

Fachbereich VIII: Maschinenbau, Veranstaltungstechnik, Verfahrenstechnik

Studiengang: Veranstaltungstechnik und -management

Entwicklung eines Leitfadens für Frequenzmanagement bei Veranstaltungsproduktionen

Abschlussarbeit zur Erlangung des Grades

Bachelor of Engineering

Vorgelegt von:	Florian Glaß
Anschrift:	[Adresse nachträglich entfernt]
E-Mail-Adresse:	s75469@bht-berlin.de
Matrikel-Nummer:	881298
Erstgutachter und Betreuer:	Prof. Dr. rer. nat. Alexander Lindau
Zweitgutachter:	Prof. Thomas Sakschewski
Bearbeitungsbeginn:	01. Oktober 2021
Bearbeitungsende:	01. Januar 2022

Gender-Erklärung

Für eine bessere Lesbarkeit der vorliegenden Bachelorarbeit wird auf die Mehrfachnennung von männlichen und weiblichen Sprachformen verzichtet. Die gewählte Schreibweise bezieht sich stets auf weibliche, männliche sowie diverse Personen und soll als geschlechtsunabhängig verstanden werden.

Kurzreferat

Drahtlose Systeme sind heutzutage ein fester Bestandteil von fast jeder professionellen Veranstaltung. Der Wegfall langer Kabelwege ermöglicht einen schnellen Auf- und Abbau. Die Nutzer profitieren von einem hohen Maß an Bewegungsfreiheit und sind nicht mehr durch begrenzte Kabellängen eingeschränkt. Aus diesen Gründen haben sich drahtlose Anwendungen bei Veranstaltungen fest etabliert und werden regelmäßig eingesetzt.

Je größer und technisch komplexer Veranstaltungen werden, desto höher ist zumeist auch der Bedarf an drahtlosen Lösungen. Die benötigten Funkanwendungen können sich dabei über verschiedene Gewerke und Nutzergruppen hinweg verteilen, was einen hohen Koordinierungsaufwand bezüglich der Frequenznutzung zur Folge hat. Weiterhin erwarten die Anwender von drahtlosen Systemen einen stets störungssicheren sowie ausfallfreien Betrieb. Demgegenüber steht ein schwindendes Frequenzspektrum für Funkssysteme im Veranstaltungsbereich, welches im Zuge der fortschreitenden Digitalisierung des Rundfunks und des Netzausbaus in den letzten Jahren immer weiter eingeschränkt wurde. Erschwerend kommt hinzu, dass die verfügbaren Frequenzbänder bei Veranstaltungen durch elektromagnetische Störquellen zusätzlich belastet und somit in ihrer Nutzbarkeit beeinträchtigt werden.

Um den Erwartungen der Anwender gerecht zu werden und zugleich Lösungen für die genannten Herausforderungen zu finden, bedarf es eines gut koordinierten Frequenzmanagements. Detaillierte Frequenzrecherchen, aktive Störprävention und weitere Maßnahmen des Frequenzmanagements sollen dazu beitragen, einen störungsfreien Betrieb von mehreren Drahtlossystemen zu gewährleisten.

Das Ziel der nachfolgenden Bachelorarbeit ist, das Arbeitsfeld des Frequenzmanagements im Kontext zu einer Veranstaltungsproduktion näher zu beleuchten. Die angesprochenen Maßnahmen, die zur Lösung der aufgeführten Problemstellungen verhelfen können, sollen im Verlauf der Ausarbeitung benannt, analysiert und am Ende in Form eines Leitfadens zusammengestellt werden.

Abstract

Nowadays wireless systems are an integral part of almost every professional event. The elimination of long cable runs allows for quick set-up and dismantling. Users benefit from a high degree of freedom of movement and are no longer tied to limited cable lengths. For these reasons, wireless applications have become firmly established at events and are used on a regular basis.

The larger and more technically complex events become, the higher the demand for wireless solutions. The required wireless applications can be distributed across different departments and user groups, which leads to a high coordination effort in terms of frequency use. Furthermore, the users of wireless systems expect interference-free and failure-free operation at any time. In contrast, there is a dwindling frequency spectrum for wireless systems in the event sector, which in the course of the advancing digitalisation of broadcasting and network expansion, has become further limited in recent years. Aggravating this situation, the available frequency bands at events are additionally polluted by electromagnetic interferences and are thus impaired in terms of usability.

To meet the expectations of users and to find solutions to the above-mentioned challenges, a well-coordinated frequency management is needed. Detailed frequency research, active interference prevention and other measures of the frequency management should contribute to ensure an interference-free operation of multiple wireless systems.

The aim of the following bachelor thesis is to shed light on the field of frequency management in the context of an event production. The methods mentioned, which can help to solve the problems listed, will be named and analysed in the course of the work and compiled in the form of a guideline at the end.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	I
Einheitenverzeichnis.....	II
Symbolverzeichnis.....	II
1 Einleitung.....	1
2 Bedarf und Begriffsbestimmung des Frequenzmanagements	3
3 Einführung in die Funktechnik	7
3.1 Grundlegende Funktionsweise einer Funkübertragung.....	7
3.2 Übersicht zu Drahtlosanwendungen bei Veranstaltungen	10
3.3 Rechtliche Betrachtung der Frequenznutzung in Deutschland.....	12
4 Frequenzmanagement bei einer Veranstaltungsproduktion	18
4.1 Vorbereitende Maßnahmen	18
4.1.1 Vorabprüfung des lokalen Frequenzspektrums.....	19
4.1.2 Erfassung weiterer Funkanwender.....	26
4.1.3 Durchführung einer Systemplanung am Beispiel Funkmikrofonie	30
4.1.4 Berechnung und Zuordnung der Frequenzbereiche	37
4.2 Abläufe beim Veranstaltungsaufbau	41
4.3 Durchführung der Veranstaltung.....	45
4.4 Nachlauf und Nachbereitung	47
5 Fazit.....	48

Quellenverzeichnis

Anhang

Danksagung

Eidesstattliche Erklärung

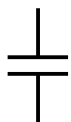
Abkürzungsverzeichnis

APWPT	Association of Professional Wireless Production Technologies e. V.
ASK	Amplitude Shift Keying
BNetzA	Bundesnetzagentur
CEPT	European Conference of Postal and Telecommunications Administrations
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications
DIV	Division
DMX	Digital Multiplex
DVB-T	Digital Video Broadcasting - Terrestrial
EIRP	Equivalent Isotropic Radiated Power
ERP	Equivalent Radiated Power
FreqP	Frequenzplan
FreqV	Frequenzverordnung
FSK	Frequency Shift Keying
IMT-2020	International Mobile Telecommunications - 2020
Intercom	Inter Communication
ISM	Industrial, Scientific and Medical
ITU	International Telecommunication Union
LED	Lichtemittierende Diode
PMSE	Programme Making and Special Events
PSK	Phase Shift Keying
QAM	Quadraturamplitudenmodulation
TKG	Telekommunikationsgesetz
UHF	Ultra High Frequency
VVKuNz	Verwaltungsvorschriften für Frequenzzuteilungen im Rahmen von Kurzzeitnutzungen
VVnöml	Verwaltungsvorschriften für Frequenzzuteilungen im nichtöffentlichen mobilen Landfunk

Einheitenverzeichnis

Hz	Frequenz in Hertz
kHz	Frequenz in Kilohertz
MHz	Frequenz in Megahertz
GHz	Frequenz in Gigahertz
m	Länge in Metern
km	Länge in Kilometern
mW	Leistung in Milliwatt
s	Zeit in Sekunden
ms	Zeit in Millisekunden
m/s	Geschwindigkeit in Metern pro Sekunde
dB	Pegel in Dezibel (Verhältnisgröße)
dBm	Leistungspegel bezogen auf ein Milliwatt (Verhältnisgröße)
dBi	Antennengewinn in Dezibel bezogen auf einen isotropen Strahler (Verhältnisgröße)

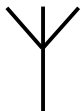
Symbolverzeichnis



Kondensator



Spule



Antenne

1 Einleitung

Die vorliegende Arbeit setzt sich mit dem Thema Frequenzmanagement bei Veranstaltungsproduktionen auseinander. Zum Zeitpunkt der Bearbeitung liegen nur wenige Quellen vor, die das Tätigkeitsfeld einordnen und beschreiben. In der Literatur werden primär Aufbau- und Funktionsweisen von Funksystemen sowie von Antennen betrachtet. Ergänzende Informationen können auf den Webseiten der jeweiligen Hersteller und in Fachzeitschriften gefunden werden. Allgemeine Vorschriften bezüglich der Frequenznutzung in Deutschland veröffentlicht und verwaltet die Bundesnetzagentur als zuständige Behörde.¹ Weitere Daten im Hinblick auf Frequenznutzung, -bedarf und -politik bietet der APWPT-Verband.²

Die aufgeführten Quellen bilden eine wichtige Wissensgrundlage für das Frequenzmanagement selbst. Was fehlt und nur wenig dokumentiert ist, ist die eigentliche Tätigkeit eines Frequenzmanagers bei einer Veranstaltungsproduktion. Dies wurde zum Anlass genommen, sich im Rahmen dieser Bachelorarbeit vertiefend mit der Thematik Frequenzmanagement zu beschäftigen. Das zentrale Ziel der Arbeit ist, zu untersuchen, welche organisatorischen und technischen Maßnahmen zu einem Frequenzmanagement gehören und in welcher Reihenfolge diese im Kontext zu den Projektphasen einer Veranstaltung erfolgen. Auf diese Art und Weise soll das Arbeitsfeld Frequenzmanagement näher analysiert werden. Im Endergebnis der Ausarbeitung soll ein Leitfaden in Form einer Checkliste entstehen, in welchem die erarbeiteten Maßnahmen, gemäß ihrer Reihenfolge im Projektablauf, zusammengeführt werden.

Für die Erstellung der Arbeit sollen die oben aufgeführten Quellen, wie Fachliteratur, Fachzeitschriften, Herstellerinformationen oder Veröffentlichungen der Bundesnetzagentur, einbezogen werden. Weiterhin werden im Rahmen der Ausarbeitung fünf Fachexperten auf dem Gebiet Frequenzmanagement interviewt. Die Praxiserfahrungen und Expertisen dieser fünf Personen sollen in die Arbeit mit einfließen und den theoretischen Teil ergänzen.

¹ Vgl. Bundesnetzagentur (o.J.): <https://www.bundesnetzagentur.de/>

² Vgl. APWPT-Verband (o.J.): <https://apwpt.org/>

Für die spätere Betrachtung und Einteilung der Maßnahmen des Frequenzmanagements in die Abläufe einer Veranstaltung wird das Phasenmodell nach Holzbaur et alii verwendet. Das Modell stammt aus dem Eventmanagement und unterscheidet insgesamt die sieben Projektphasen: Initialisierung, Start, Vorbereitung, Anlauf, Aktiv, Nachlauf sowie Nachbereitung.³ Das Phasenkonzept soll als Orientierungshilfe im Verlauf der Ausarbeitung dienen und dabei helfen, einzelne Arbeitsschritte des Frequenzmanagements zeitlich in die Projektabschnitte einer Veranstaltung einordnen zu können. Das Modell von Holzbaur et alii wurde im Speziellen gewählt, weil es eine sehr feinteilige und abgegrenzte Phasenunterteilung bietet. Im Hinblick auf die Ausarbeitung müssen einzelne Abschnitte somit nicht weiter untergliedert werden und lassen sich übersichtlich darstellen.

Im nachfolgenden zweiten Kapitel sollen zuerst die Notwendigkeit und die Begriffserklärung für das Frequenzmanagement bei Veranstaltungen hergeleitet werden. Im dritten Kapitel folgt eine Einführung in die Funktechnik. Grundlegende physikalische Zusammenhänge und Funktionsweisen von Funksystemen sollen an dieser Stelle erklärt werden. Darauf aufbauend wird eine Übersicht erstellt, die gängige Drahtlosanwendungen bei Veranstaltungen benennt und erläutert. Zum Abschluss des dritten Kapitels werden die für die Frequenzregulierung zuständigen Organisationen und Behörden vorgestellt. Darüber hinaus wird die aktuelle Situation in Deutschland, mit Fokus auf die Frequenznutzungen bei Veranstaltungen, betrachtet. Im vierten Kapitel erfolgt die Untersuchung der Arbeitsabläufe und der Maßnahmen des Frequenzmanagements im Kontext zu den Projektphasen nach Holzbaur et alii. An dieser Stelle sollen vermehrt die interviewten Fachexperten einbezogen werden. Abschließend wird im Fazit die entwickelte Checkliste vorgestellt. Es wird zudem eine kritische Betrachtung vorgenommen und ein Ausblick in die Zukunft gegeben.

³ Vgl. Holzbaur, U. et alii (2010): *Eventmanagement*, S. 192 ff.

2 Bedarf und Begriffsbestimmung des Frequenzmanagements

Bevor die eigentliche Untersuchung der Thematik beginnen kann, ist zuerst zu klären, warum Frequenzmanagement notwendig ist und was unter dem Begriff zu verstehen ist. Diese beiden Aspekte sollen in dem nachfolgenden Kapitel betrachtet werden.

Bezüglich der Notwendigkeit eines Frequenzmanagements soll folgende Formulierung der Bundesnetzagentur herangezogen werden:

„Die jeweils im Einzelfall notwendige Abstimmung über den örtlichen Frequenzeinsatz obliegt den einzelnen Nutzern. Die Einsatzkoordinierung findet unter den Frequenznutzern vor Ort beim Zusammentreffen mehrerer Nutzer mit gleichen Frequenznutzungen statt.“⁴

Das vorliegende Zitat entstammt den von der Bundesnetzagentur veröffentlichten Verwaltungsvorschriften für Frequenzuteilungen im nichtöffentlichen mobilen Landfunk (VVnöML). Die Vorschriften dienen zur Regelung des mobilen Landfunks und enthalten konkrete Angaben zu nutzbaren Frequenzbereichen, Bedarfsträgern sowie zu technischen Vorgaben.⁵ Eine detaillierte Beschreibung des Dokuments erfolgt zum Ende des dritten Abschnitts. Die oben zitierten Sätze sind aus dem Kapitel 9.2 der VVnöML, welches den Einsatz von Funkmikrofonen und In-Ear-Monitoring erläutert.⁶ Vergleichbare Passagen können zum Beispiel in Kapitel 10.4 für den Einsatz von drahtlosen Kameras und Videostrecken gefunden werden. Auch hier heißt es, dass die Nutzer, in diesem Fall von den genannten Videoanwendungen, sich bezüglich der lokalen Frequenzverwendung abstimmen müssen.⁷ Sowohl Funkmikrofone, In-Ear-Monitoring als auch die aufgeführten Videosysteme kommen häufig, auch in mehrfacher Zahl, bei Veranstaltungen zum Einsatz. Entsprechend der geschilderten Vorgaben der Bundesnetzagentur obliegt die Koordinierung der Frequenzen den Anwendern. Bei einem Zusammentreffen von vielen Funknutzern, wie es bei Veranstaltungen der Fall sein kann, entsteht ein dementsprechend großer Abstimmungsaufwand.

⁴ VVnöML, S. 125

⁵ Vgl. VVnöML, S. 6

⁶ Vgl. VVnöML, S. 125 ff.

⁷ Vgl. VVnöML, S. 146 f. und S. 149

Zudem können sich die Anwender über verschiedene Personengruppen und Gewerke verteilen. Beispielsweise könnten das bei einer Veranstaltung Künstler, technische Dienstleister oder der berichtstattende Rundfunk sein. Das kann die Abstimmung bezüglich der Frequenznutzung erschweren, da die verschiedenen Gruppen eventuell nur wenig Kontakt zueinander haben und sich teilweise der Notwendigkeit einer Koordinierung nicht bewusst sind.

Weitere mögliche Konflikte bei der Frequenznutzung benennt Ericksen. Zum Beispiel kann es sein, dass angereiste Anwender Drahtlossysteme einführen, die mit den lokalen Frequenzbändern nicht kompatibel sind. Weiterhin führt er auf, dass eine sehr hohe Anzahl an Funksystemen das vorhandene Frequenzspektrum überlasten könnte. Der dritte Aspekt von Ericksen bezieht sich auf die Priorisierung von Nutzungsrechten. Mehrere Anwender konkurrieren um das verfügbare Spektrum, was Konflikte hervorrufen kann, wer welche Vorrechte für sich bezüglich der Frequenznutzung beanspruchen darf.⁸

Es zeigen sich eine Vielzahl von Problemstellungen, die bei der gleichzeitigen Nutzung von Funksystemen auftreten können. Hinzukommend ist zu beachten, dass die Frequenzverwendung stets im Einklang mit den Vorschriften der jeweils zuständigen Regulierungsbehörde stehen muss. In Deutschland übernimmt diese Rolle die Bundesnetzagentur.

Es wird deutlich, dass eine zentrale Koordinierungsstelle erforderlich ist, um die benannten Herausforderungen zu bewältigen und um Lösungen für die Interessen der Nutzer zu finden. Die Bundesnetzagentur erläutert im Kapitel 9.2 der VVnöML, dass bei Ereignissen größerer Art, die von hohem medialem Interesse sind, die erforderliche Koordinierung in der Regel von einem Organisationsbüro des Veranstalters oder von der zuständigen Landesrundfunkanstalt durchgeführt wird.⁹ Die Formulierung liefert einen Ansatz, wem die allgemeine Zuständigkeit für die Frequenzverwaltung bei einer Veranstaltung zugewiesen werden kann. Die anschließende Frage, die es zu beantworten gilt, ist, wer auf der Ebene der Umsetzung für die Frequenzkoordinierung verantwortlich sein kann. An dieser Stelle soll der Begriff des Frequenzmanagements eingeführt werden.

⁸ Vgl. Ericksen, D. E. (2018): *Frequency Coordination for Broadcast Auxiliary Services*, S. 82

⁹ Vgl. VVnöML, S. 125

Svenja Dunkel ist seit 2002 als Frequenzmanagerin aktiv und hat seitdem Produktionen wie die Echo-Verleihung, den Eurovision Song Contest oder Germany's Next Topmodel betreut.¹⁰ Im Rahmen eines Interviews mit einer Fachzeitschrift beschrieb sie das Aufgabenfeld eines Frequenzmanagers.

Gemäß ihrer Erklärung stellt ein Frequenzmanager für eine Veranstaltung alle Informationen zu erforderlichen Funksystemen und bestehenden Frequenzen zusammen. Das umfasst zum Beispiel Funkmikrofone für Künstler, Reporterfunk oder auch Kommunikationsgeräte für die Produktion. Darüber hinaus sammelt er Daten zu Elementen, die die Funkverwendung einschränken können, wie beispielsweise LED-Wände. Er kümmert sich zudem um die Planung der notwendigen Technik für die Produktion. Dazu zählen beispielsweise Funkstrecken, Antennen, Kabel sowie weiteres Zubehör. Weiterhin organisiert er die Verteilung der Frequenzen mithilfe eines koordinierten sowie eventuell berechneten Frequenzrasters. Vor Ort führt der Frequenzmanager dann den Aufbau durch und prüft alle Komponenten. Zum Zeitpunkt der Veranstaltung werden die Frequenzen von ihm stetig kontrolliert und, falls notwendig, neu eingestellt.¹¹ Anhand der Tätigkeitsbeschreibung wird ersichtlich, dass ein Frequenzmanager die notwendige Schnittstellenposition für die Frequenzkoordinierung bei einer Veranstaltung einnehmen kann.

Die für die Ausarbeitung interviewten Fachexperten werden ergänzend gefragt, wie sie das Arbeitsfeld Frequenzmanagement erklären würden. Ihre getroffenen Aussagen zeigen sich als weitestgehend deckungsgleich mit der zuvor aufgeführten Beschreibung von Svenja Dunkel. Fachexperte 3 betont im Interview noch, dass das zentrale Ziel des Frequenzmanagements ist, einen störungsfreien Funkbetrieb herzustellen. Der Experte 2 verweist zudem auf die Wichtigkeit der Einhaltung der zulässigen Frequenzbereiche. Sicherheitsrelevante Übertragungen, wie der Funk von Polizei und Feuerwehr, sind zu beachten und dürfen keinesfalls gestört werden.¹²

¹⁰ Vgl. Voss, L. (2019): *Was macht ein Frequenzmanager?*, S. 30

¹¹ Vgl. Voss, L. (2019): *Was macht ein Frequenzmanager?*, S. 31

¹² Vgl. Fachexperte 1–4, persönliches Interview, Interviewfrage Nr. 1

Ein zusätzlicher Punkt, den Fachexperte 2 erst im späteren Verlauf des Interviews einbringt, ist die Sicherstellung der körperlichen Unversehrtheit der Beteiligten. Fachexperte 4 deutet dieses Thema zu Beginn seines Interviews ebenfalls an. Experte 2 argumentiert, dass über eine Beschallungsanlage lautstark ausgespielte Funksignale, auf denen eine Störung wie ein Knackgeräusch zum Beispiel liegt, zu Gehörschäden bei den Anwesenden führen können. Ein weiteres Szenario ist der Einsatz von funkbasierten Implantaten für Gehörgeschädigte bei Veranstaltungen. Sollte es in diesem Fall zu einem Störgeräusch wie einem Knacken kommen, können die Betroffenen langanhaltende Schäden davontragen.¹³ Entsprechend dieser Argumentation ist es auch Aufgabe und zugleich Verantwortung des Frequenzmanagements, besonders darauf zu achten, dass bei der Nutzung von Funksystemen niemand zu Schaden kommt. Das heißt, dass Störgeräusche in Kombination mit zu hohen Lautstärken vermieden werden müssen.

Rückblickend auf das Kapitel konnte eine grundlegende Notwendigkeit des Frequenzmanagements hergeleitet werden. Diese liegt begründet in der geforderten selbstständigen Abstimmung der Funkanwender und den damit verbundenen Herausforderungen. Ein Ansprechpartner für die Frequenznutzer erscheint im Hinblick auf die möglichen Problemstellungen als sinnvoll. Diese Rolle kann ein Frequenzmanager übernehmen, wie sich gezeigt hat. Die konkreten Aufgaben und Tätigkeiten eines Frequenzmanagers wurden mithilfe der Erklärung von Svenja Dunkel benannt und konnten mit den geführten Fachexperten-Interviews ergänzt werden. Die auf diese Weise zusammengestellte Begriffsbeschreibung für das Frequenzmanagement soll als Referenzdefinition für die weitere Ausarbeitung dienen.

¹³ Vgl. Fachexperte 2, persönliches Interview, Zeile 537–552

Vgl. Fachexperte 4, persönliches Interview, Interviewfrage Nr. 1

3 Einführung in die Funktechnik

Das nachfolgende Kapitel soll genutzt werden, um das grundlegende Prinzip einer Funkübertragung darzustellen. Des Weiteren sollen Übersichten zu gängigen Drahtlosanwendungen bei Veranstaltungen und zu den Vorschriften der Frequenznutzung gegeben werden. Die aufgezählten Themenpunkte bilden eine notwendige Wissensbasis für die spätere Analyse der Arbeitsschritte des Frequenzmanagements und sollen deshalb an dieser Stelle einführend erläutert werden.

3.1 Grundlegende Funktionsweise einer Funkübertragung

Per Definition gehört die Funktechnik dem Bereich der Nachrichtentechnik an. Das Themengebiet setzt sich mit der Entstehung von elektromagnetischen Wellen und ihrer Verwendung für die Informationsübermittlung auseinander. Weiterhin befasst sich die Funktechnik mit dem Einsatz von Messverfahren.¹⁴ Nach dieser Begriffserklärung sind elektromagnetische Wellen offensichtlich ein zentraler Bestandteil für die Funkübertragung. Zu klären ist, wie sie entstehen und sich ausbreiten können. Als Hilfsmodell zur Erläuterung soll ein elektrischer Parallel-Resonanzkreis hinzugezogen werden, der aus einer Parallelschaltung von Spule und Kondensator besteht. Wichtig für die Betrachtung des Modells ist, dass das elektrische Feld grundsätzlich mit der Spannung und das magnetische Feld mit dem Strom zusammenhängt. Wenn der Kondensator sich im angenommenen Resonanzkreis entlädt, baut sich das elektrische Feld zwischen seinen Platten ab und das Magnetfeld in der parallel geschalteten Spule baut sich mithilfe des Entladestroms des Kondensators auf. Aufgrund der darauffolgenden Selbstinduktion der Spule entsteht eine Gegenspannung, die wiederum den Kondensator auflädt. Wenn von idealen verlustfreien Bauteilen in dem Resonanzkreis ausgegangen wird, entstehen auf diese Weise sinusförmige Kurven für Spannung und Strom. Die stetige Wechselwirkung des elektrischen und des magnetischen Felds wird als elektromagnetische Schwingung bezeichnet. Der beschriebene Schwingkreis zwischen Kondensator und Spule ist in sich geschlossen und die beiden Felder sind in den jeweiligen Bauteilen konzentriert. Eine Ausbreitung der Felder nach außen ist bereits bei geringen Abständen nicht mehr gegeben.¹⁵

¹⁴ Vgl. Spektrum Akademischer Verlag (1998): <https://www.spektrum.de/>

¹⁵ Vgl. Freyer, U. (2017): *Nachrichten-Übertragungstechnik*, S. 71 ff.

