenzeinschränkung primär auf Veranstaltungen auswirken, bei welchen ein vermehrtes Funkaufkommen besteht. Dieses kann in der Veranstaltung selbst begründet liegen oder mit den Umgebungsbedingungen zusammenhängen. Eine Kombination beider Varianten ist ebenfalls möglich.

Rückkehr zu kabelgebundenen Lösungen: In der letzten inhaltsbezogenen Frage der Erhebung sollten die Betriebe beantworten, ob es für sie im Fall einer Frequenzverknappung vorstellbar wäre, wieder vermehrt auf kabelgebundene Lösungen zurückzugreifen. Es waren keine Antwortmöglichkeiten in dieser Frage vorgegeben und die Teilnehmer konnten ihren Standpunkt dazu frei verfassen. Die Angaben der Betriebe wurden mithilfe einer Häufigkeitsanalyse ausgewertet. Das Verfahren war dieses Mal vorrangig induktiv ausgerichtet. Die erste Unterteilungsstufe war noch vorgegeben. Es wurde unterschieden, ob die Teilnehmer diese Option grundsätzlich in Erwägung ziehen oder nicht. Die daran anschließenden Begründungen der Befragten wurden in ein induktiv gebildetes Kategoriensystem eingeordnet. Das heißt, die Kategorien bauten nicht wie zuvor auf einem bestehenden Theoriekonzept auf, sondern wurden direkt aus den gegebenen Antworten hergeleitet.¹²⁵ Die Argumente der Betriebe für oder gegen kabelgebundene Lösungen wurden auf diese Art klassifiziert und zusammengefasst.

Abzüglich der bekannten und vormals erläuterten Faktoren verblieben für die Ergebnisbetrachtung dieser Frage 204 Datensätze. Für 130 Teilnehmer ($\approx 64\%$) ist eine Rückkehr zum kabelgebundenen Betrieb grundsätzlich nicht vorstellbar. 31 Befragte ($\approx 15\%$) würden dies in Betracht ziehen. 17 Personen aus dieser Gruppe

¹²⁵ Vgl. Mayring (2015): *Qualitative Inhaltsanalyse*, S. 85

haben allerdings dazu ergänzt, dass sie diese Vorkehrung nur notgedrungen treffen würden. 43 Teilnehmer ($\approx 21\%$) sehen Argumente für die eine sowie die andere Seite. In diesem Kontext wurde zumeist erläutert, dass die Entscheidung für ein drahtloses oder kabelgebundenes System wesentlich vom Anwendungsfall abhängig ist.

Manche Teilnehmer nannten als Vorteil der kabelbasierten Lösung, dass bei dieser eine höhere Ausfallsicherheit gewährleistet ist als vergleichsweise bei Funk. Eine Abhängigkeit von der lokalen Frequenzsituation wäre nicht gegeben und Problematiken in dieser Hinsicht könnten vermieden werden. Einzelne Betriebe würden eine kabelgebundene Variante in Erwägung ziehen, wenn im Kontext der Anwendung Bewegungsfreiheit nicht entscheidend ist. Ein Unternehmen führte als Beispiel Schlagzeuger auf, die bei Konzerten an fester Position sitzen. Für diese würde auch ein kabelgebundenes In-Ear-System ausreichen. Weitere Teilnehmer erläuterten, dass sie sich einen Einsatz bei generell kleineren Veranstaltungsformaten vorstellen könnten. Zudem äußerten ein paar der Befragten, dass speziell in ihrem Anwendungsfall bestimmte Anlagen auch auf drahtgebundener Basis betrieben werden könnten. Ein Teilnehmer hält es beispielsweise für möglich, kabelgebundene Intercom-Einheiten zu verwenden. Bei In-Ear-Systemen, die von Künstlern getragen werden, wäre aus seiner Perspektive ein Verzicht auf Funk keine Option. Dies ist ein Beispiel für einen Einzelfall. Für manche Betriebe mögen solche Varianten funktionieren, da die Lösung konform ist mit ihren Einsatzansprüchen – für andere hingegen ist dies nicht umsetzbar.

Die Umfrageteilnehmer haben auf der gegenüberliegenden Betrachtungsseite ebenfalls verschiedene Aspekte aufgezählt, warum eine Rückkehr zu kabelgebundenen Systemen nicht infrage kommt. Die häufigste Argumentation war, dass Kunden beziehungsweise Künstler einen Verzicht auf Funklösungen generell nicht akzeptieren würden. Kunden könnten in diesem Zusammenhang beispielsweise Unternehmen sein, die eine Konferenz veranstalten möchten und diesbezüglich einen Dienstleister für die technische Umsetzung beauftragen. Für den künstlerischen Bereich erklärten mehrere Betriebe, dass ein Verzicht auf Funk zu einer Einschränkung der szenischen Gestaltungsfreiheit führen würde. Laut den Befragten stellen kabelbasierte Lösungen in dieser Hinsicht keine Alternativoption dar.

Die zuvor aufgeführten Punkte wurden in einer übergeordneten Kategorie für Akzeptanz zusammengefasst. Die exakt gezählten Nennungen für die jeweils aufgestellten Kategorien können dem Anhang 7 entnommen werden.

Eine weitere Argumentation war von mehreren Teilnehmern, dass drahtgebundene Systeme nicht mehr dem heutigen Standard entsprechen. Die Erwartungshaltung speziell für Mikrofone, In-Ears und Intercom hat sich über die Zeit verändert, wie auch anhand der zuvor dargelegten Kategorie zu erkennen ist.

Auf diese bisher eher allgemein gehaltenen Ausführungen folgten konkretere Gründe. An vorderster Stelle wurde diesbezüglich von den Teilnehmern erläutert, dass Kabelverbindungen die Bewegungsfreiheit der Nutzer einschränken. Die Möglichkeit sich auf einer Bühne frei bewegen zu können, ist aus Sicht von mehreren Befragten essentiell und teils unersetzlich. Vor allem in Verbindung mit künstlerischen Aufführungen wurde darauf verwiesen, dass Darsteller ausreichend Bewegungsfreiraum für ihre Performance benötigen. Dies geht einher mit der zuvor erwähnten szenischen Gestaltungsfreiheit.

Darüber hinaus gaben unterschiedliche Teilnehmer an, dass der Einsatz von kabelgebundenen Systemen bedeutend aufwendiger sein kann. Für die zusätzlichen Kabelstrecken, die verlegt werden müssten, würde ein erhöhter materieller, logistischer und personeller Aufwand entstehen. De facto wären kabelgebundene Lösungen ab einer gewissen Größenordnung deutlich zeit- und kostenintensiver als Funkanwendungen. Maßgeblich wird dies beeinflusst von der erforderlichen Länge der Kabelwege, der Komplexität der Verlegung und der Anzahl der zu verkabelnden Geräte. Hinsichtlich des erweiterten Aufwands erklärte ein Befragter fortführend, dass schnelle Bühnenwechsel problematisch wären. Als Beispiel nannte er 50 Musiker, die bei einer live stattfindenden TV-Show die Bühne abwechselnd betreten. Ohne die Verfügbarkeit von Funksystemen wären demzufolge verlängerte beziehungsweise zusätzliche Umbaupausen erforderlich, um die Musiker erneut zu verkabeln. Für ein zeitlich eng getaktetes Showkonzept mit Live-Charakter wäre dies höchstwahrscheinlich nicht erwünscht. In einer ähnlichen Richtung argumentierte ein Mitarbeiter eines Theaters, dass sich die Umbauzeiten voraussichtlich ausdehnen würden. Dies wäre vor allem bei einem regelmäßigen Wechselbetrieb mit verschiedenen Produktionen problematisch.

Bisher für die Umbauten vorgesehene Zeitfenster könnten dann nicht mehr eingehalten werden. Hinsichtlich der Häufigkeit steht die beschriebene Kategorie des Aufwands hinter der vormals erläuterten Begründung der Bewegungsfreiheit.

An dritter Stelle wurde von den Befragten dargelegt, dass Kabelverbindungen ein mögliches Sicherheitsrisiko darstellen. Die Teilnehmer erwähnten für diese Kategorie primär, dass verlegte Kabel zu potenziellen Stolperstellen führen können. Bezogen auf die übergeordnete Frage sehen zwei Teilnehmer allgemein keine Möglichkeit bei szenischen Fahrten mit Kabelanbindungen zu arbeiten. Sollten im Umkehrschluss dennoch Kabel eingesetzt werden, wäre ein Sicherheitsrisiko gegeben. Die Ausführungen wurden daher der vorliegenden Kategorie zugeordnet. Wenn Schauspieler auf einer fahrenden Drehbühne oder auf einem Hubpodium zum Beispiel ein kabelgebundenes Mikrofon nutzen, können verschiedene Gefahrensituationen entstehen. Bei einer Rotation würde sich das Kabel aufwickeln, wenn es nicht entsprechend der Bewegungsrichtung geführt wird. In der Folge könnten Requisiten umgeworfen werden und Personenschäden auftreten. Bei einem Hubpodium besteht die Gefahr, dass das Kabel eingeklemmt wird. Darsteller könnten stürzen oder hinterhergezogen werden, bis sie in der Lage sind, das verkabelte Mikrofon loszulassen. Kabelverbindungen, die Schauspieler mit sich führen, können bei szenischen Fahrten Sicherheitsrisiken darstellen und sind daher in diesem Kontext nur bedingt geeignet. Für einen kabelgebundenen Einsatz wäre dementsprechend eine gesonderte Gefährdungsanalyse notwendig.

Die Befragten brachten des Weiteren ein, dass kabelgeführte Lösungen das optische Erscheinungsbild einer Bühne stören könnten. Dies erscheint vorstellbar, wenn mehrere Kabelstrecken beispielsweise über den Bühnenboden verlaufen und sich dabei überkreuzen und verknoten. Kabelverbindungen können somit nicht nur Gefahrensituationen hervorrufen, sondern auch das optische Gesamtbild beeinträchtigen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass kabelgebundene Lösungen für ausgewählte Einsatzgebiete infrage kommen können. Von einem gleichwertigen Ersatz für Funk kann allerdings keinesfalls gesprochen werden. Die meisten Betriebe können sich aus den genannten Gründen eine Rückkehr zur Kabelverbindung nicht vorstellen. Darüber hinaus gelten Funklösungen heutzutage in manchen Bereichen als alternativlos.

Kommunikationskanäle und Kommentare: Abschließend konnten die Teilnehmer noch angeben, über welchen Kommunikationsweg sie auf die Umfrage aufmerksam geworden sind. Die Übersicht kann diesbezüglich im Anhang 7 eingesehen werden.

Mehrere Betriebe nutzten zudem die Kommentarfeldfunktion am Ende, um ihre Perspektive zu einer möglichen 3. Digitalen Dividende zu erläutern. Aus den Kommentaren lässt sich deutlich herauslesen, dass die Befragten eine erneute Frequenzumstrukturierung ablehnen. Mehrere Teilnehmer betrachten ein solches Szenario zudem mit Unverständnis. In diesem Zuge wurde erwähnt, dass es nicht nachhaltig sei, regelmäßig Frequenzen neu zu verteilen und somit wiederholt funktionsfähige Funkanlagen zu entwerten. Viele Betriebe äußerten zudem, dass sie infolge einer Frequenzumwidmung hohe finanzielle Schäden befürchten würden. Zwei Dienstleister für Veranstaltungstechnik erklärten, dass bei ihnen potenziell Technikbestände im Wert von 100.000 € betroffen wären. Die Systeme könnten im schlimmsten Fall nicht mehr eingesetzt werden und es würde zu einer Entwertung der Sachanlagen kommen. Die Teilnehmer führten weiterhin auf, dass sie umfassend in neue Funksysteme investieren müssten, um den Ausfall der Bestandstechnik zu kompensieren.

Die gegebenen Kommentare ermöglichen einen tieferen Einblick in die Sichtweisen und Lagesituationen der Befragten. In diesem Zusammenhang wird deutlich, wie kritisch eine mögliche 3. Digitale Dividende bereits heute angesehen wird. Auszüge aus den Kommentaren sind im Anhang 7 zu finden. Die gesamte Übersicht ist im Auswertungsbogen einsehbar. Das Dokument befindet sich im digitalen Anhang der Ausarbeitung (Zugang über Anhang 11).

5.4 Einordnung und Zusammenfassung der Umfrageergebnisse

Die durchgeführte Umfrage hat verschiedenste Erkenntnisse erbracht und es wurden Indizien gesammelt, wie sich eine 3. Digitale Dividende auf den Veranstaltungsbereich potenziell auswirken könnte. Bevor eine zusammenfassende Erläuterung erfolgen kann, sollen die Resultate der Erhebung noch weiterführend eingeordnet werden. Dies ist erforderlich, um die abschließenden Ergebnisse im Zusammenhang mit den nötigen Hintergrundinformationen betrachten zu können.

Wie vormals schon beschrieben, konnten im Rahmen der Umfrage insgesamt 237 Datensätze gewonnen werden. Da es sich um eine Stichprobenerhebung handelte, repräsentieren die Teilnehmer nur einen Anteil der potenziell infrage kommenden Grundgesamtheit. Die meisten der Befragten (168) gaben an, dass sie als Dienstleister für Veranstaltungstechnik aktiv sind. In einer Studie zur Veranstaltungswirtschaft werden die erwähnten Dienstleister allgemein in die Gruppe „Technik, Bühnen- und Messebau“ eingeordnet. Laut der durchgeführten Zählung in der Studie soll die benannte Gruppe in Deutschland insgesamt 77.147 Unternehmen umfassen.¹²⁶ Mithilfe dieser grob bestimmten Grundgesamtheit und der Stichprobengröße können zusätzliche Kennwerte hergeleitet werden.

Auf Basis einer Formel nach Holland und Scharnbacher kann für die Veranstaltungstechnikfirmen weiter festgestellt werden, dass bei ihren Aussageergebnissen zu der funktechnischen Bedarfsentwicklung eine Fehlergrenze von zirka 4 % vorliegt.¹²⁷ Der Parameter gibt an, innerhalb welcher Prozentgrenze die Stichprobenergebnisse von den tatsächlichen Werten der Grundgesamtheit abweichen können. Dies bedeutet für den vorliegenden Fall, dass sich das Resultat der umgesetzten Teilerhebung um höchstens 4 Prozentpunkte von dem einer Vollerhebung unterscheiden würde.¹²⁸ In der Befragung haben 150 von den 168 Dienstleistern für Veranstaltungstechnik ($\approx 89\%$) ausgesagt, dass ihr Bedarf für funktechnische Lösungen bei Veranstaltungen in den vergangenen acht Jahren gestiegen ist. Im Hinblick auf die Grundgesamtheit müssten 85 bis 93 % aller Unternehmen diese Entwicklung bestätigen. Laut der Fehlergrenze entsteht hier ein Intervall von 8 %, in welchem sich die real zutreffende Angabe befinden sollte. In diesem Kontext ist allerdings noch zu beachten, dass für die Berechnung ein Konfidenzniveau von 90 % angesetzt wurde. Dieses sagt aus, mit welcher Sicherheit davon ausgegangen werden kann, dass die statistischen Werte aus der Stichprobe die reale Situation der Grundgesamtheit korrekt abbilden. Für das Fallbeispiel bedeutet dies, dass mit 90-prozentiger Wahrscheinlichkeit angenommen werden kann, dass bei 85 bis 93 % der Veranstaltungstechnikfirmen der Bedarf nach Funktechnik gestiegen sein wird.¹²⁹ Die Nebenrechnung für dieses Beispiel ist im Anhang 8 einsehbar.

¹²⁶ Vgl. IGWV et al. (2021): *Landkarte Veranstaltungswirtschaft*, S. 9 und S. 18

¹²⁷ Vgl. Holland und Scharnbacher (2004): *Grundlagen statistischer Wahrscheinlichkeiten*, S. 57 ff.

¹²⁸ Vgl. Statista GmbH (o. J.): <https://de.statista.com/>

¹²⁹ Vgl. Statista GmbH (o. J.): <https://de.statista.com/>

Die Erläuterung zeigt exemplarisch auf, dass die exakten Ergebnisse der Befragung nicht per se auf die Grundgesamtheit übertragen werden können. Dies hängt damit zusammen, dass die Umfrage als Teil- und nicht als Vollerhebung durchgeführt wurde. Somit resultiert die Möglichkeit einer gewissen statistischen Abweichung, die im Kontext der Ergebnisbewertung berücksichtigt werden muss. In einer fortführenden Untersuchung müssten alle Gruppen der Umfrageteilnehmer mit ihren Antworten individuell analysiert werden, um entsprechende Aussagen für eine jeweilige Allgemeingültigkeit treffen zu können. Der für die Ausarbeitung gesetzte Rahmen würde an dieser Stelle überstiegen werden. Wie zu Beginn erwähnt, war es im Zuge der Untersuchung nicht vorgesehen, eine weitergehende inferenzstatistische Analyse durchzuführen. Die Studie könnte perspektivisch in diese Richtung fortgesetzt werden. Die primäre Zielstellung für die Umfrage war, grundlegende Ansätze für die möglichen Folgen einer 3. Digitalen Dividende zu sammeln, um somit später eine vorzeitige Einschätzung für eine solche Entwicklung treffen zu können.

Weiterhin ist zu beachten, dass nicht alle Frageauswertungen auf der gleichen Stichprobengesamtheit basieren. Zum einen haben Teilnehmer vereinzelt Fragen übersprungen, zum anderen mussten bestimmte Antworten aus inhaltlichen Gründen ausgeschlossen werden. Aufgrund dieser beiden Faktoren sind die Datenmengen bei den Fragen teilweise unterschiedlich. Dies ist bei der Ergebnisbetrachtung zu berücksichtigen.

Rückblickend war auffällig, dass vor allem im Themengebiet Intercom inhaltliche Abweichungen aufgetreten sind. Teilnehmer gaben in einer Frage zum Beispiel an, Intercom-Systeme zwischen 470 und 694 MHz zu nutzen. In einem späteren Abschnitt erklärten sie, dass sie diesen Frequenzbereich für diese Anwendung nicht verwenden. Darüber hinaus führten einzelne Befragte auf, dass sie die erläuterte Frequenzumgebung nicht nutzen, jedoch würde sich ihr Intercom-Bestand zu 60 % und mehr in diesem Abschnitt befinden. Warum es zu diesen gegensätzlichen Aussagen gekommen ist, lässt sich an dieser Stelle nur mutmaßen. Im Themenfeld zu den Funkmikrofonen und den In-Ears kamen lediglich drei Datensätze mit Unregelmäßigkeiten vor. Aus Geringfügigkeitsgründen (3 von 237) wurden diese nicht herausgenommen. Bis auf diese Fälle waren die Angaben in diesem Themensegment schlüssig.

Da die gestellten Fragen für die beiden Anwendungsgruppen im Grundsatz identisch aufgebaut waren, lässt sich die Problematik auf den Bereich Intercom eingrenzen. Eine mögliche Ursache für die Abweichungen könnte darin begründet liegen, dass das Feld der nutzbaren Frequenzen für Intercom weitgefasst ist und sich daher teilweise unübersichtlich darstellt. Dies hängt damit zusammen, dass Kommunikationssysteme dieser Art in verschiedensten Einsatzgebieten vorkommen können. Es muss nicht unmittelbar ein Bezug zum Veranstaltungsbereich gegeben sein. Bidirektionaler Sprachfunk wird beispielsweise auch allgemein im industriellen Sektor eingesetzt. Eine exakte Trennschärfe ist somit nicht vorhanden. Bei Funkmikrofonen und In-Ears ist der Bezug zum Veranstaltungsbereich eindeutiger und die infrage kommenden Frequenzbereiche sind klarer definiert.

Darüber hinaus sind die Betriebe bei In-Ears und Funkmikrofonen hinsichtlich der Nutzbarkeit von Frequenzen vermutlich stärker sensibilisiert. Diese Annahme kann aus der Vorgeschichte der 1. und 2. Digitalen Dividende hergeleitet werden. Laut den Berichten waren damals primär Funkmikrofone und In-Ears betroffen. Die Betriebe mussten teilweise die Frequenzbänder wechseln und waren gezwungen sich damit auseinander zu setzen, welche Frequenzen zukunftsfähig sind und wie sie ihre Investitionen dahingehend planen (Vgl. Kapitel 4).

Die Angabe von expliziten Frequenzbereichen kann zudem herausfordernd sein, da diese spezielle Information im Betriebsalltag wahrscheinlich nicht direkt präsent sein wird. Solange die Funksysteme auf legaler Basis betrieben werden und störungsfrei funktionieren, ist die Frequenzinformation vermutlich in den meisten Fällen eher von sekundärem Interesse. Um die Umfrage genau beantworten zu können, mussten viele Teilnehmer wahrscheinlich erst einmal eine kurze Recherche durchführen.

Die vorangegangenen Erläuterungen stellen mögliche Ansätze dar, warum bei den Fragen zu den Intercom-Anlagen teilweise Abweichungen zustande gekommen sind. Im Fall einer erneuten Durchführung einer solchen Befragung könnte verstärkt mit Frageverknüpfungen und logischen Bedingungen gearbeitet werden, um gegensätzliche Angaben dieser Art möglichst zu verhindern. Für die vorliegende Umfrage wäre dies nicht ohne Weiteres möglich gewesen. Die Fragen hätten im Vorfeld grundlegend anders aufgestellt werden müssen.

An dieser Stelle zeigt sich gewissermaßen der Nachteil eines quantitativen Verfahrens, in welchem Strukturen vorgegeben sind. In einem offenen Interview wären diese Diskrepanzen aufgefallen und es hätten Rückfragen gestellt werden können. Ein eher offen gestaltetes Befragungsformat wäre weiterhin für die Untersuchung der Spektrumsengpässe hilfreich gewesen. Die Betriebe hätten fortführend befragt werden können, wann und auf welche Weise die Frequenzknappheiten bei ihnen aufgetreten sind.

Hinsichtlich der Ergebnisbetrachtung ist außerdem zu berücksichtigen, dass die Teilnehmer bei bestimmten Fragen ihre Einschätzungen und Meinungen abgeben sollten. Beispielsweise wurden bei den Fallszenarien einer 3. Digitalen Dividende keine genauen Rahmenbedingungen festgelegt, außer dass ausgewählte Frequenzbereiche nicht mehr zur Verfügung stehen. Die Betriebe sollten daraufhin beurteilen, ob sie ihre Veranstaltungen wie bisher noch umsetzen könnten. Die gegebenen Antworten basieren an dieser Stelle auf Einschätzungen. Bei der Bewertung der Umfrageresultate ist daher zu bedenken, ob die jeweilige Frage auf einen konkreten Sachstand abgezielt hat oder ob eine Meinungsposition ermittelt werden sollte.

Die Ausführungen bis hierhin sollten dazu dienen, eine Grundlage zu schaffen, um die durchgeführte Umfrage und die daraus hervorgegangenen Ergebnisse einordnen zu können. Bei den Resultaten ist stets zu berücksichtigen, wie diese jeweils zustande gekommen sind.

Auf Basis der zuvor beschriebenen Hintergrundinformationen können nun die Ergebnisse der Erhebung zusammenfassend betrachtet werden. Aus diesen geht hervor, dass drahtlose Anwendungen im Veranstaltungsbereich von wachsender Bedeutung sind. Bei einem Großteil der Betriebe ist in den letzten Jahren der Bedarf nach funktechnischen Lösungen gestiegen. Dies erscheint übereinstimmend mit den erfassten Frequenzzuteilungszahlen der Bundesnetzagentur. Bis zum Aufzeichnungsende 2019 wurde für den Bereich 470 bis 694 MHz ein Zuteilungswachstum für Funkmikrofone registriert. Laut der Schätzung von Goldmedia wird der Umfang der Geräte am Markt entsprechend gestiegen sein (Vgl. Anhang 3). Eine Abhängigkeitsbeziehung zwischen der Bedarfsentwicklung und dem Tätigkeitsbereich der Umfrageteilnehmer hat sich nicht herausgestellt.

Die Befragung hat weiterhin ergeben, dass der Frequenzbereich 470 bis 694 MHz für verschiedene Funkanwendungen eine bedeutende Nutzungsumgebung repräsentiert. In diesem Abschnitt werden Funkmikrofone und drahtlose In-Ear-Systeme eingesetzt. Weiterhin wird der Bereich teilweise für Intercom-Anlagen genutzt. Der Stellenwert des Frequenzbereichs wurde aus unterschiedlichen Sichtachsen untersucht. Je nach Art der Funkanwendung wurde die Relevanz von Nutzungsbereichen verglichen und die Inventarzusammensetzung der Betriebe überprüft. Anhand der Ergebnisse wird ersichtlich, dass der Abschnitt 470 bis 694 MHz den primären Betriebsbereich für Funkmikrofone und In-Ears darstellt. Laut den Teilnehmern werden Intercom-Systeme innerhalb dieser Frequenzen seltener genutzt und die technischen Bestände sind in diesem Bereich vergleichsweise kleiner aufgestellt. Die Aussage von Goldmedia et al., dass es sich um den wichtigsten Abschnitt für Funkmikrofone handeln soll, wird von den Umfrageergebnissen bestätigt.¹³⁰

Weiterhin sind im Grundsatz Parallelen zu der europaweiten APWPT-Studie zu erkennen. Laut deren Ergebnis verwenden 85 % der befragten PMSE-Nutzer das Frequenzband 470 bis 694 MHz. 90 % der Teilnehmer sagten aus, dass sie diesen Frequenzbereich bevorzugen. 35 % der Befragten betreiben Funktechnik zwischen 694 und 790 MHz. Es ist zu beachten, dass der zuletzt genannte Abschnitt in Europa teilweise für PMSE noch verwendet werden darf, obwohl die Frequenzen bereits an den Mobildienst vergeben wurden.¹³¹ Detailliertere Informationen zu der Studie liegen aktuell nicht vor. Die Zahlen stammen aus einer Pressemitteilung. In den Angaben vom APWPT-Verband wird nicht nach der Art der Funkanwendung unterschieden, daher ist eine Vergleichbarkeit nur bedingt gegeben. Dennoch zeigt das Ergebnis, dass die Frequenzen zwischen 470 und 694 MHz ebenso in Europa eine primäre Nutzungsumgebung für PMSE darstellen. Die Zahlen sind zum Teil vergleichbar mit den Umfrageresultaten für die Funkmikrofone und In-Ear-Anlagen. Der benannte Frequenzraum repräsentiert auch hier die erste Nutzungsoption. Bei Intercom hingegen steht der Abschnitt in der Einsatzpriorität an vierter Stelle. Das Umfrageergebnis ist in dieser Hinsicht abweichend von der APWPT-Studie.

¹³⁰ Vgl. Goldmedia et al. (2021): *Perspektiven zur Nutzung des UHF-Bands 470-694 MHz ab 2030*, S. 68

¹³¹ Vgl. APWPT (2021): <https://apwpt.org/>

Die durchgeführte Erhebung hat des Weiteren aufgezeigt, dass fast 40 % der befragten Betriebe bereits von Spektrumsengpässen betroffen waren und in der Folge den Umfang ihres Funktechnikensatzes bei Veranstaltungen reduzieren mussten. Die Problematik ist bei den Betrieben somit durchaus präsent und es handelt sich um keine Einzelvorkommnisse. Wie bereits erläutert, wäre fortsetzend zu untersuchen, zu welchem Zeitpunkt und in welchem Zusammenhang die Engpässe vorgekommen sind. Dies könnte in Form einer gesonderten Befragung realisiert werden.

Fortführend wurden zwei Fallszenarien einer 3. Digitalen Dividende konzipiert, die eine Frequenzverknappung für PMSE hervorrufen würden. Im ersten Fall wurde angenommen, dass der Abschnitt 614 bis 694 MHz anderweitig vergeben wird. Im zweiten Szenario wurde ein Verlust der gesamten Frequenzumgebung 470 bis 694 MHz für PMSE betrachtet. In beiden Fällen äußerten mehrere Betriebe, dass bei ihnen Veranstaltungen absehbar nicht mehr umsetzbar wären. Das zweite Fallbeispiel offenbarte sich in dieser Hinsicht erwartungsgemäß als kritischer. Fast 50 % der Betriebe gaben für das erste Szenario an, dass sie die Realisierbarkeit von Veranstaltungen als gefährdet ansehen. Für den zweiten Fall erklärten dies nahezu 76 % der Befragten. Die Auswertung der weiterleitenden Teilfragen verdeutlichte jeweils, dass alle Veranstaltungsarten potenziell betroffen sein könnten. Es zeigte sich eine verstärkte Tendenz in Richtung der Kulturveranstaltungen. Dies kann allerdings mit der Struktur der Teilnehmergruppen zusammenhängen. Nach den Dienstleistern für Veranstaltungstechnik folgen die Theater als zweitstärkste Gruppe in der Befragung. Somit ist es möglich, dass infolge der Zusammensetzung der Teilnehmer die Kategorie der Kulturveranstaltungen beeinflusst wurde. Ob bestimmte Veranstaltungsarten mehr betroffen wären als andere, müsste demnach mit einem weitergehenden Verfahren analysiert werden. Die Erläuterungen der Befragten haben zusätzlich aufgezeigt, dass sich Frequenzeinschränkungen primär auf Veranstaltungen auswirken würden, bei denen eine hohe Funknutzungsichte vorliegt. Ein erhöhtes Funkaufkommen kann auftreten, wenn bei einer Veranstaltung zahlreiche Funksysteme parallel betrieben werden. Ein weiterer Einflussfaktor in dieser Hinsicht ist die lokale Frequenzumgebung. Vor allem in urbanen Gebieten kann diese von vornherein stärker ausgelastet sein und es wird somit schwieriger freie Frequenzkapazitäten zu finden.

