



Analyse der Infrastrukturkosten für DAB-Sendernetze in Rheinland-Pfalz

29.6.2018

Erstellt durch die

**Bayerische Medien Technik GmbH
Rosenheimer Straße 145e
81671 München
www.bmt-online.de**

Im Auftrag der

**Landeszentrale für Medien und Kommunikation Rheinland-Pfalz
Turmstraße 10
67072 Ludwigshafen
www.lmk-online.de**

Inhalt

1	Einleitung	5
1.1	Executive Summary	5
1.2	Grundinformationen	6
1.2.1	Unverbindlichkeit der ermittelten Kosten	6
1.2.2	Autoren und Expertise	6
1.2.3	Stand der Informationen.....	7
1.3	Aufgabenstellung und Orientierung	8
1.4	Überblick zu diesem Dokument.....	11
1.5	Grundsätzliche Probleme bei der Kostenermittlung.....	11
2	Vorgehensmodell	14
2.1	Grundsätzliches Vorgehen im Überblick	14
2.2	Unterteilung der Kosten	16
2.3	Kombinationsrechnung	17
2.4	Einmalige und ensembleanzahlbezogene Kosten	19
2.4.1	Rechenzentrum	19
2.4.2	Leitungsgebundene Zuführung zu den Senderstandorten.....	19
2.4.3	DAB Multiplexer	20
2.4.4	Zeitnormal.....	21
2.4.5	Zusätzliches Equipment.....	21
2.4.6	Monitoring / Überwachung	22
2.4.7	Betrieb und Management, sowie Planung und Aufbau.....	22
2.5	Standortbezogene Kosten.....	23
2.5.1	Vorgaben	23
2.5.2	Senderstandorte, Regionen und Netze	23
2.5.3	Betreiber- und Mitbenutzungsmodell.....	26
2.5.4	Konzeptionelle Beschreibung der Sendetechnik	30
2.5.5	Kosten je Standort	34
3	Klassifikationen und Abschätzungen.....	38
3.1	Überblick.....	38
3.2	Leitungsgebundene Zuführung zu den Senderstandorten.....	39
3.2.1	L-Klasse (Leitungsgebundene Erschließung).....	39
3.2.2	D-Klasse (Distanz der Verbindung).....	41
3.2.3	Datenraten.....	42
3.3	Platz- und Strombedarf PlayoutCenter / Multiplexer Standort.....	44

3.4	S-Klasse (Sender Leistungsklassen).....	47
3.5	Vier-Ebenen vs. Zwei-Ebenen Antenne	48
3.6	M-Klasse und N-Klasse (Antennen-Mitnutzung bzw. Turmmiete).....	54
4	Preis- und Kostenermittlung	55
4.1	Einmalige und ensembleanzahlbezogene Kosten	55
4.1.1	DAB Multiplexer	55
4.1.2	Monitoring- / Überwachungslösung	57
4.1.3	Weiteres Equipment, inklusive Netzwerktechnik	58
4.1.4	Collocation / Rackspace.....	59
4.1.5	Stromkosten (PlayoutCenter/Multiplexer).....	60
4.1.6	Zeitnormal (Taktsignal, Zeitinformation)	62
4.1.7	Betrieb	62
4.1.8	Planung, Aufbau, Schulung.....	62
4.1.9	Zusammenfassung der einmaligen und ensemblebezogenen Kosten.....	64
4.2	Zuführung zu den Senderstandorten.....	66
4.2.1	Leitungsgebundene Zuführung	66
4.2.2	Zuführung via Satellit (als alternative Option).....	70
4.2.3	Zuführung per Richtfunk.....	72
4.3	Senderstandortbezogene Kosten.....	73
4.3.1	Antennenneubau.....	73
4.3.2	Vier- vs. Zwei-Ebenen-Antenne	76
4.3.3	Antennengewinn / Gesamtgewinn.....	77
4.3.4	Sender	77
4.3.5	Stromkosten der Sender	82
4.3.6	Technikstellfläche	83
4.3.7	Mitnutzung DAB-Antenne und -Weiche.....	83
4.3.8	Netzwerktechnik	84
4.3.9	Planung, Aufbau und Betrieb	84
4.3.10	Zusammenfassung der Senderstandortbezogenen Kosten.....	86
4.3.11	Standortbezogene Kosten nach Standorten.....	88
4.3.12	Übersichtskarte.....	89
5	Gesamtkosten und Analyse	90
5.1	Kosten für Support und Überwachung	90
5.2	Gesamtkosten je Variante.....	94
5.3	Regionalnetze im Vergleich zum landesweiten Netz	96
5.4	CU-Preise	97
5.4.1	Regionale Planungsvarianten	98

5.5	Relativer Vergleich der Kosten der Sendernetze.....	99
5.6	CU-Preise in Relation zur Anzahl der Senderstandorte.....	101
5.7	Berechnungsformel.....	103
5.8	Hauptkostenfaktoren.....	105
5.9	Mitbenutzung als Schlüssel zur Effizienz	107
6	Ausblick	110
6.1	Weitere Kostenbereiche.....	110
6.1.1	Medienrechtliche Überwachung und Kontrolle	110
6.1.2	Hoheitskosten, Frequenzzuteilung	110
6.1.3	Antennenbetreiber, Senderbetreiber	111
6.1.4	Sendernetzbetreiber und Ensemblebetreiber	112
6.1.5	Programmbetreiber	112
6.1.6	Finanzierungsbedarf	113
6.2	Weitere Planungsbereiche	115
6.2.1	Zuführung durch Programmbetreiber	115
6.2.2	Betriebsgesellschaft und kaufmännische Grundlagen.....	116
6.2.3	DAB-Ensemble als bunter attraktiver Strauß.....	117
6.2.4	Detailplanung und verbindliche Preisverhandlungen.....	118
6.2.5	Kontrolle und Erweiterung.....	118
6.2.6	Nutzung der Möglichkeiten von DAB+.....	119
6.2.7	Zeitplanung und Vorgehen.....	120
7	Anhänge und Verzeichnisse.....	123
7.1	DAB+ Kapazitäten	123
7.2	Verzeichnis der Preisboxen	124
7.3	Verzeichnis der Abbildungen.....	124
7.4	Verzeichnis der Tabellen.....	124

1 Einleitung

1.1 Executive Summary

Untersucht wurden vorgegebene Planungsvarianten für DAB-Sendernetze in Rheinland-Pfalz auf landesweiter und regionaler Ebene, um Gesamtkosten und Kostenunterschiede zu ermitteln. Die ermittelten Kosten setzen weder auf verbindliche Angebote, noch auf Detailplanungen auf. Nicht von allen Betreibern wurden Auskünfte erteilt, sodass die Differenzierung der Kosten der Standorte und Sendernetze unvollständig ist.

Im Ergebnis zeigen sich die standortbezogenen Kosten als der dominierende Teil bei den Gesamtkosten, insbesondere der Antennenneubau und der Betrieb eigener Antennenanlagen ist eine wesentliche Kostenbelastung. Das landesweite Sendernetz (Variante 1) ist deshalb günstiger, weil hier durch die Nutzung abweichender Standorte der Antennenneubau an drei Standorten eingespart werden kann. Das landesweite Sendernetz ließe sich damit zu etwa 80 % der Kosten im Vergleich zu den Gesamtkosten der regionalen Varianten (2 bis 5) realisieren. Die Kosten für das PlayoutCenter mit den Multiplexern umfassen nur etwa 15 % der gesamten Investitionskosten und nur etwa 5 % der laufenden jährlichen Kosten. Demzufolge unterscheiden sich die regionalen Varianten (2 bis 5) in den Gesamtkosten kaum, da die Unterschiede im Bereich PlayoutCenter und Multiplexer hier kaum ins Gewicht fallen und alle regionalen Varianten die exakt selben Senderstandorte nutzen mit den exakt gleichen (anteilig relativ hohen) Kosten.

Die Gesamtkosten der teuersten Regionalvariante (Variante 2) mit 5 Sendernetzen (bzw. 5 DAB-Ensembles) belaufen sich auf 3.834.005 € bei Investitionen und 1.899.890 € jährliche laufende Kosten. Mit Abschreibung auf 10 Jahre ergeben sich somit Gesamtkosten von 2.283.291 € pro Jahr. Umgerechnet auf den Preis pro CU (Capacity Unit) ergeben sich hier 2.643 €/Jahr. Ein typisches DAB+ Programm benötigt etwa 54 CU und kommt hier auf 142.722 €/Jahr, wobei die Variante 2 die kleinteiligsten Regionalisierungsmöglichkeiten bietet, sodass auch eine Aussendung in nur einer Region, z.B. der Westpfalz, möglich wäre. Der CU-Preis pro Jahr beträgt hier nur 395 €, sodass ein DAB+ Programm mit 54 CU auf nur 21.330 € pro Jahr kommt. Eine solche Regionalisierung wäre in Variante 1 nicht möglich. Die Kosten für eine landesweite Aussendung desselben Programms würden sich hierbei auf 113.616 €/Jahr belaufen.

Unterschiede in den Preisen ergeben sich vorrangig durch die unterschiedliche Anzahl an Sendestandorten. Teilt man die CU-Preise der Sendernetze durch die Anzahl der Senderstandorte, erhält man eine andere Perspektive und sieht, dass Rheinpfalz mit 185 € pro CU, Jahr und Senderstandort am relativ teuersten ist, da hier ein relativ teurer Standort mit Antennenneubau enthalten ist. Als Abschätzungsoption für die grobe Berechnung für unterschiedliche Sendernetze und Varianten wurde die vereinfachte, auf Durchschnittswerten basierende, Formel gefunden: *Anzahl der Sendernetzstandorte, multipliziert mit 137 €, plus 86 €, ergibt den ungefähren durchschnittlichen CU-Preis pro Jahr* für die in dieser Studie betrachteten Sendernetze. Hochgerechnet auf ein DAB+ Programm mit 54 CU bedeutet dies, dass jedes Programm im groben Durchschnitt Grundkosten von 4.644 €/Jahr trägt und jeder genutzte Senderstandort mit 7.398 €/Jahr zu Buche schlägt. Diese Werte enthalten noch viele Annahmen und Unsicherheiten. Preisbeispiele von bereits realisierten DAB-Sendernetzen, lassen die Größenordnung jedoch plausibel erscheinen.

Wesentlich für eine Kostenbegrenzung ist es, alle Antennen mit möglichst vielen DAB-Ensembles zu nutzen und die hohen Kosten für Antennenneubau und Turmmiete, auf möglichst viele Antennennutzer zu verteilen. Mögliche Einsparungen durch Mitnutzung von neu gebauten Antennen durch Dritte, sind in den Preisen dieser Studie nicht einberechnet.

1.2 Grundinformationen

1.2.1 Unverbindlichkeit der ermittelten Kosten

Weder die Aufgabenstellung, noch die Ausführung dieser Studie führt zur Ermittlung von Kosten auf einem verbindlichen Niveau. Auskünfte von angefragten Unternehmen erfolgten stets unverbindlich. Selbst Beispielangebote sind nicht bindend und könnten in den meisten Fällen so nicht unbedingt direkt beauftragt werden.

Bei der Erstellung der Methodik, der Einzelwerte und Berechnung wurde größtmögliche Sorgfalt im Rahmen der Möglichkeiten und zeitlichen Vorgaben angewandt. Dennoch kann aufgrund der Vielzahl von Werten und Berechnungen nicht ausgeschlossen werden, dass sich noch Fehler eingeschlichen haben, die nicht entdeckt und korrigiert wurden. Es wurden an mehreren Stellen Plausibilitätsprüfungen durchgeführt, um systematische, grundsätzliche oder größere Fehler zu erkennen. Dem Auftraggeber wird die zur Berechnung verwendete Excel-Datei übergeben, um in Zweifelsfällen selbst nochmals Prüfungen durchführen oder Anpassungen und Neuberechnungen vornehmen zu können. Dies kann zudem dazu verwendet werden, nachträgliche Anpassungen vorzunehmen, wenn sich neue Informationen oder grundsätzliche Änderungen an den Planungen ergeben.

1.2.2 Autoren und Expertise

Autoren und Experten, die an dieser Studie mitgewirkt haben:

- Dipl.-Inf. Mathias Küfner: Hauptautor und DAB-Spezialist; Recherche, Koordinierung
- Dipl.-Ing. (FH) Thorsten Stache: Spezialist für den Bereich Rundfunktechnik; Recherche und Beratung im Bereich Senderstandorte, Antennen- und Sendertechnik
- Dipl.-Ing. Rainer Biehn: Technischer Leiter; zusätzliche Recherche und Beratung
- Dipl.-Ing. (FH) Veit Olischläger: zusätzliche Recherche und Beratung

Die Bayerische Medien Technik GmbH (bmt)¹ wurde im Jahre 1994 als Tochterunternehmen der Bayerischen Landeszentrale für neue Medien (BLM)² und des Bayerischen Rundfunks (BR)³ gegründet. Seit dem Start des DAB-Pilotprojektes 1995 ist die bmt aktiv an den Entwicklungen der Digitalisierung des Rundfunks beteiligt.

Für die Realisierung von Projekten im Umfeld des Digitalen Rundfunks bietet die bmt ihre Dienstleistungen allen Partnern im dualen Rundfunksystem an. Der Schwerpunkt ihrer Arbeit sind Entwicklungen und Dienstleistungen für private Hörfunk- und Fernsehunternehmen in Bayern. Zudem erarbeitet die bmt Studien und erbringt Consultingleistungen in allen ihren Geschäftsfeldern.

Für die bayerischen DVB-S-Projekte erstellte die bmt die Konzeption und setzte diese um. Mit TV-Layout-Dienstleistungen unterstützt die bmt die bayerischen Lokal-TV-Stationen in sämtlichen Verbreitungswegen. Die bmt ist für die komplette Signalzuführung zum TV-Layout, das TV Layout inkl. Multiplexing sowie die Programmdistribution verantwortlich. Ferner schaltet die bmt das Lokalfenster in den RTL-Programmen bei Vodafone in SD und HD und übergibt die 16 Lokal-TV-Programme inkl. der Service-Informationen (SI) an Entertain und andere Netze. Zudem betreibt die bmt das Lokal-TV-Portal und bietet HbbTV-Mediatheken an.

¹ <http://www.bmt-online.de/>

² <https://www.blm.de/>

³ <https://www.br.de/>

Als Projektbüro koordinierte die bmt die Einführung des digitalen Antennenfernsehens (DVB-T) in Bayern und DVB-T2 HD bundesweit und war Teil der nationalen Kampagne „klardigital 2012“ zur Beendigung der analogen Satellitenverbreitung.

Die bmt arbeitet seit ihrer Gründung stetig und intensiv im Bereich Digital Radio (DAB/DAB+). Das Know-how reicht dabei zurück bis in die Entwicklungs- und Standardisierungsphase von Digital Radio (DAB/DAB+). 2008 wurde im Auftrag der Bayerischen Landeszentrale für neue Medien eine Studie zu DAB+⁴ erstellt.

Weitere Geschäftsfelder der bmt sind Produkte und Dienstleistungen für den neuen Verkehrstelematik-Standard TPEG⁵.

1.2.3 Stand der Informationen

Diese Studie wird entsprechend der Vorgaben zwischen dem 4.4.2018 und 29.6.2018 erstellt. Korrekturen (Rechtschreibung, Grammatik, ...). Kleine Ergänzungen und Korrekturen wurden in Abstimmung mit dem Auftraggeber bis Ende Juli 2018 durchgeführt. Für die Vorrecherche und Angebotserstellung wurden ab März 2018 erste Informationen eingeholt.

Die Abschätzungen und Informationen beziehen sich somit hauptsächlich auf den Zeitbereich März bis Juni 2018. Teilweise werden auch ältere Informationen genutzt, um zusätzliche Preisbeispiele zu erhalten. Dies ist dann entsprechend kenntlich gemacht. Sofern notwendig und sinnvoll wurde auch auf grundsätzliches Knowhow der bmt im Bereich DAB/DAB+, PlayoutCenter, DAB-Multiplexer, Betrieb, Sender- und Antennentechnik, sowie Kostenstrukturen zurückgegriffen, das nicht an eng begrenzte Zeitabschnitte gebunden ist.

Neue externe Informationen von Dritten konnten nur bis einschließlich 20.6.2018 angenommen werden, um die Fertigstellung und Analyse rechtzeitig abschließen zu können.

⁴ „Der Systemstandard DAB+“ http://www.bmt-online.de/downloads/blm_studie_dab+_A4_72dpi.pdf

⁵ Weitere Informationen zum Geschäftsbereich TPEG siehe: www.WEcanTPEG.com

1.3 Aufgabenstellung und Orientierung

Diese Studie wurde auf Basis der Ausschreibung „**Analyse der Infrastrukturkosten für DAB-Sendernetze in Rheinland-Pfalz**“ der Landeszentrale für Medien und Kommunikation Rheinland-Pfalz erstellt. Sie ermittelt die Kosten für insgesamt fünf vorgegebene Planungsvarianten, die auf einer bestehenden Versorgungsplanung basieren.

Die Planungen definieren eine grundlegende Aufteilung von Rheinland-Pfalz in fünf Regionen, die je nach Planungsvariante unterschiedlich zu drei bis fünf Sendernetzen kombiniert werden. Zusätzlich beschreibt eine der Planungsvarianten ein landesweites Sendernetz, bei der abweichende Senderstandorte zum Einsatz kommen.



Abbildung 1-1: Überblick Regionen

Westpfalz und Rheinpfalz werden in einigen Varianten zur Pfalz kombiniert. Weitere Kombinationen erfolgen zwischen Trier und Koblenz, bzw. zwischen Trier und Rheinhessen.

Laut Ausschreibungsunterlagen nimmt die zugrunde gelegte Versorgungsplanung und Auswahl der Standorte einen Versorgungsgrad von mindestens 80% der Bevölkerung für Indoor-Empfang und 90% für Mobil-Empfang an. Bei der Auswahl der Senderstandorte, wurden solche bevorzugt, die bereits für DAB-Aussendungen genutzt wurden.

Es wird angenommen, dass die Multiplexer gemeinsam an einem zentralen Standort betrieben werden und die Signalzuführung zu den Senderstandorten über IP-basierte Leitungen und mittels EDI⁶-Protokoll erfolgt.

Es werden ein Abschreibungszeitraum und eine Laufzeit von 10 Jahren angenommen. Der Support soll einen 24/7 Service umfassen und eine Wiederherstellung innerhalb von 12 Stunden nach einer Havarie umfassen. Eine redundante Auslegung wird jedoch nicht vorgesehen.

Die Zuführung von Programmveranstaltern zum Multiplexer wird bei dieser Studie nicht betrachtet. Diese Studie umfasst somit den Bereich vom Eingang des Multiplexers, bis zur Aussendung über die Antenne.

Die Details zum gemeinsamen Verständnis der Aufgabenstellung und des Vorgehens, werden im Vorgehensmodell (Kapitel 2) genauer erläutert.

Die wesentlichen erwarteten Ergebnisse, laut Ausschreibung, sind:

a) Standortkosten

Tabellarische Aufstellung der monatlichen Kosten (Nettopreise) je Standort
Ergebnisse siehe Kapitel 4.3.11, insbesondere Tabelle 4-27

b) Zuführungskosten

Tabellarische Aufstellung der monatlichen Kosten (Nettopreise) je Netzgebiet in den Varianten 1 bis 5
Ergebnisse siehe Kapitel 4.2.1, insbesondere Tabelle 4-9 und Tabelle 4-11

c) Kosten für Support und Überwachung

Tabellarische Aufstellung monatlichen Kosten (Nettopreise) je Netzgebiet in den Varianten 1 bis 5
Ergebnisse siehe Kapitel 5.1, mit Tabelle 5-1 bis Tabelle 5-7

d) Gesamtübersichten

- Tabellarische Aufstellung der monatlichen Gesamtkosten je Netzgebiet in den Varianten 1 bis 5
Ergebnisse siehe Kapitel 5.2, mit Tabelle 5-8 bis Tabelle 5-12
- Tabellarische Gegenüberstellung der Gesamtkosten für die landesweite Versorgung mittels des landesweiten Netzes (Variante 1) einerseits und die landesweite Versorgung mittels Nutzung der regionalen Netze zusammengenommen je Variante 2 bis 5 andererseits.
Ergebnisse siehe Kapitel 5.3, mit Tabelle 5-13

⁶ EDI: Encapsulation of DAB Interfaces (ETSI TS 102 693) -
http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102600_102699/102693/01.01.02_60/ts_102693v010102p.pdf

Die vorgegebenen Varianten umfassen:

- **Variante 1:** Landesweite Versorgung
Hierbei wird der Standort Donnersberg genutzt (der bei den anderen Varianten nicht verwendet wird). Dafür entfallen Worms, Idar-Oberstein und Ludwigshafen.
- **Variante 2:** Regionalisierte Versorgung mit fünf Netzgebieten
Trier, Koblenz, Rheinhessen, Westpfalz, Rheinpfalz
Dies ist die feinste Aufteilung mit 5 DAB-Ensembles (bzw. Sendernetzen)
- **Variante 3:** Regionalisierte Versorgung mit vier Netzgebieten:
Trier, Koblenz, Rheinhessen, Pfalz (Westpfalz und Rheinpfalz)
Mit 4 DAB-Ensembles (bzw. Sendernetzen).
- **Variante 4 (Kombi A):** Regionalisierte Versorgung mit drei Netzgebieten
Trier/Rheinhessen (Zusammenfassung), Koblenz, Pfalz
Mit 3 DAB-Ensembles (bzw. Sendernetzen)
- **Variante 5 (Kombi B):** Versorgung mit drei Netzgebieten
Trier/Koblenz (Zusammenfassung), Rheinhessen, Pfalz
Ebenfalls mit 3 DAB-Ensembles (bzw. Sendernetzen).

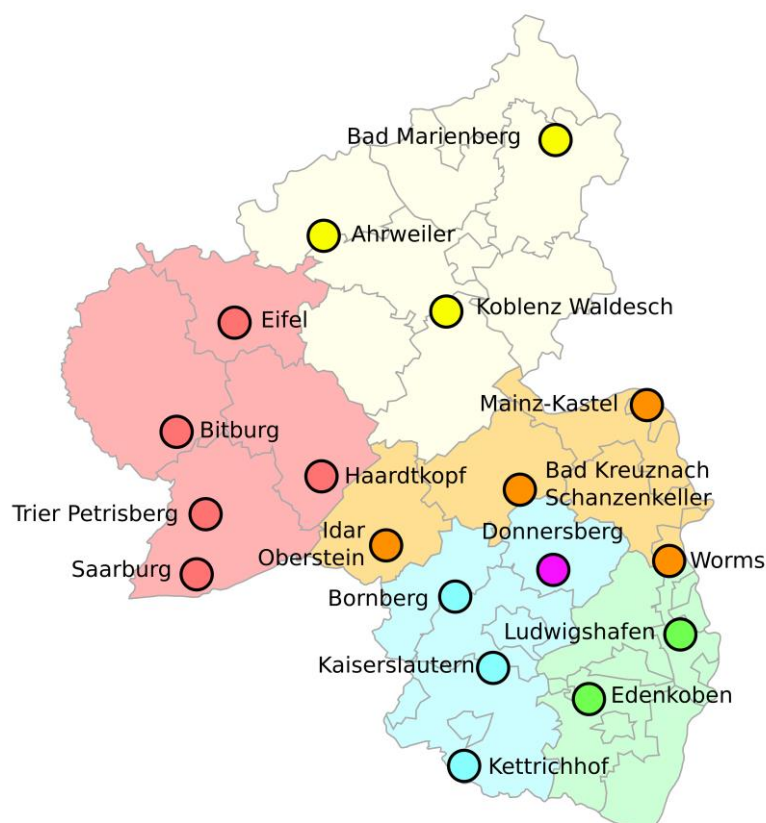


Abbildung 1-2: Übersichtskarte Regionen und Standorte

Für die Übersichtskarte mit Ergebnissen, siehe auch Kapitel 4.3.12.

1.4 Überblick zu diesem Dokument

Im Kapitel 2 wird das Vorgehensmodell erläutert. Dieses wurde mit dem Auftraggeber zunächst abgestimmt, um sicherzustellen, dass ein gemeinsames Verständnis zum Vorgehen besteht. Da diese Studie keine Detailplanung beinhaltet ist das Modell die Abstraktionsebene auf der die Kostenermittlung erfolgt. Dabei werden bewusst gewisse Details ignoriert, pauschalisiert und klassifiziert, um eine strukturierte übersichtliche Berechnung zu ermöglichen.

Im Kapitel 3 werden als zweiter Schritt notwendige Abschätzungen und Festlegungen getroffen, sowie Klassifizierungen definiert und erläutert, um dann nachfolgend darauf fußend die konkreten Kosten zu recherchieren und abzuschätzen.

Im Kapitel 4 erfolgt dann die Preis- und Kostenermittlung auf Basis der vorherigen Arbeitsschritte. Hier wird erläutert, wie die einzelnen Werte ermittelt, abgeschätzt oder festgelegt wurden, die dann für die Berechnung Verwendung finden. In diesem Kapitel werden auch einzelne Teilbereiche bereits zusammengefasst und als Übersichten dargestellt.

Im Kapitel 5 werden die Gesamtkosten zusammengefasst und entsprechend der Vorgaben gegenübergestellt und analysiert. Das Kapitel enthält auch weitere Übersichten zu spezifischen Kostenbereichen und eine Analyse von ermittelten Werten, mit Schlussfolgerungen zu den maßgeblichen Kostenfaktoren.

Das Kapitel 6 dient dazu einige sonstige denkbare Kostenbereiche, die in dieser Studie nicht einbezogen wurden, kurz aufzulisten und weitere mögliche Schritte, im Anschluss zu dieser Studie zu skizzieren.

1.5 Grundsätzliche Probleme bei der Kostenermittlung

Diese Studie befasst sich bewusst nicht mit der Detailplanung. Diese wäre mit dem gesteckten Aufwand und den zeitlichen Vorgaben nicht vereinbar gewesen. Dabei ergibt sich naturgemäß eine große Vielfalt an theoretischen Möglichkeiten und Unwägbarkeiten, die in der Kombination später zu groben Abweichungen bei den ermittelten Werten führen könnten. Dies ist soweit bekannt und akzeptiert.

Jedoch waren auch die angefragten Unternehmen, durch diese nicht ausräumbaren Unwägbarkeiten, kaum in der Lage Abschätzungen und Auskünfte zu erteilen, da sie ungern auf dieser unsicheren Basis mit bestimmten Preisen assoziiert werden wollten.

Zum einen zeigt sich hier die Sorge, dass man mit einer zu hohen Schätzung mögliche Kunden abschrecken würde, da man als überteuerter Anbieter abgestempelt werden könnte. Zum anderen bestand die Sorge darin, bei einer zu niedrigen Abschätzung, auf einen nicht kostendeckenden Preis gebunden werden könnte, selbst wenn sich die Annahmen und Voraussetzungen bei der späteren Detailplanung ändern. Tatsächlich zeigt sich mitunter, dass einmal genannte Preise als dominante Information weiter verwendet werden, selbst wenn sich die Rahmenbedingungen später ändern.

Theoretisch müsste man somit mit jeder konkreten Preisinformation eine detaillierte Abhandlung über die angenommenen Voraussetzungen beifügen. Dies würde erhebliche Aufwände und Einblicke, selbst für einfache Auskünfte bedeuten.

Die Erfahrung zeigt jedoch, dass selbst solche ausführlichen Zusatzinformationen mitunter ignoriert oder nicht verstanden werden. Auch eine unverbindliche Information, wird dann wie eine verbindliche Auskunft behandelt. Unternehmen schützen sich vor solchen Situationen, indem sie kategorisch keine Preiseinformationen nennen und auf die Erstellung individueller

Angebote verweisen, für die sie dann entsprechenden Aufwand betreiben und alle notwendigen Details einplanen, um auf einer verbindlichen und konkreten Ebene Auskünfte zu erteilen. In diesen Aufwand wird aber nur dann investiert, wenn auch die Chance für einen direkt daraus resultierenden Auftrag besteht. Zwar impliziert diese Studie die Möglichkeit einer späteren Realisierung in irgendeiner Form. Eine konkrete Auskunft darüber kann durch den Ersteller dieser Studie aber naturgemäß nicht gegeben werden, wodurch Anfragen sehr unverbindlich werden und Unternehmen Aufwände entsprechend scheuen.

Ein Ausweg aus dem Dilemma, um überhaupt Informationen zu erhalten, war die Anonymisierung der Quellen. Unter diesem Vorbehalt waren deutlich mehr Unternehmen bereit Auskünfte zu erteilen, da sie somit der Bindung entgehen konnten und die Pflicht und Last der Abschätzung deutlicher auf den Ersteller der Studie überging. Den Nachteil, dass der Name des Unternehmens in dieser Studie dann auch nicht erwähnt wird, waren einige der Unternehmen gerne bereit in Kauf zu nehmen. Unschön für die Studie ist dabei, dass Informationen weniger gut ausweisbar sind.

Ein anderer genutzter Ausweg war es, Informationen von Unternehmen, nicht direkt zu übernehmen, sondern diese zu verrechnen und grob zu klassifizieren, mit dem Hinweis, dass diese bewusst hinzugefügte Unschärfe, vom Ersteller der Studie entsprechend seinem Knowhow und seiner Einschätzung getroffen wurde und der ursprüngliche Informationslieferant hierdurch wenigstens partiell aus seiner Verantwortung genommen wird. Durch die Klassifizierung lassen sich grobe Unterschiede zwischen Standorten aufzeigen, ohne exakte Preislisten offenbaren zu müssen.

Im Sinne einer sachgerechten Auseinandersetzung und Aufgabenerfüllung war es in mehreren Fällen hilfreich und notwendig, diese Kompromisse in Kauf zu nehmen, um dadurch an konkretere und bessere Informationen zu gelangen.

Ein besonderes Erschwernis, das vom Auftraggeber der Studie vermutlich überhaupt nicht so vorgesehen war, ergab sich durch die Pflicht, alle Nutzungsrechte an der Studie einzuräumen, ohne die Art der Nutzungsmöglichkeiten zu konkretisieren. Dies impliziert somit auch die Möglichkeit zur sofortigen oder späteren Publikation. Zwar hat der Auftragnehmer dagegen nichts einzuwenden, jedoch sahen sich mehrere Unternehmen, durch die Möglichkeit der unbeschränkten Publikation, in einer besonders schwierigen Situation und baten allein aus diesem Grund darum, nicht als Quelle genannt zu werden oder die geäußerten Preise nicht in der Studie zu verwenden, bzw. waren erst überhaupt zu Aussagen bereit, nachdem sie die Zusage zur Anonymisierung oder groben Klassifizierung erhalten hatten. Die Einräumung der Nutzungsrechte war jedoch Bestandteil der ursprünglichen Ausschreibung für diese Studie und somit zwingender Bestandteil.

Grundsätzlich sind verbindliche Preisauskünfte meist an eine Vertraulichkeit gekoppelt. Dies betrifft insbesondere auch bestehende Verträge und tatsächliche Angebote, wie sie zum Beispiel auch aus anderen Projekten und aus der Vergangenheit vorliegen können. Solche Informationen durften meist nicht als Basis direkt genutzt werden. Abschätzungen die diese indirekt nutzen, konnten nicht auf diese vertraulichen Informationen verweisen und diese nicht offenlegen. Dies schränkt die Verifizierbarkeit und Transparenz deutlich ein.

Die besondere Problematik bei der Preisbildung für viele Produkte und Unternehmen ergibt sich an vielen Stellen aus dem Umstand, dass die Preise weniger objektiven technischen Vorgaben, sondern eher kaufmännischen und strategischen Überlegungen folgen. Während konkrete Geräte, wie Sender, sich relativ gut entsprechend ihrer Produktionskosten pro Stück bepreisen lassen, ist dies zum Beispiel für moderne Datenübertragung nur schwer möglich. Hier wurde mit hohen Investitionen eine große Grundinfrastruktur geschaffen, die hohe monatliche Betriebskosten aufweist, aber die synergetisch, dynamisch und parallel für viele

Aufträge genutzt werden kann, aber deren Gesamtkapazität nicht unbedingt durchgehend ausgeschöpft wird. Ob nun für Bereiche in denen die Auslastung sehr gering ist, eher niedrige Preise angesetzt werden, da der Bedarf eher gering ist, oder ob die Preise eher hoch anzusetzen sind, da die Grundinfrastruktur ja durch sehr wenige Aufträge gegenfinanziert werden muss, ist eine kaufmännische und strategische Frage, aber lässt sich nicht technisch objektiv entscheiden.

In diesem Dilemma befinden sich nicht nur die Anbieter von Leitungswegen, sondern ebenso Anbieter von Sendetürmen, Antennen und DAB-Ensembles. Als Folge sind hier in der Praxis viele verschiedene Preismodelle entstanden, die jeweils einzeln betrachtet logisch und verargumentierbar, aber die keineswegs alternativlos sind. Je nachdem mit welchen Laufzeiten, Paketbildungen, Risikoabwägungen, strategischen Überlegungen und Rahmenvereinbarungen ein Vertrag geschlossen wurde, kann er zu gänzlich unterschiedlichen Preisen führen. Dies hat sich auch beim Vergleich mit existierenden DAB-Ensembles und DAB-Sendernetzen gezeigt. Die hier durch die Praxis gestützten Preismodelle sind nicht unbedingt auf andere Situationen abbildbar, sondern immer Teil einer individuellen Gesamtvereinbarung und gesamtstrategischen Ausrichtung, bei der kaufmännische Risiken und Chancen unterschiedlich aufgeteilt und eingeschätzt werden können.

In einem ähnlichen Problemfeld bewegt sich auch der Bereich der UKW-Sender, -Antennen und des gesamten UKW-Betriebs, der sich während der Erstellung dieser Studie im Aufruhr und Umbruch befand durch den Verkauf von UKW-Sendeinfrastruktur durch die Media Broadcast. Obwohl diese Studie zu DAB eigentlich nichts direkt mit dieser UKW-Thematik zu tun hatte und davon weitgehend unabhängig zu sehen ist, hatte der UKW-Bereich dennoch starke Auswirkungen auf diese Studie. Zum einen wurden bei verschiedenen Unternehmen, ungewöhnlich viele personelle Ressourcen durch den Bereich UKW gebunden. Zum anderen ergaben sich vermutlich größere Bedenken Informationen offen zu legen, da es große Schnittbereiche zwischen UKW-Sendeinfrastruktur und DAB-Sendeinfrastruktur gibt, insbesondere bei Senderstandorten und der Mitbenutzung von Antennen und Standorten. Dies führte insbesondere beim Unternehmen Media Broadcast, das eigentlich an einer wichtigen Schlüsselposition im Kernbereich dieser Studie tätig ist, dazu, dass weder für Satellitenkapazitäten, noch für Leitungsverbindungen, noch für Mitbenutzung von Antennen oder Standorten, noch für betriebliche Dienstleistungen irgendwelche Preisinformationen zur Verwendung in dieser Studie zur Verfügung gestellt werden konnten.

Gerade im Bereich der Senderstandorte ist bekannt, dass verschiedene Unternehmen über detaillierte Preismodelle verfügen und darauf basierend zusammenarbeiten, allerdings waren diese Preislisten für die Arbeiten an dieser Studie nicht zugänglich bzw. konnten und/oder durften nicht genutzt werden. Dadurch waren zwar generelle Abschätzungen zu den Standortkosten aufgrund allgemeinen Knowhows möglich, jedoch konnten die Kostenunterschiede zwischen Standorten nur bedingt ermittelt werden.

2 Vorgehensmodell

2.1 Grundsätzliches Vorgehen im Überblick

Für diese Studie erfolgten, bis auf wenige Ausnahmen, keine vollständige Marktrecherche, kein Marktvergleich und keine Gegenüberstellung unterschiedlicher Produkte. Planung, Recherche und Preisanfragen zielten nur darauf ab eine mögliche und typische Lösung in groben Zügen zu entwerfen und in ihren Kosten abzuschätzen, um die Gesamtkosten für einzelne vorgegebene Planungsvarianten und Sendernetze zu ermitteln und aufzuschlüsseln. Es ging nicht darum unterschiedliche Realisierungsoptionen gegeneinander zu stellen, mit Ausnahme der vorgegebenen fünf Varianten, mit unterschiedlichen Sendernetzen, entsprechend der Ausschreibung.

Eine Detailplanung erfolgte ausdrücklich nicht. Es wurden weder Standorte begangen, noch beauftragungsfähige Planungen und/oder Angebote ermittelt. Vor einer Realisierung sind somit in jedem Fall weitere Detailplanungen notwendig, in Folge derer sich vermutlich ein konkreteres und verändertes Bild bei den Kosten ergeben wird. Im Rahmen der Detailplanung können auch, bis dato unentdeckte, Probleme auftauchen, wie etwa Realisierungshindernisse beim Neubau von Antennen, die zum Beispiel dazu führen könnten, dass für die Realisierung auf eine abweichende Auswahl an Standorten zurückgegriffen werden muss. Diese Studie ist weder in ihrer Aufgabenstellung noch in ihrer Ausführung dazu geeignet mögliche Hindernisse bei spezifischen Details allumfassend zu erkennen oder zu analysieren. Dies kann erst mit den weiteren detaillierteren Planungsschritten erfolgen. Das Gesamtunternehmen verhindernde Probleme werden aber ausdrücklich nicht erwartet.

Eine Redundanz wurde, entsprechend den Vorgaben, nicht vorgesehen, sondern lediglich eine Wiederinbetriebnahme innerhalb enger Zeitkorridore. Sollte später eine Redundanz realisiert werden, würde sich die Kostenstruktur verändern, wobei diese Studie keine ausreichenden Angaben enthält die eine exakte Abschätzung darüber erlauben würden. Bei der Ermittlung von Preisinformationen wurden offizielle und öffentlich ausweisbare Preisinformationen bevorzugt, auch wenn hierbei neben Listenpreisen und Budgetpreisen, mitunter grobe Abschätzungen zur Anwendung kommen mussten. Insbesondere bei größeren Stückzahlen und Paketangeboten sind bei einer Realisierung durch entsprechende Verhandlungen ggf. auch abweichende Preise möglich.

Die Studie befasst sich nicht mit der Programmzuführung und nicht mit der Planung welche und wie viele Programme in welchen Ensembles ausgesendet werden könnten. Bei der Kostenabschätzung in dieser Studie, geht es nur um die Kosten, die für die grundsätzliche Bereitstellung eines DAB-Ensembles, vom Multiplexer, bis zur Aussendung anfallen. Auch mögliche Erlösmodelle oder Abschätzungen der Wirtschaftlichkeit von Programmen, sind nicht Teil dieser Studie. Es erfolgte auch kein Vergleich zu anderen Übertragungstechniken wie UKW oder Internetradio, sondern es wurde nur grundsätzlich DAB bzw. DAB+ betrachtet.

Für die Perspektive dieser Studie ist es dabei weitgehend unerheblich ob Programme mit dem im DAB+ standardisierten Audiocodec ausgesendet werden, oder ob dies mit den Mechanismen, die bereits im DAB Basissystem spezifiziert sind, geschieht. Insofern ist auch die begriffliche Unterscheidung zwischen DAB+ und DAB für diese Studie weitgehend irrelevant.

Die für die Kostenermittlung angewendete Methodik und die genutzten Quellen, werden, soweit dies möglich und zulässig ist, offen gelegt, um die Werte und Berechnungen bei Bedarf selbst nachvollziehen, nachprüfen und anpassen zu können, entsprechend eventuell später notwendiger Modifikationen an den Vorgaben.

Das umfangreiche Know-how der Bayerischen Medien Technik GmbH im Fachbereich wurde genutzt, um das Vorgehensmodell zu konzeptionieren und um ermittelte Werte und Ergebnisse auf Plausibilität zu prüfen und ggf. durch eigene grobe pauschale Abschätzungen zu ergänzen, wo notwendig. Interne oder vertrauliche Informationen die vorab bekannt waren oder im Rahmen der Arbeiten zu dieser Studie ermittelt wurden, flossen dann nicht in diese Studie ein, wenn sie nicht zur Veröffentlichung und zur Kenntnisnahme durch Dritte freigegeben wurden. Vorbehalten von Unternehmen, die Informationen nur unter der Maßgabe der Anonymität zuliefern wollten, wurde Rechnung getragen. Zur überwiegenden Zahl der wesentlichen Positionen existieren keine öffentlichen Preislisten, sondern es wird von Unternehmen auf die Erstellung individueller Angebote verwiesen, die dann aber der Vertraulichkeit unterliegen. Es wurde zur Methodik der Abschätzung und Klassifizierung gegriffen, um hier dennoch nutzbare Zahlen für die Berechnung der Gesamtkosten zu erhalten.

Die konzeptionelle Arbeit und die Ermittlung von Informationen erfolgten soweit wie möglich ergebnisoffen, ohne eine Zielvorgabe oder unbedingte Zielvorstellung bei Einzel- oder Gesamtkosten. Eine Plausibilisierung erfolgte jeweils zu einem möglichst späten Zeitpunkt. Eine Vorfestlegung auf einzelne Varianten gab es nicht. Ebenso liegt der Studie keine grundsätzliche Entscheidung darüber zugrunde ob überhaupt DAB-Sendernetze in Rheinland-Pfalz realisiert werden und welche Variante ggf. realisiert werden würde. Die einzige grundsätzliche und fachlich vertretbare Annahme die gemacht wurde war, dass ein Aufbau von DAB-Sendernetzen in Rheinland-Pfalz grundsätzlich technisch möglich ist, aber zu klären ist, wie der Kostenrahmen dafür aussieht und zu ermitteln ist, welche Kostenfaktoren hier eine maßgebliche Rolle spielen. Hinderungsgründe die gegen den grundsätzlichen Aufbau von DAB-Sendernetzen sprechen könnten, wurden nicht gefunden, sodass die ermittelten Ergebnisse als valide Basis für weitere Schritte genutzt werden können.

Bei ermittelten Preisspannen und notwendigen Abschätzungen, wurde bei Zweifelsfällen eher ein höherer, aber dennoch plausibler Wert angenommen, um im Sinne einer Budgetermittlung, kein zusätzliches Risiko mit einzuplanen. Mögliche, aber nicht ausweisbare, Rabatte oder Möglichkeiten zur Kostenreduktion unter gewissen Vorbedingungen, die aber im Rahmen dieser Studie nicht abklärbar waren, wurden nicht mit eingeplant.

Ein grundsätzlicher Unterschied zwischen UKW und DAB liegt darin, dass bei DAB immer komplette (sogenannte) Ensembles ausgesendet werden müssen, die Platz für eine variable (und ggf. dynamisch anpassbare) Programmanzahl bieten. Dies legt es nahe, dass als zwischengeschaltete Instanz ein sogenannter Ensemblebetreiber existiert, der häufig identisch ist zu einem Sendernetzbetreiber und insgesamt die in dieser Studie untersuchten Aspekte bei einer Realisierung betrieblich und wirtschaftlich komplett verantworten würde. Für diese Studie gab es keine Vorfestlegung darauf wer ein solcher Sendernetzbetreiber sein könnte. Es wurde lediglich angenommen, dass es einen solchen Sendernetzbetreiber voraussichtlich geben würde, falls eine Realisierung erfolgt.

Typischerweise würde dieser das DAB-Ensemble pauschal zu einem Gesamtpreis anbieten. Für diese Studie wurden jedoch, soweit dies möglich war, die Investitionskosten und die jährlich anfallenden Kosten (insbesondere Betriebskosten) aufgetrennt und gesondert dargestellt und untersucht, wobei eine Abschreibungszeit von 10 Jahren vorgegeben war. Entsprechend strategischer Entscheidungen könnte ein Sendernetzbetreiber diese Annahmen für sich ggf. variieren und somit zu anderen Kostenmodellen gelangen. In der bestehenden Praxis des DAB-Sendernetzbetriebs in Deutschland gibt es hierzu

unterschiedliche Ansätze, wodurch die Kosten- und Preismodelle dieser DAB-Ensembles nur bedingt als Basis und zum Vergleich mit dieser Studie geeignet sind.