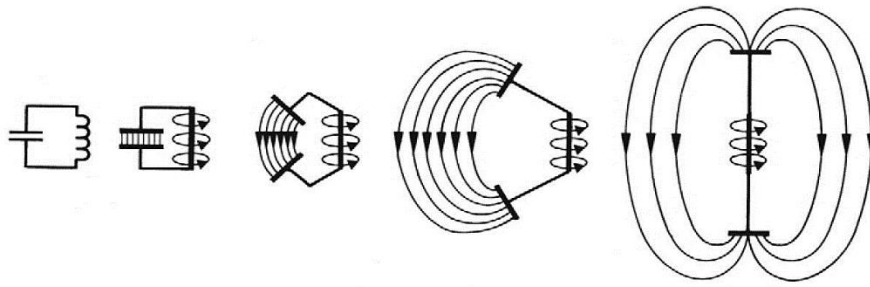


Abb. 1: Schrittweise Öffnung des Schwingkreises von links nach rechts

Wird der Schwingkreis allerdings aufgeklappt, siehe Abbildung 1, können Energieanteile aus den beiden Feldern in den umliegenden Raum abgegeben werden. Die in dem Prozess durch die Abstrahlung verloren gegangene Energie wird mithilfe einer Generatorschaltung aufgefrischt. Aufgrund der nicht nur zeitlichen, sondern jetzt auch räumlichen Änderungen der physikalischen Größen, kann von einer elektromagnetischen Welle gesprochen werden. Der durch das Aufklappen des Schaltbildes entstandene offene Schwingkreis stellt die grundlegende Bauform einer Antenne dar und wird auch als Dipol bezeichnet.¹⁶

Die magnetischen und elektrischen Felder stehen bei der Ausstrahlung im freien Raum senkrecht zueinander. Des Weiteren bewegen sich die Felder quer zur Ausbreitungsrichtung der elektromagnetischen Welle, die daher auch als Transversalwelle bezeichnet wird.¹⁷ Die Welle verbreitet sich in der Luft mit Lichtgeschwindigkeit. Der Weg, den sie dabei innerhalb einer Schwingung zurücklegt, wird Wellenlänge genannt und kann mit der untenstehenden Formel ermittelt werden. Benötigt wird für die Berechnung, neben der bekannten Lichtgeschwindigkeit, die Frequenz oder die Periodendauer der Welle.¹⁸

$$\lambda = c_0 \cdot T = \frac{c_0}{f}$$

λ	=	Wellenlänge in m
c_0	=	Lichtgeschwindigkeit, $3 \cdot 10^8$ m/s
T	=	Periodendauer in s
f	=	Frequenz in Hz bzw. 1/s

Abb. 2: Berechnung der Wellenlänge und Aufschlüsselung der Formelzeichen

¹⁶ Vgl. Freyer, U. (2017): *Nachrichten-Übertragungstechnik*, S. 72 ff.

¹⁷ Vgl. Meyer, M. (2019): *Kommunikationstechnik*, S. 330

¹⁸ Vgl. Freyer, U. (2017): *Nachrichten-Übertragungstechnik*, S. 72

Aus der Formel lässt sich ableiten: Je höher die Frequenz ist, desto kleiner ist die Wellenlänge. Der Zusammenhang kann umgekehrt ebenfalls betrachtet werden. Die Wellen werden weiterhin in ihrer Ausbreitung durch unterschiedliche Effekte beeinflusst. Dazu gehören Interferenzen, Reflexionen, Dämpfungen, Beugungen und Streuungen. Die Effekte sind abhängig von zeitlichen und räumlichen Veränderungen sowie von der Frequenzhöhe.¹⁹

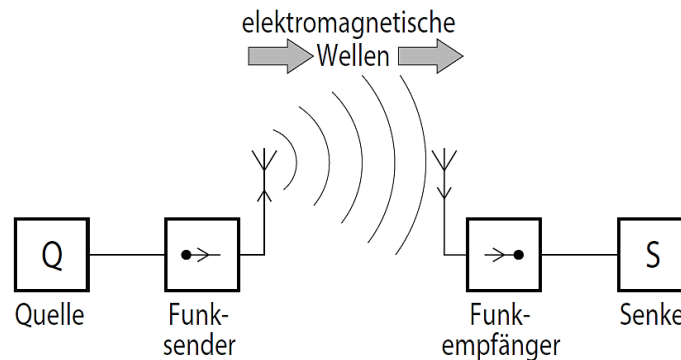


Abb. 3: Vereinfachtes Modell der Funkübertragung

Die Abstrahlung der zuvor beschriebenen elektromagnetischen Wellen wird bei einer Funkübertragung über die Antennen der Funksender realisiert. Der freie Raum dient als Übertragungsmedium und die Wellen werden auf der gegenüberliegenden Seite von den Antennen der Funkempfänger wieder erfasst.²⁰

Um die Signale möglichst verlustarm zu übermitteln und um den Übertragungskanal effektiv zu nutzen, kommen Modulationen zum Einsatz.²¹ Bei Funkübertragungen werden verschiedene Verfahren der Modulation verwendet. In dem Prozess wird ein hochfrequentes Trägersignal mit einem niederfrequenten Informationssignal zusammengeführt. Auf das Trägersignal, welches bei einer Funkübertragung im Sender produziert wird, werden dabei die Daten des zu übertragenden Informationssignals aufgeprägt. Dies erfolgt durch die Anpassung der Parameter des Trägers. Das kann die Amplitude, die Frequenz oder die Phase des Trägersignals betreffen.²² Auf der Seite des Empfängers findet dann die Demodulation statt, die das anfängliche Informationssignal wieder zur Verfügung stellt.²³

¹⁹ Vgl. Freyer, U. (2017): *Nachrichten-Übertragungstechnik*, S. 83

²⁰ Vgl. Freyer, U. (2017): *Nachrichten-Übertragungstechnik*, S. 23

²¹ Vgl. Freyer, U. (2017): *Nachrichten-Übertragungstechnik*, S. 221

²² Vgl. Gessler, R. und Krause, T. (2015): *Wireless-Netzwerke für den Nahbereich*, S. 74 und S. 83 f.

²³ Vgl. Freyer, U. (2017): *Nachrichten-Übertragungstechnik*, S. 222

3.2 Übersicht zu Drahtlosanwendungen bei Veranstaltungen

Mithilfe des vorherigen Kapitels sind nun die physikalischen Grundlagen einer Funkübertragung bekannt. Nachfolgend sollen jetzt auszugsweise gängige Funkanwendungen der Veranstaltungsbranche kurz vorgestellt werden.

Hand-, Taschen- und Aufstecksender: Funkmikrofone, auch als Handsender bezeichnet, werden als drahtlose Alternative zum kabelgebundenen Mikrofon eingesetzt. Statt des Kabelanschlusses sind im Gehäuse des Funkmikrofons Senderplatinen und eine Sendeantenne integriert. Taschensender werden genutzt, um Ansteckmikrofone, Nackenbügelmikrofone und Instrumente drahtlos zu betreiben. Die Sendeeinheit wird zum Beispiel in eine Tasche des Nutzers gepackt oder an seiner Kleidung mit einem Clip befestigt. Aufstecksender als dritte Variante ermöglichen einen Funkbetrieb von Mikrofonen, die eigentlich kabelgebunden sind. An den XLR-Anschluss des Mikrofons wird anstatt eines Kabels ein Sendemodul angeschlossen. Für Instrumente gibt es ebenfalls solche Systeme. Die Sender werden dabei direkt mit dem Klinkenanschluss des Instruments verbunden.²⁴

In-Ear-Monitoring: Mithilfe von In-Ear-Monitoring können akustische Signale auf Kopfhörern ausgespielt werden. Sie werden häufig als Alternative zu Monitorlautsprechern auf der Bühne eingesetzt. Bei funkbasierten In-Ears wird das meist vorgemischte Audiosignal einem Sender zugeführt, der dieses per Funk überträgt. Der am Körper des Nutzers getragene Empfänger nimmt das Signal des Senders dann auf, passt es an und leitet es an die Kopfhörer des Trägers weiter.²⁵

Führungsanlagen: Der Zweck des Führungsfunks ist es, Sprachsignale in zumeist eine Richtung und über kurze Distanzen hinweg zu übertragen.²⁶ Die Anlagen werden verwendet für Führungen in Museen, Messen, Werkshallen oder im öffentlichen Raum. Zudem können die Systeme zum Dolmetschen eingesetzt werden und es ist möglich, Hörgeräte einzubinden.²⁷ Die Teilnehmer beim Führungsfunk tragen einen Empfänger mit Kopfhörern, der das Audiosignal des Rednermikrofons oder des Zuspieldgerätes wiedergeben kann.²⁸

²⁴ Vgl. Pieper, F. (2015): *Das P.A. Handbuch*, S. 132 f.

²⁵ Vgl. Pieper, F. (2015): *Das P.A. Handbuch*, S. 296

²⁶ Vgl. VVnömL, S. 128

²⁷ Vgl. PCS GmbH (o.J.): <https://www.konferenztechnik.de/>

²⁸ Vgl. BMS Audio GmbH (o.J.): <https://www.bmsaudio.de/>

Intercom: Mithilfe von Intercom können Personen über entfernte Strecken hinweg miteinander kommunizieren. Es sind eigenständige Systeme zur Sprachübertragung, die unabhängig vom Telefonnetz agieren können. Drahtlose Intercom-Geräte dienen in der Regel als Erweiterung eines vorhandenen kabelgebundenen Systems und ermöglichen Mobilität für die Anwender.²⁹

Videofunkstrecken: Zur drahtlosen Übertragung von Videosignalen, auch in Kombination mit Audio, werden sogenannte Videofunkstrecken benutzt.³⁰ Der Einsatzzweck der Strecken ist abhängig von der internen Übertragungszeit der Geräte. Bei längeren Verzögerungen werden die Funkstrecken meist nur zur Bildkontrolle verwendet. Für sendefähige Übertragungen muss das System nahezu verzögerungsfrei sein.³¹

Wireless-DMX: Mithilfe des DMX-Protokolls ist es möglich, Lichttechnik zu steuern. Es besteht bei DMX die Option, die Daten via Kabel oder per Funk zu verteilen. Einige professionelle LED-Scheinwerfer haben heutzutage bereits bauseitig integrierte Funkempfänger. Mittels Wireless-DMX im Broadcast-Modus können somit mehrere Scheinwerfer zugleich mit einem Sendesignal angesteuert werden. Eine weitere Variante ist die Punkt-zu-Punkt-Verbindung, die zum Beispiel eingesetzt wird, um ein Sendesignal eines Lichtpults zu einem entfernten Empfänger zu schicken, von welchem dann die weitere Signalverteilung erfolgen kann.³²

Mit der hier zusammengestellten Liste soll eine Einführung in die Drahtlostechnik der Veranstaltungsbranche gegeben werden. Die Liste beansprucht keine Vollständigkeit, sondern soll vielmehr eine einleitende Übersicht bilden. Anhand der verschiedenen Einsatzgebiete der aufgezählten Drahtlostechnik wird die zuvor erläuterte Notwendigkeit einer Frequenzkoordinierung nochmals verdeutlicht. Funksysteme werden gewerkeübergreifend verwendet, wie die Liste in diesem Kapitel zeigt. Infolgedessen können sich durch die verschiedenen Einsatzbereiche mehrere Schnittstellen bei der Frequenznutzung ergeben, die bei einer Koordinierung berücksichtigt werden müssen.

²⁹ Vgl. Macri, V. und Eythorsson, K. (2018): *Intercom and IFB Systems*, S. 879 und S. 885

³⁰ Vgl. MEDIATEC Video- und Audio-Service GmbH (o.J.): <https://www.mediatec.de/>

³¹ Vgl. Allary-Film, TV & Media (o.J.): <https://www.movie-college.de/>

³² Vgl. Box, H. C. (2020): *Set Lighting Technician's Handbook*, S. 233 und S. 266

3.3 Rechtliche Betrachtung der Frequenznutzung in Deutschland

Um eine Funkübertragung grundsätzlich realisieren zu können, wird eine Frequenz als Träger benötigt, wie in Kapitel 3.1 beschrieben. Die in 3.2 zuvor aufgezählten Anwendungen brauchen demnach nutzbare Frequenzbereiche, um operieren zu können. Der Zweck dieses Kapitels soll sein, Regelungen zur Frequenznutzung dahingehend zu untersuchen. Zu Beginn des Textabschnitts sollen kurz wichtige Institutionen für die Frequenzregulierung vorgestellt werden. Die darauffolgende Betrachtung der Vorschriften beschränkt sich aus Gründen der Übersicht auf die Rechtslage in Deutschland.

Auf weltweiter Ebene ist die Internationale Fernmeldeunion (ITU) die zuständige Institution, die die Frequenznutzung für Funkanwendungen reguliert. Auf Grundlage des internationalen Fernmeldevertrags legt sie Bestimmungen zur Frequenzverwendung und daran gebundene Bedingungen fest. Die getroffenen Vorgaben werden in den sogenannten Radio Regulations niedergeschrieben. Auf europäischer Seite ist die CEPT, übersetzt die Europäische Konferenz der Verwaltungen für Post und Telekommunikation, verantwortlich für die Umsetzung der Radio Regulations. National für Deutschland ist die zuvor benannte Bundesnetzagentur (BNetzA) für die Frequenzregulierung zuständig. Die Behörde handelt auf der Grundlage des Telekommunikationsgesetzes (TKG). Die Aufgabe der Bundesnetzagentur ist es, die Regulierung der Frequenzen zukunftsfähig und marktorientiert zu gestalten, sodass ein fairer Wettbewerb gefördert wird. Dies wird in der Praxis mithilfe von Verordnungen und Bescheiden umgesetzt.³³

Als grundlegende Informationsquelle für die Frequenznutzungen in Deutschland kann die Frequenzverordnung herangezogen werden. In dieser Verordnung werden in sogenannten Frequenzzuweisungstabellen konkrete Frequenzbereiche den Funkdiensten und anderen Funkanwendern zugeordnet.³⁴ Außerdem wird in den Tabellen definiert, welche Dienste als primär und welche als sekundär gelten. Primäre Dienste haben ein Vorrecht bei der Frequenznutzung gegenüber sekundären und dürfen durch diese nicht gestört werden.³⁵

³³ Vgl. Freyer, U. (2017): *Nachrichten-Übertragungstechnik*, S. 82

³⁴ Vgl. FreqV, § 1 und § 2 Absatz 1

³⁵ Vgl. FreqV, § 3 Absatz 3-5

Weiterführende Informationen können dem von der Bundesnetzagentur herausgegebenen Frequenzplan entnommen werden. Dort können ergänzend zu den Frequenzbereichen detaillierte Beschreibungen zu den Funkdiensten, den Nutzungszwecken und den damit verknüpften Bedingungen gefunden werden.³⁶ Grundsätzlich gilt laut § 91 des TKGs, dass für jede Frequenzverwendung eine Frequenzzuteilung im Vorhinein erforderlich ist. Eine Zuteilung ist in diesem Kontext eine behördliche oder durch Rechtsvorschriften begründete Genehmigung, die die Verwendung ausgewählter Frequenzen unter bestimmten Bedingungen erlaubt.³⁷ Zu unterscheiden sind Allgemeinzuteilungen, Einzelzuteilungen sowie Kurzzeitzuteilungen. Im ersten Fall können festgelegte Frequenzen von bestimmten Anwendungen ohne Antrag verwendet werden. Ein einfaches Beispiel dafür sind drahtlose Telefone.³⁸ Eine Einzelzuteilung ist bei der Bundesnetzagentur hingegen schriftlich zu beantragen.³⁹ Die dritte Option ist die Möglichkeit einer Kurzzeitzuteilung. Nach § 97 des TKGs sind kurzzeitige Abweichungen von den Vorgaben und den Zuweisungen des Frequenzplans möglich, wenn diese ausreichend begründet sind und andere Nutzungen nicht stören.⁴⁰ Kurzzeitzuteilungen können auf Antrag bei der Bundesnetzagentur für Veranstaltungen gewährt werden. Die Anträge sind spätestens 15 Tage vor Nutzungsbeginn der Drahtlosanlagen einzureichen. Bei Großveranstaltungen können abweichende Antragsfristen festgesetzt werden.⁴¹

Die Bundesnetzagentur ordnet Funkanwendungen bei Veranstaltungen allgemein der Bezeichnung „Programme Making and Special Events“ (PMSE) zu. Teile der PMSE-Gruppe sind der Durchsagefunk, der Reportagefunk sowie der allgemeine Fernsehfunk des nichtöffentlichen mobilen Landfunks. Untergruppen des Durchsagefunks sind Funkmikrofone und der Betriebsfunk zu Führungszwecken. Detaillierte Informationen können zu PMSE in den vorab erwähnten Verwaltungsvorschriften für Frequenzzuteilungen im nichtöffentlichen mobilen Landfunk (VVnömL) gefunden werden.⁴²

³⁶ Vgl. FreqP, S. 1 ff.

³⁷ Vgl. TKG, § 3 Absatz 14 und § 91 Absatz 1

³⁸ Vgl. Freyer, U. (2017): *Nachrichten-Übertragungstechnik*, S. 83

³⁹ Vgl. TKG, § 91 Absatz 3–5

⁴⁰ Vgl. TKG, § 97 Absatz 2

⁴¹ Vgl. VVKuNz, S. 5 f.

⁴² Vgl. Bundesnetzagentur (o.J.): <https://www.bundesnetzagentur.de/>

Die VVnöML baut auf dem Frequenzplan auf und ergänzt diesen in Form von konkreteren Angaben zu Frequenzbereichen, Bedarfsträgern, technischen Bedingungen und weiteren Parametern.⁴³ Die einzelnen Abschnitte der Vorschrift beginnen mit der Erklärung der jeweiligen technischen Einrichtung, benennen die Nutzergruppen und eventuelle Auflagen bei der Verwendung. Daraufhin werden in Tabellenform die zulässigen Frequenzbereiche oder Einzelfrequenzen aufgeführt. In den Tabellen wird zudem die zulässige Betriebsart des Systems angegeben, zum Beispiel, ob die Übertragungsweise des Geräts einseitig, abwechselnd (Simplex) oder gleichzeitig (Duplex) abläuft. Hinzu gibt es Vorgaben zu Kanalbandbreiten und Kanalabständen. Die Bandbreite beschreibt den Frequenzplatz, den ein Funksystem für die Übertragung benötigt. Der Kanalabstand gibt die notwendige Differenz zwischen den Mittenfrequenzen zwei benachbarter Kanäle an. Des Weiteren ist in den Tabellen die zulässige äquivalente Strahlungsleistung der betreffenden Geräte in Watt definiert. Es handelt sich um eine Leistung, die eine als theoretische Bezugsgröße gewählte Strahlungsquelle benötigt, um dieselbe Leistungsflussdichte wie die tatsächliche Quelle zu bilden. Bei einem isotropen Strahler als Referenz wird von einer äquivalenten isotropen Strahlungsleistung (EIRP) gesprochen. Bei einem Halbwellendipol als Bezugspunkt wird nur die Bezeichnung der äquivalenten Strahlungsleistung (ERP) verwendet.⁴⁴

Der Kapitelaufbau der VVnöML ist in den Grundzügen nun bekannt. Anschließend sollen jetzt ausschnittsweise die Anwendungen der PMSE-Gruppe und ihre nutzbaren Frequenzbänder dargelegt werden.

Die erste Gruppe, die erörtert wird, ist die des Durchsagefunks. Zu dieser Kategorie zählen Funkmikrofone und der Betriebsfunk für Führungszwecke.⁴⁵ In-Ear-Systeme werden allgemein den Funkmikrofonen zugeordnet.⁴⁶ Aktuell via Einzelzuteilung stehen für Funkmikrofone die Frequenzbereiche 733–758 MHz, 1350–1400 MHz und 1452–1525 MHz zur Verfügung.⁴⁷ Allgemein zugeteilt und somit ohne gesonderten Antrag können Frequenzen in den Abschnitten 30–40 MHz, 174–230 MHz, 470–608 MHz sowie 614–694 MHz genutzt werden.

⁴³ Vgl. VVnöML, S. 6

⁴⁴ Vgl. VVnöML, Beispiel Kapitelaufbau S. 128 ff. und Begriffsbestimmungen S. 8–11

⁴⁵ Vgl. VVnöML, S. 123

⁴⁶ Vgl. VVnöML, S. 125

⁴⁷ Vgl. VVnöML, S. 126 f.

Dazu zählen des Weiteren noch die Bänder 823–832 MHz, 863–865 MHz und 1785–1805 MHz. Genauere Informationen zu den Allgemeinzuteilungen können den Amtsblattverfügungen der Bundesnetzagentur entnommen werden.⁴⁸ Für den Führungsfunk als weiteren Teil des Durchsagefunks kommen Frequenzen im Gebiet 27 MHz, 30–40 MHz sowie 146–174 MHz zum Einsatz, die zuvor beantragt werden müssen.⁴⁹ (Antragsformular mobiler Landfunk, siehe Anhang 1)

Der zweite Teil der PMSE-Anwendungen ist der Reportagefunk, für den ebenfalls Einzelzuteilungen notwendig sind. Rundfunkanstalten und private Programm-anbieter sowie Produzenten setzen diesen Funk ein, um Sprache, Musik und Bilder für Reportagen, Produktionen oder technische Dienste drahtlos übertragen zu können.⁵⁰ Die Rundfunk- und Programmanbieter nehmen an Veranstaltungen zum Zweck der Berichterstattung teil, sofern sie zugelassen sind und ein mediales Interesse besteht. Die genutzten Frequenzen dieser Interessensgruppe müssen daher auch berücksichtigt werden. Die erste Untergruppe des Reportagefunks ist der Regiefunk. Für die Regieanweisungen werden Frequenzen zwischen 160–168 MHz, 440–450 MHz und 470–526 MHz verwendet.⁵¹ Die nächste Kategorie des Reportagefunks ist der bewegbare Richtfunk zur Ton- und Meldungsübertragung. Darunter ist ein vorübergehender Aufbau einer Funkanlage zu verstehen, die dazu eingesetzt wird, um zu aktuellen Geschehnissen Ton- und Meldedaten zu übermitteln.⁵² Die Meldeübertragung umfasst dabei Sprachsignale und Informationen, die die Beteiligten für die Vorbereitung und Durchführung der Ton- und Bildübermittlungen untereinander austauschen.⁵³ Der Datentransfer erfolgt zum Beispiel von einem Übertragungswagen direkt zu einem Studio oder zu einem Einspeisepunkt im Festnetz und wieder zurück. Gestattete Frequenzen für die Übertragungsstrecken sind 77 MHz, 87 MHz, 160 MHz, 164 MHz, 166 MHz und 167 MHz, wobei bei den letzten beiden Frequenzen nur die Meldeübertragung zugelassen ist. Weiterhin kann bei beiden Streckenarten noch der Bereich 470–694 MHz genutzt werden.⁵⁴

⁴⁸ Vgl. Bundesnetzagentur (o.J.): <https://www.bundesnetzagentur.de/>

⁴⁹ Vgl. VVnöml, S. 128 ff.