Abschließend hat die Umfrage ergeben, dass kabelgebundene Lösungen aus Sicht der Betriebe keine gleichwertige Alternative zu Funk repräsentieren. In bestimmten Einsatzumgebungen sind kabelbasierte Varianten vorstellbar. Dennoch bietet Funk gewisse Vorteile, die nicht ersetzbar sind. Die Umfrageteilnehmer haben hier an erster Stelle die Bewegungsfreiheit genannt, die mithilfe von Funk ermöglicht wird. Vor allem im Kontext der szenischen Gestaltungsfreiheit ist Mobilität für die Künstler essentiell und lässt sich nicht ersetzen. Weiterhin ist die Einrichtung von Funksystemen tendenziell weniger aufwendig und Umbauphasen können somit verkürzt werden. Zudem werden zusätzliche Sicherheitsrisiken vermieden, die infolge eines Kabeleinsatzes auftreten können.

Zusammenfassend zeigen die Umfrageergebnisse, dass eine 3. Digitale Dividende und eine damit einhergehende Einschränkung des Frequenzbereichs 470 bis 694 MHz sich signifikant auf die Veranstaltungsbranche auswirken würde. Zahlreiche Betriebe könnten bestimmte Funkanlagen nicht mehr einsetzen. Vorrangig betroffen wären Funkmikrofone und In-Ear-Systeme. Weiterhin könnten Intercom-Anlagen vereinzelt nicht mehr betrieben werden. Die Funksysteme wären somit vorzeitig entwertet und für die Betriebe würde ein teilweise erheblicher Sachschaden resultieren. Darüber hinaus entsteht die unmittelbare Problematik, wie die funktechnischen Anforderungen für Veranstaltungen zukünftig erfüllt werden könnten. Die Betriebe wären zeitnah gezwungen, die entstandene Lücke zu kompensieren und in neue Funkanlagen zu investieren. Eine Rückkehr zu kabelgebundenen Systemen stellt in diesem Kontext keine veritable Lösung dar. Sollte das für PMSE verfügbare Frequenzspektrum dauerhaft eingekürzt werden, wäre weiterhin zu erwarten, dass Spektrumsengpässe bei Veranstaltungen häufiger auftreten werden. Bereits heute sind diese existent. Auf der anderen Seite zeigt die Umfrage eine weiter wachsende Nachfrage nach funktechnischen Lösungen im Veranstaltungsbereich. Wenn die Entwicklung sich in dieser Art fortsetzt und eine 3. Digitale Dividende zustande kommen sollte, wäre die funktechnische Umsetzbarkeit von diversen Veranstaltungen nachhaltig gefährdet. Maßgeblich für den Auswirkungsgrad ist der Umfang einer 3. Digitalen Dividende. In jedem Fall hätte eine solche Entwicklung nachteilige Folgen für die Betriebe der Veranstaltungsbranche.

6 Lösungskonzepte für PMSE nach einer 3. Digitalen Dividende

Eine 3. Digitale Dividende könnte die bestehende Frequenzlandschaft für PMSE tiefgreifend verändern. Vielzählige Betriebe wären betroffen und müssten sich an die neue Ausgangssituation anpassen, um auch weiterhin die Nachfrage für Funktechnik bei Veranstaltungen abdecken zu können. Das vorangegangene Kapitel hat diese Aspekte verdeutlicht. Im Hinblick auf die beschriebenen Auswirkungen sollen in dem vorliegenden Abschnitt nun mögliche Lösungskonzepte untersucht werden. Zum einen sollen Gegenmaßnahmen betrachtet werden, die von politischer Seite wahrscheinlich zum Einsatz kommen würden, um die Folgen einer erneuten Dividende für die Veranstaltungsbranche abzumildern. Zum anderen ist es vorgesehen perspektivische Betriebsszenarien, Technologien sowie Strategien für PMSE zu erörtern. Jene könnten sich in Anbetracht einer möglichen Frequenzverknappung als richtungsweisend darstellen, um auch in Zukunft Funktechnik im größeren Maßstab bei Veranstaltungen einsetzen zu können.

6.1 Schadensersatzleistungen und alternative Frequenzbereiche

Im Fall der 1. sowie der 2. Digitalen Dividende bestand jeweils die Möglichkeit Schadensersatz zu beantragen. Weiterhin wurden zusätzliche Frequenzbereiche für PMSE freigegeben, um den Verlust der bestehenden Abschnitte zu kompensieren (siehe Kapitel 4.2 und 4.3). Hinsichtlich einer 3. Digitalen Dividende wäre zu erwarten, dass Gegenmaßnahmen dieser Art wieder zur Anwendung kommen.

Nach aktuellem Stand sind die Frequenzen zwischen 470 und 698 MHz für Funkmikrofone und In-Ear-Anlagen allgemeinzuteilt. Die Zuweisung ist befristet und gilt noch bis Ende 2030.¹³² Für Intercom-Systeme ist im Abschnitt 470 bis 694 MHz eine Einzelzuteilung nötig.¹³³ Die Befristung wird individuell in der Frequenzurkunde festgelegt. Das Jahr 2030 aus der Allgemeinzuteilung der Funkmikrofone könnte ein zeitlicher Richtwert für das Inkrafttreten einer 3. Digitalen Dividende sein. Mit Ablauf der Zuteilung könnte eine neue Frequenzaufteilung wirksam werden. Sollte Ende 2023 auf der WRC eine Vergabe in dieser Richtung beschlossen werden, würde demzufolge eine Übergangsfrist von 7 Jahren zustande kommen. Wenn neu zugelassene Nutzergruppen vorzeitig mit dem Ausbau der Infrastruktur

¹³² Vgl. BNetzA, Vfg. 34/2020, geändert durch Vfg. 99/2022, S. 1

¹³³ Vgl. VVnömL, S. 130 und S. 141

beginnen dürfen, könnten schon vor dem Fristablauf Einschränkungen für PMSE auftreten. Bei der 1. und 2. Digitalen Dividende war dies jeweils der Fall. Für Funkssysteme wird üblicherweise, wie aus Kapitel 4.2 bekannt, eine Lebensdauer von 10 Jahren angesetzt. Zu berücksichtigen ist, dass die Anlagen häufig auch über die 10 Jahre hinaus funktionieren und entsprechend genutzt werden. In Anbetracht einer Übergangszeit von 7 Jahren oder kürzer würde somit definitiv ein Schaden für mehrere Anwender resultieren und Ausgleichszahlungen wären demzufolge vonnöten. Betroffen wären vor allem Betriebe, die erst vor Kurzem investiert haben.

Sollten Frequenzen aus dem Bereich 470 bis 694 MHz exklusiv an andere Bedarfsträger vergeben werden, müssten betroffene PMSE-Anwender zwangsläufig in andere Frequenzabschnitte wechseln. Diesbezüglich existieren verschiedene Nutzungsumgebungen, die gegebenenfalls eine Alternative darstellen könnten. Darüber hinaus würde die Bundesnetzagentur bei einer erneuten Dividende wahrscheinlich weitere Frequenzen an PMSE zuteilen, um den entstandenen Verlust möglichst auszugleichen. Bisher wurden in der Ausarbeitung Frequenzbereiche meist quantitativ beschrieben. Dennoch existieren mehrere qualitative Elemente, die bei einer Bewertung von Ersatzfrequenzen für PMSE zu bedenken sind. Nachfolgend sollen unterschiedliche Aspekte dieser Art betrachtet werden.

Der Frequenzabschnitt 470 bis 694 MHz bietet vorteilhafte Ausbreitungseigenschaften, die Funkübertragung kann energieeffizient realisiert werden und es liegen nur geringe Körperabsorptionseffekte vor.¹³⁴ Der Frequenzbereich stellt eine umfangreiche und weitestgehend zusammenhängende Nutzungsumgebung für PMSE dar. Somit sind größere Schaltbandbreiten für Funkssysteme realisierbar und es bestehen mehr Optionen bei der Frequenzwahl. Mithilfe dieser Flexibilität ist es eher möglich, belasteten Frequenzen auszuweichen und in freie Abschnitte zu wechseln. Des Weiteren ist die Nutzbarkeit des Frequenzraums weitreichend harmonisiert. In allen Mitgliedsstaaten der Europäischen Union können diese Frequenzen für PMSE verwendet werden.¹³⁵ Vor allem für Tourneeproduktionen ist diese Harmonisierung von Vorteil (Vgl. Kapitel 2).

¹³⁴ Vgl. Goldmedia et al. (2021): *Perspektiven zur Nutzung des UHF-Bands 470-694 MHz ab 2030*, S. 68

¹³⁵ Vgl. LS telcom und VVA (2022):

Study on the use of the sub-700 MHz band (470-694 MHz), S. 195 ff.

Die aufgezählten Eigenschaften und Merkmale zeichnen die genannte Frequenzumgebung aus und verdeutlichen nochmals, warum dieser Bereich für PMSE eine essentielle Betriebsgrundlage darstellt. Je nach Frequenzabschnitt sind die Bedingungen jeweils anders zusammengesetzt und müssen daher individuell betrachtet werden. Beispielsweise sind im VHF-Bereich von 174 bis 230 MHz gute Ausbreitungseigenschaften gegeben, allerdings kann der Abschnitt durch elektromagnetische Störungen teilweise belastet sein. Die Störungen können durch unzureichend abgeschirmte Mikroprozessoren entstehen. Interferenzen dieser Art werden im Veranstaltungsbereich zum Beispiel von LED-Wänden oder Großbildschirmen hervorgerufen.¹³⁶ Bei geringeren Frequenzen (z. B. 30 bis 40 MHz) besteht zudem die Problematik, dass die Antennen größer ausgelegt werden müssen. Große Antennen sind für körpergetragene Funkeinheiten von Nachteil.¹³⁷ Das Funksystem wäre weniger kompakt aufgebaut und könnte für den Nutzer störend sein.

Aus den Kapiteln 4.2 und 4.3 ist bekannt, dass weiterhin die LTE-Duplexlücken für PMSE nutzbar sind. Diese liegen jeweils im 700- und 800-MHz-Band. Aufgrund der unmittelbaren Nähe zu den Frequenzbereichen des Mobilfunks kann das Auftreten von Interferenzen hier nicht ausgeschlossen werden. Sollten einzelne Mobilfunkgeräte nicht konform arbeiten und Außerbandaussendungen erzeugen, können PMSE-Anlagen in den Duplexbereichen gestört werden. Interferenzen können ebenfalls vorkommen, wenn sendende LTE-Endgeräte und PMSE-Empfänger sich direkt nebeneinander befinden.¹³⁸ Bei der Nutzung von Duplexlücken sind diese möglichen Einschränkungen zu berücksichtigen.

Ein weiterer zu beachtender Aspekt ist, dass die Ausbreitungseigenschaften sich mit zunehmender Frequenz schrittweise verschlechtern. Die elektromagnetischen Wellen werden in ihrem Ausbreitungsweg häufiger reflektiert. Wände und Metalloberflächen können eher Hindernisse darstellen. Es treten verstärkt Körperabsorptionseffekte auf. Ab einer Größenordnung von zirka 1,7 GHz zeigen sich

¹³⁶ Vgl. Goldmedia et al. (2021): *Perspektiven zur Nutzung des UHF-Bands 470-694 MHz ab 2030*, S. 72

¹³⁷ Vgl. Federal Republic of Germany (2020): *Proposal regarding a working document towards a preliminary draft new Report ITU-R M. [AUDIO PMSE USAGE] - Current situation and future assumptions regarding regional and global usage of Audio SAB/SAP, ENG, and PMSE in various frequency bands*, S. 10

¹³⁸ Vgl. Goldmedia et al. (2021): *Perspektiven zur Nutzung des UHF-Bands 470-694 MHz ab 2030*, S. 72 f.

diese Auswirkungen deutlich.¹³⁹ In höheren Frequenzlagen sind die Einsatzmöglichkeiten für PMSE somit limitiert. Die Reichweite der Funkübertragung ist zunehmend eingeschränkt.

Für manche Frequenzbereiche können zudem gesonderte Restriktionen vorliegen. Der Abschnitt 1.350 bis 1.400 MHz ist zum Beispiel für Funkmikrofone und In-Ear-Anlagen nutzbar, allerdings dürfen die Systeme nur in Innenräumen eingesetzt werden.¹⁴⁰ Der Bereich wäre für eine Festinstallation in einem Theaterhaus eine mögliche Option. Für einen Dienstleister für Veranstaltungstechnik wäre eine Investition in einen solchen Frequenzbereich wahrscheinlich nicht lohnenswert. Wenn das Unternehmen abwechselnd Veranstaltungen im Innen- und Außenbereich betreut, müssten für den Outdoor-Einsatz weitere Funkssysteme mit separaten Frequenzen beschafft werden. Der Frequenzbereich kommt daher eher nicht für Betriebe infrage, bei welchen solche Anforderungen erfüllt werden müssen. Neben dieser Einschränkung ist für die gleiche Frequenzumgebung zu beachten, dass hier militärische Funkanwendungen mit einem Primärstatus vorkommen. Der PMSE-Betrieb ist hingegen auf sekundärer Ebene.¹⁴¹ Entsprechend der Rangordnung muss der sekundäre Betreiber die Nutzfrequenzen des Primäranwenders freihalten. Auch diese spezielle Bedingung ist zu berücksichtigen.

Die Aufzählungen demonstrieren beispielhaft, dass Frequenzbereiche in mehrerer Ebenen zu betrachten sind. Eine rein quantitative Bewertung ist nicht ausreichend. Darüber hinaus müssen physikalische Bedingungen, potenzielle Störquellen, Nutzerhierarchien sowie das Maß der internationalen Harmonisierung einbezogen werden. Es wird in diesem Kontext abermals ersichtlich, warum der Frequenzabschnitt 470 bis 694 MHz derart bedeutend für PMSE-Anwendungen ist. In sämtlichen der genannten Kategorien bestehen hier tendenziell vorteilhafte Bedingungen für PMSE. Die erläuterte Frequenzumgebung ist hinsichtlich ihrer Komposition aus Vorteilen einzigartig. Andere Frequenzbereiche sind teilweise mit diversen Nachteilen behaftet. Im Fall einer 3. Digitalen Dividende können diese

¹³⁹ Vgl. Federal Republic of Germany (2020): *Proposal regarding a working document towards a preliminary draft new Report ITU-R M. [AUDIO PMSE USAGE] - Current situation and future assumptions regarding regional and global usage of Audio SAB/SAP, ENG, and PMSE in various frequency bands*, S. 10 f.

¹⁴⁰ Vgl. BNetzA, Vfg. 6/2022

¹⁴¹ Vgl. FreqP, S. 7 und S. 362 ff. sowie BNetzA, Vfg. 6/2022

anderen Abschnitte Alternativen darstellen, allerdings sind diese nicht per se als gleichwertiger Ersatz anzusehen. Derselbe Betrachtungswinkel gilt, wenn weitere Frequenzen an PMSE als Ausgleich zugeteilt werden sollten. Selbst wenn ein Verlust quantitativ exakt ersetzt wird, ist dennoch die qualitative Seite zu bedenken. Die Betrachtung der physikalischen Ebene hat zudem verdeutlicht, dass die Spannweite für mögliche Ersatzfrequenzen begrenzt ist. Sollten diese auf einem zu niedrigen Niveau liegen, werden die Antennen ab einem gewissen Punkt zu groß. In höheren Frequenzlagen wird die Körperabsorption immer stärker und die Reichweiten sind deutlich limitiert. Der aktuelle Frequenzplan zeigt, dass das Nutzeraufkommen zwischen 100 und 1.800 MHz bereits sehr dicht gestaffelt ist. Ungenutzte, freie Frequenzumgebungen, die direkt für PMSE infrage kommen könnten, existieren in der Form nicht.¹⁴² Dies bedeutet, wenn Ersatzfrequenzen in diesem Feld geschaffen werden sollen, müssten andere Bestandsnutzer ihre Frequenzbereiche verlassen, sodass Kapazitäten frei werden. Eventuell könnten Frequenzräume auch mit anderen Funkanwendern zusammen genutzt werden. Dies würde allerdings die lokale Funkdichte noch weiter erhöhen. Im Einzelfall wäre zu prüfen, ob dies überhaupt umsetzbar ist. Es wird deutlich, dass für PMSE keine unmittelbaren Ausweichoptionen vorliegen. Ersatzfrequenzen müssten erst in einem wahrscheinlich aufwendigen Umstellungsverfahren geschaffen werden. Es wäre somit sehr komplex, einen Frequenzausgleich für PMSE herzustellen, ohne dass in quantitativer oder qualitativer Hinsicht Nachteile entstehen würden. Je weitreichender eine 3. Digitale Dividende ausfallen sollte, desto geringer ist für PMSE die Wahrscheinlichkeit, dass die verlorenen Frequenzen gleichwertig ersetzt werden.

Abseits der etablierten Frequenzbereiche kann PMSE in Sonderfällen auch temporär in anderen Abschnitten betrieben werden. Dies ist möglich mit einer Kurzzeitzuteilung. Diese Sondergenehmigung kann bei der Bundesnetzagentur extra für Veranstaltungen beantragt werden (Vgl. Kapitel 3). Eine Zusatzkapazität dieser Art kann dabei helfen, lokal angespannte Frequenzsituationen zu entlasten. Allerdings ist zu beachten, dass die Verfügbarkeit von zusätzlichen Frequenzen teilweise begrenzt sein wird, da die Bereiche ursprünglich für andere Anwendungen vorgesehen sind. Weiterhin werden Funkanlagen benötigt, die auf Basis dieser

¹⁴² Vgl. FreqP, S. 191 – 394

Frequenzen arbeiten können. Die Beschaffung von solchen speziellen Anlagen kann sich als aufwendig erweisen. Ein Beispiel einer vergangenen amerikanischen Großveranstaltung verdeutlicht dies und zeigt praxisnah, wie eine 3. Digitale Dividende sich auswirken könnte:

Laut einem Bericht eines Mitarbeiters der Firma Shure musste für den Superbowl 2022 eine Sonderlizenz beantragt werden, um weitere Frequenzen innerhalb der 600-MHz-Umgebung nutzen zu können. Ohne diese zusätzliche Frequenzkapazität wäre die Veranstaltung nicht umsetzbar gewesen. Die Lizenz wurde von der amerikanischen Regulierungsbehörde FCC erteilt. In der Folge war die nächste Herausforderung, dass nur wenige Funksysteme für den 600-MHz-Bereich lokal verfügbar sein sollten. Dies hängt mit der rechtlichen Situation zusammen. In den USA dürfen diese Frequenzen im Regelfall nicht legal für PMSE verwendet werden. Für den Superbowl mussten daher extra Funkanlagen importiert werden.¹⁴³ In diesem Zusammenhang ist zu erläutern, dass das 600-MHz-Band in den USA vor ein paar Jahren umstrukturiert wurde. Den TV-Stationen wurde angeboten, dass sie Frequenznutzungsrechte abgeben können und dafür eine Ausgleichszahlung erhalten.¹⁴⁴ Auf diese Weise konnten freie Spektrumskapazitäten für den benannten Abschnitt gewonnen werden. Diese wurden später an diverse Mobilfunkanbieter und an Unternehmen aus dem Bereich der Kommunikationstechnik versteigert.¹⁴⁵ Infolge der Umstrukturierung stehen für PMSE nun weniger Frequenzen in dieser Umgebung zur Verfügung. Für die Nutzung sind ungefähr 20 MHz verblieben.¹⁴⁶

In den USA soll Frequenzknappheit bei Veranstaltungen nicht nur in Einzelfällen vorkommen. Laut einem Mitarbeiter der Firma Sennheiser müssen inzwischen für nahezu alle professionellen Sportveranstaltungen Sonderfrequenzen beantragt werden. Ausnahmegenehmigungen, die eine temporäre Nutzung von bestimmten Frequenzen ermöglichen, sollen fast schon routinemäßig zum Einsatz kommen.¹⁴⁷

¹⁴³ Vgl. LS telcom und VVA (2022):

Study on the use of the sub-700 MHz band (470-694 MHz), S. 268

¹⁴⁴ Vgl. FCC (2014): *Expanding the Economic and Innovation Opportunities of Spectrum Through Incentive Auctions*, S. 3 f.

¹⁴⁵ Vgl. FCC (2017): *Incentive Auction Closing and Channel Reassignment Public Notice*, S. 8 f.

Vgl. FCC (2017): *FCC Incentive Auction - Forward Auction, Auction 1002, Bidder Summary*

¹⁴⁶ Vgl. APWPT (2022): *Frequencies for wireless microphones*, S. 55 f.

¹⁴⁷ Vgl. Sennheiser (o. J.): <https://de-de.sennheiser.com/>

Das Fallbeispiel Superbowl hat aufgezeigt, dass es aufwendig sein kann, im Rahmen einer Kurzzeituteilung entsprechend kompatible Funksysteme zu beschaffen. Die Funkanlagen müssen außerhalb der konformen Frequenzbereiche senden und empfangen können. Da der Betrieb solcher Systeme im Regelfall illegal ist, wird die Verfügbarkeit am Markt dementsprechend begrenzt sein. Die Anlagen müssen eventuell aus entfernten Regionen organisiert werden, in denen diese speziellen Betriebsfrequenzen zugelassen sind. Eine Kurzzeituteilung kann zwar zur Entlastung der Frequenzsituation beitragen, allerdings muss eventuell mit einem Mehraufwand bei der Beschaffung der Funkanlagen gerechnet werden.

Darüber hinaus zeigen die Ausführungen zum Superbowl und die Erklärung des Mitarbeiters von Sennheiser, wie eine 3. Digitale Dividende sich hier in Deutschland auswirken könnte. Die Frequenzknappheit für PMSE hat in den USA einen kritischen Punkt erreicht. Kurzzeituteilungen sollen regelmäßig nötig sein, um professionelle Sportveranstaltungen realisieren zu können. Eine Vergabe der Frequenzen im 600-MHz-Bereich stellt ein lokales Szenario einer 3. Digitalen Dividende dar und wurde auch in der Umfrage analysiert. In den USA wurde der Abschnitt bereits umgewidmet und steht nicht mehr im vollen Umfang für PMSE zur Verfügung. Die beschriebene Frequenzproblematik in den USA gewährt einen groben Ausblick darauf, welche Folgen für die deutsche Veranstaltungsbranche entstehen könnten, sollte der vorhandene Frequenzraum für PMSE weiter eingegrenzt werden.

6.2 Erörterung von technischen Entwicklungen im Bereich PMSE

Im Hinblick auf die Auswirkungen einer möglichen 3. Digitalen Dividende wird es von Bedeutung sein, wie sich die Funktechnik bis dahin weiterentwickelt. Speziell die Verbesserung der Spektrumseffizienz kann sich als entscheidend erweisen. Nachfolgend soll der Entwicklungsstand von verschiedenen technischen Innovationen erläutert werden.

Intermodulationsarme und digitale PMSE-Technik: In den vergangenen Jahren war zu beobachten, dass die Funktechnik zunehmend digitalisiert wird. Speziell bei den Funkmikrofonen werden analoge Systeme schrittweise von digitalen abgelöst. Vorteilhaft an der neuen Produktgeneration ist, dass viele Anlagen inzwischen weitestgehend intermodulationsfrei arbeiten können. Intermodulationen sind unerwünschte Störprodukte, die das Frequenzspektrum belasten können. Sie treten

auf, wenn mehrere Sender dicht nebeneinander betrieben werden. Die Systeme können sich aufgrund der räumlichen Nähe wechselseitig beeinflussen. Die elektromagnetischen Felder der Sendeantennen wirken auf die Endstufen ein. Dabei werden neue Frequenzen generiert, die das Spektrum stören können. Dieser Prozess wird als Intermodulation bezeichnet. Bei Bewegungsvorgängen zum Beispiel auf einer Bühne schwanken die Feldstärken stetig und Intermodulationen lassen sich daher nicht immer vermeiden.¹⁴⁸ Die Störprodukte treten in unterschiedlichen Ordnungen auf und beeinflussen diverse Frequenzbereiche. Auch das umliegende Frequenzspektrum der intermodulierenden Funksender ist betroffen. Speziell Störprodukte der dritten, fünften und siebenten Ordnung schränken die nähere Frequenzumgebung ein. Wenn die Sendefrequenzen bekannt sind, können die Werte der möglichen Störfrequenzen im Vorfeld berechnet werden.¹⁴⁹ Da das Auftreten von Intermodulationen nicht immer ausgeschlossen werden kann, müssen die potenziell beeinträchtigten Bereiche bei der Frequenzkoordinierung freigelassen werden. Weitere Funkssysteme müssen außerhalb der kalkulierten Intermodulationsprodukte platziert werden. Somit ist nur ein gewisser Anteil des theoretisch verfügbaren Frequenzspektrums effektiv nutzbar.

Inzwischen existieren Funkssysteme, in denen die Generierung von Intermodulationen unterdrückt wird. Technisch wird dies realisiert mithilfe von Zirkulatoren beziehungsweise Isolatoren. Es handelt sich um passive Bauelemente, die verhindern können, dass hochfrequente Signale rückwärtig in die Endstufe eines Senders eintreten. Bevor das Signal eine Intermodulation hervorrufen kann, wird es mithilfe eines Widerstandes terminiert (Vgl. Anhang 9). Auf diese Art lässt sich die beschriebene Intermodulationsproblematik eindämmen und die Sendefrequenzen der Funkssysteme können dichter zueinander angeordnet werden. Dies ermöglicht eine deutlich effizientere Nutzung des Frequenzspektrums.¹⁵⁰ Zirkulatoren und Isolatoren können sowohl in analogen als auch in digitalen Funksystemen verbaut sein. In dieser Hinsicht soll keine Abhängigkeit bestehen. Bei digitalen Anlagen sollen diese Bauteile generell eingesetzt werden. Im Analogbereich ist dies nicht immer der Fall. Es kommt auf die Kostenkategorie des Systems an.¹⁵¹

¹⁴⁸ Vgl. Arasin (2023): *Einrichtungen für drahtlose Mikrofone*, S. 205

¹⁴⁹ Vgl. Grzesinski (2020): *Smyrek Tontechnik*, S. 221 f.

¹⁵⁰ Vgl. Fischer und Stratix (2017): *Digitisation of wireless microphones*, S. 53

¹⁵¹ Vgl. ebenda, S. 2

Laut Fischer und der Stratix B.V. soll sich bei einem Vergleich von analogen und digitalen Funkmikrofonen kein wesentlicher Unterschied in der Spektrumseffizienz zeigen.¹⁵² Analoge und digitale Systeme basieren auf einer ähnlichen Spektrumsmaske.¹⁵³ Die Maske gibt Grenzwerte für Emissionen vor, die bei einer Übertragung einzuhalten sind. Die Angaben sind definiert für den vorgesehenen Frequenzbereich der Anwendung und für Außerbandsendungen.¹⁵⁴ Für analoge und digitale Anlagen umfasst der für die Nutzung deklarierte Bereich jeweils eine Bandbreite von 200 kHz.¹⁵⁵ Die Digitalisierung hat somit in dieser Hinsicht zu keiner Einsparung geführt. Im Zusammenhang mit den Erläuterungen zu den Zirkulatoren ist daher festzuhalten, dass digitale Systeme im Vergleich zu analogen nicht per se als spektrumseffizienter zu bewerten sind.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die weitere Begrenzung von Intermodulationen bedeutend sein wird, um das vorhandene Frequenzspektrum noch effektiver ausnutzen zu können. Lösungen für diese Problematik existieren bereits. Diese werden umso relevanter sein, sollten die bestehenden Frequenzressourcen weiter eingegrenzt werden. Zudem ist ersichtlich geworden, dass die reine Digitalisierung von Funkmikrofonen keine essentielle Verbesserung der Spektrumseffizienz hervorgebracht hat.

PMSE-Technik auf Basis des 5G-Standards: In der Forschung wird aktuell untersucht, ob PMSE auf Grundlage des Mobilfunkstandards 5G betrieben werden könnte. Erste Veröffentlichungen und Ergebnisse existieren bereits. Ein Vorteil ist, dass 5G-Anwendungen in weitestgehend exklusiv zugeteilten Frequenzbereichen betrieben werden. Bei einer alleinigen Verwendung eines Frequenzbandes können keine Überschneidungen mit anderen gleichrangigen Frequenznutzern auftreten. Mögliche Interferenzen kommen in dieser Hinsicht daher nicht vor. Davon würde PMSE entsprechend auch profitieren. Im Fall einer gemeinschaftlichen 5G-Nutzung wäre es zudem technisch möglich, PMSE zu priorisieren. Selbst wenn anderweitiger Datenverkehr vorliegen sollte, könnte eine gewisse Dienstgüte (Quality of Service) für PMSE garantiert werden.¹⁵⁶ Weite Teile des für 5G vorgesehenen Frequenz-

¹⁵² Vgl. Fischer und Stratix (2017): *Digitisation of wireless microphones*, S. 69

¹⁵³ Vgl. ETSI EN 300 422-1, V2.2.1, S. 19 f.

¹⁵⁴ Vgl. ITU-R (2013): *Spectrum limit masks for digital terrestrial television broadcasting*, S. 2

¹⁵⁵ Vgl. ETSI (2021): *ETSI TR 102 546, V2.1.1*, S. 16

¹⁵⁶ Vgl. Sennheiser und Nokia (2020): *Low Latency 5G for Professional Audio Transmission*, S. 7

spektrums werden von öffentlichen Netzbetreibern verwaltet. Diese besitzen entsprechende Nutzungsrechte für die Frequenzen. Die Betreiber wären in der Lage, eine Priorisierung und eine bestimmte Dienstgüte für PMSE nach Absprache zu gewährleisten. Somit wäre ein zuverlässiger Betrieb von PMSE innerhalb eines öffentlichen 5G-Netzes theoretisch möglich. Ein weiteres Geschäftsmodell für 5G könnte die zeitweilige Übertragung von Frequenznutzungsrechten sein. PMSE-Anwender könnten Frequenzkapazitäten bei den Netzbetreibern leasen und auf dieser Grundlage ein eigenes nichtöffentliches 5G-Netz aufbauen. Dies wäre eventuell eine Option für Anwendungen in Produktionsstudios oder in Theatern.¹⁵⁷

Ein Einsatz von PMSE auf Basis von 5G könnte somit diverse Vorteile bieten. Das verfügbare Frequenzspektrum müsste voraussichtlich nur mit den Netzbetreibern geteilt werden. Dies erleichtert den Abstimmungsprozess bei der Frequenzkoordination. Außerdem könnten Service-Garantien vereinbart werden, sollte PMSE in einem öffentlichen 5G-Netz betrieben werden. Eine zweite Option wäre ein Leasing-Modell für Frequenzen. Dies würde für PMSE-Anwender die Möglichkeit eröffnen, eigene geschlossene 5G-Netze zu errichten. Beide Geschäftsmodelle hätten somit das Potenzial eine Betriebsumgebung zu schaffen, die einen sicheren und störungsfreien Einsatz von PMSE-Technik ermöglicht.