2.2 Unterteilung der Kosten

Bei der Betrachtung und Analyse der Kostenstruktur, ergibt sich folgende Aufteilung:

- **Ensemblezahlbezogene Kosten**, d.h. Kosten die pro DAB-Ensembles bzw. pro DAB Sendernetz anfallen und in ihrer Gesamtheit je nach Anzahl der realisierten DAB-Ensembles unterschiedlich ausfallen. Dies sind insbesondere Kosten im Zusammenhang mit dem PlayoutCenter und Multiplexer. Die ensembleanzahlbezogenen Kosten können gemischt mit einmaligen Kosten auftreten.
- **Einmalige Kosten**, d.h. Kosten die in jedem Fall genau einmal auftreten, unabhängig von der Zahl der Ensembles oder der Standorte. Sie werden dann durch die Anzahl der Ensembles bzw. Sendernetze geteilt, sind aber immer in gleicher Höhe vorhanden. Sie lassen sich am einfachsten mit den ensemblebezogenen Kosten zusammenlegen, indem einfach für jede Ensembleanzahl hier der gleiche Wert angesetzt wird.
- **Standortbezogene Kosten**, d.h. Kosten die für die Senderstandorte anfallen und sich (abgesehen vom landesweiten Netz) modular nach Regionen aufgliedern und Sendernetzen, sowie Varianten zusammenfassen lassen. Dies sind insbesondere Mitbenutzungspreise für Standorte, Sender, Antennen. Die Kosten für Sender gehören zu den standortbezogenen Kosten, jedoch werden Ersatzsender bei den einmaligen Kosten angesetzt, da sie keinem spezifischen Standort zuzurechnen sind.
- **Zuführungskosten** zu den Senderstandorten bei denen unterschieden werden muss:
 - Bei leitungsgebundener Zuführung fallen je Standort Zusatzkosten an, die am sinnvollsten den standortorientierten Kosten zugerechnet werden.
 - Bei satellitengebundener Zuführung fallen je DAB-Ensemble Zusatzkosten an, die am sinnvollsten direkt den ensemblezahlorientierten Kosten zugerechnet werden (d.h. verknüpft mit PlayoutCenter / Multiplexer). In dieser Studie wurde die Zuführung per Satellit nur als alternative Option abgeschätzt und als eine Kostendeckelung der Zuführungskosten je Ensemble bzw. Sendernetz vorgeschlagen, aber nicht näher miteinkalkuliert.

Zudem wird unterschieden:

- **Investitionskosten**, für die Anschaffung von Equipment, sowie Ersatzequipment und einmalige Planungs- und/oder Aufbaukosten. Die Investitionskosten werden auf 10 Jahre abgeschrieben, sodass die Investitionskosten gleichmäßig auf 10 Jahre verteilt werden.
- **Jährliche Kosten**: Hierzu gehören Dienstleistungen, Stromkosten und auch Erneuerungskosten die pauschal angesetzt wurden, um defektes Equipment zu erneuern oder zu reparieren oder entsprechende Supportdienstleister zu beauftragen, die die Hardware entsprechend austauschen. Der Begriff „Betriebskosten“ wurde bewusst vermeiden, um Verwechslungen zu vermeiden da der „Betrieb“ als spezifischer Teilbereich in diesem Kostenblock auftaucht.

Erneuerung (5% / Jahr) und Ersatzhardware:

Für wichtige Hardware wird ein Ersatz in Form von zusätzlichen Reservegeräten eingeplant, der passiv aber ggf. vorbereitet in einem Lager bereit steht und bei Ausfall einer Komponente genutzt werden kann, um diese schnellstmöglich zu ersetzen, entsprechend der Vorgaben für diese Studie. Die Ersatzhardware wird nur in

einfacher Ausführung oder zumindest in sehr geringen Stückzahlen vorgesehen. Um nach einem Defekt und Austausch, wieder eine Reserve aufzubauen, ist eine Reparatur oder ein Austausch notwendig, auch schon vor Ablauf und unabhängig vom Abschreibungszeitraum von 10 Jahren. Deshalb werden für die Hardware in den meisten Fällen pauschal 5% der Investitionskosten als jährliche Erneuerungskosten angesetzt. Dies ist eine vereinfachte Mittelung.

Beim Multiplexer wird hingegen ein besserer Premiumsupport für Hardware und Software vorgesehen, wodurch die 5% Erneuerung entfallen.

Bei einigen Komponenten, wie Antennen und Weichen, ist es nicht sinnvoll bzw. nicht sinnvoll möglich Ersatzhardware bereit zu halten, aber die Erneuerung wird pauschal mit vorgesehen und kann ggf. als Rücklage für Reparaturen oder im Sinne einer Versicherung eingeplant werden.

2.3 Kombinationsrechnung

Nach Ermittlung der einzelnen Kostenfaktoren, die wie beschrieben aufgeteilt sind, werden Kombinationen bis hin zur Gesamtsumme berechnet. Dabei werden Investitionen und jährliche Kosten von Beginn bis Ende parallel aber getrennt berechnet.

- Berechnung der **einmaligen und ensembleanzahlbezogenen** Kosten, jeweils für 1 Ensemble, 2 Ensembles, 3 Ensembles, 4 Ensembles und 5 Ensembles. (Dabei tritt der Fall 2 Ensembles in der vorgegebenen Aufgabenstellung nicht auf, kann aber leicht mit errechnet werden.) Dabei werden die einmaligen Kosten bei allen Ensembles identisch eingerechnet.
- Berechnung der **senderstandortbezogenen** Kosten, jeweils für jeden Standort getrennt.
- Berechnung der senderstandortbezogenen Kosten für **jede Region**, durch Kombination der jeweils genutzten Standorte. Dabei ist das landesweite Netz gesondert zu betrachten als eigene überlappende maximalgroße Region. Abgesehen davon werden zunächst die kleinsten Gebiete als fünf überlappungsfreie Regionen ermittelt (Koblenz, Trier, Rheinhessen, Westpfalz, Rheinpfalz) die als Basismodule genutzt werden und aus denen sich dann alle Kombinationen zu Regionalnetzen kombinieren lassen.
- Berechnung der senderstandortbezogenen Kosten für **jedes Sendernetz**. Das landesweite Sendernetz hat hier eine Sonderrolle und besteht direkt und einzig aus der zuvor berechneten landesweiten Sonderregion. Die weiteren zuvor ermittelten Regionen stellen ihrerseits auch selbst eigene Sendernetze dar (Koblenz, Trier, Rheinhessen, Westpfalz, Rheinpfalz). Zusätzlich werden jedoch als Kombinationen die Sendernetze Trier/Koblenz, Trier/Rheinhessen und Pfalz (aus West- und Rheinpfalz) ermittelt, sodass sich insgesamt 9 verschiedene Sendernetze ergeben. Diese sind nicht mehr überlappungsfrei, d.h. können nicht alle gleichzeitig realisiert werden.
- Berechnung der Kosten für die **Kombination der Sendernetze** entsprechend der vorgegebenen Variante. Dabei ist Variante 1 direkt der Sonderfall des landesweiten Sendernetzes. Variante 2 kombiniert fünf einzelne Sendernetze, Variante 3 kombiniert vier Sendernetze und Variante 4 und 5 kombinieren jeweils drei Sendernetze. (Dies umfasst jedoch noch nicht die vollständigen Kosten der jeweiligen Variante, sondern nur die senderstandortbezogenen Kosten.)

- Berechnung der **Gesamtkosten je Variante** als Summe aus den senderstandortbezogenen Kosten (aus dem Schritt vorher) für jede Variante, plus der ensembleanzahlbezogenen Kosten je Variante, entsprechend der Anzahl realisierter Ensembles (die der Anzahl der kombinierten Sendernetze aus dem vorherigen Schritt entspricht).
- Berechnung der **Kosten je Variante**, wie im vorhergehenden Schritt, aber jeweils **aufgeteilt nach verwendetem Sendernetz**.
- Berechnung der abgeleiteten Kosten aus dem vorherigen Schritt:
 - Abschreibung über 10 Jahre, als gleichmäßige Aufteilung der Investitionskosten über 10 Jahre.
 - Gesamtkosten pro Jahr (oder pro Monat), als Summe aus der ermittelten jährlichen Kosten und der Abschreibung pro Jahr.
 - Gesamtkosten pro Jahr (oder pro Monat), aufgeteilt auf 864 CUs eines DAB-Ensembles. Dies ist der sogenannte CU-Preis, auf dessen Basis häufig Sendernetzkosten angegeben und verrechnet werden.

Entsprechend der ermittelten Ergebnisse werden weitere tabellarische Zusammenfassungen und Aufschlüsselungen bestimmter Kostenanteile ausgeführt.

2.4 Einmalige und ensembleanzahlbezogene Kosten

2.4.1 Rechenzentrum

Es wurde angenommen, dass der Betrieb der Multiplexer und ggf. weiteren Equipments in einem Rechenzentrum erfolgt. Dies lässt sich bezüglich der Konditionen und Kosten relativ gut überblicken. Die IP-Leitungsanbindung ist hier problemlos und kostengünstig. Der Betrieb kann entweder überwiegend remote erfolgen, sodass auch ein weiter entferntes Rechenzentrum als Standort möglich wäre, oder es ist ein nahes und für den Sendernetzbetreiber gut erreichbares Rechenzentrum zu wählen. Entsprechende Rechenzentren sind vorhanden wie beispielweise „SkyWay⁷“, das LDI⁸ Rechenzentrum, Pfalzkom-Manet⁹ und TWL-KOM¹⁰, die teilweise aus vorherigen Studien bereits bekannt sind.

Alternativ wäre auch der Betrieb an einem der Senderstandorte oder in einem anderen Betriebsgebäude möglich, sofern der Sendernetzbetreiber dies als sinnvoll erachtet. Ein Vergleich wurde hier nicht erarbeitet, sondern der Betrieb im Rechenzentrum als plausibles Lösungsbeispiel kalkuliert.

Es wurde kein spezifisches Rechenzentrum für den Betrieb ausgewählt. Bezüglich der Zuführungsleitungen zu den Senderstandorten ergibt sich jedoch ein bedingter Zusammenhang, da die Leitungslängen unter gewissen Umständen relevanten Einfluss auf die Kosten haben. Nicht Teil der Studie, aber für die spätere Realisierung genauso entscheidend, sind die Zuführungsleitungen der Programmbetreiber zum PlayoutCenter, sodass das PlayoutCenter sinnvollerweise eher Mittig in Rheinland-Pfalz gelegen sein sollte. Dies ließe sich betrieblich auch besser mit dem Betrieb der umliegenden Senderstandorte kombinieren.

2.4.2 Leitungsgebundene Zuführung zu den Senderstandorten

Es wird keine Entscheidung darüber getroffen welche Technik für die Realisierung zum Einsatz kommt. Grundsätzlich wird eine IP basierte Zuführung angenommen, über die ein EDI¹¹-Datenstrom übertragen wird. Dies ist zwar grundsätzlich sogar über offenes Internet möglich, wird für die Betrachtung in dieser Studie aber vermieden. Es wird hingegen auf folgende zwei grundsätzliche Techniken fokussiert:

- **MPLS¹² basiertes Netz:**
Bei MPLS (Multiprotocol Label Switching) bieten Carrier ein voll gemanagtes Netzwerk an, mit dem beliebige Standorte verbunden werden können.
- **Layer 2 LAN Link¹³, mit einer sogenannten Hub-Spoke Topologie:**
Dabei wird die aus dem LAN-Bereich bekannte „Ethernet“-Technik als Basis genutzt, um weiter entfernte Standorte zu verbinden. Beim Hub-Spoke-Netz gibt es einen zentralen „Hub“-Standort, über den sämtliche Kommunikation läuft. Die „Spoke“-Standorte sind jeweils nur mit dem „Hub“-Standort verbunden. Dieser „Hub“

⁷ <https://www.skyway-datacenter.de/de/rechenzentren> (St.Ingbert und Kaiserslautern)

⁸ <https://ldi.rlp.de/de/kompetenzen/rechenzentrum/>

⁹ <https://www.pfalzkom-manet.de/> (Rhein-Neckar-Campus, bzw. Mannheim und Ludwigshafen)

¹⁰ <https://www.twl-kom.de/rechenzentrum/> (Ludwigshafen)

¹¹ EDI: Encapsulation of DAB Interfaces (ETSI TS 102 693) -

http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102600_102699/102693/01.01.02_60/ts_102693v010102p.pdf

¹² MPLS: Multiprotocol Label Switching - https://de.wikipedia.org/wiki/Multiprotocol_Label_Switching

¹³ LAN-Link: <https://www.mpcservice.com/vpls/lan-link/>

wäre somit das PlayoutCenter, das die EDI-Streams zu den Senderstandorten zuführt, die die Spoke-Standorte darstellen. Eine Kommunikation direkt zwischen den Senderstandorten ist eigentlich nicht notwendig, wodurch sich im Hub-Spoke-Netz hier kein Nachteil ergibt.

Da für ein Layer 2 LAN Link (mit Hub-Spoke-Netz¹⁴) die Distanzen zwischen den vernetzten Standorten relevant für die Kosten sind, wohingegen bei einem MPLS Netz eher entscheidend ist, wie gut die Anbindung des Standortes ist (d.h. ob dieser in der Stadt oder weit außerhalb am Land liegt), wird eine Mischung beider Aspekte in einer Berechnung mit eigenen Abschätzungen vorgenommen, um hier keine Vorfestlegung auf eine Technik zu treffen. Grundsätzlich sind beide Techniken geeignet und auch gleichermaßen multicastfähig.

Die zusätzliche Problematik, dass die Leitungslängen davon abhängen wo genau das PlayoutCenter positioniert ist, wird mit einem theoretischen Ansatz begegnet, bei dem ein idealisierter theoretischer Punkt, der zentral in Rheinland-Pfalz gelegen ist, für die Berechnung herangezogen wird, da dies die beste gemittelte Näherung über unterschiedliche mögliche Standorte innerhalb von Rheinland-Pfalz darstellt.

Entscheidend ist, dass allen Abschätzungen ein Kostenrahmen zugrunde gelegt wird, der sich auf grobe Preisinformationen von Anbietern stützt. Auftretende Fehler bei der Abschätzung und Klassifizierung von Standorten sollten somit weitgehend innerhalb dieses gesetzten Kostenrahmens bleiben.

Für die spätere Realisierung empfiehlt es sich hier mit einem entsprechenden Anbieter frühzeitig in die komplexe Detailplanung einzusteigen, um die optimale Lösung zu ermitteln.

2.4.3 DAB Multiplexer

Der Multiplexer ist das Herzstück eines DAB-Ensembles. Hier laufen alle zugeführten Audioprogramme (meist schon vorkodiert) und alle Datenströme (z.B. TPEG) zusammen und werden zu einem DAB-Ensemble und einem gemeinsamen Datenstrom kombiniert. Dieser wird dann zu allen Sendernetzstandorten des Gleichwellennetzes übertragen.

Als Gerät wird der DAB Content Server R6¹⁵, entwickelt von Fraunhofer IIS, vorgesehen, der hier als typische solide Lösung beispielhaft fungiert. Er ist ausgereift, innerhalb von Deutschland und international gut etabliert und kann funktional alle Bereiche von DAB Ensembles abdecken. Eine weitergehende Marktanalyse oder ein Produktvergleich wurden im Rahmen dieser Studie bewusst nicht erstellt und bedürften zunächst einer Definition der konkreten Anforderungen.

Der DAB Content Server R6 wird nicht direkt von Fraunhofer IIS vertrieben, sondern von verschiedenen anderen Firmen, die ihn in unterschiedlichen Ausbaustufen und Varianten, teils mit eigenen Anpassungen, unter eigenen Produktnamen anbieten. Je nach Konzept kombinieren diese Anbieter den DAB Content Server R6 mit weiteren Geräten, um eine Gesamtlösung, ausgerichtet für bestimmte Anwendungsfälle anzubieten.

¹⁴ Hub-Spoke Konzept: https://de.wikipedia.org/wiki/Hub_and_Spoke

¹⁵ <https://www.iis.fraunhofer.de/en/ff/amm/prod/digirundfunk/digirundf/dabdmcontentserver.html>

Die Firma AVT¹⁶, bietet das Gerät als „Magic DAB MUX Multiplexer¹⁷“ an, die Firma IZT als „IZT¹⁸ DAB Content Server“. Vor einer Realisierung wären ggf. diese und weitere Anbieter zu prüfen und die jeweiligen Produkte und Varianten im Detail zu vergleichen.

2.4.4 Zeitnormal

Sowohl für die Multiplexer, als auch für die Sender sind Zeit- bzw. Taktsignale erforderlich. An Senderstandorten können diese meist vom Standortbetreiber bezogen werden und sind Teil des bereitgestellten Gesamtpaketes, das mit der Standortmiete einkalkuliert wird.

Bei Rechenzentren liegen Zeit- bzw. Taktsignale nicht immer vor oder sind nicht unbedingt in der Form verfügbar, wie sie benötigt werden. Der als Basis meist herangezogene GPS- bzw. GLONASS-Empfang, ist nicht in jedem Fall möglich, da entsprechende Verbindungsleitungen zu Außenantennen von den anmietbaren Racks aus, teilweise nicht realisierbar sind.

Um zu untersuchen, ob unter diesen Umständen überhaupt ein Multiplexerbetrieb in einem Rechenzentrum möglich ist, wurde die Firma Meinberg¹⁹ angefragt. Geräte von Meinberg sind bei verschiedenen DAB Senderstandorten und Multiplexerstandorten in Deutschland im Einsatz und sind als eine typische etablierte Lösung anzusehen. Die Firma Meinberg lieferte mehrere mögliche Lösungskonzepte für unterschiedliche Szenarien.

Auf Basis der Produktlinie „Intelligente Modulare Synchronisationssysteme²⁰“ gibt es von Meinberg flexible Lösungsmöglichkeiten, z.B. indem per PTP (Precision Time Protocol) über verfügbare RJ45 Leitungen eine Art „verlängerter GPS-Empfang“ realisiert wird. Hierzu kommen z.B. IMS-HPS100²¹ Module zum Einsatz.

Sofern Taktsignale vorhanden sind, können diese auch genutzt und durch den Einsatz von verschiedenen IMS Eingangs- und Ausgangsmodulen gewandelt werden.

Im Rahmen dieser Studie wurde somit festgestellt, dass es Lösungsmöglichkeiten für typische Szenarien gibt und somit ein Betrieb im Rechenzentrum möglich ist. Der Kostenrahmen wurde grob abgeschätzt, ohne konkret eine spezifische Lösung auszuwählen.

2.4.5 Zusätzliches Equipment

Abhängig vom betrieblichen Vorgehen ist unterschiedliches Zusatzequipment an den Standorten notwendig. Hier wird lediglich eine einfache Abschätzung einer plausiblen Lösung gewählt.

Um vor Ort handlungsfähig zu sein, ist es, insbesondere am PlayoutCenter / Multiplexerstandort hilfreich über einen kleinen PC und Bildschirm per Webschnittstelle (d.h. per Webbrowser) auf die Multiplexer zugreifen zu können. Die Alternative dazu wären entsprechende Laptops oder Remotezugriffe. Für einige Arbeiten sind auch direkte Zugriffe auf die Konsolen der Server notwendig oder hilfreich. Die Alternative dazu wären sogenannte IPMI²²- oder ILO²³-Boards in den Servern mit denen sich auch per Remote grundlegende Funktionen der Server steuern lassen. Ein sogenannter KVM-Switch (d.h. „Keyboard Video

¹⁶ www.avt-nbg.de/

¹⁷ <http://www.avt-nbg.de/index.php/de/produkte/dab/ensemble-multiplexer/magic-dab-mux>

¹⁸ <https://www.izt-labs.de/de/produkte/category/dab-multiplexer-1/product/izt-dab-content-server-1/>

¹⁹ <https://www.meinberg.de/>

²⁰ <https://www.meinberg.de/german/products/modular-sync-system.htm>

²¹ <https://www.meinberg.de/german/products/ptp-synce-hardware-ntp-interface.htm>

²² <https://www.intel.com/content/www/us/en/servers/ipmi/ipmi-home.html>

²³ <https://www.hpe.com/us/en/servers/integrated-lights-out-ilo.html>

Mouse“-Umschalter) lässt sich ggf. inklusive eines herausziehbaren Monitors mit Tastatur in 1 HE 19-Zoll Bauweise realisieren und erlaubt vor Ort oder (je nach Gerät) auch remote, via Netzwerk, einen Zugriff auf die Konsole aller Rechner.

Um sowohl das Remotemanagement, als auch die IP-basierte Zuführung zu den Sendern zu realisieren, ist Netzwerkequipment notwendig (Router, Switches, Patchfelder, Kabel, ...), die pauschalisiert und grob abgeschätzt werden, ohne dies im Detail zu planen. Auch für die Zuführung von Daten und Audioprogrammen sind Netzwerkgeräte vorzusehen, die aber für diese Studie nicht relevant sind.

Als Beispiel wird pauschal ein einfaches 1 HE Rackmount Storage (d.h. ein NAS) vorgesehen das für lokale Backups bzw. zur Archivierung von Konfigurationen etc., benutzt werden kann.

Ggf. wird betrieblich zusätzliches oder anderes Equipment präferiert. Neben Hardware können hier auch Softwarelizenzen erforderlich sein. Eine Detailplanung erfolgt hier nicht, aber die nötigen Höheneinheiten und Stromkosten, werden auf Basis eines plausiblen Lösungsbeispiels mit einkalkuliert.

2.4.6 Monitoring / Überwachung

Grundsätzlich kann das Monitoring und die Überwachung als Teil der betrieblichen Aufgaben durch einen Sendernetzbetreiber angesehen werden. Dieser hat ggf. eigene Vorstellungen über Art und Umfang der notwendigen Maßnahmen. Die Begriffe Monitoring, Überwachung, Alarmierung, Archivierung, Statistik und Analyse werden hier oft in Kombination oder Synonym benutzt. Eine genaue Definition sollte aufgrund konkreter Anforderungen erfolgen, mit dedizierten Anwendungsfällen, um eine spezifische Lösung auszuwählen.

Für diese Studie wurde in diesem Bereich nur eine rudimentäre Planung und Recherche durchgeführt und die Kosten sehr allgemein abgeschätzt. Das Thema hat in sich hohe Komplexität und kann nur mit einer genauen betrieblichen Planung ernsthaft genauer kalkuliert werden.

2.4.7 Betrieb und Management, sowie Planung und Aufbau

Der Betrieb und die Betreuung des PlayoutCenters, insbesondere der Multiplexer, werden hier nur pauschal abgeschätzt. Es werden nur reguläre Arbeiten angesetzt, die nicht direkt einem Programmanbieter zuzurechnen sind. Diese Kosten würden bei einer Realisierung vermutlich in einem Gesamtpaket, zusammen mit anderen Serviceleistungen abgerechnet und pauschaliert werden.

Für die genaue Planung des PlayoutCenters, der Verbindung zu den Standorten, dem Aufbau und der Netzwerkkonfiguration, sowie der Grundkonfiguration der Multiplexer, der Betriebsdokumentation und der Schulung von Betriebspersonal entstehen einmalig Kosten, die ebenfalls nur grob abgeschätzt werden.

2.5 Standortbezogene Kosten

2.5.1 Vorgaben

Vor der Ausschreibung zu dieser Studie wurde eine grundsätzliche Versorgungsplanung durchgeführt. Daraus resultieren Standorte mit Angaben zu Sendeleistung (ERP), die für die Studie als Vorgabe zugrunde gelegt wurden. Eine detaillierte Prüfung der Machbarkeit dieser Planung erfolgte nicht und ist im Rahmen einer Detailplanung zu leisten. Die Angaben wurden jedoch mit verfügbaren Informationen gegengeprüft, um offensichtliche Probleme und Komplikationen zu identifizieren und zu benennen.

Relevante Vorgaben waren:

- Bezeichnung und Geokoordinaten des Standortes
- Standortbetreiber (soweit bekannt)
- ERP (entsprechend Versorgungsplanung)
- Information ob gerichtete (D = directional) oder ungerichtete (ND = non-directional) Aussendung vorgesehen ist

2.5.2 Senderstandorte, Regionen und Netze

Die vorgegebenen Standorte sind, geordnet nach Regionen, mit Angabe der ERP, der Abstrahlcharakteristik und des primären Standortbetreibers:

- **Koblenz**
 - **Bad Marienberg**, 10,0 kW (ND), kein SWR-Standort aber SWR sendet DAB von hier aus, ggf. Mitnutzung der vorhandenen DAB-Antenne des SWR (Ursprüngliche Vorgabe ging davon aus, dass dies direkt ein SWR-Standort sei, aber SWR gibt an, dass ihm dieser Standort nicht gehört und er ihn auch nur nutzt.)
 - **Ahrweiler**, 8,0 kW (D), Media Broadcast Standort, DAB ist neu aufzubauen
 - **Koblenz-Waldesch**, 10,0 kW (D), SWR-Standort, ggf. Mitnutzung der vorhandenen DAB-Antenne
- **Trier**
 - **Eifel** 4,0 kW (D) SWR-Standort, ggf. Mitnutzung der vorhandenen DAB-Antenne
 - **Bitburg** 5,0 kW (ND) Media Broadcast Standort, DAB ist neu aufzubauen
 - **Trier-Petrisberg** 5,0 kW (ND) Media Broadcast Standort, ggf. Mitnutzung der vorhandenen DAB-Antenne
 - **Saarburg** 5,0 kW (D) SWR-Standort, ggf. Mitnutzung der vorhandenen DAB-Antenne

- **Haardtkopf** 5,0 kW (ND)
SWR-Standort, ggf. Mitnutzung der vorhandenen DAB-Antenne

- **Rheinhessen**
 - **Bad Kreuznach** 5,0 kW (ND)
Media Broadcast-Standort, DAB ist neu aufzubauen
(Ursprüngliche Vorgabe ging davon aus, dass DAB-Antenne hier schon vorhanden sein könnte, aber dies konnte so nicht nachvollzogen werden.)
 - **Mainz-Kastel** 10,0 kW (ND)
SWR-Standort, ggf. Mitnutzung der vorhandenen DAB-Antenne
 - **Worms** 1,0 kW (D) – entfällt im landesweiten Netz
SWR-Standort, laut Vorgaben sollte hier eine DAB-Antenne vorhanden sein
SWR gibt an, dass hier keine DAB vorhanden oder geplant wäre
Planung geht von Neubau einer DAB-Antenne aus, unabhängig ob der SWR dies dann tatsächlich ermöglicht
 - **Idar-Oberstein** 5,0 kW (ND) – entfällt im landesweiten Netz
Media Broadcast-Standort, DAB ist neu aufzubauen

- Sonderstandort (für diese Studie keiner spezifischen Region zugeordnet)
 - **Donnersberg** 3,0 kW (ND) – wird nur im landesweiten Netz verwendet
SWR-Standort, ggf. Mitnutzung der vorhanden DAB-Antenne
Dieser Standort ersetzt im landesweiten Netz, die Standorte Worm, Idar-Oberstein und Ludwigshafen.

- **Rheinpfalz**
 - **Ludwigshafen** 5,0 kW (ND) – entfällt im landesweiten Netz
Media Broadcast-Standort, DAB ist neu aufzubauen
 - **Kalmit/Edenkoben** 5,0 kW (ND)
Media Broadcast-Standort, ggf. Mitnutzung der vorhandenen DAB-Antenne

- **Westpfalz**
 - **Bornberg**, 5,0 kW (D)
Media Broadcast-Standort, ggf. Mitnutzung der vorhandenen DAB-Antenne
 - **Kaiserslautern-Dansenberg**, 2,5 kW (ND)
Media Broadcast-Standort, ggf. Mitnutzung der vorhandenen DAB-Antenne
 - **Kettrichhof** 5,0 kW (ND)
SWR-Standort, ggf. Mitnutzung der vorhandenen DAB-Antenne

Nach Vorgabe gibt es dann 5 reguläre Regionen und eine Sonderregion:

- **Sonderregion „Landesweit“**, mit 15 Senderstandorten, inklusive Donnersberg und allen anderen Senderstandorten, außer Worms, Idar-Oberstein und Ludwigshafen
- **Region „Koblenz“**, mit 3 Senderstandorten
- **Region „Trier“** mit 5 Senderstandorten
- **Region „Rheinhausen“** mit 4 Senderstandorten
- **Region „Rheinpfalz“** mit 2 Senderstandorten
- **Region „Westpfalz“** mit 3 Senderstandorten

Die regulären Regionen umfassen zusammengenommen 17 Senderstandorte. Im Unterschied dazu fallen in der landesweiten Region 3 Senderstandorte weg und ein gesonderter (Donnersberg) kommt hinzu, wodurch sich die abweichende Anzahl von 15 Senderstandorten ergibt.

Aus den 5 regulären Regionen und der Sonderregion „Landesweit“ werden dann entsprechend der Vorgaben 9 Sendernetze gebildet, die teilweise direkt einer Region entsprechen oder aus mehreren Regionen zusammengefügt werden:

- **Sondersendernetz „Landesweit“**, entspricht direkt der Sonderregion „Landesweit“ mit 15 Senderstandorten
- **Sendernetz „Koblenz“** entspricht direkt der Region „Koblenz“ mit 3 Senderstandorten
- **Sendernetz „Koblenz/Trier“** ist eine Kombination der Regionen „Koblenz“ und „Trier“ und umfasst damit 8 Senderstandorten
- **Sendernetz „Trier“** entspricht direkt der Region „Trier“ mit 5 Senderstandorten
- **Sendernetz „Trier/Rheinhausen“** ist eine Kombination der Regionen „Trier“ und „Rheinhausen“ und umfasst damit 9 Senderstandorten
- **Sendernetz „Rheinhausen“** entspricht direkt der Region „Rheinhausen“ mit 4 Sendernetzstandorten
- **Sendernetz „Rheinpfalz“** entspricht direkt der Region „Rheinpfalz“ mit 2 Senderstandorten
- **Sendernetz „Pfalz“** ist eine Kombination der Regionen „Rheinpfalz“ und „Westpfalz“ und umfasst damit 5 Senderstandorten
- **Sendernetz „Westpfalz“** entspricht direkt der Region „Westpfalz“ mit 3 Senderstandorten

Aus diesen 9 Sendernetzen (von denen 6 direkt einer Region entsprechen), werden entsprechend der Vorgaben 5 verschiedene Varianten gebildet und betrachtet.

Dabei verwendet Variante 1 ausschließlich das Sondernetz bzw. die Sonderregion „Landesweit“ und somit 15 Senderstandorte.

Alle anderen Varianten (2, 3, 4 und 5) verwenden nur reguläre Sendernetze und zwar so, dass jede der zugrunde liegenden Regionen jeweils genau einmal verwendet wird. Damit umfassen diese Varianten jeweils immer dieselben 17 Senderstandorte, kombinieren diese jedoch unterschiedlich zu Sendernetzen.

In jedem ausgewiesenen Sendernetz, kann später ein gesondertes DAB-Ensemble ausgesendet werden. Durch die entsprechende Gruppierung ergeben sich somit unterschiedliche Möglichkeiten zur Regionalisierung bzw. Zusammenfassung von Sendebereichen.

- Variante 1 mit 1 DAB-Ensemble bzw. Sendernetz
 - Sendernetz „Landesweit“ (Region „Landesweit“)
- Variante 2 mit 5 DAB-Ensembles bzw. Sendernetzen
 - Sendernetz „Koblenz“ (Region „Koblenz“)
 - Sendernetz „Trier“ (Region „Trier“)
 - Sendernetz „Rheinhessen“ (Region „Rheinhessen“)
 - Sendernetz „Rheinpfalz“ (Region „Rheinpfalz“)
 - Sendernetz „Westpfalz“ (Region „Westpfalz“)
- Variante 3 mit 4 DAB-Ensembles bzw. Sendernetzen
 - Sendernetz „Koblenz“ (Region „Koblenz“)
 - Sendernetz „Trier“ (Region „Trier“)
 - Sendernetz „Rheinhessen“ (Region „Rheinhessen“)
 - Sendernetz „Pfalz“ (Regionen: „Rheinpfalz“ und „Westpfalz“)
- Variante 4 mit 3 DAB-Ensembles bzw. Sendernetzen
 - Sendernetz „Koblenz“ (Region „Koblenz“)
 - Sendernetz „Trier/Rheinhessen“ (Regionen: „Trier“ und „Rheinhessen“)
 - Sendernetz „Pfalz“ (Regionen: „Rheinpfalz“ und „Westpfalz“)
- Variante 5 mit 3 DAB-Ensembles bzw. Sendernetzen
 - Sendernetz „Trier/Koblenz“ (Regionen: „Trier“ und „Koblenz“)
 - Sendernetz „Rheinhessen“ (Region „Rheinhessen“)
 - Sendernetz „Pfalz“ (Regionen: „Rheinpfalz“ und „Westpfalz“)

Weitere Varianten wären denkbar entsprechend weiterer Kombinationsmöglichkeiten. Diese waren jedoch nicht vorgegeben und wurden nicht direkt untersucht. Aus den ermittelten und ausgewiesenen Kosten die nach Regionen und Sendernetzen zusammengefasst wurden, ließen sich diese jedoch bei Bedarf ermitteln.

2.5.3 Betreiber- und Mitbenutzungsmodell

Senderstandorte untergliedern sich in verschiedene Bereiche. Der Standorteigentümer bzw. Standortbetreiber besitzt typischerweise Grundstück und Turm bzw. Sendemast. Er ermöglicht gegen Entrichtung von Entgelten, die Montage von Antennen, die von einem Antennenbetreiber wiederum an Antennennutzer vermietet werden. Zum Betrieb gehört wiederum ein Sender, der auf Technikflächen in entsprechenden Betriebsräumen installiert und an die Antennenanlage angeschlossen wird. Mehrere Standorte werden ggf. zu einem Sendernetz zusammengefasst.

Während bei UKW einzelne Programme auf jeweils eigenständigen Frequenzen ausgesendet werden, gibt es bei DAB/DAB+ das Konstrukt des DAB-Ensembles bei dem eine variable Anzahl an Programmen (typisch etwa 15) über ein gemeinsames Sendernetz ausgesendet wird. Es gibt somit nicht pro Programm einen Sender, sondern es wird immer das gesamte DAB-Ensemble mit allen darin befindlichen Programmen ausgesendet.

Programm	Programm 1	Programm 2	Programm 3	Programm 4	Programm 5	Programm 6	Programm 7
Programmbetreiber	Funkhaus 1			Funkhaus 2		Funkhaus 3	
Ensemble	DAB-Ensemble / Multiplex						
Sendernetz	Sendernetz						
Sender	Standort 1	Standort 2	Standort 3	Standort 4	Standort 5	Standort 6	Standort 7
Antenne							
Standort							

Tabella 2-1: Konzeptioneller Überblick der Zuständigkeits- und Betriebsebenen.

Der Standort kann dabei von einem anderen Unternehmen betrieben werden, wie die Antenne und ein drittes Unternehmen könnte den Sender betreiben. Während jedes DAB-Ensemble einen eigenen Sender benötigt, können mehrere DAB-Ensembles über eine gemeinsame Antenne ausgesendet werden. Man spricht hierbei von Antennenmitbenutzung bzw. Standortmitbenutzung, wenn man eine eigene Antennenanlage aufbaut.

Der SWR²⁴ (Südwest Rundfunk) nutzt überwiegend Standorte und Antennen, die er selbst besitzt und für eigene Programme betreibt. Die vorhandenen Antennen des SWR können durch Interessenten teilweise mitgenutzt werden. Dazu muss der Antennenmitbenutzer eigene Sender am Standort installieren und betreiben, bzw. betreiben lassen. Der SWR übernimmt den Betrieb fremder Sender normalerweise nicht.

Neben dem SWR gibt es noch die DFMG²⁵ (Deutsche Funkturm), die Standorte, aber keine eigenen Antennen besitzt und auch keinen Betrieb von Sendern oder Antennen übernimmt. Es wäre durch beliebige Dritte prinzipiell möglich selbst direkt eigene Antennen und Sender an Standorten der DFMG zu installieren und zu betreiben, sofern am Turm bzw. in den Betriebsräumen hierfür noch Kapazitäten bereitstehen. Entsprechend sind dann meist langfristige Mietverträge mit der DFMG abzuschließen.

Die Media Broadcast²⁶ nutzt typischerweise die DFMG Standorte, um eigene DAB-Antennen und Sender zu installieren. Die Antennen installiert sie im direkten Auftrag von Kunden oder bietet sie zur Nutzung bzw. Mitnutzung an. Auch neue Antennen lassen sich über die Media Broadcast günstiger realisieren, sofern die Media Broadcast an einem Standort bereits Antennen unterhält, da die DFMG von jedem Vertragspartner die sogenannte „Grundmiete“ nur einmalig verlangt, sodass sich diese Kosten bei einer Beauftragung über die Media Broadcast ggf. einsparen reduzieren lassen. Außerdem bietet die Media Broadcast an, die Antennen und/oder Sender zu betreiben.

Grundsätzlich ist es aber auch denkbar die Antennen der Media Broadcast mit zu nutzen, aber den Sender durch ein sonstiges Drittunternehmen betreiben zu lassen. Ebenso ist es möglich, dass dieses direkt bei der Deutschen Funkturm anmietet und eigene Antenne

²⁴ <http://www.swr.de/>

²⁵ <http://www.dfmfg.de/>

²⁶ <http://www.media-broadcast.com/>

installiert. Grundsätzlich ist es immer attraktiv bestehende Antennen mit zu nutzen und auf den kostspieligen Neuaufbau eigener Antennen zu verzichten, sowie die hohen Mietpreise für montierte Antennen unter mehreren Nutzern aufteilen zu können.

Neben den typischen Fällen, kann es auch beliebige Sonderfälle geben, bei denen sich die Posten Standort, Antenne und Sender anderweitig auf Unternehmen aufteilen.

In einem einzigen Sendernetz können sich diese Konstellationen an jedem Standort unterscheiden, sodass sich theoretisch ein Beispiel wie folgt ergeben könnte. Dabei stehen „X“, „Y“ und „Z“ für beliebige, nicht näher benannten Betreiber und Unternehmen.

Programm								
Programmbetreiber								
Ensemble	Ensemblebetreiber A							
Sendernetz	Sendernetzbetreiber B							
Sender	SWR	MB	MB	X	MB	SWR	Y	Y
Antenne	SWR	SWR	MB	X	SWR	MB	MB	Z
Standort	SWR	SWR	SWR	SWR	DFMG	DFMG	DFMG	DFMG

Tabelle 2-2: Konzeptionelles Beispiel 1 der Zuständigkeits- und Betriebsebenen.

Typischerweise wird ein Ensemble in nur einem einzigen Sendernetz ausgesendet, jedoch könnte ein Ensemble auch in mehreren Sendernetzen (also auf mehreren Frequenzen, in unterschiedlichen Regionen) ausgesendet werden und diese Sendernetze könnten von unterschiedlichen Unternehmen betrieben und verantwortet werden.

Auch wäre denkbar, dass der Sendernetzbetrieb und der Ensemblebetrieb von unterschiedlichen Unternehmen erfolgen könnten. Dabei ist der Ensemblebetreiber derjenige der den Multiplexer verwaltet, die Programmführung entgegen nimmt und das DAB-Ensemble als Gesamtsignal zum Sendernetzbetreiber weitergibt. Ggf. liegt auch die wirtschaftliche Verantwortung für das Gesamtkonstrukt des DAB-Ensembles, bei diesem Ensemblebetreiber.

Eine mögliche und nicht untypische Konstellation könnte so aussehen, dass die Media Broadcast den Betrieb der Sender an vielen Standorten übernimmt und dazu auch eigene Antennenanlagen nutzt, soweit möglich und vorhanden. Damit wäre die Media Broadcast auch in einer guten Position, um als Sendernetzbetreiber und Ensemblebetreiber aufzutreten.

Diese Studie geht aber nicht davon aus, dass die Media Broadcast den Sendernetzbetrieb oder den Ensemblebetrieb zwingend übernehmen muss.

Grundsätzlich gibt es verschiedene Optionen. Beispiele sind Firmen wie Uplink Network²⁷ und Divicon Media Holding²⁸ die hierfür als Mitbewerber für den Sendernetzbetrieb auftreten

²⁷ <http://www.uplink-network.de>

²⁸ <http://www.divicon-media.com/>

und ggf. selbst Leistungen von der Media Broadcast oder direkt von der DFMG oder dem SWR auf Ebene der Standorte, Antennen oder Sender in Anspruch nehmen.

Die Darstellungen in diesem Kapitel sind nur als Beispiele und schematisch zu verstehen und dienen zur Erläuterung der Thematik.

Die entsprechende Darstellung für einen durch die Media Broadcast realisierten Sendernetzbetrieb mit einer vorgeschalteten Betriebsgesellschaft für den Ensemblebetrieb könnte wie folgt aussehen:

Programm								
Programmbetreiber								
Ensemble	RLP Digital Radio ²⁹							
Sendernetz	MB							
Sender	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
Antenne	SWR	SWR	MB	SWR	SWR	MB	MB	MB
Standort	SWR	SWR	SWR	SWR	DFMG	DFMG	DFMG	DFMG

Tabelle 2-3: Konzeptionelles Beispiel 2 der Zuständigkeits- und Betriebsebenen.

Solche Konstellationen gibt es in anderen Bundesländern bereits in ähnlicher oder abgewandelter Form. Betreibergesellschaften wie die Bayern Digital Radio³⁰ oder die Hessen Digitalradio³¹ treten ähnlich einem Ensemblebetreiber auf, kaufen aber den Sendernetzbetrieb und sogar Betriebsaufgaben für die Multiplexer bei der Media Broadcast und dem BR³² ein.

Für diese Studie wird weitgehend mit Vereinfachungen gearbeitet.

Wesentlich bei der Betrachtung sind zwei Fälle:

- Mitbenutzung eines Standortes und eigener Aufbau von Antenne und Sender im weiteren Verlauf auch einfach kurz als „Neubau“ bezeichnet.
Die Standorte für den Neubau werden überwiegend von der DFMG betrieben, weshalb hier eine Anmietung über die DFMG oder die Media Broadcast erfolgen könnte. In einem Fall ist der Standortbetreiber der SWR.
- Mitbenutzung einer vorhandenen Antenne und nur Aufbau eines eigenen Senders im weiteren Verlauf auch einfach kurz als „Antennenmitbenutzung“ oder „Mitbenutzung“ bezeichnet.
Die Standorte für die Mitbenutzung sind sowohl vom SWR, wie von der Media

²⁹ „RLP Digital Radio“ ist ein hier erfundener Begriff zur beispielhaften Verdeutlichung.

³⁰ <http://www.bayerndigitalradio.de/>

³¹ <http://www.hessendigitalradio.de/>

³² <http://www.br.de/>

Broadcast. In einem Sonderfall wird die Mitbenutzung einer SWR Antenne an einem Media Broadcast Standort angestrebt.

Im Falle einer Mitbenutzung der Antenne, werden die jährlichen Kosten für die Mitbenutzung angesetzt. Diese orientieren sich nicht nur an den Investitionskosten und Mietkosten für die montierte Antenne, sondern auch an der Anzahl der parallelen Nutzer.

Im Falle eines Neubaus der Antenne, werden die Investitionskosten für die Antenne und Montage angesetzt und auf 10 Jahre umgelegt.

In beiden Fällen werden zusätzlich die Investitionskosten in einen Sender abgeschätzt und als Investitionskosten auf 10 Jahre umgelegt. Bei der späteren Realisierung ist es jedoch möglich, dass sich ein Sendernetzbetreiber findet, der selbst in die Sender investiert und diese zu einem jährlichen Pauschalpreis anbietet, ggf. auch als Paket, zusammen mit der Antenne bzw. Antennenmitbenutzung, sowie sonstigen Standortkosten und dem Betrieb.

Die Preise für solche Gesamtpakete sind jedoch weniger leicht abschätzbar und im Sinne einer größtmöglichen Transparenz wurden die Einzelpreise ermittelt. Insbesondere bei Sendern ist dies auch relativ gut möglich.

Anders als bei der späteren Detailplanung, werden für diese Studie bewusst vereinfachende Annahmen und Klassifizierungen verwendet.

2.5.4 Konzeptionelle Beschreibung der Sendetechnik

Diese Studie kann nicht auf die Details der Sendetechnik eingehen. Dies obliegt der entsprechenden Detailplanung. Hier wird nur ein Überblick über die vereinfachte Modellannahme vermittelt, die der weiteren Betrachtung zugrunde gelegt wird.

Vor dieser Studie wurde bereits eine Versorgungsplanung durchgeführt. Das bedeutet, dass bereits Vorgaben existieren, welche Standorte mit welchen Abstrahlleistungen (ERP) genutzt werden sollen. Die Versorgungsplanung stellt sicher, dass mit einer ermittelten Lösung, ein bestimmtes Gebiet und entsprechende Bevölkerungsanteile einen ausreichend guten Empfang haben werden. Die Details dieser Berechnung und Betrachtung liegen außerhalb des Rahmens dieser Studie. Genutzt werden hier jedoch die Planungsparameter, also vor allem die vorgesehenen Standorte und Abstrahlleistungen.

Grundsätzlich wird für jeden eingesetzten Standort ein DAB-Sender benötigt. Diese gibt es in unterschiedlichen Leistungsklassen von unterschiedlichen Anbietern. Die Leistungsklasse des Senders richtet sich nach der geplanten Leistung die über die Antenne effektiv abgestrahlt werden soll (ERP = Effective Radiated Power = Effektive Strahlungsleistung). Je nach Antennentyp ergibt sich ein sogenannter „Antennengewinn“. Dies beschreibt, vereinfacht, den Effekt, dass die Aussendung nicht kugelförmig in alle Richtungen erfolgt, sondern vorzugsweise ungefähr horizontal und somit die notwendige Energie effektiver eingesetzt werden kann. Aufwändige Antennen haben meist einen höheren Antennengewinn und helfen dabei Energie zu sparen, kosten jedoch in Produktion, Aufbau und Miete deutlich mehr. Deshalb ist stets abzuwägen, welcher Antennentyp einzusetzen ist und dies hängt maßgeblich auch von Details ab, die für diese Studie nicht bekannt waren.