⁵⁰ Vgl. VVnöml, S. 131

⁵¹ Vgl. VVnöml, S. 134–137

⁵² Vgl. VVnöml, S. 138

⁵³ Vgl. VVnöml, S. 132

⁵⁴ Vgl. VVnöml, S. 138–144

Der nächstfolgende Abschnitt des Reportagefunks ist der Fernsehfunk zur Bildübertragung. Die für diesen Einsatzzweck zugewiesenen Frequenzen werden zum einseitigen Übertragen von Fernseh-Bildsignalen benutzt sowie für zusätzliche Ton- und Datensignale. Beispielhafte Geräte, die für den Fernsehfunk zum Einsatz kommen, sind drahtlose Kameras und Videostrecken. Frequenzbänder, die für diese Gruppe zugeteilt werden können, liegen bei 2010–2025 MHz, 2320–2483 MHz und 10,40–10,68 GHz.⁵⁵ Die abschließende Unterkategorie des Reportagefunks ist der bewegbare Richtfunk zur Bildübertragung. Es handelt sich dabei um eine eingerichtete Funkstrecke, die zur einseitigen Übermittlung von Fernseh- und Audiosignalen dient. Die Besonderheit dieser Kategorie ist, dass die Funkübertragung nur kurzzeitig für die Berichterstattung zu aktuellen Ereignissen gestattet ist. Dazu dürfen Frequenzen bei 21 GHz verwendet werden. Der Einsatz im Bereich der davor erläuterten Fernsehfunk-Frequenzen ist ebenfalls genehmigt.⁵⁶

Die letzte Gruppe, die zu dem Überbegriff PMSE gehört, ist der allgemeine Fernsehfunk. In diese Kategorie fällt die Verwendung von drahtlosen Kameras, mit denen Bild- und gegebenenfalls Audio- sowie Datensignale übertragen werden. Nutzergruppen sind Behörden, Anstalten des öffentlichen Rechts, Unternehmen, Vereine sowie Verbände. Für Rundfunkanstalten und Programmanbieter gelten die Regelungen des Reportagefunks. Für den allgemeinen Fernsehfunk können Frequenzen bei 2339 MHz, 2346 MHz, 2337 MHz und 2344 MHz zugeteilt werden.⁵⁷

Wie ersichtlich wurde, stellt die VVnöML die grundlegende Informationsbasis für die Frequenznutzung der PMSE-Applikationen dar. Die angegebenen Frequenzen in der Vorschrift werden auf Antrag bei der Bundesnetzagentur einzeln zugeteilt. Es sei denn, es gibt wie bei den Funkmikrofonen explizite Verweise in der Vorschrift, dass die jeweiligen Frequenzen allgemeinzuteilt sind. Informationen zu den Allgemeinzuteilungen finden sich auf der Webseite der Bundesnetzagentur und in den jeweiligen Amtsblattverfügungen. Es gibt noch weitere allgemeinzuteilte Frequenzbänder, die von Drahtlossystemen im Veranstaltungsbereich genutzt werden und die der Vollständigkeit halber erwähnt werden sollen.

⁵⁵ Vgl. VVnöML, S. 145–149

⁵⁶ Vgl. VVnöML, S. 150 f.

⁵⁷ Vgl. VVnöML, S. 120

Dazu zählen zum Beispiel Frequenzräume bei 2,4 GHz, 5 GHz und 6 GHz, die für WLAN-Anwendungen genutzt werden.⁵⁸ Weiterhin sind die sogenannten ISM-Bänder allgemeingeteilt. Die Frequenzen dieser Bänder können generell für industrielle, wissenschaftliche oder medizinische Zwecke eingesetzt werden. Dazu gehören unter anderem Frequenzen im Gebiet 40 MHz, 433–434 MHz, 2,4–2,5 GHz, 5,7–5,8 GHz oder auch 24 GHz.⁵⁹ Videofunkstrecken verwenden zum Beispiel das ISM-Band zwischen 5,7 und 5,8 GHz und Wireless-DMX arbeitet zum Teil bei 2,4 GHz. Das letzte allgemeingeteilte Frequenzband, welches hier noch genannt werden soll, ist der DECT-Bereich, der zwischen 1,88 und 1,9 GHz liegt.⁶⁰ Neben den schnurlosen Festnetztelefonen sind in diesem Abschnitt beispielsweise auch Intercom-Systeme zu finden.

Rückblickend auf dieses Kapitel wurden für die Frequenzregulierung zuständige Institutionen auf internationaler und nationaler Ebene ermittelt. Weiterhin konnte herausgefunden werden, dass das Telekommunikationsgesetz in Deutschland die maßgebliche Rechtsgrundlage für die Frequenznutzung bildet. Ergänzende Ausführungen zu dem Gesetz können in der Frequenzverordnung und in dem Frequenzplan gefunden werden. Weitergehende Details bietet die VVnöML, in der konkrete Nutzungsbestimmungen für Drahtlosanwendungen bei Veranstaltungen definiert sind. Im nächsten Schritt wurden dann die einzelnen Anwendungsfälle und deren Frequenzbereiche aus der VVnöML herausgearbeitet. Im Anschluss erfolgte die Untersuchung zusätzlicher Frequenzbänder außerhalb der VVnöML, die für drahtlose Veranstaltungstechnik ebenfalls verwendet werden können. Im Rahmen der Betrachtung hat sich gezeigt, dass Funk bei Veranstaltungen in verschiedensten Frequenzbereichen vorkommt und es eine Vielzahl an Anwendungsfällen gibt. Vereinzelt wurde auch ersichtlich, dass unterschiedliche Nutzergruppen sich die gleichen Frequenzräume teilen müssen, was wiederum den Bedarf einer Frequenzkoordinierung verdeutlicht. Mit dem Abschluss dieses Hauptkapitels sind nun erste Grundlagen der Funktechnik und rechtliche Bestimmungen der Frequenznutzung bekannt. Darauf aufbauend soll im nächsten Abschnitt das Arbeitsfeld des Frequenzmanagements untersucht werden.

⁵⁸ Vgl. Bundesnetzagentur Vfg. 64/2018, Vfg. 151/2018 und Vfg. 55/2021

⁵⁹ Vgl. Bundesnetzagentur Vfg. 76/2003

⁶⁰ Vgl. Bundesnetzagentur Vfg. 25/2015

4 Frequenzmanagement bei einer Veranstaltungsproduktion

Im Kapitel 4 sollen als nächstes die einzelnen Abläufe und möglichen Vorgehensweisen des Frequenzmanagements bei einer Veranstaltungsproduktion beleuchtet werden. Das übergeordnete Ziel ist, Maßnahmen des Frequenzmanagements zu ergründen und auf diese Weise Antworten für die gestellte Forschungsfrage zu finden. Wie in der Einleitung erwähnt, sollen dafür die interviewten Fachexperten mit ihren Erfahrungen hinzugezogen werden. Der Aufbau des Abschnitts orientiert sich an dem Phasenmodell nach Holzbaur et alii. Die ersten beiden Etappen des Phasenablaufs (Initialisierung und Start) werden hier nicht detailliert ausgeführt, da sie die Grundvoraussetzung für die Arbeit des Frequenzmanagements bilden. In der Initialisierungsphase entsteht die prinzipielle Idee für das Event. Darauf folgt die Zusammenstellung eines groben Konzeptes und eine Zieldefinition. Am Ende der Phase fällt die Entscheidung, ob das Event umgesetzt werden soll oder nicht. Im Falle der Zustimmung wird in der anschließenden Startphase das Konzept weiter konkretisiert. Es folgt eine Strukturierung des Projekts und es werden Verantwortungsbereiche festgelegt. Weiterhin werden Programmpunkte sowie Zeitpläne erstellt und der Ressourcenbedarf wird erarbeitet.⁶¹ Das Frequenzmanagement baut auf diesen beiden Phasen auf, wie nachfolgend ersichtlich wird.

4.1 Vorbereitende Maßnahmen

Ist die Startphase abgeschlossen und das Projekt wird weiter fortgesetzt, schließt daran die Vorbereitung an. Die Fachexperten werden in den Interviews gefragt, was für sie die zu klärenden Fragen sind, damit sie mit ihrer Arbeit beginnen können. Eine der grundlegenden Fragen, die die Experten dabei aufführen, ist die nach dem Inhalt der Veranstaltung. Darauf aufbauend stellen sie weitere Fragen im Hinblick auf den technischen Umfang. Das heißt, wie viele und was für Funksysteme sollen bei der Veranstaltung im Einsatz sein? Welche Gewerke verwenden Funk? Fachexperte 2 erläutert noch, dass er auch nach der Funkabdeckung fragt, die gewährleistet werden soll, und ob es szenische Besonderheiten gibt, die bei der Funkplanung bedacht werden müssen. Neben den technischen Aspekten erfragen

⁶¹ Vgl. Holzbaur, U. et alii (2010): *Eventmanagement*, S. 24 ff. und S. 192 f.

die Experten außerdem den spezifischen Einsatzort. Vereinfacht gesagt, wo findet die Veranstaltung statt? Experte 3 ergänzt zudem, dass es wichtig ist, zu wissen, ob die Veranstaltung drinnen oder draußen durchgeführt wird. Die dritte grundlegende Frage neben Inhalt und Ort ist die nach der Zeit. Das heißt, wann erfolgen welche Abläufe während der Veranstaltung? Welche Funksysteme werden zu welchen Zeitpunkten betrieben? Wie viel Vorbereitungszeit steht zur Verfügung? Frageformulierungen dieser Art zählen die Experten in den Interviews auf. Einhergehend mit den beispielhaft genannten Fragestellungen äußern die Experten auch, dass es wichtig ist, sich zu Anfang über das Leistungsspektrum mit ihrem Auftraggeber zu verständigen und zu klären, welche Aufgaben und Tätigkeiten sie abdecken sollen.⁶² Sind diese ersten Fragen geklärt, kann die Vorbereitungsarbeit beginnen.

4.1.1 Vorabprüfung des lokalen Frequenzspektrums

Einer der frühzeitigen Schritte in der Vorbereitung ist laut den Experten die Analyse des lokalen Frequenzspektrums.⁶³ In diesem Zusammenhang verweist Experte 3 im Interview darauf, dass grundlegend geklärt werden muss, welche Regulierungen für die Nutzung von Drahtlostechnik gelten.⁶⁴ In Deutschland ist, wie aus dem vorherigen Kapitel bekannt, die Bundesnetzagentur die verantwortliche Behörde, die auf Basis des TKGs arbeitet. In anderen Ländern gibt es entsprechend andere Behörden sowie eventuell abweichende Regulierungen und Frequenzbereiche. Die möglichen Unterschiede werden zum Beispiel deutlich anhand der vom APWPT-Verband veröffentlichten Übersicht zu Frequenzen für Drahtlosmikrofone. In diesem Dokument werden für die Verwendung von Funkmikrofonen Frequenzbereiche, Nutzungsbestimmungen sowie Kontakte zu Ansprechstellen von zirka 50 Ländern aufgelistet. Zwischen den Nationen zeigen sich teilweise Abweichungen für erlaubte Frequenzen und Strahlungsleistungen.⁶⁵ Aus diesem Grund ist es für das Frequenzmanagement wichtig, sich mit der jeweiligen Regulierungssituation vertraut zu machen und diese zu berücksichtigen.

⁶² Vgl. Fachexperte 1–5, persönliches Interview, Interviewfrage Nr. 2

⁶³ Vgl. Fachexperte 1–4, persönliches Interview, Interviewfrage Nr. 3
Vgl. Fachexperte 5, persönliches Interview, Interviewfrage Nr. 4

⁶⁴ Vgl. Fachexperte 3, persönliches Interview, Zeile 155–162

⁶⁵ Vgl. APWPT-Verband (2021): <https://apwpt.org/>

Bei einer Tournee zum Beispiel, die durch mehrere Länder verläuft und die eigene Drahtlostechnik benutzt, kann eine solche Analyse essentiell sein, um sicherzustellen, dass die eingeführte Funktechnik auch eingesetzt werden darf.

In der anfänglichen Spektrumsuntersuchung wird weiterhin überprüft, welche Funkanwender in den Frequenzbändern vorkommen, die für die Veranstaltung verwendet werden sollen.⁶⁶ Neben den veranstaltungsinternen Nutzern kann es auch externe Bedarfsträger geben. Um feststellen zu können, welche Interessensgruppen sich in den Frequenzräumen befinden, kann in Deutschland der Frequenzplan zu Rate gezogen werden. Angenommen der Abschnitt 470–694 MHz soll betrachtet werden, indem unter anderem Funkmikrofone, In-Ears und der Reportagefunk arbeiten: Dem Frequenzplan kann entnommen werden, dass in diesem Bereich zusätzlich der Fernseh-Rundfunk auf Grundlage des DVB-T- oder DVB-T2-Standards vorkommt. Weitere Funkapplikationen in dem Abschnitt sind die Radioastronomie bei 608–614 MHz oder Radare zur Windmessung zwischen 470 und 494 MHz. Außerdem nutzt das Militär Einzelfrequenzen in dieser Umgebung, die jedoch zuvor mit der Bundesnetzagentur abgestimmt werden müssen. An dem dargestellten Beispiel wird ersichtlich, dass die PMSE-Anwendungen sich Frequenzbereiche je nach Lage mit verschiedenen Bedarfsträgern teilen müssen. Bei den Angaben des Frequenzplans ist außerdem zu beachten, ob die Funknutzungen als primär oder sekundär eingestuft werden. Im Falle des besagten Beispiels sind der Fernsehfunk und die Radioastronomie primäre Dienste. Die PMSE-Gruppe, hier bestehend aus Funkmikrofonen, In-Ears sowie Betriebsfunk für Reportagezwecke, ist als sekundär eingeordnet. Demzufolge haben Fernsehfunk und Radioastronomie ein Vorrecht bei der Frequenzverwendung und dürfen durch die sekundäre Gruppe nicht gestört werden. Die Unterscheidung im Frequenzplan wird kenntlich gemacht durch unterschiedliche Schreibweisen des Funkdiensts. Wird der Dienst in Großbuchstaben dargestellt, gilt er als primär. Ist die Bezeichnung regulär ausgeschrieben, handelt es sich um einen sekundären Funkdienst.⁶⁷ Die Unterscheidung zwischen vorrangigen und nachrangigen Funkgruppen muss folglich bei einem Frequenzmanagement auch bedacht werden.

⁶⁶ Vgl. Fachexpertise 2, persönliches Interview, Zeile 162–179

⁶⁷ Vgl. FreqP, S. 319 ff. und S. 2

Der Frequenzplan kann, wie sich gezeigt hat, als Informationsbasis genommen werden, um herausfinden zu können, welche Spektrumsteilnehmer es gibt und welche Priorisierungen vorliegen. Für die weiterführende Analyse des Frequenzspektrums werden laut der Experten Frequenzmessungen am Veranstaltungsort durchgeführt und verschiedene Datenbanken überprüft.⁶⁸

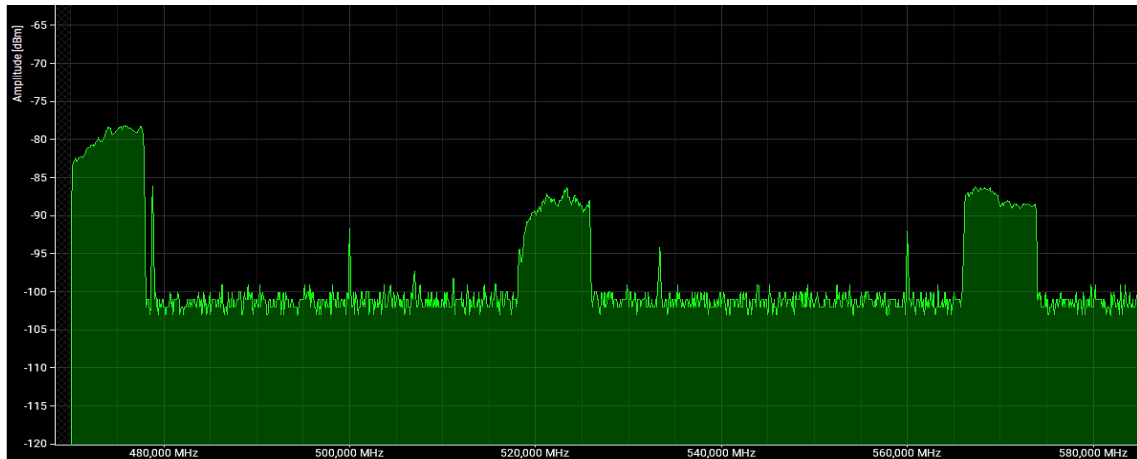


Abb. 4: Frequenzspektrum zwischen 470 und 580 MHz an der Messe Erfurt, Angabe der Amplitude in dbm, Messgerät: Shure AXT600, Messdatum: 12.12.2019

Abbildung 4 zum Beispiel veranschaulicht eine vorgenommene Frequenzmessung bei der Messe in Erfurt. Erkennbar ist ein Grundrauschen, welches konstant bei zirka -100 dbm liegt. Des Weiteren sind drei breitere Träger zu sehen, deren Amplituden ungefähr -87 und -78 dbm betragen. Die beschriebenen Träger sind DVB-T-Kanäle. Charakteristisch für DVB-T ist eine durchgehende Bandbreite von 8 MHz. Im Spektrumsabbild haben sie deshalb eine markante Rechteckform, die sich von schmaleren Trägern sichtbar unterscheidet. Bei analogen Fernsehsignalen war damals die Bandbreite nicht komplett durchgängig und es war möglich Trägerfrequenzen für Funkmikrofone in Zwischenräumen zu platzieren. Heute bei DVB-T geht das wiederum nicht und die Frequenzbereiche müssen daher gemieden werden.⁶⁹

Mithilfe einer Spektrumsmessung am Veranstaltungsort, wie die Abbildung zeigt, werden belegte Frequenzen sichtbar und können bei der weiteren Planung berücksichtigt werden. Experte 5 gibt den expliziten Hinweis, dass eine Messung nur eine Momentaufnahme darstellen kann. Es ist durchaus möglich, dass zu einem

⁶⁸ Vgl. Fachexperte 1–4, persönliches Interview, Interviewfrage Nr. 4

Vgl. Fachexperte 3, persönliches Interview, Interviewfrage Nr. 3

⁶⁹ Vgl. Pieper, F. (2015): *Das P.A. Handbuch*, S. 124

späteren Zeitpunkt andere Messergebnisse auftreten.⁷⁰ Fachexperte 3 empfiehlt, möglichst viele Messungen über den Tag verteilt durchzuführen, um Änderungen des Frequenzspektrums eher zu erfassen. Außerdem ergänzt er, dass eine Messung in der Versammlungsstätte bei einer anderen Veranstaltung im Vorfeld nützlich sein kann. Auf diese Weise lassen sich Daten gewinnen, wie das Frequenzspektrum sich im örtlichen Betrieb verhält.⁷¹ Ein denkbares Szenario wäre, dass für Veranstaltungen hausinterne Drahtlosanlagen von der Spielstätte aufgebaut und eingeschaltet werden. Die Anlagen wären demnach in einem Frequenzscan, der außerhalb der Nutzungszeiten der Örtlichkeit durchgeführt wird, nicht sichtbar. Eine Messung während des Betriebs kann daher ergänzende Daten liefern. Die Ergebnisse können mit den vor der Veranstaltung durchgeführten Frequenzscans verglichen werden.

Die zweite Methode zur örtlichen Frequenzrecherche, die auch ergänzend zu den Frequenzmessungen angewandt werden kann, ist die Arbeit mit Datenbanken. Es besteht im Vorfeld auch nicht immer die Möglichkeit, vor Ort Frequenzen zu messen.⁷² In diesem Fall muss vermehrt auf Datenverzeichnisse zurückgegriffen werden. Fachexperte 2 verweist zum Beispiel auf eine veröffentlichte DVB-T-Liste der Bundesnetzagentur, die aktuelle Angaben zu den Fernsehkanälen enthält. Die Übersicht wird wöchentlich auf der Webseite der Behörde aktualisiert.⁷³ Auf diese Weise können die DVB-T-Kanäle auch ohne Messung überprüft werden. In der Liste der Behörde stehen unter anderem die einzelnen Sendernamen, die Nummer des TV-Kanals, die benutzte Mittenfrequenz und Koordinaten zur geografischen Lage des Senders.⁷⁴ Die Mittenfrequenz ist die zentral liegende Frequenz innerhalb einer bestimmten Bandbreite.⁷⁵ Wenn in der Übersicht der Bundesnetzagentur für einen TV-Kanal mit 8 MHz Bandbreite die Mittenfrequenz angegeben wird, müssen nach oben und nach unten jeweils 4 MHz dazugerechnet werden, um den Frequenzbereich des gesamten Fernsehkanals zu erhalten.

⁷⁰ Vgl. Fachexperte 5, persönliches Interview, Zeile 281–292

⁷¹ Vgl. Fachexperte 3, persönliches Interview, Zeile 173–181

⁷² Vgl. Fachexperte 4, persönliches Interview, Zeile 127–138

⁷³ Vgl. Fachexperte 2, persönliches Interview, Zeile 249–252

⁷⁴ Vgl. Bundesnetzagentur (o.J.): <https://www.bundesnetzagentur.de/>

⁷⁵ Vgl. Sengpielaudio (o.J.): <http://www.sengpielaudio.com>

Der Einfluss der DVB-T-Sender auf die Frequenzbänder am Veranstaltungsort hängt von den Entfernungen der zugehörigen Sendemasten ab. Als Richtwerte gelten bei Veranstaltungen im Außenbereich 80–95 km. Bei Innenräumen sind es 50–65 km.⁷⁶ Ab diesen Größenordnungen können die DVB-T-Kanäle das Frequenzspektrum am Veranstaltungsort beeinflussen. Mit abnehmender Entfernung werden die Signalamplituden der Fernsehkanäle dementsprechend stärker. Der kleinere Abstand bei Veranstaltungen in Innenräumen liegt darin begründet, dass die von außen kommenden Wellen durch Gebäudemauern in der Regel gedämpft werden.

Mithilfe der Orts- und Frequenzangaben aus der Liste der Bundesnetzagentur und den gegebenen Entfernungsrichtwerten kann demzufolge eine grobe Abschätzung getroffen werden, mit welchen DVB-T-Sendern am Veranstaltungsort gerechnet werden muss.

Als alternative Quelle für die Recherche kann zudem die Webseite DVB-T2 HD verwendet werden. Dort gibt es ebenfalls ein Verzeichnis zu den DVB-T-Kanälen und den Standorten.⁷⁷ Des Weiteren haben Frequenzmanagement-Softwares wie die Wireless Workbench von Shure integrierte Datenbanken, in denen Frequenzen von DVB-T-Sendern hinterlegt sind. Um generell an örtliche Frequenzinformationen zu kommen, nennt Experte 2 als Beispiel, dass es inzwischen auch Apps gibt, mit denen Personen Frequenzscans hochladen und teilen können.⁷⁸ Außerdem besteht bei Fragen zu Frequenznutzungen stets die Möglichkeit, direkt den Kontakt zur Bundesnetzagentur herzustellen. Fachexperte 2 erwähnt im Interview, dass er im Rahmen der Spektrumsanalyse auch Rücksprachen mit der Behörde führt. Eine weitere Anlaufstelle, die er noch aufzählt, ist der APWPT-Verband, der Informationen zu Frequenzen zusammenstellt und ebenfalls Hilfestellungen bei Fragen gewähren kann.⁷⁹

In den Interviews äußern die Experten, dass sie bei der Spektrumsanalyse auch auf Erfahrungen und Daten von vergangenen Veranstaltungen zurückgreifen. Fachexperte 1 erklärt, dass zu jedem Veranstaltungsort, an welchem er bereits gearbeitet hat, eine Datei mit gesammelten Informationen zu Messergebnissen

⁷⁶ Vgl. Shure Incorporated (2020): *Master Class Drahtlostechnik*, Folie 214

⁷⁷ Vgl. ARD Digital (2019): <https://www.dvb-t2hd.de>

⁷⁸ Vgl. Fachexperte 2, persönliches Interview, Zeile 247–249

⁷⁹ Vgl. Fachexperte 2, persönliches Interview, Zeile 240–242 und 256–259

und lokalen DVB-T-Sendern erstellt wird. Die Daten von der zurückliegenden Veranstaltung vergleicht er mit den gegenwärtigen Veröffentlichungen der Bundesnetzagentur. Die aktualisierte Datei verwendet er daraufhin als Grundlage, um weitere Frequenzen der Veranstaltung einzutragen.⁸⁰ Sofern es also Erfahrungen und eventuell eine Dokumentation zu dem Veranstaltungsort gibt, können diese als Ausgangspunkt für die nächste Spektrumsanalyse benutzt werden. Zusätzlich weist Experte 1 auf die Möglichkeit hin, den Kontakt zu anderen Frequenzmanagern oder Produktherstellern zu suchen, die die jeweilige Veranstaltungsstätte schon kennen, und sie nach ihren Erfahrungen zu befragen.⁸¹

Mit den beschriebenen Recherchemethoden und lokalen Messungen können, wie sich gezeigt hat, in der Vorbereitung Informationen zum Frequenzspektrum des Veranstaltungsortes gewonnen werden. Ein Sonderfall, der mit hoher Wahrscheinlichkeit durch das genannte Raster fallen wird, soll an dieser Stelle noch erläutert werden. Es geht um mögliche Störsender, die zum Beispiel zum Abhörschutz von politischen Ereignissen wie Staatsbesuchen aufgestellt werden. Experte 5 berichtet im Interview von einer solchen Erfahrung. Bei einer Veranstaltung am Brandenburger Tor zum Tag der deutschen Einheit in Berlin wurde laut dem Experten am nebenan liegenden Adlon Hotel ein Störsender aktiviert, weil dort internationale Gäste untergebracht waren. Der Experte erklärt weiter, dass in so einem Szenario beinahe keine Handlungsmöglichkeiten mehr gegeben sind, da die Störsender hohe Reichweiten besitzen und frequenzübergreifend sind. Problematisch ist zusätzlich, dass es keine Informationen dazu im Vorfeld gibt. Selbst die Bundesnetzagentur, bei welcher der Experte anfragte, hat keine Kenntnis davon. Andere Behörden sind zu diesem Thema kaum zu erreichen. Der Experte begründet die Existenz des Störsenders anhand der auffällig weit blockierten Bandbreite im Frequenzspektrum. Auch wenn der Handlungsspielraum in einer solchen Situation begrenzt ist, rät der Experte, die Nachrichten zu verfolgen, um informiert zu sein über mögliche Ereignisse wie Staatsbesuche.⁸² Das ist auch der Punkt, der für den Vorbereitungsteil mit aufgenommen werden soll.