Aus Kapitel 2 ist bekannt, dass im Rahmen von Veranstaltungsproduktionen diverse Anforderungen an Funktechnik gestellt werden. Diese Ansprüche müssten bei einem 5G-Betrieb ebenso erfüllt werden. Andernfalls würde der Technologiewechsel keine wirkliche Alternative für PMSE repräsentieren. Die Unternehmen Sennheiser und Nokia führen in einer gemeinsamen Studie zu 5G vier Parameter auf, die für eine professionelle drahtlose Audioproduktion entscheidend sein können. Dazu zählen Zuverlässigkeit, Latenz, Synchronität und Spektrumseffizienz.¹⁵⁸ Die gesetzte Zielgröße für die Zuverlässigkeit beträgt 99,9999 %. Der Wert korrespondiert mit der erfassten Paketfehlerrate. Für diese wird hier ein Zeitfenster von 1 ms vorgegeben. Die Rate der fehlerhaften Datenpakete sollte kleiner als 10^{-6} sein.¹⁵⁹

¹⁵⁷ Vgl. Sennheiser und Nokia (2020): *Low Latency 5G for Professional Audio Transmission*, S. 7
Vgl. PMSE-xG Project Office (2017): *White Paper PMSE and 5G*, S. 6 f.

¹⁵⁸ Vgl. Sennheiser und Nokia (2020): *Low Latency 5G for Professional Audio Transmission*, S. 4

¹⁵⁹ Vgl. Sennheiser und Nokia (2020): *Low Latency 5G for Professional Audio Transmission*, S. 4 f.
Vgl. 3GPP (2019): *3GPP TR 22.827, V17.1.0*, S. 16 – 20

Ein weiterer elementarer Parameter bei Audioproduktionen ist die Latenz. Die Größe beschreibt in diesem Kontext die Zeitdauer, die von der Audioerfassung bis hin zur Audiowiedergabe vergeht. Eine solche Übertragungsstrecke könnte zum Beispiel von einem Funkmikrofon (Quelle) bis zu einem In-Ear-Empfänger (Senke) verlaufen. Die Studie setzt für die Latenz einen Zielwert von unter 4 ms an. Die Kalkulation basiert auf der Annahme, dass für Audioverarbeitung und Signalwandlungen (analog-digital/vice versa) 2 ms benötigt werden. Für den einfachen drahtlosen Übertragungsweg ist eine Zeitdauer von 1 ms vorgesehen. Diese ist zu verdoppeln und es resultiert demzufolge eine zulässige Gesamtlatenz von 4 ms.¹⁶⁰ Im zweiten Kapitel wurde beschrieben, dass dieser Zeitwert für PMSE-Anwender kritisch sein kann. Eine zu lange Latenz würde für die Nutzer irritierend wirken. Der definierte Grenzwert muss daher eingehalten werden.

Die dritte Größe ist die Synchronität. Diese sollte gleich oder kleiner als 1 μ s sein. Mithilfe einer übergeordneten Zeitreferenz ist es möglich, dass Audiogeräte ein- und ausgehende Audio-Samples an einen vorgegebenen Takt angleichen können. Der Wert von 1 μ s gibt vor, wie präzise diese Synchronisierung erfolgen muss. Der Parameter ist für Anwendungen bedeutsam, die zeitlich exakt abgestimmt sein müssen. Diese Anforderung besteht zum Beispiel bei 3D-Audio-Installationen.¹⁶¹

Die letzte Größe ist die Spektrumseffizienz. Diesbezüglich wird kein genauer Wert definiert. Die Zielsetzung, die lediglich formuliert wird, ist, dass 50 bis 300 drahtlose Audioverbindungen parallel an einem Veranstaltungsort realisierbar sein sollen. Als Referenz gilt eine Veranstaltungsfläche von bis zu 10.000 m².¹⁶²

Die Erläuterungen bis hierhin zeigen, dass bestimmte Parameter für drahtlose Audioproduktionen besonders wichtig sind. Bei einem Übergang zu einem 5G-Netz müssten die entsprechenden Zielwerte erreicht werden. Im Hinblick auf diese technische Komponente haben Sennheiser und Nokia einen gemeinsamen Testversuch mit einer 5G-Infrastruktur durchgeführt. Hierbei sollte vorrangig die Latenz untersucht werden, die als besonders kritische Größe gilt.¹⁶³

¹⁶⁰ Vgl. Sennheiser und Nokia (2020): *Low Latency 5G for Professional Audio Transmission*, S. 4 f.
Vgl. 3GPP (2019): *3GPP TR 22.827, V17.1.0*, S. 16 – 20

¹⁶¹ Vgl. ebenda, S. 4 f. sowie S. 16 – 20 (gleiche Referenz für beide Quellen)

¹⁶² Vgl. ebenda, S. 4 f. sowie S. 16 – 20 (gleiche Referenz für beide Quellen)

¹⁶³ Vgl. Sennheiser und Nokia (2020): *Low Latency 5G for Professional Audio Transmission*, S. 1

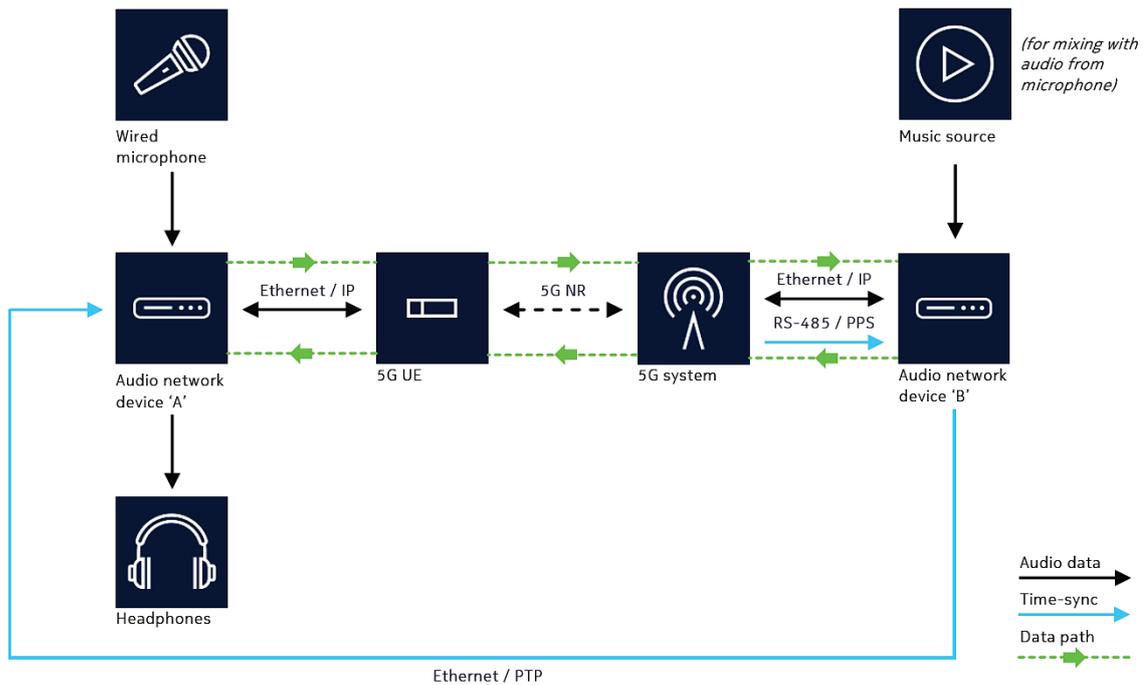


Abb. 10: Versuchsaufbau Sennheiser und Nokia, Nutzung einer 5G-Infrastruktur für eine Audio-Anwendung (Quelle Sennheiser und Nokia)

Der Versuch war wie folgt aufgebaut: Am Anfang der Signalkette stand ein Mikrofon, welches ein Audiosignal von einem Musiker aufnahm. Anschließend wurde das erfasste Signal im Netzwerkgerät „A“ von analog zu digital gewandelt. Von dort aus ging es via Ethernet weiter zu einem 5G-Transceiver. Dieser sendete die Audiodaten. Auf der gegenüberliegenden Seite wurden diese von einem 5G-System empfangen und per Ethernet weitergeleitet zum Netzwerkgerät „B.“ Dieses war verbunden mit einer Musikquelle. In dem Netzwerkgerät wurde die Musik mit dem erfassten Audiosignal von dem Musiker gemischt. Der fertige Mix wurde über die 5G-Infrastruktur an das Netzwerkgerät „A“ zurückgeschickt und konnte dort per Kopfhörer abgehört werden. Die Kopfhörer sollten in diesem Fall ersatzweise ein In-Ear-System repräsentieren (siehe Abb. 10).¹⁶⁴

Für den einfachen drahtlosen Übertragungsweg konnte in diesem Testversuch eine Latenz von 2,5 ms verzeichnet werden. Laut der vorgestellten Kalkulationsmethode ist somit eine Gesamtlatenz von zirka 7 ms zustande gekommen (2 x 2,5 ms für den drahtlosen Übertragungsweg + 2 ms für Audioverarbeitung/Signalübersetzungen). Der zuvor definierte Zielwert von 4 ms konnte demzufolge fast erreicht werden.¹⁶⁵

¹⁶⁴ Vgl. Sennheiser und Nokia (2020): *Low Latency 5G for Professional Audio Transmission*, S. 8

¹⁶⁵ Vgl. ebenda, S. 11 f.

Das Versuchsergebnis zeigt, dass 5G als Zukunftslösung für den Veranstaltungsbereich Potenzial hat. Der erfasste Latenzwert lag in der Nähe der definierten Zielgröße. In dieser Hinsicht werden noch weitere Verbesserungen vonnöten sein. Im Ausblick der Studie wird erläutert, dass der nächste Schritt nun wäre, den Testversuch außerhalb von Laborbedingungen zu wiederholen. Für den erneuten Versuch könnte eine bis dahin weiterentwickelte, verbesserte Version des 5G-Standards einbezogen werden. In diesem Zuge wäre es zudem möglich, weitere Audioparameter spezifischer zu untersuchen.¹⁶⁶ Demzufolge ist im technischen Bereich noch Forschungsbedarf vorhanden, bevor eine tatsächliche Implementierung von 5G im professionellen Audibereich realistisch sein wird.

Für die Umsetzung wird es weiterhin bedeutsam sein, dass ausreichend Chipsätze zur Verfügung stehen. Diese werden in entsprechender Anzahl benötigt, um 5G-fähige PMSE-Systeme produzieren zu können. Aus industrieller Sicht wäre die Basis dafür, dass der gleiche Chipsatz möglichst für zahlreiche 5G-Anwendungen verwendet werden kann. Die PMSE-Industrie stellt im Vergleich zum Mobilfunk einen kleinen Sektor dar und es wäre für die Hersteller daher wenig attraktiv, extra für PMSE einen gesonderten Chipsatz zu produzieren.¹⁶⁷ Die Voraussetzung wäre demnach, dass PMSE sowie andere Anwendungen den gleichen 5G-Standard nutzen können. Chipsätze könnten somit in größeren Stückmengen produziert werden und würden auch in ausreichender Anzahl für PMSE zur Verfügung stehen. In der Studie von Sennheiser und Nokia wird aufgeführt, dass dies mit dem neuen Standard (3GPP Release 16) möglich sein könnte. Die Chipsätze der neuen Generation sollen für verschiedenste Anwendungsgebiete nutzbar sein und auch für den professionellen Audibereich infrage kommen.¹⁶⁸

Eine weitere zu lösende Aufgabe wird sein, dass konkrete Geschäftsmodelle für die Nutzung von 5G entwickelt werden müssen. Anfangs wurden zwei mögliche Betriebsszenarien vorgestellt. Die PMSE-Industrie und die Netzbetreiber müssen noch genaue Konzepte und Vereinbarungen ausarbeiten, die den 5G-Zugang für PMSE regeln.¹⁶⁹

¹⁶⁶ Vgl. Sennheiser und Nokia (2020): *Low Latency 5G for Professional Audio Transmission*, S. 12 f.

¹⁶⁷ Vgl. PMSE-xG Project Office (2017): *White Paper PMSE and 5G*, S. 7

¹⁶⁸ Vgl. Sennheiser und Nokia (2020): *Low Latency 5G for Professional Audio Transmission*, S. 12

¹⁶⁹ Vgl. PMSE-xG Project Office (2017): *White Paper PMSE and 5G*, S. 6 f.

Die vorangestellten Erläuterungen zeigen, dass in verschiedenen Bereichen noch Lösungen gefunden werden müssen, bevor eine 5G-Nutzung für PMSE tatsächlich möglich sein wird. Die Studie von Sennheiser und Nokia verdeutlicht, dass vorrangig im technischen Bereich noch weitere Versuche und Optimierungen nötig sind. Zum heutigen Zeitpunkt ist daher noch nicht absehbar, ob PMSE eines Tages auf Grundlage des 5G-Standards betrieben werden kann. Im Hinblick auf eine 3. Digitale Dividende hätte diese Variante Potenzial als Alternativlösung. PMSE könnte Frequenzen des Mobilfunks mitnutzen und es wäre erstmals eine Koexistenz der beiden Nutzergruppen möglich. Im Idealfall sind die verfügbaren Frequenzen weitreichend harmonisiert und könnten somit auch global für PMSE eingesetzt werden. Weiterhin wären Geschäftsmodelle mit Netzbetreibern vorstellbar, die bestimmte Schutzgarantien für den Betrieb von PMSE gewährleisten. 5G würde somit neue Möglichkeiten für den PMSE-Bereich eröffnen. Zukünftig angespannte Frequenzsituationen könnten mithilfe von 5G entlastet werden.

Auf der anderen Seite ist anzumerken, dass die Abstimmung mit den Netzbetreibern einen Mehraufwand für PMSE-Anwender darstellen würde. Weiterhin muss im Fall einer Parallelnutzung eines 5G-Netzes sichergestellt sein, dass die Infrastruktur für PMSE zuverlässig funktioniert. Bei Veranstaltungen können hohe Besucherzahlen auftreten. Dementsprechend ist die Dichte an Mobilfunkgeräten deutlich erhöht. Diese dürfen keinesfalls mit dem 5G-Netz einer Veranstaltungsproduktion interferieren. Ansonsten kann es zu Störungen im Live-Betrieb der Veranstaltung kommen. Die Netzbetreiber müssen demnach verlässliche Zusagen treffen können, dass der Nutzungsbereich für PMSE geschützt ist. Eine weitere Herausforderung bei 5G könnte der Aufbau der Infrastruktur sein. Goldmedia et al. erwarten, dass sich die Errichtung von 5G-Netzen als komplex erweisen wird. Die erforderlichen Antenneninstallationen wären aufwendig und für die Umsetzung wird Fachwissen benötigt. Die Lösung käme daher langfristig nur für große Veranstaltungshäuser beziehungsweise für Großveranstaltungen infrage.¹⁷⁰

Schlussendlich wird die weitere Forschung zeigen, inwieweit 5G sich als Alternative für PMSE herausstellen wird. Im Zuge der weiteren Entwicklung wird es dann auch möglich sein, die beschriebenen Vor- und Nachteile konkreter zu evaluieren.

¹⁷⁰ Vgl. Goldmedia et al. (2021): *Perspektiven zur Nutzung des UHF-Bands 470-694 MHz ab 2030*, S. 79

WMAS (Wireless Multichannel Audio Systems): In dem Abschnitt zu den Intermodulationen wurde erläutert, dass einzelne analoge oder digitale Funkmikrofone eine Bandbreite von jeweils 200 kHz beanspruchen. In diesem Zusammenhang wird auch von Schmalbandsystemen gesprochen.¹⁷¹ WMAS stellt eine neue Funksystemgeneration dar, die auf einer Breitbandtechnologie aufbaut. Es soll möglich sein, innerhalb eines Breitbandkanals mehrere PMSE-Anwendungen (z. B. In-Ears und Funkmikrofone) nebeneinander zu betreiben. Die Übertragung funktioniert bidirektional und somit können auch Steuerdaten wechselseitig übermittelt werden. Die Bandbreite von WMAS soll laut der Firma Sennheiser 6 MHz oder 8 MHz umfassen.¹⁷² In der europäischen Standardisierung ist theoretisch eine Bandbreite bis 20 MHz vorgesehen.¹⁷³

WMAS soll gegenüber den konventionellen Schmalbandsystemen eine höhere Spektrumseffizienz aufweisen. Laut einem technischen Report des Europäischen Instituts für Telekommunikationsnormen (ETSI) soll die Effizienz von WMAS um bis zu 50 % höher sein. In der Veröffentlichung wird dies anhand eines Beispiels weiter ausgeführt. Es wird erklärt, dass mit Schmalbandsystemen in einem 8-MHz-Kanal 16 Audiolinks realisierbar sind. Mit WMAS könnten, innerhalb der gleichen Bandbreite, 24 Audioverbindungen aufgebaut werden. Dementsprechend kommt der genannte Wert von 50 % zustande.¹⁷⁴ Mit WMAS ist es somit möglich, das verfügbare Frequenzspektrum besser auszunutzen. Der Effizienzgewinn liegt in der Funktionsweise des Systems begründet. Die Signale von mehreren Anwendungen werden in einem Breitbandkanal digital kombiniert. Intermodulationen können somit unterbunden werden und das Frequenzspektrum lässt sich dichter besetzen. Zudem kann die spektrale Leistungsdichte reduziert werden.¹⁷⁵

Die Gesamtsendeleistung von WMAS beträgt bis zu 50 mW. Die gleiche Leistung wird heute von einem einzigen Funkmikrofon beansprucht. Es ist zu beachten, dass sich die Leistung bei WMAS über 6 MHz beziehungsweise 8 MHz verteilt. Im Fall des

¹⁷¹ Vgl. LS telcom und VVA (2022):

Study on the use of the sub-700 MHz band (470-694 MHz), S. 189

¹⁷² Vgl. Wilzeck (2023): *Technical Paper on Frequency Coordination*, S. 3 f.

¹⁷³ Vgl. ETSI EN 300 422-1, V2.2.1, S. 17

¹⁷⁴ Vgl. ETSI (2017): *ETSI TR 103 450, V1.1.1*, S. 11

¹⁷⁵ Vgl. LS telcom und VVA (2022):

Study on the use of the sub-700 MHz band (470-694 MHz), S. 189

Schmalbandsystems sind es 200 kHz. Die spektrale Leistungsdichte ist somit bei WMAS wesentlich geringer. Dies erleichtert in einem geteilten Frequenzspektrum die Koexistenz mit anderen Funksystemen. Aufgrund der geringen Leistungsdichte von WMAS müssen benachbarte Funkanlagen keine großen Sicherheitsabstände zu dem System bilden. Dies erlaubt eine dichtere Belegung der umliegenden Frequenzen.¹⁷⁶ WMAS ermöglicht somit auch in dieser Beziehung eine effiziente Nutzung des Frequenzspektrums.

Die Topologie von WMAS basiert auf einer zentralen Basisstation. Ausgehend von dieser Station werden alle mobilen Endgeräte verwaltet, die mit der Anlage verbunden sind. Das können zum Beispiel Funkmikrofone, In-Ears oder auch Konferenzsysteme sein (Vgl. Anhang 10).¹⁷⁷ Somit ist es möglich auf der Grundlage von einer Systemplattform verschiedenste Anwendungen zu betreiben. In-Ears und Funkmikrofone könnten parallel innerhalb des gleichen Breitbandkanals eingesetzt werden. Bezüglich der Spektrumseffizienz würde dies eine weitere Verbesserung darstellen. Im Regelfall wird zwischen Funkmikrofonen und In-Ears ein Schutzabstand vorgesehen, sodass diese nicht miteinander interferieren können. Je nach Systemart und Anwendungssituation kann ein Abstand von 8 bis 24 MHz erforderlich sein. Im Fall von WMAS können In-Ears und Funkmikrofone im Frequenzspektrum nebeneinander angeordnet werden.¹⁷⁸ Gesonderte Schutz-zonen, wie bei den Schmalbandsystemen, müssen nicht eingeplant werden. Auf diese Weise ließen sich Frequenzressourcen einsparen.

WMAS erreicht eine hohe Spektrumseffizienz, wenn die Kapazitäten des Systems weitreichend ausgenutzt werden. Sollten hingegen nur wenige Anwendungen zum Einsatz kommen, könnte die resultierende Effizienz geringer sein als bei einem Betrieb von Schmalbandsystemen. In Zukunft könnte es eine rechtliche Bedingung geben, dass bei einem Einsatz von WMAS eine Mindestanzahl von Endgeräten vorliegen muss, sodass eine vorgegebene Spektrumseffizienz eingehalten wird. Sollte eine solche Anforderung gestellt werden, wären die möglichen Anwendungsgebiete für WMAS begrenzt.¹⁷⁹ Das System würde somit nur für Veranstaltungen

¹⁷⁶ Vgl. Wilzeck (2023): *Technical Paper on Frequency Coordination*, S. 4 f.

¹⁷⁷ Vgl. ETSI (2017): *ETSI TR 103 450, V1.1.1*, S. 9 f.

¹⁷⁸ Vgl. Sennheiser (2023): *WMAS system check by frequency coordinators – Interview*, S. 8 ff.

¹⁷⁹ Vgl. LS telcom und VVA (2022):

Study on the use of the sub-700 MHz band (470-694 MHz), S. 189 f.

infrage kommen, bei denen mehrere Funkanwendungen zeitgleich benötigt werden – zum Beispiel große Konzert- oder Sportveranstaltungen. Für Formate mit einem geringen funktechnischen Bedarf (z. B. zwei bis vier Funkmikrofone) würden weiterhin die konventionellen Schmalbandsysteme eingesetzt werden. Eine Herausforderung bei WMAS könnte zudem die Bandbreite sein, die für die Nutzung zur Verfügung stehen muss. In manchen Umgebungen werden keine ausreichenden Frequenzkapazitäten vorhanden sein, um WMAS mit 20 MHz Bandbreite betreiben zu können.¹⁸⁰ Vermutlich wird sich die Größe auf die von Sennheiser genannten 6 MHz oder 8 MHz begrenzen. Ein weiterer Faktor wird sein, wie empfindlich WMAS ist, sollten innerhalb der Bandbreite Störquellen auftreten. In einem Versuch von Sennheiser wurde die Robustheit des Systems mit vier Störsendern getestet. Die eingesetzten Interferenzquellen waren schmalbandig. In der Belastungsprobe ist lediglich ein Endgerät von WMAS ausgefallen. Dieses stand unter dem höchsten Störeinfluss. Die WMAS-Infrastruktur ist intakt geblieben. Der schlimmste Fall, dass die gesamte Anlage ausfällt, ist nicht eingetreten.¹⁸¹ Aufgrund der erweiterten Bandbreite von WMAS wäre zu erwarten, dass solche Störungen häufiger vorkommen können. Der Testversuch zeigt, dass WMAS bis zu einem gewissen Grad Störungen tolerieren kann.

Die Ausführungen bis hierhin haben verdeutlicht, dass WMAS gegenüber den konventionellen Schmalbandsystemen eine bessere Spektrumeffizienz aufweist. Ein hoher Effizienzwert lässt sich erzielen, wenn WMAS weitestgehend ausgelastet wird. Das System kommt daher speziell für Veranstaltungen infrage, bei denen vielzählige Funkanwendungen benötigt werden. Aus Kapitel 5.3 ist bekannt, dass Veranstaltungen mit einer hohen Funknutzungsichte vorrangig von einer 3. Digitalen Dividende betroffen wären. Die Spektrumeffizienz von WMAS könnte sich in diesem Zusammenhang als bedeutend erweisen, um funktechnisch anspruchsvolle Veranstaltungen weiterhin realisieren zu können. Nach aktuellem Wissensstand ist WMAS noch nicht marktfähig. Es existieren erste Prototypen. Eine Markteinführung wird voraussichtlich zwischen 2024 und 2027 erfolgen.¹⁸²

¹⁸⁰ Vgl. LS telcom und VVA (2022):

Study on the use of the sub-700 MHz band (470-694 MHz), S. 190

¹⁸¹ Vgl. Sennheiser (2023): *WMAS system check by frequency coordinators – Interview*, S. 11 f.

¹⁸² Vgl. Goldmedia et al. (2021): *Perspektiven zur Nutzung des UHF-Bands 470-694 MHz ab 2030*, S. 76

6.3 Frequenzmanagement zur optimierten Spektrumsausnutzung

Nachfolgend soll in Anbetracht einer möglichen 3. Digitalen Dividende erläutert werden, wie ein Frequenzmanagement zu einer möglichst optimalen Spektrumsausnutzung beitragen kann. Des Weiteren sollen Strategien betrachtet werden, die eine Wiederverwendung von Frequenzen ermöglichen. Um die genannten Punkte analysieren zu können, wird zunächst das Tätigkeitsfeld eines Frequenzmanagements beschrieben.

Personen, die die Frequenzkoordination oder das Frequenzmanagement bei einer Veranstaltung ausführen, werden allgemein als RF-Manager oder als Frequenzkoordinatoren bezeichnet. Diese Fachkräfte sind Ansprechpartner für sämtliche Frequenzthemen bei einer Veranstaltung. Sie sammeln Frequenzanfragen von Nutzern, führen Berechnungen durch und planen die Belegung des Frequenzspektrums. Den Nutzern werden Frequenzen zugewiesen, die sie für ihre Anwendungen einsetzen dürfen. Die Frequenzkoordinatoren überwachen vor und während der Veranstaltung das Frequenzspektrum und beheben mögliche Störquellen.¹⁸³

Das Frequenzmanagement bildet somit eine übergeordnete Koordinierungsstelle, die das Funkaufkommen bei einer Veranstaltung organisiert. Durch eindeutige Frequenzzuweisungen wird verhindert, dass sich die verschiedenen Nutzergruppen gegenseitig beeinträchtigen und es zu Konflikten kommt. Störquellen wie unzureichend abgeschirmte LED-Wände oder defekte Funkgeräte können von Frequenzkoordinatoren identifiziert werden. Je nach Situation lassen sich die Geräte eventuell austauschen oder deren Leistung kann soweit reduziert werden, dass die Störwirkung nur noch geringfügig ist. Ein Frequenzmanagement trägt auf diese Weise dazu bei, dass Frequenzressourcen möglichst effizient ausgenutzt werden. Sollten die Frequenzen für PMSE sich zukünftig weiter verknappen, wird diese koordinierende Tätigkeit bei Veranstaltungen umso wichtiger werden.

Darüber hinaus kann ein Frequenzmanagement mit bestimmten Strategien zusätzliche Frequenzkapazitäten schaffen. Die Verfahren erlauben es, Frequenzen mehrfach bei einer Veranstaltung einzusetzen. Sollten die lokalen Frequenzressourcen zu knapp sein, können diese Methoden zur Anwendung kommen.

¹⁸³ Vgl. Wilzeck (2023): *Technical Paper on Frequency Coordination*, S. 1

Mithilfe der folgenden Formulierung von Niehoff können die Strategieansätze hergeleitet werden:

*„Eine bestimmte Frequenz kann am gleichen Ort und zur gleichen Zeit nur von jeweils einem Sender störungsfrei belegt werden.“*¹⁸⁴

Die Erklärung von Niehoff zeigt einen wichtigen Zusammenhang für die Frequenzkoordination. Aus dem Zitat lässt sich entnehmen, dass für einen störungsfreien Funkbetrieb drei Elemente entscheidend sind: die Frequenz, die Zeit sowie der Ort. Sind diese drei Parameter bei mindestens zwei Funksendern identisch, kommt es zu einer Störung. Wenn einer der Kennwerte in ausreichender Größe variiert, tritt keine Interferenz auf. Neben einer frequenzseitigen Separierung kann ein störungsfreier Funkbetrieb demzufolge auch mit einer zeitlichen oder örtlichen Trennung realisiert werden. Für ein Frequenzmanagement eröffnen sich somit verschiedene Möglichkeiten bei der Koordination von Frequenzen.

Eine örtliche Trennung wäre im Veranstaltungsbereich zum Beispiel mit verschiedenen Bühnen oder unterschiedlichen Räumen möglich. Die Bereiche würden im Frequenzmanagement jeweils als einzelne Zonen betrachtet werden. Um eine wechselseitige Beeinflussung bei der Frequenznutzung ausschließen zu können, müssen die Abschnitte weit genug voneinander entfernt liegen. Wie groß der Abstand sein muss, ist abhängig von den Umgebungsbedingungen und den Reichweiten der Funksysteme. Liegt eine direkte Sichtverbindung zwischen den Zonen vor, muss die Entfernung tendenziell größer sein. Sind Hindernisse wie Gebäude oder Raumwände dazwischen, wird die Wellenausbreitung eingeschränkt und es sind kürzere Distanzen möglich. Um den Einfluss von Intermodulationen aus einer anderen Zone zu vermeiden, empfiehlt Künzi für Audio-PMSE einen Abstand von 20 m. Um die gleiche Sendefrequenz wiederverwenden zu können, sollte eine Distanz von mindestens 150 m eingehalten werden.¹⁸⁵ Die Angaben von Künzi können als Orientierungsgrößen für In-Ears und Funkmikrofone betrachtet werden. Intercom-Anlagen, die mit hohen Sendeleistungen arbeiten und deutlich größere Reichweiten abdecken, sollten gesondert bewertet werden.