Die Zuführungsleitungen zwischen Sender und Antenne und zwischengeschaltete Komponenten, wie Weichen und Filter, verursachen, ggf. einen Verlust. Verrechnet man diesen Verlust mit dem Antennengewinn, bleibt ein sogenannter Systemgewinn übrig, auf den bei allen weiteren Berechnungen abgezielt wird. Dieser hat beispielsweise etwa den Faktor 2. Das bedeutet dass man für eine ERP von 1 kW nur eine Ausgangsleistung am Sender von 0,5 kW benötigt und der Sender entsprechend so zu dimensionieren ist, dass er diese 0,5 kW als Ausgangsleistung liefern kann. Obwohl technisch korrekt der

„Systemgewinn“ gemeint ist, wird meist nur vom „Antennengewinn“ gesprochen. Für eine grobe Abschätzung ist eine detaillierte Unterscheidung und Berechnung nicht notwendig.

Sender arbeiten dabei mit einer begrenzten Effizienz, die davon abhängt, wie gut sie ausgelastet werden, auf welcher Frequenz und mit welchen weiteren Parametern sie arbeiten. Eine typische Effizienz heute aktueller neuer DAB-Sender liegt bei etwa 40%. Das bedeutet, dass nur 40% der aufgenommenen Energie (aus Leistung in Form von Strom), auch am Ausgang abgegeben werden. Die übrigen 60% fallen als Abwärme an. Diese muss durch Kühlung abgeführt werden und zwar typischerweise nach draußen. Anders also, als bei Servern in einem Rechenzentrum, kann die Abwärme meist nicht direkt an die Umgebungsluft abgegeben und durch eine Klimaanlage abtransportiert werden, sondern muss direkt nach draußen geführt werden. Dabei gibt es Ausnahmen und verschiedene Sonderlösungen. In dieser Studie wird davon ausgegangen, dass entsprechende Kühlsysteme zusammen mit den Sendern erworben, verbaut und betrieben werden, die in den Senderpreisen und Effizienzbetrachtungen schon enthalten sind. Details werden nicht weiter untersucht oder aufgeschlüsselt.

In Sendern sind typischerweise ein oder mehrere Verstärkermodule verbaut. Sender höherer Leistungsklassen haben entsprechend mehr dieser Verstärkermodule, die häufig identisch ausgelegt und kompatibel sind. Bei Ausfall eines Verstärkermoduls, kann der Sender mit verminderter Leistung weiterarbeiten, bis das Modul ersetzt ist. Als Ersatz sind hier ggf. Module vorrätig zu halten, die dann typischerweise auch bei Sendern verschiedener Leistungsklassen passen können, sofern der Grundtyp identisch ist.

Zur Berechnung der Leistungsaufnahme, rechnet man rückwärts auf Basis der vorgegebenen ERP, des Gewinns und der Effizienz. Am Beispiel eines Gewinn Faktors von 2 und einer Effizienz von 40% ergibt sich somit:

$$\text{Leistungsaufnahme [kW]} = \text{ERP [kW]} \times \frac{2,5}{2} = \text{ERP [kW]} \times 1,25$$

Allgemein:

$$\text{Leistungsaufnahme [kW]} = \text{ERP [kW]} \times \frac{100\%}{\text{SenderEffizienz} \times \text{Gewinn}}$$

Kennt man die Effizienz und den Gewinn, kann man somit ausgehend von den vorgegebenen ERP aus der Versorgungsplanung auf die Leistungsaufnahme zurückschließen und den Stromverbrauch je Standort ermitteln. Zusammen mit dem Strompreis ergeben sich somit die Stromkosten.

Für diese Studie wird nur eine Abschätzung vorgenommen, entsprechend den hier geschilderten modellhaften Zusammenhängen. Sonstige kleinere Faktoren und Komponenten werden dabei vernachlässigt.

Während in jedem Fall für den Standort ein neuer Sender (entsprechend der Leistungsklasse) benötigt wird, ist die Situation bei Antennen und Weichen etwas komplexer.

Grundsätzlich gibt es den Fall, dass an einem Standort bislang keine DAB-Antenne vorhanden ist und eine neue errichtet werden muss. Ähnlich gelagert ist der Fall, dass eine DAB-Antenne zwar vorhanden ist, aber nicht mitgenutzt werden kann. Dafür kann es verschiedene Gründe geben, die im Rahmen dieser Studie aber nicht vollständig untersucht werden können. Entsprechend der Vorgabe aus der Ausschreibung, wird im Zweifel immer

davon ausgegangen, dass eine Mitbenutzung bestehender Antennen möglich ist, sofern im Rahmen der Möglichkeiten dieser Studie, keine offenkundigen Hinderungsgründe bekannt werden.

Wird eine DAB-Antenne neu errichtet, so fallen die Kosten für die Produktion der Antenne an. Deutlich teurer sind jedoch meist die Kosten für die Montage. Je nach Art des Turms ist die Montage mit sehr unterschiedlichen Aufwänden verbunden. Im Allgemeinen müssen mehrere Monteure am Turm außen klettern. In einigen Fällen sind Kräne, in anderen Fällen auch Hubschrauber einzusetzen, um die Teile der Antenne anzuliefern. Die Montage an einem Betonturm ist abweichend von der an einem Stahlgittermast. Eine weitere Variante sind sogenannte GFK-Zylinder (GFK = Glasfaserkörper) bei denen die Montage der Antenne typischerweise innen erfolgt. In manchen Fällen sind auch Spezialadapter nötig. Sendetürme sind dabei häufig in unterschiedliche Abschnitte aufgeteilt, bei denen die Montage sehr unterschiedlich erfolgt. Einzelne Abschnitte sind mitunter für bestimmte Anwendungszwecke vorreserviert. Ein Turm kann aber auch schon so voll sein, sodass auf Speziallösungen ausgewichen werden muss oder die Montage einer weiteren Antenne überhaupt nicht möglich ist.

Diese ganzen Details werden im Rahmen dieser Studie nicht betrachtet, sondern sind Teil einer Detailplanung, die der Standortbetreiber bzw. Eigentümer des Turms dann zusammen mit dem Interessenten unter erheblichem Aufwand, inklusive Standortbegehung, klären muss.

Auch die Details der unterschiedlichen Kostenmodelle wurden nicht untersucht. Grundsätzlich muss für eine montierte Antenne eine jährliche Miete bezahlt werden, die sich danach richtet, welche zusätzliche „Windlast“ eine Antenne am Turm verursacht, da dies oft der limitierende Faktor für die Bestückung eines Turmes mit Antennen ist. Die Windlast berechnet sich zum einen aus der Art und Größe der Antenne, zum anderen spielt aber die Höhe am Turm eine wichtige Rolle. Je höher die Antenne montiert wird, umso größer ist das Drehmoment, das die angreifenden Windkräfte verursachen. Andererseits sind höher montierte Antennen von Vorteil bei der Versorgung. Ein Sonderfall sind Antennen, die auf einer Mastspitze montiert werden. Sie sind als nicht gerichtete Antenne relativ günstig und einfach zu realisieren, jedoch ist diese Position häufig nicht verfügbar und wird für diese Studie nicht angenommen.

Die verschiedenen Fälle werden in dieser Studie nicht untersucht und es wird eine Abschätzung auf Basis eines typischen angenommenen Falles und mit Hilfe von Beispielpreisen getroffen. Auch eine gerichtete Abstrahlcharakteristik bleibt weitgehend unberücksichtigt, außer es würden vom Standortbetreiber zu bestehenden Antennen spezifische Informationen zum Gewinn ausgewiesen.

Für den Neubau von Antennen wird grundsätzlich von 4 „Spalten“ ausgegangen, die typischerweise in vier unterschiedlichen Himmelsrichtungen rund um einen Turm bzw. Mast angeordnet werden. In jeder Spalte werden entweder zwei oder vier „Ebenen“ positioniert. Eine Vier-Ebenen-Antenne ist bezüglich Produktion, Montage und Turmmiete teurer, hat aber einen deutlich höheren Antennengewinn und verkraftet höhere Abstrahlleistungen.

Besonders bei der Mitbenutzung von Antennen, d.h. die Abstrahlung von mehreren DAB-Ensembles, über nur eine Antenne, können sich die größeren Vier-Ebenen-Antennen lohnen, da sie mehr Reserve bei der Gesamtabstrahlleistung bieten und der Antennengewinn sich positiv bei den Energiekosten aller daran angeschlossenen Sender auswirkt. Bei niedrigen Abstrahlleistungen und nur einem abgestrahlten DAB-Ensemble lohnen sich die Vier-Ebenen-Antennen hingegen nicht. Nur eine Detailplanung und eine Abstimmung mit sonstigen Interessenten für eine Mitbenutzung kann hier letztlich Klarheit über die beste

Lösung bringen. Innerhalb dieser Studie wird nur eine sehr grobe Abschätzung und Annahme getroffen.

Sofern schon eine DAB-Antenne vorhanden ist und mitgenutzt werden kann, lassen sich die Gesamtkosten zwischen verschiedenen Sendernetzbetreibern aufteilen. Eine Antenne verkraftet jedoch nur eine bestimmte maximale Abstrahlleistung, je nach Typ. Beim Neubau einer Antenne kann es sinnvoll sein, diese etwas größer zu dimensionieren, in der Hoffnung, dass durch Mitbenutzung die Kosten mittelfristig aufgeteilt werden können. Häufig wird man hierbei aber eine Mischkalkulation durchführen. In dieser Studie werden die von den Betreibern zugeliferten Mitbenutzungspreise verwendet, ohne sie näher zu analysieren, oder es werden Abschätzungen getroffen, wenn keine dedizierten Preise ermittelt werden können.

Um eine DAB-Antenne mit zu nutzen, ist es erforderlich die verschiedenen DAB-Sender, die daran angeschlossen werden, über sogenannte „Weichen“ zu verkoppeln. Davor oder darin integriert, wird ein „Filter“, der nur den Frequenzbereich des jeweiligen DAB-Ensembles durchlässt, aber sonstige Störsignale in benachbarten Frequenzbereichen möglichst ausfiltert. Weichen werden hierbei modellhaft so angenommen, dass sie einen Ausgang in Richtung der Antenne bieten und einen Schmalband-Eingang dem ein Filter vorgeschaltet ist und der nur spezifische Frequenzbereiche durchlässt. Zusätzlich haben die hier angenommenen Weichen einen Weitband-Eingang, der es erlaubt beliebige bzw. alle Frequenzbereiche zuzuführen und durch die Weiche auf die Antenne zu schicken. Dieser Weitband-Eingang dient dazu, um weitere, gleichartig aufgebaute Weichen, anzubauen und das Gesamtsystem dadurch zu erweitern, für hinzu kommende Mitbenutzer.

Für den Fall einer Mitbenutzung wird davon ausgegangen, dass eine solche zusätzliche Weichenkomponente (die selbst wieder einen Weitband-Eingang hat) an einen bestehenden Weitband-Eingang angebaut wird. Ob dies in jedem Fall so möglich und verfügbar ist, ob die vorhandenen Weichen und Antennen dafür wirklich nutzbar sind oder umgebaut werden müssten, wird nicht näher untersucht. Bei der Erstellung dieser Studie war noch nicht geklärt, welche Frequenzen bei welcher Planungsvariante letztlich zum Einsatz kommen werden. Ohne diese Information ist jedoch eine Detailbetrachtung ohnehin nicht sinnvoll möglich.

Auch im Falle eines eigenen Neubaus wird davon ausgegangen, dass grundsätzlich immer eine Weiche mit einem freien Weitband-Eingang aufbaut wird, um spätere Mitbenutzung technisch zu ermöglichen. Eine Kalkulation solcher Mitbenutzung erfolgt hier jedoch nicht. In der modellhaften Betrachtung dieser Studie wird die Weiche immer mit einem Filter kombiniert.

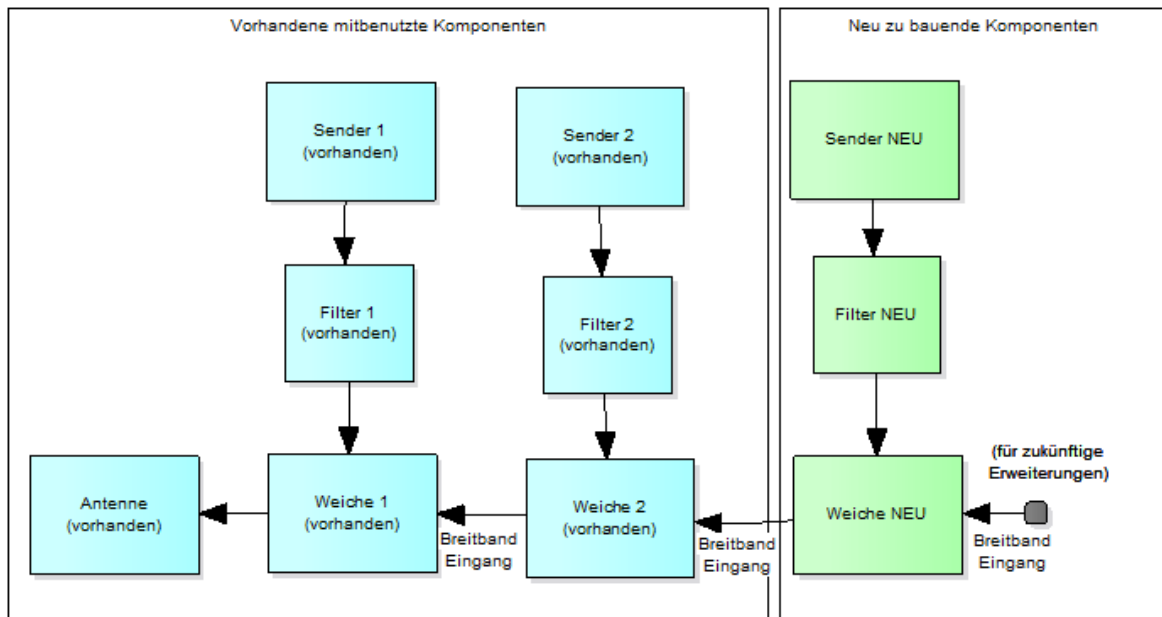


Abbildung 2-1: Schematischer Aufbau von Antenne, Weiche, Filter und Sender bei Mitbenutzung der Antenne.

Die Kostenabschätzung vereinfacht sich dadurch, da grundsätzlich immer ein Sender (inklusive Kühlung) und eine Weiche (bzw. Weichenerweiterung) und ein Filter neu aufzubauen ist.

In Bezug auf die Antennen wird davon ausgegangen, dass bei vorhandener Antenne die vorhandene Abstrahlcharakteristik mitbenutzt wird oder beim Neubau dennoch immer mit 4 Spalten zu planen ist (d.h. keine Spalte entfallen kann) und spezifische gerichtete Abstrahlcharakteristik nur durch Anpassungen an der Halterung und den Verteilpunkten realisiert werden, ohne dass sich dadurch die Kosten wesentlich verändern. Der eventuell dadurch verbesserte Gewinn wird nur sehr grob abgeschätzt, da er durch abstrakte theoretische Betrachtung nicht sinnvoll ermittelt werden kann.

2.5.5 Kosten je Standort

Für diese Studie wird von folgenden Kosten ausgegangen, die situativ anfallen:

- **Technikfläche:**
Für den Aufbau und Betrieb der Sender ist Technikfläche anzumieten, die pro Quadratmeter berechnet wird. Entsprechende Kosten wurden bei den Standortbetreibern angefragt. Für einige Standorte sind hier ggf. Abschätzungen notwendig. Neben flächenbezogenen Kosten können hier weitere Pauschalen hinzukommen.
- **Sender:**
Die Sender sind für diese Studie in jedem Fall als Investition einzuberechnen. Für jeden Standort ist der Neubau eines entsprechenden Senders erforderlich. Dies beinhaltet auch ein Kühlsystem, das die Wärme direkt nach Draußen abführt, da an den wenigsten Standorten Abwärme nach Innen abgegeben werden darf. (Für die

Studie wird davon ausgegangen, dass grundsätzlich immer nach Außen abgeführt wird, ohne dies individuell für die einzelnen Standorte zu prüfen.)

- **Weiche/Filter:**
Es ist entweder eine Weiche mit integriertem Filter, oder eine Filterweiche notwendig, unabhängig davon ob Antenne und Weiche mitbenutzt werden oder diese selbst neu gebaut werden. In einem Fall würde man sich mittels entsprechender Erweiterung an ein bestehendes System anschließen, im anderen Fall würde man ein neues System installieren, das es später anderen Mitnutzern erlaubt, sich daran anzuschließen. Sofern Antenne und Weiche vorhanden sind, wäre technisch zu prüfen ob für spezifische Frequenzen, Antennendiagramme und Sendeleistung eine Mitbenutzung überhaupt möglich ist. Diese Detailplanung wurde in dieser Studie nicht geleistet und es wurde grundsätzlich davon ausgegangen, dass eine Mitbenutzung möglich ist, sofern nichts Offenkundiges dagegen spricht.
- **Stromkosten:**
Soweit möglich stützt sich dies auf konkrete Preisinformationen, aber auch eigene Abschätzungen. Solange Strompreise nicht vertraglich fixiert sind, können sich diese jederzeit verändern. Strombedarf entsteht fast ausschließlich durch die erhebliche Leistungsaufnahme der Sender.
- **Mitbenutzungspreis für Antenne (nur im Fall der „Mitbenutzung“):**
Sofern vorhanden und nichts offenkundig gegen eine Mitbenutzung spricht, wird davon ausgegangen, dass eine am Standort vorhandene DAB-Antenne mitgenutzt wird und dafür entsprechende Mitbenutzungskosten anfallen. Dies ist in jedem Fall kostengünstiger, als eine entsprechende Antenne selbst neu aufzubauen. Für die Detailplanung wäre zu prüfen ob die Antenne für die angestrebte Sendeleistung, das Diagramm und die Frequenz, überhaupt nutzbar ist.
- **Neubau Antenne und Turmmiete/Grundmiete (nur im Fall des „Neubaus“):**
Sofern keine Antenne am Standort verfügbar ist oder offenkundig etwas gegen die Mitbenutzung spricht, wird der Neubau einer Antenne eingeplant und die in der Folge anfallenden Mietkosten (Turmmiete und Grundmiete), die sich nach der Windlast der Antenne und der Montagehöhe berechnen. Hierbei gibt es erhebliche Komplexität, die im Rahmen dieser Studie nur grob abgeschätzt werden kann. Die konkreten Preise wären abhängig von der Art des Turms, der genauen Montageposition, der Art der Montage und des genauen Antennentyps. Entsprechend können die Montagekosten, die Mietkosten und die Kosten für die Antenne von den Schätzungen in dieser Studie abweichen.
- **Leitungsgebundene Zuführung:**
Die Leitungsgebundene Zuführung wird den Standortkosten zugerechnet, da diese je Standort unterschiedlich ausfallen und pro Standort anfallen.
- **Betrieb:**
Es werden grundsätzliche Betriebskosten abgeschätzt. In der Praxis hängen diese vom konkreten Preismodell und eventuellen Paketpreisen, Rahmenverträgen und Mischkalkulationen ab, sodass nur ungenügend aus bestehenden Sendernetzen Rückschlüsse möglich sind. Für die Detailplanung sind konkrete individuelle Angebote einzuholen und zu verhandeln.

- **Planung und Aufbau:**

Einmalig fallen für jeden Standort erhebliche Kosten an, bezüglich der grundsätzlichen Detailplanung und grundsätzlicher Installations- und Aufbaumaßnahmen, die noch nicht in den übrigen Kosten erhalten sind. Eine Abschätzung ist hier nur sehr grob möglich, da genau in diesen Kosten auch die Behandlung von vorher nicht erkannten Komplikationen und Problemen enthalten sein können. Für die Studie wird hierzu nur ein pauschaler Wert angesetzt. Je nach Vereinbarung mit dem Sendernetzbetreiber, wird dieser diese Kosten ggf. nicht im Detail ausweisen, sondern in allgemeine Dienstleistungspreise mit einkalkulieren.

Das Vorgehen bei der Betrachtung und Unterscheidungen von Standorten zeigt das folgende Diagramm im Überblick:

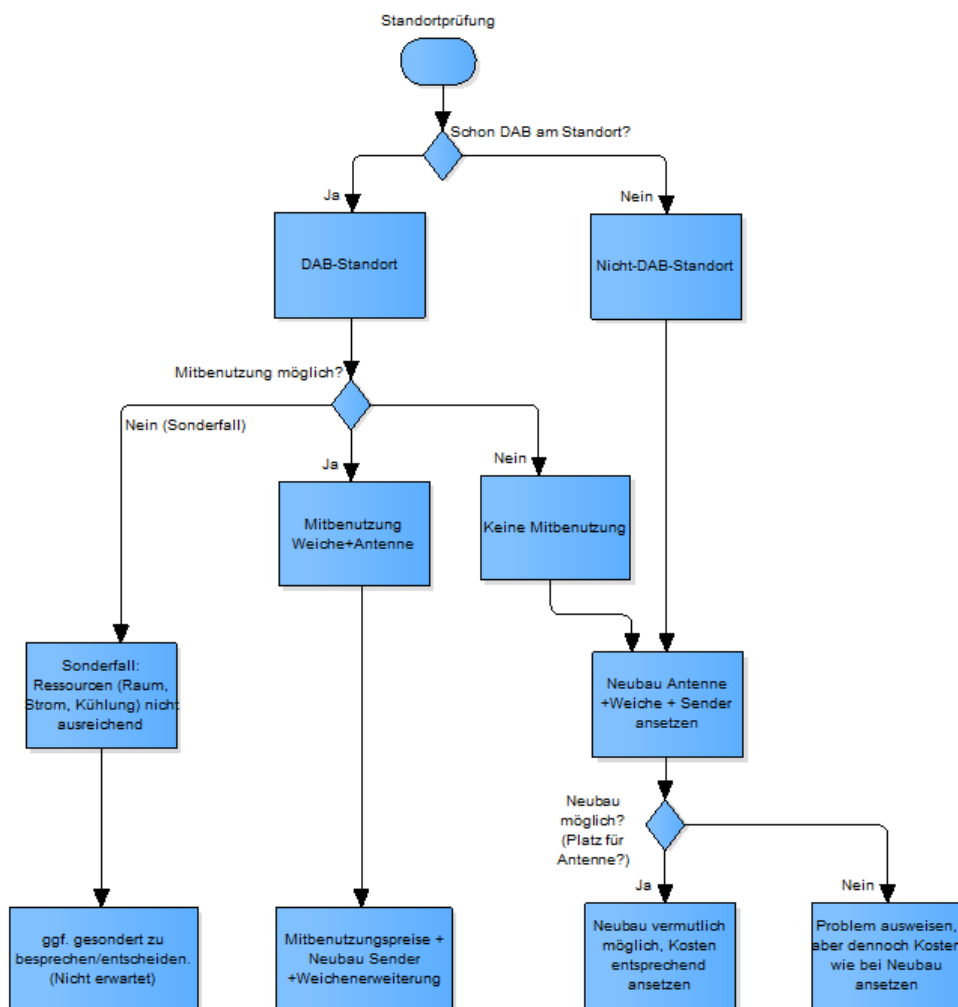


Abbildung 2-2: Flussdiagramm für das geplante Vorgehen bei der Standortrecherche.

Sonderfälle wurden im Laufe der Recherche nicht gefunden. Weder wurden Gründe identifiziert, die gegen einen geplanten Neubau einer Antenne sprechen, noch wurden Fälle

gefunden in denen eine geplante Mitbenutzung grundsätzlich nicht möglich wäre. Insofern kommt dieses Diagramm nicht in seiner ganzen Komplexität zur Anwendung. Allerdings konnten im Rahmen dieser Studie bei weitem nicht alle Details und Hinderungsgründe ermittelt und abgeprüft werden, sodass keine zuverlässige Aussage über die Realisierbarkeit möglich ist.

Die zwei wesentlichen Fälle, wurden als N-Klasse, im Falle des Antennenneubaus und als M-Klasse im Falle der Antennenmitbenutzung abgeschätzt und berechnet.

3 Klassifikationen und Abschätzungen

3.1 Überblick

Das Werkzeug der Klassifikation wird eingesetzt, um die Übersichtlichkeit und Vergleichbarkeit zu verbessern. In vielen Fällen sind exakte Werte ohnehin nicht ermittelbar und würden eher irreführend eine hohe Genauigkeit vorgaukeln. Zudem hat es sich gezeigt, dass viele Unternehmen eher bereit sind ihre Informationen entsprechend einem vorgegebenen Kostenraster einzuordnen, als selbst Werte festzulegen. In den nachfolgenden Kapiteln werden die folgenden Klassifikationen definiert und hergeleitet:

- L-Klassifikation: Leitungsgebundene Erschließbarkeit eines Standortes.
- D- Klassifikation: Distanz eines Standortes zu einem zentralen Punkt
- S- Klassifikation: Sender Leistungsklasse
- M- Klassifikation: Mitbenutzungskosten für vorhandene Antennen
- N- Klassifikation: Neubau und Mietkosten eigener Antennen

Zur Festlegung von Leitungskosten werden die L-Klassifikation und D-Klassifikation kombiniert.

Die M- Klassifikation und N- Klassifikation werden alternativ benutzt, je nachdem ob an einem Standort eine Mitbenutzung oder ein Neubau vorgesehen ist.

Die S- Klassifikation kommt an jedem Standort zum Einsatz.

Eine weitere Klassifikation wäre bezüglich der Energiekosten für die Eingangsleistung der Sender möglich gewesen. Jedoch war es hier ebenso möglich direkt aus Parametern konkrete Werte zu berechnen und auszuweisen, weshalb hier auf eine Klassifikation verzichtet wurde.

Die grundsätzliche Unterscheidung zwischen Standorten mit Antennenmitbenutzung und Antennenneubau hätte man formal noch gesondert klassifizieren können. Die M- und N-Klasse drücken dies jedoch bereits ausreichend aus und die Unterscheidung zwischen „M“ und „N“ wurde unter anderem bei der Definition der Betriebs- und Planungskosten verwendet.

Die Kosten für eine satellitengestützte Zuführung wurden zwar in fünf Klassen unterteilt, jedoch diente dies eher dazu den erwarteten Kostenrahmen ein wenig besser zu strukturieren. Auf eine Benennung wurde hier verzichtet, weil diese Werte nicht direkt weiterverwendet werden.

Weitere Klassifikationen, etwa für unterschiedliche Strompreise an unterschiedlichen Standorten, je nach Betreiber, waren zwar angedacht und vorbereitet, wurden aber mangels verfügbarer Informationen nicht genutzt.

3.2 Leitungsgebundene Zuführung zu den Senderstandorten

In der Studie wird eine Mischberechnung herangezogen bei der sowohl eine Entfernungsabhängigkeit, sowie die Art der Erschließung (bzw. Nähe zu Städten) verwendet wird und dabei bewusst eine Mischung von Aspekten unterschiedlicher Techniken (Layer 2 LAN-Link bzw. MPLS) verwendet.

Die Klassifikation erfolgte nur näherungsweise, nach einer selbst erstellten Systematik.

3.2.1 L-Klasse (Leitungsgebundene Erschließung)

Allein aufgrund einer visuellen Kontrolle in Kartendiensten wurden die Standorte grob danach bewertet, wie weit sie von sonstigen zusammenhängenden Siedlungen und Industriebereichen entfernt liegen, um hier eine grobe Vorstellung zu bekommen.

Bewertet wurde zudem wie groß die nächsten Siedlungen sind. Ein Sender in der Nähe zu einer großen Stadt, hat eher Chancen gut angebunden zu sein, als ein Sender, der in hügeligem Gelände, mit nur sehr kleinen Ortschaften in seiner Nähe, steht.

Daraus wurden vier Klassen von Senderstandorten abgeleitet:

- **L1: Städtische Sender**, die direkt an und in Städten oder Kleinstädten liegen und bei denen zu erwarten ist, dass sie gut erschlossen sind bzw. leicht erschlossen werden könnten. Zumeist liegen weitere Gebäude direkt benachbart.
- **L2: Stadtnahe bzw. ortsnahe Standorte**, die zwar in Feld, Wald und auf Hügeln stehen, aber die auch am Rand oder in der Nähe von größeren Orten liegen und somit gute Chancen haben einigermaßen erschlossen zu sein bzw. erschließbar zu sein.
- **L3: Standorte in Feld, Wald und hügeligem Gelände**, die abseits von Siedlungen oder Ortschaften liegen, aber bei denen es in **maximal 1000 Metern Entfernung** zumindest einen kleinen Ort gibt, in dem Leitungswege verfügbar sein könnten.
- **L4: Standort in Feld, Wald und hügeligem Gelände**, die **weiter als 1000 Meter** von der nächsten Ortschaft oder Ansiedlung entfernt liegen.

Die Kosten für die Anbindung von L1 Standorten sind demzufolge als vermutlich relativ niedrig einzustufen, während L3 und L4 Standorte als vermutlich sehr teuer einzustufen sind.

Diese Einteilung bleibt teilweise willkürlich, stellt nur eine Näherung dar und betrachtet nur die Leitungsanbindung. Zwar ist davon auszugehen, dass alle Standorte irgendwie angebunden sein müssen, um Rundfunk darüber auszusenden, jedoch kann dies bisher auch allein über Richtfunk, Satellit oder Ballempfang realisiert sein.

Die Kostenabschätzungen in nachfolgenden Kapiteln, bauen unter anderem auf dieser Klassifizierung auf. Insgesamt wurden

- 4 Standorte als L1 (städtisch),
- 5 Standorte als L2 (ortsnah),
- 3 Standorte als L3 (bis 1 km) und
- 6 Standorte als L4 (> 1 km) klassifiziert.

Standort	Betreiber	DAB Neubau	Koordinaten	Entfernung ca.	Entfernung zu	Bewertung	Klasse
Mainz Kastel	SWR	-	50°01'21.0"N 8°16'37.0"E	< 50 m	Mainz Kastel (Stadt)	städtisch	L1
Bitburg	MB	NEU	49°57'49.0"N 6°31'24.0"E	< 50 m	Bitburg (Stadt)	städtisch	L1
Ludwigshafen	MB	NEU	49°28'28.0"N 8°25'26.0"E	< 50 m	Ludwigshafen (Stadt)	städtisch	L1
Worms	SWR	NEU	49°38'30.0"N 8°22'01.0"E	< 50 m	Worms/Neuhausen (Stadt)	städtisch	L1
Trier Petrisberg	MB	-	49°45'16.0"N 6°39'53.0"E	< 100 m	Kürenz / Trier (Stadt)	stadtnah	L2
Kaiserslautern Dansenberg	MB	-	49°24'45.0"N 7°44'27.0"E	500 m	Dansenberg (Stadt) oder Uni	Wald/Hügel stadtnah	L2
Bad Marienberg	DFMG	-	50°39'49.0"N 7°57'33.0"E	500 m	Bad Marienberg (mittel)	Feld ortstnah	L2
Bad Kreuznach	MB	NEU	49°49'37.0"N 7°50'02.0"E	800 m	Klinik Nahetal	Wald/Hügel stadtnah	L2
Koblenz Waldesch	SWR	-	50°15'36.0"N 7°31'15.0"E	900 m	Tank+Rast Mosel Ost A61	Feld abseits autobahnnah	L2
Kettrichhof	SWR	-	49°08'43.0"N 7°35'13.0"E	800 m	Kettrichhof (sehr klein)	Feld/Hügel abseits	L3
Eifel	SWR	-	50°13'07.0"N 6°45'02.0"E	1.000 m	Kirchweiler (klein)	Wald/Hügel abseits	L3
Ahrweiler	MB	NEU	50°25'53.0"N 7°04'12.0"E	1.000 m	Lederbach (sehr klein)	Wald/Hügel abseits	L3
Donnersberg	SWR	-	49°37'29.0"N 7°55'25.0"E	1.400 m	Dannenfels (klein)	Wald/Hügel abseits	L4
Idar Oberstein	MB	NEU	49°40'52.0"N 7°19'41.0"E	1.600 m	Oberstein (groß)	Wald/Hügel abseits	L4
Bornberg	MB	-	49°33'40.0"N 7°32'34.0"E	1.600 m	Eßweiler (klein)	Wald/Hügel abseits	L4
Haardtkopf	SWR	-	49°50'44.0"N 7°03'15.0"E	1.600 m	Gornhausen (klein)	Wald/Hügel abseits	L4
Saarburg	SWR	-	49°37'43.0"N 6°36'48.0"E	1.900 m	Ockfen (klein)	Wald/Hügel abseits	L4
Edenkoben	MB	-	49°19'10.0"N 8°04'54.0"E	2.600 m	St. Martin (klein)	Wald/Hügel abseits	L4

Table 3-1: Übersichtstabelle der Erschließbarkeit von Standorte entsprechend der L-Klassifikation

3.2.2 D-Klasse (Distanz der Verbindung)

Um die Abschätzung zu erleichtern, wurde ein theoretischer, zentral in Rheinland-Pfalz gelegener Standort, für das PlayoutCenter (das als Hub-Standort für ein Layer 2 LAN-Link Netzwerk dienen würde) für die Berechnung angenommen. Würde man die Distanzen ausgehend von unterschiedlichen möglichen Standorten des PlayoutCenter vornehmen und die verschiedenen resultierenden Werte je Senderstandort mitteln, würden sich ähnliche Werte ergeben, wie bei der vereinfachten Berechnung mit einem theoretisch angenommenen PlayoutCenter genau in der Mitte von Rheinland-Pfalz. Als Position wurde die Koordinate 49°57'11.3"N 7°18'38.3"E, die östlich des Flughafens Frankfurt-Hahn liegt angesetzt. Das Minimum sind 22 km, das Maximum 96 km. Die angenommenen Klassen sind:

- D1: Bis 39 km (3 Standorte)
- D2: 40 – 59 km (7 Standorte)
- D3: 60 – 79 km (3 Standorte)
- D4: Ab 80 km (5 Standorte)

Senderstandort	Koordinaten	Entfernung zum Hub	D-Klasse
Bad Marienberg	50°39'49.0"N 7°57'33.0"E	91 km	4
Ahrweiler	50°25'53.0"N 7°04'12.0"E	56 km	2
Koblenz-Waldesch	50°15'36.0"N 7°31'15.0"E	37 km	1
Eifel	50°13'07.0"N 6°45'02.0"E	50 km	2
Bitburg	49°57'49.0"N 6°31'24.0"E	56 km	2
Trier-Petrisberg	49°45'16.0"N 6°39'53.0"E	51 km	2
Saarburg	49°37'43.0"N 6°36'48.0"E	62 km	3
Haardtkopf	49°50'44.0"N 7°03'15.0"E	22 km	1
Bad Kreuznach	49°49'37.0"N 7°50'02.0"E	40 km	2
Mainz-Kastel	50°01'21.0"N 8°16'37.0"E	70 km	3
Worms	49°38'30.0"N 8°22'01.0"E	83 km	4
Idar-Oberstein	49°40'52.0"N 7°19'41.0"E	30 km	1
Donnersberg	49°37'29.0"N 7°55'25.0"E	57 km	2
Ludwigshafen	49°28'28.0"N 8°25'26.0"E	96 km	4
Kalmit/Edenkoben	49°19'10.0"N 8°04'54.0"E	90 km	4
Bornberg	49°33'40.0"N 7°32'34.0"E	47 km	2
Kaiserslautern-Dansenberg	49°24'45.0"N 7°44'27.0"E	68 km	3
Kettrichhof	49°08'43.0"N 7°35'13.0"E	92 km	4

Tabelle 3-2: Übersichtstabelle der Distanz zu einem theoretischen Hub und die resultierende D-Klassifikation

3.2.3 Datenraten

Sowohl Layer 2 LAN Link, als auch MPLS erlauben es grundsätzlich Multicast einzusetzen, sodass ein ausgehender Datenstrom (generiert am PlayoutCenter/Multiplexer der als Hub-Standort dient) an mehrere Senderstandorte dupliziert werden kann, ohne dass hierzu mehrere ausgehende Datenströme erforderlich sind.

- Vorteil von Multicast: Geringeres Datenaufkommen im PlayoutCenter, am Hub-Standort, sowie an der Verbindungsleitung zwischen PlayoutCenter und Hub-Standort
- Nachteil von Multicast: Keine bidirektionale Verbindung und somit keine Rückmeldung über EDI von den Senderstandorten

Da das PlayoutCenter und sinnvollerweise auch ein Hub-Standort typischerweise an einem gut vernetzten Knotenpunkt platziert wird, z.B. in einem Rechenzentrum, wie hier in der Studie primär angenommen, spielt die Menge der Daten und die Datenrate der Anbindung nur eine untergeordnete Rolle, da die Kosten generell eher gering sind und zudem nur als Einzelposten auftreten.

Teuer ist hingegen tendenziell die Anbindung von weit außerhalb liegenden, weit entfernten und schlecht angebundenen Standorten, wie dies bei Senderstandorten überwiegend zutrifft. Dort jedoch kommt, unabhängig davon ob Multicasting (unidirektional) oder Unicast (bidirektional) eingesetzt wird, und unabhängig davon, ob ein DAB-Ensemble oder mehrere DAB-Ensembles realisiert werden, immer nur ein einziger Datenstrom mit der gleichen Datenrate an.

Ein DAB-Ensemble hat eine Nutzdatenrate (Luftschnittstelle) von ca. 1,5 Mbit³³/s, wurde früher über getaktete Leitungen mit ca. 2 Mbit/s Datenrate übertragen und wird hier für die Studie mit einer Zuführungsdatenrate von 3 Mbit/s inkl. Overhead, Fehlerkorrekturdaten und Reserve angenommen. Dies ist eine, für heutige IT-Technik, problemlos geringe Datenrate. Bei einem 24x7 Betrieb ergibt sich pro Monat hier pro Datenstrom etwa ein Datenvolumen von 1 Terabyte³⁴.

Eingehend bei jedem Senderstandort kommt somit unter jeder Konstellation ein Datenstrom von etwa 3 Mbit/s (inkl. Overhead und Reserve) an und etwa 1 Terabyte an Daten pro Monat.

Ausgehend beim PlayoutCenter entstehen hingegen unterschiedliche Datenraten und Datenmengen.

Bei Multicast³⁵ (unidirektional) ist dabei stets die Anzahl der DAB-Ensembles (also die Anzahl der Multiplexer und somit die Anzahl unterschiedlicher ausgehender Datenströme) entscheidend, die von 1 bis 5 reichen kann.

Bei Unicast³⁶ (bidirektional) ist hingegen stets die Anzahl der Senderstandorte entscheidend, die versorgt werden soll. Diese beträgt bei den regionalen Varianten immer 17, aber bei der landesweiten Variante abweichend nur 15. Hierdurch ergeben sich Unterschiede.

³³ Mbit/s = Megabit pro Sekunde (entsprechend dem SI-Präfix „Mega“) als 1.000 Kilobit.

Als Umrechnung zwischen Bit und Byte wird der Faktor 8 verwendet, d.h. 8 Bit sind 1 Byte.

³⁴ 1 Terabyte (entsprechend dem SI-Präfix „Tera“) als 1.000 Gigabyte oder 1.000.000 Megabyte.

³⁵ <https://de.wikipedia.org/wiki/Multicast>

³⁶ <https://de.wikipedia.org/wiki/Unicast>

Das heißt, würden hier immer gleich viele Senderstandorte versorgt werden, gäbe es keine Unterschiede bei den per Unicast ausgehenden Datenströmen.

Randbemerkung: Die Studie geht davon aus, dass nur eine der Varianten realisiert wird, d.h. nicht mehr als eine DAB-Bedeckung hier geplant wird. Zudem werden die Sendernetzstandorte entsprechend der Planung in der Ausschreibung immer nur für höchstens ein DAB-Gleichwellennetz (d.h. für ein DAB-Ensemble) benutzt.

Anzahl DAB-Ensembles	Anzahl Sendernetz-Standorte	Variante	Multicast (unidirektional)	Unicast (bidirektional)
1	15	1 landesweit	1 x 3 Mbit/s = 3 Mbit/s 1 x 1 TByte/M = 1 TByte/M	15 x 3 Mbit/s = 45 Mbit/s 15 x 1 TByte/M = 15 TByte/M
2	17	--	2 x 3 Mbit/s = 6 Mbit/s 2 x 1 TByte/M = 2 TByte/M	17 x 3 Mbit/s = 51 Mbit/s 17 x 1 TByte/M = 17 TByte/M
3	17	4, 5	3 x 3 Mbit/s = 9 Mbit/s 3 x 1 TByte/M = 3 TByte/M	17 x 3 Mbit/s = 51 Mbit/s 17 x 1 TByte/M = 17 TByte/M
4	17	3	4 x 3 Mbit/s = 12 Mbit/s 4 x 1 TByte/M = 4 TByte/M	17 x 3 Mbit/s = 51 Mbit/s 17 x 1 TByte/M = 17 TByte/M
5	17	2	5 x 3 Mbit/s = 15 Mbit/s 5 x 1 TByte/M = 5 TByte/M	17 x 3 Mbit/s = 51 Mbit/s 17 x 1 TByte/M = 17 TByte/M

Tabelle 3-3: Übersichtstabelle der Erschließbarkeit von Standorte entsprechend der L-Klassifikation

Maximal ist also beim PlayoutCenter (dem Hub-Standort) mit etwa 51 Mbit/s ausgehendem Datenverkehr zu rechnen. Dies stellt für einen gut vernetzten Standort heute aber kein nennenswertes Problem mehr dar. Eine Datenrate von nur 3 bis 15 Mbit/s (Multicast) käme hier eventuell nicht entscheidend günstiger. Insofern ist für eine Detailplanung und Realisierung der Einsatz von Multicast, im Kontext mit der konkret genutzten Zuführungstechnik nochmals genauer zu prüfen und abzuwägen. Der reine Kostenaspekt könnte hierbei jedoch nebensächlich werden.

Für die meist deutlich schlechter angebundenen Senderstandorte sind nur Datenströme von jeweils 3 Mbit/s vorzusehen. Hier gilt (entsprechend erhaltener Auskünfte von Anbietern) die Daumenregel, dass bis zu 10 Mbit/s in fast jedem Fall möglich sind, sofern überhaupt nutzbare Leitungen vorhanden sind. Ein wesentlicher Preisunterschied zwischen 3 Mbit/s oder 10 Mbit/s war hier nicht ermittelbar und wurde für die Studie vernachlässigt.

3.3 Platz- und Strombedarf PlayoutCenter / Multiplexer Standort

Der Platzbedarf wurde abgeschätzt auf Basis eines Modells, das bestimmte Geräte vorsieht. Dies dient lediglich zur Abschätzung plausibler Größenordnungen. Sollten bei der Realisierungen andere Geräte zum Einsatz kommen, die aber ähnlichen Platzbedarf haben, würde sich an der Abschätzung nichts ändern. Abweichungen wurden durch eine entsprechende Reserve bewusst mit einkalkuliert.

Gerät	HE jeweils	Anzahl	HE gesamt
Meinberg IMS System Modulen für Takt/Zeit (ein Gerät speist ggf. alle Multiplexer)	4	1	4
DAB+ Multiplexer, Server, für IIS Content Server R6 z.B. HP Proliant Server	2	bis zu 5	bis zu 10
KVM-Switch inkl. Tastatur/Bildschirm (auszieh-/ausklappbar)	1	1	1
Rackmount PC	1	1	1
Storage (optional)	1	1	1
Switch	1	1	1
Router/Firewall	1	2	2
Gerät für Leitungsendpunkt (Zuführungsleitung)	2	1	2
Gerät für DSL/Internet-Zugang, z.B. Router/Modem	1	1	1
Sonstiges pauschal / Reservepuffer			12
Gesamt			Bis zu 35

Table 3-4: Abschätzung der benötigten Höheneinheiten im Rack des PlayoutCenters.

Das entscheidende Ergebnis dieser Abschätzung ist, dass der erwartete Platzbedarf unter 40 HE bleibt, die ein Rechenzentrum typischerweise pro Rack zur Verfügung stellt. Sollte aus praktischen Gründen oder aufgrund abweichender Realisierung mit etwas höherem Platzbedarf ein Rack nicht ausreichen, so müsste (typischerweise) ein weiteres komplettes Rack hinzugefügt werden, wodurch sich die reinen Mietkosten verdoppeln.

Wie hoch der exakte Platzbedarf ist, ergibt sich aus der Detailplanung, die auch die genaue Montageart berücksichtigen muss. Durch eventuell notwendige Lücken oder zusätzlichen Platzbedarf durch Schwerlastschienen oder Regalböden, können hier ggf. auch etwas höhere Werte zustande kommen.