⁸⁰ Vgl. Fachexperte 1, persönliches Interview, Zeile 189–198

⁸¹ Vgl. Fachexperte 1, persönliches Interview, Zeile 168–172

⁸² Vgl. Fachexperte 5, persönliches Interview, Zeile 318–335 und Zeile 359–371

Der Experte beschreibt noch einen Ansatz, wie er versucht, umfangreichen Störungen dieser Art entgegen zu kommen. Seine konkrete Vorgehensweise soll später im Kapitel 4.2 dargestellt werden.

In diesem Unterkapitel sind erste Vorbereitungsschritte des Frequenzmanagements ersichtlich geworden. Angefangen mit der Prüfung, welche nationalen Frequenzregulierungen gelten und welche Behörde zuständig ist. Daraufhin folgt die Recherche nach externen Bedarfsträgern, mit denen das Spektrum geteilt werden muss und die Klärung der Frage, ob die Bedarfsträger primäre oder sekundäre Nutzungsrechte besitzen. Im nächsten Schritt wird das Frequenzspektrum des Veranstaltungsorts näher analysiert. Sofern möglich, werden vor Ort Frequenzmessungen durchgeführt, um ein Spektrumsabbild zu erhalten. Regionale Frequenzeinschränkungen, wie DVB-T-Kanäle des Rundfunks, können zudem mithilfe von Datenbanken ermittelt werden. Zu guter Letzt wurde ein Sonderfall mit Störsendern bei politischen Ereignissen wie Staatsbesuchen betrachtet. Daraus konnte für die Vorbereitung abgeleitet werden, dass die Bekanntgabe von Ereignissen dieser Art in den Medien verfolgt werden sollte, um einen möglichen Störfall einkalkulieren zu können.

Es sei noch erwähnt, dass der in diesem Abschnitt primär untersuchte Frequenzbereich zwischen 470 und 694 MHz nur als Beispiel gelten soll. Andere Frequenzräume, die aus Kapitel 3.3 bekannt sind, können ebenfalls betrachtet werden. Dort kommen dementsprechend andere Frequenznutzer vor. Der Teilbereich 470 bis 694 MHz ist der größte Frequenzabschnitt der PMSE-Anwendungen in Deutschland, deswegen wurde er hier bevorzugt begutachtet. Außerdem gibt es die Besonderheit des primären DVB-T-Rundfunks, der je nach Region verschiedene Frequenzbereiche beansprucht und daher gesondert bei der Recherche beachtet werden muss.

Rückblickend auf das Unterkapitel wird deutlich, warum die Frequenzmanager zu Beginn ihrer Arbeit explizit nach dem Ort der Veranstaltung fragen. Die Ortsangabe ist die notwendige Grundlage, um spezifische Messungen und Recherchen durchführen zu können. Die daraus erschlossenen Ergebnisse bilden den Ausgangspunkt für die fortzuführende Planung des Frequenzmanagements.

4.1.2 Erfassung weiterer Funkanwender

Die Frequenzrecherche ist noch nicht vollständig abgeschlossen. Bisher konnten durch Messungen und Datenbankprüfungen eventuell erste externe Frequenznutzer, wie der lokale Rundfunk, ermittelt werden. Unbekannt ist zu diesem Zeitpunkt, welche veranstaltungsinternen Drahtlosanwendungen vorkommen und was für zusätzliche Funksysteme am Veranstaltungsort gegebenenfalls betrieben werden. In diesem Abschnitt soll das weitere Vorgehen bei der Frequenzrecherche dahingehend untersucht werden.

Experte 1 beschreibt, dass er frühzeitig bei seinem Auftraggeber die Ansprechpartner der jeweiligen Gewerke abfragt, die bei der Veranstaltung beteiligt sind. Sobald ihm die Kontakte vorliegen, meldet er sich bei den Personen und fragt nach, was für Drahtlostechnik von ihnen benutzt wird.⁸³ Experte 4, der als selbstständiger Frequenzmanager arbeitet, erläutert hingegen, dass er in der Regel direkt von dem Unternehmen, welches ihn beauftragt, die Informationen zu der geplanten Drahtlostechnik erhält.⁸⁴ Experte 5 äußert ähnlich wie Experte 1, dass er versucht, wenn möglich, immer einen direkten Kontakt zu den einzelnen Ansprechpartnern herzustellen. Über den indirekten Kommunikationsweg gehen seiner Erfahrung nach meist Informationen verloren. Darüber hinaus berichtet er am Beispiel von Festivalsituationen, dass die technischen Anforderungen der Künstler in Form von Technical Ridern oftmals veraltet sind und damit auch die Informationen zu den Funksystemen, die sie einsetzen möchten. Das ist ebenfalls ein Grund, warum der Experte versucht proaktiv und möglichst direkt mit den Beteiligten zu kommunizieren. Er betont aber, dass das der Idealfall ist, der aus Zeitgründen oder aufgrund fehlender Kontakte nicht immer gegeben ist. Als weiteres Hilfsmittel zur Kommunikation und Datenrecherche erstellt er ein Frequenzinfoblatt, welches die Produktionsteilnehmer zugeschickt bekommen.⁸⁵ Das Original des Experten liegt vor, darf aber hier nicht veröffentlicht werden. Aus diesem Grund wird zur Veranschaulichung nachfolgend ein Schreiben dieser Art selbst entwickelt, welches sich am Dokument des Experten und an einer zusätzlichen amerikanischen Quelle orientiert.

⁸³ Vgl. Fachexperte 1, persönliches Interview, Zeile 123–130

⁸⁴ Vgl. Fachexperte 4, persönliches Interview, Zeile 162–187

⁸⁵ Vgl. Fachexperte 5, persönliches Interview, Zeile 399–446

Informationsblatt zur Frequenznutzung (Musterdarstellung)

Sehr geehrte Damen und Herren,

wenn Sie bei der geplanten Veranstaltung *Mustername* am *TT.MM.JJJJ* in der *Musterarena* in *Musterstadt* und bei den Proben Drahtlostechnik in Betrieb nehmen möchten, lesen Sie das folgende Dokument bitte sorgfältig durch und füllen Sie die untenstehenden Felder aus. Senden Sie das Informationsblatt mit Ihren Angaben bitte bis spätestens *TT.MM.JJJJ* an die unten aufgeführte Adresse.

Um eine möglichst störungsfreie Nutzung Ihrer und aller anderen Funkanwendungen bei der Veranstaltung und den Proben realisieren zu können, ist eine Frequenzkoordination erforderlich. Damit wir Ihre Drahtlostechnik in dieser Koordination auch berücksichtigen können, benötigen wir die nachstehenden Informationen von Ihnen.

Kontaktdaten:

Organisation/Person: *Muster-Künstler* Ansprechpartner: (...)

E-Mail-Adresse: (...) Telefon: (...)

Drahtlostechnik:

Produktart: *Funkmikrofon* Anzahl: *5*

Hersteller/Modell: *Shure ULX-D* Frequenzbereich: *470–534 MHz*

Einsatzzweck: *Gesang* Einsatzzeit: *05.06.22, 15:00–16:30 Uhr*

Einsatzort: *Bühne am Musterplatz*

Optionale Systemangaben:

Kanalbandbreite: *200 kHz* Modulationsart: *digital*

Sendeleistung: *20 mW*

Senden Sie das ausgefüllte Dokument bitte an [*muster@email.de*](mailto:muster@email.de) innerhalb der genannten Frist. Sollten Sie Rückfragen haben, wenden Sie sich gerne an *Frequenzmanager (Tel)*.

*Abb. 5: Selbsterstelltes Frequenzinfoblatt, angelehnt an Original-Vorlage von
Experte 5 und an Quick Lane Bowl, Frequency Coordination Request
(siehe Anhang 2)*

Die Darstellung auf der vorherigen Seite zeigt, wie ein mögliches Muster eines Frequenzinformationsblattes aussehen könnte. Zu Beginn des Dokuments des Experten steht sinngemäß der Hinweis, dass mithilfe der ausgefüllten Angaben dazu beigetragen wird, einen ungestörten Funkverkehr für die Veranstaltung und die Proben zu ermöglichen. Eine vergleichbare Formulierung wurde im Muster aufgenommen. Mithilfe dieser Eingangserklärung kann den Nutzern, die eventuell mit der Funktionsweise von Funktechnik nicht immer vertraut sind, das übergeordnete Ziel der Störungsfreiheit und in diesem Zusammenhang der Zweck dieses Dokuments verständlich dargelegt werden.

Neben der einleitenden Erklärung sind weitere Bestandteile des Infoblatts die auszufüllenden Kontaktdaten der Anwender und die technischen Parameter sowie Einsatzbereiche der Drahtlosanlagen, die hier beispielhaft ausgefüllt wurden. Die technischen Angaben in dem Muster wurden zusammengestellt aus den Experteninterviews, dem originalen Frequenzinfoblatt von Experte 5 und der amerikanischen Referenzquelle. Die Experten 3 und 4 verweisen darauf, dass es für sie wichtig ist, zu wissen, welche Geräte mit welchen Frequenzbereichen die Anwender benutzen möchten.⁸⁶ Experte 5 gibt diese Parameter in seinem Frequenzinfoblatt ebenfalls an. Der Experte 1 führt etwas weiter aus und zählt jenseits der Produktart und des Frequenzbereichs noch den Modulationstyp und die Bandbreite auf. Aus der amerikanischen Quelle wurde neben den bereits aufgeführten Kenngrößen noch die Sendeleistung und der Abschnitt mit den Einsatzbereichen übernommen. Anhand der Schnittmengen der Quellen wird ersichtlich, dass primär das Produktmodell und die genutzten Frequenzen relevant sind. Die Bedeutung der anderen Parameter wird in Kapitel 4.1.4 betrachtet. Die Kanalbandbreite, die Modulationsart sowie die Sendeleistung lassen sich alternativ über die Typenbezeichnung des Produkts ermitteln, deshalb wurden sie in dem Musterblatt als optional ausgewiesen.

Experte 5 beschreibt fortführend im Interview, dass er sein Infoblatt an die Produktionsleitung weitergibt und dort einmal den grundlegenden Zweck des Dokuments erklärt. Daraufhin leitet die Produktion das Dokument an die

⁸⁶ Vgl. Fachexperte 3, persönliches Interview, Zeile 264–275

Vgl. Fachexperte 4, persönliches Interview, Zeile 188–196

involvierten Gewerke und Agenturen weiter. Das Ziel des Experten ist in diesem Zusammenhang, das Infoblatt möglichst weit zu streuen. Er hinterlegt entsprechend seine Kontaktdaten in dem Schreiben mit der Bitte, dass sich die Funkanwender bei ihm melden.⁸⁷



*Abb. 6: Aushang zur Frequenznutzung
in der Max-Schmeling-Halle, selbsterstelltes Foto*

Abgesehen von den unmittelbaren Produktionsteilnehmern, die Funksysteme betreiben, müssen auch umliegende Drahtlosanlagen, die nicht direkt mit der Veranstaltung etwas zu tun haben, bedacht werden. In diese Kategorie kann zum Beispiel die Haustechnik der Veranstaltungsstätte fallen. Manche Einrichtungen, wie in Abbildung 6 zu sehen, weisen beispielsweise mit Schildern daraufhin, dass erst eine Abstimmung erfolgen muss, bevor Frequenzen genutzt werden können. Die Veranstaltungsstätten sollten daher in die Frequenzabfragen mit einbezogen werden. Ebenfalls zu der Kategorie zählen benachbarte Veranstaltungen und Produktionen, die mit Funk arbeiten. Experte 1 berichtet als Beispiel von den Bavaria Studios in München, die sein Unternehmen hinsichtlich der Frequenzkoordinierung betreut. Wenn in einem der Studios Funktechnik für eine Veranstaltung eingesetzt wird, muss aufgrund der kompakten Bauweise des Geländes auch geklärt werden, was in den restlichen 13 Studios für Frequenzen in Verwendung sind.⁸⁸ Demnach muss mit möglichen Produktionen und Veranstaltungen, die angrenzend stattfinden, ebenso eine Absprache bezüglich des Frequenzeinsatzes erfolgen.

⁸⁷ Vgl. Fachexperte 5, persönliches Interview, Zeile 440–455

⁸⁸ Vgl. Fachexperte 1, persönliches Interview, Zeile 14–30 und Zeile 139–148

In diesem Unterkapitel konnten Vorgehensweisen für die Frequenzrecherche nach veranstaltungsinternen und weiteren lokalen Funkanwendungen ermittelt werden. Neben der persönlichen Kontaktaufnahme zu den Nutzern kann zur Kommunikation ebenso ein Frequenzinfoblatt verwendet werden. Ein musterhaftes Schreiben dieser Art wurde mithilfe von Quellen entwickelt und erläutert. In dem Zuge wurden für das Frequenzmanagement wichtige Parameter, die bei den Nutzern abgefragt werden müssen, herausgearbeitet und in das Musterschreiben integriert. Darüber hinaus hat sich gezeigt, dass die Veranstaltungsstätte und die in der Nähe befindlichen Produktionen bei den Frequenzabfragen gleichermaßen berücksichtigt werden sollten. Für diesen Zweck können auch Frequenzinfoblätter eingesetzt werden. Anhand des Unterkapitels wird zudem erkennbar, warum die Frequenzmanager anfangs nach dem Inhalt der Veranstaltung, den involvierten Gewerken und Funkanwendungen fragen. Die Informationen daraus können genutzt werden, um einen Überblick zu erhalten, welche potenziellen Nutzergruppen für Funk existieren. Sobald die möglichen Funkanwender bekannt sind, können Frequenzabfragen an sie geschickt werden.

4.1.3 Durchführung einer Systemplanung am Beispiel Funkmikrofonie

Mithilfe der vorbereitenden Spektrumsanalyse, die in den vergangenen beiden Kapiteln untersucht wurde, liegt nun eine erste Wissensgrundlage vor, mit welchen Frequenznutzern bei einer vorgesehenen Veranstaltung kalkuliert werden muss. Diese bildet den Ausgangspunkt für die Systemplanung weiterer Funktechnik. Laut der im Kapitel 2 eingeführten Definition kann die technische Planung von Drahtlossystemen ebenfalls Teil eines Frequenzmanagements sein. Die technische Planung bezieht sich in diesem Fall auf das Zusammenstellen von funktechnischen Komponenten wie Empfängern, Sendern, Antennen und Kabeln, um in der Folge daraus ein in sich funktionierendes System aufbauen zu können. Je nach Bedarf sind dies Funkmikrofone, In-Ears, Intercom-Systeme oder auch andere Funkapplikationen. In den Interviews erwähnen die Experten meistens In-Ears und Funkmikrofone, die sie planen und auch bei einer Veranstaltung später betreuen. Andere Varianten sollen damit aber nicht ausgeschlossen werden. Im Hinblick auf die Zusammenstellung von Funksystemen werden die Experten in den Interviews befragt, worauf sie grundsätzlich bei der Planung achten.

Die genannten Aspekte sollen nachfolgend ausschnittsweise aufgeführt und mit weiteren Quellen ergänzt werden. Da es sich um ein sehr weitreichendes Themenfeld handelt, soll der Fokus vor allem auf Faktoren gerichtet sein, die zur Störungsfreiheit und zur Flexibilität bei der Frequenznutzung der Funkanwendungen beitragen. Um die Systemplanung etwas konkreter darstellen zu können, sollen vereinzelt Referenzbeispiele zur Funkmikrofonie gegeben werden.

Auswahl des Frequenzbereiches: Mit der Kenntnis aus der Spektrumsanalyse, welche Frequenzabschnitte belegt und welche noch nutzbar sind, kann in der technischen Planung entschieden werden, wie zusätzliche Funksysteme für die Veranstaltung im Spektrum platziert werden. Experte 5 erläutert, dass er jeweils prüft, inwieweit die Frequenzbereiche von zum Beispiel Künstlern genutzt werden. Auf dieser Basis entscheidet er, wo er weitere Systeme eingliedert. Er versucht dabei möglichst das ganze zur Verfügung stehende Frequenzspektrum einzusetzen, sodass die Funkanwendungen breitgefächert aufgeteilt sind.⁸⁹ Bei der Auswahl der Frequenzen muss ebenfalls beachtet werden, welche Funkreichweiten erzielt werden sollen. Aus Kapitel 3.1 ist der Zusammenhang bekannt: Je höher die Frequenz ist, desto kleiner ist die Wellenlänge. Während ein Funkmikrofon des Herstellers Shure bei 500 MHz Reichweiten bis zirka 100 m abdecken kann, sind es bei 2,4 GHz nur noch 30 m im Schnitt.⁹⁰ Die Werte hängen von den Umgebungsbedingungen ab und sollen nur als Richtgrößen gelten. Bei hohen Frequenzen beziehungsweise kurzen Wellenlängen ist außerdem problematisch, dass eher Abschattungseffekte auftreten. Das heißt, die Wellen können durch Hindernisse im Raum wie Personen oder Gegenstände in ihrer Ausbreitung eher eingeschränkt werden und erreichen dadurch den Empfänger eventuell nicht mehr.⁹¹ Im Falle von niedrigen Frequenzen und demzufolge größeren Wellenlängen können Hindernisse besser überwunden werden. Die tendenziell längeren Wellen können sich um Barrieren in ihrem Ausbreitungsweg herum beugen und auch ohne Sichtverbindung zu dem Empfänger gelangen.⁹²

⁸⁹ Vgl. Fachexperte 5, persönliches Interview, Zeile 489–514

⁹⁰ Vgl. Shure Distribution GmbH (2021): *GLXD4R User Guide*, S. 27

Vgl. Shure Distribution GmbH (2021): *SLX-D User Guide*, S. 31

⁹¹ Vgl. Ederhof, A. (2020): *Das Mikrofonsbuch*, S. 391

⁹² Vgl. Pieper, F. (2015): *Das P.A. Handbuch*, S. 121

Schaltbandbreite: Ein weiteres Auswahlkriterium bei der Planung von Funkstrecken bringt der Experte 1 ein. Er betont, dass er bevorzugt Systeme mit einer großen Schaltbandbreite einsetzt.⁹³ Der Begriff bezieht sich auf den Frequenzraum, in welchem ein Funkgerät arbeiten kann.⁹⁴ Wenn für ein Funkmikrofon-Kanal eine Bandbreite von 400 kHz angenommen wird, würden sich bei einer Schaltbandbreite von 24 MHz theoretisch 60 potenzielle Funkkanäle ergeben, die für die Sendestrecke verwendet werden können. In der Praxis sind es meist weniger. Aus der Rechnung lässt sich grundsätzlich ableiten, dass große Schaltbandbreiten mehr Möglichkeiten bei der Frequenzwahl erlauben. Experte 1 begründet seine Position im Interview ebenfalls dahingehend, dass umfangreiche Schaltbandbreiten ihm mehr Flexibilität gewähren, die Funksysteme zu platzieren.⁹⁵ Das Gegenbeispiel wären Drahtlosanlagen mit Festfrequenzen. In diesem Szenario besteht keine Flexibilität, da die Geräte nur mit einer Frequenz arbeiten können.

Digitale oder analoge Systeme: Die Experten 1, 3 und 4 erklären in den Interviews darüber hinaus, dass sie vorzugsweise digitale Drahtlostechnik benutzen. Als Gründe nennen sie Eigenschaften wie Spektrumseffizienz, Übertragungssicherheit und hohe Audioqualität, die sich mit Digitaltechnik realisieren lassen.⁹⁶ Für die digitale Signalübertragung kommen Modulationsverfahren wie ASK, FSK, PSK oder auch QAM zum Einsatz. Die Bezeichnung hängt davon ab, welche Parameter der Trägerfrequenz angepasst werden. Bei ASK ist es die Amplitude, bei FSK die Frequenz und bei PSK die Phase. Im Fall von QAM ist es eine Kombination aus Phase und Amplitude.⁹⁷ Mithilfe der digitalen Übermittlung können zusätzlich zu dem eigentlichen Signal Paritätsbits übertragen werden. Die Bits dienen zur Bildung von Prüfsummen, mit denen kontrolliert werden kann, ob das Signal gestört ist oder nicht. Sollte eine Störung vorliegen, kann im nächsten Schritt eine Fehlerkorrektur vorgenommen werden, um das ursprüngliche Signal wiederherzustellen. Mit derartigen Methoden der Digitaltechnik kann im Vergleich zu analogen Verfahren eine stabilere Übertragung gewährleistet werden.

⁹³ Vgl. Fachexperte 1, persönliches Interview, Zeile 257–268

⁹⁴ Vgl. Müller, W.-C. (2019): *Funk-Betriebssicherheit - Tipps für stabile Funkstrecken*, S. 13

⁹⁵ Vgl. Fachexperte 1, persönliches Interview, Zeile 257–279

⁹⁶ Vgl. Fachexperte 1, 3 und 4, persönliches Interview, Interviewfrage Nr. 6

⁹⁷ Vgl. Freyer, U. (2017): *Nachrichten-Übertragungstechnik*, S. 240 und S. 245

Außerdem sind bei digitalen Funkstrecken größere Reichweiten bei gleichbleibenden Sendeleistungen möglich. Weiterhin ist digitale Drahtlostechnik, im Vergleich zu analoger, meist weniger anfällig für Intermodulationen.⁹⁸

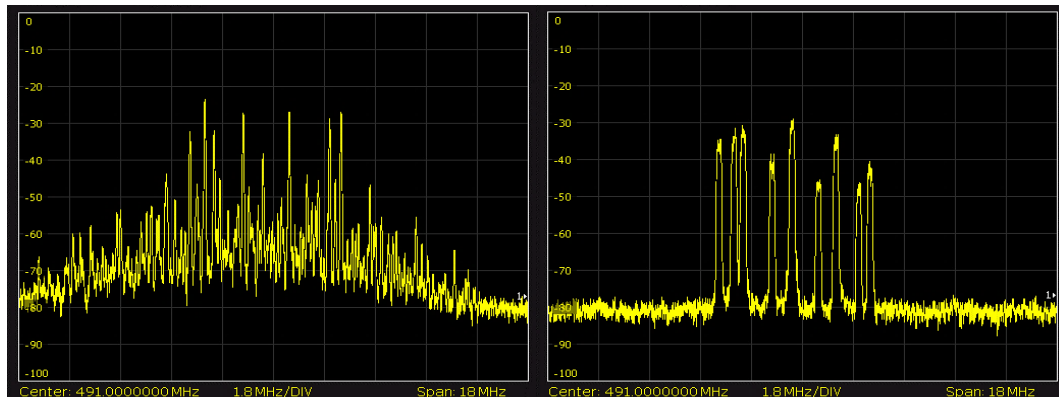


Abb. 7: Neun Funksender, die weniger als 20 cm voneinander entfernt sind, linke Spektrumsmessung mit analogen Funksystemen, rechts mit digitalen, X-Achse = Frequenz (1,8 MHz/DIV), Y-Achse = Amplitude in dbm

Es handelt sich bei Intermodulationen um Frequenzmischprodukte aus nicht-linearen Verzerrungen. Sie können durch Sendefrequenzen mit hoher Amplitude erzeugt werden. Dabei entstehen neue Frequenzen, die andere Kanäle im Frequenzspektrum möglicherweise stören. Die Intermodulationen kommen sowohl in Empfängern als auch in Sendern vor.⁹⁹ In Abbildung 7 wird dies am Beispiel von mehreren Sendern veranschaulicht, die nahe beieinander liegen. Bei der analogen Drahtlostechnik auf der linken Seite sind neben den neun Trägerfrequenzen mehrere Intermodulationen als Nebenerzeugnisse erkennbar. Teilweise lassen sich die Sendefrequenzen mit den höheren Amplituden von den Mischprodukten nicht mehr unterscheiden. Des Weiteren ist zu sehen, dass das Grundrauschen von -80 dbm bis auf zirka -65 dbm ansteigt. Es zeigt sich, dass die entstandenen Intermodulationen die Sender stören und das umliegende Frequenzband belasten. Hingegen sind bei den digitalen Funksendern die neun Trägerfrequenzen deutlich sichtbar. Intermodulationen lassen sich nicht vorfinden und das Grundrauschen liegt konstant bei -80 dbm. Das benachbarte Spektrum bleibt unbelastet und die Sender können trotz des kurzen Abstands regulär arbeiten. Auf diese Weise können mehrere digitale Systeme im Spektrum nebeneinander angeordnet werden und es lässt sich die angesprochene Spektrumseffizienz erzielen.