¹⁸⁴ Niehoff (2008): *Drahtlose Audioübertragung*, S. 1036

¹⁸⁵ Vgl. Künzi (2022): *Report on spectrum requirements for Audio PMSE*, S. 17

Schließlich ermöglicht der Strategieansatz der örtlichen Trennung eine mehrmalige Verwendung von Frequenzen. Ein solcher Ansatz könnte bereits in der Planungsphase einer Veranstaltung berücksichtigt werden. Auf diese Weise könnte einer erwartungsgemäß schwierigen Frequenzsituation präventiv entgegengewirkt werden. Wenn es das Veranstaltungskonzept zulässt und die Flächen groß genug sind, könnten Bühnen mit voraussichtlich intensivem Funkbetrieb bewusst separiert werden, um die Frequenzsituation zu entlasten. Laut Künzi ist bei einer räumlichen Trennung zu beachten, dass die Funksender zu jedem Zeitpunkt in ihrer Zone verbleiben und keinesfalls in andere Funkabschnitte gelangen.¹⁸⁶ Dies stellt eine potenzielle Schwachstelle des Ansatzes dar. Sollte ein Künstler die Funkzone verlassen und mit einem eingeschalteten Taschensender über das Veranstaltungsgelände laufen, wäre das Gesamtkonzept bereits gefährdet. Der Live-Betrieb auf der nächstgelegenen Bühne könnte in der Folge gestört werden. Die Frequenzkoordinatoren müssen daher stetig kontrollieren, dass die Funkeinheiten in ihrer vorgesehenen Zone bleiben.

Laut der Herleitung nach Niehoff ist die dritte mögliche Größe die Zeit. Eine Trennung auf dieser Ebene ermöglicht es, dass im Verlauf einer Veranstaltung die gleichen Frequenzen für unterschiedliche Anwendungen eingesetzt werden können. Ein Frequenzmanagement kann dies mithilfe eines Funkzeitplans realisieren. Die Frequenzzuweisungen, die die Koordinatoren erteilen, werden dabei an konkrete Zeitfenster geknüpft. Die PMSE-Anwender müssen dies beim Betrieb ihrer Anlagen beachten. Sobald das zugewiesene Zeitfenster für die Frequenznutzung abgelaufen ist, müssen sie ihre Funksysteme abschalten. Auch dieses Vorgehen beinhaltet bestimmte Risiken. Sollte der Zeitplan der Veranstaltung kurzfristig geändert werden, könnte die geplante Taktung für den Funkverkehr durcheinandergeraten. Wenn Nutzer vergessen ihre Systeme zu deaktivieren, entstehen Verzögerungen und im schlimmsten Fall treten Interferenzen auf.

Abschließend lässt sich feststellen, dass örtliche und zeitliche Unterteilungen eine angespannte Frequenzsituation entlasten können. Diese Methoden erlauben einen mehrfachen Einsatz von Frequenzen. Beide Konzepte sind allerdings anfällig für Fehler und müssen daher genau gesteuert und überwacht werden.

¹⁸⁶ Vgl. Künzi (2022): *Report on spectrum requirements for Audio PMSE*, S. 17

7 Fazit

Im Rahmen der Masterarbeit konnten Indizien gesammelt werden, wie sich eine 3. Digitale Dividende auf die Veranstaltungsbranche auswirken könnte.

Zu Beginn der Ausarbeitung wurde die Bedeutung von Funktechnik im Veranstaltungsbereich beschrieben. Das Lollapalooza-Festival 2022 wurde in diesem Kontext als Praxisbeispiel eingeführt. Die Berichte zu dem vergangenen Festival verdeutlichen exemplarisch, wie umfangreich Funktechnik heutzutage bei Veranstaltungen eingesetzt wird. Zudem ist ersichtlich geworden, dass eine Frequenzkoordination in diesem Rahmen sehr komplex sein kann. In dem Kapitel wurden weiterführend Anforderungen erarbeitet, die Funktechnik bei einem Veranstaltungseinsatz erfüllen muss. Im nächsten Abschnitt folgte eine kurze Einführung zu rechtlichen Aspekten der Frequenznutzung und zu verantwortlichen Regulierungsinstitutionen. Darauf aufbauend wurde der Werdegang der bisherigen Digitalen Dividenden dargelegt. Der Ursprung der Bezeichnung konnte in diesem Zuge ermittelt werden. Die Vorgeschichte der Dividenden hat zudem ein wiederholtes Muster von bestimmten Entwicklungsabläufen und politischen Mechanismen aufgezeigt. Auf Basis dieser Erkenntnis konnten Rückschlüsse gezogen werden, wie eine mögliche 3. Digitale Dividende für die Veranstaltungsbranche verlaufen könnte. Anknüpfend an die bisherige Geschichte wurde übergeleitet zur aktuellen Debatte. Verschiedene Stakeholder, die ein Interesse an dem Frequenzabschnitt 470 bis 694 MHz bekundet haben, wurden vorgestellt und ihre Beweggründe erläutert.

Nach den Einführungskapiteln folgte die Betrachtung der durchgeführten Umfrage. Unternehmen aus der Veranstaltungswirtschaft wurden zu unterschiedlichen Themenpunkten im Bereich der Funktechnik befragt. Zudem sollten die Betriebe Einschätzungen zu bestimmten Entwicklungsszenarien einer 3. Digitalen Dividende treffen. Mithilfe der Erhebung konnten Erkenntnisse zu Frequenzbereichen, Technikbeständen und zu Spektrumsengpässen gewonnen werden. Weiterhin wurde die Relevanz von Funktechnik im PMSE-Bereich untersucht. Auf Basis der Ermittlungen ließen sich erste Schlussfolgerungen treffen, wie sich eine erneute Dividende auf die Veranstaltungsbranche auswirken könnte. Abschließend wurden verschiedene Lösungen für PMSE erörtert, die im Fall einer 3. Digitalen Dividende von Bedeutung sein könnten.

Auf Grundlage der erarbeiteten Kapitel soll nun die anfängliche Fragestellung der Ausarbeitung beantwortet werden:

Welche Folgen würden für den Veranstaltungssektor entstehen, wenn im Zuge einer 3. Digitalen Dividende bisher nutzbare Frequenzen aus dem Bereich zwischen 470 und 694 MHz an andere Bedarfsträger vergeben werden?

Aus den gesammelten Erkenntnissen lässt sich schlussfolgern, dass eine 3. Digitale Dividende die Veranstaltungsbranche schwerwiegend treffen würde. Der Frequenzabschnitt 470 bis 694 MHz stellt eine essentielle Ressource dar, die im Veranstaltungsbereich für unterschiedlichste Anwendungen eingesetzt wird. Die durchgeführte Umfrage hat diesbezüglich ergeben, dass der Frequenzabschnitt vorrangig für Funkmikrofone und drahtlose In-Ear-Systeme genutzt wird. Der Frequenzraum repräsentiert den wichtigsten Einsatzbereich für diese Anwendungen. Die Funkanlagen der befragten Betriebe befinden sich größtenteils in diesem Frequenzbereich. Bei 203 Umfrageteilnehmern besteht das Inventar an Funkmikrofonen und In-Ears zu 40 % und mehr aus Systemen, die diese Frequenzen nutzen. Dies trifft für rund 86 % der Befragten zu. Bei nahezu einem Viertel der Teilnehmer liegen alle Funksysteme dieser Art in der benannten Frequenzumgebung. Sollte der Frequenzbereich an andere Bedarfsgruppen vergeben werden, könnten die Betriebe einen Großteil ihrer Funkmikrofone und In-Ears nicht mehr nutzen. Bei manchen Unternehmen könnten alle Systeme betroffen sein. In der Folge wären funktionsfähige Anlagen nicht mehr einsetzbar und würden vorzeitig entwertet werden. Die Betriebe müssten teilweise mit einem erheblichen Sachschaden rechnen. Ein Unternehmen nannte für Funkmikrofone und In-Ears einen möglichen Schadenswert von 100.000 €.

Neben den Funkmikrofonen und den drahtlosen In-Ear-Systemen wären weiterhin Intercom-Anlagen betroffen. Der Abschnitt 470 bis 694 MHz stellt für Intercom einen relevanten Nutzungsbereich dar. Laut den Umfrageergebnissen ist es nicht der zentrale Einsatzabschnitt. Andere Bereiche stehen bei Intercom in der Nutzungspriorität weiter oben. Dennoch besitzen mehrere Betriebe Systeme in dem benannten Frequenzabschnitt und wären somit potenziell von einer 3. Digitalen Dividende betroffen. Auch hier würden funktionsfähige Geräte unbrauchbar werden und in der Folge Sachschäden für die Unternehmen entstehen.

Die Betriebe sollten in der Umfrage weiterhin einschätzen, ob sie im Fall einer 3. Digitalen Dividende ihre Veranstaltungen funktechnisch noch umsetzen könnten. Im ersten Szenario wurde ein Verlust des Bereichs 614 bis 694 MHz angenommen. Rund 50 % der befragten Betriebe äußerten für diesen Fall, dass sie die funktechnische Realisierbarkeit ihrer Veranstaltungen als gefährdet ansehen. Im zweiten Szenario wurde ein möglicher Wegfall des gesamten Abschnitts 470 bis 694 MHz betrachtet. In diesem Zusammenhang gaben 76 % der Befragten an, dass sie ihre Veranstaltungen funktechnisch nicht mehr wie bisher umsetzen könnten. Die Ergebnisse der weiterleitenden Teilfragen haben gezeigt, dass potenziell alle Veranstaltungsarten betroffen sein könnten.

Schließlich ist der Stellenwert des Frequenzbereichs 470 bis 694 MHz über drei Sichtachsen untersucht worden: anwendungsbezogene Nutzungspriorität, Zusammensetzung des Inventars und unmittelbare Auswirkungen auf Veranstaltungen bei Verlust. Die Ergebnisse aller Betrachtungsebenen zeigen deutlich, dass der Frequenzbereich für PMSE eine essentielle Betriebsgrundlage darstellt. Sollten Frequenzen aus dem Abschnitt anderweitig vergeben werden, wären Funksysteme nicht mehr nutzbar und für die Betriebe würden Sachschäden entstehen. Dies würde in erster Linie Funkmikrofone und In-Ear-Anlagen betreffen. Des Weiteren könnten Intercom-Systeme teilweise nicht mehr genutzt werden. In der Konsequenz wäre die funktechnische Umsetzbarkeit von diversen Veranstaltungen gefährdet. Es würde sich die unmittelbare Fragestellung ergeben, wie die funktechnischen Ansprüche bei Veranstaltungen in Zukunft erfüllt und die entstandenen Schäden kompensiert werden könnten.

Die Antwort liegt eventuell in der bisherigen Vorgeschichte. Infolge der 1. sowie der 2. Digitalen Dividende wurden damals für PMSE Schadensersatzleistungen gewährt und Alternativfrequenzen zur Verfügung gestellt. Im Fall einer 3. Digitalen Dividende wäre dieser Verlauf wieder zu erwarten. Sollte die Allgemeinzuteilung für den Bereich 470 bis 698 MHz Ende 2030 auslaufen und eine 3. Digitale Dividende in Kraft treten, würde die Lebenszeit von diversen Funksystemen politisch verkürzt werden. Auf diese Weise würden Schäden für die Betriebe entstehen, die kompensiert werden müssten. Zudem wäre eine Bereitstellung von Ersatzfrequenzen nötig, um den funktechnischen Bedarf für Veranstaltungen weiterhin abdecken zu können.

Hinsichtlich eines Frequenzersatzes ist zu beachten, dass der Abschnitt 470 bis 694 MHz eine einzigartige Komposition aus Vorteilen bietet. Die größeren Wellenlängen der Frequenzen ermöglichen gute Ausbreitungseigenschaften und einen energieeffizienten Funkbetrieb. Der Umfang des Frequenzbereichs gewährt die nötige Flexibilität bei der Frequenzkoordinierung. Die Koexistenz mit dem Rundfunk funktioniert seit Jahren, da der Frequenzbedarf von DVB-T transparent und planbar ist. Zusätzlich ist die Frequenzumgebung auf internationaler Ebene weitreichend harmonisiert und kann grenzübergreifend für PMSE genutzt werden. Diese Zusammensetzung aus Vorteilen zeichnet das Frequenzband aus. In anderen Abschnitten ist diese Kombination nicht vorzufinden und die Bereiche sind teilweise mit Nachteilen behaftet. Die nächste Problematik ist, dass das für PMSE infrage kommende Alternativspektrum bereits dicht besetzt ist. Es existieren keine unmittelbar freien Frequenzen, die kurzfristig als Ersatz zugeteilt werden könnten. Die Aufgabe, für PMSE einen gleichwertigen Frequenzersatz zu schaffen, wäre demzufolge sehr schwierig – wenn nicht sogar unmöglich.

Sollte der Frequenzabschnitt 470 bis 694 MHz eingeschränkt werden und eine ausreichende Kompensation ausbleiben, wird es bei Veranstaltungen häufiger zu einer Frequenzknappheit kommen. Die Umfrage hat ergeben, dass mehrere Betriebe mit einem solchen Engpass bereits Erfahrungen haben. Bei dem vorgestellten Lollapalooza-Festival ist ebenfalls ein Frequenzmangel aufgetreten. Die Problematik ist somit real und kommt heute schon vor.

Eine laufende Untersuchung des APWPT-Verbands veranschaulicht für den Frequenzabschnitt 470 bis 694 MHz, dass der Frequenzbedarf bei Veranstaltungen über die Jahre gestiegen ist. Dies deckt sich auch mit den Umfrageergebnissen. Bei 90 % der befragten Betriebe ist der Bedarf nach funktechnischen Lösungen gewachsen. Auf der anderen Seite zeigt die APWPT-Analyse, dass die verfügbare Spektrumskapazität zwischen 470 und 694 MHz mit der Zeit gesunken ist. Demzufolge steht ein wachsender Bedarf einer geringer werdenden Frequenzreserve gegenüber. Eine 3. Digitale Dividende würde diese bereits kritische Tendenz beschleunigen. Es könnte zeitnah der Punkt erreicht werden, dass sich beide Entwicklungsachsen schneiden und diverse Veranstaltungen funktechnisch nicht mehr umsetzbar wären. In erster Instanz würde dies Veranstaltungen betreffen, bei denen ein hohes Funkaufkommen vorliegt. Eine erhöhte Nutzungs-

dichte kann durch den Funkbedarf der Veranstaltung selbst zustande kommen oder auch mit den lokalen Umgebungsbedingungen zusammenhängen. Speziell in städtischen Gebieten könnte sich die Situation als schwierig erweisen. Die Dichte von verschiedenen Funknutzern ist tendenziell erhöht und das vorhandene Frequenzspektrum kann dementsprechend stärker ausgelastet sein.

Schwierige Frequenzsituationen dieser Art könnten perspektivisch mit Kurzzeit-zuteilungen entlastet werden. Da es sich um eine Ausnahmegenehmigung handelt und die Frequenzen im Normalfall nicht legal für PMSE nutzbar sind, kann sich die Beschaffung von passenden Funksystemen kompliziert darstellen. Außerdem werden die Frequenzkapazitäten einer Kurzzeit-zuteilung voraussichtlich begrenzt sein, da die Bereiche eigentlich für andere Anwendungen vorgesehen sind.

Um unabhängig von der Frequenzlage zu sein, könnte versucht werden, auf Funk zu verzichten. Stattdessen könnten kabelgebundene Lösungen eingesetzt werden. Die meisten Betriebe haben in der Umfrage dazu allerdings ausgesagt, dass sie sich diese Variante in der Praxis nicht vorstellen könnten. Höchstens in ausgewählten Einsatzszenarien wäre ein kabelgebundener Betrieb eine Option. Ansonsten wird Funk von Kunden und Künstlern heutzutage erwartet. Eine drahtlose Anbindung bietet zudem diverse Vorteile gegenüber einer Kabellösung. Die durch Funk gewährte Mobilität ermöglicht künstlerische Gestaltungsfreiheiten, die mit einer Kabelanbindung in der Form nicht realisierbar wären. Kabelgebundene Lösungen stellen somit keinen gleichwertigen Ersatz für Funk dar und sind nur eine bedingte Ausweichoption.

Um nicht auf Funktechnik verzichten zu müssen, könnte der Ansatz verfolgt werden, die Spektrumsausnutzung zu verbessern. In dieser Hinsicht wurden verschiedene technische Entwicklungen und Konzepte betrachtet. Dabei ist unter anderem ersichtlich geworden, dass Intermodulationsprodukte die Nutzbarkeit des Frequenzspektrums beeinträchtigen können. Mithilfe von Zirkulatoren lassen sich Intermodulationen im Funkverkehr unterbinden. Die Belastungen durch die Störprodukte bleiben aus und die Frequenzressourcen können somit effizienter genutzt werden. Funkanlagen mit integrierten Zirkulatoren existieren bereits seit mehreren Jahren am Markt und werden bei Veranstaltungen eingesetzt. Es bleibt offen, wie viel Verbesserungspotenzial in dieser Kategorie noch besteht.

Des Weiteren wurde analysiert, ob PMSE eines Tages auf Basis des 5G-Standards betrieben werden kann. Sollte eine 3. Digitale Dividende zustande kommen, wäre dies möglicherweise eine Ausweichoption. Auf Grundlage des 5G-Standards könnte PMSE mit dem Mobilfunk in einer Umgebung koexistieren. Dies würde für PMSE einen Zugang zu anderen Spektrumsabschnitten ermöglichen und die Frequenzsituation entlasten. Zudem könnten mit den Netzbetreibern Schutzgarantien vereinbart werden. Auf der anderen Seite hat die Betrachtung gezeigt, dass die Entwicklungen für 5G erst noch am Anfang stehen. Bevor eine flächendeckende Implementierung für PMSE möglich sein wird, sind noch weitere technische Optimierungen erforderlich. Außerdem müssen konkrete Geschäftsmodelle für die 5G-Nutzung erarbeitet werden. Weiterhin ist eine Standardisierung der Chipsätze nötig. Ob der erforderliche Entwicklungsstand jemals erreicht werden kann, ist zum heutigen Zeitpunkt noch unbekannt.

Eine weitere Lösungsvariante der Zukunft könnte WMAS sein. Die neue Funk-systemgeneration soll eine hohe Spektrumseffizienz aufweisen. Bei entsprechender Auslastung soll WMAS effizienter sein als die konventionellen Schmalbandsysteme. Das breitbandige Funksystem ist speziell geeignet für komplexe Anwendungsfälle, bei denen zahlreiche Funkeinheiten parallel eingesetzt werden. Wie zuvor beschrieben, wären solche Anwendungsszenarien von einer erneuten Dividende in erster Linie betroffen. WMAS könnte in diesem Zusammenhang eine bedeutende Lösung darstellen. Die ersten Geräte werden wahrscheinlich zwischen 2024 und 2027 verfügbar sein. Infolge einer 3. Digitalen Dividende könnte allerdings die Problematik entstehen, dass nicht genügend Frequenzräume verbleiben, um WMAS regelmäßig einsetzen zu können. Das System wird eine Bandbreite von 6 bis 8 MHz benötigen. Der Frequenzbereich darf bis zu einem gewissen Grad nicht von anderen Nutzern belegt sein. Sollte zum Beispiel das 600-MHz-Band an den Mobilfunk vergeben werden, müssten der Rundfunk und die PMSE-Nutzer in den unteren Bereich der Frequenzumgebung ausweichen. Die Konsequenz wäre eine Verdichtung der verbleibenden Kapazitäten. Somit würde es umso komplizierter werden, für WMAS freie Bandbreiten zu finden. Um die Systeme regelmäßig und in wechselnden Umgebungen einsetzen zu können, müssen ausreichend Frequenzreserven vorhanden sein.

Abschließend wurde das Tätigkeitsfeld eines Frequenzmanagements näher beleuchtet. Die Frequenzkoordinatoren organisieren und regeln den Funkverkehr bei einer Veranstaltung. Auf diese Weise tragen sie dazu bei, dass die vorhandenen Frequenzressourcen möglichst effizient ausgenutzt werden. Mithilfe von Funkzonen und Funkzeitplänen können Frequenzen bei einer Veranstaltung mehrfach eingesetzt werden. Die Konzepte lassen sich allerdings nicht immer anwenden. Bei manchen Veranstaltungen sind zeitliche oder örtliche Trennungen des Funkverkehrs nicht möglich. Diese Vorgehensweisen bringen außerdem gewisse Risiken mit sich und müssen daher im Anwendungsfall genau gesteuert und überwacht werden.

Die Ausführungen haben mögliche Lösungsansätze gezeigt, die im Fall einer 3. Digitalen Dividende und einer resultierenden Frequenzverknappung infrage kommen könnten. Dabei ist deutlich geworden, dass verschiedene Konzepte Potenzial haben. Dennoch ist festzustellen, dass zum heutigen Zeitpunkt keine klare Lösung existiert, wie ein weitreichender Frequenzverlust durch eine 3. Digitale Dividende kompensiert werden könnte. Die beschriebenen Ansätze bringen teilweise Nachteile mit sich, in manchen Fällen ist ihr Wirkungsgrad limitiert oder ihre Entwicklung ist noch nicht abgeschlossen. Daher ist in diesem Zusammenhang keine eindeutige Lösung ersichtlich. Um Funktechnik einsetzen zu können, sind ausreichende Frequenzreserven unerlässlich. Verschiedene Konzepte und technische Lösungen ermöglichen eine bessere Spektrumsausnutzung. Die einzelne Frequenz als Basisressource lässt sich allerdings nicht ersetzen. Es ist zudem unklar, ob für PMSE ein gleichwertiger Frequenzausgleich möglich sein wird. Das physikalisch infrage kommende Frequenzspektrum ist von anderen Nutzern bereits dicht belegt.

Eine 3. Digitale Dividende könnte somit zu einer langfristigen Frequenzverknappung führen. Da es an entsprechenden Lösungen fehlt, würde die funktechnische Realisierbarkeit von diversen Veranstaltungen nachhaltig gefährdet werden. Zudem hätte PMSE kaum noch eine Entwicklungsperspektive. Maßgebend bei einer funktechnischen Planung wäre die Machbarkeit und nicht mehr der tatsächliche Anspruch der Veranstaltung. Funktechnik könnte nur noch in einem limitierten Maß eingesetzt werden. Dies wäre für die Veranstaltungsbranche eine wesentliche Beeinträchtigung.

Die 3. Digitale Dividende könnte somit die schwerwiegendste von allen werden. Es würden zum wiederholten Mal funktionsfähige Funksysteme entwertet werden. Die Betriebe wären erneut mit teilweise erheblichen Sachschäden konfrontiert. Für PMSE würde eine wichtige Betriebsumgebung verloren gehen, die exklusive Eigenschaften und Vorteile bietet. Die wohl gravierendste Folge dieser Dividende wäre, dass die für PMSE verfügbaren Frequenzen dauerhaft eingekürzt werden. In der Konsequenz würde der funktechnische Bedarf bei Veranstaltungen regelmäßig die vorhandenen Spektrumskapazitäten übertreffen. Es resultieren Frequenzengpässe und die funktechnische Planung muss reduziert werden. Ansprüche von Kunden und Künstlern lassen sich nicht mehr vollumfänglich erfüllen. Veranstaltungen würden in ihrer Gesamtqualität beeinträchtigt werden.

In Anbetracht der möglichen Folgen und in Ermangelung eindeutiger Lösungen ist das Abschlussplädoyer dieser Arbeit, dass die Frequenzumgebung 470 bis 694 MHz für PMSE langfristig erhalten werden muss. Der Frequenzraum ist essenziell für die Veranstaltungsbranche und lässt sich nicht ohne Weiteres ersetzen.

Die diesbezügliche Entscheidung wird schlussendlich auf politischer Ebene getroffen werden. Auf der anstehenden Weltfunkkonferenz Ende 2023 soll die perspektivische Nutzung des benannten Frequenzabschnitts diskutiert werden. Unabhängig davon, wie die Konferenz ausgehen wird, muss die Forschung im PMSE-Bereich weitergehen. Es muss fortschreitend untersucht werden, ob sich die Spektrumseffizienz noch weiter verbessern lässt. Auch müssen alternative Konzepte wie eine 5G-Nutzung weiterverfolgt werden. Diese Aufgabe wird in erster Linie bei den Produktherstellern liegen. Die einzelnen Veranstaltungsbetriebe können allerdings auch prüfen, wie sie ihren Frequenzeinsatz optimieren können. Denn selbst wenn eine 3. Digitale Dividende vorzeitig abgewendet werden sollte, wird die Diskussion um den Frequenzbereich bleiben. Die Stakeholder-Analyse in Kapitel 4.4 hat dies verdeutlicht. Verschiedenste Bedarfsträger haben ein Interesse an der Frequenzumgebung. Speziell der Mobilfunk wird weiter nach Frequenzen fordern, um die ländlichen Gebiete besser abdecken zu können. Die Debatte wird somit erhalten bleiben und eine zukünftige Frequenzumstrukturierung lässt sich nicht ausschließen. Die Suche nach Lösungen muss aus diesem Grund fortgesetzt werden, damit die Veranstaltungsbranche auch in Zukunft im vollen Maß von den Vorteilen der Funktechnik profitieren kann.

Quellenverzeichnis

Literaturverzeichnis:

- Arasin, P.** (2023): *Einrichtungen für drahtlose Mikrofone*. S. 200 – 215.
In: Dickreiter, M. et al. (Hrsg.). *Handbuch der Tonstudiotechnik*. 9. Auflage.
Berlin/Boston: De Gruyter Wissenschaftsverlag.
- Beutler, R.** (2012): *The Digital Dividend of Terrestrial Broadcasting*.
New-York/Dordrecht et al.: Springer Science+Business Media.
- Bowdin, G. et al.** (2011): *Events Management*. 3. Auflage.
Abingdon/New York: Taylor & Francis Group/Routledge.
- Dodel, H. und Wörfel, R.** (2012): *Satellitenfrequenzkoordinierung*.
Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag.
- Döring, N.** (2022): *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften*. 6. Auflage. Berlin: Springer-Verlag.
- Ederhof, A.** (2020): *Das Mikrofonbuch*. 3. Auflage. München: GC Carstensen Verlag.
- Fischer, W.** (2016): *Digitale Fernseh- und Hörfunktechnik in Theorie und Praxis*.
4. Auflage. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag.
- Freyer, U.** (2017): *Nachrichten-Übertragungstechnik*.
7. Auflage. München: Carl Hanser Verlag.
- Grzesinski, C.** (2020): *Smyrek Tontechnik für Veranstaltungstechniker in Ausbildung und Praxis*. 4. Auflage. Stuttgart: Hirzel Verlag.
- Holland, H. und Scharnbacher, K.** (2004): *Grundlagen statistischer Wahrscheinlichkeiten*.
Wiesbaden: Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler/GWV Fachverlage GmbH.
- Janik, V.** (2011): *Rundfunktechnik und Infrastrukturegulierung*. S. 165 – 208.
In: Schwartmann, R. (Hrsg.). *Praxishandbuch Medien-, IT- und Urheberrecht*.
2. Auflage. Heidelberg/München et al.: C.F. Müller.
- Krämer, M.** (2009): *Bewertung der WRC-07 Entscheidungen aus Sicht der Telekommunikation*. S. 81 – 91. In: Picot, A. und Tillmann, H. (Hrsg.). *Digitale Dividende*.
Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag.
- Mayring, P.** (2015): *Qualitative Inhaltsanalyse*. 12. Auflage. Weinheim/Basel: Beltz Verlag.
- Neumann, K.-H.** (2009): *Begriffsbestimmung und Erfahrungsberichte*. S. 7 – 23.
In: Picot, A. und Tillmann, H. (Hrsg.). *Digitale Dividende*.
Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag.
- Niehoff, W.** (2008): *Drahtlose Audioübertragung*. S. 1035 – 1072.
In: Weinzierl, S. (Hrsg.). *Handbuch der Audiotechnik*.
Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag.

Pieper, F. (2015): *Das P.A. Handbuch*. 5. Auflage. München: GC Carstensen Verlag.

Riegler, T. (2009): *Die neue digitale Rundfunk- und Fernsehwelt*. Baden-Baden: Verlag für Technik und Handwerk.

Sakschewski, T. und Paul, S. (2017): *Veranstaltungsmanagement*. Wiesbaden: Springer Gabler.

Schwiegelshon, U. (2013): *Distribution von Bewegtbildinhalten*. S. 339 – 378.
In: Schneider, M. (Hrsg.). *Management von Medienunternehmen*.
Wiesbaden: Springer Gabler.

Völzke, M. et al. (2023): *Kein Platz für eine Funke?* S. 36 – 43.
In: Production Partner Fachmagazin für Veranstaltungstechnik.
Ausgabe 3/2023. Köln: Ebner Media Group GmbH & Co. KG.