Der Energieverbrauch wurde basierend auf den Modellannahmen, rein theoretisch abgeschätzt, ohne hier Details zu ermitteln. Die maximalen Verbrauchswerte der Geräte anzusetzen, wäre sicherlich zu hoch gegriffen gewesen. Praxisnahe Verbrauchswerte waren nicht trivial verfügbar. Da die spätere Realisierung von dem hier angenommenen Modell deutlich abweichen kann, ist eine genauere Eingrenzung hier nicht sinnvoll möglich.

Grundsätzlich ist beim Verbrauch zwischen Spitzenlast und dem Durchschnittsverbrauch zu unterscheiden. Die Spitzenlast (etwa beim gleichzeitigen Hochfahren aller Geräte) bestimmt dabei, wie stark die Anbindung auszulegen ist (i.a. bemessen in Ampere). Der Durchschnittsverbrauch hingegen bestimmt, die verbrauchte und zu bezahlende Energie (i.a. bemessen in kWh / Monat). Für die grobe Abschätzung hier, wurden diese Werte nicht aufgetrennt, da eine separate Auswertung zu sehr in Details bezüglich einer konkreten Realisierung, einem spezifischen Betriebskonzept und Details zu einzelnen Rechenzentren, Anschlüssen und Konditionen gegangen wäre.

Eine USV (Unterbrechungsfreie Stromversorgung) wurde hier nicht separat mit eingeplant oder ausgewiesen. Diese würde selbst nur begrenzt Strom verbrauchen, aber mit Platzbedarf und Anschaffungskosten in Planungen eingehen. Je nach Standort kann eine USV auch für eine „Glättung“ des bezogenen Stroms notwendig sein oder wäre notwendig um kurzzeitige Störungen in der Stromversorgung zu überbrücken. Für Rechenzentren sind solche Überlegungen zumeist kaum relevant, da die Stromversorgung hier einen hohen Qualitätsstandard hat. Alles andere obliegt dem Betriebskonzept und der Detailplanung.

Gerät	Watt jeweils	Anzahl	Watt gesamt
Meinberg IMS System Modulen für Takt/Zeit (ein Gerät speist ggf. alle Multiplexer)	250	1	250
KVM-Switch inkl. Tastatur/Bildschirm (auszieh-/ausklappbar)	100	1	100
Rackmount PC	200	1	200
Storage (optional)	300	1	300
Switch	50	1	50
Router/Firewall	50	2	100
Gerät für Leitungsendpunkt (Zuführungsleitung)	50	1	50
Gerät für DSL/Internet-Zugang, z.B. Router/Modem	50	1	50
Sonstiges pauschal / Reservepuffer			1000
Gesamt OHNE Multiplexer			2.100
DAB+ Multiplexer, Server, für IIS Content Server R6 z.B. HP Proliant Server	500	1 - 5	500 - 2.500
Gesamt			2.600 - 4.600

Tabelle 3-5: Abschätzung der benötigten Leistung am PayoutCenter.

Das bedeutet, dass bei nur einem Multiplexer ein Verbrauch von 2.600 Watt angenommen wird, während bei fünf Multiplexern insgesamt 4.600 Watt angenommen werden.

Bei einem durchgehenden Betrieb (24x7) mit angenommenen 730 Stunden pro Monat, ergibt sich ein Energieverbrauch von 1.533 kW/h pro Monat ohne Multiplexer und 365 kW/h pro Monat und Multiplexer. Dies sind 18.396 kW/h pro Jahr, ohne Multiplexer und 4.380 kW/h pro Jahr pro Multiplexer. Dies dient im Kapitel 4.1.5 zur Abschätzung der resultierenden Kosten.

3.4 S-Klasse (Sender Leistungsklassen)

Bei Rohde & Schwarz³⁷ wurden Beispielpreise für typische DAB-Sender und Leistungsklassen angefragt. Dies wurde mit Budgetpreisen für unterschiedliche Sendertypen (luftgekühlt und flüssiggekühlt) beantwortet, woraus sich grob folgende typischen Leistungsklassen mit folgenden Ausgangsleistungen ergeben.

S-Klasse	Ausgangsleistung		Wirkungsgrad
	>	≤	
1		0,3 kW	40 %
2	0,3 kW	0,7 kW	40 %
3	0,7 kW	1,3 kW	40 %
4	1,3 kW	2,5 kW	40 %
5	2,5 kW	3,6 kW	40 %
6	3,6 kW	5,0 kW	40 %
7	5,0 kW		40 %

Tabelle 3-6: S-Klassifikation mit Ausgangsleistung und Wirkungsgrad der Sender.

Die Klasse S7 wurde zur Erfassung höheren Leistungsbedarfs zunächst angesetzt, ohne dass offensichtlich war, ob diese Klasse auch Verwendung findet und ohne dass hierfür im ersten Schritt Sender bzw. Preise ausgewiesen wurden.

Beim Wirkungsgrad werden pauschal für alle Sender 40% angesetzt, um die Stromaufnahme (100%), sowie die Abwärme (60%), entsprechend der zu erreichenden Ausgangsleistung (40%) zu berechnen. Abweichungen davon sind bei einer Realisierung möglich, wobei dies abhängig ist vom konkret genutzten Sendertyp und von der gewählten Konfiguration.

Moderne DAB-Sender erzielen etwas höheren Wirkungsgrad als 40%, während ältere DAB-Sender deutlich niedrigere Wirkungsgrade erzielen. Sendertypen für andere Übertragungsverfahren und Techniken (z.B. UKW oder DVB-T2) können hier völlig andere Wirkungsgrade aufweisen, weshalb hier keine Querschlüsse gezogen werden sollten.

³⁷ <http://www.rohde-schwarz.com/>

3.5 Vier-Ebenen vs. Zwei-Ebenen Antenne

Es wurden typische Antennen, wie sie in Deutschland häufig verbaut wurden betrachtet und dazu auch Informationen von Herstellern und Kunden eingeholt. Die erhaltenen Informationen können aber nur anonym verwendet werden. Eine Benennung der Quellen ist in diesem Fall nicht erwünscht, da die Auskünfte auf einer sehr unsicheren Basis erteilt werden mussten, insbesondere ohne genaue Kenntnis der Situation am Turm bzw. Mast, ohne Detailplanung und ohne die Möglichkeit die Art der Montage abzuschätzen.

Die Antennen, auf die hier referenziert wird, können aus demselben Grund nicht konkret benannt werden, insbesondere, da nicht abschließend geklärt ist, ob dieser Antennentyp bei allen Neubauten auch tatsächlich zum Einsatz kommen könnte, oder die Gegebenheiten vor Ort die Montage anderer Typen nahe legen.

Die exemplarisch angenommenen typischen Modelle, haben jeweils vier Spalten, unterscheiden sich aber in der Anzahl der Ebenen und weiterer Parameter. Typisch sind hierbei 4 oder 2 Ebenen. Die Vier-Ebenen-Antennen kommen zum Einsatz, wenn eine hohe effektiv abgestrahlte Leistung benötigt wird, da die Antennen insgesamt eine höhere Leistung verkraften und einen höheren Antennengewinn haben.

Der Faktor für den Gesamtgewinn (Systemgewinn) bei Nutzung der Vier-Ebenen-Antenne liegt bei etwa 4, während der Faktor der Zwei-Ebenen-Antenne bei etwa 2 liegt. Der Unterschied liegt also bei Faktor 2, was im konkreten Fall bedeutet, dass sich 50% der Energie einsparen lässt, wenn man die Vier-Ebenen-Antenne, statt der Zwei-Ebenen-Antenne verbaut.

Eine Vier-Ebenen-Antenne ist jedoch auch doppelt so groß und erzeugt die doppelte Windlast wie eine Zwei-Ebenen-Antenne, verursacht somit auch die doppelten Mietkosten am Turm. Zudem ist die Vier-Ebenen-Antenne teurer in der Anschaffung.

Ob sich eine Vier-Ebenen-Antenne gegenüber einer Zwei-Ebenen-Antenne also lohnt hängt von den folgenden Faktoren ab:

- Unterschied beim Gewinn zwischen den zwei Antennen
- Unterschied bei der Windlast zwischen den zwei Antennen
- Windlast insgesamt (für Berechnung der Miete)
- Montagehöhe am Turm
- Preismodell für Turmmiete (abhängig von Montagehöhe und Windlast)
- Effizienz der Sender (für Berechnung der Stromkosten)
- Strompreis am Standort
- Abgestrahlte Leistung
- Mehrkosten für Anschaffung der besseren Antenne

Man ermittelt dann den eingesparten Stromverbrauch pro Jahr pro kW ERP. Das heißt über die Effizienz des Senders und den Unterschied beim Antennengewinn, ermittelt man die Einsparung abhängig von der abgestrahlten effektiven Leistung. Je höher die ERP, desto höher ist ggf. auch die eingesparte Leistung und umso mehr Stromkosten werden gespart. Dies ist der positive Effekt der Vier-Ebenen-Antenne. Allein daran sieht man schon, dass sich diese Antenne dann lohnt, wenn viel Leistung darüber abgestrahlt wird. Man ermittelt dann die Gesamteinsparung bei den Stromkosten über die Laufzeit von 10 Jahren, als Wert, der immer noch abhängig ist von der abgestrahlten ERP.

Bei den Nachteilen findet man zum einen die Mehrkosten bei der Anschaffung der Antenne. Diese fallen einmalig an. Jährlich hingegen fallen die Mehrkosten für die Turmmiete an, die sich wiederum aus der Windlast dem Unterschied der Windlast und der Montagehöhe

ergeben. In der Versorgungsplanung sind bereits Antennenhöhen angegeben, die ggf. genutzt werden können. Eventuell sind hier aber auch Korrekturen notwendig. Verbindliche Aussagen wären erst mit Detailplanung möglich. Die Mehrkosten bei der Turmmiete werden über die Laufzeit von 10 Jahren summiert. Die Gesamtmehrkosten der Vier-Ebenen-Antenne über die Laufzeit die für Turmmiete und für Antennenanschaffung anfallen, werden dann addiert zu den Gesamtmehrkosten über die Gesamtlaufzeit. Die Einsparung, die sich durch einen ev. kleineren Sendertyp ergibt, wird wiederum von den Gesamtmehrkosten abgezogen.

Diese Gesamtmehrkosten dividiert man dann durch die eingesparten Stromkosten pro ERP und erhält dann die gesuchte ERP, ab der sich eine Vier-Ebenen-Antenne unter diesen theoretischen Annahmen frühestens lohnt. Eine vergleichbare Rechnung lässt sich auch für andere Antennentypen und Laufzeiten aufstellen.

Nachfolgend die ausführliche Herleitung der in den Excelsheets verwendeten Berechnungsformel, die für interessierte Leser vorgesehen ist.

<u>Variable</u>	<u>Einheit</u>	<u>Bedeutung</u>	<u>Beispiel / typisch</u>
<i>ERP</i>	kW	Abgestrahlte Leistung	z.B. 10 kW
<i>Effizienz</i>	-	Effizienz des Senders	40%
<i>Gewinn</i>	-	Systemgewinn-Faktor	2 oder 4
<i>SenderAus</i>	kW	Senderausgangsleistung	z.B. 2 kW
<i>SenderEin</i>	kW	Sendereingangsleistung	z.B. 5 kW
<i>SparNetto</i>	kW	Gesparte* Nettoleistung	z.B. 2 kW
<i>SparBrutto</i>	kW	Gesparte* Bruttoleistung	z.B. 5 kW
<i>SparBEpa</i>	kWh/J	Gesparte* Bruttoenergie pro Jahr	z.B. 43.200 kWh/J
<i>MehrkJMietePA</i>	€/J	Mehrkosten* Turmmiete pro Jahr	z.B. 20.000 €/J
<i>MehrkJMiete</i>	€	Mehrkosten* Turmmiete gesamt	z.B. 200.000 €
<i>Laufzeit</i>	J	Laufzeit in Jahren	10 Jahre
<i>MehrkJInvest</i>	€	Mehrkosten* bei Investition	z.B. 50.000 €
<i>MehrkostenGes</i>	€	Mehrkosten* insgesamt (Investition+Miete)	z.B. 300.000 €
<i>Strompreis</i>	€/kWh	Preis pro Kilowattstunde Strom	z.B. 0,25 kWh/h
<i>MehrkJAnten</i>	€	Mehrkosten* für die Antenne	z.B. 70.000 €
<i>SparSender</i>	€	Einsparung* beim Sender	z.B. 20.000 €
<i>SchwellwertERP</i>	kW	Schwellwert beim ERP ab dem sich bessere Antenne lohnt	
<i>SparBEnerg</i>	kWh	Einsparung* der Energie gesamt	z.B. 432.000 kWh
<i>SparBEnergK</i>	€	Einsparung* der Energiekosten gesamt	z.B. 108.000 €
<i>SparBEKpERP</i>	€/kW	Einsparung* Energiekosten pro kW ERP	z.B. 10.800 €/kW

*) Die Mehrkosten beziehen hier jeweils auf den Unterschied zwischen der günstigeren und teureren Antenne, die verglichen werden sollen. Die Einsparung beim Sender bezieht sich darauf, dass ggf. ein weniger leistungsstarker Sender der weniger kostet, zum Einsatz kommen kann. Die Einsparungen beim Strom beziehen sich auf den höheren Gewinn der besseren Antenne, durch den weniger Energie zugeführt werden muss und somit weniger Energie verbraucht wird.

Die ERP (Effective Radiated Power) ist aus der Versorgungsplanung heraus vorgegeben. Der Gewinn ergibt sich durch den jeweiligen Antennentyp. Daraus ermittelt man die notwendige Energie am Ausgang des Senders, die sogenannte Senderausgangsleistung.

$$SenderAus [kW] = \frac{ERP [kW]}{Gewinn}$$

Durch die Effizienz (die aus dem Sendertyp ergibt) lässt sich zu der benötigten Senderausgangsleistung, die entsprechend notwendige Sendereingangsleistung berechnen. Dies dient hier zur Verdeutlichung der Zusammenhänge. („SenderEin“ wird nachfolgend nicht weiterverwendet.)

$$SenderEin [kW] = \frac{SenderAus [kW]}{Effizienz}$$

Die eingesparte Netto-Leistung durch den Antennentyp ergibt sich aus der Differenz der ERP zur zuvor ermittelten tatsächlich benötigten Senderausgangsleistung. Die Netto-Leistung bezieht sich auf den Ausgang am Sender.

$$\begin{aligned} SparNetto [kW] &= ERP [kW] - SenderAus [kW] = ERP [kW] - \frac{ERP [kW]}{Gewinn} \\ &= ERP [kW] \times \left(1 - \frac{1}{Gewinn}\right) \end{aligned}$$

Um daraus die eingesparte Leistung am Sendereingang (also die eingesparte Brutto-Leistung) zu ermitteln, wird wiederum die Effizienz herangezogen.

$$SparBrutto [kW] = \frac{SparNetto [kW]}{Effizienz} = \frac{ERP [kW] \times \left(1 - \frac{1}{Gewinn}\right)}{Effizienz}$$

Die physikalische „Leistung“ bezieht sich nicht auf einen bestimmten Zeitabschnitt, sondern auf einen Zustand zu einem beliebig kurzen Moment. Durch Multiplikation mit einem Zeitabschnitt (z.B. 1 Stunde = 1 h) ergibt sich die in diesem Zeitabschnitt verbrauchte Energie.

Statt hier direkt auf den Zeitraum von 10 Jahren zu schließen, wird auf die Zeit pro Jahr geschlossen. Dazu wird die Anzahl Stunden pro Jahr als Faktor angesetzt, also 8640 Stunden pro Jahr (also 8640 h/J). 8640 ergibt sich als 12 Monate/Jahr x 720 Stunden/Monat. Dabei ergeben sich 720 Stunden/Monat als 24 Stunden/Tag und 30 Tage/Monat, die hier als Mittelung angesetzt werden.

$$SparBEpa \left[\frac{kWh}{Jahr} \right] = SparBrutto [kW] \times \frac{8640 h}{Jahr} = \frac{ERP [kW] \times \left(1 - \frac{1}{\text{Gewinn}}\right)}{\text{Effizienz}} \times \frac{8640 h}{Jahr}$$

Mit der „SparBEpa“ haben wir nun also eine Formel, zur Berechnung der eingesparten Stromkosten pro Jahr, abhängig von der ERP. Durch Multiplikation mit der Laufzeit (z.B. 10 Jahre) erhalten wir, die insgesamt eingesparte Energie.

$$SparBEnerg [kWh] = SparBEpa \left[\frac{kWh}{J} \right] \times Laufzeit [J]$$

Diese Formel benötigen wir etwas weiter unten erneut.

Abgesehen von dieser Einsparung hat eine bessere Antenne aber auch Nachteile, durch höhere Kosten bei Fertigung, Montage und Miete. Andererseits sorgt eine bessere Antenne dann letztlich eventuell dazu, dass ein kleinerer Sender genutzt werden kann, wodurch Herstellungskosten für den Sender gespart werden könnten, wobei dies die höheren Kosten für die Antenne typischerweise nicht ganz aufwiegt. Es ergeben sich somit für die Investitionen und für die Gesamtkosten der Miete:

$$MehrkInvest [€] = MehrkAnten[€] - SparSender [€]$$

$$MehrkMiete [€] = MehrkMietePA \left[\frac{€}{J} \right] \times Laufzeit [J]$$

$$MehrkostenGes [€] = MehrkInvest [€] + MehrkMiete [€]$$

Die „*MehrkostenGes*“, also die Gesamt-Mehrkosten für die bessere Antenne benötigen wir weiter unten wieder.

Um aus der weiter oben berechneten eingesparten Energie insgesamt auf die eingesparten Kosten insgesamt zu schließen, ziehen wir den Strompreis (z.B. 0,25 €/kWh) heran:

$$\begin{aligned}
 SparBEnergK[\text{€}] &= SparBEnerg[\text{kWh}] \times Strompreis \left[\frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right] \\
 &= SparBEpa \left[\frac{\text{kWh}}{\text{J}} \right] \times Laufzeit[\text{J}] \times Strompreis \left[\frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right] \\
 &= \frac{ERP [\text{kW}] \times \left(1 - \frac{1}{\text{Gewinn}}\right)}{\text{Effizienz}} \times 8640 \frac{\text{h}}{\text{J}} \times Laufzeit[\text{J}] \times Strompreis \left[\frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]
 \end{aligned}$$

In dieser Formel ist immer noch die ERP als ein Parameter enthalten. Wir können nun nach diesem Auflösen, indem wir die Einsparung pro ERP berechnen, indem wir durch die ERP dividieren.

$$\begin{aligned}
 SparBEKpERP \left[\frac{\text{€}}{\text{kW}} \right] &= \frac{SparBEnergK [\text{€}]}{ERP [\text{kW}]} \\
 &= \frac{\frac{ERP [\text{kW}] \times \left(1 - \frac{1}{\text{Gewinn}}\right)}{\text{Effizienz}} \times 8640 \frac{\text{h}}{\text{J}} \times Laufzeit[\text{J}] \times Strompreis \left[\frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]}{ERP [\text{kW}]} \\
 &= \frac{\left(1 - \frac{1}{\text{Gewinn}}\right) \times 8640 \frac{\text{h}}{\text{J}} \times Laufzeit[\text{J}] \times Strompreis \left[\frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]}{\text{Effizienz}}
 \end{aligned}$$

Die „SparBEKpERP“ sind somit die eingesparte Brutto-Energiekosten pro 1 kW ERP. Dies benutzen wir, um die Mehrkosten die durch eine bessere Antenne entstehen, durch die „SparBEKpERP“ zu dividieren, um somit die ERP zu erhalten, aber der sich die höheren Kosten der Antenne und die Energieeinsparungen aufwiegen:

$$\text{SchwellwertERP} [\text{kW}] = \frac{\text{MerkMieten} [\text{€}] + \text{MehrInvest} [\text{€}]}{\text{SparBEKpERP} [\text{€/kW}]}$$

Durch Einsetzen erhalten wir:

$$= \frac{\text{MehrMietePA} \left[\frac{\text{€}}{\text{J}} \right] \times \text{Laufzeit}[\text{J}] + \text{MerkAnten}[\text{€}] - \text{SparSender} [\text{€}]}{\left(1 - \frac{1}{\text{Gewinn}} \right) \times 8640 \frac{\text{h}}{\text{J}} \times \text{Laufzeit}[\text{J}] \times \text{Strompreis} \left[\frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]} \text{Effizienz}$$

Durch Umformen ergibt sich die Gesamtformel:

$$= \frac{\left(\text{MehrMietePA} \left[\frac{\text{€}}{\text{J}} \right] \times \text{Laufzeit}[\text{J}] + \text{MerkAnten}[\text{€}] - \text{SparSender} [\text{€}] \right) \times \text{Effizienz}}{\left(1 - \frac{1}{\text{Gewinn}} \right) \times 8640 \frac{\text{h}}{\text{J}} \times \text{Laufzeit}[\text{J}] \times \text{Strompreis} \left[\frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]}$$

Anmerkung: Wie sich die „MehrMietePA“, also die Miet-Mehrkosten pro Jahr und die „SparSender“ also die Einsparungen durch einen kleineren Sender genau ergeben, wurde hier nicht durch Formeln dargestellt und erfasst. Die Miet-Mehrkosten ergeben sich ggf. durch Preislisten des Standortbetreibers, die für diese Studie nicht offengelegt werden können. Die Einsparung durch kleineren Sender springt stufenweise, je nach verwendetem Sendertyp. Hier empfehlen sich ggf. Abschätzungen und Näherungen.

Die Formel ist allgemein nutzbar, enthält aber auch modellhafte Annahmen und Abschätzungen. Eine letztgültige Entscheidung ist somit nur durch die vollständige Detailplanung möglich.

Durch diese oder eine ähnliche Formel kann die ERP ermittelt werden, ab der sich eine bessere Antenne lohnt. Bei der Abstrahlung mehrerer DAB-Ensembles (z.B. Mitbenutzung durch Dritte) erhöht sich die Gesamt-ERP und der hier berechnete Schwellwert wird ggf. überschritten. Somit kann der hier berechnete ERP-Schwellwert als Basis für die Planung von Mitbenutzung herangezogen werden. Gelingt es den benötigten Gesamt-ERP-Wert zu erreichen, kann die bessere Antenne finanziert werden und effektiv sparen dann alle Beteiligten durch die Einsparungen bei Sender und Stromkosten.

3.6 M-Klasse und N-Klasse (Antennen-Mitnutzung bzw. Turmmiete)

Es hat sich gezeigt, dass, anders als erhofft, die konkreten Mitbenutzungspreise nicht einzeln und spezifisch für diese Studie ermittelt und bereitgestellt werden konnten, sondern hier Klassifizierungen und Abschätzungen notwendig werden. Eine genauere Abschätzung oder die Ausweisung verbindlicher exakter Preise, wird erst mit der Detailplanung möglich sein.

Dasselbe gilt für die Mietkosten für montierte Antennenanlagen an Sendetürmen und Sendemasten.

Für diese Studie werden deshalb Preisklassen angenommen und verwendet:

- **M-Klasse** für die Mitbenutzungspreise von Antennen
- **N-Klasse** für die Nutzungskosten von Türmen (d.h. Mietkosten für montierte eigene Antennen), auch als Turmmiete oder Antennenmiete bezeichnet, wobei die sogenannten „Grundmiete“ hier inkludiert wurde.

Je Standort wird entsprechend alternativ jeweils nur eine M-Klasse oder N-Klasse, aber nicht beide gleichzeitig verwendet.

M-Klasse bzw. N-Klasse		Faktor
1	sehr günstig	1
2	günstig	2
3	mittel	4
4	teuer	8
5	sehr teuer	16

Tabelle 3-7: M-Klasse bzw. N-Klasse mit dem Faktor und der grundsätzlichen Einteilung.

Jede nächst höhere Klasse wird dabei als doppelt so teuer, wie die vorherige angenommen. Ausgehend von einem geringen Basiswert für die Klasse M1 bzw. N1, verdoppelt sich also der Preis für jede Stufe. Der Basiswert und die einzelnen Preise werden aufgrund der ermittelten Informationen angenommen, um insbesondere die Klasse M3 bzw. N3 („mittel“) und den Gesamtrahmen möglichst sinnvoll aufzuspannen.

Dieses Vorgehen ermöglicht es Unternehmen Preisinformationen zuzuliefern und Unterschieden zwischen Standorten darzustellen, ohne exakte Einzelpreise in der Studie auszuweisen und damit potenziell zu veröffentlichen. Es erlaubt außerdem auf Basis interner Informationen, die ebenfalls nicht ausweisbar sind, Abschätzungen zu treffen, um Standorte grob in diese Klassifizierung einzuordnen. Dadurch wird vermieden alle Standorte nur pauschal mit einem Einheitspreis (z.B. M3 bzw. N3) berechnen zu müssen.

Die gefundenen Abstufungen werden als durchaus sinnvoll erachtet und haben sich eher zufällig für M-Klasse und N-Klasse in gleicherweise ergeben. Die Definition von M-Klasse und N-Klasse fand grundsätzlich unabhängig voneinander statt, erwies sich dann aber als so ähnlich, dass im Sinne einer Grobabschätzung dasselbe Konzept verwendet wurde.

4 Preis- und Kostenermittlung

Ermittelte Kosten, mit Herleitung und Erläuterung, dienen als Basis für die weiteren Berechnungen und stützen sich auf das vorab definierte Modell und die definierten Klassen.

Alle Angaben (sofern nicht anders vermerkt) enthalten noch keine Steuer, sind also Nettopreise.

4.1 Einmalige und ensembleanzahlbezogene Kosten

4.1.1 DAB Multiplexer

Es wurden die beiden Anbieter AVT³⁸ (Audio Video Technologies GmbH) und IZT³⁹ (Innovationszentrum Telekommunikationstechnik) angefragt, die jeweils eigene Produktvarianten des Fraunhofer IIS DAB Content Server R6⁴⁰, in einer Reihe von Ausbaustufen und mit unterschiedlichen Optionen anbieten. Ohne Detailplanung und ohne Vergleich der einzelnen Funktionen, lassen sich die Preisinformationen nicht sinnvoll gegeneinander stellen. Ein Vergleich der Anbieter oder Produkte wird in dieser Studie nicht angestellt. Das im Kern identische Produkt, wird angeboten unter verschiedenen Bezeichnungen, als „IZT DAB ContentServer“⁴¹ bzw. „AVT MAGIC DAB MUX Multiplexer“⁴²

Die genannte Preisspanne liegt insgesamt zwischen 10.000 € und 45.000 €, wobei die genaue Interpretation jeweils einer wesentlich genaueren Betrachtung bedürfte. Insbesondere die niedrigeren Preise beziehen sich auf Editionen⁴³ mit reduzierter Funktionalität. Mögliche Rabatte beim Kauf mehrerer Geräte, wurden hier nicht berücksichtigt.

Die Preismodelle gehen davon aus, dass pro DAB-Ensemble ein eigener DAB⁴⁴-Multiplexer, mit jeweils einer eigenen Lizenz und normalerweise auch eine eigene Hardware benötigt wird.

Der Preis für einen DAB-Ensemble Multiplexer wird für die weitere Berechnung mit 40.000 € für die Lizenz, plus 4.000 € für die Serverhardware angenommen, mit dem Hinweis, dass je nach Detailplanung auch etwas höhere oder niedrigere Kosten anfallen können. Der angenommene Preis zielt auf eine weitgehend vollständige Ausstattungsvariante ab.

Um über die geforderte Zeit von 10 Jahren einen Hardwaresupport zu erhalten, der eine zeitnahe Reparatur oder einen Austausch defekter Server erlaubt, werden Zusatzkosten von 8.000 € eingeplant. Dies beinhaltet wahlweise die Anschaffung neuer Hardware, wenn diese altert oder inkludiert pauschal einen erhöhten Aufwand für Support bzw. Reparaturen. Als zentrale ständig aktive Instanz unterliegt ein DAB-Multiplexer hier besonderen Supportanforderungen. Die Softwarelizenz kann ggf. auf die neue Hardware migriert werden und fällt somit für die Reserve bzw. bei der Havarie nicht erneut an.

³⁸ <http://www.avt-nbg.de/>

³⁹ <http://www.izt-labs.de/>

⁴⁰ <https://www.iis.fraunhofer.de/de/ff/amm/prod/digirundfunk/digirundf/dabdmbcontentserver.html>

⁴¹ <https://www.izt-labs.de/en/products/category/dab-multiplexer/product/izt-dab-content-server/>

⁴² <https://www.avt-nbg.de/index.php/en/products/dab/ensemble-multiplexer/magic-dab-mux>

⁴³ https://www.iis.fraunhofer.de/content/dam/iis/de/doc/ame/wp/Fraunhofer-DAB-ContentServer-R6_FeatureList-Editions-ProductLines.pdf

⁴⁴ Ein „DAB-Multiplexer“ inkludiert in der Verwendung hier auch die Möglichkeit den für „DAB+“ spezifischen Audiocodec zu verarbeiten. Technisch muss hier nicht zwischen DAB oder DAB+ unterschieden werden. Im Zusammenhang mit der Audioencodierung wäre dies jedoch sinnvoll.

Um Softwaresupport, inklusive von Updates, zu erhalten, sind entsprechende Verträge mit jährlichen Kosten von etwa 5.000 € pro DAB-Ensemble einzuberechnen. Dieser Kostenrahmen umfasst mehr als nur Softwareupdates. Durch Reduzierung des Supportlevels oder die komplette Einsparung des Supports lassen sich hier Kosten sparen. Dies ist jedoch eine betriebliche Entscheidung und kann ggf. sonstige Betriebskosten erhöhen. Für die ersten 2 Jahre ist der Softwaresupport im Lizenzpreis typischerweise inkludiert. Ein Softwaresupport ist darüber hinaus optional und die erworbene Softwarelizenz unabhängig davon unbefristet gültig. Für diese Studie, werden die Kosten für den Softwaresupport nach dem zweiten Jahr mit einberechnet, da dies betrieblich sinnvoll erscheint.

Über eine Laufzeit von 10 Jahren ergeben sich pro DAB-Ensemble (pro Multiplexer) somit die Kosten wie folgt.

Position	Einzelpreis	Anzahl	Summe (10 Jahre)	
Hardware (Server)	4.000 €	1	4.000 €	Investition
Hardwaresupport / Erneuerung	8.000 €	1	8.000 €	Jährliche K.
Lizenz (Software)	40.000 €	1	40.000 €	Investition
Software Support (jährlich)	5.000 €	8	40.000 €	Jährliche K.
Gesamt (10 Jahre)			92.000 €	
Investitionskosten			44.000 €	
Jährliche Kosten (10 Jahre)			48.000 €	
Jährliche Kosten pro Jahr			4.800 €	

Table 4-1: Kostenübersicht für einen DAB-Multiplexer.

Als Durchschnitt für jedes DAB-Ensemble ergeben sich pro Jahr somit 9.200 €, wenn man Investition (bzw. Abschreibung) und laufende Kosten kombiniert.

Die Investitionskosten liegen bei 44.000 €. Dies beinhaltet die Lizenz und eine einmalige Anschaffung der Hardware. (Die Erneuerung der Hardware ist optional, da die Kosten alternativ auch für Ersatzteile und Reparaturen vorgesehen werden können.)

Die um diese Investitionskosten bereinigten laufenden Kosten über 10 Jahre liegen somit dann bei 48.000 €, pro Jahr also bei 4.800 € pro Jahr.

Diese Kosten fallen pro DAB-Ensemble an. Synergieeffekte ergeben sich hier allenfalls durch Rabatte beim Kauf mehrerer Systeme.

Für die zusätzlich vorzusehende Ersatzhardware kann jedoch eine Hardware für alle DAB-Ensembles gemeinsam genutzt werden. Die Ersatzhardware ist einzuplanen, um bei Havarie hier zeitnah einen Austausch durchführen zu können. Dabei kann die Softwarelizenz (durch einen umsteckbaren Dongle) und die Konfiguration, auf die Ersatzhardware transferiert

werden. Somit sind keine eigene Softwarelizenz und auch kein Softwaresupport für die Ersatzhardware notwendig. Allerdings ist derselbe Hardwaresupport wie für die aktiv betriebenen Systeme anzusetzen, um hier auch defekte Ersatzsysteme wieder instand zu setzen bzw. um ggf. auch hier eine Erneuerung der Ersatzhardware vorzunehmen. Somit sind für die Ersatzhardware hier über 10 Jahre insgesamt ebenfalls 12.000 € anzusetzen, mit 4.000 € Investitionskosten und 8.000 € Hardwaresupport.

Theoretisch könnte auf die Ersatzhardware verzichtet werden, da auch der inkludierte Hardwaresupport eine ausreichend zeitnahe Behebung abdecken sollte. Es ist jedoch betrieblich sinnvoll bei einem Ausfall des Multiplexers sofort reagieren zu können. Die zusätzliche Hardware erhöht zudem die betriebliche Flexibilität insgesamt. Für die Studie wird jedoch nur eine solche Ersatzhardware vorgesehen, unabhängig davon wie viele DAB-Ensembles betrieben werden.

DAB Multiplexer		
	Investition	jährlich
1 Ensemble	48.000 €	5.400 €
2 Ensembles	92.000 €	10.000 €
3 Ensembles	136.000 €	14.600 €
4 Ensembles	180.000 €	19.200 €
5 Ensembles	224.000 €	23.800 €

Preisbox 4-1: DAB-Multiplexer

Bei der Betrachtung wurde der Bereich der Audioenkodierung und somit auch Kosten für Software-Audioenkoder oder Hardware-Audioenkoder komplett ausgeklammert. Zu beachten ist jedoch, dass es für eine Realisierung hier Überschneidungen mit den Multiplexern gibt, für den Anwendungsfall, dass Audioprogramme in mehreren Ensembles eingespeist werden. Theoretisch müssten diese Audioprogramme dann für jedes Ensemble separat enkodiert werden wobei jeweils ein eigener Audioenkoder benötigt wird, der jeweils Kosten verursacht. Es gibt jedoch verschiedene technische Lösungen, um hier Kosten einzusparen. Ein relativ ausgefeiltes Konzept sieht vor, sogenannte vorgeschaltete „Service-Multiplexer“ zu verwenden, die per „STI“-Protokoll an die „Ensemble-Multiplexer“ (wie sie oben berechnet wurden) angebunden werden. Durch ein erweitertes STI-Protokoll ist es dabei möglich, einen solchen vorgeschalteten Service-Multiplexer auch an mehrere Ensemble-Multiplexer anzuhängen und dadurch das Audio eines Programms nur einmal zu enkodieren, aber mehrfach zu nutzen. Ein solcher Service-Multiplexer benötigt dabei eine eigene Hardware und eine eigene Software-Lizenz, wobei hier eine funktional reduzierte Version ausreichen kann. Der Service-Multiplexer kann ggf. auch für mehrere Audioprogramme genutzt werden. Die Kosten können unterschiedlich aufgeteilt werden. Dieser Planungsbereich war jedoch nicht Bestandteil dieser Studie.

Ebenfalls nicht Bestandteil dieser Studie ist die Fragestellung von dynamischen Rekonfigurationen, z.B. um temporär Programme zusammen zu legen oder Sonderkanäle abzuspalten. DAB bietet hier grundsätzlich wesentlich höhere Flexibilität als UKW, die sinnvollerweise auch genutzt werden sollte. Dazu sind ggf. ebenso Service-Multiplexer mit vorzusehen, die ggf. auch direkt am Standort der Hörfunkstudios positioniert werden können, um damit auch den Bereich der Zuführungsleitung zu behandeln.

4.1.2 Monitoring- / Überwachungslösung

Eine genaue Abschätzung in diesem Bereich ist nicht möglich, da es zu viele unterschiedliche Möglichkeiten bei den Funktionen und Anforderungen gibt und die Vielzahl der Lösungsvarianten dadurch nicht überblickbar ist. Eine betriebliche Detailplanung ist hier absolut essentiell. Es wird hier nur eine weitgehend willkürlich ausgewählte, exemplarische Lösung dargestellt.

Von AVT gibt es eine Preisauskunft zum Produkt „Magic AD1 ETI/EDI Decoder“, der zur Kontrolle und Überwachung eines DAB-Ensembles eingesetzt werden kann. Pro Multiplexer und EDI-Datenstrom wäre ein eigenes Gerät einzusetzen. Alternativ oder zusätzlich können Magic AD1 ETI/EDI Decoder an jedem Senderstandort eingesetzt werden, um das eingehende EDI Signal zu prüfen. Für eine inhaltliche Prüfung wäre jedoch pro Ensemble, je ein einzelner AD1 ETI/EDI am Ausgang jedes Multiplexers ausreichend.

Der Preis für den Magic AD1 ETI/EDI Decoder wird von AVT mit 6.000 bis 7.000 € angegeben. Von IZT gibt es ebenfalls eine Lösung, die jedoch konzeptionell deutlich abweicht und für die keine Preisauskunft eingeholt werden konnte. Es ist bekannt, dass auch andere Firmen hierzu Speziallösungen anbieten, die sich jeweils deutlich unterscheiden.

Es wird davon ausgegangen, dass eine Lösung irgendeiner Art notwendig und betrieblich sinnvoll ist. Dabei wird in dieser Studie etwas höher gegriffen, als es unbedingt erforderlich erscheint. Als Preis werden 20.000 € pro Multiplexer, sowie eine einzelne Ersatzhardware zu 20.000 € (unabhängig von der Zahl der Multiplexer) abgeschätzt, plus jeweils 5% jährliche Erneuerung. Die Abschätzung deckt eine plausible Lösung, aber je nach betrieblicher Ausrichtung sind auch völlig andere Lösungen mit deutlich abweichenden Kosten plausibel.

Monitoring / Überwachung		
	Investition	jährlich
1 Ensemble	40.000 €	2.000 €
2 Ensembles	60.000 €	3.000 €
3 Ensembles	80.000 €	4.000 €
4 Ensembles	100.000 €	5.000 €
5 Ensembles	120.000 €	6.000 €

Preisbox 4-2: Monitoring/Überwachung

4.1.3 Weiteres Equipment, inklusive Netzwerktechnik

Da die Zuführung der Signale über EDI / IP erfolgen soll, sind hierfür IP fähige Verbindungslösungen notwendig. Zur Anbindung mehrere Geräte ist ggf. ein Switch, zum Management ggf. ein Router vorzusehen. Es gibt auch sogenannte „Switching-Router“ die beides kombinieren. Für die Studie erfolgen nur Abschätzungen bezüglich der Kosten. Es sollte beachtet werden, dass hier ggf. Planungs- und Konfigurationsaufwand notwendig ist, um die verschiedenen Netzwerkanbindungen für Managementzugang, Senderzuführung und die ggf. ebenfalls per IP zu realisierende Zuführung der Audioprogramme zu realisieren.

Per Preisabfragen über Google und Amazon wurden Preise für typisches Equipment ermittelt.

Angenommen werden hier

- gemanagte Switche, (z.B. HP ProCurve, 16 Ports, 1 Gbit/s), ca. 200 – 500 €,
- Router (z.B. Cisco VPN Router), ca. 300 – 600 €.
- Hinzu kommen Patchfelder, Kabel, sonstiges.
- Ein pauschaler Aufschlag, um ggf. mehr oder besseres Equipment („professioneller“) realisieren zu können.

Die standardisierte Netzwerktechnik erlaubt es heute relativ kostengünstige Lösungen zu realisieren. Dies ist ein wesentlicher Vorteil gegenüber den früher üblichen getakteten Leitungen. Durch die Verfügbarkeit von „haushaltsüblichen“ Geräten für Endverbraucher, sind sogar extrem günstige Lösungen möglich. Es sollte aber abgewogen werden, ob sich

durch höhere Betriebssicherheit und Zugriffssicherheit etwas höhere Kosten rechtfertigen. Beim Ansatz hier wurde eine Kompromisslösung abgeschätzt.

Bei den in DAB üblichen Datenströmen, handelt es sich um Größenordnungen die von heutigem Equipment meist problemlos verkraftet und verarbeitet werden kann. Es ist somit keine Hochleistungshardware notwendig.

Es wird weiteres Equipment exemplarisch angenommen, das stellvertretend für die Abschätzung fungiert.

Ein sogenannter Rackmount PC ist inklusive Windows Lizenz für 1.000 € verfügbar. Er benötigt nur 1 HE und lässt sich in einem 19-Zoll Rack verbauen, bietet aber alle notwendigen Grundfunktionen. Ein sogenannter KVM-Switch (d.h. „Keyboard Video Mouse“-Umschalter) ist inklusive eines herausziehbaren Monitors mit Tastatur in 1 HE 19“ Bauweise für 1.500 € verfügbar.

Ggf. wird betrieblich zusätzliches oder anderes Equipment präferiert, ggf. sind auch Softwarelizenzen notwendig. Als Puffer wird ein pauschaler Aufschlag hinzugerechnet, um hier Handlungsspielraum offen zu halten.

Es ist damit zu rechnen, dass vor Ablauf der 10 Jahre für die vorgesehene Abschreibung defekte oder veraltete Geräte erneuert werden müssen. Deshalb wird pro Jahr eine Pauschale von 5% vom Hauptequipment (ohne Ersatzgeräte) hierfür angesetzt.

Weiteres Equipment PlayoutCenter	
Netzwerk	4.000 €
Sonstiges	6.000 €
Ersatzgeräte	10.000 €
Gesamt (Invest)	20.000 €
Erneuerung jährlich (5%)	500 €
Erneuerung (10 Jahre):	5.000 €

Preisbox 4-3: Weiteres Equipment PlayoutC.

4.1.4 Collocation / Rackspace

Für den Betrieb des PlayoutCenters mit sämtlichen Multiplexern wird als mögliche Lösung zur Abschätzung ein Rechenzentrum angenommen, ohne dabei festzulegen wo der eigentliche Betrieb dann letztlich erfolgen wird. Dazu wurde nach Angeboten und Preislisten verschiedener Rechenzentren für Collocation kompletter Racks recherchiert. Der Leistungsumfang der Produkte wurde nicht im Detail verglichen. Es wurden weitere Betreiber von Rechenzentren angefragt, zum Beispiel SkyWay⁴⁵ und Pfalzkom Manet⁴⁶, aber für die Studie wurde hier keine Preis Auskunft geliefert. Für eine Realisierung, sollten diese und ggf. weitere Betreiber lokaler Rechenzentren nochmals dediziert angefragt werden, um hier einen optimalen Standort zu finden. Für diese Studie war die genaue Auswahl des Standortes hingegen kein Kriterium. Zur Kostenabschätzung waren die wenigen Preisinformationen ausreichend.

⁴⁵ <http://www.skyway-datacenter.de/>

⁴⁶ <http://www.pfalzkom-manet.de/>

Anbieter	Produkt	Setup einmalig	Rack monatlich	Stand
Hetzner	Rack Basic ⁴⁷ (42 HE)	199 €	199 €	April 2018
Hetzner	Rack Advanced ⁴⁸ (47 HE)	299 €	299 €	April 2018
Anonymer Anbieter ⁴⁹	Anonymes Angebot ⁵⁰	1000 €	650 €	2015 - 2018

Tabelle 4-2: Beispielpreise für Rack-Miete und Setup.

Es wird davon ausgegangen, dass ein Rack für den Betrieb aller Multiplexer (bis zu einer Anzahl von 5) ausreichend ist. Aus praktischen Erwägungen kann bei einer Realisierung ggf. aber eine Verteilung der Geräte auf mehrere Racks erfolgen, ggf. in Kombination mit weiteren Geräten die bezüglich der Zuführung von Hörfunkprogrammen notwendig werden (aber die hier nicht betrachtet werden). Dadurch kann sich auch eine Mischkalkulation ergeben.

Da Rechenzentren typischerweise komplette Racks anbieten und nur selten Teilracks bzw. die Miete solcher Teilracks vergleichsweise teuer ist, wird zur Vereinfachung unabhängig von der Anzahl der Multiplexer immer mit einem kompletten Rack gerechnet, da dies vermutlich der generell sinnvollste und wirtschaftlichste Ansatz ist.

Da die konkreten Preise deutliche Unterschiede aufweisen können und nicht alle angefragten Rechenzentren Angebote für die Studie bereitgestellt haben, werden für die weitere Berechnung hier als plausibler Preis 500 € monatlich und 500 € einmalige Setupgebühr des Anbieters angenommen. Dies sollte ausreichende Flexibilität geben, für eine spätere Realisierung.

PlayoutCenter Rackspace RZ	
Miete	6.000 € / Jahr
Setup	500 € (einmalig)

Preisbox 4-4: Rackspace RZ

4.1.5 Stromkosten (PlayoutCenter/Multiplexer)

Die Stromkosten in Rechenzentren haben jeweils ihr individuelles Preisniveau, je nach realisierter Verfügbarkeit und unterliegen der Preisentwicklung am Strommarkt.