⁹⁸ Vgl. Shure DACH (2020): *Shure Webinar: Analoge vs. digitale Funksysteme*, Min. 54–57 und 73

⁹⁹ Vgl. Grzesinski, C. (2020): *Smyrek Tontechnik*, S. 221

Nachteilig bei digitaler Drahtlostechnik ist die Latenz. Die Signalwandlungen zwischen analog und digital sowie die Signalverarbeitung benötigen Zeit. Die dabei entstehende Verzögerung wird als Latenz bezeichnet. Professionelle digitale Funksysteme erreichen inzwischen Werte um drei Millisekunden. Verzögerungen in dieser Größenordnung sind kaum hörbar und liegen damit innerhalb der Toleranzgrenze. Zu bedenken ist aber, dass Latenzen in der Gesamtheit einer elektroakustischen Übertragungskette betrachtet werden müssen. Die Verzögerungswerte können sich im Verlauf der Kette aufaddieren. Angefangen mit etwa einem digitalen Funkmikrofon über eine Stagebox, ein digitales Mischpult, Systemcontroller und Endstufen kann es mehrere digitale Verarbeitungsprozesse geben, die mit jedem Schritt die Latenz erhöhen. Aus drei Millisekunden können somit schnell zehn Millisekunden und mehr entstehen, die beispielsweise für Sprecher und Musiker auf der Bühne irritierend wirken können.¹⁰⁰ Infolgedessen muss bei der Planung mit digitaler Drahtlostechnik beachtet werden, dass in der gesamten Übertragungskette ein gewisses Latenz-Budget nicht überschritten wird.

Auswahl der Antennen: Als nächste funktechnische Komponente sollen Antennen betrachtet werden. Die Experten werden in den Interviews diesbezüglich gefragt, auf was sie bei der Auswahl von Antennen achten. Eine Eigenschaft, die die Experten 1, 3 und 4 benennen, ist die Richtcharakteristik.¹⁰¹ Mit dieser Angabe wird die Richtungsabhängigkeit der Antennen bei der Energieaufnahme beziehungsweise der Energieabstrahlung beschrieben. Die Veranschaulichung erfolgt mithilfe von Strahlungsdiagrammen. Ist in dem Diagramm eine kreisförmige Darstellung abgebildet, wird von einer Rundstrahl-Charakteristik gesprochen. Wenn der Verlauf eher keulenförmig ist, handelt es sich um eine Richtstrahl-Charakteristik.¹⁰² Die Entscheidung, welche Antenne mit welcher Charakteristik verwendet werden soll, ist abhängig von der Einsatzsituation, erläutern die Experten in den Interviews. Es ist aber eine Tendenz der Experten erkennbar, dass sie bevorzugt gerichtete Antennen benutzen. Die Rundstrahler kommen seltener zum Einsatz.

¹⁰⁰ Vgl. Pieper, F. (2015): *Das P.A. Handbuch*, S. 117

Vgl. Shure Incorporated (2020): *Master Class Drahtlostechnik*, Folie 125

¹⁰¹ Vgl. Fachexperte 1, 3 und 4, persönliches Interview, Interviewfrage Nr. 7

¹⁰² Vgl. Freyer, U. (2017): *Nachrichten-Übertragungstechnik*, S. 156

Fachexperte 3 erwähnt den Antennengewinn noch als zu beachtenden Punkt.¹⁰³ Mit dieser Größe kann die Richtwirkung einer Antenne quantitativ in dbi bewertet werden. Für die Beurteilung wird die Leistungsdichte der Antenne in Hauptabstrahlrichtung mit der eines isotropen Strahlers verglichen. Das Ergebnis wird in Dezibel angegeben. Das ergänzende i bei dbi steht für isotrop, um auf den vollzogenen Vergleich hinzuweisen.¹⁰⁴ Richtantennen für Funkmikrofone des Herstellers Shure haben zum Beispiel je nach Bauart einen Antennengewinn zwischen 2,5 und 12 dbi.¹⁰⁵ Ergänzend zu der Richtcharakteristik und dem Antennengewinn finden sich bei den Richtantennen Daten zu den Öffnungswinkeln. Der Winkel gibt an, wie schmal oder breit der Empfangs- beziehungsweise Sendekorridor der Antenne ist. Experte 1 bringt darüber hinaus die Möglichkeit der Antennenverstärkung oder -dämpfung ein. Aktive Antennen haben eingebaute Hochfrequenz-Verstärker, mit denen das Signal um mehrere Dezibel angehoben werden kann. Bei manchen Bauformen ist auch eine Dämpfung möglich, die laut des Experten 1 in bestimmten Situationen nützlich sein kann.¹⁰⁶ Darauf soll später in Kapitel 4.2 noch eingegangen werden. Experte 3 teilt zudem mit, dass er vorzugsweise mit zirkularpolarisierten Antennen arbeitet.¹⁰⁷ Die Polarisation einer elektromagnetischen Welle beschreibt grundlegend die Ausrichtung des elektrischen Feldvektors. Für eine hohe Empfangsleistung muss die Antenne passend zur Polarisation der einfallenden Wellen positioniert werden.¹⁰⁸ Sende- beziehungsweise Empfangsantennen, die horizontal oder vertikal polarisiert sind, müssen daher für eine solide Funkverbindung parallel ausgerichtet werden. Bei zirkularpolarisierten Antennen hingegen bewegt sich das elektrische Feld spiralförmig fort und ist nicht mehr an eine Achse gebunden. Demzufolge ist die Positionierung der Antennen zueinander weniger kritisch und selbst bei einer Schräglage kann eine stabile Funkübertragung weiterhin gewährleistet werden. Antennen dieser Bauart werden auch als Helixantennen bezeichnet. Sie bieten in der Praxis Vorteile beim Einsatz von In-Ear-Monitoring. Die Taschenempfänger bei

¹⁰³ Vgl. Fachexperte 3, persönliches Interview, Zeile 369–374

¹⁰⁴ Vgl. Strauß, F. (2017): *Grundkurs Hochfrequenztechnik*, S. 200

¹⁰⁵ Vgl. Shure Incorporated (2019): *Antennen-Katalog*, S. 5 f.

¹⁰⁶ Vgl. Fachexperte 1, persönliches Interview, Zeile 338–345

Vgl. Pieper, F. (2015): *Das P.A. Handbuch*, S. 139

¹⁰⁷ Vgl. Fachexperte 3, persönliches Interview, Zeile 369–384

¹⁰⁸ Vgl. Kark, K. W. (2020): *Antennen und Strahlungsfelder*, S. 93 und S. 267

In-Ears haben meist nur eine Antenne und somit lediglich eine Polarisationssebene. Mithilfe einer Helixantenne auf der Sendeseite kann eine 360 Grad Polarisation erzeugt werden, mit welcher der Nachteil der einzelnen Empfangsantenne kompensiert werden kann. Infolge treten weniger Audioaussetzer beim In-Ear auf. Helixantennen werden ebenfalls zum Empfangen verwendet und können dabei helfen, Polarisationsänderungen des Senders auszugleichen – zum Beispiel, wenn eine Sängerin sich auf der Bühne bewegt und ihr Funkmikrofon beim Singen in unterschiedliche Richtungen dreht.¹⁰⁹ Offensichtlich gibt es unterschiedlichste Parameter, die bei der Auswahl von Antennen entscheidend sein können. Experte 5 fügt noch hinzu, dass im Vorfeld nicht immer absehbar ist, welche Antennen sich für die jeweilige Veranstaltung am besten eignen. Aus diesem Grund ist es hilfreich, verschiedene Antennenarten mitzuführen, um vor Ort flexibel reagieren zu können.¹¹⁰

Kabelplanung und Dämpfungskalkulation: Experte 2 und 3 verweisen in den Interviews unter anderem noch darauf, dass die Güte der Antennenkabel geprüft werden sollte.¹¹¹ Je nach Art und Länge des Kabels können unterschiedlich starke Dämpfungen auftreten. Ein exemplarisches RG58-Koaxialkabel hat bei 200 MHz und 100 m Kabellänge eine Dämpfung von -24 dB. Bei 1 GHz steigt die Dämpfung auf -56 dB. Ein gleich langes RG213-Kabel hingegen hat bei 200 MHz Einbußen von -10,2 dB und bei 1 GHz von -28 dB. Das Verlustmaß wächst mit zunehmender Frequenz und ist abhängig von der Kabelqualität, wie anhand des Beispiels deutlich wird.¹¹² Demnach sollten lange Kabelstrecken bei Geräten mit tendenziell höheren Frequenzbändern vermieden werden. Außerdem ist allgemein bei der Planung die Kabelgüte zu beachten. Im Gesamtsystem mit Berücksichtigung aller Komponenten sollte der ganzheitliche Pegelbetrag zwischen +/-2 dB liegen.¹¹³ Entstandene Pegelverluste können mithilfe von Antennen-Boostern oder aktiven Antennen ausgeglichen werden.¹¹⁴

¹⁰⁹ Vgl. Shure Distribution GmbH (o.J.): <https://www.shure.com/>

Vgl. Kark, K. W. (2020): *Antennen und Strahlungsfelder*, S. 93

¹¹⁰ Vgl. Fachexperte 5, persönliches Interview, Zeile 569–590

¹¹¹ Vgl. Fachexperte 2, persönliches Interview, Zeile 405–410

Vgl. Fachexperte 3, persönliches Interview, Zeile 334–351

¹¹² Vgl. Grzesinski, C. (2020): *Smyrek Tontechnik*, S. 228

¹¹³ Vgl. Niehoff, W. (2008): *Drahtlose Audioübertragung*, S. 1058

¹¹⁴ Vgl. Pieper, F. (2015): *Das P.A. Handbuch*, S. 139

Im vorherigen Unterkapitel konnten Empfehlungen der Experten für die Systemplanung von Funktechnik zusammengetragen und beschrieben werden. In diesem Zuge wurden einzelne Komponenten von Funksystemen erläutert und deren technische Parameter analysiert. Dabei ist deutlich geworden, dass die Zusammenstellung von Drahtlostechnik durchaus komplex sein kann und es viele zu beachtende Aspekte gibt.

4.1.4 Berechnung und Zuordnung der Frequenzbereiche

Mit der zuvor durchgeführten Spektrumsanalyse und der aufgesetzten Systemplanung ist nun ein Überblick vorhanden, mit welchen Frequenzen kalkuliert werden muss und wie groß der Frequenzbedarf für die geplante Technik bei der Veranstaltung ist. Die jetzt noch offenen Schritte in der Vorbereitung sind die Berechnung und die Koordinierung der Frequenzen. Die Experten 1 und 2 führen diese Arbeitspunkte tendenziell nach ihrer Frequenzrecherche durch.¹¹⁵ Die Experten 3 und 5 erklären, dass die Berechnung bei ihnen teils parallel zu den anderen Prozessen läuft.¹¹⁶ Experte 4 gibt im Interview keine zeitliche Einordnung. Aus Kapitel 2 ist bekannt, dass es das allgemeine Ziel des Frequenzmanagements ist, Störungsfreiheit für alle beteiligten Funkanwender zu ermöglichen. Die Berechnung und die Koordination der Frequenzen sollen maßgeblich dazu beitragen, diese zentrale Zielstellung zu erreichen. Für die Umsetzung nutzen die Experten teilweise unterschiedliche Methoden. In den Interviews zählen sie Software-Lösungen, Frequenzblätter von Herstellern, eigens entwickelte Frequenzraster sowie Tabellenkalkulationen auf, mit denen sie die Berechnung und Koordination durchführen. Als Beispiele für Software-Applikationen nennen sie die Wireless Workbench von Shure, SIFM und Wireless Systems Manager von Sennheiser. Die Experten 1 und 3 arbeiten ausschließlich mit Software. Die anderen Experten erklären, dass sie je nach Situation mit selbstentwickelten Berechnungsverfahren arbeiten, auf Listen zurückgreifen oder Software-Programme benutzen. Alle Experten betonen, dass für sie Flexibilität und Kontrolle bei den Prozessen entscheidend sind, unabhängig von der Methode.¹¹⁷

¹¹⁵ Vgl. Fachexperte 1 und 2, persönliches Interview, Interviewfrage Nr. 3

¹¹⁶ Vgl. Fachexperte 3, persönliches Interview, Zeile 558–576

Vgl. Fachexperte 5, persönliches Interview, Zeile 227–272

¹¹⁷ Vgl. Fachexperte 1–5, persönliches Interview, Interviewfrage Nr. 8

Für die Verwendung einer Software spricht aus Sicht der Experten 1 und 3 vor allem, dass sich auf diesem Weg die Koordination und die Berechnung schnell realisieren lassen. Außerdem ist die Möglichkeit gegeben, als Team an einem Projekt zu arbeiten, wie die Experten 2 und 4 ergänzen. Darüber hinaus, erklärt Experte 4, können Projektübergaben auf diese Art besser vollzogen werden. Bei zahlreichen Frequenznutzungen stoßen die Software-Programme hingegen laut den Fachexperten 2 und 4 schnell an ihre Kapazitätsgrenzen. Daher verwenden sie in einem derartigen Fall bevorzugt eigene Berechnungsmethoden, um möglichst die maximale Frequenzeffizienz ausschöpfen zu können.¹¹⁸ Die Experten-Interviews zeigen, dass es verschiedene und teils individuelle Herangehensweisen gibt, mit denen die Frequenzen koordiniert und berechnet werden.

Die im Vorfeld recherchierten Funkanwendungen und ihre Frequenzbereiche können nun, je nach beschriebener Methode, zum Beispiel in einer speziellen Software oder in einer vorgefertigten Tabellenkalkulation erfasst werden. Dort erfolgt die Anordnung der einzelnen Geräte, sodass sie sich mit ihren Frequenzen nicht überlagern und gegenseitig stören. Feststehende Frequenzabschnitte von Primärdiensten wie DVB-T oder der Radioastronomie müssen dabei freigelassen werden. Die Experten 1 und 5 gehen in der Art vor, dass sie sich zuerst das Funksystem herausuchen, welches am wenigsten flexibel bei der Frequenzwahl ist. Darauf aufbauend gliedern sie die andere Drahtlostechnik im umliegenden Frequenzraum ein.¹¹⁹ Der Punkt der Flexibilität unterstreicht die Bedeutung der Schaltbandbreite aus dem vorherigen Unterkapitel. Funkgeräte mit kleinen Schaltbandbreiten bieten wenig Auswahloptionen bezüglich der Frequenzen. Andere Systeme, die flexibler sind, müssen deshalb um diese Frequenzen herum platziert werden, wie von den Experten beschrieben. Um die unterschiedlichen Frequenzen passend zueinander anordnen zu können, ist die zuvor erwähnte Kanalbandbreite ebenfalls bedeutsam. Aus der Angabe lässt sich schließen, wie viel Frequenzkapazität für ein einzelnes Funksystem eingeplant werden muss. Eine weitere zu berücksichtigende Größe bei der Koordination ist die Sendeleistung. Experte 4 plant möglichst Sicherheitsabstände zwischen Geräten mit

¹¹⁸ Vgl. Fachexperte 1–5, persönliches Interview, Interviewfrage Nr. 8

¹¹⁹ Vgl. Fachexperte 5, persönliches Interview, Zeile 166–179

Vgl. Fachexperte 1, persönliches Interview, Zeile 406–421

unterschiedlich starken Sendeleistungen ein. Er berichtet, dass wenn bei einer Produktion zum Beispiel Intercom-Funkgeräte mit hohen Wattzahlen bei 470 MHz vorkommen, er nachfolgende Frequenzträger mit weniger Leistung erst bei 475 MHz platziert. Sender mit stärkerer Leistung können schwächere Systeme bei nicht genügend Abstand stören und unterdrücken.¹²⁰ Demzufolge muss Rücksicht auf die verschiedenen Sendeleistungen der Drahtlostechnik genommen werden. Weiterführend bei der Koordination beschreibt Experte 5, dass er möglichst versucht das komplette Frequenzspektrum auszunutzen und die Funkgeräte gleichmäßig zu verteilen. Außerdem trennt er, sofern möglich, die Frequenzbereiche der Anwendungen. Im Hinblick auf drahtlose Intercom prüft der Experte beispielsweise, ob es Geräte im unteren Frequenzbereich sein müssen, in dem auch Funkmikrofone betrieben werden, oder ob bei der Produktion auf ein Intercom-System im separaten DECT-Bereich ausgewichen werden kann.¹²¹ Auf diese Art versucht der Experte die Funkanwendungen im Spektrum aufzuteilen.

Für die Frequenzplanung ist außerdem noch zu klären, ob es sich um digitale oder analoge Drahtlostechnik handelt. Abhängig davon kann neben der dargestellten Koordination auch eine Berechnung erforderlich sein. Der Rechenprozess bezieht sich in diesem Kontext auf die Ermittlung von Intermodulationen. Aus dem letzten Unterkapitel ist bekannt, dass diese Frequenzerzeugnisse bei analogen Systemen vorrangig auftreten. Digitale Technik ist dagegen meist robuster. Mithilfe von systemtechnischen Konzepten ist es möglich, dass die Geräte intermodulationsfrei bleiben, erklärt der Experte 3. Bei hochwertigen digitalen Funksystemen mit entsprechenden Systemkonzepten können deshalb sogenannte äquidistante Frequenzraster erstellt werden. Mehrere Trägerfrequenzen werden dabei in gleichen Abständen hintereinander gesetzt. Wenn ausschließlich digitale intermodulationsfeste Drahtlostechnik zum Einsatz kommt, ist eine Berechnung nicht erforderlich. In diesem Fall erfolgt nur eine Koordinierung der Frequenzen. Sobald eine Kombination aus analoger und digitaler Technik gegeben ist, muss wiederum eine Berechnung vorgenommen werden.¹²²

¹²⁰ Vgl. Fachexperte 4, persönliches Interview, Zeile 216–230

¹²¹ Vgl. Fachexperte 5, persönliches Interview, Zeile 489–518

¹²² Vgl. Fachexperte 3, persönliches Interview, Zeile 409–436

Intermodulationsberechnung für $f_1 = 512$ MHz und $f_2 = 514$ MHz

2. Ordnung:

$$2f_1 = 1024 \text{ MHz}$$

$$2f_2 = 1028 \text{ MHz}$$

$$f_1 + f_2 = 1026 \text{ MHz}$$

$$f_2 - f_1 = 2 \text{ MHz}$$

5. Ordnung:

$$3f_1 + 2f_2 = 2564 \text{ MHz}$$

$$3f_1 - 2f_2 = 508 \text{ MHz}$$

$$3f_2 + 2f_1 = 2566 \text{ MHz}$$

$$3f_2 - 2f_1 = 518 \text{ MHz}$$

3. Ordnung:

$$2f_1 + f_2 = 1538 \text{ MHz}$$

$$2f_1 - f_2 = 510 \text{ MHz}$$

$$2f_2 + f_1 = 1540 \text{ MHz}$$

$$2f_2 - f_1 = 516 \text{ MHz}$$

7. Ordnung:

$$4f_1 + 3f_2 = 3590 \text{ MHz}$$

$$4f_1 - 3f_2 = 506 \text{ MHz}$$

$$4f_2 + 3f_1 = 3592 \text{ MHz}$$

$$4f_2 - 3f_1 = 520 \text{ MHz}$$

Abb. 8: Musterbeispiel für eine Intermodulationsberechnung von zwei Frequenzen

Die oben dargestellte Abbildung zeigt exemplarisch eine solche Intermodulationsrechnung mit zwei Trägerfrequenzen. Es ist erkennbar, dass Frequenzmischprodukte der dritten, fünften sowie siebten Ordnung in unmittelbarer Nähe zu den beiden Sendefrequenzen auftreten. Aus diesem Grund können bei analogen Systemen, die intermodulieren, keine äquidistanten Raster errichtet werden. Die entstandenen Intermodulationen belasten weiterhin nicht nur die umliegenden Frequenzen, sondern auch entfernte Bereiche, die daher ebenso zu beachten sind. Die Intensität der Frequenzmischprodukte nimmt dabei mit steigender Ordnung ab, wie Experte 2 hinzufügend erklärt.¹²³ In dem gewählten Beispiel werden nur zwei Trägerfrequenzen untersucht. Wenn mehr Nutzfrequenzen vorliegen, wird die Berechnung wesentlich umfangreicher, da die Zahl der Kombinationsmöglichkeiten steigt. Aus diesem Zusammenhang heraus wird ersichtlich, warum die Experten für die Berechnung teilweise auf Software-Lösungen oder automatisierte Tabellenverzeichnisse zurückgreifen.

Wenn die Berechnungen und die Koordinierungen der Frequenzen soweit vollendet sind, werden Listen mit Nutzfrequenzen für die einzelnen Funkanwender ausgestellt und ihnen zugeschickt.¹²⁴ Die Nutzer werden auf diese Weise informiert, welche Frequenzen sie für die anstehende Veranstaltung verwenden dürfen.

¹²³ Vgl. Fachexperte 2, persönliches Interview, Zeile 435–442

¹²⁴ Vgl. Fachexperte 1, persönliches Interview, Zeile 244–248

4.2 Abläufe beim Veranstaltungsaufbau

Die zuvor erläuterte Vorbereitungsarbeit des Frequenzmanagements, bestehend aus der Spektrumsanalyse, der Systemplanung, der Intermodulationsberechnung sowie der Frequenzkoordinierung, soll nun als abgeschlossen betrachtet werden. Nach der Vorbereitung kommt laut dem Modell von Holzbaur et alii die Anlaufphase. In diesem Teilabschnitt erfolgt der Aufbau der Veranstaltung vor Ort und es werden Maßnahmen zum kontrollierten Hochfahren der Veranstaltung umgesetzt.¹²⁵

Experte 2 prüft in dieser Phase zuerst, ob die ihm vorliegenden Informationen zu Ablauf- und Zeitplänen noch aktuell sind. Des Weiteren kontrolliert er, ob die für die Veranstaltung geplante Funktechnik wie erwartet aufgestellt ist oder ob es Veränderungen gibt.¹²⁶ Zu Anfang wird demzufolge ein erster Informationsabgleich durchgeführt, um grundlegend zu überprüfen, ob die Daten aus der Vorbereitung nach wie vor gültig sind.

Ansonsten wird in dieser Phase die Funktechnik für die Veranstaltung aufgebaut, wie die Experten in den Interviews erläutern. Je nach Vereinbarung mit ihrem Auftraggeber führen sie die Einrichtung der jeweiligen Technik selbst durch und kümmern sich auch um die Betreuung.¹²⁷ Wie im Kapitel 4.1.3 bereits erwähnt, kann es sich dabei um unterschiedliche Drahtlostechnik handeln. In den Interviews berichten die Experten überwiegend von Funkmikrofonen und In-Ear-Monitoring. Für den Aufbau werden dann schrittweise die einzelnen Systemkomponenten wie Empfänger, Sender und Antennen platziert. Bevor die Geräte in Betrieb genommen werden, wird vorerst das Frequenzspektrum gemessen, um ein aktuelles Abbild zu bekommen.¹²⁸ In diesem Moment wird sichtbar, inwieweit die Frequenzrecherchen aus der Vorbereitung mit der durchgeführten Messung übereinstimmen und ob es eventuell Abweichungen gibt. Experte 3 empfiehlt auch über die aufgebaute Drahtlostechnik direkt zu messen und nicht ausschließlich einen externen Frequenzscanner zu verwenden. Die Antennen der eingesetzten Funksysteme sind zumeist empfindlicher als die der Frequenzscanner und es

¹²⁵ Vgl. Holzbaur, U. et alii (2010): *Eventmanagement*, S. 193

¹²⁶ Vgl. Fachexperte 2, persönliches Interview, Zeile 578–597

¹²⁷ Vgl. Fachexperte 1–5, persönliches Interview, Interviewfrage Nr. 9

¹²⁸ Vgl. Fachexperte 5, persönliches Interview, Zeile 795–799

können daher andere Messergebnisse entstehen.¹²⁹ Beispielhaft könnten das Richtantennen mit einem hohen Gewinn sein, die in Hauptabstrahlrichtung eine größere Reichweite als die Frequenzscanner erfassen. Sobald das Spektrum durchgemessen ist, werden den Funkgeräten Frequenzen zugewiesen.¹³⁰ Im optimalen Fall können die in der Vorbereitung koordinierten und gegebenenfalls errechneten Frequenzbereiche direkt verwendet werden. Falls die Abschnitte belegt sein sollten, muss auf andere Frequenzen ausgewichen werden. Nach der Frequenzvergabe werden die Sender und Empfänger miteinander synchronisiert und es werden Systemtests durchgeführt.¹³¹ Dazu gehört unter anderem ein sogenannter Walk-Test, den die Experten 3 und 4 beschreiben. Sie nehmen einen Funksender oder ein In-Ear zur Hand und laufen die Bühne ab, um die Funkabdeckung zu prüfen.¹³²

Neben der technischen Einrichtung wird in der Aufbauphase kontrolliert, ob die verschiedenen Gewerke auch die zugewiesenen Frequenzen für ihre Funkanwendungen benutzen. Manchmal werden die Frequenzwerte in den Funkgeräten falsch eingetragen, berichtet Experte 1. Vor allem wenn das Spektrum bereits sehr voll ist, können solche Abweichungen problematisch sein.¹³³ Denkbar ist ebenfalls, dass die Kommunikation bezüglich der Frequenzverwendung nicht alle Beteiligten erreicht hat. Eine Überprüfung der Frequenzen ist daher notwendig, damit die ursprünglich erstellte Koordinierung intakt bleibt.