Amtliche Quellen:

FreqP, Frequenzplan (Stand März 2022)

FreqV, Frequenzverordnung (Stand Juni 2021)

RL-BillStörKo, Richtlinie über die Gewährung von Billigkeitsleistungen des Bundes an Sekundärnutzer wegen anrechenbarer störungsbedingter Umstellungskosten aus der Umwidmung von Frequenzen im Bereich 790 bis 862 MHz (Stand September 2013)

RL-UmstKoPMSE700, Richtlinie über die Gewährung von Billigkeitsleistungen für Ausgleichszahlungen an Nutzer drahtloser Produktionsmittel („PMSE“) für aus der Umwidmung der Frequenzen im Frequenzbereich 694 bis 790 MHz resultierende Umstellungskosten (Stand September 2015)

RR, Radio Regulations (Stand 2020)

TKG, Telekommunikationsgesetz (Stand März 2023)

Vfg. 91/2005, Amtsblattverfügung der Bundesnetzagentur, Allgemeinzuteilung von Frequenzen für drahtlose Mikrofone für professionelle Nutzungen in den Frequenzbereichen 790 – 814 MHz und 838 – 862 MHz

Vfg. 2/2015, Amtsblattverfügung der Bundesnetzagentur, Allgemeinzuteilung von Frequenzen für drahtlose PMSE-Audioausrüstungen, 823 – 832 MHz

Vfg. 6/2022, Amtsblattverfügung der Bundesnetzagentur, Allgemeinzuteilung von Frequenzen für drahtlose Mikrofone im Frequenzbereich 1350 – 1400 MHz

Vfg. 34/2020, geändert durch Vfg. 99/2022, Amtsblattverfügung der Bundesnetzagentur, Allgemeinzuteilung von Frequenzen für drahtlose Mikrofone, 470 – 608 MHz und 614 – 698 MHz

Vfg. 136/2022, geändert durch Vfg. 49/2023, Amtsblattverfügung der Bundesnetzagentur, Allgemeinzuteilung von Frequenzen in den Bereichen 5150 MHz – 5250 MHz, 5250 – 5350 MHz und 5470 MHz – 5725 MHz für drahtlose Zugangssysteme einschließlich lokaler Funknetze (WAS/Funk-LANs)

VVKuNz, Verwaltungsvorschriften für Frequenzzuteilungen im Rahmen von Kurzzeitnutzungen (Stand Dezember 2021)

VVnöml, Verwaltungsvorschriften für Frequenzzuteilungen im nichtöffentlichen mobilen Landfunk (Stand September 2022)

Zweite Verordnung zur Änderung der Frequenzbereichszuweisungsplanverordnung, (Stand Juli 2009)

Onlinequellenverzeichnis:

3rd Generation Partnership Project [3GPP] (2019): *3GPP TR 22.827, V17.1.0 (2019-12), 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Study on Audio-Visual Service Production, Stage 1, (Release 17)*. Online im Internet als Word-Datei unter der URL: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3520> (Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 159, 160, 161 und 162)

5G Automotive Association (2020): *A visionary roadmap for advanced driving use cases, connectivity technologies, and radio spectrum needs*. Online im Internet als PDF unter der URL: <https://5gaa.org/a-visionary-roadmap-for-advanced-driving-use-cases-connectivity-technologies-and-radio-spectrum-needs/> (Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 90)

Allianz für Rundfunk- und Kulturfrequenzen (2023): *Frequenzen: Zukunft von terrestrischem Fernsehen sowie Produktionsbetrieb und Kultur in Deutschland*. Online im Internet als PDF unter der URL: <https://apwpt.org/apwpt-information/> (Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 94 und 104)

APWPT (2022): *Frequencies for wireless microphones*. Online im Internet als PDF unter der URL: <https://apwpt.org/> (Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 146)

APWPT (2022): *Koordinierung und Beobachtung von Funkfrequenzen*. Online im Internet als PDF unter der URL: <https://pmocre.info/> (Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 110)

APWPT (2021): *News* (Mitteilung vom 14. Oktober 2021). Online im Internet unter der URL: <https://apwpt.org/news/> (Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 108 und 131)

APWPT (2009): *Professionelle drahtlose Produktionsmittel: Veränderungen in der UHF-Frequenznutzung und Vorschläge für Lösungsansätze*. Online im Internet als PDF unter der URL: <https://docplayer.org/74035594-Professionelle-drahtlose-produktionsmittel-veraenderungen-in-der-uhf-frequenznutzung-und-vorschlaege-fuer-loesungsansaetze.html> (Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 61)

ARD/ZDF-Forschungskommission (2022): *ARD/ZDF-Massenkommunikation Trends 2022*. Online im Internet als PDF unter der URL: <https://www.ard-zdf-massenkommunikation.de/mk-trends/mk-trends-2022/> (Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 92)

Bundesnetzagentur [BNetzA] (2009): *Entscheidung der Präsidentenkammer der Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen vom 12. Oktober 2009*. Online im Internet als PDF unter der URL: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/OffentlicheNetze/VergabeverfDrahtloserNetzzugang2010/PraesKammerEntschg_Id17404pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=1 (Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 66 und 68)

Bundesnetzagentur [BNetzA] (2013): *Frequenzvergabeverfahren 2010*.

Online im Internet unter der URL: https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/Telekommunikation/Breitband/MobilesBreitband/Frequenzauktion/Z_Auktion2010.html
(Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 55)

Bundesnetzagentur [BNetzA] (o. J.): *Frequenzverordnung*.

Online im Internet unter der URL: <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/Telekommunikation/Frequenzen/Grundlagen/Frequenzverordnung/start.html>
(Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 27)

Bundesnetzagentur [BNetzA] (2022): *Jahresbericht 2021*.

Online im Internet als PDF unter der URL: <https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Mediathek/Jahresberichte/JB2021.html>
(Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 87)

Bundesnetzagentur [BNetzA] (o. J.): *PMSE - Programme Making and Special Events*.

Online im Internet unter der URL: <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/Telekommunikation/Frequenzen/Firmennetze/PMSE/PMSE-node.html>
(Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 33)

Bundesnetzagentur [BNetzA] (o. J.): *Präsentation zum Ende der Frequenzauktion 2010*.

Online im Internet als PDF unter der URL: https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/Telekommunikation/Breitband/MobilesBreitband/Frequenzauktion/Z_Auktion2010.html (Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 55 und 57)

Bundesnetzagentur [BNetzA] (2015): *Präsidentenkammerentscheidung – Auktion 2015*.

Online im Internet als PDF unter der URL: <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/Telekommunikation/Frequenzen/OeffentlicheNetze/Mobilfunknetze/mobilfunknetze-node.html> (Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 80)

Bundesnetzagentur [BNetzA] (2019): *Räumung des 700 MHz Bandes für den Mobilfunk abgeschlossen*.

Online im Internet als PDF unter der URL: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2019/20190704_700MHZ_Raemung.html
(Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 77)

Bundesnetzagentur [BNetzA] (2015): *Rundenergebnisse Frequenzauktion 2015*

(Runde 181). Online im Internet als PNG unter der URL: <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/Telekommunikation/Frequenzen/OeffentlicheNetze/Mobilfunknetze/mobilfunknetze-node.html> (Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 73)

Bundesnetzagentur [BNetzA] (o. J.): *Strategische Aspekte zur Verfügbarkeit von*

Frequenzen für den Breitbandausbau in Deutschland. Online im Internet als PDF

unter der URL: <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/Telekommunikation/Frequenzen/Grundlagen/grundlagen-node.html>
(Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 74)

CEPT (2023): *CEPT. All about our organisation*. Online im Internet als PDF unter der URL:

<https://www.cept.org/files/1047/CEPT%20Leaflet%20April%202023.pdf>
(Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 24)

Deutscher Bundestag (2015): *Auktion der Funkfrequenzen im zweiten Quartal 2015* (Drucksache 18/4305). Online im Internet als PDF unter der URL: <https://www.bundestag.de/drucksachen> (Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 65)

Deutscher Städtetag et al. (2012): *Einführung der Mobilfunktechnik LTE und ihre Auswirkungen auf Funkmikrofone*. Online im Internet als PDF unter der URL: https://www.landkreistag.de/images/stories/pdf/breitband/lte_v4_12_2012.pdf (Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 59)

Die Medienanstalten – ALM GbR (2021): *Digitalisierungsbericht Video 2021*. Online im Internet als PDF unter der URL: https://www.die-medienanstalten.de/publikationen/digitalisierungsbericht-video?tx_news_pi1%5Bnews%5D=4966&cHash=d01bfc9aa8a91d2e71be1683396db46 (Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 91)

Dudenredaktion (o. J.): *Die Telemetrie*. Online im Internet unter der URL: <https://www.duden.de/rechtschreibung/Telemetrie> (Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 117)

DVB-T Projektbüro Saarland (2007): *DVB-T Leitfaden*. Online im Internet als PDF unter der URL: <https://docplayer.org/47166698-Dvb-t-leitfaden-task-force-dvb-t-deutschland-von-ard-und-zdf-eigenschaften-des-dvb-t-systems-dvb-t-empfang-in-der-praxis.html> (Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 39 und 40)

Ericsson (2022): *Ericsson Mobility Report November 2022*. Online im Internet als PDF unter der URL: <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/mobility-report/reports> (Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 88)

European Telecommunications Standards Institute [ETSI] (2021): *ETSI EN 300 422-1, V2.2.1 (2021-08), Wireless Microphones; Audio PMSE Equipment up to 3 GHz; Part 1: Audio PMSE Equipment up to 3 GHz; Harmonised Standard for access to radio spectrum*. Online im Internet als PDF unter der URL: https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/300400_300499/30042201/02.02.01_20/en_30042201v020201a.pdf (Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 153 und 173)

European Telecommunications Standards Institute [ETSI] (2021): *ETSI TR 102 546, V2.1.1 (2021-10), System Reference document (SRdoc); Technical characteristics for Audio PMSE equipment*. Online im Internet als PDF unter der URL: https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/102500_102599/102546/02.01.01_60/tr_102546v020101p.pdf (Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 155)

European Telecommunications Standards Institute [ETSI] (2017): *ETSI TR 103 450, V1.1.1 (2017-07), System Reference document; Technical characteristics and parameters for Wireless Multichannel Audio Systems (WMAS)*. Online im Internet als PDF unter der URL: https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/103400_103499/103450/01.01.01_60/tr_103450v010101p.pdf (Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 174 und 177)

Event Elevator (2011): *„Die Bundesregierung arbeitet massiv gegen die Interessen der Veranstaltungsbranche.“* Online im Internet unter der URL: <https://eventelevator.de/stories/die-bundesregierung-arbeitet-massiv-gegen-die-interessen-der-veranstaltungsbranche/> (Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 60 und 62)

Event Elevator (2011): *Digitale Dividende: „Viele kleinere Kultureinrichtungen werden schließen müssen.“* Online im Internet unter der URL: <https://eventelevator.de/storys/digitale-dividende-viele-kleinere-kultureinrichtungen-werden-schliessen-muessen/> (Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 63)

Federal Communications Commission [FCC] (2014): *Expanding the Economic and Innovation Opportunities of Spectrum Through Incentive Auctions.* Online im Internet als PDF unter der URL: <https://docs.fcc.gov/public/attachments/FCC-14-50A1.pdf> (Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 144)

Federal Communications Commission [FCC] (2017): *FCC Incentive Auction - Forward Auction, Auction 1002, Bidder Summary.* Online im Internet als PDF unter der URL: <https://docs.fcc.gov/public/attachments/DA-17-314A3.pdf> (Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 145)

Federal Communications Commission [FCC] (2017): *Incentive Auction Closing and Channel Reassignment Public Notice.* Online im Internet als PDF unter der URL: <https://docs.fcc.gov/public/attachments/DA-17-314A1.pdf> (Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 145)

Federal Republic of Germany (2020): *Proposal regarding a working document towards a preliminary draft new Report ITU-R M. [AUDIO PMSE USAGE] - Current situation and future assumptions regarding regional and global usage of Audio SAB/SAP, ENG, and PMSE in various frequency bands.* Online im Internet als Word-Datei unter der URL: <https://www.itu.int/md/R19-WP5A-C-0068/en> (Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 137 und 139, die Datei ist nicht frei abrufbar, der für die Ausarbeitung herangezogene Textausschnitt kann im digitalen Anhang eingesehen werden)

Fischer, G. und Ackermann, T. (2022): *Spectrum demand of professional wireless production tools (PMSE). Study report.* Online im Internet unter dem DOI: <https://doi.org/10.25593/978-3-96147-574-2> (Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 7, 10, 11, 14, 15 und 109)

Fischer, G. und Stratix B.V. (2017): *Digitisation of wireless microphones. The effects on spectrum use.* Online im Internet als PDF unter der URL: <https://www.stratix.nl/digitalisering-van-draadloze-microfoons/> (Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 12, 150, 151 und 152)

Goldmedia et al. (2021): *Perspektiven zur Nutzung des UHF-Bands 470-694 MHz nach 2030.* Online im Internet als PDF unter der URL: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/Studien/StudieZukunftUHFBand.html (Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 85, 89, 90, 93, 95, 96, 97, 99, 100, 101, 102, 103, 106, 107, 130, 134, 136, 138, 170 und 182)

IGVV et al. (2021): *Landkarte Veranstaltungswirtschaft.* Online im Internet als PDF unter der URL: <https://www.igvw.org/wp-content/uploads/Landkarte-der-Veranstaltungswirtschaft-2021.pdf> (Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 126)

ITU (o. J.): *About International Telecommunication Union (ITU)*.

Online im Internet unter der URL: <https://www.itu.int/en/about/Pages/default.aspx>
(Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 17)

ITU (2023): *Collection of the basic texts adopted by the Plenipotentiary Conference*.

Online im Internet als PDF unter der URL: https://www.itu.int/dms_pub/itu-s/opb/conf/S-CONF-PLEN-2022-PDF-E.pdf (Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 20)

ITU (2006): *Final Acts of the Regional Radiocommunication Conference for planning of the digital terrestrial broadcasting service in parts of Regions 1 and 3, in the frequency bands 174-230 MHz and 470-862 MHz (RRC-06)*. Online im Internet als PDF unter der URL:

<https://search.itu.int/history/HistoryDigitalCollectionDocLibrary/4.129.43.en.100.pdf>
(Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 46)

ITU (2008): *Final Acts WRC-07*.

Online im Internet als PDF unter der URL:
<https://www.itu.int/pub/R-ACT-WRC.8-2007>
(Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 51)

ITU (2012): *Final Acts WRC-12*.

Online im Internet als PDF unter der URL:
<https://www.itu.int/pub/R-ACT-WRC.9-2012>
(Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 69)

ITU (2016): *Final Acts WRC-15*.

Online im Internet als PDF unter der URL:
<https://www.itu.int/pub/R-ACT-WRC.12-2015>
(Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 71)

ITU (o. J.): *GE06 Agreement – The end of the transition period*.

Online im Internet als PDF unter der URL: https://www.itu.int/en/ITU-R/terrestrial/broadcast/plans/Documents/GE06-End%20of%20transition%20period_information%20document-Final%2025082015.pdf (Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 47)

ITU (o. J.): *ITU WRC Dubai 2023*.

Online im Internet unter der URL: <https://www.itu.int/wrc-23/>
(Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 1)

ITU (2022): *ITU-R FAQ on International Telecommunications (IMT)*.

Online im Internet als PDF unter der URL: <https://www.itu.int/en/ITU-R/Documents/ITU-R-FAQ-IMT.pdf> (Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 49)

ITU (o. J.): *The ITU Family*. Online im Internet unter der URL:

<https://www.itu.int/hub/membership/itu-family/>
(Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 18)

ITU (o. J.): *What does ITU do?* Online im Internet unter der URL:

<https://www.itu.int/en/about/Pages/whatwedo.aspx>
(Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 19)

ITU (2022): *World Radiocommunication Conference 2023 (WRC-23). Agenda and relevant resolutions*. Online im Internet als PDF unter der URL: <https://www.itu.int/wrc-23/booklet-wrc-23/> (Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 2)

ITU-R (2013): *Spectrum limit masks for digital terrestrial television broadcasting*. Online im Internet als PDF unter der URL: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/bt/R-REC-BT.1206-1-201301-S!!PDF-E.pdf (Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 154)

Jung, S. und Kleibrink, J. (2018): *Digitale Dividende. Ergebnisse der Nachbefragung zum Digitalisierungsindex*. Online im Internet als PDF unter der URL: <https://www.telekom.com/de/medien/medieninformationen/detail/digitalisierung-ist-kein-selbstzweck-529330> (Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 43)

Kaminski, P. (2016): *Zukünftige Änderungen bei der Frequenzuteilung*. Online im Internet unter der URL: <https://www.production-partner.de/story/zukuenftige-aenderungen-bei-der-frequenzuteilung/> (Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 72 und 76)

Künzi, D. (2022): *Report on spectrum requirements for Audio PMSE*. Online im Internet als PDF unter der URL: <https://apwpt.org/apwpt-information/> (Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 185 und 186)

LS telcom AG und VVA S.r.l. (2022): *Study on the use of the sub-700 MHz band (470-694 MHz)*. Online im Internet als PDF unter dem DOI: <https://data.europa.eu/doi/10.2759/94757> (Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 135, 143, 171, 175, 179 und 180)

Ministerium für Inneres und Kommunales des Landes Nordrhein-Westfalen [MIK NRW] (2012): *Sicherheit von Großveranstaltungen im Freien*. Online im Internet als PDF unter der URL: https://www.im.nrw/sites/default/files/documents/2017-11/grossveranstaltungen_orientierungsrahmen_druckversion.pdf (Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 124)

PMSE-xG Project Office (2017): *White Paper PMSE and 5G*. Online im Internet als PDF unter der URL: <http://pmse-xg.research-project.de/publications.html> (Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 157, 167 und 169)

Schrewe, H.-J. et al. (2022): *Studie zur Bedarfsermittlung des Breitbandpektrums der BOS in Breitbandmobilfunknetzen*. Online im Internet als PDF unter der URL: https://www.bdbos.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Publikationen/220511_frequenzbedarfsstudie.html (Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 98)

Sennheiser electronic GmbH & Co. KG (o. J.): *Sennheiser Digital 6000 Drahtlossystem überzeugt bei Rihannas Super Bowl LVII-Halbzeitauftritt*. Online im Internet unter der URL: <https://de-de.sennheiser.com/newsroom/sennheiser-digital-6000-drahtlossystem-ueberzeugt-bei-rihannas-super-bowl-lvii-halbzeitauftritt#> (Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 147)

Sennheiser electronic GmbH & Co. KG (2023): *WMAS system check by frequency coordinators – Interview*. Online im Internet als PDF unter der URL: <https://de-de.sennheiser.com/wmas-interview-frequency-coordinators> (Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 178 und 181)

Sennheiser electronic GmbH & Co. KG und Nokia OYJ (2020): *Low Latency 5G for Professional Audio Transmission*. Online im Internet als PDF unter der URL: <https://www.bell-labs.com/institute/white-papers/low-latency-5g-professional-audio-transmission/#gref> (Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166 und 168)

SOS – Save Our Spectrum (2018): *Frequenzen für Menschen – jederzeit, überall und störungsfrei*. Online im Internet als PDF unter der URL: https://www.sos-save-our-spectrum.org/wp-content/uploads/2019/09/181112_SOS-Broschure_final_web.pdf (Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 43)

Statista GmbH (o. J.): *Definition Fehlergrenze*. Online im Internet unter der URL: <https://de.statista.com/statistik/lexikon/definition/56/fehlergrenze/> (Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 128)

Statista GmbH (o. J.): *Definition Konfidenzniveau*. Online im Internet unter der URL: <https://de.statista.com/statistik/lexikon/definition/75/konfidenzniveau/> (Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 129)

Vodafone GmbH (2020): *Stellungnahme der Vodafone GmbH zum Frequenzkompass 2020*. Online im Internet als PDF unter der URL: <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/Telekommunikation/Frequenzen/OeffentlicheNetze/Mobilfunknetze/mobilfunknetze-node.html> (Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 86)

Weiss, J. (2022): *Lokales Line-up, Nachhaltigkeit, Diversität: Das erwartet Sie beim Lollapalooza 2022 in Berlin*. Online im Internet unter der URL: <https://www.tagesspiegel.de/berlin/lokales-line-up-nachhaltigkeit-diversitaet-das-erwartet-sie-beim-lollapalooza-2022-in-berlin-8661430.html> (Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 4)

Wilmsmann, M. (2012): *Video: Erste Reaktionen auf die 2. Digitale Dividende*. Online im Internet unter der URL: <https://eventelelevator.de/stories/video-erste-reaktionen-auf-die-2-digitale-dividende/> (Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 70)

Wilzeck, A. (2023): *Technical Paper on Frequency Coordination*. Online im Internet als PDF unter der URL: <https://en-uk.sennheiser.com/newsroom/technical-paper#> (Letzter Zugriff am 19.08.2023, Fußnote 172, 176 und 183)

Sonstige Quellen:

Shure Incorporated (2020): *Master Class Drahtlostechnik.*
Foliensatz zur Webinar-Reihe, Folie 125 (Fußnote 9).

Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 1 (S. 7): *Taschensender in einer Perücke eingearbeitet.*

Quelle: Shure Distribution GmbH (o. J.): *Der Axient Digital Micro-Taschensender im Detail.*

Online im Internet unter der URL: <https://www.shure.com/de-DE/performance-production/louder/inside-the-axient-digital-micro-bodypack>

(Letzter Zugriff am 20.08.2023)

Abbildung 2 (S. 7): *Moderatorin mit zwei Taschensendern am Gürtel.*

Quelle: Sennheiser electronic GmbH & Co. KG (2019): *Eurovision Song Contest 2019*

„Dare to Dream.“ Online im Internet unter der URL: <https://de-de.sennheiser.com/newsroom/eurovision-song-contest-2019-dare-to-dream-241657#>

(Letzter Zugriff am 20.08.2023)

Abbildung 3 (S. 18): *Aufteilung des Frequenzspektrums zwischen den Mobilfunkanbietern im FDD-Verfahren nach der 1. Digitalen Dividende.*

Eigene Erstellung: Quellen für die Daten in der Grafik: Bundesnetzagentur (2013):

Frequenzvergabeverfahren 2010. Online im Internet unter der URL:

https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/Telekommunikation/Breitband/MobilesBreitband/Frequenzauktion/Z_Auktion2010.html

(Letzter Zugriff am 20.08.2023)

und Bundesnetzagentur (2009): *Entscheidung der Präsidentenkammer der Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post*

und Eisenbahnen vom 12. Oktober 2009. Online im Internet als PDF unter der URL:

https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/Telekommunikation/Breitband/MobilesBreitband/Frequenzauktion/Z_Auktion2010.html (Letzter Zugriff 20.08.23, S. 155)

Abbildung 4 (S. 21): *Aufteilung des Frequenzspektrums zwischen den Mobilfunkanbietern im FDD-Verfahren nach der 2. Digitalen Dividende.*

Eigene Erstellung: Quellen für die Daten in der Grafik: Bundesnetzagentur (o. J.):

Übersicht Mobilfunkspektrum nach der Auktion - Zuordnung ab 01.01.2017 gültig.

Online im Internet als PDF unter der URL: <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/Telekommunikation/Frequenzen/OeffentlicheNetze/Mobilfunknetze/mobilfunknetze-node.html>

(Letzter Zugriff am 20.08.2023)

und Bundesnetzagentur (2015): *Präsidentenkammerentscheidung – Auktion 2015.*

Online im Internet als PDF unter der URL: <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/Telekommunikation/Frequenzen/OeffentlicheNetze/Mobilfunknetze/mobilfunknetze-node.html>

(Letzter Zugriff am 20.08.2023, S. 180)

Abbildung 5 (S. 38): *Umfrageergebnisse zur Bedarfsentwicklung von Drahtlostechnik.*

Eigene Erstellung: Das Diagramm basiert auf den Auswertungsergebnissen der Umfrage.

Die genauen Details können dem Hauptdatensatz entnommen werden (siehe Anhang 11).

Abbildung 6 (S. 41): *Umfrageergebnisse für die ausgewählte Kategorie „vorrangige Nutzung.“*

Eigene Erstellung: Das Diagramm basiert auf den Auswertungsergebnissen der Umfrage.

Die genauen Details können dem Hauptdatensatz entnommen werden (siehe Anhang 11).

Abbildung 7 (S. 42): *Umfrageergebnisse anteiliger Technikbestand In-Ear-Monitoring und Funkmikrofone im Bereich 470 bis 694 MHz.* Eigene Erstellung: Das Diagramm basiert auf den Auswertungsergebnissen der Umfrage. Die genauen Details können dem Hauptdatensatz entnommen werden (siehe Anhang 11).

Abbildung 8 (S. 43): *Umfrageergebnisse für die ausgewählte Kategorie „vorrangige Nutzung.“* Eigene Erstellung: Das Diagramm basiert auf den Auswertungsergebnissen der Umfrage. Die genauen Details können dem Hauptdatensatz entnommen werden (siehe Anhang 11).

Abbildung 9 (S. 45): *Umfrageergebnisse anteiliger Technikbestand Intercom im Bereich 470 bis 694 MHz.* Eigene Erstellung: Das Diagramm basiert auf den Auswertungsergebnissen der Umfrage. Die genauen Details können dem Hauptdatensatz entnommen werden (siehe Anhang 11).

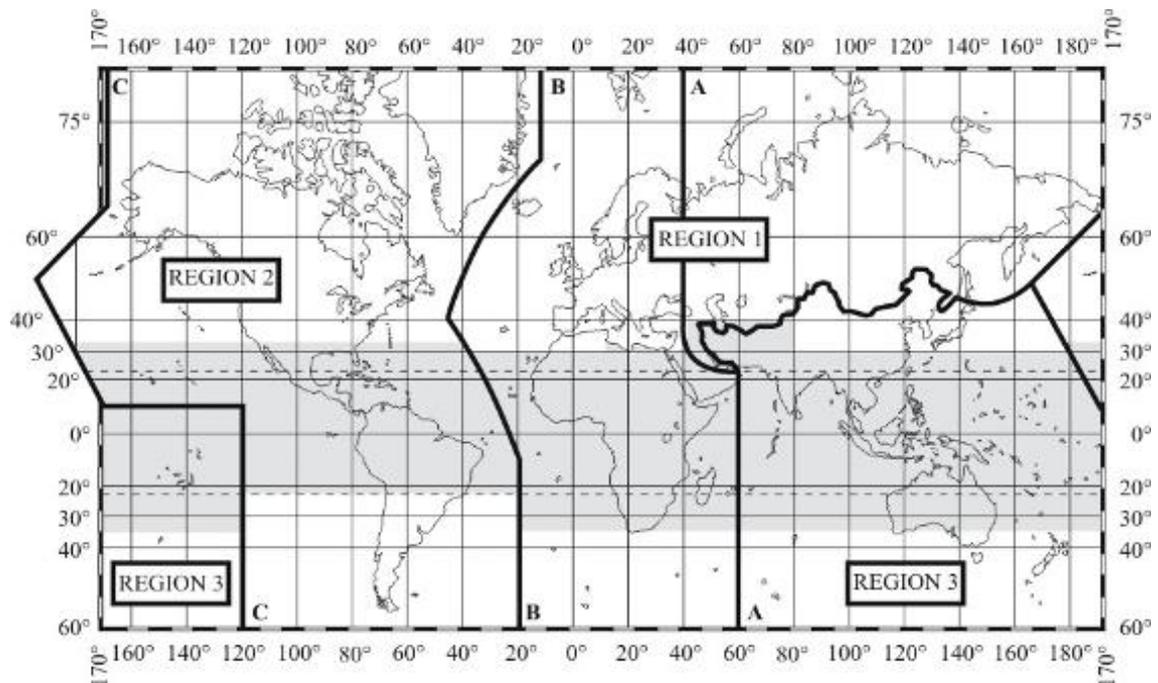
Abbildung 10 (S. 76): *Versuchsaufbau Sennheiser und Nokia, Nutzung einer 5G-Infrastruktur für eine Audio-Anwendung.* Quelle: Sennheiser electronic GmbH & Co. KG und Nokia OYJ (2020): *Low Latency 5G for Professional Audio Transmission.* Online im Internet als PDF unter der URL: <https://www.bell-labs.com/institute/white-papers/low-latency-5g-professional-audio-transmission/#gref> (Letzter Zugriff am 20.08.2023, S. 8)

Anhang

Anhang 1	Verteilung der ITU-Regionen weltweit	i
Anhang 2	Erwartetes Wachstum der weltweiten mobilen Datennutzung und Entwicklung des anteiligen Segments Video	i
Anhang 3	Frequenzzuteilungen für Funkmikrofone im	ii
	Bereich 470 – 694 MHz von 2016 bis 2019	
Anhang 4	Gegenüberstellung minimaler Spektrumsbedarf	iii
	für Audio-PMSE und tatsächlich verfügbare Frequenzkapazitäten zwischen 470 und 694 MHz	
Anhang 5	Fragebogen der durchgeführten Umfrage	iv
Anhang 6	Duplikat der Online-Umfrage	viii
Anhang 7	Auswertung der Umfrage	viii
Anhang 8	Beispielhafte Berechnung der Fehlergrenze	xxvii
	für die Fragestellung zur Bedarfsentwicklung	
Anhang 9	Wirkungsprinzip eines Zirkulators/Isolators	xxx
	in einem Funksystem	
Anhang 10	Exemplarische Topologie eines WMAS-Systems	xxx
Anhang 11	Digitaler Zugang zu den Rohdaten der Umfrage	xxxi
	und zu einer Zusammenstellung von verwendeten Quellen	

Anhang 1:

Verteilung der ITU-Regionen weltweit:

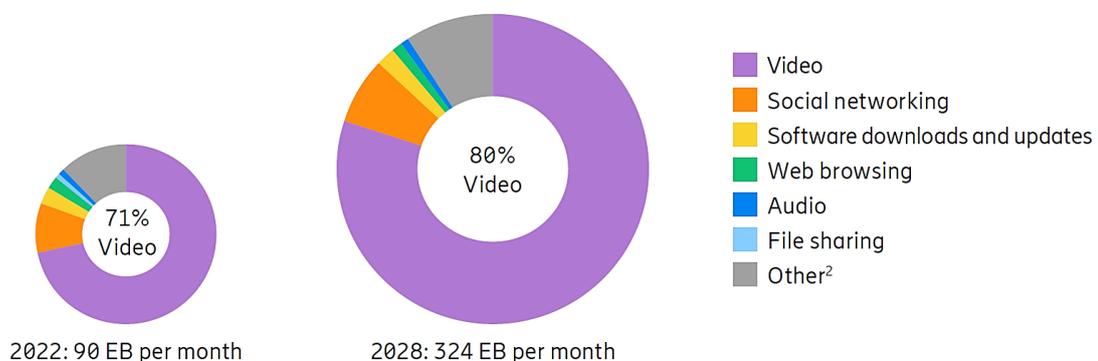


Quelle: Bundesamt für Kommunikation BAKOM (2012): *Weltfunkkonferenz 2012: Aktualisiertes internationales Abkommen zur Frequenznutzung*. Grafik online im Internet unter der URL: <https://www.bakom.admin.ch/bakom/de/home/das-bakom/medieninformationen/bakom-infomailing/bakom-infomailing-30/weltfunkkonferenz-2012.html> (Letzter Zugriff am 06.08.2023)

Rückkehr zur Textpassage → S. 10, S. 15

Anhang 2:

Erwartetes Wachstum der weltweiten mobilen Datennutzung und Entwicklung des anteiligen Segments Video:



Quelle: Ericsson (2022): *Ericsson Mobility Report November 2022*. Online im Internet als PDF unter der URL: <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/mobility-report/reports> (Letzter Zugriff am 06.08.2023, S. 25)

Rückkehr zur Textpassage → S. 25

Anhang 3:

Frequenzzuteilungen für Funkmikrofone im Bereich 470 – 694 MHz von 2016 bis 2019:

	2016	2017	2018	2019
Neuzuteilungen	1.997	1.420	1.136	1.038
Rückgaben/Verzichte	521	252	194	283
Zuwachs an Zuteilungen	1.476	1.168	942	755
Zuteilungen in Summe⁹¹	15.908	17.076	18.018	18.773
<i>Schätzung betriebsfähiger Mikrofone</i>	<i>79.540</i>	<i>85.380</i>	<i>90.090</i>	<i>93.865</i>

Kurzer Kommentar: Die Zahlen für die Zuteilungen basieren auf Angaben der Bundesnetzagentur. Wie viele betriebsfähige Mikrofone im Kontext der Zuteilungen existieren, konnte nur geschätzt werden. Die Goldmedia GmbH Strategy Consulting nimmt an, dass pro Empfangsanlage zirka fünf Mikrofone angesetzt werden können. Dementsprechend ergeben sich die geschätzten Zahlen in der Tabelle. Darüber hinaus soll eine hohe Dunkelziffer an Funkmikrofonen bestanden haben, für die keine Zuteilungen vorlagen. Die Erfassung endet 2019, da ab 2020 die Allgemein-zuteilung wirksam wurde.