Anbieter	Strom € / kWh	Stand
Hetzner	0,2856 €	April 2018
Anonymer Anbieter ⁵¹	0,24 €	2016 - 2018
TWL-KOM ⁵²	0,23 €	2015
TMT ⁵²	0,21 €	2015

Als Basis wurden die öffentlichen Preise in den Rechenzentren von Hetzner herangezogen, sowie die Preise aus einer Studie von 2015, sowie eine konkrete Realisierung, die hier im Detail nicht offen gelegt werden kann. Es wurden auch weitere Rechenzentren angefragt, u.a. SkyWay und Pfalzkom Manet, bei denen aber keine für die Studie nutzbaren Informationen ermittelt werden konnten.

Tabelle 4-3: Beispiele für Strompreise in Rechenzentren.

Aufgrund der nur geringen Stichprobe, und aufgrund der Schwankungsbreite und einer möglichen Preisentwicklung wird für die weitere Berechnung bewusst ein etwas höherer Preis von 0,30 € / kWh angenommen.

Posten	Leistung [kW]	kWh / Monat (bei 730 h / Monat)	Kosten / Monat (0,3€ / kWh)	Kosten / Jahr (bei 0,3€ / kWh)
Alles außer Multiplexer	2,1 kW	1.533 kWh	460 €	5.520 €
1 Multiplexer alleine	0,5 kW	365 kWh	110 €	1.320 €
Alles inkl. 1 Multiplexer	2,6 kW	1.898 kWh	570 €	6.840 €
Alles inkl. 2 Multiplexer	3,1 kW	2.263 kWh	680 €	8.160 €
Alles inkl. 3 Multiplexer	3,6 kW	2.628 kWh	790 €	9.480 €
Alles inkl. 4 Multiplexer	4,1 kW	2.993 kWh	900 €	10.800 €
Alles inkl. 5 Multiplexer	4,6 kW	3.358 kWh	1.010 €	12.120 €

Tabelle 4-4: Gesamtstrombedarf und Kosten, je nach Anzahl der Multiplexer, im PayoutCenter

Ausgehend vom Strombedarf, der im Kapitel 3 ermittelt wurde mit 1.533 kWh/h pro Monat ohne Multiplexer und 365 kWh/h pro Monat pro Multiplexer, bzw. 18.396 kWh/h pro Jahr, ohne Multiplexer und 4.380 kWh/h pro Jahr pro Multiplexer, ergibt dies Stromkosten von 5.518 € / Jahr, ohne Multiplexer, sowie 1.314 € / Jahr pro Multiplexer.

Die ermittelten Kosten unterliegen mehreren Annahmen, die erst durch eine Detailplanung näher zu konkretisieren wären. Zunächst wäre zu ermitteln, welche Hardware konkret zum Einsatz kommen soll, dann wäre der tatsächliche Strombedarf unter realistischen Bedingungen zu ermitteln und zuletzt wäre für einen konkreten Standort der Preis für die Stromkosten zu ermitteln, wobei möglichst eine Laufzeit von 10 Jahren festzuschreiben wäre.

Energiekosten PayoutCenter	
Bei 1 Multiplexer	6.840 € / Jahr
Bei 2 Multiplexern	8.160 € / Jahr
Bei 3 Multiplexern	9.480 € / Jahr
Bei 4 Multiplexern	10.800 € / Jahr
Bei 5 Multiplexern	12.120 € / Jahr

Preisbox 4-5: Energiekosten PayoutCenter

⁴⁷ <https://www.hetzner.de/colocation/rack-basic>

⁴⁸ <https://www.hetzner.de/colocation/rack-advanced>

⁴⁹ Schätzung basierend auf einem nicht zur Weitergabe/Veröffentlichung geeigneten konkreten Angebot aus den letzten 3 Jahren.

⁵⁰ Komplettes Rack mit mindestens 40 HE

⁵¹ Schätzung basierend auf einem nicht zur Weitergabe/Veröffentlichung geeigneten konkreten Angebot aus den letzten 2 Jahren.

⁵² Aus der Machbarkeitsstudie zu HDTV (OK-TV) für die LMK von 2015, Seite 60

4.1.6 Zeitnormal (Taktsignal, Zeitinformation)

Bei der Firma Meinberg⁵³ wurde eine technische Lösung für die Realisierung von Zeit- bzw. Taktsignalen für Multiplexer angefragt. Es wurden hier mehrere Varianten ausgearbeitet und konkrete Preisangebote erstellt, die aber für die Studie nicht direkt benannt und aufgeschlüsselt werden können.

Ohne konkrete Referenz auf ein Angebot oder eine spezifische Lösung werden deshalb für die Umsetzung in einem Rechenzentrum 12.500 € für die Bereitstellung eines Zeitnormal angenommen, wobei diese Lösung dann für alle Multiplexer gleichermaßen genutzt werden kann. Es wird zudem ein Ersatzsystem eingeplant, das bei Ausfall des Hauptsystems zum Austausch genutzt werden kann. Für Reparaturen oder die Erneuerung von einzelnen Modulen werden pro Jahr pauschal 5% von Hauptequipment angesetzt. Die Anschaffung eines kompletten Ersatzgerätes innerhalb von 10 Jahren wäre damit nicht abgedeckt.

Zeitnormal im RZ	
Equipment	12.500 €
Ersatz	12.500 €
Gesamt	25.000 €
(für alle DAB-Ensembles)	
Erneuerung (5%)	625 €

Preisbox 4-6: Zeitnormal RZ

4.1.7 Betrieb

Als Schätzung werden als Basis pro Monat 2 Manntage durchschnittlicher Aufwand angenommen, für Bearbeitung von Störungen, notwendige betriebliche Arbeiten, Dokumentation, Koordination und Überprüfungen, sowie für notwendige Updates und wiederholte Schulungen für Betriebspersonal. Zusätzlich werden pro DAB-Ensemble (d.h. pro Multiplexer) ein zusätzlicher Manntag pro Monat angenommen. Es wird ein Tagessatz von 750 € angesetzt, ohne dies anhand von Angeboten möglicher Auftragnehmer nachzuprüfen.

Betrieb PayoutCenter	
1 Ensemble	27.000 € / Jahr
2 Ensemble	36.000 € / Jahr
3 Ensemble	45.000 € / Jahr
4 Ensemble	54.000 € / Jahr
5 Ensemble	63.000 € / Jahr

Preisbox 4-7: Betrieb PayoutCenter

Somit ergeben sich für ein DAB-Ensemble 3 Manntage pro Monat, 36 Manntage pro Jahr und somit Kosten von 27.000 €. Für jedes weitere DAB-Ensemble kommt 1 Manntag pro Monat hinzu, also 12 Manntage pro Jahr, somit 9.000 € für jedes weitere DAB-Ensemble

4.1.8 Planung, Aufbau, Schulung

Das PayoutCenter muss im Detail geplant werden, technische Lösungen sind abzuklären, Angebote einzuholen, das Equipment ist aufzubauen und zu konfigurieren. Das System ist zu dokumentieren und Betriebspersonal muss geschult werden. Die Verbindung zu den Senderstandorten müssen konfiguriert und geprüft werden. Hoher Aufwand ergibt sich insbesondere bei der Schulung mehrerer Personen, die den Betrieb gleichermaßen gut beherrschen und sich gegenseitig vertreten können. Der Bereich des DAB-Multiplexers und der Netzwerktechnik erfordert hier ggf. mehrtägige Schulungen, sofern noch kein entsprechendes Fachwissen verfügbar ist.

Die dafür notwendige Arbeitsleistung wird grob abgeschätzt auf Basis von Manntagen und dann über einen Tagessatz von 750 € berechnet.

⁵³ <https://www.meinberg.de/>

Als Basis für die grundsätzlich notwendige Planung und den Aufbau werden 40 Manntage angesetzt, sowie je 3 Manntage zusätzlich für jeden Multiplexer. Somit ergeben sich für ein DAB-Ensemble 43 Manntage und 32.250 € einmalige Kosten. Für fünf DAB-Ensemble ergeben sich entsprechend 55 Manntage und 41.250 €. Hier ergeben sich große Synergien durch den mehrfachen Einsatz und parallelen Betrieb gleichartiger Systeme.

Planung, Aufbau, Schulung	
1 Ensemble	32.250 € einmalig
2 Ensemble	34.500 € einmalig
3 Ensemble	36.750 € einmalig
4 Ensemble	39.000 € einmalig
5 Ensemble	41.250 € einmalig

Preisbox 4-8: Planung/Aufbau PlayoutCenter

4.1.9 Zusammenfassung der einmaligen und ensemblebezogenen Kosten

Investitionen	1 Ensemble	2 Ensembles	3 Ensembles	4 Ensembles	5 Ensembles
DAB Multiplexer	48.000 €	92.000 €	136.000 €	180.000 €	224.000 €
Monitoring / Überwachung	40.000 €	60.000 €	80.000 €	100.000 €	120.000 €
Planung, Aufbau, Schulung	32.250 €	34.500 €	36.750 €	39.000 €	41.250 €
Sonstiges Equipment inkl. Netzwerktechnik	20.000 €				
Rackspace Rechenzentrum	500 €				
Zeitnormal	25.000 €				
Summe (ohne Ersatzsender)	166.251 €	232.502 €	298.753 €	365.004 €	431.255 €
pro Ensemble (ohne Ersatzs.)	166.251 €	116.251 €	99.584 €	91.251 €	86.251 €
Ersatzsender *	176.000 € *				
Summe (mit Ersatzsender)	342.251 €	408.502 €	474.753 €	541.004 €	607.255 €
pro Ensemble (mit Ersatzs.)	342.251 €	204.251 €	158.251 €	135.251 €	121.451 €

Tabelle 4-5: Überblick aller einmaligen und ensemblebezogenen Investitionskosten.

*) Die Ersatzsender sind ein Grenzbereich, der im Abschnitt der senderstandortbezogenen Kosten (Kapitel 4.3.4) genauer hergeleitet und erläutert wird. Rein berechnungstechnisch bietet es sich an, diese Position pauschal hier bei den einmaligen Kosten mit anzusetzen, da eine Zuordnung zu spezifischen Senderstandorten nicht möglich ist. Eine gleichmäßige Aufteilung auf alle Standorte wäre für das landesweite Netz unterschiedlich zu handhaben wie für die Regionalvarianten, da hier die Anzahl der Senderstandorte abweichend ist.

Es wird eine geringe Anzahl Ersatzsender vorgesehen, die flexibel für unterschiedliche Standorte und Sendernetze verwendet werden kann. Diese Anzahl fällt unabhängig von der Anzahl der Sendernetze und der exakt verwendeten Standorte in jedem Fall an. Diese Position ist jedoch im Vergleich zu den sonstigen einmaligen und ensemblebezogenen Kosten relativ groß und kann leicht zu Irritationen führen. Sie ist deshalb hier gesondert ausgewiesen und es werden Summen mit und ohne diese Position ausgewiesen, die Summe dann aber inklusive der Ersatzsender berechnet und verwendet.

Würde man, was für diese Studie nicht gefordert war, vorsehen nur einzelne Sendernetze zu realisieren, ohne die gesamte landesweite Fläche abzudecken, würde sich somit die Anzahl der Senderstandorte verändern, so könnte dies auch Auswirkungen auf die Menge der vorzusehenden Ersatzsender haben. Insofern ist diese Position nicht gänzlich unabhängig von den Senderstandorten.

Für die nachfolgenden Berechnungen werden die einmaligen und ensemblebezogenen Kosten immer inklusive der Ersatzsender angegeben und berechnet.

Jährlich	1 Ensemble	2 Ensembles	3 Ensembles	4 Ensembles	5 Ensembles
DAB Multiplexer	5.400 €	10.000 €	14.600 €	19.200 €	23.800 €
Monitoring / Überwachung	2.000 €	3.000 €	4.000 €	5.000 €	6.000 €
Energiekosten PayoutCenter	6.840 €	8.160 €	9.480 €	10.800 €	12.120 €
Betrieb PayoutCenter	27.000 €	36.000 €	45.000 €	54.000 €	63.000 €
Sonstiges Equipment inkl. Netzwerktechnik	500 €				
Rackspace Rechenzentrum	6.000 €				
Zeitnormal	625 €				
Leitungsanbindung	12.000 €				
Summe (ohne Ersatzsender)	60.366 €	76.287 €	92.208 €	108.129 €	124.050 €
pro Ensemble (ohne Ersatzs.)	60.366 €	38.144 €	30.736 €	27.032 €	24.810 €
Ersatzsender Erneuerung *	8.800 € *				
Summe (mit Ersatzsender)	69.166 €	85.087 €	101.008 €	116.929 €	132.850 €
pro Ensemble (mit Ersatzs.)	69.166 €	42.544 €	33.669 €	29.232 €	26.570 €

Tabelle 4-6: Überblick aller einmaligen und ensemblebezogenen jährlichen Kosten.

*) Siehe auch vorhergehende Tabelle und Erläuterung zu den Ersatzsendern. Diese Position fällt bei den Investitionen wesentlich deutlicher aus, als hier bei den jährlichen Kosten. Sie hat auch hier jedoch eine Sonderrolle und liegt im Grenzbereich zwischen einmaligen Kosten und senderstandortbezogenen Kosten.

Für die nachfolgenden Berechnungen werden die einmaligen und ensemblebezogenen Kosten immer inklusive der Ersatzsender angegeben und berechnet.

Die Kosten für die einmaligen und ensemblebezogenen Kosten sind im Vergleich zu dem, was bei den Senderstandorten anfällt moderat. Das PayoutCenter muss nur einmal realisiert werden und es ergeben sich deutliche Synergien beim Betrieb mehrerer Multiplexer. Höhere Kosten die einmalig beim PayoutCenter anfallen, sind deshalb weniger kritisch und können meist auf mehrere DAB-Ensembles bzw. Sendernetze aufgeteilt werden.

4.2 Zuführung zu den Senderstandorten

4.2.1 Leitungsgebundene Zuführung

Während es für DSL-Zugänge zum offenen Internet verbindliche Preislisten verschiedener Anbieter gibt, ist dies bei dedizierten IP-Verbindungen zur Standortvernetzung nicht der Fall. In den meisten Fällen, liefern Anbieter auf konkrete Anfragen hin individualisierte Angebote, benötigen dann jedoch weitreichende Planungsdetails und knüpfen ihre Bemühungen an die Erwartung zu einem tatsächlichen Auftrag. Eine pauschale Offenlegung von Preisen oder Preismodellen, widerstrebt Anbietern zumeist, da die kalkulierten Preise eher von kaufmännischen Überlegungen, als von tatsächlichen technischen Kosten für die einzelnen Leitungsverbindungen herrühren. Die individuellen Angebote erfolgen meist vertraulich und als Paketpreise und können eine große Schwankungsbreite aufweisen. Soweit war dies aus Kundenkreisen zwar recherchierbar, doch es war schwierig Preise zu ermitteln, die auch in dieser Studie ausweisbar sind.

Die MPC Service GmbH⁵⁴, die sich auf Lösungen und Marktvergleiche von Carrierdiensten spezialisiert hat, konnte glücklicherweise für den geschilderten Anwendungsfall relativ gute Abschätzungen und Kostenrahmen zur Verfügung stellen und erlaubte die direkte Nutzung der Informationen in dieser Studie. Hierbei erfolgte keine Detailplanung und kein individuelles Angebot, sondern es wurden nur grundsätzliche Schätzwerte zur Verfügung gestellt.

Als Basis wurden symmetrische Verbindungen mit mindestens 3 Mbit/s, typisch aber 10 Mbit/s, auf Basis von Kupfer, zu einem Flatrate Preis angenommen:

- 10 Mbit/s MPLS Anbindung ca. 400 € – 600 € mtl. pro Leitung
- Layer 2 LAN-Link Anbindung ca. 350 € (nah) – 700 € (fern)

Auf der Webseite weist die MPC Service GmbH bereits ungefähre Beispielpreise zur Orientierung⁵⁵ aus, mit etwa 400 – 650 € mtl. pro Standort, für eine MPLS basierte Standleitung.

Bei MPLS basierten Verbindungen hängen die Kosten eher davon ab, wie ein Standort angebunden und erreichbar ist, während bei Layer 2 LAN-Link die Entfernung zwischen den Standorten einen relevanten Einfluss hat. Grundsätzlich geht man davon aus, dass bis zu 10 Mbit/s auf Kupferkabeln nahezu überall grundsätzlich technisch möglich sind.

Für diese Studie wurde die Entscheidung, welche Technik verwendet wird, vermieden, zumal diese ähnliche Kostenrahmen haben. Zur Abschätzung der Unterschiede zwischen den Standorten wurden die Klassifizierungen nach L- und D-Klassen herangezogen in einer Mischberechnung. Zudem wird für die weitere Berechnung der etwas modifizierte Kostenrahmen von 400 € - 800 € pro Monat, je angebundenem Standort angesetzt, um hier einen kleinen Puffer vorzusehen, aufgrund der vielen theoretischen Annahmen und um eine zusätzliche DSL-Internet-Anbindung für Wartungszwecke pauschal mit zu inkludieren.

Es werden somit 4.800 € bis 9.600 € pro Jahr und Standort angenommen. Um dies abzubilden auf die D-/L-Klassen wird jeweils ein Faktor definiert, sodass sich als Kombination der Faktoren ungefähr der vorgesehene Bereich ergibt (konkret 4.800 € bis 9.679 €).

Anbindung Senderstandorte	
Einmalig (Setup)	500 €
Jährlich	4.800 – 9.679 €

Preisbox 4-9: Anbindung Standorte

⁵⁴ <https://www.mpcservice.com/>

⁵⁵ <https://www.mpcservice.com/mpls/mpls-kosten/>

D-Klasse	Faktor	L-Klasse	Faktor
D1	1,00	L1	1,00
D2	1,14	L2	1,14
D3	1,28	L3	1,28
D4	1,42	L4	1,42

Tabelle 4-7: Faktoren für die weitere Berechnung entsprechend der L-Klasse bzw. D-Klasse.

Die Faktoren 1,0 bis 1,42 wurden so gewählt, dass diese in Kombination ungefähr den vorgegebenen Kostenrahmen aufspannen, sind aber ansonsten weitgehend willkürlich.

Einmalige Investitionskosten werden pauschal für alle Klassen mit 500 € angenommen, entsprechend einer Art Aufschaltgebühr. Dies deckt jedoch keine Fälle ab, in denen zunächst Leitungen neu verlegt werden müssen und die Kosten umgelegt werden. Solche Fälle, sind aber allenfalls mit Detailplanungen und keinesfalls im Rahmen dieser Studie erfassbar.

Beispiele:

- Ein Standort der Klasse D2/L4 wird mit $1,14 * 1,42 * 4.800$ € pro Jahr angesetzt.
- Ein Standort der Klasse D4/L1 wird mit $1,42 * 1,00 * 4.800$ € pro Jahr angesetzt.

Somit ergibt sich:

Betrieb	L1	L2	L3	L4
D1	4.800 €	5.472 €	6.144 €	6.816 €
D2	5.472 €	6.238 €	7.004 €	7.770 €
D3	6.144 €	7.004 €	7.864 €	8.724 €
D4	6.816 €	7.770 €	8.724 €	9.679 €

Tabelle 4-8: Matrix mit den Preisen der leitungsgebundene Zuführung entsprechend der D-/L-Klasse

Die Anbindung des PlayoutCenter / Multiplexer Standortes ist gesondert zu betrachten, da hier deutlich höhere Datenraten auftreten können.

- 3 – 15 Mbit/s bei Verwendung von Multicast
- 45 – 51 Mbit/s bei Verwendung von Unicast

Die Anzahl der Ensembles hat somit hier den kleineren Einfluss, während die verwendete Technik (Multicast oder Unicast) den größeren Einfluss hat. Eine pauschale Abschätzung erscheint hier am sinnvollsten:

Die Anbindung ist nur einmal notwendig und wird mit pauschal 12.000 € pro Jahr angesetzt, also mit 1.000 € monatlich. Die Bereitstellung wird auch hier einmalig mit 500 € abgeschätzt.

Anbindung PlayoutCenter	
Einmalig (Setup)	500 €
Jährlich	12.000 €

Preisbox 4-10: Anbindung PlayoutC.

Senderstandort	D-/L-Klasse	Jährlich	umgerechnet, pro Monat
Bad Marienberg	D4/L2	7.770 €	648 €
Ahrweiler	D2/L3	7.004 €	584 €
Koblenz-Waldesch	D1/L2	5.472 €	456 €
Eifel	D2/L3	7.004 €	584 €
Bitburg	D2/L1	5.472 €	456 €
Trier-Petrisberg	D2/L2	6.238 €	520 €
Saarburg	D3/L4	8.724 €	727 €
Haardt Kopf	D1/L4	6.816 €	568 €
Bad Kreuznach	D2/L2	6.238 €	520 €
Mainz-Kastel	D3/L1	6.144 €	512 €
Worms	D4/L1	6.816 €	568 €
Idar-Oberstein	D1/L4	6.816 €	568 €
Donnersberg	D2/L4	7.770 €	648 €
Ludwigshafen	D4/L1	6.816 €	568 €
Kalmit/Edenkoben	D4/L4	9.679 €	807 €
Bornberg	D2/L4	7.770 €	648 €
Kaiserslautern-Dansenberg	D3/L2	7.004 €	584 €
Kettrichhof	D4/L3	8.724 €	727 €
Eifel	D2/L3	7.004 €	648 €
Bitburg	D2/L1	5.472 €	584 €
Trier-Petrisberg	D2/L2	6.238 €	456 €

Tabelle 4-9: Überblick aller Standorte mit D-/L-Klasse und den resultierenden Kosten für Zuführungsleitungen.

Zusammengefasst nach Regionen und Sendernetzen ergibt sich:

Region / Sendernetz	Jährlich	Kombinierte Sendernetze	Jährlich
Koblenz	20.246 €	Koblenz/Trier	54.501 €
Trier	34.255 €		
Rheinhausen	26.014 €	Trier/Rheinhausen	60.269 €
Rheinpfalz	16.495 €	Pfalz	39.994 €
Westpfalz	23.499 €		
Summe Regionen (Varianten 2, 3, 4, 5)	120.509 €	Landesweit (Variante 1)	107.831 €

Tabelle 4-10: Regionen/Sendernetze-Tabelle mit den leitungsgebundenen Zuführungskosten (pro Jahr)

Der Unterschied zwischen der Summe der Regionen (120.509 €) und dem landesweiten Betrag (107.831 €) ergibt sich da der Donnersberg im landesweiten Worms, Idar-Oberstein und Ludwigshafen ersetzt. Die Gesamtkosten der Planungsvarianten 2, 3, 4 und 5 liegen jeweils identisch bei der Summe der Regionen (120.509 €), da hier jeweils identische Standorte verwendet werden. Umgerechnet pro Monat ergibt sich:

Region / Sendernetz	pro Monat	Kombinierte Sendernetze	pro Monat
Koblenz	1.667 €	Koblenz/Trier	4.542 €
Trier	2.855 €		
Rheinhausen	2.168 €	Trier/Rheinhausen	5.022 €
Rheinpfalz	1.375 €	Pfalz	3.333 €
Westpfalz	1.958 €		
Summe Regionen (Varianten 2, 3, 4, 5)	10.042 €	Landesweit (Variante 1)	8.986 €

Tabelle 4-11: Regionen/Sendernetze-Tabelle mit den leitungsgebundenen Zuführungskosten (pro Monat)

4.2.2 Zuführung via Satellit (als alternative Option)

Als Alternative wurde die Zuführung mittels Satellit ermittelt. Hier ist pro DAB-Ensemble ein eigener Satellitenkanal anzusetzen. Das bedeutet, dass sich die Kosten erhöhen, wenn mehrere Regionalmultiplexe statt einem landesweiten Multiplex realisiert werden. Andererseits erhöhen sich die Kosten kaum, wenn mehr Senderstandorte angebunden werden. Für eine spätere Verdichtung des Sendernetzes, würden sich hier also Vorteile ergeben.

Der Hauptvorteil einer Satellitenzuführung ist die gute Erreichbarkeit aller Standorte. Die Montage einer Satellitenempfangsanlage am Senderstandort ist typischerweise immer möglich, selbst bei weit abgelegenen Standorten, die anderweitig kaum erreichbar sind. Somit bietet eine Zuführung via Satellit eine valide Rückfalllösung, wenn sich bei der Detailplanung Probleme zeigen sollten.

Eine bidirektionale Anbindung ist über Satellit jedoch typischerweise nicht möglich. Somit verhält sich die Satellitenzuführung ähnlich wie die Multicastlösung über Leitungswege. Beim Satellit kommt jedoch eine deutlich längere Gesamtsignallaufzeit hinzu, da die typischerweise verwendeten geostationären Satelliten in 36.000 km Höhe stehen und allein die Funkübertragung mindestens 240 Millisekunden benötigt. Insgesamt wird für die Satellitenstrecke sogar mit etwa einer Sekunde Signallaufzeit gerechnet, aufgrund der mehrfachen Umsetzung des Signals auf sequentielle Übertragungswege.

Es wurden Anfragen bei verschiedenen Anbietern gestellt, jedoch konnten mehrere leider keine Informationen zuliefern für diese Studie. Ein Anbieter gab zwar Auskunft, wollte aber anonym bleiben, mit dem Hinweis darauf, dass für verlässliche Preisinformationen eine wesentlich genauere Planung erforderlich wäre, bei der die technische Realisierung genauer projiziert werden müsste.

Auf Basis der vom Anbieter genannten Preisrahmen und inoffizieller Informationen von Kunden, die hier nicht näher ausweisbar sind, kann ein ungefährender Kostenrahmen abgeschätzt werden. Demnach liegen die Gesamtkosten für die Zuführung eines DAB-Ensembles via Satellit bei mindestens 40.000 € pro Jahr pro DAB-Ensemble. Als obere Grenze kann man etwa 260.000 € pro Jahr pro DAB-Ensemble annehmen. Die Preisunterschiede ergeben sich zum einen durch die Wahl entsprechend günstiger oder teurer Satelliten und zum anderen aufgrund unterschiedlicher technischer Realisierung beim Uplink und den Downlinks, sowie beim Übertragungsprotokoll und der Zuführung zum Uplink, die in diesen Preisen bereits inkludiert ist.

Bei umsichtiger Planung und im Rahmen von Rabatten und Synergien, die sich bei mehreren Ensembles ergeben, erscheinen die 40.000 € durchaus als möglich, aber keineswegs sicher.

Nimmt man zur Betrachtung fünf exemplarische Preise an, so ergibt sich folgendes Bild für den Betrieb von ein bis fünf Ensembles:

Ensemble- anzahl	minimal	niedrig	mittel	hoch	maximal
1	40.000 €	60.000 €	100.000 €	150.000 €	260.000 €
2	80.000 €	120.000 €	200.000 €	300.000 €	520.000 €
3	120.000 €	180.000 €	300.000 €	450.000 €	780.000 €
4	160.000 €	240.000 €	400.000 €	600.000 €	1.040.000 €
5	200.000 €	300.000 €	500.000 €	750.000 €	1.300.000 €

Tabelle 4-12: Überblick über mögliche Kostenrahmen bei Satellitenzuführung von ein bis fünf DAB-Ensembles.

Demgegenüber stehen abgeschätzte Kosten für die leitungsgebundene Zuführung von insgesamt 120.509 € (Varianten 2, 3, 4 und 5) bzw. 107.831 € (Variante 1).

Sofern man einen niedrigen Preis für die Satellitenübertragung realisieren kann und ein landesweites Ensemble realisiert, könnte sich die Satellitenzuführung somit wirtschaftlich durchaus lohnen. Für den mittleren hier angenommenen Preis würde sich kein wesentlicher Unterschied ergeben.

Für die Planungsvarianten mit drei oder mehr Ensembles, wäre auch eine günstige Satellitenzuführung insgesamt nicht attraktiver als eine leitungsgebundene Zuführung. Es wäre aber denkbar die zwei großen kombinierten Sendernetze „Koblenz/Trier“ oder „Trier/Rheinhausen“ per Satellit zu versorgen, während die Senderstandorte der anderen Sendernetze über Leitungswege versorgt würden.

Da die Kosten für die Satellitenübertragung nicht (oder kaum) von der Anzahl der Standorte abhängt, wäre für die Detailplanung eine exemplarische Realisierungsoption für die Übertragung eines DAB-Ensembles mit verbindlichen Preisen durchzuführen. Wenn sich dann für die parallele Planung von leitungsgebundenen Zuführungen zeigt, dass man bei einem Sendernetz über den Preis der Satellitenzuführung käme, würde man den Satellitenweg bevorzugen. Somit dient der Satellit als eine Rückfalllösung und ein Kostendeckel bei der Zuführung.

Dies kann besonders dann relevant werden, wenn für einzelne Standorte die leitungsgebundene Zuführung ungeahnt aufwändig wird und zum Beispiel Erdarbeiten zur Verlegung neuer Leitungsanbindungen erforderlich werden und dabei den Kostenrahmen zu sprengen drohen.

Langfristig hätte eine Satellitenzuführung zudem den Vorteil, dass weitere Standorte, zur Sendernetzverdichtung mit kleinen und kleinsten Sendern, relativ kostengünstig anbindbar sind und sich somit leichter hinzufügen lassen. Insbesondere bei DAB ist die Möglichkeit kleine Füllsender zu verwenden attraktiv, da hierzu keine zusätzlichen Sendefrequenzen erforderlich sind. Für einen schrittweisen Aufbau eines Sendernetzes hat die Satellitenzuführung hingegen den Nachteil, dass sofort relativ hohe Grundkosten anfallen, auch wenn zunächst nur eine kleine Zahl Senderstandorte realisiert wird.

Da die Preisinformationen für die Satellitenzuführung ohne Detailplanung nicht genauer eingrenzbar waren und die Kosten der mittleren Preise keinen wesentlichen Vorteil oder

keine wesentliche Änderung der Gesamtkosten bringen würden, wird die Zuführung per Satellit in dieser Studie nicht weiter betrachtet, sondern die leitungsgebundene Zuführung für die weiteren Berechnungen herangezogen.

4.2.3 Zuführung per Richtfunk

Der SWR nutzt zur Zuführung zu seinen Senderstandorten überwiegend Richtfunkanbindungen. Auf Anfrage teilte er jedoch mit, dass eine Mitnutzung leider nicht möglich ist, da hier keine ausreichenden Kapazitätsreserven verfügbar sind.

Der Aufbau einer eigenen Richtfunkzuführung macht keinen Sinn, da hier hohe Investitionskosten für jeden einzelnen Standort anfallen würden. Zudem wären entsprechende Gegenstellen in Sichtweite notwendig. Eine einmal aufgebaute Richtfunkstrecke hat dann den Vorteil von vergleichsweise niedrigen Betriebskosten bei einer hohen Datenrate. Diese könnte aber mit nur einem DAB-Ensemble nicht einmal annähernd ausgenutzt werden.

Eine Anbindung per Richtfunk wäre somit allenfalls in besonderen Fällen zu prüfen, wenn leitungsgebundene Zuführung nicht möglich ist. Vermutlich wäre dann aber die Zuführung mittels Satellit eine ebenso prüfungswerte Alternative.

4.3 Senderstandortbezogene Kosten

4.3.1 Antennenneubau

Für mehrere Standorte ist der Neubau von Antennen vorzusehen. Die Kosten für den Neubau haben sich als durchaus erheblich herausgestellt, die genaue Abschätzung ist ohne detaillierte standortspezifische Planung jedoch nicht möglich.

Es wurden Informationen eingeholt, jedoch kann keine konkrete Quelle genannt werden, da die beteiligten Unternehmen die Verwendung von Informationen nur unter dem Vorbehalt der Anonymität genehmigt haben. Hintergrund ist die sehr unkonkrete Basis auf der die Schätzungen und Beispielangebote erfolgen mussten.

Es fallen grundsätzlich folgende Posten an:

- Antennenanlage (Einzelteile, Produktion), je nach Typ und Größe
- Speisekabel, je nach Länge und Antennentyp (ggf. mehrere Kabel erforderlich)
- Umschaltfeld
- Weiche, inklusive Filter, mit Eingang für spätere Erweiterung und Mitnutzung
- Montage (insbesondere die Antennen-Montage am Turm)

Es wird davon ausgegangen, dass bei einem Neubau die spätere Mitnutzung durch Dritte als Option erhalten bleiben soll, deshalb ist eine Weiche mit entsprechendem Eingang vorzusehen.

Erhebliche Abweichungen im Preis sind insbesondere durch unterschiedliche Montageanforderungen am Turm möglich. Diese Unwägbarkeiten werden im Rahmen einer Detailplanung aufwändig erarbeitet und ausgeräumt, stecken in dieser Studie aber als generelle Ungenauigkeit beim Punkt Antennenneubau. Die hier angenommenen und in Beispielangeboten vorgelegten Kosten, beziehen sich tendenziell auf relativ teure Fälle. Bei der Detailplanung wird man versuchen diese Kosten zu senken oder im Falle von noch höheren Realisierungskosten auf andere Lösungen und andere Standorte umzuplanen.

Es gibt eine Reihe möglicher Antennentypen die zum Einsatz kommen können und die sich bezüglich Montagekosten, Herstellungskosten, Antennengewinn und Turmmiete jeweils stark unterschiedlich darstellen und individuelle Vor- und Nachteile haben, die man für den jeweils individuellen Fall mit verbindlichen Preisinformationen abwägen muss, um die ökonomischste Möglichkeit zu finden. In dieser Studie war dies nicht möglich und es wurden nur zwei typische DAB-Felder-Antennen mit jeweils vier Spalten und zwei bzw. vier Ebenen abgeschätzt und verglichen.

Posten	Zwei Ebenen	Vier Ebenen	Differenz
Antennenanlage	70.000 €	110.000 €	40.000 €
Montage	130.000 €	160.000 €	30.000 €
Umschaltfeld	25.000 €	25.000 €	-
Weiche	30.000 €	30.000 €	-
Leitungen, Kleinteile, sonstiges	25.000 €	25.000 €	-
Summe Investitionskosten	280.000 €	350.000 €	70.000 €
5% Erneuerung / Jahr	14.000 €	17.500 €	3.500 €

Tabella 4-13: Beispielkosten Anschaffung und Montage für zwei verschiedenen Antennentypen mit Weiche

Für diese Studie wird ausschließlich die Zwei-Ebenen Antenne für die weitere Berechnung angenommen, wie weiter unten erläutert.

Im Fall eines Antennenneubaus, fallen durch den Betrieb, z.B. Prüfung, Wartung der Antennen und Halterungen, sowie für Mietkosten des Standortes, weitere jährliche Kosten an, die für eine Antennenmitbenutzung schon in die Mitbenutzungspreise eingerechnet sind.

Die Kosten sind typisch:

- Betriebskosten (Wartung, Prüfung)
- Grundmiete am Standort (t.w. auch abhängig von Montagehöhe der Antenne)
- Turmmiete (t.w. auch als „Antennenmiete“ bezeichnet), Abhängig von der Windlast und Größe der Antenne, sowie von der Montagehöhe am Turm

Die Betriebskosten können hier nur abgeschätzt werden und werden in der Praxis meist als Paket über verschiedene Standorte und längere Laufzeiten bepreist.

Die Grundmiete und Turmmiete ließe sich auf Basis des genauen Antennentyps, der Preisliste und der Montagehöhe der Antenne zwar ermitteln, jedoch sind diese Preislisten für diese Studie hier nicht direkt verwendbar bzw. nicht vollumfänglich bekannt. Zudem unterliegen sie keiner Regulierung, weshalb verbindliche Aussagen ohnehin nicht möglich sind. Bei der überwiegenden Zahl der Standorte ist die Deutsche Funkturm (DFMG) der eigentliche Standortbetreiber. Die Media Broadcast mietet die Ressourcen hier an und rechnet Kosten, ggf. mit Aufschlägen durch, bietet dafür aber auch den Betrieb mit an. Die Deutsche Funkturm übernimmt hingegen keinen Betrieb. Zudem kann es von Vorteil sein, beim Neubau von Antennen über die Media Broadcast zu gehen, da die Grundmiete der Deutschen Funkturm jeweils nur einmalig anfällt pro Kunde, unabhängig von der Anzahl der Antennen.

Obwohl die Preislisten für die Studie nicht direkt verwendbar sind und die Media Broadcast bis zum Redaktionsschluss keine eigenen Informationen zuliefern konnte, gibt es Preisinformationen von der Deutschen Funkturm und grobe Abschätzungen von Dritten.

Demnach muss man davon ausgehen, dass die Grundmiete bei DAB-Antennen einen ganz erheblichen Anteil an den Gesamtkosten ausmachen kann, mit etwa 2.000 € bis 60.000 €

pro Jahr, abhängig von der Montagehöhe der Antenne. Diese Kosten lassen sich zumindest teilweise einsparen, über die Media Broadcast, wenn diese weitere Antennen am Standort hat und einem die Grundmiete nur teilweise in Rechnung stellt.

Grundsätzlich können alle Preisinformationen hinfällig sein, wenn aufgrund weniger Nutzer, die Deutsche Funkturm, ihre hohen Grundkosten für den Erhalt der Sendetürme, auf wenige einzelne Nutzer umlegt und sich dadurch die Preise erhöhen. Im Extremfall kann es vorkommen, dass nur ein einziger Nutzer die Gesamtkosten des Standortes zu tragen hätte. Würde dies passieren, wäre ein solcher Standort wirtschaftlich nicht tragbar und man müsste auf einen anderen Standort umplanen. Für die Nutzung werden in der Regel langfristige Verträge von 10 Jahren abgeschlossen, die einem hier Planungssicherheit verschaffen. Dies ist insbesondere wichtig, da die Montagekosten für die Antennen erheblich sind und man eine einmal verbaute Antenne somit nicht einfach umziehen kann.

Für diese Studie werden die Gesamtmietkosten inklusive von kleineren Pauschalen für weitere direkt auf den Antennenneubau bezogenen Kosten, gemeinsam abgeschätzt und ausgewiesen, entsprechend der angenommenen N-Klassifizierung. Dabei wird grundsätzlich nur mit der Zwei-Ebenen Antenne geplant.

N-Klasse		pro Jahr	Standorte
1	sehr günstig	15.000 €	
2	günstig	30.000 €	Bitburg, Idar-Oberstein, Worms
3	mittel	60.000 €	Ahrweiler, Bad Kreuznach
4	teuer	120.000 €	Ludwigshafen
5	sehr teuer	240.000 €	

Tabelle 4-14: Überblick der N-Klasse, Kosten und der Zuordnung der Standorte.

Preisliche Unterschiede ergeben sich vor allem durch die unterschiedliche geplante Montagehöhe der Standorte. In einigen Fällen ist diese im Falle einer Realisierung leicht zu korrigieren, wie die Deutschen Funkturm in einer Auskunft unverbindlich anmerkt:

Standort	Höhe geplant	Höhe korrigiert	N-Klasse	Inhaber / Betreiber
Ahrweiler	125 m	115 m	3	DFMG / MB
Bitburg	40 m	54 m	2	DFMG / MB
Bad Kreuznach	110 m		3	DFMG / MB
Worms	66 m		2	SWR
Idar-Oberstein	49 m	57 m	2	DFMG / MB
Ludwigshafen	130 m		4	DFMG / MB

Tabelle 4-15: Überblick nach Standorten mit Antennenneubau mit N-Klasse, Betreiber und Antennenhöhe

Am Standort Bad Kreuznach konnte nicht abschließend geklärt werden, ob bereits eine DAB-Antenne vorhanden ist, die mitgenutzt werden kann, da es widersprüchliche Angaben gab. Für diese Studie wurde deshalb ein Neubau eingeplant.

Für den SWR Standort gelten in der Praxis möglicherweise abweichende Preismodelle. Hier wurde der Preis entsprechend der Modelle der N-Klasse mit abgeschätzt. Spezifische Informationen zum Neubau an diesem Standort wurden vom SWR nicht bereitgestellt.

In dieser Studie nicht berücksichtigt wurden die Kosten für den Rückbau der Antennenanlage, falls diese nicht weiter genutzt und nicht montiert weiterveräußert werden. Buchhalterisch sind diese Rückbaukosten möglicherweise mit vorzusehen, andererseits könnte auch ein Restwert für die montierte Antennenanlage angenommen werden. Wird der Betrieb fortgesetzt und die Antenne weiter genutzt, kommt keine dieser Optionen zum Zug. Für die Realisierung ist strategisch zu planen und zu entscheiden, für welchen Fall man sich aufstellen will. Für diese Studie wurde der Bereich ausgeklammert und bezüglich der Kostenrechnung ignoriert.

Antennenneubau	
Investition	280.000 € einmalig
Gesamtmiete:	
N-Klasse 2	30.000 € jährlich
N-Klasse 3	60.000 € jährlich
N-Klasse 4	120.000 € jährlich
Erneuerung:	14.000 € jährlich (unabhängig von der Klasse)

Preisbox 4-11: Antennenneubau

4.3.2 Vier- vs. Zwei-Ebenen-Antenne

Diese Studie beschränkt sich auf die Betrachtung von zwei Antennentypen, wie im Kapitel 3.5 aufgeschlüsselt. Für die Detailplanung können weitaus mehr Antennentypen mit individuellen Vor- und Nachteilen herangezogen und durchgerechnet werden, entsprechend dem hier veranschaulichten Vorgehen. In dieser Studie ist die Entscheidung auf die Frage beschränkt, ob die Investition in eine kostspieligere Vier-Ebenen-Antenne lohnt, da sie etwa die Hälfte der benötigten Energiekosten einspart oder eine Zwei-Ebenen-Antenne zu bevorzugen ist.

Aufgrund der angenommenen Preismodelle, wurden Berechnungen durchgeführt die deutlich zeigten, dass die Vier-Ebenen-Antenne für die betrachteten Fälle aller Voraussicht nach nicht lohnt. Sie hat etwa 70.000 € höhere Investitionskosten und zusätzlich erhöhen sich die Kosten für die Turmmiete auf das Doppelte. Demgegenüber stehen Kosteneinsparungen beim Strom, die aber bei weitem nicht ausreichen, um die höheren Investitionskosten innerhalb von 10 Jahren zu kompensieren. Es wäre sogar vermutlich so, dass die Mehrkosten bei der Miete höher wären, als die Einsparungen bei der Energie und sich somit die größere Antenne nie lohnen würde.

Die Grundlagen für die Berechnung sind nicht präzise und verbindlich genug, um eine letztgültige Aussage zu treffen. Die Details der Berechnung können nicht offengelegt werden, da darin immanent vertrauliche Preisinformationen inkludiert sind, für die keine Genehmigung zur Weitergabe oder Offenlegung vorliegt. Diese Preisinformationen wären für Dritte ohnehin völlig unverbindlich und ggf. nicht realisierbar.

Zur Vereinfachung und besseren Übersichtlichkeit wurde die 4-Ebenen-Antenne komplett fallengelassen. In dieser Studie wird deshalb nur mit der Zwei-Ebenen Antenne weitergerechnet.

Am ehesten wäre noch der Standort Ahrweiler mit seinen 8 kW ERP für eine Vier-Ebenen-Antenne in Betracht gekommen, dennoch reichen selbst hier die Vorteile nicht aus. Ein anderes Bild würde sich ergeben wenn man eine Mitnutzung der Antenne annimmt, denn durch die über die Antenne dann abgestrahlte höhere Gesamtleistung, wären höhere Einsparungen bei den Energiekosten zu erzielen. Gleichzeitig würde sich die Turmmiete und Grundmiete nicht weiter erhöhen und ließe sich durch mehrere Mitnutzer aufteilen. Eine solche Mitnutzung wurde hier jedoch nicht angenommen.

4.3.3 Antennengewinn / Gesamtgewinn

Entsprechend der Annahme dass beim Antennenneubau eine Zwei-Ebenen Antenne eingesetzt wird, wird der Faktor 2 für den Gesamtgewinn angesetzt. Bei der Vier-Ebenen Antenne hätte der Faktor 4 betragen.

Bei den mitgenutzten Standorten ist der tatsächliche Gewinn nicht bekannt, wird jedoch ebenfalls pragmatisch mit zwei angenommen. Sollten hier andere Antennentypen verbaut sein, wäre der Gewinn eventuell höher und es würden somit niedrigere Kosten anfallen. Der Gewinn Faktor zwei wird in dieser Studie für ungerichtete wie gerichtete Aussendung gleichermaßen angenommen.

Ursprünglich wurden verschiedene Antennentypen und Gewinn Faktoren vorgesehen und durchgerechnet. Die Gründe die zur differenzierten Betrachtung geführt hatten, konnten mit Fortschritt der Recherche aber nicht genügend untermauert werden und wurden bewusst verworfen.

Mangels Informationen von den angefragten Antennenbetreibern, war es am sinnvollsten hier keine abstrakten Annahmen über Unterschiede bei den Standorten in die Studie hinzuzufügen, sondern mit einheitlichen Basiswerten zu rechnen, die plausibel sind, aber die sich in der Praxis als zu niedrig herausstellen könnten, sodass im Endeffekt ein realer Betrieb etwas kostengünstiger ausfallen könnte.