Zu den Arbeiten vor Ort zählt außerdem das Auffinden von potenziellen Störquellen.¹³⁴ Wenn bei den Messungen Unregelmäßigkeiten wie breitbandig besetzte Frequenzbänder oder hohes Grundrauschen festgestellt werden, können das Hinweise für eine Störquelle sein. Die Fachexperten berichten von verschiedensten Szenarien, die sie erlebt haben. In den Interviews nennen alle als Beispiel LED-Wände, die Einstreuungen im Frequenzspektrum verursachen können. Experte 4 berichtet von HDMI- und DVI-Ausgängen, die bei

¹²⁹ Vgl. Fachexperte 3, persönliches Interview, Zeile 630–636

¹³⁰ Vgl. Fachexperte 2, 3 und 4, persönliches Interview, Interviewfrage Nr. 9

¹³¹ Vgl. Fachexperte 2, 3 und 4, persönliches Interview, Interviewfrage Nr. 9

¹³² Vgl. Fachexperte 3, persönliches Interview, Zeile 618–622

Vgl. Fachexperte 4, persönliches Interview, Zeile 513–519

¹³³ Vgl. Fachexperte 1, persönliches Interview, Zeile 478–487

¹³⁴ Vgl. Fachexperte 2, persönliches Interview, Zeile 599–602

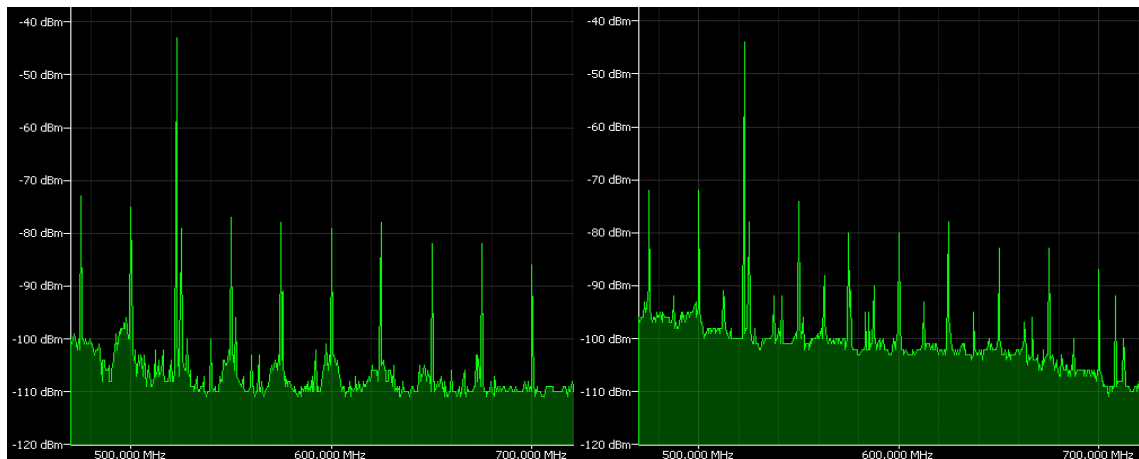


Abb. 9: Einfluss einer LED-Wand auf das Spektrum zwischen 470 und 720 MHz, linke Messung ohne Bild, rechte Messung mit Bildwiedergabe der LED-Wand, X-Achse = Frequenz in MHz, Y-Achse = Amplitude in dbm

unzureichender Terminierung Störstrahlungen verursachen. Experte 3 erläutert Erfahrungen mit defekten Funkgeräten und drahtlosen Kameras. Im CityCube der Messe Berlin soll es zeitweise laut des Experten 2 auch einen defekten Starkstromanschluss gegeben haben, der zu umfassenden Störungen geführt hat.¹³⁵ Im Fall einer LED-Wand, wie in Abbildung 9 zu sehen, können Frequenzspitzen auftreten, die die Nutzbarkeit des Spektrums einschränken. Außerdem steigt das Grundrauschen an, sobald über die LED-Wand Bilder wiedergegeben werden. Infolgedessen verschlechtert sich das Carrier-to-Noise-Verhältnis. Das heißt, der Abstand zwischen dem Arbeitsbereich der Trägerfrequenzen und der Lage des Grundrauschens wird kleiner. Selbst wenn Sendefrequenzen neben den Störspitzen der LED-Wand angeordnet werden, kann es bei einem zu hohen Grundrauschen sein, dass die Sender wegen des geringen Störabstands nicht korrekt arbeiten können. In den Berichten der Experten wird deutlich, dass die Störquellen individuelle Charakteristiken haben. Als Einflussgrößen nennen sie die Verarbeitung und die Abschirmungsqualität der einzelnen Geräte.¹³⁶ Folglich kann für das Beispiel der LED-Wand keine pauschale Einschätzung getroffen werden, da das Störverhalten je nach Bauweise unterschiedlich sein kann. Erschwerend kommt bei den Störquellen hinzu, dass sie sich in der Vorbereitung nur begrenzt kalkulieren lassen – vor allem, wenn es sich um Baugruppen wie LED-Wände handelt, die erst für die Veranstaltung errichtet werden und vorher nicht geprüft werden können.

¹³⁵ Vgl. Fachexperte 1–5, persönliches Interview, Interviewfrage Nr. 9

Vgl. Fachexperte 2, persönliches Interview, Zeile 279–283

¹³⁶ Vgl. Fachexperte 1–5, persönliches Interview, Interviewfrage Nr. 9

Es wird ersichtlich, dass es unterschiedliche Störquellen mit verschiedenen Eigenschaften geben kann. Die Schwierigkeit liegt vor allem darin, den Ausgangspunkt der Störung zu finden, beschreibt Experte 3. Für die Suche kommen tragbare Spektrumsanalysatoren mit Richtantennen zum Einsatz, um die Ausgangsquelle der Störung lokalisieren zu können.¹³⁷ Anhand der Messergebnisse wird beurteilt, wie kritisch die Störung für das Frequenzkonzept ist. Des Weiteren wird geprüft, ob sich die Störstrahlung beheben lässt, erklärt der Experte 2.¹³⁸ Geräte, die Störungen erzeugen, können eventuell nach Absprache ausgetauscht oder abgeschaltet werden. Bei technischen Einrichtungen wie LED-Wänden, die für die Veranstaltung nicht ersetzbar sind, ist das hingegen nicht möglich. Was aus der Erfahrung des Experten 5 helfen kann, ist die Leistung der LEDs zu reduzieren.¹³⁹ Es bleibt weiterhin noch die Option, die Nutzfrequenzen um den Störbereich herum neu zu positionieren und die belasteten Frequenzbänder somit zu vermeiden. Außerdem kann die Antennenausrichtung der Drahtlostechnik eventuell umgestellt werden, sodass die Störquelle möglichst nicht mehr im Empfangsbereich der Antennen liegt.¹⁴⁰ Ein weiterer Lösungsansatz ist, die Sendeleistung der Funkgeräte zu senken und die Antennen zu dämpfen, damit diese weniger sensibel gegenüber störenden Einstreuungen sind. Das ist der Weg, den Experte 5 im Umgang mit den in Kapitel 4.1.1 aufgeführten Störsendern darstellt. Nachteilig an diesem Vorgehen ist, dass durch die Reduzierung der Systemleistung eher Funkaussetzer auftreten können.¹⁴¹

Je nachdem, wie viele Frequenzänderungen sich im Zuge der Anlaufphase herausstellen, kann eine erneute Koordinierung und Berechnung der Frequenzen erforderlich sein. Mögliche Gründe dafür sind die beschriebenen Störquellen, nicht eingeplante Funkanwendungen oder lokal belegte Frequenzbereiche, die in der Vorbereitung nicht bekannt waren. Sobald die eventuell notwendige Anpassung erfolgt ist, alle Funkanwendungen die korrekten Frequenzen haben und die aufgebaute Drahtlostechnik betriebsbereit ist, kann die Veranstaltung beginnen.

¹³⁷ Vgl. Fachexperte 3, persönliches Interview, Zeile 650–663

¹³⁸ Vgl. Fachexperte 2, persönliches Interview, Zeile 612–628

¹³⁹ Vgl. Fachexperte 5, persönliches Interview, Zeile 1072–1074

¹⁴⁰ Vgl. Fachexperte 1–4, persönliches Interview, Interviewfrage Nr. 9

¹⁴¹ Vgl. Fachexperte 5, persönliches Interview, Zeile 336–342

4.3 Durchführung der Veranstaltung

Nach der Anlaufphase folgt laut Holzbaur et alii die sogenannte Aktivphase. Der Abschnitt umfasst die eigentliche Veranstaltung und die damit verbundenen Abläufe. Die Phase startet mit der Veranstaltungseröffnung und endet mit der Schließung, sobald alle Besucher das Veranstaltungsgelände verlassen haben. In dieser Etappe des Phasenmodells offenbart sich die Qualität der bisherigen Vorbereitungsarbeit für das Projekt und ob im Vorfeld die richtigen Entscheidungen getroffen wurden.¹⁴²

Die Arbeit der Experten besteht bei der Veranstaltung darin, die aufgebaute Drahtlostechnik zu betreuen, die Frequenzen zu kontrollieren und Lösungen zu finden für spontan auftretende Störungen. Die Experten 2 und 4 führen noch auf, dass sie für ihre Dokumentation den Verlauf des Frequenzspektrums aufzeichnen. Der Arbeitsaufwand bei der Veranstaltung selbst sollte bei guter Planung im Verhältnis zur Vorbereitung eher gering sein, ergänzen in diesem Kontext die Experten 1 und 3.¹⁴³

Bezüglich der technischen Betreuung beschreibt Experte 5, dass er bei der Veranstaltung die Funkmikrofone und die In-Ears an die jeweiligen Nutzer ausgibt. Des Weiteren kümmert er sich um die Verkabelung der einzelnen Personen. Während die Mikrofone auf der Bühne verwendet werden, hört er die verschiedenen Kanäle nochmals ab und prüft, ob die Signale störungsfrei sind.¹⁴⁴ Im Verlauf der Veranstaltung werden zudem die Ladezustände der Funksysteme ständig überwacht.¹⁴⁵ Auf diese Weise kann frühzeitig festgestellt werden, wann für das jeweilige Gerät der nächste Akku- oder Batterietausch erfolgen muss. Fachexperte 4 erläutert noch, dass er während der Veranstaltung bei Bedarf die Antennenpositionen korrigiert, zum Beispiel wenn ein Künstler in der Show mit seinem Mikrofon bewusst die Bühne verlässt und in den Publikumsbereich geht.¹⁴⁶ Zusätzlich zur Betreuung der Drahtlostechnik werden bei der Veranstaltung die Frequenzen laufend gemessen und kontrolliert. Gerade bei Großveranstaltungen

¹⁴² Vgl. Holzbaur, U. et alii (2010): *Eventmanagement*, S. 193

¹⁴³ Vgl. Fachexperte 1–5 persönliches Interview, Interviewfrage Nr. 10

¹⁴⁴ Vgl. Fachexperte 5, persönliches Interview, Zeile 248–255 und 1179–1202

¹⁴⁵ Vgl. Fachexperte 3, persönliches Interview, Zeile 712–728

¹⁴⁶ Vgl. Fachexperte 4, persönliches Interview, Zeile 539–547

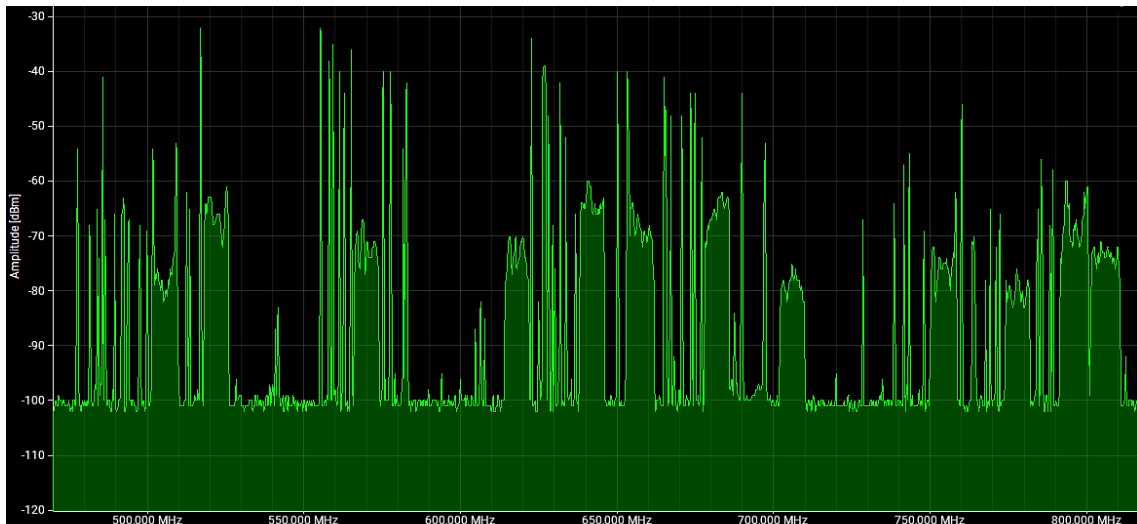


Abb. 10: Messung des Frequenzspektrums während der 25-Jahr-Feier zum Fall der Berliner Mauer, X-Achse = Frequenz in MHz, Y-Achse = Amplitude in dbm, Messgerät: Shure AXT600, Datum: 09.11.2014, Ort: Brandenburger Tor, Berlin

mit vielen Funkanwendungen können die Frequenzräume teilweise sehr dicht gefüllt sein, wie in Abbildung 10 erkennbar. Mithilfe der stetigen Messungen ist es möglich, einen Überblick zu bewahren. Dabei lassen sich die Verläufe des Spektrums beobachten und auftretende Veränderungen, die eventuelle Störungen zur Folge haben und Handlungsbedarf erfordern, können frühzeitig registriert werden. Sollte ein Störfall während der Veranstaltung auftreten, beschreiben die Experten eine ähnliche Vorgehensweise wie in der Anlaufphase. Sie versuchen die Quelle ausfindig zu machen, beurteilen die Störauswirkung und leiten daraus ihr weiteres Handeln ab. Experte 3 verweist in dem Kontext auf die Bedeutung von Redundanz-Konzepten, auf die im Notfall zurückgegriffen werden kann. Dazu gehören beispielsweise zusätzliche Funksysteme, die als Reserve für Störfälle vorgehalten werden.¹⁴⁷

Sobald die eigentliche Veranstaltung mit ihren Programmteilen abgeschlossen ist, endet auch die zuvor beschriebene Betreuungsarbeit des Frequenzmanagements. Im Rahmen der Veranstaltung konnten eventuell neue Erfahrungen und Erkenntnisse gesammelt werden. Außerdem, wie eingangs mithilfe von Holzbaur et alii erklärt, können mit dem Ergebnis der Veranstaltungsphase erste Rückschlüsse gezogen werden, inwieweit die in der Vorbereitung getroffenen Maßnahmen ausreichend und wirksam waren.

¹⁴⁷ Vgl. Fachexperte 1–5, persönliches Interview, Interviewfrage Nr. 10
Vgl. Fachexperte 3, persönliches Interview, Zeile 463–473

4.4 Nachlauf und Nachbereitung

Wenn die offizielle Veranstaltung abgeschlossen ist, folgt die Nachlaufphase. Der Abschnitt umfasst alle Vorgänge, die nach der Veranstaltung unmittelbar vor Ort geschehen. Dazu zählen in der Regel der Abbau und die anschließende Abholung des Equipments. Die Phase gilt als beendet, wenn die Aktivitäten vor Ort erledigt sind und sich die Beteiligten voneinander verabschiedet haben. Zu guter Letzt kommt die Nachbereitungsphase, die den Abschluss des Gesamtprojektes darstellt. In dieser letzten Phase werden die Finanzen abgewickelt, es wird zudem eine Projektdokumentation erstellt und eine Erfolgskontrolle durchgeführt.¹⁴⁸

Der Nachlauf soll hier nicht weiter ausgeführt werden, da in dieser Phase lediglich die zuvor erläuterten Ressourcen zurückgeführt werden. Die Nachbereitung hingegen soll Teil der Betrachtung sein. Die Experten äußern diesbezüglich, dass sie die vorliegenden Unterlagen zu der Veranstaltung sammeln und archivieren. Dazu gehören zum Beispiel Frequenzmessungen, erstellte Software-Presets, durchgeführte Koordinierungen, Berechnungen oder auch Materiallisten. Weiterhin werden selbsterstellte Notizen mit abgelegt, erklären die Experten 2, 3 und 5. In diesen Aufzeichnungen werden Erfahrungen von der vergangenen Veranstaltung festgehalten und eventuell Informationen zu technischen Sonderlösungen notiert. Experte 2 ergänzt noch, dass er sich in der Nachbereitung zu Analysezwecken das aufgezeichnete Spektrum anschaut. Ebenfalls Teil der Phase kann laut des Experten 3 eine Feedback-Runde sein, in der zusammengetragen wird, was bei der zurückliegenden Veranstaltung gut funktioniert hat und welche Aspekte verbesserungswürdig sind. Im Anschluss erfolgt eine Auswertung der gesammelten Punkte und es werden daraus Lösungskonzepte erarbeitet, die für zukünftige Projekte eingesetzt werden können. Auch dieser Vorgang wird dokumentiert. Demzufolge ist der Prozess der Nachbereitung zugleich auch ein Teil der Vorbereitung für das nächste Projekt, wie die Experten 2 und 5 ebenso erklären.¹⁴⁹ Mit dem Ende der Nachbereitungsphase schließt sich somit der Kreislauf und der beschriebene Ablauf des Frequenzmanagements kann als abgeschlossen betrachtet werden.

¹⁴⁸ Vgl. Holzbaur, U. et alii (2010): *Eventmanagement*, S. 194

¹⁴⁹ Vgl. Fachexperte 1–5, persönliches Interview, Interviewfrage Nr. 11

Vgl. Fachexperte 2, persönliches Interview, Zeile 665–675

5 Fazit

Mithilfe der Fachexperten und der vorliegenden Literatur ist es gelungen, das Aufgabengebiet des Frequenzmanagements bei einer Veranstaltungsproduktion näher zu beleuchten. Das Phasenmodell von Holzbaur et alii diente dabei als Hilfsmittel, um die verschiedenen Abschnitte einer Veranstaltung darstellen und beschreiben zu können. Innerhalb der Phasen wurden von den Experten erläuterte Arbeitsschritte zusammengestellt und untersucht. Ergänzend dazu wurden weitere Quellen mit einbezogen. Rückblickend hat sich dabei gezeigt, dass Frequenzmanagement einen durchaus interdisziplinären Charakter hat. Die Ausübung dieser Tätigkeit erfordert ein Verständnis für rechtliche Bestimmungen, für physikalische Gesetzmäßigkeiten sowie für technische Zusammenhänge. Des Weiteren ist eine ausgeprägte Kommunikationsfähigkeit notwendig, um gewerkeübergreifend die Frequenzen erfolgreich koordinieren zu können. Im Zuge der Untersuchung ist deutlich geworden, dass die jeweiligen Arbeitsabläufe des Frequenzmanagements ineinander übergehen.

Auf Grundlage dieser Ergebnisse kann ein Leitfaden für das Frequenzmanagement entwickelt werden. Dazu werden die im Laufe der Ausarbeitung ermittelten Maßnahmen in Form einer Checkliste zusammengeführt und entsprechend ihrer Reihenfolge aufgelistet. Das entwickelte Dokument kann im Anhang 3 eingesehen werden.

Die Maßnahmen in strikte organisatorische und technische Kategorien einzuordnen, erscheint als nicht zweckdienlich. Die Abgrenzung würde aufgrund des fachübergreifenden Charakters und der Verzahnung der Maßnahmen nur schwer gelingen, weswegen eine solche Einteilung nicht vorgenommen wird.

Die erstellte Checkliste veranschaulicht die erarbeiteten Maßnahmen aus der Vorbereitungs- und Anlaufphase. Die darauffolgenden Abschnitte wurden nicht gesondert erfasst, da sie keine wesentlich neuen Handlungsweisen oder Methoden des Frequenzmanagements enthalten. In diesen Phasen stehen mehr die Verwaltung und später die Nachbereitung der zuvor eingeleiteten Arbeitsprozesse im Vordergrund. Neben ihrem Zweck als Ergebnisüberblick kann die Checkliste darüber hinaus als Hilfsmittel für die Betreuung von zukünftigen Veranstaltungen verwendet werden. Das Dokument bietet eine Übersicht zu den verschiedenen Arbeitspaketen und kann genutzt werden, um den Fortschritt des Projekts zu kontrollieren.

Mit den aus der Ausarbeitung bekannten Maßnahmen lassen sich jetzt auch Antworten für die in Kapitel 2 formulierten Problemstellungen finden. Sollten verschiedene Interessensgruppen mit Funkanwendungen bei einer Veranstaltung vorkommen, kann ein Frequenzmanagement die notwendige Kommunikationsschnittstelle bilden, um die von der Bundesnetzagentur geforderte Frequenzkoordinierung zu realisieren. Die Frequenzmanager stehen als Ansprechpartner für die Funkanwender zur Verfügung. Sie ermitteln mit der Spektrumsanalyse den lokalen Frequenzbedarf, berechnen mögliche Intermodulationen und koordinieren die Frequenzen, sodass diese störungsfrei genutzt werden können. Im Anschluss werden die Funknutzer darüber informiert, welche Frequenzen sie verwenden dürfen. Auf diese Weise wird die erforderliche Abstimmung zwischen den Anwendergruppen gewährleistet. Für die von Ericksen genannten Herausforderungen lassen sich ebenfalls Lösungen finden. Einer Überlastung des Frequenzspektrums kann entgegengewirkt werden, indem die Funkapplikationen breitgefächert in den verfügbaren Frequenzräumen verteilt werden. Konflikte zwischen den Funkbetreibern können durch eindeutig definierte Frequenzen, die die Anwender zugewiesen bekommen, vermieden werden. Importierte Funkssysteme, die in Frequenzbändern arbeiten, welche laut der national geltenden Bestimmungen nicht zulässig sind, können über die Frequenzabfragen frühzeitig identifiziert und in der Folge ausgetauscht werden. Wie sich zeigt, ist Frequenzmanagement bei Veranstaltungsproduktionen essentiell, um einen geordneten sowie möglichst störungsfreien Funkbetrieb für alle Interessensgruppen zu ermöglichen.

Kritische Betrachtung: Die Ausarbeitung und die entwickelte Checkliste können nicht beantworten, ab wann und in welchem Umfang ein Frequenzmanagement für eine Veranstaltung erforderlich sein kann. Die Einschätzung sollte für jedes Projekt separat getroffen werden, da die jeweiligen Voraussetzungen und Bedingungen der Veranstaltung durchaus individuell sein können. Ein Kriterium für die Beurteilung kann das allgemeine Funkaufkommen sein. Wenn viele Funknutzergruppen für die Veranstaltung zu erwarten sind oder das lokale Frequenzspektrum bekanntermaßen weitgehend gefüllt ist, sollte ein Frequenzmanagement eingeplant werden. Eine solche Betreuung sollte ebenfalls in Erwägung gezogen werden, wenn ein hohes Maß an Störsicherheit für die Veranstaltung verlangt wird. Das kann zum Beispiel bei einer Großveranstaltung der Fall sein, die live übertragen wird.