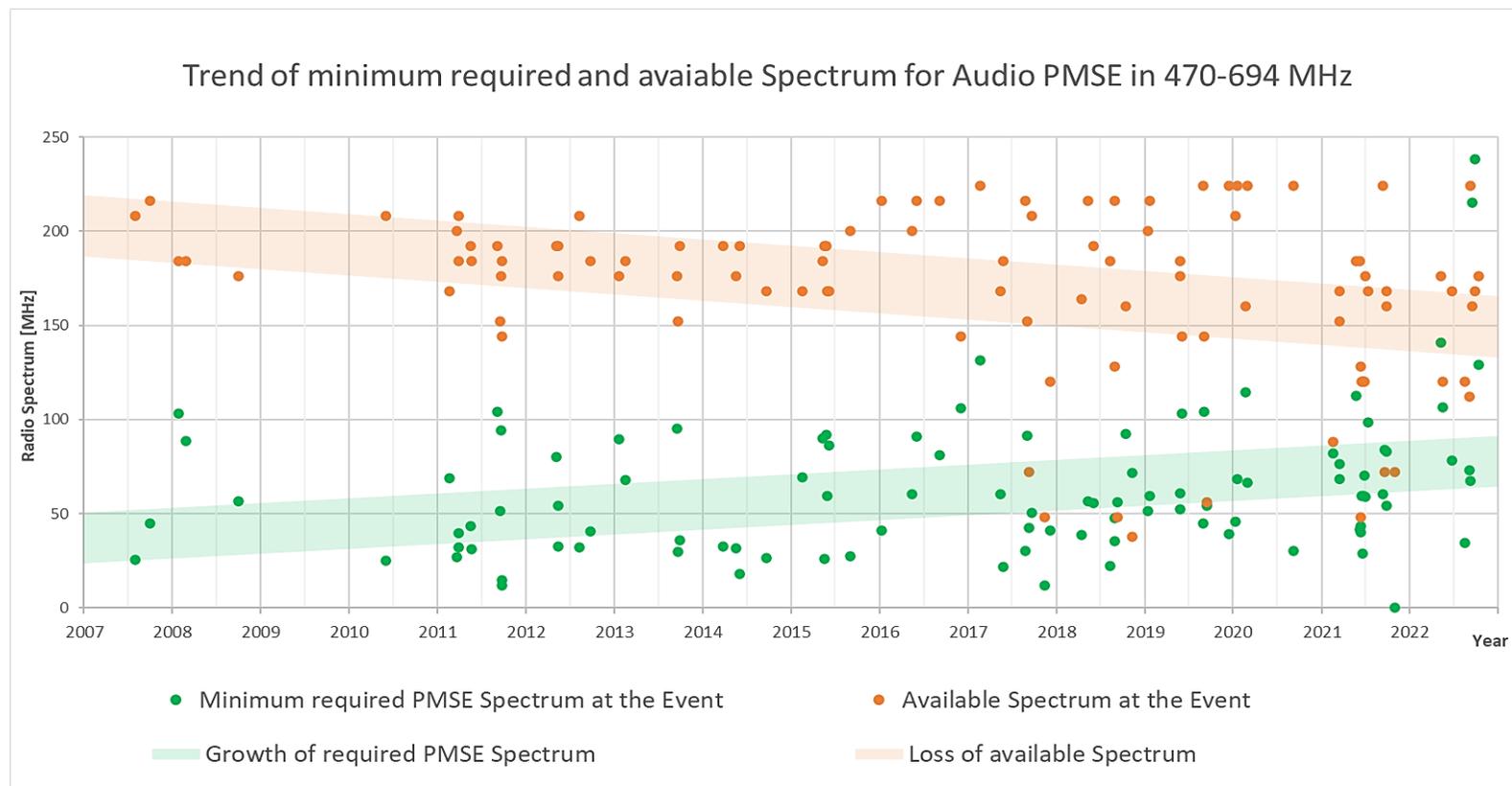
Quelle: Goldmedia et al. (2021): *Perspektiven zur Nutzung des UHF-Bands 470-694 MHz ab 2030*. Online im Internet als PDF unter der URL:

https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/Studien/StudieZukunftUHFBand.html (Letzter Zugriff am 06.08.2023, S. 69)

Rückkehr zur Textpassage → S. 28, S. 30, S. 38, S. 61

Anhang 4:

Gegenüberstellung minimaler Spektrumsbedarf für Audio-PMSE und tatsächlich verfügbare Frequenzkapazitäten zwischen 470 und 694 MHz:



Kommentar: Die Messungen stammen weltweit von verschiedenen Veranstaltungen. Der Großteil geht auf Veranstaltungen zurück, die im europäischen Raum stattgefunden haben.

Quelle: APWPT-Verband (2022): *Koordinierung und Beobachtung von Funkfrequenzen*.
Online im Internet als PDF unter der URL: <https://pmocre.info/> (Letzter Zugriff am 07.08.2023, S. 19)

Rückkehr zur Textpassage → S. 32

Anhang 5:

Fragebogen der durchgeführten Umfrage:

1. In welche der folgenden Kategorien würden Sie Ihr Unternehmen/Ihre Organisation einordnen? Mehrfachnennungen sind möglich.

- Dienstleister für Veranstaltungstechnik
- TV-Produktionsunternehmen
- Theater
- Konzerthaus/Opernhaus
- Museum/Ausstellung
- Messe
- Kongresshaus/Tagungsstätte
- Hotel mit Tagungsbereich
- Bildungseinrichtung
- Betreiber von Veranstaltungsflächen
- [Freifeld-Nennung]

2. Wie hat sich Ihr Bedarf an funktechnischen Lösungen für Veranstaltungen in den letzten acht Jahren entwickelt?

- Der Bedarf ist gestiegen
- Der Bedarf ist gleichgeblieben
- Der Bedarf ist gesunken

3. Welche funktechnischen Systeme setzen Sie zwischen 470 und 694 MHz bei Veranstaltungen ein? Mehrfachnennungen sind möglich.

- Funkmikrofone
- In-Ear-Monitoring
- Intercom
- In diesem Bereich setzen wir keine Funksysteme ein
- [Freifeld-Nennung]

4. Welche der unten genannten Frequenzbereiche nutzen Sie für den Betrieb von Funkmikrofonen und In-Ear-Monitoring? Ordnen Sie die Bereiche bitte nach Priorität ein (vorrangige, regelmäßige, seltene oder keine Nutzung). Mehrfachnennungen sind möglich.

- 30 – 40 MHz
- 174 – 230 MHz (VHF)
- 470 – 608 MHz und 614 – 698 MHz
- 736 – 753 MHz
- 823 – 832 MHz und 863 – 865 MHz
- 1.350 MHz – 1.400 MHz
- 1.452 MHz – 1.525 MHz
- 1.785 – 1.805 MHz
- 1.880 – 1.900 MHz (DECT)
- 2,4 GHz
- [Freifeld-Nennung]

5. Wie viel Prozent Ihres aktuellen Bestands an Funkmikrofonie und In-Ear-Technik befindet sich im Frequenzbereich 470 – 694 MHz?

- 0 %, wir besitzen keine Systeme in diesem Bereich
- 1 – 20 %
- 20 – 40 %
- 40 – 60 %
- 60 – 80 %
- 80 – 99 %
- 100 %, unser gesamter Bestand liegt in diesem Bereich
- Wir haben generell keinen eigenen Bestand an Funkmikrofonen/In-Ears

6. Welche der unten genannten Frequenzbereiche nutzen Sie für den Betrieb von Intercom-Systemen? Ordnen Sie die Bereiche bitte nach Priorität ein (vorrangige, regelmäßige, seltene oder keine Nutzung). Mehrfachnennungen sind möglich.

- 68 – 87,5 MHz
- 146 – 174 MHz (VHF)
- 410 – 430 MHz
- 440 – 470 MHz, 446 MHz (PMR446)
- 470 – 608 MHz und 614 – 694 MHz
- 823 – 832 MHz
- 862 – 870 MHz
- 1,8/1,9 GHz (DECT)
- 2,4 GHz
- 5 GHz
- [Freifeld-Nennung]

7. Wie viel Prozent Ihres aktuellen Bestands an Intercom-Systemen befindet sich im Frequenzbereich 470 – 694 MHz?

- 0 %, wir besitzen keine Systeme in diesem Bereich
- 1 – 20 %
- 20 – 40 %
- 40 – 60 %
- 60 – 80 %
- 80 – 99 %
- 100 %, unser gesamter Bestand liegt in diesem Bereich
- Wir haben generell keinen eigenen Intercom-Bestand

8. Haben Sie in der Vergangenheit bei einer Veranstaltung bewusst weniger Funktechnik eingesetzt, weil Spektrumsengpässe zu erwarten waren/vorlagen?

- Nein, bisher waren keine Einschränkungen nötig
- Ja, es mussten schon Einschränkungen vorgenommen werden
- Dazu kann ich keine Angabe treffen

Infotext: Bevor es weiter geht ein kurzer Hinweis:

Die nächsten beiden Fragen stellen frei gewählte Fallbeispiele dar. Sie sind hypothetisch zu verstehen. Die aufgeführten Szenarien gehören in der Form aktuell nicht zur nationalen Debatte. Die gestellten Fragen beruhen auf einem reinen Forschungsinteresse.

Um fortzufahren, klicken Sie unten rechts einfach auf „Weiter.“

9. Angenommen, im Rahmen einer 3. Digitalen Dividende wird beschlossen, dass der Frequenzbereich 614 – 694 MHz für Veranstaltungen zukünftig nicht mehr nutzbar sein soll: Gibt es Veranstaltungsformate, die Sie betreuen, die aufgrund dieser Spektrumseinschränkung funktechnisch nicht mehr realisierbar wären?

- Nein, wir könnten voraussichtlich unsere Veranstaltungen wie bisher umsetzen
- Ja, es gibt Veranstaltungen, die absehbar nicht mehr realisierbar wären
- Dazu kann ich keine Angabe treffen

9.1 Bitte benennen Sie unten im Textfeld kurz die betroffene(n) Veranstaltungsart(en), die funktechnisch nicht mehr umsetzbar wäre(n).

- [Freifeld-Nennung]

10. Ähnliches Szenario, größerer Frequenzraum: Angenommen, im Rahmen einer 3. Digitalen Dividende wird beschlossen, dass der Frequenzbereich 470 – 694 MHz für Veranstaltungen zukünftig nicht mehr nutzbar sein soll: Gibt es Veranstaltungsformate, die Sie betreuen, die aufgrund dieser Spektrumseinschränkung funktechnisch nicht mehr realisierbar wären?

- Nein, wir könnten voraussichtlich unsere Veranstaltungen wie bisher umsetzen
- Ja, es gibt Veranstaltungen, die absehbar nicht mehr realisierbar wären
- Dazu kann ich keine Angabe treffen

10.1 Bitte benennen Sie unten im Textfeld kurz die betroffene(n) Veranstaltungsart(en), die funktechnisch nicht mehr umsetzbar wäre(n).

- [Freifeld-Nennung]

11. Wenn perspektivisch weniger Frequenzen für In-Ear-Monitoring, Funkmikrofonie und Intercom zur Verfügung stehen sollten, könnten Sie sich vorstellen wieder vermehrt auf kabelgebundene Lösungen zurückzugreifen? Bitte begründen Sie Ihre Antwort kurz.

- [Freifeld-Erläuterung]

12. Vielen Dank bis hierhin – eine letzte Frage noch: Wie sind Sie auf diese Umfrage aufmerksam geworden? Mehrfachnennungen sind möglich.

- Verband
- Social Media
- Direkt-Mailing
- Persönliche Ansprache
- Kollegin/Kollege
- [Freifeld-Nennung]

Möchten Sie noch etwas ergänzen oder hinzufügen? Dann nutzen Sie gerne das Kommentarfeld unten. Um die Umfrage abzuschließen, klicken Sie unten rechts auf den Button „Fertig.“

- [Freifeld-Erläuterung]

Rückkehr zur Textpassage → S. 33

Anhang 6:

Duplikat der Online-Umfrage:

Es handelt sich um eine Probeversion, die frei einsehbar ist und getestet werden kann. Abrufbar unter folgendem Link:

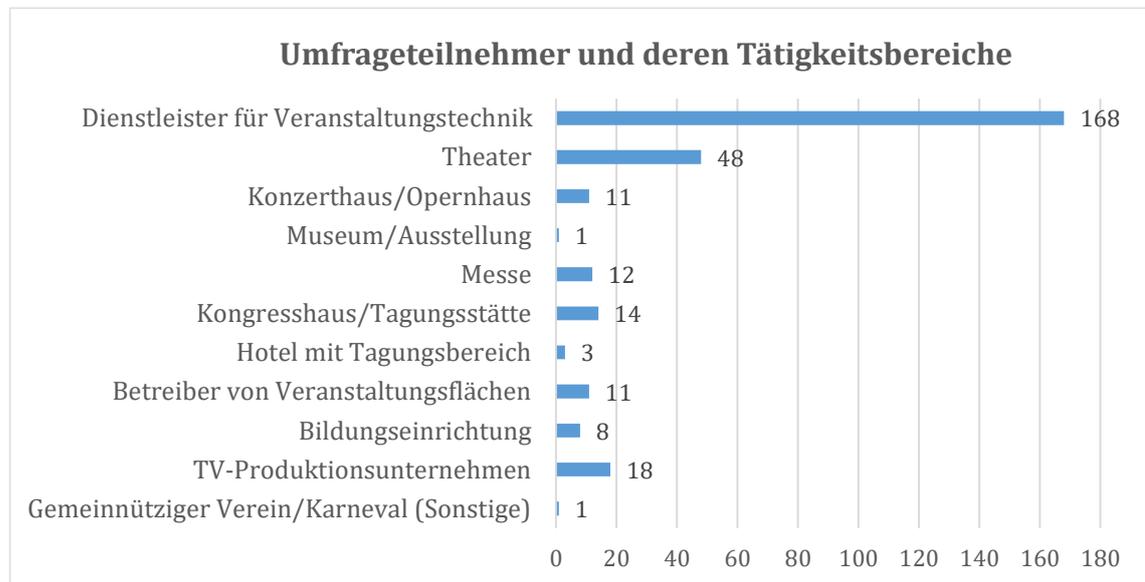
<https://www.empirio.de/umfragen/-pre-test-mt-frequenznutzung-und-bedarf-in-der-veranstaltungsbranche-kopie>

Rückkehr zur Textpassage → S. 35

Anhang 7:

Auswertung der Umfrage:

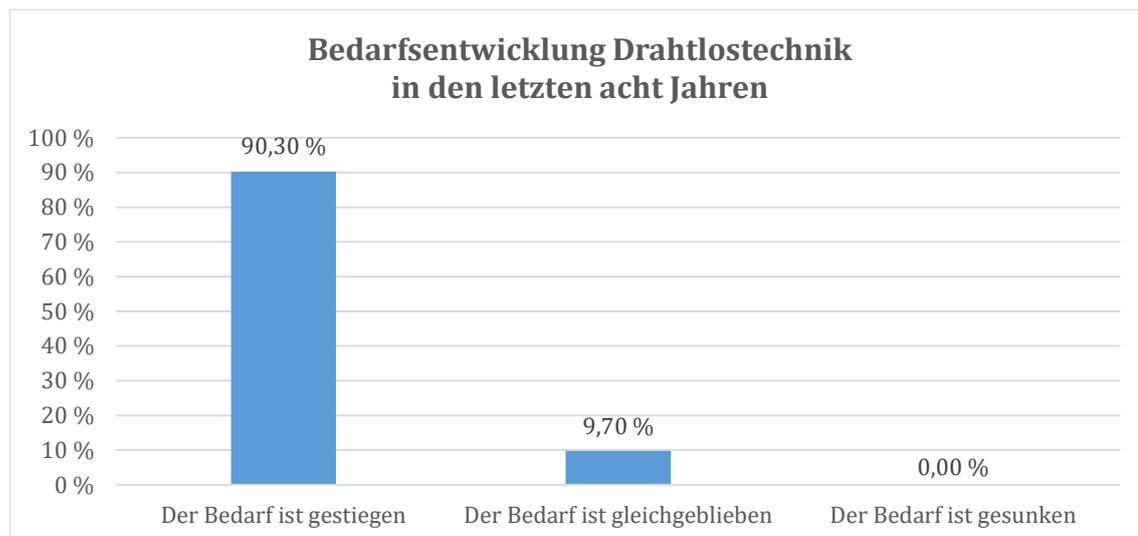
1. In welche der folgenden Kategorien würden Sie Ihr Unternehmen/Ihre Organisation einordnen? Mehrfachnennungen sind möglich.



Tätigkeitsbereiche der Teilnehmer:*	Absolut:	Prozent:
Dienstleister für Veranstaltungstechnik	168	70,89 %
Theater	48	20,25 %
Konzerthaus/Opernhaus	11	4,64 %
Museum/Ausstellung	1	0,42 %
Messe	12	5,06 %
Kongresshaus/Tagungsstätte	14	5,91 %
Hotel mit Tagungsbereich	3	1,27 %
Betreiber von Veranstaltungsflächen	11	4,64 %
Bildungseinrichtung	8	3,38 %
TV-Produktionsunternehmen	18	7,59 %
Gemeinnütziger Verein/Karneval (Sonstige)	1	0,42 %

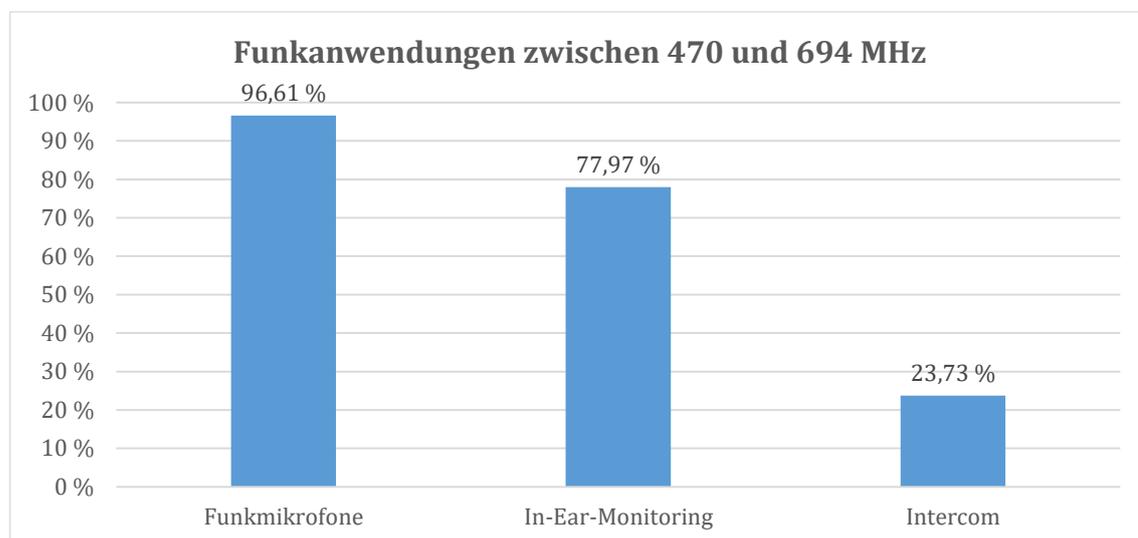
*Es konnten mehrere Tätigkeitsfelder angegeben werden, daher übersteigt die Gesamtgröße 100 %.

2. Wie hat sich Ihr Bedarf an funktechnischen Lösungen für Veranstaltungen in den letzten acht Jahren entwickelt?



Bedarfsentwicklung der Teilnehmer:	Absolut:	Prozent:
Der Bedarf ist gestiegen	214	90,30 %
Der Bedarf ist gleichgeblieben	23	9,70 %
Der Bedarf ist gesunken	0	0,00 %

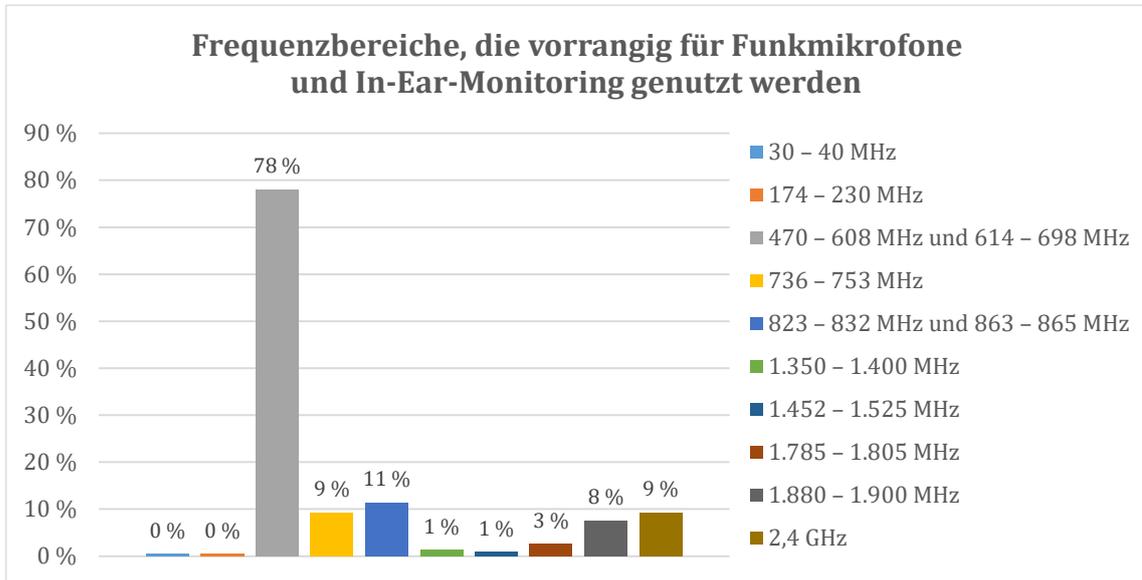
3. Welche funktechnischen Systeme setzen Sie zwischen 470 und 694 MHz bei Veranstaltungen ein? Mehrfachnennungen sind möglich.



Funksysteme zwischen 470 und 694 MHz:*	Absolut:	Prozent:
Funkmikrofone	171	96,61 %
In-Ear-Monitoring	138	77,97 %
Intercom	42	23,73 %
Telemetrie (Sonstige)	1	0,56 %
Kein Einsatz von Funksystemen	6	3,39 %

*Es konnten mehrere Kategorien ausgewählt werden. Zudem bitte beachten, dass der Datensatz reduziert ist (177 Antworten insgesamt).

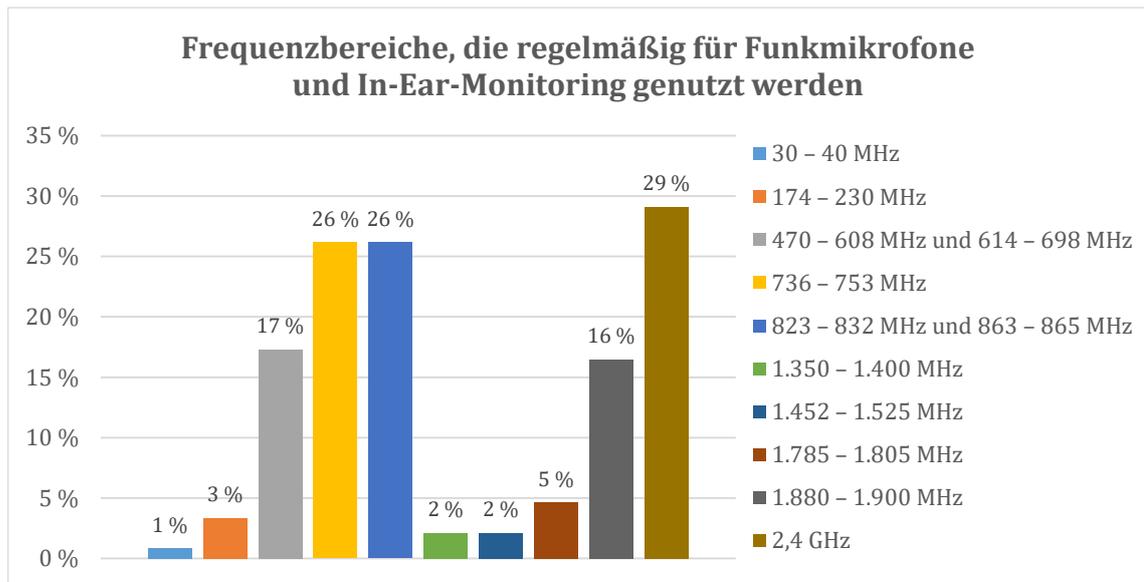
4. Welche der unten genannten Frequenzbereiche nutzen Sie für den Betrieb von Funkmikrofonen und In-Ear-Monitoring? Ordnen Sie die Bereiche bitte nach Priorität ein (vorrangige, regelmäßige, seltene oder keine Nutzung). Mehrfachnennungen sind möglich.



Vorrangige Nutzung:*	Absolut:	Prozent:
30 – 40 MHz	1	0,42 %
174 – 230 MHz	1	0,42 %
470 – 608 MHz und 614 – 698 MHz	185	78,06 %
736 – 753 MHz	22	9,28 %
823 – 832 MHz und 863 – 865 MHz	27	11,39 %
1.350 – 1.400 MHz	3	1,27 %
1.452 – 1.525 MHz	2	0,84 %
1.785 – 1.805 MHz	6	2,53 %
1.880 – 1.900 MHz	18	7,59 %
2,4 GHz	22	9,28 %

*Die Kategorien (zum Beispiel vorrangige Nutzung) konnten mehrmals vergeben werden. Es war keine Pflicht alle Nutzungsklassen bei der Beantwortung zu verwenden. Wenn ein Unternehmen bestimmte Frequenzen vorrangig, regelmäßig oder gar nicht nutzt, konnten diese Angaben entsprechend getroffen werden. Die in diesem Fall verbliebende Kategorie „selten“ musste nicht vergeben werden.

Die Beschriftungen innerhalb des Säulendiagramms sind aus Übersichtsgründen gerundet worden.