Somit unterliegende diese Werte einer Reihe von Annahmen, die in der Detailplanung ggf. zu konkretisieren oder zu korrigieren sind.

Der hier festgelegte Gewinn Faktor 2 wird nachfolgend für die Ermittlung der passenden Senderklasse und für die Ermittlung des Energieverbrauchs und somit der Stromkosten benötigt und herangezogen.

4.3.4 Sender

Der Senderhersteller Rohde & Schwarz⁵⁶ wurde nach Listenpreisen für mögliche DAB-Sender und typischen Leistungsklassen angefragt. Rohde & Schwarz bietet im Bereich der Sendetechnik marktübliche Lösungen an. Eine weitergehende Marktrecherche wurde nicht durchgeführt. Die genannten Preise sind „Budgetpreise“, bei denen keine Rabatte berücksichtigt wurden.

Es wurden grundsätzlich drei verschiedene Typen (Generationen) von Sendern genannt, die sich bezüglich ihrer Sendeleistungsklassen überschneiden, aber unterschiedliche Bereiche abdecken.

⁵⁶ <https://www.rohde-schwarz.com/>

Die Generation SLA („Tischsender“), reicht von 40 W bis 300W. Die Generation TMV9⁵⁷ ist luftgekühlt und reicht von 350 W bis 4300 W. Die Generation THV9⁵⁸ ist flüssiggekühlt und reicht von 1,3 kW bis 30 kW.

Die weiteren bei diesen Sendertypen möglichen Leistungsklassen, werden bei DAB typischerweise nicht ausgenutzt. In den genannten Budgetpreisen wurden nur typische Sender und Leistungsklassen aufgeführt.

Ausgangsleistung	SLA („Tischsender“)	TMV9 (luftgekühlt)	THV9 (flüssiggekühlt)
	40 – 300 Watt	350 – 4300 Watt	1,3 kW – 30 kW
300 W	10.000 €	16.000 € [1]	
700 W		21.000 € [1]	
1,3 kW		35.000 € [2]	45.000 € [1]
2,5 kW			55.000 € [2]
3,6 kW			65.000 € [3]
5 kW			75.000 € [4]

Tabelle 4-16: Überblick der Budgetpreise für typische DAB-Sender unterschiedlicher Typen.

Die angegebenen Ausgangsleistungen wurden teils leicht gerundet und mit ähnlichen Leistungsklassen von anderen Generationen in eine Zeile gesetzt, um die Vergleichbarkeit zu erhöhen.

Die Preise beinhalten bereits das Kühlsystem.

In eckigen Klammern wurde hinter dem Preis die Anzahl der jeweils eingebauten Verstärkermodule aufgeführt. Die Sender sind hier weitgehend modular und können durch zusätzliche Verstärkermodule zu höheren Leistungen ausgebaut oder durch Stilllegung von Verstärkermodulen in ihrer Leistung und ihrem Stromverbrauch reduziert werden. Bei Defekt eines Verstärkermoduls reduziert sich die Gesamtleistung, ohne, dass der Sender zwingend insgesamt ausfällt. Zur Reparatur wird das defekte Modul ausgetauscht. Somit ist es notwendig passende Module als Ersatzhardware bereit zu halten. Deshalb bietet es sich an, die Variationen der Sendertypen gering zu halten, um die Kosten bei der Ersatzhardware gering, bzw. die Flexibilität bei Havarie oder Umbauten hoch zu halten.

Die genannten Ausgangsleistungen der Sender, sind mit den recherchierten bzw. angenommenen Antennengewinnen zu verrechnen.

⁵⁷ https://www.rohde-schwarz.com/de/produkt/tmv9-produkte_63492-45633.html

⁵⁸ https://www.rohde-schwarz.com/de/produkt/thv9-produkte_63492-45320.html

Aus diesen Preisen wurde direkt die Leistungsklasse der Sender (S-Klasse) abgeleitet. Bei Grenzfällen ist die nächst höhere Leistungsklasse zu wählen. Wenn mehrere Optionen für eine Leistungsklasse verfügbar sind, wird die teurere für die weitere Abschätzung angesetzt.

S-Klasse	Ausgangsleistung		Sendertyp [Verstärkermodule]	Investitionskosten	5% Erneuerung
	>	≤	(als Beispiel)	einmalig	jährlich
1		0,3 kW	TMV9 [1]	16.000 €	800 €
2	0,3 kW	0,7 kW	TMV9 [1]	21.000 €	1.050 €
3	0,7 kW	1,3 kW	THV9 [1]	45.000 €	2.250 €
4	1,3 kW	2,5 kW	THV9 [2]	55.000 €	2.750 €
5	2,5 kW	3,6 kW	THV9 [3]	65.000 €	3.250 €
6	3,6 kW	5,0 kW	THV9 [4]	75.000 €	3.750 €

Tabelle 4-17: Zuordnung von Budgetpreisen zur Leistungsklasse der Sender (S-Klasse)

Zusätzlich zu den Sendern werden Maskenfilter benötigt (die in den Preisen für die Sender noch nicht enthalten sind) oder alternativ Filterweichen. Der Preisrahmen hierzu wurde mit ca. 5.000 – 12.000 €, abhängig von der Leistung, abgeschätzt, ebenso 5% Erneuerung pro Jahr. Dies wurde den Kosten für die Sender hinzugerechnet.

S-Klasse	Maskenfilter		Sender		Summe	
	Investition einmalig	Erneuerung jährlich	Investition einmalig	Erneuerung jährlich	Investition einmalig	Erneuerung jährlich
1	5.000 €	250 €	16.000 €	800 €	21.000 €	1.050 €
2	5.000 €	250 €	21.000 €	1.050 €	26.000 €	1.300 €
3	6.000 €	300 €	45.000 €	2.250 €	51.000 €	2.550 €
4	8.000 €	400 €	55.000 €	2.750 €	63.000 €	3.150 €
5	10.000 €	500 €	65.000 €	3.250 €	75.000 €	3.750 €
6	12.000 €	600 €	75.000 €	3.750 €	87.000 €	4.350 €

Tabelle 4-18: S-Klasse mit Investitionen und jährlichen Kosten für Sender und Maskenfilter.

Sender	ERP	D / ND	Gewinn (Faktor)	Leistung	S-Klasse
Bad Marienberg	10,0 kW	ND	2	5,0 kW	6
Ahrweiler	8,0 kW	D	2	4,0 kW	6
Koblenz-Waldesch	10,0 kW	D	2	5,0 kW	6
Eifel	4,0 kW	D	2	2,0 kW	4
Bitburg	5,0 kW	ND	2	2,5 kW	4
Trier-Petrisberg	5,0 kW	ND	2	2,5 kW	4
Saarburg	5,0 kW	D	2	2,5 kW	4
Haardtkopf	5,0 kW	ND	2	2,5 kW	4
Bad Kreuznach	5,0 kW	ND	2	2,5 kW	4
Mainz-Kastel	10,0 kW	ND	2	5,0 kW	6
Worms	1,0 kW	D	2	0,5 kW	2
Idar-Oberstein	5,0 kW	ND	2	2,5 kW	4
Donnersberg	3,0 kW	ND	2	1,5 kW	4
Ludwigshafen	5,0 kW	ND	2	2,5 kW	4
Kalmit/Edenkoben	5,0 kW	ND	2	2,5 kW	4
Bornberg	5,0 kW	D	2	2,5 kW	4
Kaiserslautern-Dansenberg	2,5 kW	ND	2	1,3 kW	3
Kettrichhof	5,0 kW	ND	2	2,5 kW	4

Tabelle 4-19: Übersicht aller Standorte mit ERP, Ausgangsleistung und S-Klasse

Der Hersteller Rohde & Schwarz weist für die genannten Sender in seinen Produktblättern eine höhere Effizienz von 46 % aus, die jedoch unter gewissen Bedingungen geringfügig niedriger ausfallen kann. Die 40 % sind demnach als Mindestwert grundsätzlich immer erreichbar und werden als pauschaler Wert für die weiteren Berechnungen angenommen.

S-Klasse	Ausgangsleistung		Gesamt (Sender inkl. Filter)		Anzahl Senderstandorte	Ersatzhardware
	>	≤	Investition einmalig	Erneuerung jährlich		
1		0,3 kW	21.000 €	1.050 €	-	-
2	0,3 kW	0,7 kW	26.000 €	1.300 €	1	1
3	0,7 kW	1,3 kW	51.000 €	2.550 €	1	-
4	1,3 kW	2,5 kW	63.000 €	3.150 €	12	1
5	2,5 kW	3,6 kW	75.000 €	3.750 €	-	-
6	3,6 kW	5,0 kW	87.000 €	4.350 €	4	1

Tabella 4-20: Überblick S-Klasse, Gesamtkosten und Anzahl der Senderstandorte und Ersatzhardware

Zusätzlich wird Ersatzhardware angesetzt, die direkt zur Verfügung steht für einen Austausch, wobei für alle Sender insgesamt ein Sender der Klasse S6, ein Sender der Klasse S4 und ein Sender der Klasse S2 pauschal als Ersatzhardware angesetzt werden.

Die Klasse S2 ist die einzig verbleibende des luftgekühlten Typ TMV9, der ggf. mit den THV9 Sendern nicht voll kompatibel ist. Für die Praxis zu prüfen wäre ob die Klasse S2 nicht ev. zu vermeiden ist, um hier kompatibler zu bleiben.

Die Klassen S3, S4, S5 und S6 bestehen alle aus dem flüssiggekühlten Typ THV9 und enthalten 1, 2, 3 oder 4 Verstärkermodule. Die Vorstufen und sonstigen Bestandteile der unterschiedlich bestückten THV9 Sender sollten kompatibel sein, sodass durch eine Reserve der Klasse S6, vier Verstärkermodule zum Austausch enthalten wären, sowie jeweils eines der sonstigen verbauten Module. Somit kann eine S6 Reserve auch als Ersatz für S5, S4 oder S3 verwendet werden, und ein S4 auch als Ersatz für einen S3, ohne, dass hierzu zwingend der gesamte Sender auszutauschen ist, wenn nur einzelne Module betroffen sind.

Sender Ersatzhardware pauschal	
1x S2	26.000 € einmalig
1x S4	63.000 € einmalig
1x S6	87.000 € einmalig
Summe	176.000 € einmalig
Erneuerung 5%	8.800 € jährlich

Preisbox 4-12: Ersatzsender

Neben den Investitionskosten werden zusätzlich 5% angesetzt, die für Reparaturen bzw. Erneuerung von Modulen anfallen. Diese 5% werden für alle Sender und genauso auch für die Ersatzhardware angesetzt, um defekte Module nach Austausch auch entsprechend erneuern zu können.

Die Ersatzhardware der Sender wird aus berechnungstechnischen Gründen den einmaligen Kosten zugeschlagen, da sie keinem spezifischen Standort sinnvoll zuordenbar ist, obwohl sie logisch betrachtet auch als standortbezogene Kosten gesehen werden kann und deshalb sinnvollerweise hier im Kontext erläutert und hergeleitet wurde.

4.3.5 Stromkosten der Sender

Die aus der ERP, dem Gewinn und der Effizienz des Senders berechnete benötigte Leistungsaufnahme, kann als Basis für die anzusetzenden Stromkosten herangezogen werden. Entsprechend dem Wirkungsgrad geht ein Teil der aufgenommenen Leistung zur Antenne, während ein Teil als Wärme freigesetzt wird und durch Kühlung abgeführt werden muss. Auf eine detaillierte Betrachtung der Effizienz der einzelnen beteiligten Komponenten und der jeweils frei gesetzten Wärme an verschiedenen Stellen, wurde verzichtet, genauso wie auf eine genauere Analyse des Wirkungsgrades unter verschiedenen Bedingungen.

In der angesetzten Effizienz von 40% wird das Gesamtsystem pauschal betrachtet, d.h. inklusive der zum Sender gehörenden Kühlung. Aus dem ermittelten Stromverbrauch werden die Kosten ermittelt. Konkrete Strompreise, die in dieser Studie ausgewiesen werden können, sind nicht verfügbar, weshalb eigene Erfahrungswerte, allgemeine Strompreise und Abschätzungen als Basis genutzt wurden.

Sender Stromkosten	
Strom	0,25 € / kWh

Preisbox 4-13: Sender Stromkosten

Für den verbrauchten Strom (Leistungsaufnahme) werden 0,25 € / kWh angesetzt.

Der Gewinn Faktor wird wie im Kapitel 4.3.3 erläutert angewandt.

Region	Sender	ERP	Gewinn Faktor	Leistung Senderausgang	Aufnahme pro Jahr	Stromkosten pro Jahr
Koblenz	Bad Marienberg	10,0 kW	2	5,0 kW	109.500 kWh	27.375,00 €
	Ahrweiler	8,0 kW	2	4,0 kW	87.600 kWh	21.900,00 €
	Koblenz-Waldesch	10,0 kW	2	5,0 kW	109.500 kWh	27.375,00 €
Trier	Eifel	4,0 kW	2	2,0 kW	43.800 kWh	10.950,00 €
	Bitburg	5,0 kW	2	2,5 kW	54.750 kWh	13.687,50 €
	Trier-Petrisberg	5,0 kW	2	2,5 kW	54.750 kWh	13.687,50 €
	Saarburg	5,0 kW	2	2,5 kW	54.750 kWh	13.687,50 €
	Haardt Kopf	5,0 kW	2	2,5 kW	54.750 kWh	13.687,50 €
Rheinhausen	Bad Kreuznach	5,0 kW	2	2,5 kW	54.750 kWh	13.687,50 €
	Mainz-Kastel	10,0 kW	2	5,0 kW	109.500 kWh	27.375,00 €
	Worms	1,0 kW	2	0,5 kW	10.950 kWh	2.737,50 €
	Idar-Oberstein	5,0 kW	2	2,5 kW	54.750 kWh	13.687,50 €
(Landesweit)	Donnersberg	3,0 kW	2	1,5 kW	32.850 kWh	8.212,50 €
Rheinpfalz	Ludwigshafen	5,0 kW	2	2,5 kW	54.750 kWh	13.687,50 €
	Kalmit/Edenkoben	5,0 kW	2	2,5 kW	54.750 kWh	13.687,50 €
Westpfalz	Bornberg	5,0 kW	2	2,5 kW	54.750 kWh	13.687,50 €
	Kaiserslautern-Dansenberg	2,5 kW	2	1,3 kW	27.375 kWh	6.843,75 €
	Kettrichhof	5,0 kW	2	2,5 kW	54.750 kWh	13.687,50 €

Tabelle 4-21: Übersichtstabelle des Stromverbrauchs und der Stromkosten je Standort

4.3.6 Technikstellfläche

Aufgrund von erhaltenen, aber für die Studie nicht direkt ausweisbaren Informationen von Standortbetreibern, wird für die Technikfläche, für alle Standorte gleichermaßen ein Betrag von 3.000 € pro Jahr (mehrere Quadratmeter) abgeschätzt. Abweichungen sind je nach Betreiber und tatsächlich genutzter Quadratmeter möglich, aber aufgrund der vergleichsweise geringen Höhe der Kosten, ist dieser Posten relativ unkritisch.

Technikfläche
Jährlich je Standort 3.000 €

Preisbox 4-14: Kosten Technikfläche

4.3.7 Mitnutzung DAB-Antenne und -Weiche

Angefragt wurden sowohl der SWR, wie auch die Media Broadcast, die Antennenanlagen an entsprechenden Standorten betreiben. Zudem wurden informell Abschätzungen aus anderen Quellen angefragt, die hier jedoch nicht offengelegt werden können. Der SWR stellte Preisinformationen zur Verfügung, betonte aber deren Unverbindlichkeit. Insbesondere sind Änderungen an den Preisen jederzeit, aufgrund von Veränderungen am Standort möglich. Im Rahmen einer detaillierten Planung und der Erstellung eines verbindlichen Angebotes ist ferner zu prüfen, ob eine Mitbenutzung überhaupt in jedem Fall möglich ist. Der SWR lieferte seine Informationen nur unter dem Vorbehalt, dass sie nicht direkt in der Studie zu verwenden sind und nicht publizieren werden sollten.

Um dennoch einen bestmöglichen Kompromiss zu finden, wurden die zugeliferten Informationen für diese Studie in eine grobe Klassifizierung überführt, in der eigene plausible Abschätzungen enthalten sind. Diese sind insofern legitim und zweckdienlich, als das ohnehin keine verbindlichen Preise ausweisbar und Abweichungen für die spätere Realisierung mit einzuplanen sind.

M-Klasse		Jährlich	SWR-Standorte
1	sehr günstig	15.000 €	
2	günstig	30.000 €	Donnersberg, Kettrichhof, Saarburg
3	mittel	60.000 €	Eifel, Haardtkopf, Mainz-Kastel,
4	teuer	120.000 €	Koblenz-Waldesch
5	sehr teuer	240.000 €	

Tabelle 4-22: Die M-Klassifikation, mit Kosten und den zugeordneten SWR-Standorten.

Für die Standorte „Bad Marienberg“ und die Media Broadcast Standorten konnten keine Preisinformationen für diese Studie zugelifert werden. Deshalb werden Trier-Petrisberg, Kalmit/Edenkoben, Bornberg und Kaiserslautern-Dansenberg, sowie Bad Marienburg pauschal als Klasse M3 („mittel“) mit 60.000 € / Jahr angenommen. Diese Abschätzung ist in der Detailplanung durch konkrete Angebote zu korrigieren. In der Studie verschleiert das Informationsdefizit ggf. vorhandene gravierende Unterschiede zwischen den Standorten.

4.3.8 Netzwerktechnik

Ähnlich wie am Standort des Playout/Multiplexers ist für die Senderstandorte Netzwerkequipment und sonstiges Equipment einzuplanen, wenngleich in deutlich geringeren Umfang. Die Minimallösung umfasst die IP basierte EDI Zuführung und wenige einfache Netzwerkkomponenten, um die Zuführungsleitung mit dem Sender zu verbinden.

Hier erfolgt nur eine pauschalierte Abschätzung. Je nach Betriebskonzept können völlig andere Beträge anfallen, die ggf. aber im Rahmen von Servicepauschalen umgelegt werden.

Gerätetypen sollten für möglichst alle Standorte möglichst gleichartig gewählt werden, um dieselbe Ersatzhardware für alle Standorte verwenden zu können. Da es sich vermutlich um handelsübliche Standardhardware handelt, kann ggf. auf die eigene Einlagerung von Reserven sogar ganz oder teilweise verzichtet werden.

Netzwerktechnik je Senderstandort	
Hardware (Invest)	2.000 €
Erneuerung jährlich (5%)	100 €
Erneuerung (10 Jahre):	1.000 €

Preisbox 4-15: Netzwerk Standorte

4.3.9 Planung, Aufbau und Betrieb

Der Aufwand für die Detailplanung der einzelnen Senderstandorte wird als erheblich eingeschätzt. Dieser teilt sich jedoch auf und geht Hand in Hand mit anderen Tätigkeiten und anderen Positionen. Insbesondere der sehr aufwändige Antennenaufbau inklusive der notwendigen Verkabelung wurde schon beim Antennenneubau mit abgeschätzt und vorgesehen. Notwendige Planungsleistung wird hier im Rahmen eines Auftrags auch vom Lieferant für das Antennen- und Weichensystem mit übernommen. Dies ist wiederum mit den Planungen und Arbeiten des Lieferanten für die Sender zu koordinieren, doch auch der Senderlieferant wird einen Teil des spezifischen Planungsaufwandes übernehmen. Hinzu kommen die Planungsarbeiten für die IP-basierte Standortanbindung die aber auch vom Anbieter für Carrierdienste teilweise mitübernommen wird, wenn er ein spezifisches individuelles Angebot erstellt. Die Planung des IP-Netzwerks und der Konfiguration über alle Standorte hinweg ist vom Sendernetzbetreiber zu leisten, der das Gesamtkonstrukt am Ende betreibt und verantwortet. Dieser wird dies ggf. in pauschale Betriebskosten mit umlegen.

Spezifischer Aufwand fällt voraussichtlich bei Koordinierung der verschiedenen Akteure und Anbieter an, sowie beim Einholen verbindlicher Angebote und Preisverhandlungen, sowie der Entscheidungsfindung. Zudem muss bei neuen Erkenntnissen ggf. eine Neu- und Umplanung erfolgen, die bis zurück zur Neuplanung der Versorgung reichen kann, wenn ein Standort gewechselt werden muss. Diese Aufwände lassen sich nur bedingt einzelnen Standorten zuschlagen und es mischen sich hierbei Planungsaspekte, Aufbau und betriebliche Aufgaben.

Es wird davon ausgegangen, dass die Leistungen unterschiedlich aufgeteilt als Pakete angeboten werden könnten. Konkrete Listenpreise oder Beispielangebote dazu konnten jedoch nicht ermittelt werden. Dazu wäre eine wesentlich konkrete Definition und Aufteilung der Aufgabenbereiche und des späteren Betriebsmodells notwendig. Eine Preisauskunft oder Preisschätzung durch den theoretisch möglichen Betreiber Media Broadcast, war zur Verwendung in dieser Studie nicht möglich. Die hier abgeschätzten Werte wurden somit unabhängig ermittelt und sind in Detailplanungen und Verhandlungen ggf. mit möglichen Betreibern wie der Media Broadcast, Divicon, Uplink, etc. verbindlich zu klären.

Es wird deshalb hier auf allgemeine Abschätzungen zurückgegriffen.

Für die Detailplanung und Koordinierung je Standort wird ein Aufwand von 15 Manntagen angenommen. Zusätzlich werden 10 Manntage angenommen, für den Fall eines Antennenneubaus, die bei einer reinen Mitbenutzung entfallen.

Für den Aufbau je Standort werden 10 Manntage angenommen. Die Aufwände für den Antennenneubau sind überwiegend bereits beim Posten Antennenneubau mit einberechnet. Für die Abschätzung hier werden für begleitende Zusatzarbeiten zusätzlich 5 Manntage angenommen.

Für den Betrieb eines Standortes werden pro Jahr und Standort 10 Manntage vorgesehen. Bei Standorten mit Antennenneubau werden zusätzlich pro Jahr 10 Manntage veranschlagt, die entfallen, wenn eine reine Mitbenutzung von Antennen besteht.

Es wird ein Tagessatz von 750 € pro Manntag angenommen.

Je Standort	Bei 750 € / Manntag			
	Standort mit Mitbenutzung	Standort mit Antennenneubau	Standort mit Mitbenutzung	Standort mit Antennenneubau
Planung (einmalig)	15	25	11.250 €	18.750 €
Aufbau (einmalig)	10	15	7.500 €	11.250 €
Gesamt einmalig	25	40	18.750 €	30.000 €
Betrieb (jährlich)	10	20	7.500 €	15.000 €

Tabelle 4-23: Übersicht der Aufwände und Kosten für Planung, Aufbau und Betrieb je Standort.

Bei den Standorten wird es zu Abweichungen zu diesen Werten kommen. Es kann auch zu komplexen Sonderfällen kommen, wie etwa einer Detailplanung, bei der sich herausstellt, dass eine Antennenmitbenutzung nicht möglich ist, sondern ein Neubau erfolgen muss oder sogar ein anderer Standort zu wählen ist. Dann ergeben sich komplexe Pfade bei der Detailplanung mit weiteren Zusatzaufwänden, die hier an dieser Stelle nicht aufgeschlüsselt werden, sondern nur pauschal und ohne Fallunterscheidung abgeschätzt werden.

Idealerweise sollten alle Fälle sich insgesamt ausmitteln. Ein besonders planungsintensiver oder betriebsintensiver Standort wird von einem sehr sparsamen Standort ausgeglichen. Dasselbe passiert betrieblich über die Zeit gerechnet. Somit macht es Sinn diese Leistungen als Paket für viele oder alle Standorte anzubieten, um entsprechende Ausgleicheffekte zu nutzen. Unternehmen, die stark im Planungs- und Betriebsbereich vergleichbarer Anlagen tätig sind, können hier deutlich bessere Abschätzungen machen und entsprechende Preismodelle und Angebote ausweisen. Eine Offenlegung für diese Studie der zugrunde liegenden Statistiken, Erfahrungswerte und Berechnungsmodelle, war jedoch nicht möglich.

4.3.10 Zusammenfassung der Senderstandortbezogenen Kosten

Überblick aller Senderstandortkosten (je nach Fall und Klasse)					
Fall	Posten	Klasse	Investition	Jährlich	
Unabhängig von Mitnutzung/Neubau der Antenne	Netzwerktechnik	pauschal	2.000 €	100 €	
	Technikfläche	pauschal	--	3.000 €	
	Sender, Filter, Weiche	S-Klasse 2		26.000 €	1.300 €
		S-Klasse 3		51.000 €	2.550 €
		S-Klasse 4		63.000 €	3.150 €
		S-Klasse 5		75.000 €	3.750 €
		S-Klasse 6		87.000 €	4.350 €
	Stromkosten der Sender	<i>individuell berechnet</i>	<i>Siehe nachfolgende Tabelle</i>		
Anbindung/Zuführung	D-/L-Klasse 1-4	500 €	4.800 € bis 9.679 €		
Antennenmitnutzung	Planung, Aufbau, Betrieb	pauschal	18.750 €	7.500 €	
	Mitnutzung Antenne/Weiche	M-Klasse 2	--	30.000 €	
		M-Klasse 3	--	60.000 €	
		M-Klasse 4	--	120.000 €	
Antennenneubau	Planung, Aufbau, Betrieb	pauschal	30.000 €	15.000 €	
	Erneuerung	pauschal	--	14.000 €	
	Antenne, Montage Erneuerung, Miete	N-Klasse 2		280.000 €	30.000 €
		N-Klasse 3		280.000 €	60.000 €
		N-Klasse 4		280.000 €	120.000 €

Tabelle 4-24: Gesamtübersicht der senderstandortbezogenen Kosten, mit S-/M- und N-Klasse.

Stromkosten für Sendeleistung			
Region / Sendernetz	Jährlich	Kombinierte Sendernetze	Jährlich
Koblenz	76.650 €	Koblenz/Trier	142.350 €
Trier	65.700 €		
Rheinhausen	57.488 €	Trier/Rheinhausen	123.188 €
Rheinpfalz	27.375 €	Pfalz	61.594 €
Westpfalz	34.218 €		
Summe Regionen (Varianten 2, 3, 4, 5)	261.431 €	Landesweit (Variante 1)	165.162 €

Tabelle 4-25: Regionen/Sendernetz-Tabelle mit Stromkosten

Als senderstandortbezogene Gesamtkosten je Region bzw. Sendernetz ergeben sich:

Senderstandortbezogene Gesamtkosten nach Regionen/Sendernetzen					
Region / Sendernetz	Investitionen	Jährlich	Kombinierte Sendernetze	Investitionen	Jährlich
Koblenz	616.000 €	403.246 €	Koblenz/Trier	1.328.500 €	833.451 €
Trier	712.500 €	430.205 €			
Rheinhausen	1.197.750 €	382.352 €	Trier/Rheinhausen	1.910.250 €	812.556 €
Rheinpfalz	459.750 €	272.870 €	Pfalz	700.500 €	561.237 €
Westpfalz	240.750 €	278.368 €			
Summe Regionen (Varianten 2, 3, 4, 5)	3.226.750 €	1.767.040 €	Landesweit (Variante 1)	2.221.500 €	1.492.312 €

Tabelle 4-26: Regionen/Sendernetze senderstandortbezogene Gesamtkosten

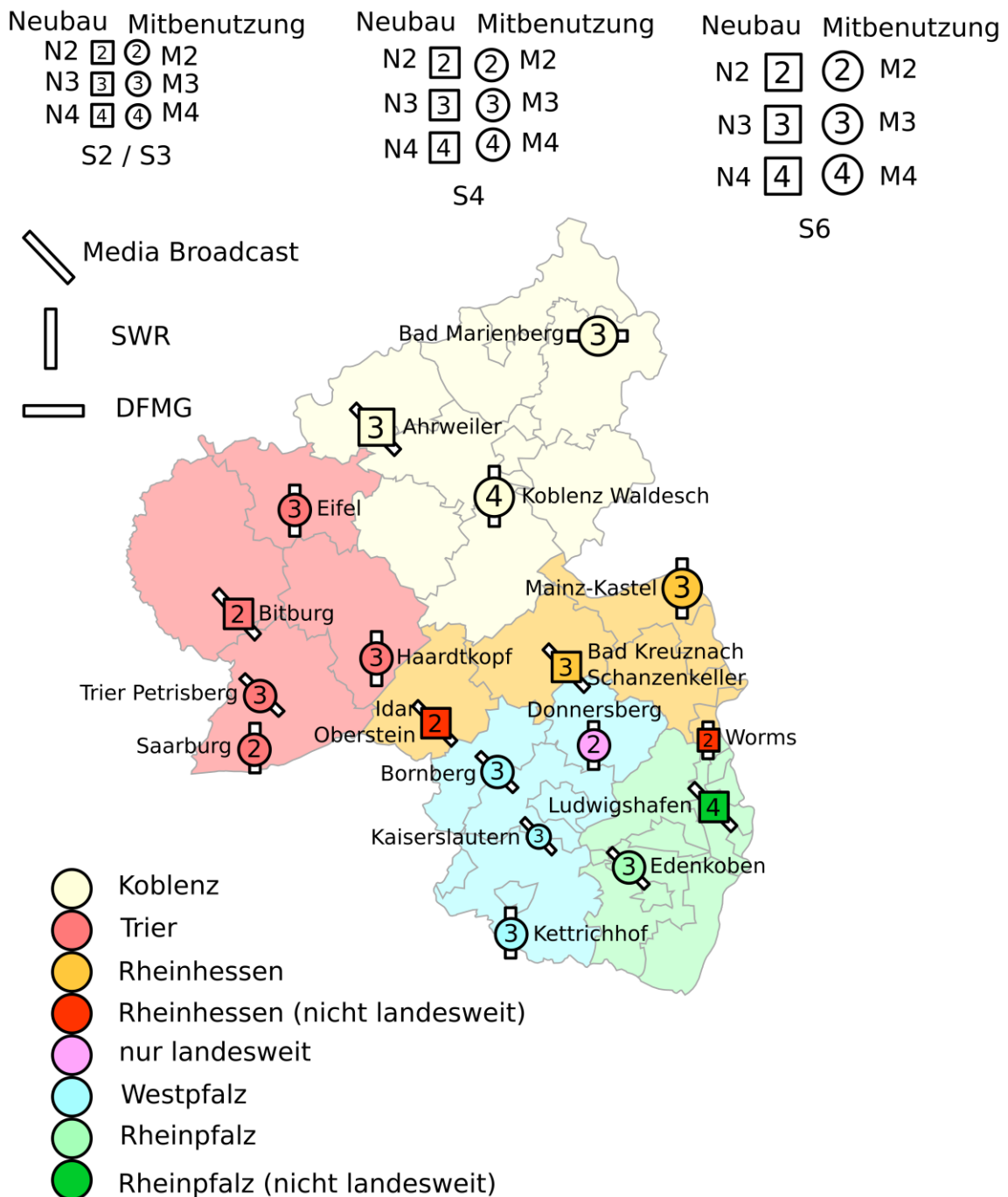
4.3.11 Standortbezogene Kosten nach Standorten

Region	Standort	Betreiber	Antenne MIT/NEU N-/M- Klasse	Sender S- Klasse	Gesamtkosten		Abschreibung der Investitionen auf 10 Jahre + Jährliche Kosten	
					Investitionen	Jährlich	pro Jahr	pro Monat
Koblenz	Bad Marienberg	DFMG*	MIT M3	S6	108.250 €	110.095 €	120.920 €	10.077 €
	Ahrweiler	MB	NEU N3	S6	399.500 €	125.354 €	165.304 €	13.775 €
	Koblenz-Waldesch	SWR	MIT M4	S6	108.250 €	167.797 €	178.622 €	14.885 €
Trier	Eifel	SWR	MIT M3	S4	84.250 €	91.704 €	100.129 €	8.344 €
	Bitburg	MB	NEU N2	S4	375.500 €	84.410 €	121.960 €	10.163 €
	Trier-Petrisberg	MB	MIT M3	S4	84.250 €	93.676 €	102.101 €	8.508 €
	Saarburg	SWR	MIT M2	S4	84.250 €	66.162 €	74.587 €	6.216 €
	Haardtkopf	SWR	MIT M3	S4	84.250 €	94.254 €	102.679 €	8.557 €
Rheinhausen	Bad Kreuznach	MB	NEU N3	S4	375.500 €	115.176 €	152.726 €	12.727 €
	Mainz-Kastel	SWR	MIT M3	S6	108.250 €	108.469 €	119.294 €	9.941 €
	Worms	SWR	NEU N2	S2	338.500 €	72.954 €	106.804 €	8.900 €
	Idar-Oberstein	MB	NEU N2	S4	375.500 €	85.754 €	123.304 €	10.275 €
	Donnersberg	SWR	MIT M2	S4	84.250 €	59.733 €	68.158 €	5.680 €
Rhein- pfalz	Ludwigshafen	MB	NEU N4	S4	375.500 €	175.754 €	213.304 €	17.775 €
	Kalmit/Edenkoben	MB	MIT M3	S4	84.250 €	97.116 €	105.541 €	8.795 €
Westpfalz	Bornberg	MB	MIT M3	S4	84.250 €	95.208 €	103.633 €	8.636 €
	Kaiserslautern- Dansenberg	MB	MIT M3	S3	72.250 €	86.998 €	94.223 €	7.852 €
	Kettrichhof	SWR	MIT M3	S4	84.250 €	96.162 €	104.587 €	8.716 €

Tabelle 4-27: Übersicht aller Standorte, S-/M-/L-Klassen und standortbezogener Gesamtkosten.

*) Standort Bad Marienberg ist ein Sonderfall: DFMG ist Standortbetreiber. SWR nutzt den Standort mit „SWR“-Standorte: SWR ist Standort- und Antennenbetreiber
 „MB“-Standorte: DFMG ist Standortbetreiber und MB ist Antennenbetreiber bzw. Mietet bei DFMG

4.3.12 Übersichtskarte



Die Leistungsklasse der Sender (S2/S3, S4, S6) sind als unterschiedliche Größen der Symbole visualisiert. Die Standorte mit Antennenmitbenutzung sind als Kreise, die mit Antennenneubau als Quadrate dargestellt. Die M- bzw. N-Klasse ist in Zahlen im Kreis bzw. Quadrat angegeben. Der Standortbetreiber Media Broadcast ist durch einen diagonalen Strich dahinter symbolisiert, der SWR als senkrechter Strich und der DFMG Standort (den der SWR mitbenutzt) als waagerechter Strich.

Die Farben symbolisieren die Regionen. Die Standorte sind entsprechend der Region zu der sie gehören eingefärbt. Die Standorte die im landesweiten Netz entfallen (Worm, Idar-Oberstein, Ludwigshafen) haben eine dunklere Farbe. Der Standort der nur im landesweiten Netz verwendet wird (Donnersberg) ist lila eingefärbt.

5 Gesamtkosten und Analyse

5.1 Kosten für Support und Überwachung

In der Aufgabenstellung gefordert wurde eine tabellarische Aufstellung der monatlichen Kosten für Support und Überwachung je Netzgebiet in den Varianten 1 bis 5. Diese hat sich noch nicht aufgrund anderer Berechnungen ergeben und wird hier zusammengeführt.

Relevante Kosten ergeben sich aus verschiedenen Bereichen:

- Monitoring-/Überwachungslösung wie im Kapitel 4.1.2 erläutert.
- Betriebskosten im Bereich PlayoutCenter/Multiplexer wie im Kapitel 4.1.7 erläutert.
- Supportdienstleistung im Bereich der Multiplexer wie im Kapitel 4.1.1 erläutert.
- Betriebskosten im Bereich der Senderstandorte wie im Kapitel 4.3.9 erläutert.

Es wurde keine detaillierte Auseinandersetzung darüber geführt, inwiefern hier regelmäßige Wartung, Überwachung, Störungsbehebung, Supportdienstleistungen oder sonstige Betriebskosten aufzuteilen sind. Aus der Formulierung der Aufgabenstellung wird diese exakte Unterscheidung ebenso nicht deutlich. Es werden somit hier sämtliche in diesem Bereich anfallen Kosten gemeinsam betrachtet und aufgerechnet.

Bis auf den Bereich der senderstandortbezogenen Kosten, sind alle sonstigen Kosten einmalig oder ensemblebezogen und sind nicht ganz so einfach den Sendernetzen zuzurechnen. Deshalb erfolgt zunächst nur eine Aufstellung der senderstandortbezogenen Kosten nach Sendernetzen aufgeteilt. Dabei richtet sich die Abschätzung direkt nach der Anzahl der im Sendernetz enthaltenen Anzahl an Standorten mit Antennenmitbenutzung (7.500 € / Jahr) bzw. mit Antennenneubau (15.000 € / Jahr).

Betriebskosten aus senderstandortbezogenen Kosten (jährliche Kosten, ohne Investitionen)					
Region / Sendernetz	Je Jahr	Je Monat	Kombinierte Sendernetze	Je Jahr	Je Monat
Koblenz	30.000 €	2.500 €	Koblenz/ Trier	75.000 €	6.250 €
Trier	45.000 €	3.750 €			
Rheinhessen	52.500 €	4.375 €	Trier/ Rheinhessen	97.500 €	8.125 €
Rheinpfalz	48.750 €	4.063 €	Pfalz	71.250 €	5.938 €
Westpfalz	22.500 €	1.875 €			
Summe Regionen (Varianten 2, 3, 4, 5)	198.750 €	16.562 €	Landesweit (Variante 1)	135.000 €	11.250 €

Tabelle 5-1: Sendernetze/Regionen: Aufsummierte Betriebskosten

Für Monitoring und Überwachung sind im Bereich des PlayoutCenters/Multiplexers verankerte pauschale Kosten vorgesehen, ohne eine spezifische Lösung vorzusehen. Diese

sind mit 20.000 €, zuzüglich 20.000 € pro DAB-Ensemble angesetzt, plus jährliche Kosten für Erneuerung bzw. Reparatur, die sich auf 10 Jahre umlegen/abschreiben lassen.

Für den Betrieb des PlayoutCenter/Multiplexers sind betriebliche Gesamtkosten abgeschätzt von jährlich 27.000 € für ein Ensemble, bis jährlich 63.000 € bei 5 Ensembles.

In den Gesamtkosten für einen DAB-Multiplexer sind 8.000 € für einen Premium-Hardwaresupport veranschlagt und 40.000 € für den Softwaresupport (jeweils als Gesamtsumme für die Laufzeit von 10 Jahren). Dies sind Supportdienstleistungen die durch Dritte ausgeführt werden, z.B. vom Verkäufer des Multiplexers oder einem vom ihm Beauftragten. Auch diese Kosten kann man als Supportkosten hier anführen. Die 48.000 € über 10 Jahre lassen sich auf 4.800 € pro Jahr und Multiplexer aufteilen.

In der Übersicht und Summe sieht das wie folgt aus:

Ensemble Anzahl	Monitoring Überwachung			Betrieb PlayoutCenter Multiplexer	Multiplexer HW/SW Support	Summe Jährliche Kosten und Abschreibung	
	Investition	Jährlich	Jährlich + Abschreibung pro Jahr	Jährlich	Jährlich	Pro Jahr	Pro Monat
1	40.000 €	2.000 €	6.000 €	27.000 €	4.800 €	37.800 €	3.150 €
2	60.000 €	3.000 €	9.000 €	36.000 €	9.600 €	54.600 €	4.550 €
3	80.000 €	4.000 €	12.000 €	45.000 €	14.400 €	71.400 €	5.950 €
4	100.000 €	5.000 €	15.000 €	54.000 €	19.200 €	88.200 €	7.350 €
5	120.000 €	6.000 €	18.000 €	63.000 €	24.000 €	105.000 €	8.750 €

Tabelle 5-2: Gesamtkosten Support/Überwachung PlayoutCenter/Multiplexer

Die resultierenden Gesamtkosten für die Varianten lassen sich dann durch die Summe der verwendeten Sendernetze und entsprechend der jeweiligen Ensembleanzahl berechnen:

Variante 1: Landesweit – Support/Überwachung		
Sendernetz	Landesweit	135.000 €
Ensembleanzahl	1 Ensemble	37.800 €
Summe	pro Jahr	172.800 €
	pro Monat	14.400 €

Tabelle 5-3: Support/Überwachung Summe Variante 1

Variante 2: Regio 5 Netze – Support/Überwachung		
Sendernetze	Koblenz	30.000 €
	Trier	45.000 €
	Rheinhausen	52.500 €
	Rheinpfalz	48.750 €
	Westpfalz	22.500 €
Ensembleanzahl	5 Ensembles	105.000 €
Summe	pro Jahr	303.750 €
	pro Monat	25.312 €

Tabelle 5-4: Support/Überwachung Summe Variante 2

Variante 3: Regio 4 Netze – Support/Überwachung		
Sendernetze	Koblenz	30.000 €
	Trier	45.000 €
	Rheinhausen	52.500 €
	Pfalz	71.250 €
Ensembleanzahl	4 Ensembles	88.200 €
Summe	pro Jahr	286.950 €
	pro Monat	23.913 €

Tabelle 5-5: Support/Überwachung Summe Variante 3

Variante 4: Kombi A – Support/Überwachung		
Sendernetze	Koblenz	30.000 €
	Trier/Rhein Hessen	97.500 €
	Pfalz	71.250 €
Ensembleanzahl	3 Ensembles	71.400 €
Summe	pro Jahr	270.150 €
	pro Monat	22.513 €

Tabella 5-6: Support/Überwachung Summe Variante 4

Variante 5: Kombi B – Support/Überwachung		
Sendernetze	Trier/Koblenz	75.000 €
	Rhein Hessen	52.500 €
	Pfalz	71.250 €
Ensembleanzahl	3 Ensembles	71.400 €
Summe	pro Jahr	270.150 €
	pro Monat	22.513 €

Tabella 5-7: Support/Überwachung Summe Variante 5

5.2 Gesamtkosten je Variante

In den folgenden Tabellen werden jeweils die Gesamtkosten einer Variante betrachtet, aufgeteilt nach Sendernetzen, Investment und jährlichen Kosten. In den rechten Spalten werden die Investitionen auf 10 Jahre umgelegt und mit den jährlichen Kosten verrechnet. Die Spalten „pro Jahr“ und „pro Monat“ geben die effektiven Kosten an, einmal als den pro Jahr zu entrichtenden Betrag und einmal (alternativ) denselben Betrag auf Monate heruntergebrochen.

Die Variante 1 mit dem landesweiten Netz ist in mehrfacher Weise ein Sonderfall, da sie nur aus einem einzigen Sendernetz und nur einem Ensemble besteht. Die Kosten für das landesweite Netz sind somit gleichzeitig die Gesamtkosten.

Variante 1: Landesweit – Gesamtkosten				Jährlich + Abschreibung	
		Investment	Jährlich	pro Jahr	pro Monat
Sendernetz	Landesweit	2.563.751 €	1.561.478 €	1.817.853 €	151.488 €

Tabelle 5-8: Gesamtkosten Variante 1

Die übrigen Varianten, werden durch unterschiedliche Anzahl mehrerer regionaler Sendernetze gebildet, deren Kosten hier aufgeschlüsselt werden, um die Unterschiede zwischen den Sendernetzen erkennen zu können. Bei den effektiven Kosten liegen die Netze „Koblenz“, „Trier“ und „Rheinhessen“ in einer ähnlichen Größenordnung, obwohl die Investitionskosten bei „Rheinhessen“ deutlich höher sind als bei „Koblenz“. Dafür sind die jährlichen Kosten in „Rheinhessen“ etwas niedriger. Auch die Netze „Rheinpfalz“ und „Westpfalz“ liegen beide in ähnlicher Größenordnung, sind aber deutlich kleiner als „Koblenz“, „Trier“ und „Rheinhessen“.

Variante 2: Regio 5 Netze – Gesamtkosten				Jährlich + Abschreibung	
		Investment	Jährlich	pro Jahr	pro Monat
Sendernetze	Koblenz	737.451 €	429.816 €	503.562 €	41.963 €
	Trier	883.951 €	456.775 €	540.170 €	45.014 €
	Rheinhessen	1.319.201 €	408.922 €	540.842 €	45.070 €
	Rheinpfalz	581.201 €	299.440 €	357.560 €	29.797 €
	Westpfalz	362.201 €	304.938 €	341.158 €	28.430 €
Summe		3.834.005 €	1.899.890 €	2.283.291 €	190.274 €

Tabelle 5-9: Gesamtkosten Variante 2

Das zusammengefasste Sendernetz „Pfalz“ ist etwas teurer als die Sendernetze „Koblenz“, „Trier“ und „Rheinhausen“, wie man in Variante 3 gut sieht.