Rückblickend ist im Gesamtkontext der Ausarbeitung zu hinterfragen, ob die dargestellte Systemplanung und -betreuung unter dem Begriff des Frequenzmanagements geführt werden sollte. Der Aspekt stammt aus der in Kapitel 2 eingeführten Basisdefinition. Die Begriffserklärung geht zurück auf ein Interview einer Fachzeitschrift mit einer Frequenzmanagerin. Sie erklärt im Rahmen des Interviews die Tätigkeiten eines Frequenzmanagers und zählt dabei auch die technische Planung von Funksystemen auf. Die von ihr getroffene Begriffseinordnung ist die einzige schriftlich festgehaltene Definition für Frequenzmanagement, die gefunden werden konnte. Ihre Erklärung wurde als Ausgangspunkt für die Interviews und die spätere Erarbeitung genommen. Die Fachexperten erläutern auf die Frage nach der Definition des Frequenzmanagements vor allem die Koordinierungsarbeit. Eine genaue Trennschärfe zwischen technischer Betreuung und Frequenzkoordinierung ist dabei im weiteren Verlauf der Interviews nicht immer gegeben. Oftmals führen die Experten beide Tätigkeiten durch. Die Kombination der zwei Aufgabengebiete ist nachvollziehbar, da es vor allem bei der Zuweisung und Überwachung der Frequenzen gemeinsame Schnittstellen gibt. Trotz der Synergien wirkt die Planung und Verwaltung der Funktechnik als separater Bereich gegenüber der Frequenzkoordinierung. In einer weiterführenden Untersuchung könnte deshalb der Ansatz verfolgt werden, die Systemplanung und -betreuung getrennt von dem Begriff des Frequenzmanagements zu betrachten.

Ausblick: Zu guter Letzt soll noch ein Ausblick in die Zukunft gegeben werden. Eine Thematik, die perspektivisch die Arbeit des Frequenzmanagements beeinflussen kann, ist eine mögliche Auktion des Frequenzbereichs 470–694 MHz. Die Mobilfunkbranche fordert, dass dieser Abschnitt in Form einer sogenannten 3. Digitalen Dividende versteigert und ihr zugesprochen wird. Nach Aussage des Präsidenten der Bundesnetzagentur, Jochen Homann, sind die Frequenzen für die Kultur und den Rundfunk vorläufig bis 2030 zugesichert. Einen tatsächlichen Aufschluss wird die nächste World Radio Conference bringen, die von der ITU für 2023 geplant ist. Auf dieser Konferenz soll über eine mögliche 3. Digitale Dividende diskutiert und abgestimmt werden.¹⁵⁰ In der Vergangenheit wurden bereits Frequenzen an den Mobilfunk versteigert. Bei der 1. Digitalen Dividende betraf es ab 2010 die Frequenzbereiche 790–814 MHz sowie 838–862 MHz. Wenig später folgte 2015 die Verabschiedung der 2. Digitalen Dividende, die die Abgabe der Frequenzen 703–733 MHz und 758–788 MHz an den Mobilfunk zur Folge hatte.¹⁵¹

Aus der Ausarbeitung ist bekannt, dass der Frequenzraum von 470–694 MHz ein zentraler Arbeitsbereich für die PMSE-Anwendungen ist. Sollte der Abschnitt bei einer 3. Digitalen Dividende versteigert werden, würden die PMSE-Anwender einen Großteil ihrer Frequenzen verlieren und kaum noch Auswahloptionen haben. Die Experten werden hinsichtlich dieser Thematik befragt, wie sie die weitere Entwicklung einschätzen. Die Fachexperten 1–3 gehen mit hoher Wahrscheinlichkeit davon aus, dass es die 3. Digitale Dividende geben wird. Der Experte 2 nennt als Grund den allgemeinen technischen Fortschritt. Der Bedarf der Menschen nach verfügbarem Datenvolumen steigt und ein weiterer Ausbau des mobilen Internets ist notwendig. Der Experte vermutet deshalb, dass die Frequenzen versteigert werden. Fachexperte 3 begründet seine Annahme damit, dass die Mobilfunkbranche die stärkere Lobby gegenüber der PMSE-Nutzergruppe hat und die Dividende somit vermutlich eintreten wird. Die weiteren Experten geben keine genaue Einschätzung zur Wahrscheinlichkeit dieser Dividende. Alle Interviewpartner formulieren im Hinblick auf eine mögliche Umstrukturierung und weitere Verdichtung des Frequenzspektrums, dass es eine technische

¹⁵⁰ Vgl. SOS - Save Our Spectrum (2021): <https://sos-save-our-spectrum.org/>

Vgl. Mothergrid (2021): <https://www.mothergrid.de>

¹⁵¹ Vgl. Pieper, F. (2015): *Das P.A. Handbuch*, S. 117 f.

Vgl. Ederhof, A. (2020): *Das Mikrofonbuch*, S. 385

Weiterentwicklung braucht. Experte 3 erläutert, dass die spektrale Effizienz weiter erhöht werden muss. Mit hochwertigen digitalen Systemen ist bereits eine sehr frequenzsparsame Nutzung möglich. Der Experte führt weiterhin noch aus, dass im Speziellen für In-Ear-Systeme neue Übertragungsverfahren mit verbesserter Spektrumseffizienz entwickelt werden müssen.¹⁵²

Eine mögliche Option für die PMSE-Nutzer könnte zukünftig auch der neue Mobilfunkstandard 5G sein. Die notwendigen Voraussetzungen, um diesen Standard für PMSE anwenden zu können, wurden im Rahmen eines Projektes mit dem Titel „PMSE-xG“ untersucht. Beteiligt an dem Vorhaben waren unter anderem die Unternehmen ARRI, Robert Bosch, Sennheiser, Smart Mobile Labs und Intel. Weitere Unterstützung gab es von den Universitäten aus Hannover sowie Erlangen-Nürnberg und von der Fraunhofer-Gesellschaft. Im Rahmen der Untersuchung konnten drei Bedingungen für die Nutzbarkeit von 5G herausgestellt werden. Eine Voraussetzung ist die Erfüllung der technischen Anforderungen der PMSE-Industrie. Dazu zählen unter anderem eine hohe Übertragungssicherheit, geringe Latenzen, ein bestimmter Datendurchsatz sowie Netzwerk-Synchronität. Als problematisch zeigt sich in der Projektstudie vor allem der Latenzwert. In den von der ITU empfohlenen Anforderungen für den 5G-Standard (IMT-2020) ist eine Latenzgröße von einer Millisekunde festgeschrieben. Der Wert bezieht sich auf die Übertragung eines einzelnen Datenpakets mit nur einem beteiligten Nutzer. Bei PMSE hingegen sind mehrere Anwendungen zugleich in Betrieb und für jedes Datenpaket muss eine Latenzgröße von einer Millisekunde garantiert werden, um innerhalb des Gesamtsystems in einem akzeptablen Latenz-Budget zu bleiben. Die Anforderungen der PMSE-Industrie liegen demnach höher als die gesetzten Maßstäbe der ITU. Um den technischen Ansprüchen für PMSE gerecht zu werden, müssten der 5G-Standard und die zugehörigen Chipsätze daher angepasst werden. Das stellt die zweite erarbeitete Bedingung der Untersuchung dar. Das Problem ist, dass die spezielle Adaptierung der Chipsätze für die Hersteller wenig attraktiv ist, da die PMSE-Gruppe vergleichsweise klein gegenüber der Mobilfunkbranche ist. Die Verfügbarkeit der Datenchips ist wiederum essentiell, damit PMSE-Equipment überhaupt mit dem 5G-Standard arbeiten kann. Der dritte Aspekt ist, dass ein funktionales Geschäftsmodell für den Einsatz von 5G gefunden werden muss.

¹⁵² Vgl. Fachexperte 1–5, persönliches Interview, Interviewfrage Nr. 12

Die Projektstudie skizziert hierzu zwei denkbare Szenarien. Die eine Möglichkeit wäre, dass die PMSE-Anwender das Frequenzspektrum vom Netzwerk-Betreiber leasen, um ihr eigenes 5G-Netz errichten zu können. Eine zweite Variante könnte die Verwendung eines öffentlichen 5G-Netzwerks sein. Der Betreiber müsste in diesem Fall ein Mindestmaß an Netzqualität garantieren, sodass die PMSE-Nutzer ihr Equipment störungsfrei einsetzen können. Beide Szenarien erfordern eine Abstimmung zwischen der PMSE-Gruppe und den Netzwerk-Betreibern.¹⁵³

Die Untersuchung verdeutlicht, dass diverse Fragen und Herausforderungen erst noch geklärt werden müssen, bevor 5G eine wirkliche Alternative für die PMSE-Industrie werden kann. Demzufolge ist im Hinblick auf eine mögliche 3. Digitale Dividende auch noch offen, ob der neue Mobilfunkstandard überhaupt als Ausweichmöglichkeit für die PMSE-Nutzer infrage kommen kann.

Mit Blick auf die zukünftige Entwicklung des Frequenzmanagements vermutet Experte 1, dass durch die fortschreitende Digitalisierung der Funktechnik Intermodulationsberechnungen eventuell nicht mehr notwendig sein werden. Er hält es für denkbar, wenn die Geräte alle den digitalen Standard erreicht haben, dass der Schwerpunkt der Arbeit hauptsächlich bei der Frequenzkoordinierung liegen wird und nicht mehr bei den Berechnungen. Laut der Annahme des Experten 4 werden die Arbeitsmethoden im Prinzip die gleichen bleiben. Nur die Frequenzbereiche werden sich zukünftig verschieben. Der Fachexperte 2 denkt, dass im Zuge der 3. Digitalen Dividende die Gesetze bezüglich der Frequenznutzung noch strenger werden. In diesem Zusammenhang wird mehr Achtsamkeit und Verantwortung bei der Frequenzverwendung nötig sein und die Arbeitsweisen müssen daraufhin abgestimmt werden. Der Experte betont dazu die Wichtigkeit, anpassungsfähig sowie flexibel zu bleiben und das eigene Vorgehen stets situationsgerecht anzupassen. Die Fachexperten 3 und 5 erwarten, dass ihr Arbeitsfeld sich perspektivisch komplexer und herausfordernder gestalten wird. Der Experte 5 äußert dies eher allgemein. Der Experte 3 verweist bei seiner Aussage auf den erläuterten technischen Fortschritt und die frequenzpolitische Entwicklung mit einer möglichen 3. Digitalen Dividende.¹⁵⁴

¹⁵³ Vgl. PMSE-xG Project Office (2017): <http://www.pmse-xg.de>

Vgl. DATACOM Buchverlag GmbH (o.J.) <https://www.itwissen.info/>

¹⁵⁴ Vgl. Fachexperte 1–5, persönliches Interview, Interviewfrage Nr. 12

Es ist ersichtlich, dass das Tätigkeitsfeld Frequenzmanagement sich perspektivisch mit hoher Wahrscheinlichkeit an erneute Umstrukturierungen der Frequenzlandschaft anpassen muss. Zugleich schreitet die Entwicklung der Funkssysteme voran und die Arbeitsweisen werden sich dahingehend entsprechend verändern. Sollte der Bedarf nach Funkkanälen bei Veranstaltungen weiter steigen und das verfügbare Spektrum zusätzlich eingeschränkt werden, wird es in Zukunft schwieriger sein, freie Frequenzen für die PMSE-Technik zu finden. In Anbetracht dieser Herausforderung ist davon auszugehen, dass Frequenzmanagement bei Veranstaltungen in Zukunft eine bedeutsamere Rolle einnehmen wird, damit auch weiterhin ein störungsfreier und koordinierter Funkbetrieb gewährleistet werden kann.

Quellenverzeichnis

Literaturverzeichnis

Box, H. C. (2020): *Set Lighting Technician's Handbook*. 5. Edition.
New York: Taylor & Francis / Routledge.

Ederhof, A. (2020): *Das Mikrofonbuch*. 3. Auflage. München: GC Carstensen Verlag.

Ericksen, D. E. (2018): *Frequency Coordination for Broadcast Auxiliary Services*.
In: Cavell, G. C. et alii (Hrsg.). *National Association of Broadcasters Engineering Handbook*.
11. Edition. New York: Taylor & Francis / Routledge, S. 73–84.

Freyer, U. (2017): *Nachrichten-Übertragungstechnik*. 7. Auflage.
München: Carl Hanser Verlag.

Gessler, R. und Krause, T. (2015): *Wireless-Netzwerke für den Nahbereich*.
2. Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg.

Grzesinski, C. (2020): *Smyrek Tontechnik für Veranstaltungstechniker in Ausbildung und Praxis*. 4. Auflage. Stuttgart: Hirzel Verlag.

Holzbaur, U. et alii (2010): *Eventmanagement*. 4. Auflage. Heidelberg: Springer-Verlag.

Kark, K. W. (2020): *Antennen und Strahlungsfelder*. 8. Auflage.
Wiesbaden: Springer Vieweg.

Macri, V. und Eythorsson, K. (2018): *Intercom and IFB Systems*.
In: Cavell, G. C. et alii (Hrsg.). *National Association of Broadcasters Engineering Handbook*.
11. Edition. New York: Taylor & Francis / Routledge, S. 879–898.

Meyer, M. (2019): *Kommunikationstechnik*. 6. Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg.

Müller, W.-C. (2019): *Funk-Betriebssicherheit - Tipps für stabile Funkstrecken*.
In: Production Partner Fachmagazin für Veranstaltungstechnik. Ausgabe 5/2019.
Köln: Musik-Media-Verlag, S. 13–15.

Niehoff, W. (2008): *Drahtlose Audioübertragung*.
In: Weinzierl, S. (Hrsg.). *Handbuch der Audiotechnik*.
Berlin: Springer-Verlag, S. 1035–1072.

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

Strauß, F. (2017): *Grundkurs Hochfrequenztechnik*. 3. Auflage.
Wiesbaden: Springer Vieweg.

Voss, L. (2019): *Was macht ein Frequenzmanager?*
In: Production Partner Fachmagazin für Veranstaltungstechnik.
Ausgabe 5/2019. Köln: Musik-Media-Verlag, S. 30–34.

Amtliche Quellen

FreqP, Frequenzplan (Stand Januar 2021)

FreqV, Frequenzverordnung (Stand November 2018)

TKG, Telekommunikationsgesetz (Stand Dezember 2021)

Vfg 25/2015, Amtsblattverfügung der Bundesnetzagentur,
Schnurlose Telekommunikationsanlagen des Systems DECT

Vfg 55/2021, Amtsblattverfügung der Bundesnetzagentur, WLAN bei 6 GHz

Vfg 64/2018, Amtsblattverfügung der Bundesnetzagentur, WLAN bei 2,4 GHz

Vfg 76/2003, Amtsblattverfügung der Bundesnetzagentur,
Industrial, Scientific and Medical - ISM

Vfg 151/2018, Amtsblattverfügung der Bundesnetzagentur, WLAN bei 5 GHz

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

VVnöml, Verwaltungsvorschriften für Frequenzuteilungen im nichtöffentlichen
mobilen Landfunk (Stand Dezember 2021)

Onlinequellenverzeichnis

Allary-Film, TV & Media (o.J.): *Videofunkstrecken*.

Online im Internet unter der URL: <https://www.movie-college.de/filmschule/kamera/kamera-support-und-zubehoer/videofunkstrecke>
(Letzter Zugriff am 28.10.2021, Fußnote 31)

APWPT-Verband (2021): *Frequencies for wireless microphones*.

Online im Internet als PDF unter der URL: https://apwpt.org/wp-content/uploads/2021/09/APWPT-Handout-Frequencies-October-2021_1.pdf
(Letzter Zugriff am 04.11.2021, Fußnote 65)

APWPT-Verband (o.J.): *Kein Webseiten-Titel*.

Online im Internet unter der URL: <https://apwpt.org/>
(Letzter Zugriff am 19.10.2021, Fußnote 2)

ARD Digital (2019): *DVB-T2 Standort- und Kanalübersicht*.

Online im Internet als PDF unter der URL: [https://www.dvb-t2hd.de/files/Senderstandorte_und_Kanaele_\(Stand_Februar_2019\).pdf](https://www.dvb-t2hd.de/files/Senderstandorte_und_Kanaele_(Stand_Februar_2019).pdf)
(Letzter Zugriff am 07.11.2021, Fußnote 77)

BMS Audio GmbH (o.J.): *Was ist eine Personenführungsanlage?*

Online im Internet unter der URL: <https://www.bmsaudio.de/service/faq/was-ist-eine-personenfuhrungsanlage.html> (Letzter Zugriff am 27.10.2021, Fußnote 28)

Bundesnetzagentur (o.J.): *Allgemeinzuteilungen*.

Online im Internet unter der URL: https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/Allgemeinzuteilungen/allgemeinzuteilungen-node.html;jsessionid=8245C8D9C7C3AFF44226197774BA0D1D
(Letzter Zugriff am 02.11.2021, Fußnote 48)

Bundesnetzagentur (o.J.): *Die Bundesnetzagentur*.

Online im Internet unter der URL: <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Allgemeines/DieBundesnetzagentur/UeberdieAgentur/start.html>
(Letzter Zugriff am 19.10.2021, Fußnote 1)

Bundesnetzagentur (o.J.): *DVB-T 01.11.2021*.

Online im Internet unter der URL: https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/OeffentlicheNetze/Rundfunk/rundfunk-node.html (Letzter Zugriff am 06.11.2021, Fußnote 74)

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

Online im Internet unter der URL: https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/Firmennetze/PMSE/PMSE-node.html (Letzter Zugriff am 30.10.2021, Fußnote 42)

DATACOM Buchverlag GmbH (o.J.): *IMT-2020*.

Online im Internet unter der URL: <https://www.itwissen.info/IMT-2020.html>
(Letzter Zugriff am 02.12.2021, Fußnote 153)

MEDIATEC Video- und Audio-Service GmbH (o.J.): *Videofunkstrecke - Flexible Signalübertragung ohne Kabel*. Online im Internet unter der URL: https://www.mediatec.de/kamerazubehoer/videofunkstrecken?gclid=Cj0KCQjwlOmLBhCHARIsAGIjg7kP4ALLi0RjilCOjXFIVtKQOLkuIajmrsSYh4vzAJF014Wwx60QmpYaAiiyEALw_wcB&p=1 (Letzter Zugriff am 28.10.2021, Fußnote 30)

Mothergrid (2021): *Bundesnetzagentur sichert Fortbestand der Kulturfrequenzen bis 2030 zu*. Online im Internet unter der URL: <https://www.mothergrid.de/news/bundesnetzagentur-sichert-den-fortbestand-der-kulturfrequenzen-bis-2030-zu/> (Letzter Zugriff am 15.12.2021, Fußnote 150, originale Pressemitteilung siehe Quellensammlung)

PCS GmbH (o.J.): *Führungsanlagen mieten, Personenführungsanlagen und Tourguide- Systeme mieten*. Online im Internet unter der URL: <https://www.konferenztechnik.de/fuehrungsanlagen-mieten/> (Letzter Zugriff am 27.10.2021, Fußnote 27)

PMSE-xG Project Office (2017): *White Paper PMSE and 5G*. Online im Internet als PDF unter der URL: http://www.pmse-xg.research-project.de/Ressources/White%20Paper/PMSE-xG_White_Paper_v1p01.pdf (Letzter Zugriff am 02.12.2021, Fußnote 153)

Sengpielaudio (o.J.): *Berechnung – Equalizer – Bandpass – Filter*. Online im Internet unter der URL: <http://www.sengpielaudio.com/Rechner-grenzfrequenzen.htm> (Letzter Zugriff am 06.11.2021, Fußnote 75)

Shure DACH (2020): *Shure Webinar: Analoge vs. digitale Funksysteme*. Online im Internet als Video unter der URL: <https://www.youtube.com/watch?v=Po4oXBN1clc> (Letzter Zugriff am 14.11.2021, Fußnote 98)

Shure Distribution GmbH (2021): *GLXD4R User Guide*. Online im Internet als PDF unter der URL: <https://www.shure.com/de-DE/produkte/funkmikrofon-systeme/glx-d-advanced/glx-d-advanced-digital-guitar-set> (Letzter Zugriff am 13.11.2021, Fußnote 90)

Shure Distribution GmbH (o.J.): *HA-8089 Helix-Antenne*. Online im Internet unter der URL: <https://www.shure.com/de-DE/produkte/zubehoer/ha-8089> (Letzter Zugriff am 16.11.2021, Fußnote 109)

Shure Distribution GmbH (2021): *SLX-D User Guide*. Online im Internet als PDF unter der URL: https://www.shure.com/de-DE/produkte/funkmikrofon-systeme/slx_d_digital_wireless/slx-d (Letzter Zugriff am 13.11.2021, Fußnote 90)

Shure Incorporated (2019): *Antennen-Katalog*. Online im Internet als PDF unter der URL: <https://content-files.shure.com/Pubs/axt630/antennen-katalog-de.pdf> (Letzter Zugriff am 16.11.2021, Fußnote 105)

SOS - Save Our Spectrum (2021): *Damit die Kultur souverän bleibt, Kulturfrequenzen sichern*. Online im Internet als PDF unter der URL: https://sos-save-our-spectrum.org/wp-content/uploads/2021/05/SOS_Kulturfrequenzen_Mai-2021_3.pdf
(Letzter Zugriff am 01.12.2021, Fußnote 150)

Spektrum Akademischer Verlag (1998): *Funktechnik*.
Online im Internet unter der URL:
<https://www.spektrum.de/lexikon/physik/funktechnik/5418>
(Letzter Zugriff am 25.10.2021, Fußnote 14)

Interview-Transkripte

Die Interview-Transkripte können unter folgendem Link eingesehen werden:

[Der Link wurde nachträglich entfernt]

Sonstige Quellen

Shure Incorporated (2020): *Master Class Drahtlostechnik*, Foliensatz zur Webinar-Reihe
(Fußnote 76 und 100, die verwendeten Folien können in der Quellensammlung eingesehen werden)

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 (S. 8): *Schrittweise Öffnung des Schwingkreises von links nach rechts.*

In: Freyer, U. (2017): *Nachrichten-Übertragungstechnik*. 7. Auflage.

München: Carl Hanser Verlag, S. 73.

Abbildung 2 (S. 8): *Berechnung der Wellenlänge und Aufschlüsselung der Formelzeichen.*

In: Freyer, U. (2017): *Nachrichten-Übertragungstechnik*. 7. Auflage.

München: Carl Hanser Verlag, S. 73.

Abbildung 3 (S. 9): *Vereinfachtes Modell der Funkübertragung.*

In: Freyer, U. (2017): *Nachrichten-Übertragungstechnik*. 7. Auflage.

München: Carl Hanser Verlag, S. 23.

Abbildung 4 (S. 21): *Frequenzspektrum zwischen 470 und 580 MHz an der Messe Erfurt,*

Angabe der Amplitude in dbm, Messgerät: Shure AXT600, Messdatum: 12.12.2019.

Quelle: Shure Distribution GmbH (2019), Abbildung für die Ausarbeitung freigegeben nach persönlicher Anfrage bei Shure.

Abbildung 5 (S. 27): *Selbsterstelltes Frequenzinfoblatt, angelehnt an*

Original-Vorlage von Experte 5 und an Quick Lane Bowl, Frequency Coordination Request.

Referenzquellen: Interviewpartner 5 (2021): *Frequenzinfoblatt* (Original vorliegend, aber nicht zur Veröffentlichung freigegeben) und Quick Lane Bowl Detroit (o.J.):

Frequency Coordination Request (Original, siehe Anhang 2).

Abbildung 6 (S. 29): *Aushang zur Frequenznutzung in der Max-Schmeling-Halle,*

selbsterstelltes Foto, eigene Erstellung (2021).

Abbildung 7 (S. 33): *Neun Funksender, die weniger als 20 cm voneinander entfernt sind,*

linke Spektrumsmessung mit analogen Funksystemen, rechts mit digitalen,

X-Achse = Frequenz (1,8 MHz/DIV), Y-Achse = Amplitude in dbm.

Quelle: Shure Incorporated (2020): *Master Class Drahtlostechnik*, Folie 128,

verwendetes Messgerät für die Aufnahme: Rohde & Schwarz FPL1003-P1,

Abbildung für die Ausarbeitung freigegeben nach persönlicher Anfrage bei Shure.

Abbildung 8 (S. 40): *Musterbeispiel für eine Intermodulationsberechnung*

von zwei Frequenzen (eigene Erstellung). Referenzquellen: Grzesinski, C. (2020):

Smyrek Tontechnik für Veranstaltungstechniker in Ausbildung und Praxis. 4. Auflage.

Stuttgart: Hirzel Verlag. S. 221 f. und SHURE Europe GmbH (o.J.): *Tipps & Tricks*

im Umgang mit mehrkanaligen drahtlosen Mikrofonanlagen, Folie 6–16.

Online im Internet als Powerpoint unter der URL: [https://www.osz-](https://www.osz-teltow.de/fachliches/medienberufe/mediengestalter.html)

[teltow.de/fachliches/medienberufe/mediengestalter.html](https://www.osz-teltow.de/fachliches/medienberufe/mediengestalter.html)

(Letzter Zugriff am 19.11.2021)

Abbildung 9 (S. 43): *Einfluss einer LED-Wand auf das Spektrum zwischen*

470 und 720 MHz, linke Messung ohne Bild, rechte Messung mit Bildwiedergabe

der LED-Wand, X-Achse = Frequenz in MHz, Y-Achse = Amplitude in dbm.