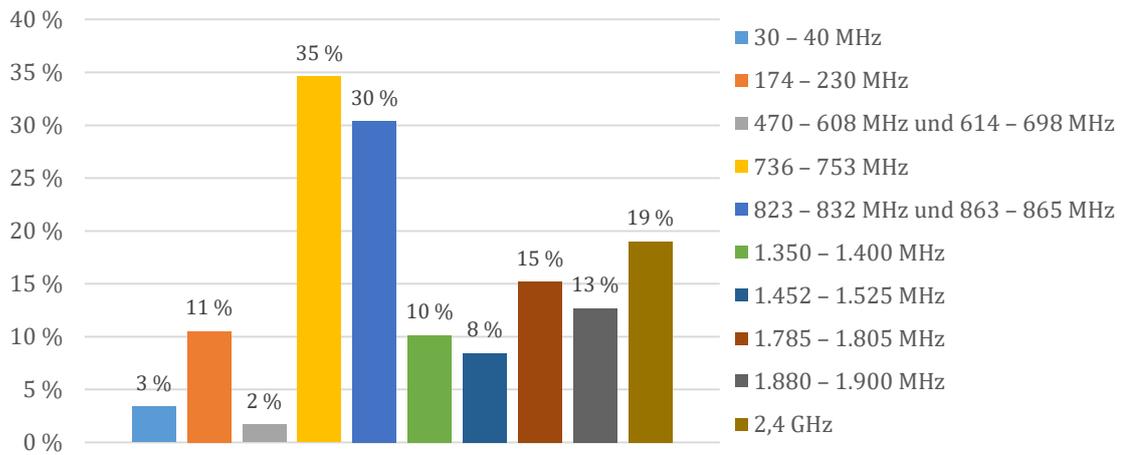


Regelmäßige Nutzung:*	Absolut:	Prozent:
30 – 40 MHz	2	0,84 %
174 – 230 MHz	8	3,38 %
470 – 608 MHz und 614 – 698 MHz	41	17,30 %
736 – 753 MHz	62	26,16 %
823 – 832 MHz und 863 – 865 MHz	62	26,16 %
1.350 – 1.400 MHz	5	2,11 %
1.452 – 1.525 MHz	5	2,11 %
1.785 – 1.805 MHz	11	4,64 %
1.880 – 1.900 MHz	39	16,46 %
2,4 GHz	69	29,11 %

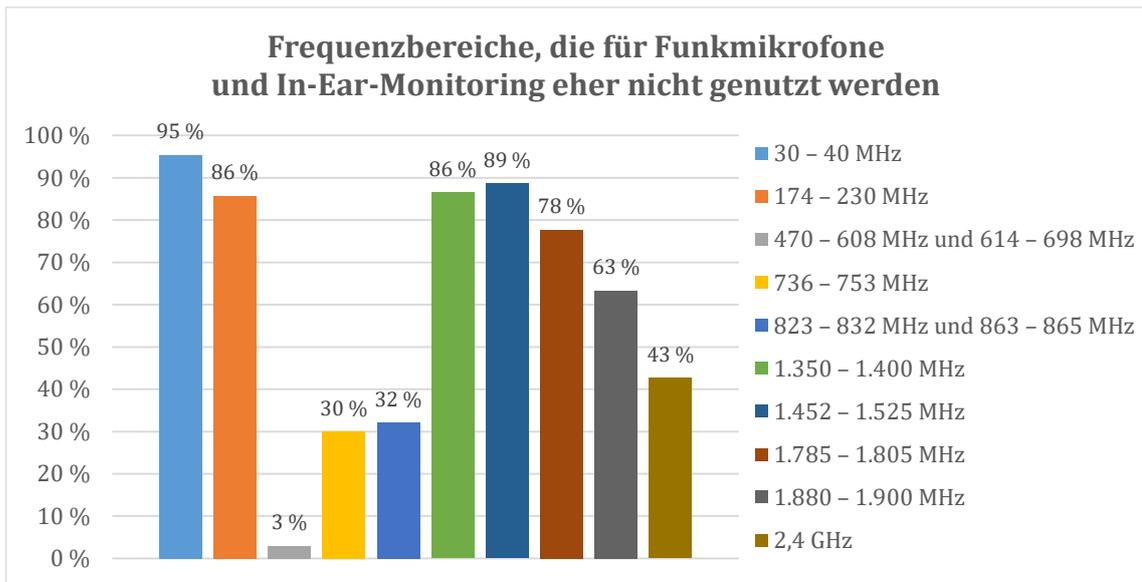
*Im Freitextfeld wurde von einem Unternehmen noch der Frequenzbereich bei 5 GHz genannt. Der Betrieb nutzt diesen regelmäßig für Tischmikrofone.

Ein weiterer Teilnehmer erläuterte noch, dass er regelmäßig für Funkmikrofone den Bereich 230 – 250 MHz nutzt. Laut aktueller Rechtslage in Deutschland (VVnöML und Frequenzplan) ist dieser Nutzungsabschnitt für diese Anwendung nicht zulässig. Es wird sich vermutlich um eine fehlerhafte Angabe handeln.

Frequenzbereiche, die selten für Funkmikrofone und In-Ear-Monitoring genutzt werden



Seltene Nutzung:	Absolut:	Prozent:
30 – 40 MHz	8	3,38 %
174 – 230 MHz	25	10,55 %
470 – 608 MHz und 614 – 698 MHz	4	1,69 %
736 – 753 MHz	82	34,60 %
823 – 832 MHz und 863 – 865 MHz	72	30,38 %
1.350 – 1.400 MHz	24	10,13 %
1.452 – 1.525 MHz	20	8,44 %
1.785 – 1.805 MHz	36	15,19 %
1.880 – 1.900 MHz	30	12,66 %
2,4 GHz	45	18,99 %

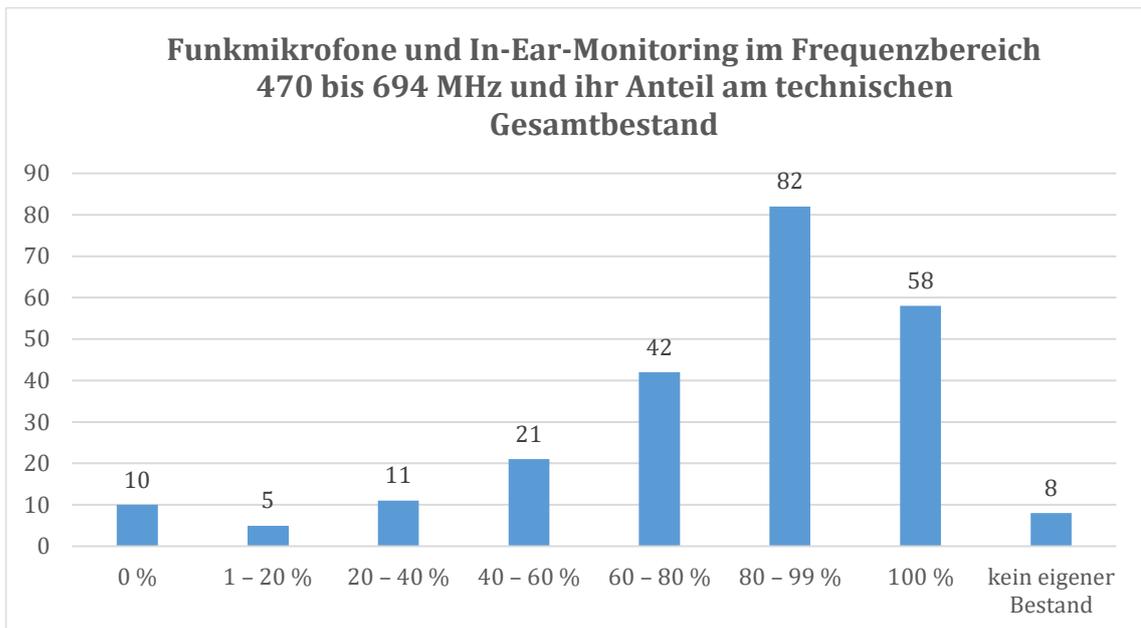


Keine Nutzung:	Absolut:	Prozent:
30 – 40 MHz	226	95,36 %
174 – 230 MHz	203	85,65 %
470 – 608 MHz und 614 – 698 MHz	7	2,95 %
736 – 753 MHz	71	29,96 %
823 – 832 MHz und 863 – 865 MHz	76	32,07 %
1.350 – 1.400 MHz	205	86,50 %
1.452 – 1.525 MHz	210	88,61 %
1.785 – 1.805 MHz	184	77,64 %
1.880 – 1.900 MHz	150	63,29 %
2,4 GHz	101	42,62 %

Rangfolge gesamt:*	Bereich:
Platz 1	470 – 608 MHz und 614 – 698 MHz
Platz 2	2,4 GHz
Platz 3	823 – 832 MHz und 863 – 865 MHz
Platz 4	736 – 753 MHz
Platz 5	1.880 – 1.900 MHz
Platz 6	1.785 – 1.805 MHz
Platz 7	174 – 230 MHz
Platz 8	1.350 – 1.400 MHz
Platz 9	1.452 – 1.525 MHz
Platz 10	30 – 40 MHz

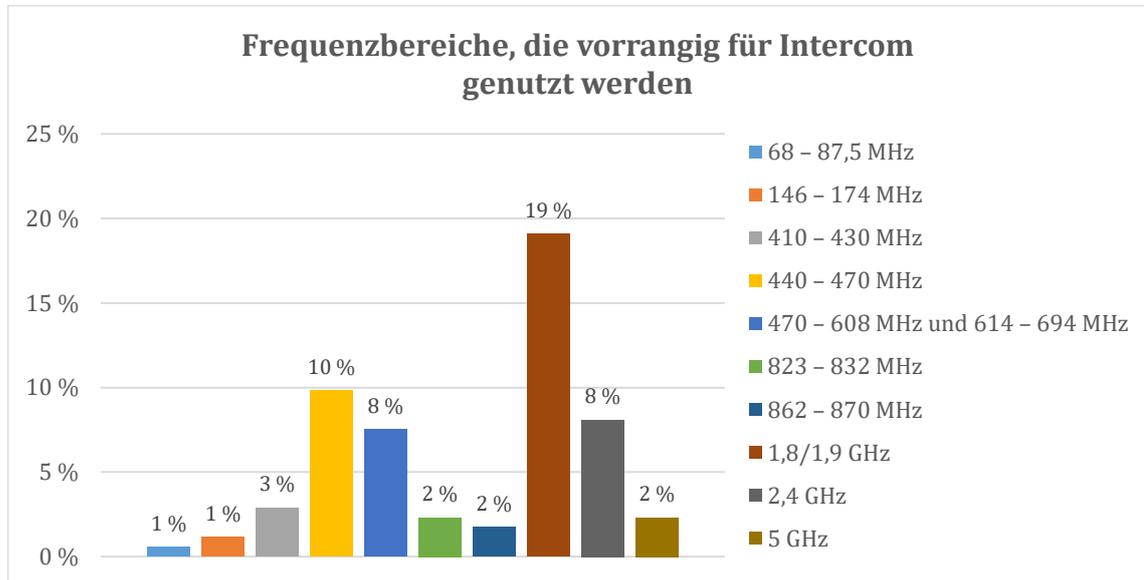
*Die genaue Aufschlüsselung der Berechnung ist in der Auswertungstabelle einsehbar (Zugang über Anhang 11).

5. Wie viel Prozent Ihres aktuellen Bestands an Funkmikrofonie und In-Ear-Technik befindet sich im Frequenzbereich 470 – 694 MHz?



Anteiliger Technikbestand nach Intervallen:	Absolut:	Prozent:
0 %	10	4,22 %
1 - 20 %	5	2,11 %
20 - 40 %	11	4,64 %
40 - 60 %	21	8,86 %
60 - 80 %	42	17,72 %
80 - 99 %	82	34,60 %
100 %	58	24,47 %
Kein eigener Bestand	8	3,38 %
Kontrollsummen	237	≈ 100,00 %

6. Welche der unten genannten Frequenzbereiche nutzen Sie für den Betrieb von Intercom-Systemen? Ordnen Sie die Bereiche bitte nach Priorität ein (vorrangige, regelmäßige, seltene oder keine Nutzung). Mehrfachnennungen sind möglich.

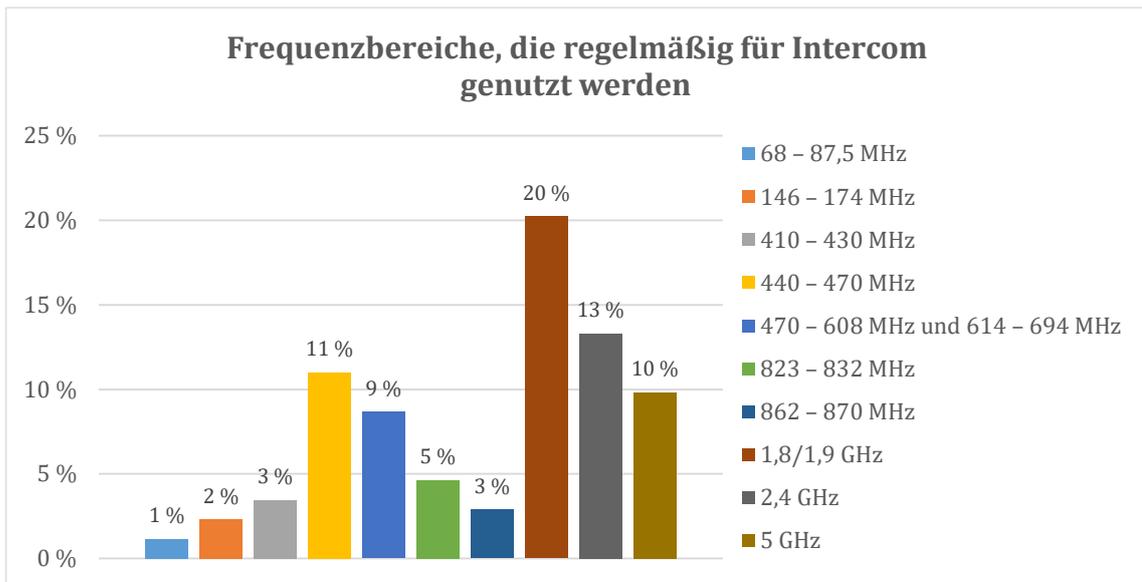


Vorrangige Nutzung:*	Absolut:	Prozent:
68 – 87,5 MHz	1	0,58 %
146 – 174 MHz	2	1,16 %
410 – 430 MHz	5	2,89 %
440 – 470 MHz	17	9,83 %
470 – 608 MHz und 614 – 694 MHz	13	7,51 %
823 – 832 MHz	4	2,31 %
862 – 870 MHz	3	1,73 %
1,8/1,9 GHz	33	19,08 %
2,4 GHz	14	8,09 %
5 GHz	4	2,31 %

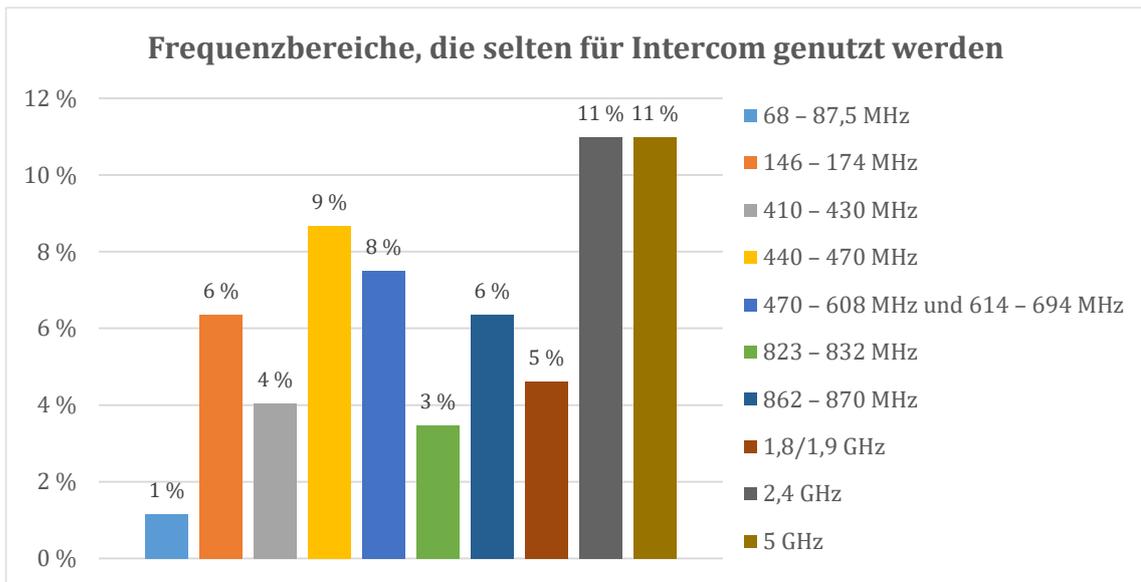
*Die Kategorien (zum Beispiel vorrangige Nutzung) konnten mehrmals vergeben werden. Es war keine Pflicht alle Nutzungsklassen bei der Beantwortung zu verwenden. Wenn ein Unternehmen bestimmte Frequenzen vorrangig, regelmäßig oder gar nicht nutzt, konnten diese Angaben entsprechend getroffen werden. Die in diesem Fall verbliebende Kategorie „selten“ musste nicht vergeben werden.

Die Beschriftungen innerhalb des Säulendiagramms sind aus Übersichtsgründen gerundet worden.

Bitte beachten, dass bei dieser Frage ein reduzierter Datensatz (173) vorliegt.



Regelmäßige Nutzung:	Absolut:	Prozent:
68 – 87,5 MHz	2	1,16 %
146 – 174 MHz	4	2,31 %
410 – 430 MHz	6	3,47 %
440 – 470 MHz	19	10,98 %
470 – 608 MHz und 614 – 694 MHz	15	8,67 %
823 – 832 MHz	8	4,62 %
862 – 870 MHz	5	2,89 %
1,8/1,9 GHz	35	20,23 %
2,4 GHz	23	13,29 %
5 GHz	17	9,83 %

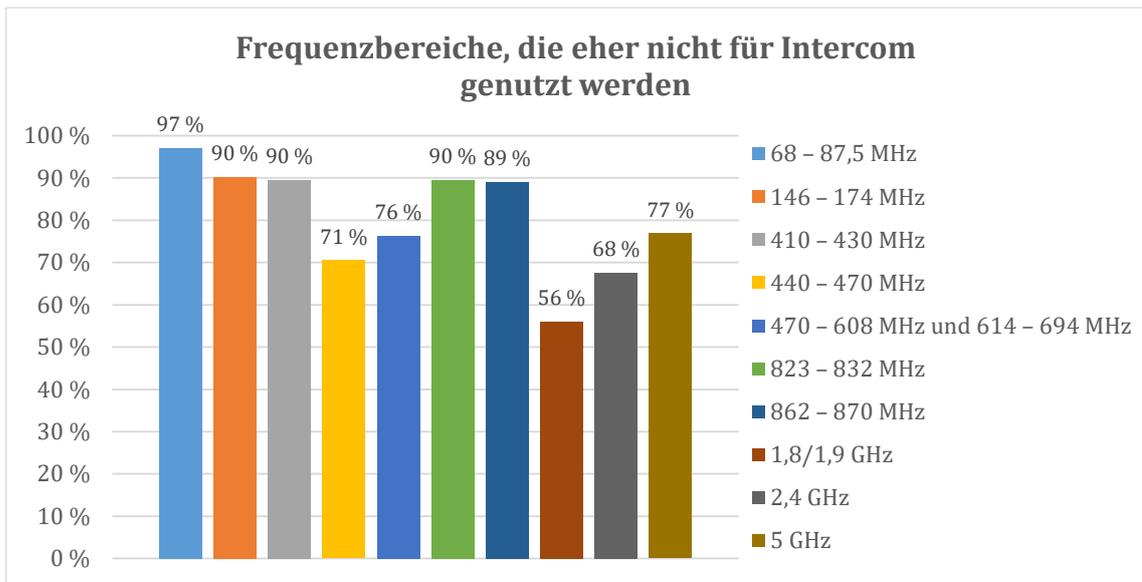


Seltene Nutzung:*	Absolut:	Prozent:
68 – 87,5 MHz	2	1,16 %
146 – 174 MHz	11	6,36 %
410 – 430 MHz	7	4,05 %
440 – 470 MHz	15	8,67 %
470 – 608 MHz und 614 – 694 MHz	13	7,51 %
823 – 832 MHz	6	3,47 %
862 – 870 MHz	11	6,36 %
1,8/1,9 GHz	8	4,62 %
2,4 GHz	19	10,98 %
5 GHz	19	10,98 %

*Im Freitextfeld wurde von einem Unternehmen angegeben, dass Frequenzen zwischen 350 und 527 MHz für Sprechfunk genutzt werden. Die Frequenzen in dieser weitgefassten Umgebung sind nicht per se für Intercom einsetzbar. Außerdem wurde die genaue Nutzungsklasse im Freitextfeld nicht erläutert. Die separate Nennung des Unternehmens wurde daher statistisch nicht erfasst.

Weiterhin verwendet der gleiche Betrieb in seltenen Fällen Frequenzen zwischen 136 und 174 MHz für den Sprechfunk. Laut der VVnömL ist der Abschnitt 136 bis 146 MHz dafür nicht vorgesehen. Auch der Frequenzplan beinhaltet in dieser Umgebung keine Anwendungen dieser Art. Der Bereich 146 bis 174 MHz ist hingegen nutzbar. Die Angabe des Unternehmens wurde daher in die Statistik mit aufgenommen.

Ein Betrieb nannte als zusätzlichen Nutzungsbereich für den Betriebsfunk den Abschnitt 403 bis 520 MHz. Auch hier fehlte die Angabe zur Nutzungsklasse und eine nachträgliche Erfassung war somit nicht möglich.

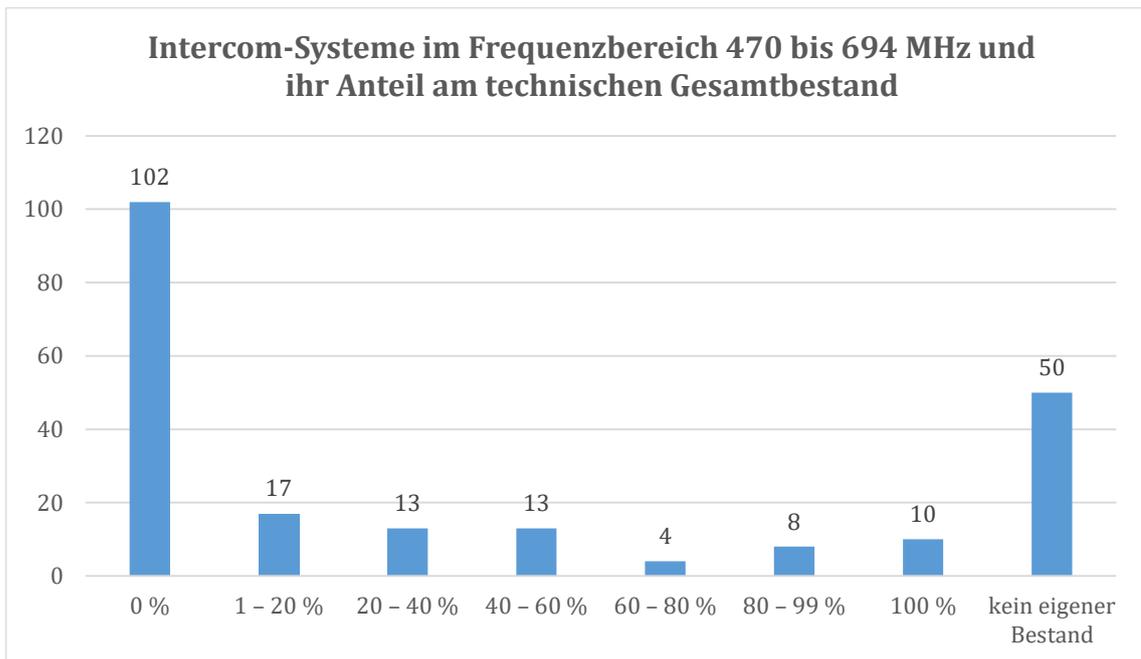


Keine Nutzung:	Absolut:	Prozent:
68 – 87,5 MHz	168	97,11 %
146 – 174 MHz	156	90,17 %
410 – 430 MHz	155	89,60 %
440 – 470 MHz	122	70,52 %
470 – 608 MHz und 614 – 694 MHz	132	76,30 %
823 – 832 MHz	155	89,60 %
862 – 870 MHz	154	89,02 %
1,8/1,9 GHz	97	56,07 %
2,4 GHz	117	67,63 %
5 GHz	133	76,88 %

Rangfolge gesamt:*	Bereich:
Platz 1	1,8/1,9 GHz
Platz 2	2,4 GHz
Platz 3	440 – 470 MHz
Platz 4	470 – 608 MHz und 614 – 694 MHz
Platz 5	5 GHz
Platz 6	862 – 870 MHz
Platz 7	823 – 832 MHz
Platz 7 (2x Mal)	410 – 430 MHz
Platz 8	146 – 174 MHz
Platz 9	68 – 87,5 MHz

*Die genaue Aufschlüsselung der Berechnung ist in der Auswertungstabelle einsehbar (Zugang über Anhang 11).

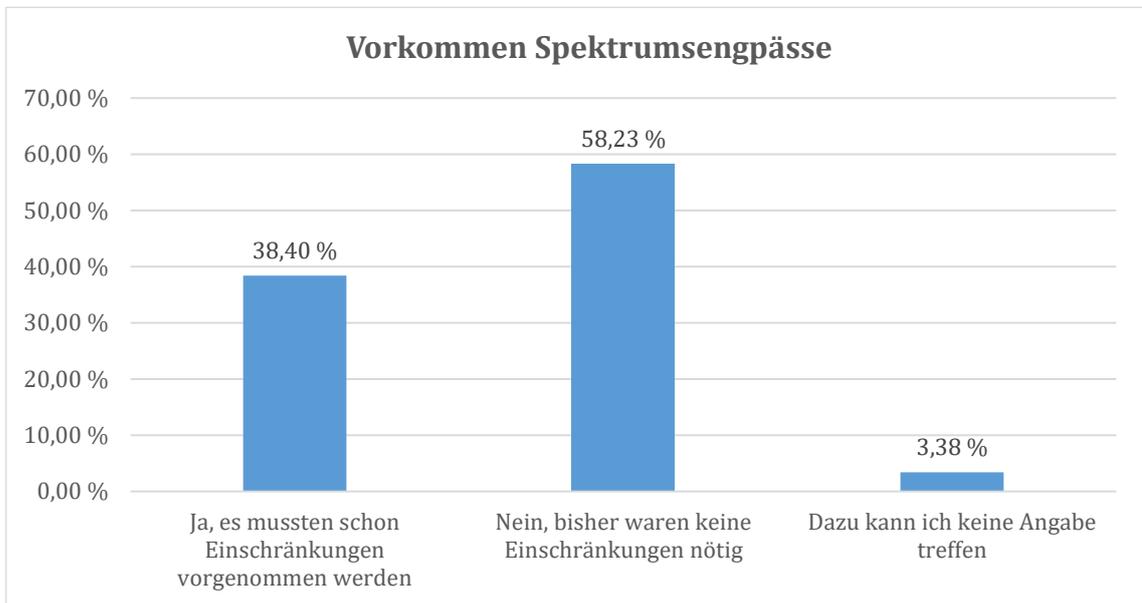
7. Wie viel Prozent Ihres aktuellen Bestands an Intercom-Systemen befindet sich im Frequenzbereich 470 – 694 MHz?



Anteiliger Technikbestand nach Intervallen:*	Absolut:	Prozent:
0 %	102	47,00 %
1 - 20 %	17	7,83 %
20 - 40 %	13	5,99 %
40 - 60 %	13	5,99 %
60 - 80 %	4	1,84 %
80 - 99 %	8	3,69 %
100 %	10	4,61 %
Kein eigener Bestand	50	23,04 %
Kontrollsummen	217	≈ 100,00 %

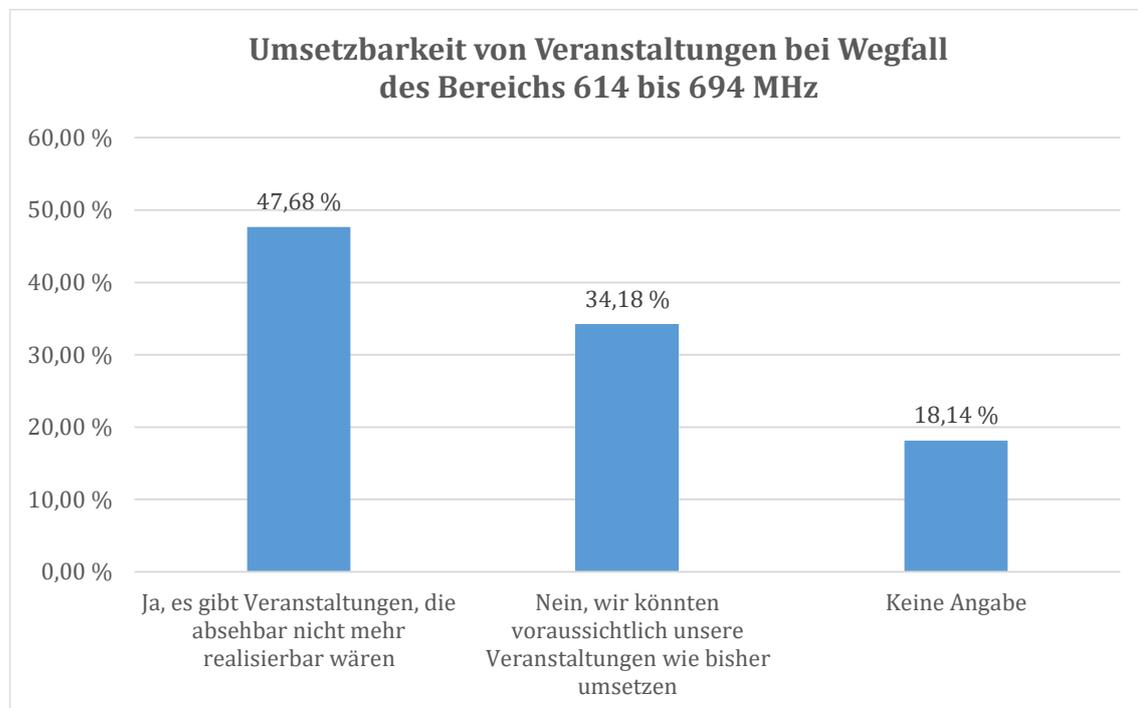
*Bitte beachten, dass bei dieser Frage ein reduzierter Datensatz (217) vorliegt.

8. Haben Sie in der Vergangenheit bei einer Veranstaltung bewusst weniger Funktechnik eingesetzt, weil Spektrumsengpässe zu erwarten waren/vorlagen?



Vorkommen Spektrumsengpässe:	Absolut:	Prozent:
Ja, es mussten schon Einschränkungen vorgenommen werden	91	38,40 %
Nein, bisher waren keine Einschränkungen nötig	138	58,23 %
Dazu kann ich keine Angabe treffen	8	3,38 %
Kontrollsummen	237	≈ 100,00 %

9. Angenommen, im Rahmen einer 3. Digitalen Dividende wird beschlossen, dass der Frequenzbereich 614 – 694 MHz für Veranstaltungen zukünftig nicht mehr nutzbar sein soll: Gibt es Veranstaltungsformate, die Sie betreuen, die aufgrund dieser Spektrumseinschränkung funktechnisch nicht mehr realisierbar wären?