Variante 3: Regio 4 Netze – Gesamtkosten				Jährlich + Abschreibung	
		Investment	Jährlich	pro Jahr	pro Monat
Sendernetze	Koblenz	751.251 €	432.479 €	507.604 €	42.300 €
	Trier	833.951 €	456.775 €	544.212 €	45.351 €
	Rheinhausen	1.333.001 €	411.584 €	544.884 €	45.407 €
	Pfalz	835.751 €	580.470 €	664.045 €	55.337 €
Summe		3.767.754 €	1.883.969 €	2.260.744 €	188.395 €

Tabelle 5-10: Gesamtkosten Variante 3

Durch die Zusammenfassung von „Trier“ und „Rheinhausen“ in Variante 4, entsteht ein sowohl in Fläche als auch Kosten relativ großes Sendernetz.

Variante 4: Kombi A – Gesamtkosten				Jährlich + Abschreibung	
		Investment	Jährlich	pro Jahr	pro Monat
Sendernetze	Koblenz	774.251 €	435.916 €	514.341 €	42.862 €
	Trier/Rheinhausen	2.068.501 €	846.226 €	1.053.076 €	87.756 €
	Pfalz	858.751 €	584.907 €	670.782 €	55.899 €
Summe		3.791.503 €	1.868.048 €	2.238.198 €	186.517 €

Tabelle 5-11: Gesamtkosten Variante 4

Das zusammengefasste Sendernetz „Trier/Koblenz“ aus Variante 5 hat ähnliche Kosten wie „Trier/Rheinhausen“.

Variante 5: Kombi B – Gesamtkosten				Jährlich + Abschreibung	
		Investment	Jährlich	pro Jahr	pro Monat
Sendernetze	Trier/Koblenz	1.486.751 €	867.120 €	1.015.796 €	84.650 €
	Rheinhausen	1.356.001 €	416.021 €	551.621 €	45.968 €
	Pfalz	858.751 €	584.907 €	670.782 €	55.899 €
Summe		3.801.503 €	1.868.048 €	2.238.198 €	186.517 €

Tabelle 5-12: Gesamtkosten Variante 5

5.3 Regionalnetze im Vergleich zum landesweiten Netz

Vergleicht man die Gesamtkosten zwischen den Varianten so ist besonders der Vergleich zwischen Variante 1 (landesweites Netz) und den Varianten 2, 3, 4 und 5 interessant.

Die ensemblebezogenen Kosten sind bei Variante 4 und 5 identisch, aufgrund der gleichen Anzahl Sendernetze (bzw. DAB-Ensembles). Die Sendernetzbezogenen Kosten sind für die Varianten 2, 3, 4 und 5 identisch aufgrund der Verwendung derselben Standorte. Somit sind alle wesentlichen Faktoren bei Variante 4 und 5 identisch und auch die effektiven Gesamtkosten identisch.

Da die Unterschiede bei den ensemblebezogenen Kosten vergleichsweise niedrig sind, gegenüber den sendernetzbezogenen Kosten, führen die Varianten 2, 3, 4 und 5 insgesamt zu ähnlichen effektiven Gesamtkosten. Die Variante 1 fällt hingegen günstiger aus, da nur 15, statt 17 Senderstandorten verwendet werden. Insgesamt überraschen diese Zusammenhänge nicht und sind grundsätzlich bereits in der Aufgabenstellung so angelegt.

Variante	1	2	3	4	5
Anzahl Ensembles	1	5	4	3	3
Ensemblebezogene Kosten, Investment	342.251 €	607.255 €	541.004 €	474.753 €	
Ensemblebezogene Kosten, Jährlich	69.166 €	132.850 €	116.929 €	101.008 €	
Anzahl Senderstandorte	15	17			
Senderstandortbezogene Kosten, Investment	2.221.500 €	3.226.750 €			
Senderstandort-bezogene Kosten, Jährlich	1.492.312 €	1.767.040 €			
Gesamtkosten Investment	2.563.751 €	3.834.005 €	3.767.754 €	3.701.503 €	
Gesamtkosten Jährlich	1.561.478 €	1.899.890 €	1.883.969 €	1.868.048 €	
Jährlich + Abschreibung pro Jahr	1.817.853 €	2.283.291 €	2.260.744 €	2.238.198 €	
Jährlich + Abschreibung pro Monat	151.488 €	190.274 €	188.395 €	186.517 €	

Tabelle 5-13: Gesamtkosten der Varianten im Vergleich

5.4 CU-Preise

Aus Sicht der Programmanbieter sind nicht die Gesamtkosten interessant, sondern die Kosten die pro Programmplatz entstehen. Da DAB hier große Flexibilität bietet, um mit unterschiedlichem Fehlerschutz und unterschiedlichen Audiodatenraten eine unterschiedliche Anzahl an Programmen in einem DAB-Ensemble unterzubringen und die dabei verwendeten Parameter für einzelne Programme unterschiedlich gewählt werden können, sind letztlich die sogenannten „CU“ (capacity units) die entscheidende Größe.

Typischerweise kommt meist der Protectionlevel (Fehlerschutz) 3 zur Anwendung. Mit einer Audiodatenrate von 72 kbit/s benötigt ein Programm zur Übertragung dann 54 CU. Da in einem DAB-Ensemble insgesamt immer exakt 864 CU zur Verfügung stehen, lassen sich damit 16 Programme übertragen.

Alternativ könnte man auch mit Protectionlevel 3 und 80 kbit/s arbeiten, pro Programm 60 CU verbrauchen, könnte dann aber nur noch 14 Programme unterbringen.

Würde man das Programm mit 72 kbit/s und Protectionlevel 2, also einem besseren Fehlerschutz, übertragen, so würde es 72 CU benötigen und es ließen sich nur noch 12 Programme pro DAB-Ensemble übertragen. Dafür wäre die Übertragung dieser Programme stabiler (d.h. sie wären robuster gegen Übertragungsfehler).

Wenn man hingegen den Protectionlevel 4, also einen schlechteren Fehlerschutz, verwenden würde, wiederum mit 72 kbit/s Audiodatenraten, dann könnte man theoretisch 24 Programme übertragen, da jedes nur noch 36 CU benötigen würde. Allerdings wäre die Übertragung dann zu instabil, da die Versorgungsplanungen normalerweise auf den Protectionlevel 3 ausgelegt sind. Würde man also einen schlechteren Fehlerschutz verwenden wollen, müsste man das Sendernetz mit deutlich mehr Standorten und mehr Sendeleistung deutlich dichter planen, wodurch die Kosten insgesamt deutlich steigen würden. Dies lohnt sich in den meisten Fällen nicht, wäre aber ggf. im Detail zu prüfen.

Die Kosten pro CU / Jahr bzw. pro CU / Monat werden auch beim Vergleich zwischen Sendernetzen oft als entscheidende Größe herangezogen. Dabei ist zu beachten, dass sich diese Kosten normalerweise durch eine Aufteilung der Gesamtkosten auf die insgesamt 864 CU pro DAB-Ensemble ergeben. Es ist jedoch nicht immer sicher, dass alle CUs restlos auf Programme aufgeteilt werden. Je nach gewählten Parametern kann ein kleiner Rest übrig bleiben der nicht oder zumindest nicht sinnvoll nutzbar ist. Es ist eine kaufmännische Entscheidung inwiefern solche ungenutzten Rest-CU dann vorab schon in die Preise eingerechnet werden oder ob diese durch strikte Vorgaben bei Protectionlevel und Audiodatenrate vermieden werden, um eine Aufteilung ohne Rest in jedem Fall sicherzustellen zu können.

Auch bei strikter Aufteilung wäre zu klären inwiefern temporäre oder dauerhafte Leerstände in DAB-Ensembles zu behandeln sind. So kann es insbesondere beim Wechsel von Programmen zu mehrtägigen Lücken kommen, die ggf. keiner der Programmanbieter bezahlen will. Auch ist es möglich, dass aufgrund von mangelndem Interesse oder auch medienrechtlichen Verfahren, zeitweise nicht die vorgesehene Anzahl an Programmplätzen und CU ausgeschöpft wird und somit eine mangelnde Kostendeckung auftreten kann. Es muss vorab geklärt werden, wer die Restkosten übernehmen muss, d.h. ob hierfür die übrigen Programmanbieter, der Sendernetzbetreiber, der Ensemblebetreiber oder eine sonstiger Dritter haftet. Je nach Lösung kann dies unterschiedliche Konsequenzen und Nebeneffekte haben, die es vorher sorgfältig abzuwägen gilt.

Sendernetz	Anzahl Standorte	Gesamt-sende-leistung	Fläche km	pro CU / Jahr		
				minimal	Durschnitt	maximal
Landesweit	15	87,5 kW	19.869,9 km ²	2.104 €		
Koblenz	3	28,0 kW	6.437,9 km ²	583 €	589 €	595 €
Trier/Koblenz	8	52,0 kW	11.370,1 km ²	1.176 €		
Trier	5	24,0 kW	4.932,2 km ²	625 €	628 €	630 €
Trier/Rheinhessen	9	45,0 kW	7.998,5 km ²	1.219 €		
Rheinhessen	4	21,0 kW	3.066,3 km ²	626 €	632 €	638 €
Rheinpfalz	2	10,0 kW	2.370,5 km ²	414 €		
Pfalz	5	22,5 kW	5.433,5 km ²	769 €	774 €	776 €
Westpfalz	3	12,5 kW	3.063,0 km ²	395 €		
Summe Regionen	17	95,5 kW	19.869,9 km ²	2.591 €	2.610 €	2.643 €
Mittelwert aus Summe Regionen und Landesweit	16	91,5 kW	19.869,9 km ²	2.357 €		

Tabelle 5-14: CU-Preise für Sendernetze und Summen für landesweite Versorgung

Eine landesweite flächendeckende Versorgung resultiert in einem CU-Preis von 2.104 € pro CU und Jahr. Die alternative Versorgung über die Regionalnetze hat je nach Variante CU-Preise von 2.591 € bis 2.643 €, im Durchschnitt 2.610 € pro CU und Jahr.

Bildet man den Mittelwert aus landesweisem CU-Preis und dem Gesamtpreis bei Nutzung von Regionalnetzen, so kommt man auf **2.357 € pro CU und Jahr**, die man als durchschnittlichen Schätzpreis für eine DAB-Aussendung ansetzen kann.

Rechnet man diesen hoch auf ein typisches Programm das 54 CU benötigt so kommt man auf 127.278 € pro Jahr, die für die Aussendung eines solchen Programms in ganz Rheinland-Pfalz im Mittel etwa benötigt werden. In diesem Preis spiegeln sich natürlich sehr viele Annahmen und Abschätzungen wieder, deswegen ist dies kein exakter Wert, sondern nur eine grobe Abschätzung.

5.4.1 Regionale Planungsvarianten

Die Aufteilung von Programmen auf unterschiedliche Regionalnetze war nicht Teil der Aufgabenstellung. Bei der Betrachtung der Kosten ist es jedoch wichtig sich vor Augen zu führen, dass die Variante 1, sich von den Varianten 2 bis 5 deutlich unterscheidet, durch die fehlende bzw. vorhandene Möglichkeit zu Regionalisierung. Es sind dabei nicht unbedingt die Gesamtkosten für eine Variante entscheidend, sondern ggf. nur die Kosten der tatsächlich genutzten Sendernetze. Im Falle der Variante 1 ist dies zwingend das

Gesamtnetz für Rheinland-Pfalz. In den Varianten 2 bis 5 ist hingegen ist auch eine Nutzung von einzelnen regionalen Netzen möglich.

Während die Variante 1 also im Vergleich zu den Varianten 2 bis 5, deutlich geringere Gesamtkosten bietet, erlaubt es zum Beispiel die Variante 2, ein Programm nur im Regionalnetz Westpfalz auszusenden, mit einem CU-Preis von 395 €/Jahr. Ein Programm mit 54 CU kostet hier somit lediglich 21.330 €/Jahr.

Selbst das sehr große und damit vergleichsweise teure kombinierte Regionalnetz Trier/Koblenz mit einem CU-Preis von 1.176 €/Jahr kostet für die Aussendung des Programms nur 63.504 €/Jahr, also nur gut die Hälfte, im Vergleich zu einer landesweiten Aussendung in der eigentlich günstiger erscheinenden Variante 1, bei der das Programm 113.616 €/Jahr kosten würde.

Ein möglichst kleinteiliger Ausbau, wie ihn die Variante 2 mit 5 Sendernetzen vorschlägt, bietet hier also insbesondere kleinen regionalen und lokalen Programmanbietern gute Chancen durch Reduzierung des Aussendegebietes entscheidend Kosten einzusparen. Gleichzeitig lässt sich die Programmviefalt landesweit erhöhen, in dem in unterschiedlichen Sendernetzen unterschiedliche Regionalprogramme zum Zuge kommen, die für die jeweilige Region dann aber auch eine hohe Relevanz haben. Diese Flexibilität erkaufte man sich aber mit höheren Gesamtkosten, zum einen durch eine erhöhte Anzahl an Senderstandorten in den regionalen Varianten 2 bis 5 und dann zusätzlich über etwas erhöhte Kosten, aufgrund einer erhöhten Anzahl an DAB-Ensembles und somit einer höheren Anzahl an benötigten Multiplexern.

Es macht daher Sinn nicht um jeden Preis eine möglichst kleinteilige Regionalisierung anzustreben, sondern dies abgestimmt mit dem tatsächlichen Bedarf durch regionale Programme zu tun. Dabei kann man allerdings durchaus in Kauf nehmen, wenn einzelne Programme etwas größere Wunschsendegebiere haben und dann in mehreren Regionalnetzen ausgesendet werden. Ein Programm ließe sich (als fiktives Beispiel) sowohl in der Rheinpfalz, wie in Rheinhessen aussenden, obwohl in keiner Variante diese Regionalnetze komplett verschmolzen werden. Die CU-Preise von 638 € und 414 € würden sich dann kombinieren zu einem Gesamtpreis von 1.052 €/Jahr, also für ein Programm mit 54 CU, 56.808 €/Jahr.

Es bleibt dabei jedoch ein kleiner Nachteil, da zwei getrennte Sendernetze genutzt werden, die auf zwei unterschiedlichen Frequenzen senden und sich nicht als Gleichwellennetz⁵⁹ gegenseitig unterstützen könnten, sodass die Versorgung im Grenz- und Übergangsbereich etwas schlechter ausfallen kann, im Vergleich zu einem kombinierten Netz auf nur einer Frequenz, das als Gleichwellennetz zusammenarbeitet.

5.5 Relativer Vergleich der Kosten der Sendernetze

Man kann den Basispreis nun auch dazu heranziehen, um die einzelnen Sendernetze miteinander zu vergleichen und abzuschätzen wie hoch diese prozentual zu diesem Basispreis in etwa liegen. Dies erfolgt hier auf Basis der Durchschnittspreise.

Dabei wird die Summe der Regionalnetze mit 100 % angesetzt. Da das landesweite Netz davon abweicht kommt dieses dann auf nur 80,61 %. Der durchschnittliche Schätzpreis von 2.357 € pro CU und Jahr aus dem vorherigen Kapitel kommt auf 90,31 %.

⁵⁹ <https://de.wikipedia.org/wiki/Gleichwellennetz> (auch „SFN“ = Single Frequency Network)

Prozentuale senderstandortbezogene Kosten im Vergleich zur Summe der Regionen			
Region / Sendernetz		Kombinierte Sendernetze	
Koblenz	23 %	Koblenz/Trier	45 %
Trier	24 %		
Rheinhausen	24 %	Trier/Rheinhausen	47 %
Rheinpfalz	16 %	Pfalz	30 %
Westpfalz	15 %		
Summe Regionen (Varianten 2, 3, 4, 5)	100 %	Landesweit (Variante 1)	80 %

Tabella 5-15: Prozentualer Bezug der CU-Preise der Sendernetze zum Basispreis

Die Summen der Prozentwerte addieren sich nicht exakt auf 100%, da für die Darstellung hier gerundet wurde, aber vor allem weil die durchschnittlichen Preise je Sendernetz herangezogen worden und sich dadurch leichte Abweichungen ergeben können. Die Prozentwerte hier geben dennoch eine gute grundsätzliche Orientierung.

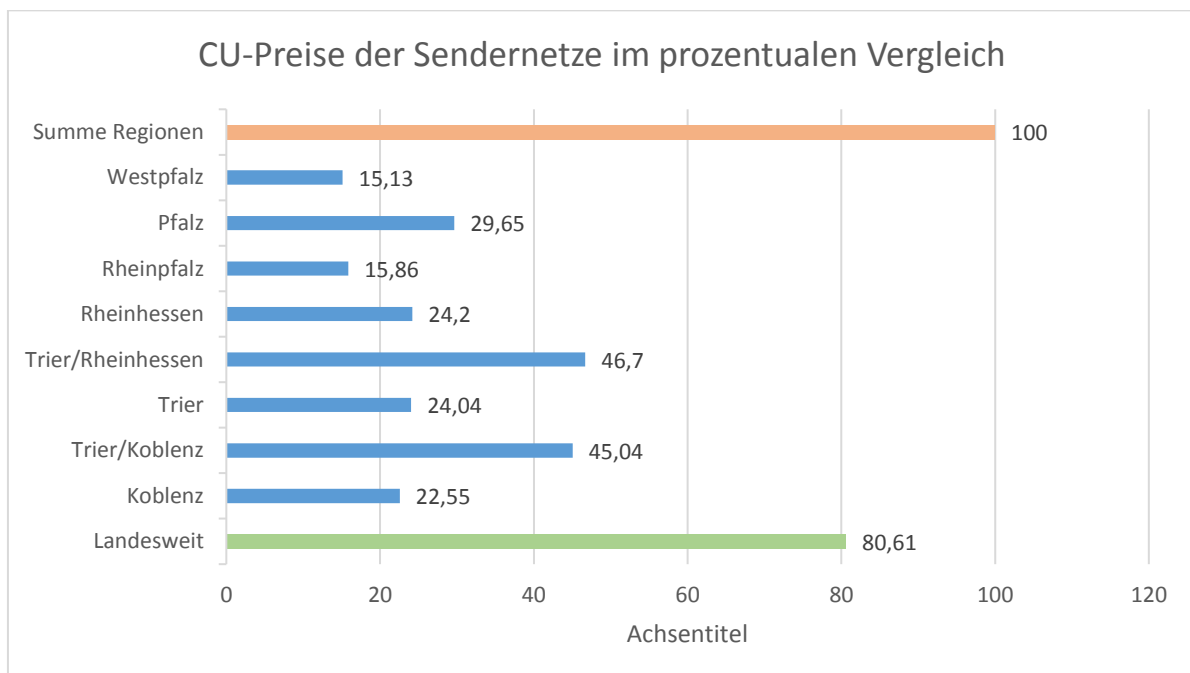


Abbildung 5-1: Diagramm der prozentualen CU-Preise der Sendernetze im Vergleich zum Basispreis

5.6 CU-Preise in Relation zur Anzahl der Senderstandorte

Im folgenden Diagramm werden die Sendernetze aus dieser Studie als Punkte entsprechend der Anzahl ihrer Senderstandorte und ihrer Gesamtkosten positioniert. Sowohl die elementaren regionalen Netze, sowie die kombinierten Regionalnetze, als auch das landesweite Netz und die Summe aller Regionalnetze werden hier dargestellt.

Der orange Punkt ist die Summe aller Regionen (Durchschnitt der Varianten 2, 3, 4, 5) und der grüne Punkt ist das landesweite Netz (Variante 1).

Es ergibt sich hier eine Trendlinie (die mittels Standard Office-Diagramm Statistikfunktionen ermittelt wurde), nebst einer linearen Formel, die diese Trendlinie beschreibt.

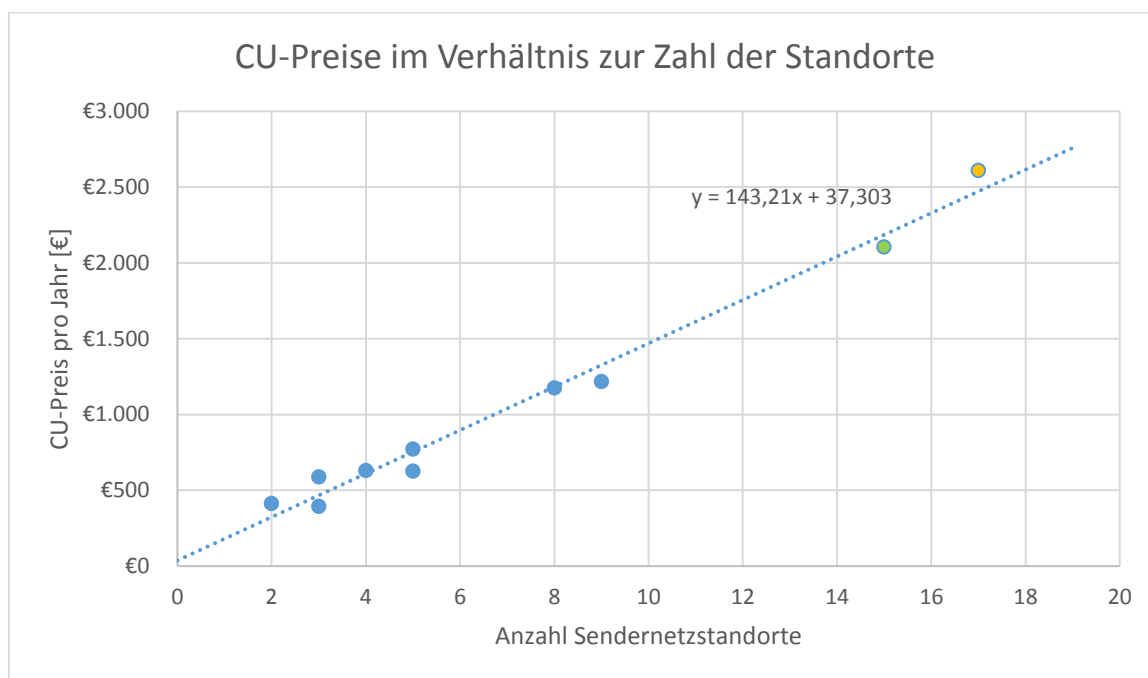


Abbildung 5-2: Diagramm CU-Preise und Anzahl der Standorte, mit Trendlinie

Daraus ließe sich eine vereinfachte Schätzformel ableiten:

$$CUpreisProJahr \text{ [€]} = (143 \text{ [€]} * AnzahlDerStandorte) + 37 \text{ [€]}$$

Zur Plausibilisierung werden drei zusätzliche Beispiele als typische Vertreter tatsächlich existierender Sendernetze und CU-Preise herangezogen, ohne dass diese sich auf spezifische Sendernetze oder verbindliche Preisinformationen beziehen. Die Preise können allein durch abweichende Realisierungs- und Finanzierungskonzepte abweichen und dienen lediglich einer groben Orientierung.

- Beispiel A: Lokalnnetz, 2 Senderstandorte: ca. 400 €/CU*Jahr
- Beispiel B: Regionalnetz, 4 Senderstandorte: ca. 500 €/CU*Jahr
- Beispiel C: Landesweites Netz, etwa 50 Senderstandorten: ca. 5500 €/CU*Jahr

Fügt man diese Beispiele dem Diagramm hinzu, erhält man eine etwas andere Darstellung. Die zusätzlichen Beispiele sind rot markiert.

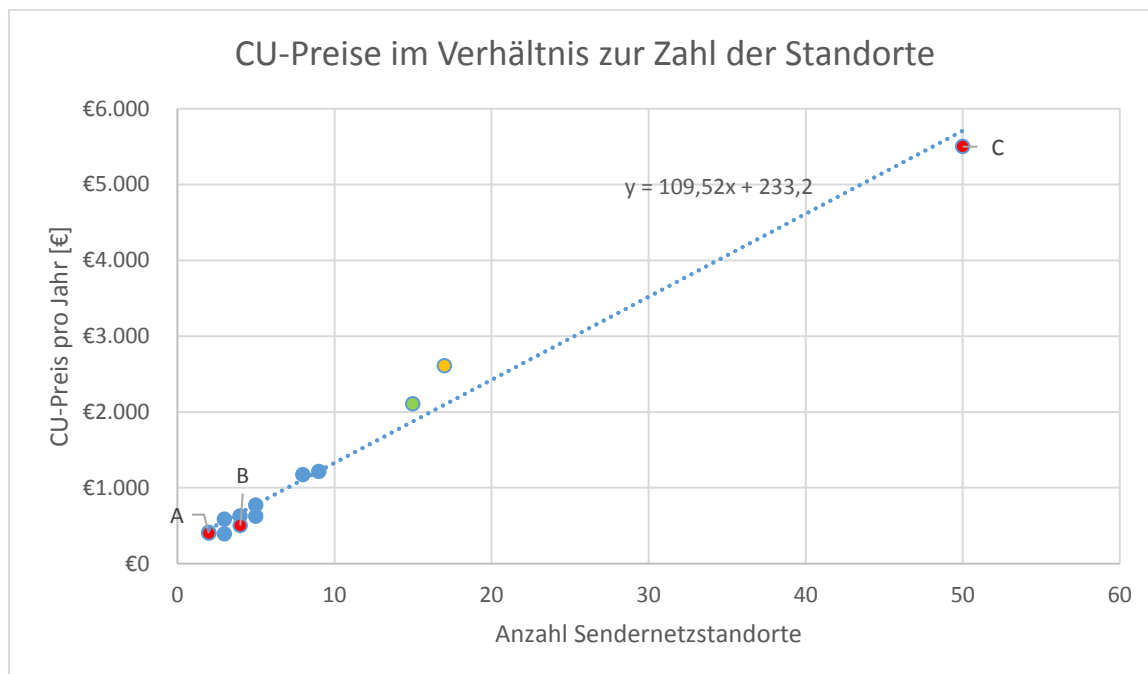


Abbildung 5-3: Diagramm CU-Preise und Anzahl der Standorte, mit Trendlinie mit zusätzlichen Beispielen

Hier würde sich die Schätzformel ergeben als:

$$CU_{\text{preisProJahr}} [\text{€}] = (110 [\text{€}] * \text{AnzahlDerStandorte}) + 233 [\text{€}]$$

Man sieht, dass das landesweite Netz (grüner Punkt, Variante 1) und die Summe der Regionalnetze (oranger Punkt, Variante 2, 3, 4, 5) über der neuen Trendlinie liegen, während das Beispiel „C“ unter der Trendlinie liegt. Die Sendernetze die für diese Studie ermittelt wurden, sind somit teurer als das Beispiel „C“. Die ungefähre Größenordnung bleibt aber ähnlich. Abweichungen sind noch im plausiblen Bereich.

Zu beachten ist, dass es natürlich Standorte gibt die deutlich teurer sind als andere und dass ein Standort mit geringer ERP tendenziell günstiger zu realisieren ist als ein Standort mit sehr hoher ERP, gleichzeitig aber auch mehr zum Sendernetzausbau beiträgt. Die Berechnung allein nach Anzahl der Standorte ist zwar eine mögliche Näherung, aber ignoriert viele relevante Aspekte ganz bewusst, um eine einfache Vergleichsmöglichkeit zu schaffen.

Ein Sendernetz ist auch nicht nur dadurch dass es günstig ist, ein gutes Sendernetz, denn wählt man bewusst Standorte nur nach den Kosten aus, kann es sein, dass die Netzabdeckung dafür schlechter ist. Somit wäre eigentlich die versorgte Fläche und das Integral der Empfangswahrscheinlichkeit über diese Fläche ein guter Indikator, für die Qualität eines Sendernetzes, das man dann in Beziehung zum CU-Preis setzen könnte. Dieser Ansatz war in der Studie allerdings nicht verlangt und es wären hierfür andere Basisinformationen und ein deutlich höherer Aufwand speziell in diesem Bereich notwendig gewesen.

5.7 Berechnungsformel

Die im vorherigen Kapitel hergeleiteten Schätzformeln betrachten die Gesamtkosten und verteilen diese auf die Senderstandorte, um dann eine statistische Trendlinie zu berechnen. Statt dieses Rückrechnens kann man auch die Herleitung, zumindest für die Sendernetze aus dieser Studie, betrachten.

Die Senderstandortbezogenen Kosten je Sendernetz sind bekannt. Rechnet man hierzu die jährlichen Kosten und die Abschreibung pro Jahr aus und teilt diese durch 864 (für die CU in einem Ensemble) so erhält man für die rein senderstandortbezogenen Kosten folgende CU Jahrespreise.

Senderstandortbezogene Kosten pro CU und Jahr und Senderstandort			
Region / Sendernetz		Kombinierte Sendernetze	
Koblenz	179 €	Koblenz/Trier	140 €
Trier	116 €		
Rheinhausen	145 €	Trier/Rheinhausen	129 €
Rheinpfalz	185 €	Pfalz	144 €
Westpfalz	117 €		
Summe Regionen (Varianten 2, 3, 4, 5)	142 €	Landesweit (Variante 1)	132 €

Abbildung 5-4: CU-Jahrespreis der senderstandortbezogenen Kosten

Es ergeben sich verschiedene Möglichkeiten Mittelwerte zwischen verschiedenen Einzelwerten zu berechnen, je nachdem welchen Zusammenhang man betrachten will.

Der Mittelwert aus der Summe der Regionen und der landesweiten Variante ist 137 €.

Die Werte für die einzelnen Regionen stellen schön dar, welche Netze im Vergleich wie teuer sind, bei relativer Betrachtung gegenüber der Anzahl ihrer Standorte.

Anzahl Ensembles	Je Ensemble			Je Ensemble, je CU
	Investition	Jährlich	Abschreibung + Jährlich	Abschreibung + Jährlich
1	342.251 €	69.166 €	103.391 €	120 €
2	204.251 €	42.544 €	62.969 €	73 €
3	158.251 €	33.669 €	49.494 €	57 €
4	135.251 €	29.232 €	42.757 €	49 €
5	121.451 €	26.570 €	38.715 €	45 €

Abbildung 5-5: CU-Jahrespreis der ensemblebezogenen Kosten

Auch hier gibt es unterschiedliche Möglichkeiten Mittelwerte zu berechnen. Der Mittelwert der regionalen Varianten ist 52 €. Berechnet man hierbei den Mittelwert mit der landesweiten Variante, kommt man auf 86 €.

Aus den Einzelwerten lassen sich nach Bedarf die passenden Formeln, für die jeweiligen Varianten durch Nutzung der direkt aufgelisteten Werte zusammenbauen. Ähnliches wäre für einzelne Teilnetze möglich, wird hier aber nicht aufgeschlüsselt.

$$CU_{\text{PreisProJahr}} [\text{€}] = (\text{Standortkosten} [\text{€}] * \text{AnzahlDerStandorte}) + \text{Grundkosten} [\text{€}]$$

Variante	Je CU und Jahr		Anzahl der Senderstandorte (entsprechend der Variante)
	Standortkosten € / Senderstandort	Grundkosten € fix	
1	132 €	120 €	15
2	142 € *	45 €	17
3	142 € *	49 €	17
4	142 € *	57 €	17
5	142 € *	57 €	17

Abbildung 5-6: Werte nach Variante für die Berechnungsformel des CU-Jahrespreises

*) Alternativ hier die spezifischen Kosten für einzelne Sendernetze aus Tabelle 5-4 einfügen für spezifischen Wert bei Aussendung in einzelndem Sendernetz.

Auf einer ähnlichen Basis ließen sich unterschiedliche Sendernetze in ihren Kosten relativ gut vergleichen, sofern die aufgeschlüsselten Positionen zur Verfügung stehen. Es sollte dabei der Fehlschluss vermieden werden, dass man die Anzahl der Senderstandorte beliebig variieren könnte. Stets muss eine passende Versorgungsplanung zugrunde liegen. Die Qualität des Netzes wird hier nicht ausgedrückt und einbezogen. Der Anteil an unterschiedlich teuren oder unterschiedlich relevanten Standorten wird nicht deutlich.

5.8 Hauptkostenfaktoren

Wie man aus den vorhergehenden Kapiteln deutlich sehen kann, sind die einmaligen und ensemblebezogenen Kosten nur ein kleiner Teil der Gesamtkosten, während die senderstandortbezogenen Kosten den deutlich größten Anteil ausmachen.

Variante	Anteil an den Gesamtkosten			
	Ensemblebezogene und einmalige Kosten		Senderstandortbezogene Kosten	
	Investitionen	Jährliche Kosten	Investitionen	Jährliche Kosten
1	13,35%	4,43%	86,65%	95,57%
2	15,84%	6,99%	84,16%	93,01%
3	14,36%	6,21%	85,64%	93,79%
4	12,83%	5,41%	87,17%	94,59%
5	12,83%	5,41%	87,17%	94,59%

Abbildung 5-7: Anteile der ensemblebezogenen und senderstandortbezogenen Kosten

Betrachtet man die senderstandortbezogenen Kosten im Detail so ergibt sich bei der Betrachtung der regionalen Varianten (Varianten 2, 3, 4 und 5) folgende Aufteilung.

Senderstandortbezogene Kosten (Varianten 2, 3, 4 und 5)	Investition		Jährlich	
Standort Anbindung (Leitungskosten)	8.500 €	0,26 %	120.509 €	6,82 %
Antennenmitbenutzung bzw. Antennenneubau, inkl. Mieten, Planung, Aufbau, Netzwerk am Standort und Technikfläche	2.100.250 €	65,09 %	1.329.200 €	75,22 %
Sendeleistung (Sender, Kühlung, Weiche, Zuleitung, sowie Energiekosten für die Sendeleistung)	1.118.000 €	34,65 %	317.331 €	17,96 %

Abbildung 5-8: Anteile der Senderstandortbezogenen Kosten

Bei der landesweiten Variante würden sich diese Werte etwas verschieben. Die Grundtendenz bleibt jedoch gleich: Den größten Posten machen die Bereiche der Antennenmitbenutzung bzw. des Antennenneubaus aus mit 2/3 bzw. 3/4 der Kosten im Bereich der senderstandortbezogenen Kosten. Die Kosten für die Anschaffung der Sender spiegeln sich wieder als etwa 1/3 der Investitionskosten. Die Energiekosten für die Sendeleistung stellen sich als knapp 1/5 der gesamten jährlichen Kosten dar.

Bezüglich der Sendeleistung liegen die Hauptkosten natürlich bei den großen Leistungsklassen, entsprechend der S-Klassifizierung, also Senderstandorten wie Bad Marienberg, Ahrweiler und Koblenz Waldesch in der Klasse S6.

Bei den Hauptkosten im Gesamtbereich Antennenneubau bzw. Antennenmitbenutzung muss man ein wenig genauer hinsehen und die verschiedenen Bereiche analysieren.

Grundsätzlich zerfallen hier die Standorte in zwei Rubriken:

- Beim Antennenneubau (entsprechend der N-Klasse) ergeben sich sehr hohe Investitionskosten (280.000 €) und hohe Mietkosten (30.000 € – 120.000 € / Jahr)
- Bei der Antennenmitbenutzung (entsprechend der M-Klasse) ergeben sich hohe jährliche Kosten (30.000 € - 120.000 € / Jahr), aber keine Investitionskosten (im Bereich der Antenne).

Die Standorte mit Antennenneubau sind also im groben Vergleich teurer, aufgrund der zusätzlichen hohen Investitionskosten, die bei Abschreibung auf 10 Jahre, mit 28.000 € pro Standort und Jahr zu Buche schlagen.

Die Planungs-, Aufbau- und Betriebsaufwände, liegen bei den Standorten mit Antennenneubau ebenfalls eindeutig höher.

Alle weiteren Kosten sind konstant und relativ klein, wie Technikfläche (3.000 € / Jahr) und Netzwerktechnik (2.000 € Investitionen und 100 € / Jahr).

Sendernetze mit vielen Standorten an denen ein Antennenneubau notwendig ist, werden dadurch deutlich teurer. Die Kosten pro Standort, wie sie im vorherigen Kapitel berechnet wurden hängen maßgeblich davon ab welcher Anteil an Standorten in einem Sendernetz mit einem Antennenneubau zu berechnen ist.

Besonders kritisch ist hier die Region Rheinhessen, bei der 3 von 4 Senderstandorte (75 %) Neubaustandorte sind. In der Region „Westpfalz“ gibt es überhaupt keinen Neubaustandort.

Stellt man die Anzahl der Neubaustandorte zusammen mit den sendestandortbezogenen Kosten pro CU und Jahr und Standort (aus dem vorherigen Kapitel) dar, so zeigt sich ein gewisser Zusammenhang.

Region / Sendernetz	Anteil Neubaustandorte		CU-Preis / Standort	Kombinierte Sendernetze	Anteil Neubaustandorte		CU-Preis / Standort
Koblenz	1 / 3	33 %	179 €	Koblenz/Trier	2 / 8	25 %	140 €
Trier	1 / 5	20 %	116 €				
Rheinhessen	3 / 4	75 %	145 €	Trier/Rheinhessen	4 / 9	44 %	129 €
Rheinpfalz	1 / 2	50 %	185 €	Pfalz	1 / 5	20 %	144 €
Westpfalz	0 / 3	0 %	117 €				
Summe Regionen (Varianten 2, 3, 4, 5)	6 / 17	35 %	142 €	Landesweit (Variante 1)	3 / 15	20 %	132 €

Abbildung 5-9: Anteil Neubaustandorte und CU-Preise pro Standort je Sendernetz

Da im landesweiten Netz (Variante 1) durch den Donnersberg (bei dem eine Antennenmitbenutzung vorgesehen ist) gleich drei Neubaustandorte eingespart werden können, fällt der Unterschied hier so besonders deutlich aus. Dadurch wird das landesweite Netz günstiger, sowohl insgesamt, wie auch relativ gesehen.

Um ein genaueres Bild zu bekommen, ist es notwendig die Standorte genauer zu betrachten. Dass die Region Koblenz so teuer ist hängt maßgeblich damit zusammen, dass hier der einzige Standort mit Antennenmitbenutzung und der Klasse M4 vorhanden ist, der jährlich mit 120.000 € veranschlagt ist. Die Rheinpfalz wiederum ist so teuer, da hier der einzige Standort mit Antennenneubau und der Klasse N4 vorhanden ist, die ebenfalls mit jährlich 120.000 € angesetzt ist.

Hier zeigt sich zum einen schön, wie die unterschiedlichen Klassen Auswirkungen auf die Kosten des Sendernetzes haben. Andererseits muss man bei der Detailplanung und der Ermittlung verbindlicher genauerer Werte davon ausgehen, dass sich hier noch mehr Effekte bezüglich besonders günstiger oder teurer Standorte ergeben werden. Da die Media Broadcast Standorte, mangels Auskünften, bei der Mitbenutzung pauschal mit M3 angesetzt sind geben diese leider keinen genauen Aufschluss über mögliche teure oder günstige Sendernetze.

5.9 Mitbenutzung als Schlüssel zur Effizienz

Die Kosten für die Senderstandorte und insbesondere für die Antennen sind erheblich und maßgeblich. Der Neubau von Antennen ist sehr Investitionsintensiv und es fallen hohe Mieten an. Für den Betreiber der Antenne ist es im höchsten Maße interessant, die Antenne nicht nur für sich selbst aufzubauen und zu nutzen, sondern sich die Nutzung und die Kosten mit anderen Interessenten zu teilen. Der ohnehin schon hohe Planungsaufwand und die notwendige Realisierungszeit bei Antennenneubau vergrößert bzw. verlängern sich dadurch.

Entscheidend ist, wie viele DAB-Ensembles effektiv über eine Antenne abgestrahlt werden und auf wie viele DAB-Ensembles und Programme sich somit die Antennenkosten umlegen lassen. In dieser Studie wurde beim Antennenneubau stets so gerechnet, dass keine Mitbenutzung erfolgt, da es keine ausreichenden Informationen dazu gab, inwiefern eine Mitnutzung realistisch und zu erwarten ist.

Hilfreich ist es, wenn bereits bestehende Antennen mitgenutzt werden können. Dies sollte grundsätzlich angestrebt werden, ggf. auch unter Inkaufnahme von Verlagerungen an andere Standorte. Sollte ein Neubau unabdingbar sein, so ist es wichtig noch während der Detailplanung in einen engen Austausch mit potentiellen Interessenten für eine Mitbenutzung einzutreten, um zu ergründen wie Antenne und Weiche sinnvollerweise zu planen und auszulegen sind, um eine Mitbenutzung zu ermöglichen und zu begünstigen. Weitere DAB-Bedeckungen, sei es von öffentlich-rechtlicher Seite, oder von bundesweiten Multiplexen oder von privaten Betreibern auf regionaler, lokaler oder landesweiter Ebene, können hier synergetisch zusammenwirken.

Eine Kooperation macht auch dann Sinn, wenn man selbst als Mitbenutzer einer Antenne auftritt, aber durch zusätzliche DAB-Ensembles auf derselben Antenne, die anteiligen Kosten für das eigene DAB-Ensemble senken kann.

Besieht man sich die abgeschätzten Mietkosten so werden hier pauschal entsprechend der N-Klassifizierung 30.000 €, 60.000 € oder 120.000 € pro Jahr angenommen, die für Grundmiete und Turmmiete (aka Antennenmiete) aufzuwenden sind. Die Grundmiete kann

man sich eventuell schon dadurch einsparen oder zumindest kooperativ aufteilen, indem man über einen Betreiber realisiert, der bereits andere Antennen am Turm verbaut hat.

In der folgenden Tabelle wird mittels einfacher Rechnung verdeutlicht wie sich die Mietkosten bei Antennenneubau zwischen mehreren Nutzern aufteilen lassen. Dabei wird die Grundmiete in der vollen abgeschätzten Höhe mit angenommen und die N-Klasse wie definiert erhalten. Es werden sowohl die Investitionskosten in Höhe von 280.000 € herangezogen und auf 10 Jahre umgelegt, als auch die Erneuerungskosten mit 14.000 € pro Jahr, sowie die Jährlichen Kosten durch Miete (30.000 € - 120.000 €).

Kosten pro Jahr	N3	N4	N5
Abschreibung	28.000 €	28.000 €	28.000 €
Erneuerung	14.000 €	14.000 €	14.000 €
Miete	30.000 €	60.000 €	120.000 €
Summe	72.000 €	102.000 €	162.000 €

Abbildung 5-10: Bildung der Gesamtkosten für die Klassen N3, N4 und N5 zur nachfolgenden Betrachtung

Anzahl Nutzer	N3	N4	N5
1	72.000 €	102.000 €	162.000 €
2	36.000 €	51.000 €	81.000 €
3	24.000 €	34.000 €	54.000 €
4	18.000 €	25.500 €	40.500 €
5	14.400 €	20.400 €	32.400 €
6	12.000 €	17.000 €	27.000 €

Abbildung 5-11: Kostenverteilung bei Antennenmitbenutzung

Die Anzahl der DAB-Ensembles die man auf einer Antenne abstrahlen kann, hängt dabei nicht nur vom Fortschritt des DAB-Ausbaus insgesamt ab und von der Kompatibilität der verbauten Weichen und genutzten Frequenzen, sondern auch von der maximalen Abstrahlleistung die die Antenne verkraftet. Insbesondere für hohe ERP durch mehrere Ensembles, sind die Ressourcen hier schnell ausgeschöpft. Die Mitbenutzungspreise können somit auch entsprechend der ERP angesetzt werden. Durch das Verbauen größerer Antennen, die höhere Investitions- und Mietkosten verursachen, dann aber Einsparungen beim Gewinn bringen und mehr Mitbenutzer erlauben, können hier strategisch Kosten minimiert werden, wenn entsprechende Abstimmungen bereits während der Detailplanung möglich sind oder hier gewinnorientiert Vorausinvestitionen getätigt werden. Siehe auch

Kapitel 3.5. Mögliche regulatorische Eingriffe können hier andererseits problematisch sein, für solche langfristigen strategischen Investitionen.

Unter diesen Gesichtspunkten sind 6 DAB-Ensembles vermutlich kaum zu erreichen und der Unterschied zu 4 DAB-Ensembles ist nicht mehr entscheidend. Anzustreben ist ein Minimum von 2 DAB-Ensembles und ein realistisches Optimum von 4 DAB-Ensembles pro Antenne.

Grundsätzlich sind solche Synergien zum Vorteil aller Beteiligten Antennennutzer. Das entscheidende Hindernis liegt in einer zeitlichen Synchronisierung und einer verbindlichen Zusage bzw. Kostenübernahme. Es wäre hilfreich, wenn zukünftig Antennen und Antennenmitbenutzung als strategische Grundinfrastruktur gesehen werden, sodass von offizieller Seite die Weichen in Richtung Mitbenutzung gestellt und Hindernisse durch Förderung und Zwischenfinanzierungen aus dem Weg geräumt werden, um dafür langfristig technisch sinnvolle und preislich optimierte Lösungen, im Sinne einer bezahlbaren und tragfähigen Rundfunkinfrastruktur zu unterstützen und zu ermöglichen.

6 Ausblick

6.1 Weitere Kostenbereiche

Weitere Kostenbereiche die in dieser Studie nicht berücksichtigt wurden, nicht Teil der Gesamtrechnung sind und hier nur kurz skizziert werden.