Quelle: Shure Incorporated (2020): *Master Class Drahtlostechnik*, Folien 224–225,

verwendetes Messgerät für die Aufnahme: Shure AXT600, Abbildung für die Ausarbeitung

freigegeben nach persönlicher Anfrage bei Shure.

Abbildung 10 (S. 46): *Messung des Frequenzspektrums während der 25-Jahr-Feier zum Fall der Berliner Mauer, X-Achse = Frequenz in MHz, Y-Achse = Amplitude in dbm, Messgerät: Shure AXT600, Datum: 09.11.2014, Ort: Brandenburger Tor, Berlin.*
Quelle: Shure Distribution GmbH (2014), für die Ausarbeitung freigegeben nach persönlicher Anfrage bei Shure.

Weitere Abbildungen:

Kondensator-Symbol im Symbolverzeichnis: Online im Internet unter der URL:
<https://de.cleanpng.com/png-fq6a8u/> (Letzter Zugriff am 25.10.2021)

Spulen-Symbol im Symbolverzeichnis: Online im Internet unter der URL:
<https://www.pngwing.com/de/free-png-slhwy> (Letzter Zugriff am 25.10.2021)

Antennen-Symbol im Symbolverzeichnis: Online im Internet unter der URL:
<https://de.cleanpng.com/png-wppf1p/> (Letzter Zugriff am 26.10.2021)

Zusammengestellte Quellensammlung

Unter dem folgenden Link kann eine Zusammenstellung von Quellen gefunden werden. Die Sammlung beinhaltet unter anderem Hersteller-Informationen, Veröffentlichungen der Bundesnetzagentur, Gesetzestexte, Magazin-Artikel und weitere Unterlagen:

[Der Link wurde nachträglich entfernt]

Anhang

Anhang 1	Bundesnetzagentur, Antrag auf Frequenzzuteilung für nichtöffentlichen mobilen Landfunk (nömL)
Anhang 2	Quick Lane Bowl Detroit, Frequency Coordination Request
Anhang 3	Checkliste Frequenzmanagement, eigene Erstellung, Aufbau angelehnt an Vorlage von Holzbaur, U. et alii (2010): Eventmanagement, S. 196 f.

Anhang 1

Bundesnetzagentur, Antrag auf Frequenzzuteilung
für nichtöffentlichen mobilen Landfunk (nömL)

(1) Antragsteller:	(2) Ansprechpartner und Rufnummer für Rückfragen:
	(3) Handelsregister/Amtsgericht: Geburtsdatum:

**Bundesnetzagentur
für Elektrizität, Gas, Telekommunikation,
Post und Eisenbahnen
Außenstelle**

Tel.

Ort, Datum

Antrag auf Frequenzzuteilung für nichtöffentlichen mobilen Landfunk (nömL)

(4) ☐ Neueinrichtung (Anlage A beifügen)	(5) ☐ Änderung (Anlage B beifügen)	Frequenzzuteilungsnummer:
---	---	---------------------------

einer Funkstelle des Durchsagefunks für

☐ Funkmikrofone (Drahtlose Mikrofone)
☐ Betriebsfunk für Führungszwecke (Führungsfunk)
☐ Regie- und Kommandofunk

(6) Inbetriebnahmedatum:	(7) Kassenzeichen (wenn bekannt):
--------------------------	-----------------------------------

Hinweis zum Datenschutz

Die Erhebung und Verwendung Ihrer, der Bundesnetzagentur mit diesem Antrag anvertrauten, personenbezogenen Daten erfolgt ausschließlich zur Erfüllung der vom Gesetzgeber der Bundesnetzagentur zugewiesenen Aufgaben und unter strikter Beachtung der Bestimmungen des Bundesdatenschutzgesetzes (BDSG). Zur Bearbeitung Ihres Antrags auf Zuteilung von Frequenzen gemäß § 55 Absatz 1 des Telekommunikationsgesetzes (TKG) für nichtöffentlichen mobilen Landfunk (nömL) werden die im Antragsformular erbetenen Angaben vollständig benötigt. Ihre Daten werden automatisiert verarbeitet und, soweit zum Zwecke des Inkassos erforderlich, im Zahlungsverfahrensverfahren (ZÜV) an die Bundeskasse übermittelt.

Allgemeine Hinweise

Die Zuteilung von Frequenzen für nömL erfolgt auf der Grundlage des Telekommunikationsgesetzes (TKG), des Frequenznutzungsplanes sowie konkretisierender Verwaltungsvorschriften. Auskünfte über die Frequenzzuteilungsvorschriften erteilen die Außenstellen der Bundesnetzagentur.

Zum Nachweis der Erfüllung der Frequenzzuteilungsvoraussetzungen kann die Bundesnetzagentur die Vorlage eines Nutzungskonzeptes verlangen. Sofern zur Sicherung einer störungsfreien und effizienten Frequenznutzung erforderlich, kann die Bundesnetzagentur auch Nachweise über das Vorliegen der erforderlichen subjektiven Voraussetzungen (Zuverlässigkeit, Leistungsfähigkeit, Fachkunde) anfordern.

Beachten Sie bitte die Ausfüllhinweise. Sollten Sie Schwierigkeiten beim Ausfüllen haben, wenden Sie sich bitte an Ihren Fachhändler oder an die für Sie zuständige Außenstelle der Bundesnetzagentur.

Anlagen

☐ Anlage A oder ☐ Anlage B
☐ weitere Anlagen: _____

(Unterschrift des Antragstellers; bei Firmen rechtsgültige Zeichnung)

Anlage A zum Antrag auf Frequenzzuteilung für nichtöffentlichen mobilen Landfunk

(1) Antragsteller:	Antragsdatum:
--------------------	---------------

Neueinrichtung einer Funkstelle des Durchsagefunks

(2) gewünschte Frequenz(en):						
(3) Funkanlagen						
		Sendefunkanlagen		reine Empfänger		
		ortsfest	mobil	ortsfest	mobil	
Anzahl						
benötigte Strahlungsleistung (ERP)						
(4) Verwendungszweck der Frequenznutzung:						
☐ Drahtlose Anbindung von Hörhilfen						
(5) Einsatzgebiet bzw. Einsatzort:						
						Die Sendefunkstelle wird ☐ innerhalb ☐ außerhalb von Gebäuden genutzt.
geografische Koordinaten des Einsatzortes nach den geodätischen Daten des World Geodetic System 84 (WGS 84)						
Nord		Ost		Geländehöhe über MSL:		
Grad	Minuten	Sekunden	Grad	Minuten	Sekunden	
(6) Bezeichnung der Aussendung						
Kanalbandbreite: ☐ 10 kHz ☐ 20 kHz ☐ 30 kHz ☐ 50 kHz ☐ 150 kHz ☐ 180 kHz ☐ 200 kHz						
☐ 250 kHz ☐ 300 kHz ☐ 400 kHz ☐ 600 kHz ☐ andere:						
Sendeart: (nach VoFunk, Anhang 1) ☐ F3E ☐ G3E ☐ andere:						
(7) Betriebsart				Übertragung von		
☐ einseitig ☐ wechselseitig				☐ Sprache, Musik, Töne ☐ Daten		
(8) Zusätzliche Angaben oder Erläuterungen:						

Anlage B zum Antrag auf Frequenzzuteilung für nichtöffentlichen mobilen Landfunk

(1) Antragsteller:	Antragsdatum:
--------------------	---------------

Änderung eines Funknetzes des Durchsagefunks

(2) Frequenzzuteilungsnummer:

- Bitte Frequenzzuteilungs-/ Genehmigungsurkunde mit Anlagen beifügen -

(3) Zugang bzw. Wegfall von Funkanlagen				
	Zugang	Wegfall	Neue Gesamtzahl	Änderung soll wirksam werden ab
ortsfeste Sendefunkanlagen				
mobile Sendefunkanlagen				
reine Empfänger				

(4) Änderung des Einsatzortes						
(4a) <u>Neuer</u> Einsatzort (Straße und Hausnummer, PLZ, Ort):						
(4b) geografische Koordinaten des Einsatzortes nach den geodätischen Daten des World Geodetic System 84 (WGS 84)						
Nord			Ost			Geländehöhe über MSL:
Grad	Minuten	Sekunden	Grad	Minuten	Sekunden	

(5) Sonstige Änderungen:

Ausfüllhinweise
zum „Antrag auf Frequenzzuteilung für nichtöffentlichen mobilen Landfunk (nömL)“

Durchsagefunk

Im Antrag und in den Anlagen bei diesen Feldern ☐ Zutreffendes bitte ankreuzen.

Antragsformblatt

- **Feld (1)**
Tragen Sie hier bitte Namen und Anschrift des Antragstellers ein (bei Firmen Name und Anschrift des Unternehmens). Auf diesen Namen wird die Urkunde ausgestellt, die hier angegebene Person oder Firma erwirkt die mit der Frequenzzuteilung vorhandenen Rechte und Pflichten. An diese Adresse werden die Frequenzzuteilungsurkunde und die Gebühren- und Beitragsbescheide übersandt.
- **Feld (2)**
Für Rückfragen geben Sie bitte den Namen und die Rufnummer eines kompetenten Ansprechpartners Ihres Unternehmens an. Wenn Sie eine Fachfirma mit der Errichtung des Funknetzes beauftragt haben, ist es Ihnen freigestellt, diese Fachfirma zusätzlich zu nennen.
- **Feld (3)**
Wenn Sie im Handelsregister registriert sind, geben Sie hier bitte Ihre Handelsregisternummer und das für Ihre Registrierung zuständige Amtsgericht an. Als Einzelunternehmer und wenn Sie nicht Kaufmann gem. HGB sind, geben Sie bitte Ihr Geburtsdatum an.
- **Feld (4)**
Bei der Neueinrichtung eines Funknetzes verwenden Sie bitte zum Antrag die Anlage A, die Anlage B kann entfallen.
- **Feld (5)**
Bei Änderungen einer bereits vorhandenen Frequenzzuteilung verwenden Sie bitte zum Antrag die Anlage B, die Anlage A kann entfallen. Die Frequenzzuteilungsnummer finden Sie in Ihrer bereits bestehenden Frequenzzuteilungsurkunde.
- **Feld (6)**
Geben Sie bitte unter "Inbetriebnahmedatum" an, ab wann die Frequenzzuteilung gelten soll; rückwirkende Frequenzzuteilungen sind nicht möglich. Die Pflicht zur Zahlung der Frequenzzuteilungsgebühren und Frequenznutzungsbeiträge sowie der Beiträge nach dem Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit von Geräten (EMVG) beginnt mit dem 1. des Monats, in dem die Zuteilung in Kraft tritt, sie endet mit Ablauf des Monats, in dem die Zuteilung erlischt. Die genannten Gebühren und Beiträge werden durch gesonderte Bescheide festgesetzt und auch fällig, wenn zugeteilte Frequenzen nicht genutzt werden.
- **Feld (7)**
Wenn Sie bereits im Besitz einer Frequenzzuteilung sind und einen Gebühren- und/oder Beitragsbescheid erhalten haben, nennen Sie uns hier bitte das Kassenzeichen des Gebühren- und/oder Beitragsbescheides. Wenn Ihnen noch kein Kassenzeichen zugeteilt wurde, ist hier kein Eintrag notwendig.

Die technischen Daten und weiteren Merkmale des Funknetzes oder der Funkstellen des nömL sind in der entsprechenden Anlage zum Antrag einzutragen.

Anlage A (nur zu verwenden bei der Neueinrichtung einer Funkstelle)

- **Feld (1)**
Zur eindeutigen Zuordnung der Anlage wiederholen Sie in diesem Feld bitte Ihren Namen bzw. den Namen der Firma und das Datum der Antragstellung.
- **Feld (2)**
Sie haben hier die Möglichkeit, gewünschte Frequenzen anzugeben. Es besteht jedoch kein Anspruch auf Zuteilung von bestimmten Frequenzen. Die endgültige Frequenz wird von der Bundesnetzagentur festgelegt und kann von Ihrem Wunsch abweichen. Es wird daher empfohlen, entsprechende Funkgeräte erst nach erfolgter Frequenzzuteilung zu beschaffen.

...

- Feld (3)

Geben Sie hier bitte die Anzahl der Sendefunkanlagen an, die betreiben möchten.

Feld (4)

Nennen Sie hier bitte den Verwendungszweck der Frequenznutzung. Der Einsatz von Funkstellen des Durchsagefunks für feste Funkverbindungen ist nicht zulässig.

- Feld (5)

Tragen Sie hier bitte das benötigte Einsatzgebiet bzw. den Einsatzort ein. Wenn sich die Funkstelle innerhalb eines Grundstückes befindet, geben Sie bitte die postalische Anschrift des Einsatzortes an (Straße und Hausnummer, PLZ, Ort).

Bei Drahtlosen Mikrofonanlagen geben Sie bitte an, ob diese innerhalb oder außerhalb von Gebäuden betrieben werden sollen.

- Feld (6)

Die Bezeichnung der erforderlichen Bandbreiten und Sendearten richtet sich nach der Vo Funk, Anhang 1 (englische Bezeichnung: ITU – Radio Regulations, Appendix 1).

- Feld (7)

Hier geben Sie bitte die Betriebsart und die Art der Übertragung an. Wenn Sie Daten übertragen möchten, erläutern Sie bitte im Feld (8) die Dauer, Häufigkeit und den Zweck der Datenübertragung.

- Feld (8)

Feld für zusätzliche Angaben oder Erläuterungen.

Anlage B (nur zu verwenden bei der Änderung eines Funknetzes)

- Feld (1)

Zur eindeutigen Zuordnung der Anlage wiederholen Sie in diesem Feld bitte Ihren Namen bzw. den Namen der Firma und das Datum der Antragstellung.

- Feld (2)

Geben Sie hier bitte die Frequenzzuteilungsnummer der zu ändernden oder zu erweiternden Frequenzzuteilung an.

- Feld (3)

In diese Tabelle tragen Sie bitte ein, die Anzahl des Zugangs und des Wegfalls an Funkanlagen und ab wann diese Änderung wirksam werden soll.

- Feld (4)

Bei einer Änderung des Einsatzgebietes bzw. des Einsatzortes ist die Veränderung in diesem Feld einzutragen.

- Feld (5)

Hier sind sonstige Änderungen (z.B. Änderung der Anschrift des Zuteilungsinhabers) mitzuteilen.

Sollten Sie noch Schwierigkeiten beim Ausfüllen haben, wenden Sie sich bitte an Ihren Fachhändler oder an die für Sie zuständige Außenstelle der Bundesnetzagentur. Die Formblätter, ein Verzeichnis der Außenstellen und weitere Informationen finden Sie auch im Internet unter „<http://www.bundesnetzagentur.de>“.

Anhang 2

Quick Lane Bowl Detroit,
Frequency Coordination Request



Frequency Coordination Request

Use this form to request frequencies for the Quick Lane Bowl. Section 2 allows you to request more than one frequency, if you require more than 3, use an additional form. Enter each frequency separately except for intercoms which are entered as a system. Please note both Base and beltpack frequencies the intercom is capable of tuning to.

Please fill in as much of this form as possible to speed the processing of your coordination request.

Section 1: General Information.

Page ____ of ____

Event Name: _____

Event Date: _____

Entity: _____

Your Name: _____

Cell Phone: _____

e-mail: _____

Section 2: Frequency Request Details. Each column represents a single request

Equipment Type for	Request 1	Request 2	Request 3
	☐ Wireless Mic	☐ Wireless Mic	☐ Wireless Mic
	☐ IFB	☐ IFB	☐ IFB
	☐ Intercom	☐ Intercom	☐ Intercom
	☐ 2-Way	☐ 2-Way	☐ 2-Way
	☐ Microwave	☐ Microwave	☐ Microwave
	☐ Other	☐ Other	☐ Other
Other Details:	_____	_____	_____
How will it be used?	_____	_____	_____
Where will it be used?	_____	_____	_____
When will it be used?	☐ Pregame ☐ Half-time ☐ During game ☐ Post-game	☐ Pregame ☐ Half-time ☐ During game ☐ Post-game	☐ Pregame ☐ Half-time ☐ During game ☐ Post-game
FCC Licensed?	☐ No ☐ Yes	☐ No ☐ Yes	☐ No ☐ Yes
If Yes, Enter Callsign:	_____	_____	_____
Manufacturer:	_____	_____	_____
Model:	_____	_____	_____
Frequency or Block:	_____	_____	_____
Current Frequency:	_____	_____	_____
Bandwidth (KHz):	_____	_____	_____
	☐ Analog ☐ Digital	☐ Analog ☐ Digital	☐ Analog ☐ Digital
Transmitter Power:	_____	_____	_____
Number TX Required:	_____	_____	_____
Backups Requested:	_____	_____	_____
Additional Notes:	_____	_____	_____

Section 3: Additional Notes to Coordinator.

The Undersigned on behalf of themselves and their respective organization agrees to abide by all directions of the Event Frequency Coordinator as it relates to frequency coordination due to the importance of the proper coordination of the Event. In addition, the undersigned on behalf of themselves and their respective organization shall indemnify and hold harmless as well as release and agree not to pursue any claims against the Frequency Coordinator, the National Football League, it's thirty-two member clubs, NFL Ventures, L.P., and each of those entities respective affiliates and subsidiaries, and their respective officers, directors, shareholders, agents, representatives and employees ("NFL Entities") for any claims arising out of the assignment of the Frequencies set forth herein.

Anhang 3

Checkliste Frequenzmanagement, eigene Erstellung,
Aufbau angelehnt an Vorlage von Holzbaur, U. et alii (2010):
Eventmanagement, S. 196 f.

Checkliste Frequenzmanagement		Projekt: <i>Muster-Veranstaltung</i>			
Bearbeitungsbeginn: <i>TT.MM.JJ</i>		Aktueller Stand: <i>TT.MM.JJ</i>			
Verantwortlich: <i>K. Muster</i>		Stellvertretung: <i>H. Beispiel</i>			
Maßnahmen in der Vorbereitungsphase					
	Arbeitspunkt	Ergebnis	Wer	Wann	✓
	Rahmenbedingungen abfragen (Inhalte, Ort, Zeiten der Veranstaltung)	<i>Infos erhalten</i>	<i>KM</i>	<i>TT.MM.JJ</i>	✓
	Spektrumsanalyse	<i>Abgeschlossen</i>	<i>KM</i>	<i>TT.MM.JJ</i>	✓
	• Nationale Frequenzregulierungen prüfen	<i>Erledigt</i>	<i>KM</i>	<i>TT.MM.JJ</i>	✓
	• Überblick verschaffen zu potenziellen Funkanwendern im Frequenzspektrum	<i>Nutzer bekannt</i>	<i>KM</i>	<i>TT.MM.JJ</i>	✓
	• Frequenzmessungen vor Ort durchführen	<i>Erledigt</i>	<i>HB</i>	<i>TT.MM.JJ</i>	✓
	• Datenbank-Recherche zu regionalen Nutzern und deren Frequenzbereichen	<i>Beendet, DVB-T Kanäle ermittelt</i>	<i>KM</i>	<i>TT.MM.JJ</i>	✓
	• Überprüfen, ob besondere politische Ereignisse in der Nähe stattfinden (zwecks möglicher Störsender)	<i>Laut letzter Berichterstattung keine bekannt</i>	<i>KM</i>	<i>TT.MM.JJ</i>	✓
	• Frequenzabfragen verschicken	<i>Erledigt</i>	<i>HB</i>	<i>TT.MM.JJ</i>	✓
	- an veranstaltungsinterne Nutzer	<i>Verschickt</i>	<i>HB</i>	<i>TT.MM.JJ</i>	✓
	- an die Veranstaltungsstätte	<i>Verschickt</i>	<i>HB</i>	<i>TT.MM.JJ</i>	✓
	- an umliegende Produktionen	<i>Verschickt</i>	<i>HB</i>	<i>TT.MM.JJ</i>	✓
	• Rückläufer Frequenzabfragen erhalten	<i>Liegen vor</i>	<i>HB</i>	<i>TT.MM.JJ</i>	✓
	Systemplanung Drahtlostechnik aufsetzen	<i>Konzept erstellt, Material disponiert</i>	<i>HB</i>	<i>TT.MM.JJ</i>	✓
	Zentrale Erfassung aller recherchierten und geplanten Funkanwendungen	<i>Software-File angelegt</i>	<i>KM</i>	<i>TT.MM.JJ</i>	✓
	Intermodulationen berechnen	<i>Abgeschlossen</i>	<i>KM</i>	<i>TT.MM.JJ</i>	✓
	Frequenzkoordinierung erstellen	<i>Erledigt</i>	<i>KM</i>	<i>TT.MM.JJ</i>	✓
	Frequenzlisten versenden	<i>Verschickt</i>	<i>KM</i>	<i>TT.MM.JJ</i>	✓
Aktivitäten beim Aufbau vor Ort					
	Arbeitspunkt	Ergebnis	Wer	Wann	✓
	Aktualität der vorliegenden Informationen zur Veranstaltung prüfen	<i>Erfolgt, Pläne auf neuestem Stand</i>	<i>KM</i>	<i>TT.MM.JJ</i>	✓
	Erneute Frequenzmessung durchführen	<i>Erledigt</i>	<i>HB</i>	<i>TT.MM.JJ</i>	✓
	Frequenzeinstellungen der Funkanwender kontrollieren	<i>Geprüft</i>	<i>KM</i>	<i>TT.MM.JJ</i>	✓
	Störquellen auffinden und beheben	<i>Keine Störungen festgestellt</i>	<i>HB</i>	<i>TT.MM.JJ</i>	✓
	Drahtlostechnik in Betrieb nehmen	<i>Erledigt</i>	<i>HB</i>	<i>TT.MM.JJ</i>	✓
	Intermodulationen ggf. neu berechnen	<i>Erledigt</i>	<i>KM</i>	<i>TT.MM.JJ</i>	✓
	Frequenzkoordinierung ggf. anpassen	<i>Erledigt</i>	<i>KM</i>	<i>TT.MM.JJ</i>	✓
Abgeschlossen: <i>TT.MM.JJ</i>		Bemerkungen: -			
Letzte Bearbeitung durch: <i>KM</i>					

Danksagung

Zu guter Letzt möchte ich mich recht herzlich bedanken bei allen Personen, die mich im Rahmen dieser Bachelorarbeit unterstützt haben. Insbesondere gilt mein Dank meinen Interviewpartnern, die sich die Zeit für meine Fragestellungen genommen haben und darüber hinaus auch für mich als Ansprechpartner zur Verfügung standen. Die interviewten Fachexperten möchte ich zumindest an dieser Stelle einmal namentlich nennen:

- Svenja Dunkel, selbstständige Frequenzmanagerin
- Marco Völzke, selbstständiger Frequenzmanager
- Robert George, selbstständiger Frequenzmanager
- Jan Luczak-Heering, Prokurist/Vertrieb, CS Com Solution GmbH
- Volker Schmitt, Manager Technical Application Engineering,
Pro Audio Business Unit, Sennheiser electronic GmbH & Co. KG

Außerdem möchte ich mich bedanken bei:

- Dr. Jochen Zenthöfer und Wolfgang Bilz vom APWPT-Verband, die mir bei der Suche nach Interviewpartnern und Informationsmaterialien geholfen haben
- Raimund Becker von der Bundesnetzagentur für die Beantwortung meiner Fragen zu rechtlichen Aspekten der Frequenznutzung
- Marcel Krepp von der Shure Distribution GmbH, der mir bei technischen Fragen weiterhalf und mir Unterlagen für die Ausarbeitung zur Verfügung gestellt hat

Ein großes Dankeschön geht selbstverständlich noch an meine Familie, die mich im Studium stets unterstützt hat.



Diese Erklärung ist mit der schriftlichen Abschlussarbeit im Dekanat des Fachbereichs VIII einzureichen!

■ **Persönliche Daten**

Fachbereich VIII

Matrikel-Nr. 881298

Name Glaß

Vorname Florian

Studiengang Veranstaltungstechnik und -management

■ **Erklärung zur Abschlussarbeit**

Ich versichere, dass ich

- ☒ meine Abschlussarbeit
- ☐ meinen Anteil an der als Gruppenarbeit gefertigten Abschlussarbeit
- ☐ meinen Abschlussfilm bzw. die Fotobücher
(nur für Audiovisuelle Medien Bachelor und Screen Based Media Bachelor)

selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Datum/Unterschrift

■ **Vermerke des Fachbereichs**

_____ Exemplare abgegeben Anlagen: _____ CD, _____ evtl. Abschlussfilm, _____ Fotobücher

_____ Exemplar/-e an _____ _____ Exemplar/-e an _____

ab am _____

ab am _____

- ☐ Postfach
- ☐ per Post
- ☐ durch Studierende/-n

- ☐ Postfach
- ☐ per Post
- ☐ durch Studierende/-n

- ☐ Thema Abschlussarbeit
- ☐ Lehrauftrag

- ☐ Eintrag V-Info
- ☐ Abstrakt

geprüft