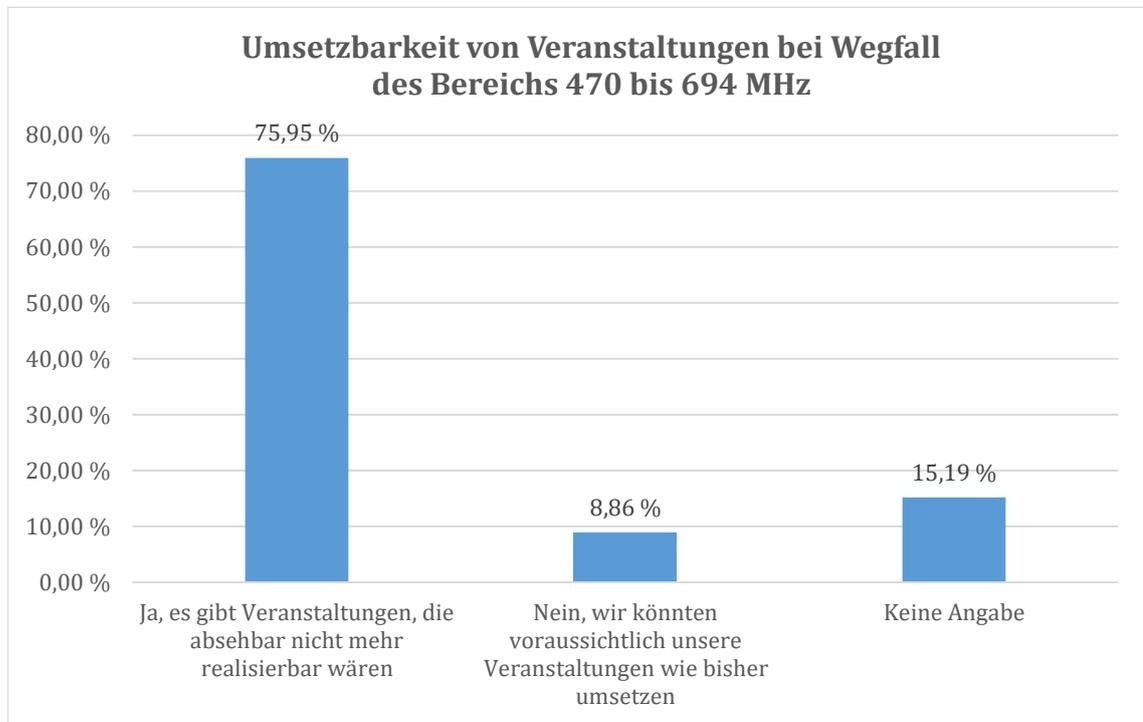
Umsetzbarkeit von Veranstaltungen:	Absolut:	Prozent:
Ja, es gibt Veranstaltungen, die absehbar nicht mehr realisierbar wären	113	47,68 %
Nein, wir könnten voraussichtlich unsere Veranstaltungen wie bisher umsetzen	81	34,18 %
Dazu kann ich keine Angabe treffen	43	18,14 %
Kontrollsummen	237	≈ 100,00 %

9.1 Bitte benennen Sie unten im Textfeld kurz die betroffene(n) Veranstaltungsart(en), die funktechnisch nicht mehr umsetzbar wäre(n).

Betroffene Veranstaltungsarten:*	Absolut:	Prozent:
Kulturveranstaltungen (Cultural events)	72	84,71 %
Industrieveranstaltungen (Business events)	44	51,76 %
Sportveranstaltungen (Sports events)	13	15,29 %
Gewertete Datensätze (insgesamt)	85	-

*Zu dieser Frage wurden nur Teilnehmer weitergeleitet, die die vorherige mit „ja“ beantwortet haben. Die angegebenen Veranstaltungsarten der Befragten sind in ein zuvor festgelegtes Kategoriensystem eingeordnet worden (genaue Erläuterung, siehe Kapitel 5.3). Die detaillierte Aufschlüsselung kann in der Auswertungstabelle eingesehen werden (Anhang 11).

10. Ähnliches Szenario, größerer Frequenzraum: Angenommen, im Rahmen einer 3. Digitalen Dividende wird beschlossen, dass der Frequenzbereich 470 – 694 MHz für Veranstaltungen zukünftig nicht mehr nutzbar sein soll: Gibt es Veranstaltungsformate, die Sie betreuen, die aufgrund dieser Spektrumseinschränkung funktechnisch nicht mehr realisierbar wären?



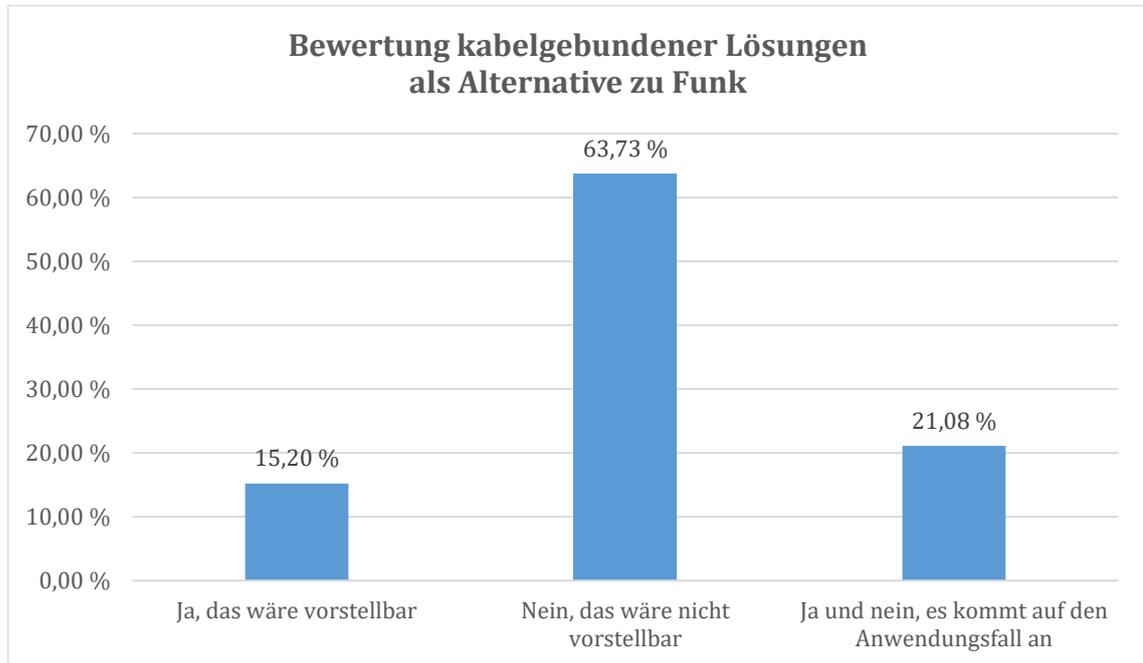
Umsetzbarkeit von Veranstaltungen:	Absolut:	Prozent:
Ja, es gibt Veranstaltungen, die absehbar nicht mehr realisierbar wären	180	75,95 %
Nein, wir könnten voraussichtlich unsere Veranstaltungen wie bisher umsetzen	21	8,86 %
Dazu kann ich keine Angabe treffen	36	15,19 %
Kontrollsummen	237	≈ 100,00 %

10.1 Bitte benennen Sie unten im Textfeld kurz die betroffene(n) Veranstaltungsart(en), die funktechnisch nicht mehr umsetzbar wäre(n).

Betroffene Veranstaltungsarten:*	Absolut:	Prozent:
Kulturveranstaltungen (Cultural events)	125	88,03 %
Industrieveranstaltungen (Business events)	97	68,31 %
Sportveranstaltungen (Sports events)	49	34,51 %
Gewertete Datensätze (insgesamt)	142	-

*Zu dieser Frage wurden nur Teilnehmer weitergeleitet, die die vorherige mit „ja“ beantwortet haben. Die angegebenen Veranstaltungsarten der Befragten sind in ein zuvor festgelegtes Kategoriensystem eingeordnet worden (genaue Erläuterung, siehe Kapitel 5.3). Die detaillierte Aufschlüsselung kann in der Auswertungstabelle eingesehen werden (Anhang 11).

11. Wenn perspektivisch weniger Frequenzen für In-Ear-Monitoring, Funkmikrofonie und Intercom zur Verfügung stehen sollten, könnten Sie sich vorstellen wieder vermehrt auf kabelgebundene Lösungen zurückzugreifen? Bitte begründen Sie Ihre Antwort kurz.



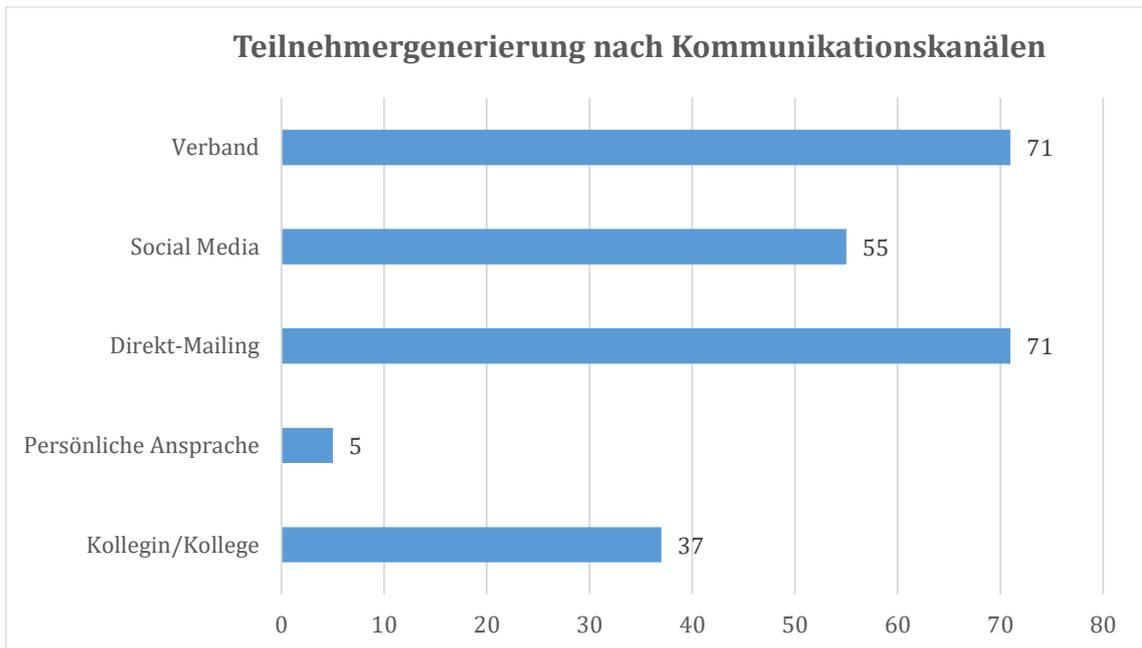
Rückkehr zu kabelgebundenen Lösungen:*	Prozent:	Absolut:
Ja, das wäre vorstellbar	15,20 %	31
Nein, das wäre nicht vorstellbar	63,73 %	130
Ja und nein, es kommt auf den Anwendungsfall an	21,08 %	43
Gewertete Datensätze	100,00 %	204

Argumente dafür/vorstellbare Einsatzgebiete:	Absolut:
Höhere Ausfallsicherheit	5
Einsatz, wenn Bewegungsfreiheit für Nutzer nicht entscheidend ist	3
Einsatz bei kleineren Veranstaltungsformaten	2
Vorstellbar für vereinzelte Anwendungen (Intercom, Mikrofone)	9

Argumente dagegen:	Absolut:
Kunden beziehungsweise Künstler würden dies nicht akzeptieren/Einschränkung der szenischen Gestaltung	56
Kabelgebundene Lösungen entsprechen nicht mehr dem heutigen Standard, Funk wird erwartet	27
Bewegungsfreiheit muss für Nutzer gegeben sein	46
Der Einsatz von kabelbasierten Systemen ist zu aufwendig	17
Kabel können ein Sicherheitsrisiko darstellen	11
Das Bühnenbild würde von Kabeln gestört werden	5

*Die frei formulierten Antworten wurden inhaltlich analysiert und in den oben aufgezählten Kategorien zusammengefasst. Eine detaillierte Aufschlüsselung ist in der Auswertungstabelle zu finden (Anhang 11).

12. Vielen Dank bis hierhin – eine letzte Frage noch: Wie sind Sie auf diese Umfrage aufmerksam geworden? Mehrfachnennungen sind möglich.



Erfolg der Kommunikationskanäle:*	Absolut:
Verband	71
Social Media	55
Direkt-Mailing	71
Persönliche Ansprache	5
Kollegin/Kollege	37
Crewcall Discord Server (Sonstige)	1
Datensätze gesamt	237

*Es konnten mehrere Kommunikationswege angegeben werden. Die Gesamtsumme ist daher höher als 237.

Auszüge aus den gegebenen Kommentaren:

Die gesamte Übersicht ist im Hauptdatensatz einsehbar (siehe Anhang 11).
Nachfolgend eine Zusammenstellung von verschiedenen Kommentaren:

„Regelmäßige Änderungen an freien Funkfrequenzen sind nicht nachhaltig und führen zu vorzeitigem Verschrotten von funktionsfähiger Technik“ [sic]

- Dienstleister für Veranstaltungstechnik -

„Für uns sind die bestehenden Funksysteme technisch noch lange nutzbar. Eine erneute Umstellung auf andere Frequenzen trägt auch nicht zur Nachhaltigkeit bei.“

- Dienstleister für Veranstaltungstechnik -

„Es ist weder nachhaltig noch nachvollziehbar, dass alle paar Jahre eine Neuverteilung der Frequenzen und damit Unbrauchbarmachung des Funkequipments der Veranstaltungsbranche diskutiert wird.“

- Theater/Konzerthaus/Opernhaus -

„Wenn alle Dienstleister die Politiker nur noch mit Kabelmikros ausstatten würden, würde die mal sehen um was es eigentlich geht ...“ [sic]

- Dienstleister für Veranstaltungstechnik -

„für meine kleine Veranstaltungsstätte ist definitiv der Frequenzanstieg ein Problem. Wir nutzen Strecken im D-Band von 2005. Technisch werden diese 8 Strecken auch 2045 noch funktionieren, aber wir müssen umsteigen, wenn Frequenzwechsel stattfinden. Das ist sehr teuer. Ich kann das kaum vor den Verantwortlichen begründen.“ [sic]

- Betreiber einer Veranstaltungsfläche -

„Falls die Frequenzen erneut vergeben und dadurch mein Bestand an UHF von weit über 100.000€ unbrauchbar würde, wäre ich nicht bereit erneut funktionierende Technik zu ersetzen“ [sic]

- Dienstleister für Veranstaltungstechnik -

„Eine 3. digitale Dividende wäre für uns katastrophal!

Wir haben gerade nach über einem Jahr Lieferzeit eine komplett neue Anlage bekommen mit knapp 40 Mikrofonkanälen sowie weiteren 10 InEar Strecken im Bereich 470 - 636 MHz liegt...

Der finanzielle Schaden wäre enorm!“ [sic]

- Theater -

„Wir haben in den letzten Jahren jetzt schon 3 mal unser komplettes Funksetup getauscht, dies sind riesige Investitionen, und die Entschädigungen sind minimal. Es ist heute schon sehr schwer große Funkmikrofon Setups reibungslos zu betreiben, daher ist eine weitere Einschränkung fast nicht mehr möglich.

Das ausweichen in höher Frequenzbereiche, hat im Bereich Kunst & Künstler dann akustische Einschränkungen, was also auch nicht funktioniert.

Irgendwann wird ein Funkmikrofon wieder zu einem "Luxus" werden und für den Kunden unbezahlbar sein, dann werden auch wieder Politiker umdenken, wenn es nicht zu spät ist.“ [sic]

- Dienstleister für Veranstaltungstechnik -

„Eine neu Anschaffung der Funksysteme würde uns vor große Herausforderungen stellen. Als Theater was abhängig ist von der Institutionellen Förderung sind solche Maßnahmen bei der eh schon kritischen Finanzierungslage nicht finanzierbar!“ [sic]

- Theater -

„Die ersten Digitalen Dividenden hatten bereits erhebliche Konsequenzen für die Theater / Veranstalterb nach sich gezogen. Nachdem mit z.T. hohen Investitionen auf neue Drahtlostechnik umgestellt wurde, wäre eine erneute Einschränkung nicht mehr hinnehmbar. Die im Moment vorhandenen Anlagen waren zwar preis- und wartungsintensiv, sind aber auf dem Stand der Technik und z.T. noch auf Jahre hinaus nutzbar, wenn nicht wieder durch gesetzgeberische Maßnahmen eine künstliche Verknappung der Ressourcen eingeleitet wird. Insofern sollte mit allen zur Verfügung stehenden Mitteln eine weitere Einschränkung der nutzbaren Frequenzen verhindert werden!“ [sic]

- Theater -

Anhang 8:

Beispielhafte Berechnung der Fehlergrenze für die Fragestellung zur Bedarfsentwicklung:

$$p - t \cdot \sqrt{\frac{(p \cdot q) \cdot (N - n)}{n \cdot (N - 1)}} \leq P \leq p + t \cdot \sqrt{\frac{(p \cdot q) \cdot (N - n)}{n \cdot (N - 1)}}$$

- p = Anteilswert in der Stichprobe
- q = Gegenwahrscheinlichkeit zu p, q = 1 - p
- t = Konfidenzniveau / Sicherheitsgrad
- N = Größe der Grundgesamtheit
- n = Größe der Stichprobe
- P = Anteilswert in der Grundgesamtheit

Anwendungsbedingungen für die Formel:

- Qualitativer Fall: Es soll eine Intervallschätzung für einen Anteilswert durchgeführt werden (Gegenbeispiel: quantitativer Fall, Betrachtung von bestimmten Durchschnittswerten (z. B. Umsätze, Kosten etc.)).
- Repräsentationsschluss: Von der Stichprobe soll ein Rückschluss auf die Grundgesamtheit getroffen werden (Gegenbeispiel: Inklusionsschluss).
- Ohne Zurücklegen: Die Stichprobenziehung erfolgte ohne Zurücklegen. An der Befragung konnte nur einmal teilgenommen werden.

Anteilswert in der Stichprobe (p): Die Berechnung bezieht sich auf die Fragestellung zu der Bedarfsentwicklung für Funktechnik. 150 Dienstleister für Veranstaltungstechnik ($\approx 89\%$) äußerten, dass ihr Bedarf für funktechnische Lösungen bei Veranstaltungen in den vergangenen acht Jahren gestiegen ist.

Konfidenzniveau/Sicherheitsgrad (t): Das Konfidenzniveau sagt aus, mit welcher Sicherheit davon ausgegangen werden kann, dass die statistischen Werte aus der Stichprobe die reale Situation der Grundgesamtheit korrekt abbilden. Es wird für die Berechnung ein Stellvertreterwert (auch Z-Wert) von 1,645 angesetzt. Dieser repräsentiert ein Konfidenzniveau von 90 %. Für die Berechnung muss dieser Wert im Vorfeld festgelegt werden.

Scharnbacher und Holland sprechen in ihrer Veröffentlichung von einem Sicherheitsgrad und nicht von einem Konfidenzniveau. Inhaltlich beziehen sich beide Bezeichnungen auf den selben Wahrscheinlichkeitsparameter. Der Begriff Konfidenzniveau ist in der Literatur häufiger zu finden.

Größe der Grundgesamtheit (N): Für die Bemessung der Grundgesamtheit wird ein Wert aus einer jüngeren Studie der Veranstaltungswirtschaft herangezogen. Laut der durchgeführten Zählung in der Studie soll die übergeordnete Gruppe „Technik, Bühnen- und Messebau“ in Deutschland insgesamt 77.147 Unternehmen umfassen. Die Dienstleister für Veranstaltungstechnik zählen zu dieser Kategorie.

Stichprobengröße (n): Im vorliegenden Fall soll ausschließlich die Gruppe der Veranstaltungstechnikfirmen betrachtet werden. 168 Umfrageteilnehmer gaben an, dass sie aus diesem Tätigkeitsbereich kommen. Für die nachfolgende Berechnung wird dementsprechend eine Stichprobengröße von 168 angesetzt.

Anteilswert in der Grundgesamtheit (P): Diesen Parameter gilt es zu ermitteln. Es handelt sich nicht um eine spezifische Größe, sondern um einen Wertebereich. Die Fehlergrenzen bilden den Anfang und den Abschluss für den Ergebnisraum.

$$p - t \cdot \sqrt{\frac{(p \cdot q) \cdot (N - n)}{n \cdot (N - 1)}} \leq P \leq p + t \cdot \sqrt{\frac{(p \cdot q) \cdot (N - n)}{n \cdot (N - 1)}}$$

Gegeben: Anteilswert in der Stichprobe ($p = 0,89$), Gegenwahrscheinlichkeit zu p ($q = 0,11$), Konfidenzniveau ($t = 1,645$), Größe der Grundgesamtheit ($N = 77.147$), Stichprobengröße ($n = 168$)

Gesucht: Anteilswert in der Grundgesamtheit (P)

$$\begin{aligned} &0,89 - 1,645 \cdot \sqrt{\frac{(0,89 \cdot 0,11) \cdot (77.147 - 168)}{168 \cdot (77.147 - 1)}} \\ &\leq P \leq \\ &0,89 + 1,645 \cdot \sqrt{\frac{(0,89 \cdot 0,11) \cdot (77.147 - 168)}{168 \cdot (77.147 - 1)}} \\ &= 0,89 - 1,645 \cdot 0,024.. \leq P \leq 0,89 + 1,645 \cdot 0,024.. \\ &\approx 0,85 \leq P \leq 0,93 \end{aligned}$$

Interpretation: Laut der Berechnung liegt die Fehlergrenze bei zirka 4 %. Demnach kann mit 90-prozentiger Wahrscheinlichkeit gesagt werden, dass bei 85 bis 93 % der Veranstaltungstechnikfirmen der Bedarf nach Funktechnik gestiegen sein wird. Es ist anzumerken, dass die Grundgesamtheit mit 77.147 Unternehmen sehr hoch angesetzt wurde. Zu dieser zusammengefassten Gruppe zählen auch Betriebe, die nicht als Dienstleister für Veranstaltungstechnik aktiv sind. Wenn für die Grundgesamtheit ein kleinerer Bemessungswert von 15.000

angenommen wird, der tendenziell realistischer erscheint, verbleibt die Fehlergrenze dennoch bei 4 %. Dies hängt mit der Konstruktion der Formel zusammen. Das Ergebnis bleibt innerhalb dieser Toleranzgrenze gleich. Demzufolge ist das Rechenbeispiel trotz der zu hohen Grundgesamtheit immer noch aussagekräftig. Im Zweifel ist die berechnete Fehlergrenze eher zu hoch als zu niedrig.

Quellen für die Berechnung und die dazugehörigen Erläuterungen:

Holland, H. und Scharnbacher, K. (2004): *Grundlagen statistischer Wahrscheinlichkeiten*. Wiesbaden: Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler/GWV Fachverlage GmbH. S. 49 – 64 und S. 101.

Statista GmbH (o. J.): *Definition Fehlergrenze*. Online im Internet unter der URL: <https://de.statista.com/statistik/lexikon/definition/56/fehlergrenze/> (Letzter Zugriff am 19.08.2023)

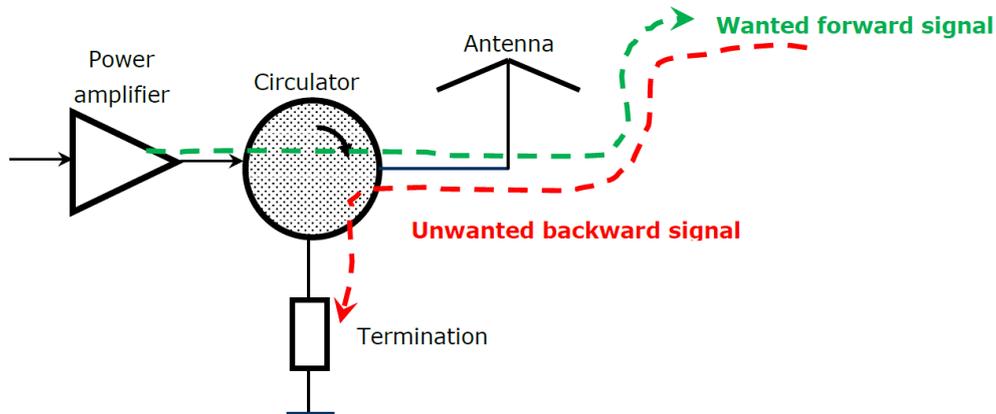
Statista GmbH (o. J.): *Definition Konfidenzniveau*. Online im Internet unter der URL: <https://de.statista.com/statistik/lexikon/definition/75/konfidenzniveau/> (Letzter Zugriff am 19.08.2023)

IGVW et al. (2021): *Landkarte Veranstaltungswirtschaft*. Online im Internet als PDF unter der URL: <https://www.igvw.org/wp-content/uploads/Landkarte-der-Veranstaltungswirtschaft-2021.pdf> (Letzter Zugriff am 19.08.2023)

Rückkehr zur Textpassage → S. 58

Anhang 9:

Wirkungsprinzip eines Zirkulators/Isolators in einem Funksystem:

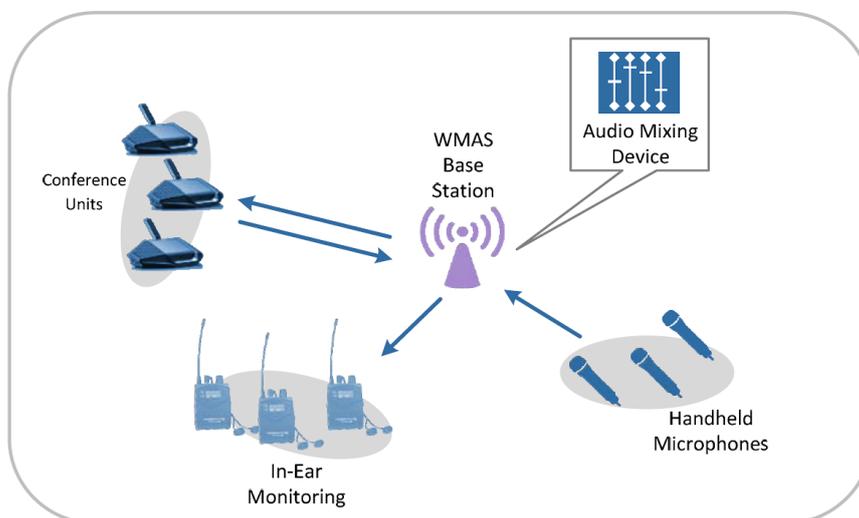


Quelle: Fischer, G. und Stratix B.V. (2017): *Digitisation of wireless microphones. The effects on spectrum use*. Online im Internet als PDF unter der URL: <https://www.stratix.nl/digitalising-van-draadloze-microfoons/> (Letzter Zugriff am 19.08.2023, Seite 53)

Rückkehr zur Textpassage → S. 72

Anhang 10:

Exemplarische Topologie eines WMAS-Systems:



Quelle: ETSI (2017): *ETSI TR 103 450, V1.1.1 (2017-07), System Reference document; Technical characteristics and parameters for Wireless Multichannel Audio Systems (WMAS)*. Online im Internet als PDF unter der URL: https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/103400_103499/103450/01.01.01_60/tr_103450v010101p.pdf (Letzter Zugriff am 19.08.2023, Seite 10)

Rückkehr zur Textpassage → S. 80

Anhang 11:

Über den untenstehenden Link können die Rohdaten und die detaillierte Auswertung der Umfrage eingesehen werden. Weiterhin befindet sich in der Dateiablage eine Zusammenstellung von Quellen. Die Sammlung beinhaltet die Onlinequellen, die amtlichen Quellen und die Abbildungsreferenzen, die im Zuge dieser Ausarbeitung verwendet wurden.

Zugang zum digitalen Anhang:

[Der Link wurde nachträglich entfernt, wenn Interesse an weiterführenden Unterlagen bestehen sollte, bitte mich direkt kontaktieren: umfrage.dd3@gmail.com]

Danksagung

Abschließend möchte ich mich bei allen Personen bedanken, die mich im Rahmen meiner Masterarbeit unterstützt haben.

Mein Dank gilt Jochen Zenthöfer und Matthias Fehr vom APWPT-Verband und Marco Völzke. Bei inhaltlichen Rückfragen konnte ich mich stets an sie wenden. Weiterhin haben sie mir verschiedene Informationsmaterialien für meine Arbeit zur Verfügung gestellt.

Zudem möchte ich mich bei sämtlichen Personen bedanken, die bei dem ersten Testdurchlauf meiner Umfrage teilgenommen haben. Dazu zählen: Susanne Buchheim, Constantin Schneider, Felix Hampe, Lukas Runge, Maximilian Müller, Gino Schmidt, Marco Völzke, Dominik Feltes, Thomas Stütz, Marty Lemke, Christian Adamek, Martin Glaß, Oliver Decker, die Mitglieder des APWPT-Verbands und der Betreuer meiner Arbeit Alexander Lindau.

Ein großes Dankeschön geht auch an alle Mediapartner und Personen, die mir bei der Weiterverbreitung meiner Umfrage geholfen haben. Ohne deren Unterstützung hätte ich die Teilnehmeranzahl von 237 Personen nicht erreicht. An dieser Stelle möchte ich mich bedanken bei:

- Marie Hohlbein und Laura van Haperen (VPLT)
- Elias Ruh (VDT)
- Jochen Zenthöfer (SOS – Save Our Spectrum)
- Maik Euscher (Event Elevator)
- Markus Wilmsmann (Mothergrid)
- Jan Pörtner (Stage 223)
- Volker Holtmeyer (Audio Pro Heilbronn)

Zu guter Letzt möchte ich mich bei meiner Familie für die stetige Unterstützung in meiner Studienzeit bedanken.