6.1.1 Medienrechtliche Überwachung und Kontrolle

Aus medienrechtlicher Sicht können sich folgende Bereiche ergeben:

- Kontrolle des Sendernetzes, der Versorgung und der Einhaltung von Sendernetzgrenzen entsprechend vorgesehener medienrechtlicher Regionalisierung
- Mitschnitt, Archivierung und medienrechtliche Prüfung von Programminhalten, insbesondere für Programme die nicht zeitlich und inhaltlich identisch auch auf anderen Wegen (z.B. UKW) vorhanden sind

6.1.2 Hoheitskosten, Frequenzuteilung

Zur Nutzung von DAB-Sendefrequenzen ist eine Beantragung und Zuteilung durch die Bundesnetzagentur⁶⁰ notwendig. Diese verlangt Frequenznutzungsbeiträge, die sich nach der versorgten Fläche richten. Hierzu gibt es spezielle offizielle Berechnungsverfahren. Eine grobe Abschätzung der Kosten ist jedoch auch auf Basis der geplanten zu versorgenden Fläche, im Sinne der in der Versorgungsplanung verwendeten Regionen möglich.

In der „Verordnung über Beiträge zum Schutz einer störungsfreien Frequenznutzung (Frequenzschutzbeitragsverordnung - FSBeitrV)⁶¹“ der Bundesnetzagentur mit Stand von 2016, werden pro angefangene 10 km² pro Jahr 2,79 € TKG und 0,19 € EMVG erhoben, also 0,298 € / km². Angewandt auf die ungefähren Flächen der Regionen ergibt sich:

Region / Sendernetz	Fläche km ²	Jährliche Beiträge	Kombinierte Sendernetze	Fläche km ²	Jährliche Beiträge
Koblenz	6.437,9 km ²	1.918 €	Koblenz/ Trier	11.370,1 km ²	3.388 €
Trier	4.932,2 km ²	1.470 €			
Rheinhausen	3.066,3 km ²	914 €	Trier/ Rheinhausen	7.998,5 km ²	2.384 €
Rheinpfalz	2.370,5 km ²	706 €	Pfalz	5.433,5 km ²	1.619 €
Westpfalz	3.063,0 km ²	913 €			
Summe Regionen (Varianten 2, 3, 4, 5)	19.869,9 km ²	5.921 €	Landesweit (Variante 1)	19.869,9 km ²	5.921 €

Tabelle 6-1: Frequenznutzungsbeiträge je Region und Sendernetz

⁶⁰ <https://www.bundesnetzagentur.de/>

⁶¹ <http://www.gesetze-im-internet.de/fsbeitrv/anlage.html>

6.1.3 Antennenbetreiber, Senderbetreiber

Im Falle des Antennenneubaus fallen Mietkosten für am Turm montierte Antennen an, die in dieser Studie als N-Klassifizierung abgeschätzt wurden. Es wurden ein Betrieb und eine Abschreibung von 10 Jahren angenommen (wie generell vorgegeben).

Ähnliche wurde bei den Sendern mit der S-Klassifizierung verfahren.

Nicht berücksichtigt wurde hierbei was nach Ablauf der 10 Jahre mit den Antennen, Weichen, Sendern und Leitungen passiert. Denn grundsätzlich gibt es hier zwei gegensätzliche Annahmen:

- Sowohl Sender, wie Antennen, sind deutlich länger als 10 Jahre nutzbar. Sie „altern“ nicht so schnell, behalten (bis auf wenige Ausnahmen) ihre Funktion und stellen somit einen funktionalen Restwert dar, der sich auch monetär äußern kann, abhängig davon welcher Bedarf nach 10 Jahren bei diesem sehr speziellen Equipment besteht. In der Buchhaltung werden meist steuerrechtliche Abschreibungszeiten von deutlich mehr als 10 Jahren für Sender und Antennen angesetzt. Auch dies legt nahe, dass nach 10 Jahren hier noch ein relevanter Restwert anzunehmen ist.
- Die Sender, aber ganz besonders die Antennen, müssen bei Beendigung des Betriebs und des Mietverhältnisses entfernt, d.h. rückgebaut und nötigenfalls sogar entsorgt werden. Hier fallen entsprechende Demontagekosten an, die insbesondere bei den Antennen erheblich sein können (wenngleich deutlich geringer als die Montagekosten) und bereits vorher durch entsprechende Rücklagen abgesichert werden sollten.

Beide Effekte können in unterschiedlicher Höhe auftreten und sich eventuelle auch gegenseitig komplett aufheben, aber auch gegenseitig bedingen. So kann z.B. der Verkauf von Sendern daran geknüpft sein, sie zu demontieren, um sie an einem anderen Standort wiederverwenden zu können. Für Antennen wird die Wiederverwendung an gänzlich anderen Standorten vermutlich nicht oder nur sehr begrenzt sinnvoll möglich sein.

Am plausibelsten sind jedoch zwei weitere Fälle:

- Der Betrieb wird nach 10 Jahren verlängert und fortgesetzt. Dann können die bestehenden Antennen weitergenutzt werden und es fallen keine neuen Investitionskosten hierfür an. Der Betrieb für die Zeit nach den 10 Jahren, kann somit günstiger werden.
- Der Betrieb wird nicht selbst fortgesetzt, aber die Antennen und/oder Sender können an einen Dritten weiterveräußert werden, der diese in der bestehenden Form weiter nutzt. Verkäufer und Käufer sparen sich dadurch ggf. Kosten.

Auch zwei weitere Fälle sind denkbar:

- Die Antennen und/oder Sender können am Standort verbleiben, ohne jeglichen Rückbau, da genügend Ressourcen vorhanden sind. Der Standortbetreiber verzichtet auf Mietkosten oder reduziert diese drastisch (sofern keine Nutzung erfolgt), da die Ressourcen nicht anderweitig benötigt werden und setzt auf die geringen Zusatzeinnahmen oder die Hoffnung der zukünftigen Nutzung.
- Der Standort wird etwa nach 10 Jahren insgesamt aufgegeben, d.h. bleibt eventuell ungenutzt stehen und/oder wird abgerissen. Die Demontage/Entsorgung kann in diesem Rahmen dann mit erfolgen oder entfallen. Ggf. werden mit Inaktivierung des Standortes dann pauschale einmalige Kosten in vergleichsweise geringer Höhe erhoben, die einen späteren Abriss mit abdecken würden.

Näheres ist in einer Detailplanung zu beleuchten und ggf. durch Rücklagen abzusichern.

6.1.4 Sendernetzbetreiber und Ensemblebetreiber

Je nach Betriebskonzept müssen weitere Kosten veranschlagt werden. Diese sind am ehesten im Bereich der Ausfallsicherheit zu erwarten. Da in dieser Studie ohne Redundanz kalkuliert wurde, aber keine Information über die geforderte Verfügbarkeit vorlagen, können sich hier noch weitere Erkenntnisse ergeben, wenn Verträge mit Programmanbietern konkretisiert werden. Will man eine hohe Verfügbarkeit erreichen ist dies typischerweise nur mittels Redundanz (also Cold-Standby, Hot-Standby oder Parallelbetrieb von zwei vollständig ausgebauten Systemen) möglich. Will man Kosten sparen kann man alternativ natürlich auch die zugesicherte Verfügbarkeit herabsetzen.

Weitere Kosten, die möglicherweise aber längerfristig überkompensiert werden, sind durch betrieblich-strategische Planungen möglich. Zum Beispiel durch Investition in zusätzliche Ersatzsender, die dann passend an jedem Standort vorrätig gehalten werden, um die Aufwände im Falle von Havarie oder Wartung gering zu halten.

Der Bereich der Versicherungskosten wurde nicht näher betrachtet und nicht in die Kalkulationen einbezogen. Üblich ist es, zumindest für den Haftpflichtfall eine Versicherung abzuschließen, wenngleich die Notwendigkeit und Kosten stark von dem Zusammenspiel der verschiedenen betrieblichen Verantwortlichkeiten abhängt. Es kann hier, je nach Betreiber, auch schon eine pauschale Haftpflichtabdeckung für den ganzen Standort oder den generellen Betrieb vorhanden sein. Ob darüber hinaus Sender und Antennen gegen Ausfall oder Zerstörung (z.B. Blitzschlag) versichert werden sollen oder ob zusätzlich auch die entstehenden Ausfälle von Programmen mitzuversichern sind, ist eine kaufmännische Entscheidung. Große Betreiber verzichten mitunter gerne auf eine Vollversicherung und investieren die Versicherungsprämien lieber in eigene Rücklagen. In manchen Fällen macht eine Versicherung auch überhaupt keinen Sinn und das Risiko, sowie mögliche Nachteile, werden pauschal in Kauf genommen, abgewälzt und vertraglich vereinbart, zugunsten niedrigerer Gesamtkosten.

Die in dieser Studie angesetzten Kosten für „Erneuerung“ können auch dem Bereich „Versicherung“ gewidmet werden. Eine darüberhinausgehende Analyse und Berechnung von Versicherungsprämien erfolgte hier jedoch nicht und kann erhebliche Komplexität mit sich bringen, hängt aber vorrangig von den konkreten Wünschen durch die dann verantwortlichen Betreiber und Nutzer ab.

6.1.5 Programmbetreiber

Der Bereich der Programmzuführung wurde in dieser Studie nicht behandelt. Einige Stichpunkte für mögliche Kosten sind:

- Audioencoder (als Einzelgerät oder als Softwarelizenz im Multiplexer)
- Zuführungsleitung vom Studio zum Multiplexer
- Technische Anpassungen im Studio (z.B. eigener Signalweg ohne Soundprocessing, für DAB+, Announcement-Signalisierung, Dynamic Label Generierung)
- DAB+ Rückempfang (DAB+ Radios oder Referenzempfänger) und Rückempfangsüberwachung (z.B. Pegelkontrolle, Kontrolle der Audioqualität)
- Information der Hörer, über den neuen Empfangsweg, die Möglichkeiten zur Nutzung und die Vorteile für den Hörer, in der Form von Sendezeit, Beiträgen oder Werbekampagnen mit Plakaten, Printmedien oder Internet
- Kosten die sich aus der Nutzung von Medien (insbesondere Musik) für die Aussendung über DAB+ ergeben und die nicht bereits aufgrund anderer Nutzung (z.B. in UKW) mit abgedeckt sind.

6.1.6 Finanzierungsbedarf

In dieser Studie wurden die Investitionskosten getrennt von den jährlichen Kosten ermittelt und erst am Ende durch umlegen der Investitionskosten auf 10 Jahre mit den jährlichen Kosten zusammengefasst. Finanzierungskosten wurde hierbei nicht mit einberechnet. Ob und wie ggf. Kosten für einen Kredit angesetzt werden ist auch eine strategische Frage eines Betreibers bzw. einer Betriebsgesellschaft und hängt auch davon ab, ob ein entsprechender Kredit benötigt wird oder eine Finanzierung aus Eigenmitteln erfolgen kann. Die Investitionen können ferner auch im Zusammenhang mit einem fortgesetzten Betrieb über die hier betrachtete Dauer von 10 Jahren hinaus betrachtet werden. Ohne diese Details und Optionen hier vollumfänglich zu berücksichtigen, erfolgt eine Abschätzung der Höhe der Finanzierungskosten auf Basis eines Annuitätendarlehns⁶² mit festem Zinssatz, entsprechend der Formel die in Wikipedia ausgewiesen ist:

$$\text{Annuität} = \text{Kreditsumme} \times \frac{(1 + \text{Zinssatz})^{\text{Laufzeit}} \times \text{Zinssatz}}{(1 + \text{Zinssatz})^{\text{Laufzeit}} - 1}$$

Dabei umfasst die „Annuität“ die jährlich zu leistende Gesamtzahlung zur Finanzierung der Investitionskosten, d.h. es werden sowohl die Zinsen, als auch die Kreditsumme durch die Annuität beglichen. Ohne Kreditzinsen würde pro Jahr (entsprechend der Abschreibung auf 10 Jahre) ein Betrag von 1/10 der Investitionskosten anfallen, d.h. 10% der Investitionskosten. Durch die zusätzlichen Zinsen erhöht sich dies, je nach zugrunde gelegtem Zinssatz:

Annuitätendarlehn, Laufzeit 10 Jahre.								
Zinssatz für Kredit	0,0 %	0,5 %	1,0 %	2,0 %	3,0 %	4,0 %	5,0 %	6,0 %
Zahlung pro Jahr für Abschreibung und Zinsen bezogen auf Investitionssumme	10,00 %	10,28 %	10,56 %	11,13 %	11,72 %	12,33 %	12,95 %	13,65 %
Änderung in Prozentpunkten gegenüber reiner Abschreibung (0,0%-Finanzierung)	0,0 %	0,28 %	0,56 %	1,13 %	1,72 %	2,33 %	2,95 %	3,65 %

Tabelle 2: Annuität als Prozentwert der Investitionskosten (10 Jahren Laufzeit; verschiedenen Zinssätze)

Die Spalte für eine „0,0 % Finanzierung“ (also eine reine Abschreibung ohne Kreditzinsen) lässt sich nicht trivial über die Formel berechnen, sondern nur durch eine Grenzwertberechnung oder alternativ einfach durch die oben erwähnte direkte Aufteilung der Investition auf die 10 Jahre (also 1/10 je Jahr).

Die 0,0 % Finanzierung dient hier als Vergleichswert, der sich auf die in dieser Studie ausgewiesenen Werte bezieht. Die %-Werte der zweiten und dritten Zeilen lassen sich universell für Annuitätenkredite mit 10 Jahren Laufzeit heranziehen, d.h. auch für sonstige Finanzierungen anderweitiger Investitionen die ggf. für Programmanbieter etc. anfallen.

Der konkrete Zinssatz lässt sich nicht pauschal abschätzen, da aktuell zwar ein Niedrigzinsniveau herrscht, aber es entscheidend ist, was mit einem Kredit finanziert werden

⁶² <https://de.wikipedia.org/wiki/Annuit%C3%A4tendarlehen>

soll und wie hoch die Bank, ggf. das Risiko für einen Ausfall bewertet. Baufinanzierung ist hier zwar zu relativ niedrigen Zinssätzen möglich, da hier die Immobilie als Sicherheit verbleibt, die Situation ist aber eine gänzlich andere wenn Sender, Multiplexer oder Antennen finanziert werden sollen. Insbesondere Antennen stellen in den Augen der Banken nur einen geringen Restwert dar und die hohen Montagekosten, verbleiben nur als nachhaltiger Wert, wenn die Antenne exakt an der verbauten Position weitergenutzt werden kann. Da Antennen individuell für jeden Standort und die spezifischen Anforderungen gefertigt und montiert werden, ist ihre Wiederverwendbarkeit außerhalb des ursprünglichen Zwecks gering. Banken scheuen sich davor solche Investitionen zu finanzieren, setzen hierfür häufig deutlich höhere Zinssätze an und verweigern einen Kredit hier mitunter auch völlig. Ein fachlich im Bereich des Rundfunks tätiges Unternehmen hingegen schätzt Chancen und Risiken eventuell anders ein. Auch aus diesem Grund, war es nicht sinnvoll eine bestimmte Finanzierung in der Studie schon fest mit einzuberechnen.

Für die unterschiedlichen Varianten wurde jeweils die Berechnung für verschiedene Zinssätze durchgeführt (hier nicht vollständig gezeigt) und das Ergebnis zu den in der Studie ausgewiesenen Gesamtkosten in Relation gesetzt. Für die verschiedenen Varianten ergeben sich hierbei Unterschiede durch das unterschiedliche Verhältnis von Investitionen und jährlichen Kosten. Die Gesamtkosten pro Jahr mit Finanzierung mit entsprechendem Zinssatz erhält man indem man die im Kapitel 5 genannten Gesamtkosten mit dem Prozentwert im unteren Bereich multipliziert (100% bei einer 0%-Finanzierung).

	Variante	1	2	3	4	5
Investitionen		2.563.751 €	3.834.005 €	3.767.754 €	3.701.503 €	3.701.503 €
Jährliche Kosten		1.561.478 €	1.899.890 €	1.883.969 €	1.868.048 €	1.868.048 €
Abschreibung pro Jahr		256.375 €	383.401 €	376.775 €	370.150 €	370.150 €
Gesamtkosten pro Jahr (Jährlich+Abschreibung)		1.817.853 €	2.283.291 €	2.260.744 €	2.238.198 €	2.238.198 €
Anteil der Abschreibung		14,10%	16,79%	16,67%	16,54%	16,54%
Gesamtkosten pro Jahr, bei einer Finanzierung der Investitionen zum Zinssatz von ...	0,0 %	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
	0,5 %	100,39%	100,47%	100,47%	100,46%	100,46%
	1,0 %	100,79%	100,94%	100,93%	100,93%	100,93%
	2,0 %	101,59%	101,90%	101,88%	101,87%	101,87%
	3,0 %	102,43%	102,89%	102,87%	102,84%	102,84%
	4,0 %	103,29%	103,91%	103,88%	103,85%	103,85%
	5,0 %	104,16%	104,95%	104,92%	104,88%	104,88%
	6,0 %	105,15%	106,13%	106,08%	106,04%	106,04%

Tabelle 3: Prozentuale Veränderung der Gesamtkosten pro Jahr bei Finanzierung (unterschiedliche Zinssätze)

Die Veränderungen die sich durch eine Finanzierung mit einem Zinssatz bis 6,00 % ergeben, bleiben in allen Varianten unter 7 % der jährlichen Gesamtkosten. Ein anderes Bild würde sich ergeben, wenn der Anteil der Investitionskosten an den Gesamtkosten deutlich höher wäre oder wenn deutlich höhere Zinssätze anzusetzen wären.

Obwohl die Zusatzkosten für eine Finanzierung der Investitionen vergleichsweise moderat ausfallen, müssen sie für eine Detailplanung natürlich beachtet werden. Insbesondere sind ggf. frühzeitig Verhandlungen mit Geldgebern aufzunehmen, um eine sinnvolle Lösung für diesen eher untypischen Kreditbereich zu verhandeln und die konkreten Zinssätze zu ermitteln, mit denen dann die weitere Kalkulation durchgeführt wird. Auch hier ist die wesentliche Frage: Wer trägt ggf. welche Risiken? Durch eine Verlagerung von Risiken ergeben sich Veränderungen bei den Kosten und Chancen.

6.2 Weitere Planungsbereiche

6.2.1 Zuführung durch Programmbetreiber

In dieser Studie nicht betrachtet wurde der Bereich der Heranführung von Audioprogrammen zum Multiplexer. Dies wird typischerweise auch über IP-basierte Leitungen erfolgen. Es ist jedoch zu klären, ob hierfür dieselbe LAN Link Layer 2 bzw. MPLS-Anbindung genutzt werden soll, wie für die Anbindung der Senderstandorte. Insbesondere sind die Sicherheitsanforderungen hier zu beachten und es ist eine Trennung der Netzbereiche einzuhalten. Ggf. kommen auch völlig separate Leitungswege zum Einsatz. Grundsätzlich ist es auch möglich DSL-Zugänge und offenes Internet zur Zuführung zu nutzen. Dies erfordert umfassende Planungen und eine durchdachte Netzwerkkonfiguration, die im Betrieb später auch beherrschbar bleibt.

Diese Zuführung, wurde in den Kosten dieser Studie nicht berücksichtigt. Neben dem hohen Planungs- und Grundkonfigurationsaufwand, können die eigentlichen Zuführungskosten moderat oder sogar sehr niedrig ausfallen, sofern man Übertragungsverzögerungen und gelegentliche Ausfälle in Kauf zu nehmen bereit wäre. Je zuverlässiger eine Verbindung ist und je geringer die dabei auftretenden Verzögerungen sind, umso höher sind die Kosten tendenziell.

Es bietet sich an, dass der Ensemblebetreiber eine Grundinfrastruktur (z.B. Rackspace, KVM, o.ä.) am Standort des PlayoutCenters bereitstellt, die von allen zuführenden Programmbetreibern genutzt werden kann zu günstigen Mitnutzungspreisen. Hier könnten Programmanbieter z.B.:

- Leitungsendpunkte (inkl. entsprechender Geräte) betreiben
- Audioausspieler (d.h. Sendeablaufsteuerung) betreiben, wenn sie ihr Programm ausschließlich oder primär in DAB+ aussenden und die Zuführung/Anbindung flexibel und günstig halten wollen.
- Pegelwächter bzw. Überwachung der Zuführungsleitung/Anbindung
- Havarie Audioausspieler (z.B. CD-Spieler / MP3-Player) im Falle von Zuführungsproblemen (z.B. mit „Fahrstuhlmusik“, „Störungsansage“ o.ä.)
- Audioencoder betreiben, die für jedes Programm notwendig sind (bzw. alternativ wären Lizenzen und Ressourcen im Multiplexer zur Audioenkodierung vorzusehen)
- PAD-Datendienst-Generatoren betreiben, z.B. für Dynamic Labels (z.B. Titel, Interpret o.ä.) oder Slideshow (z.B. Studiowebcam, Logo, etc.)
- Generator/Endpunkt für Announcement-Signalisierung

Es kann sich auch anbieten wenn hier Grundinfrastruktur generell von Seiten des Ensemblebetreibers bereit gestellt und betrieben wird, die von den Programmbetreibern dann nur noch flexibel angemietet und konfiguriert werden muss, um die Einstiegshürden und Realisierungskosten zu senken. Eventuell kann eine Förderung auch genutzt werden, solche Grundinfrastruktur kostengünstig oder kostenlos bereit zu stellen, um Programmanbietern die Nutzung spezifischer DAB-Features zu erleichtern und schmackhafter zu machen.

6.2.2 Betriebsgesellschaft und kaufmännische Grundlagen

Im Unterschied zur Aussendung über UKW, wird bei DAB+ stets ein komplettes DAB-Ensemble ausgesendet in dem eine variable dynamische Anzahl an Audioprogrammen übertragen werden kann. Je nach Fehlerschutz (Protectionlevel) und Audiodatenrate, lässt sich eine unterschiedliche maximale Anzahl Programme übertragen. Normal sind hier 7 bis 28 Audioprogramme, bei Verwendung des in DAB+ spezifizierten Audiocodecs.

Es spielt dabei jedoch keine Rolle, ob der gesamte zur Verfügung stehende Platz in einem DAB-Ensemble auch genutzt wird. Es muss stets ein komplettes DAB-Ensemble ausgesendet werden und die hier in dieser Studie ermittelten Kosten fallen entsprechend an. Es fallen somit für eine DAB+ Aussendung zwingend Grundkosten an, durch die mehr Kapazität bereitgestellt wird, als für die Aussendung eines einzelnen Audioprogramms notwendig ist. Für ein einzelnes Programm und einen einzelnen Programmanbieter sind die Kosten eines DAB-Ensembles typischerweise zu hoch, um sie zu tragen. Sofern sich eine passende Anzahl an Programmanbietern findet, die kooperativ diese Kosten gemeinsam tragen und ihre Programme per DAB+ aussenden, lassen sich die Grundkosten für die Aussendung des DAB-Ensembles entsprechend aufteilen.

Um dies kaufmännisch abzubilden, ist typischerweise eine Betreibergesellschaft notwendig die nicht nur den technischen Betrieb koordiniert und die Aussendungen der einzelnen Senderstandorte aufeinander abstimmt, sondern die auch die monetären und vertraglichen Belange auffängt und über Einzelverträge mit Programmanbietern entsprechende Kapazitäten bereitstellt, während sie selbst wiederum die Grundkosten trägt.

Schwierigkeiten können entstehen, bei unterschiedlichen Vertragslaufzeiten oder dem Risiko, dass Kapazitäten in einem DAB-Ensemble dauerhaft oder vorübergehend ungenutzt bleiben, aber einzelne Programmanbieter langfristige Zusicherungen für eine fortgesetzte DAB+ Aussendung erhalten. Diese kaufmännischen Risiken, werden in der freien Wirtschaft typischerweise durch Risikoaufschläge kompensiert, jedoch erhöht dies die Preise, was in der Praxis nicht erwünscht ist. Es gibt hier unterschiedlichste mögliche Modelle, bis hin zu pauschalen höheren Kosten, mit Rückerstattung sofern in einem Jahr Überschüsse erzielt wurden, weil die Ensemblekapazität kontinuierlich voll ausgeschöpft wurde.

Diese kaufmännischen Überlegungen waren nicht Teil dieser Studie, sind aber vor oder mit einer Detailplanung oder Realisierung anzugehen, um die Umsetzung entsprechend der kaufmännischen strategischen Ausrichtung des Ensemblebetreibers abzustimmen.

Daran angehängt aber ggf. auch auf unterschiedliche Unternehmen aufteilbar, ist die Frage nach der technischen Koordinierung. Anders als bei UKW, senden die DAB-Sender eines Sendernetzes alle auf derselben Frequenz und bilden damit ein sogenanntes Gleichwellennetz, das deutliche Vorteile im Bereich der Sendeleistung und Frequenzökonomie aufweist. Dazu müssen die Aussendungen im gesamten Sendernetz aber exakt aufeinander abgestimmt sein und dies muss kontrolliert und ggf. korrigiert werden. Diese Aufgabe übernimmt der Sendernetzbetreiber, der identisch sein kann zum Ensemblebetreiber, aber auch in Form von zwei unterschiedlichen Unternehmen existieren

kann. Der Sendernetzbetreiber übernimmt dann die technische Koordinierung und die vertraglichen Aspekte bezüglich Senderstandorten, Standortbetreibern, Senderbetrieb, Antennenbetrieb oder Antennenmitbenutzung. Der Ensemblebetreiber hingegen hat eine klare vertragliche und technische Schnittstelle zum Sendernetzbetreiber, kümmert sich aber nicht um die Details zu den einzelnen Standorten. Stattdessen ist der Ensemblebetreiber im Vertragsverhältnis zu den einzelnen Programmbetreibern und koordiniert deren Anbindung, die DAB-Ensemblekonfiguration und die zu übertragenden Audioprogramme in allen vertraglichen und technischen Belangen.

Neben diesem klar strukturierten abstrakten Konzept gibt es in der Praxis und Theorie alle möglichen Mischformen, Sonderlösungen und Spielarten. Hier das passende Konzept für die Realisierung einer DAB+ Aussendung in Rheinland-Pfalz zu finden, ist eventuell nicht einfach und bedarf entsprechender Zeit und Verhandlungen. Entscheidungen können nachhaltige Auswirkungen auf das Zusammenwirken aller Beteiligten haben. Erst mit grundsätzlichen Vereinbarungen können die anfallenden Risiken bezüglich Investitionen, Vertragslaufzeiten, Rückbauauflagen, Preisanpassungen und Leerständen sinnvoll geregelt und aufgeteilt werden.

6.2.3 DAB-Ensemble als bunter attraktiver Strauß

Die ursprüngliche Idee des DAB-Ensembles ist es nicht nur einen technischen Rahmen für Synergieeffekte zu schaffen, sondern auch ein inhaltlich sinnvolles Gesamtangebot zu realisieren, das aufeinander abgestimmt ist. Man kann somit ein DAB-Ensemble als einen bunten Blumenstrauß begreifen, dessen Einzelteile aufeinander abgestimmt sein sollten, um die Gesamtattraktivität auch zum Vorteil aller Einzelteile zu erhöhen. Große bunte Blüten stehen hier symbolisch für zugkräftige Mainstreamprogramme mit hohen Marktanteilen. Diese machen sich jedoch besser, wenn sie von anderen Elementen eingerahmt werden. Bei DAB-Ensembles könnten dies Informationsprogramme, wie etwa Nachrichtenkanäle, oder Kulturprogramme, sowie weitere Spartenkanäle mit weniger populären Musikrichtungen sein. Auch Zusatzdienste wie Verkehrstelematik (etwa in Form von TPEG) kann hier zur Bereicherung, zur Nutzung von Restkapazitäten und zur besseren Kostendeckung eingesetzt werden. Letztlich profitieren auch die Programmanbieter selbst davon wenn es nicht ein dutzend ähnlicher Programme gibt, die alle nur die aktuellsten Hits spielen, sondern es Programme gibt, die sich eindeutig abgrenzen, indem sie etwa Klassik, Country oder Jazz spielen, bzw. sich mit spezifischen Themen befassen.

Programme können sich innerhalb eines DAB-Ensembles auch gegenseitig gut unterstützen. So können Announcements bewusst auch über Kreuz zwischen verschiedenen Programmen erfolgen. Programme können in verschiedener Weise aufeinander verweisen und sich gegenseitig „mitnutzen“. DAB kennt das Konzept sogenannter „Secondary Services“, die an Programme (konkret eigentlich an DAB-Services) angehängt werden und dann damit assoziiert sind. Sonderkanäle zu besonderen Ereignissen können somit an unterschiedliche primäre Programme angehängt werden und sind (je nach Empfänger) dann leichter direkt erreichbar. Durch Reduktion von Audiodatenraten kann temporär Platz für solche Sonderkanäle geschaffen werden. Hier können sich unterschiedliche Programme kooperativ unterstützen. Dies ist aber nur möglich, wenn diese auch gemeinsam in einem DAB-Ensemble enthalten sind. Es macht somit konzeptionell mehr Sinn kooperationswillige Programme und Programmanbieter in einem DAB-Ensemble unterzubringen, statt 15 Einzelkämpfern die, wie bei UKW häufig üblich, nur auf ihr Einzelprogramm fokussiert sind.

Ein attraktives DAB-Ensemble kann sich zwar auch zufällig ergeben. Hilfreich kann hier jedoch eine koordinierende Instanz sein, die Programme passend auswählt oder fördert. Dies muss natürlich im Einklang mit dem tatsächlichen Bedarf von Programmanbietern

geschehen, ihre Programme mittels DAB+ auszusenden, und mit den medienrechtlichen Entscheidungsprozessen harmonisiert sein. Bei der Etablierung von Strukturen, Verantwortungen und der Bestimmung von Betreibern, ist der Bereich der inhaltlichen Zusammenstellung eines DAB-Ensembles aber in jedem Fall mit zu berücksichtigen. So macht es keinen Sinn, wenn etwa ein technischer Dienstleister oder ein Ensemblebetreiber nur nach kaufmännischen Gesichtspunkten über die Zusammenstellung eines DAB-Ensembles frei entscheidet, ohne die inhaltlichen, kooperativen und hörerbezogenen Aspekte ausreichen zu berücksichtigen.

6.2.4 Detailplanung und verbindliche Preisverhandlungen

Diese Studie war weder dafür angesetzt noch geeignet verbindliche Preisinformationen einzuholen. Es erfolgte auch keine Detailplanung. Sofern eine Realisierung angestrebt und weiterverfolgt wird, muss diese Detailplanung im Nachgang erfolgen. Darin sind alle Details, insbesondere zu den einzelnen Senderstandorten einzuholen, auf Basis verbindlicher Informationen und Preise, die es erlauben weitere Entscheidungen zu treffen. Dies kann auch bedeuten, dass die Aussendung in einigen Fällen nochmals zu anderen Standorten verlagert werden muss. Eine wichtige Voraussetzung für die Detailplanung ist, zu wissen, welche Frequenzen nun konkret genutzt werden können. Darauf basierend wird klar, welche Varianten überhaupt realisierbar sind und inwiefern bestehende Antennen und Weichen kompatibel sind mit geplanter Mitbenutzung. Es kann dann eine Detailplanung zum Neubau von Antennen erfolgen, bei denen die möglichen Montagepositionen und Antennentypen mit den Anbietern abgestimmt und mit konkreten Angeboten hinterlegt werden müssen. Erst mit diesen Informationen ist eine verbindliche Kostenkalkulation in einem engeren Toleranzbereich möglich, die wiederum eine wichtige Information für alle Betreiber, insbesondere die Programmbetreiber ist um ihrerseits Kalkulationen durchzuführen.

In den meisten Fällen sind Standortbegehungen notwendig in denen auch die technischen Details der bestehenden Antennenanlagen und Weichen ermittelt werden müssen, um zu entscheiden welche Sender, Weichenerweiterungen und Antennen zu beauftragen sind. Mögliche Abweichungen von der ursprünglichen Versorgungsplanung müssen durch angepasste Versorgungsplanungen gegengeprüft werden, um wiederum auch den Programmbetreibern verlässliche Grundlagen für deren Kosten und Erlöse zu bieten.

Das Zuführungskonzept ist zu klären und genauer zu spezifizieren. Hierzu ist zwingend der Sendernetzbetreiber zu involvieren. Es empfiehlt sich unabhängig davon frühzeitig ein verbindliches Angebot für die Übertragung eines einzelnen DAB-Ensembles mittels Satellit einzuholen, um für die Zuführungskosten ein oberes Limit bei den leitungsgebundenen Kosten abschätzen zu können. Sollte die Detailplanung und Abstimmung mit dem Sendernetzbetreiber für ein einzelnes Sendernetz dann auf höhere Kosten, als bei einer Satellitenzuführung hinauslaufen, kann rechtzeitig in Richtung einer Satellitenzuführung umgeplant werden, sofern gewünscht.

Einzelne Standorte werden sich im Rahmen der Detailplanung als deutlich wichtiger und/oder deutlich einfacher zu realisieren erweisen. Diese Standorte können herausgepickt und als erstes realisiert werden, um zunächst mit einem rudimentären unvollständigen Sendernetz zu starten, das dann Schritt für Schritt weiter ausgebaut und verdichtet wird. Besonders problematische und/oder unwichtige Standorte können dann deutlich später realisiert werden und Umsetzungshemmnisse wirken sich nicht unnötig stark auf das Gesamtunterfangen aus.

6.2.5 Kontrolle und Erweiterung

Ist das Sendernetz weitgehend oder vollständig ausgebaut, empfiehlt es sich dieses durch Messfahrten zu kontrollieren, um mögliche Probleme und Fehler proaktiv und frühzeitig zu

finden. Dies kann Teil des Aufgabenbereichs des Sendernetzbetreibers sein oder durch externe Dritte erfolgen und beauftragt werden. Auch hier ist die Aufteilung von Ensemblebetreiber und Sendernetzbetreiber hilfreich. Der Ensemblebetreiber als Kunde des Sendernetzbetreibers kontrolliert dabei das Sendernetz im Sinne seiner Kunden, also der Programmanbieter. Die Programmanbieter erhalten die Absicherung, dass die vorgesehene Versorgung auch erreicht wird und können dies gegenüber ihren Hörern und Werbekunden entsprechend ausweisen.

Typischerweise zeigt sich im Laufe des praktischen Betriebs dann wo die Versorgung optimiert werden sollte. Dies kann durch eine nachgelagerte Netzverdichtung erfolgen. Hierzu kommen häufig Sender mit kleiner Leistungen zum Einsatz, vorzugsweise an Standorten an denen man die Antennen mitnutzen kann oder an denen kleine kostengünstige Antennenanlagen aufgebaut werden können.

Auch die Versorgung von Straßenverkehrstunneln kann Teil einer solchen Netzverdichtung sein. Dabei kann mit Repeater-Lösungen gearbeitet werden, die in der Lage sind das „Aufsprechen“ durch Tunnelbetreiber im Notfall zu ermöglichen, um Durchsagen z.B. bei Bränden im Tunnel, auch über die eingeschalteten DAB+ Empfänger zu ermöglichen. Durch die Integration solcher Notfallfunktionen ergeben sich oft attraktive Möglichkeiten der Co-Finanzierung für die Tunnelversorgung und für die Programmanbieter und Hörer steigt die Attraktivität des DAB+ Empfangsweges aufgrund der unterbrechungsfreien Versorgung.

6.2.6 Nutzung der Möglichkeiten von DAB+

Im Kern des Interesses steht zunächst meist die direkte Umsetzung von Audioprogrammen, wie sie aus dem UKW-Bereich bereits bekannt sind. Dabei bleiben viele Programme aber hinter den Möglichkeiten von DAB+ zurück und nutzen die Vorteile der Digitalisierung nur ungenügend aus. Als erster Einstieg ist dies unproblematisch, da auch die Hörer vorrangig auf die Nutzung des Audioprogramms geprägt sind. Es empfiehlt sich jedoch bewusst und aktiv die Nutzung der spezifischen Eigenschaften von DAB+ zum Vorteil aller Beteiligten zu entwickeln, etwa indem man die Programmbetreiber informiert und motiviert bestimmte Funktionen zu unterstützen und zu nutzen.

Es gibt Landesmedienanstalten die im Zusammenhang mit Lizenzierung und Förderung von Programmen auf DAB+ auch Auflagen verknüpfen bezüglich der Nutzung und Unterstützung von DAB+ Funktionen. Dies kann auch abgestuft und zeitlich verzögert erfolgen.

Mögliche Funktionen sind zum Beispiel:

- Aussagekräftige sinnvolle Labels (d.h. Programmnamen)
- Nutzung von sogenannten Dynamic Labels, z.B. zur Anzeige des aktuellen Musiktitels oder Programmelementes
- Unterstützung von Slideshows
- Kennzeichnung von Durchsagen (sogenannte Announcements, vergleichbar zu TP/TA und EON bei UKW) und ggf. Unterscheidung von Verkehrsinformationen, Nachrichten, usw.
- Korrekte Konfiguration der Service IDs, des Hard- und Softlinking, um das Umschalten der Empfänger zwischen verschiedenen Programmen und Sendewegen (DAB+, UKW) zu unterstützen.
- Nutzung der Möglichkeit zur dynamischen Rekonfiguration und der Aufschaltung temporärer Sonderkanäle (z.B. Sonderberichterstattung zu Großereignissen, im Katastrophenfall, o.ä.)
- Nutzung von Services mit mehreren ServiceComponents, etwa zur Realisierung mehrsprachiger Informationsprogramme (Stichwort „Secondary Services“)

- Zusammenschaltung von Programmen auf ein gemeinsames Audio (z.B. nachts oder während gemeinsam genutzter Audioinhalte), dadurch Einsparung von Übertragungskapazität, die dann für andere Programme oder zur Qualitätsverbesserung bzw. Steigerung der Empfangsstabilität genutzt werden kann.
- Reduktion der Audiodatenrate für Sprachprogramme, mit Kosteneinsparung oder gleichzeitiger Steigerung der Empfangsstabilität
- Übertragung zusätzlicher Daten und Inhalte über PAD oder NPAD Kapazitäten, z.B. im Auftrag Dritter im Bereich Verkehrstelematik (TPEG) oder zur Versorgung von technischen Systemen im Empfangsgebiet. Dadurch zusätzliche Erlösquellen und Kooperationsmöglichkeiten.

Erfahrungsgemäß sind viele Programmanbieter nicht über die tatsächlichen Möglichkeiten informiert und gehen an das Thema DAB+ zunächst aus ihrer konventionellen UKW-Perspektive. Dies ist vergleichbar mit Anbietern von Printmedien, die in der Anfangszeit des WWW ihre Medien mittels PDF Dokumenten zur Verfügung stellten, aber die Möglichkeiten des WWW nicht sinnvoll mittels HTML nutzen konnten. Durch entsprechende Hilfestellungen können hier Fehler vermeiden werden.

Als ein typisches Beispiel sind hier Soundprozessoren insbesondere Audiokompressoren anzuführen, die bei UKW zur Standardausstattung gehören oft zur Steigerung der Attraktivität und der Reichweite eingesetzt werden, aber bei DAB+ kontraproduktiv und hoch problematisch sein können. Durch die veränderten Klangsignale sind diese durch Audiocodecs kaum handhabbar und können nicht mehr sinnvoll datenkomprimiert werden. Durch fest vorgegebene Kapazitäten und Datenraten, kommt es in der Konsequenz dann zu teils drastischen Einbrüchen bei der subjektiven Audioqualität. Durch eine bessere Information der Programmbetreiber, können diese in die Lage versetzt werden, selbst besser über die Möglichkeiten zu entscheiden und ggf. auf Soundprocessing zu verzichten.

6.2.7 Zeitplanung und Vorgehen

Ein verlässlicher Zeitplan kann hier nicht vorgegeben werden. Die Versorgungsplanung war der erste Schritt, diese Studie ist der zweite Schritt. Nach einer möglichen positiven Entscheidung zur Realisierung des oder der DAB-Netze, ist eine Detailplanung erforderlich. Diese muss bereits Hand in Hand mit entsprechenden Betriebsgesellschaften erfolgen. Somit sind zunächst Ensemblebetreiber und Sendernetzbetreiber zu finden, mit denen eine Einigung über das konkrete Vorgehen erlangt werden muss. Sorgfalt ist hier anzuraten, denn dies stellt die Basis für alle weiteren Schritte und einen längeren Zeitraum dar. Für Verhandlungen und Vereinbarungen können somit durchaus mehrere Monate vergehen.

Ist eine Einigung absehbar kann auch schon mit Detailplanungen begonnen werden. Frühestens wird dies im Herbst 2018, eher Anfang 2018 möglich sein. Vorarbeiten sind auch schon vor diesen Terminen möglich, müssen aber ggf. dann nochmals nachvollzogen und ggf. auch wiederholt werden. Im Rahmen der Detailplanung werden verbindliche Angebote eingeholt und technische Details eruiert, entschieden und geplant. Soll ein schrittweiser Aufbau erfolgen, müssen die Standorte zeitlich gestaffelt werden nach Wichtigkeit und Einfachheit der Realisierung und es ist ein entsprechender Projektplan zu erstellen, der dies widerspiegelt.

Vermutlich wird man Standorte an denen ein Antennenneubau notwendig wird, erst später zum Sendernetz hinzufügen können. Einfacher erscheint hierbei die Variante 1, also das landesweite Netz, da durch Verwendung des Donnersbergs drei Standorte eingespart werden, die alle hätten neugebaut werden müssen.

Sofern man schnell starten will, könnte somit eine Möglichkeit darin bestehen, zunächst in Richtung der Variante 1 zu gehen und den Standort Donnersberg zu nutzen, aber dann später optional doch die Regionalnetze zu nutzen, wenn die Standorte Worms, Idar-Oberstein und Ludwigshafen die DAB-Antennen erhalten haben. Der Standort Donnersberg könnte dann wieder stillgelegt werden. Zur Wahrung solcher Möglichkeiten sind entsprechende Verträge mit passenden Laufzeiten abzuschließen.

Konzentriert man sich zunächst auf einfach zu realisierende Standorte, insbesondere solche mit Antennenmitbenutzungsoption, so sind die DAB-Sender einer der zeitkritischsten Posten. Diese müssen rechtzeitig beauftragt werden, insbesondere da derzeit in mehreren Bereichen in Deutschland der DAB-Ausbau vorangetrieben wird und die Auftragsbücher der Senderhersteller voll sein könnten, wodurch längere Wartezeiten möglich sind. Mit eventuell verfügbaren älteren und/oder gebrauchten DAB-Sendern zu starten, kann sinnvoll sein. Zu beachten ist jedoch dass diese teils deutlich geringere Effizienz haben. Die heute möglichen 40% – 46% sind erst in den neuesten Generationen zu erreichen. Ältere Sender haben nur etwa 20% Effizienz. Sender aus der Anfangszeit von DAB erreichten nur etwa 6%. Der nachträgliche Austausch von Sendern gegen neuere Modelle dürfte vergleichsweise kostspielig sein, da insbesondere die Kühlsysteme nicht unbedingt kompatibel sind.

Der nächste kritische Posten ist die Planung der Zuführungen, sowohl zu den Senderstandorten, wie auch von den Programmbetreibern. Hier ist ein Gesamtkonzept zu erarbeiten, das später betrieblich auch tragfähig und handhabbar ist. Durch die Vielzahl der einzelnen Anbindungen ist mit der Realisierung möglichst frühzeitig zu beginnen, ggf. sogar noch bevor das eigentliche PlayoutCenter mit den Multiplexern komplett realisiert ist. Eine Festlegung auf den Standort für das PlayoutCenter muss aber bereits vor Realisierung der Leitungszuführung erfolgt sein, um hier Planungssicherheit zu haben.

Die Multiplexer selbst sind vergleichsweise schnell realisierbar. Hier können unterschiedliche Server bzw. Industrie-PCs zum Einsatz kommen und die Software ist weitgehend standardisiert. Zeitrelevanter ist die notwendige Schulung von Mitarbeitern, falls diese hier noch kein Know-how haben. Übergangsweise und zur Unterstützung lässt sich hier jedoch kurzfristig Unterstützung bei verschiedenen Unternehmen einkaufen, da die in der Studie vorgesehenen Multiplexer in Deutschland gut vertreten sind und entsprechende Erfahrungen bei vielen Unternehmen vorhanden ist.

Bei der Entscheidung wo das PlayoutCenter realisiert werden soll, sind die technischen Voraussetzungen mit dem Betreiber des Standortes abzuklären, z.B. auch die Bereitstellung eines Zeitnormals. Beim PlayoutCenter sollte insbesondere berücksichtigt werden, dass nicht nur die Zuführung zu den Senderstandorten, sondern auch die Zuführung von den Programmbetreibern möglichst ökonomisch möglich ist. Der Aufbau eines PlayoutCenters in einem Rechenzentrum ist relativ kurzfristig möglich, sofern die technischen Details geklärt wurden und auf Standardequipment zurückgegriffen wird. Bei mehreren DAB-Ensembles alle Multiplexer an einem zentralen Ort zu positionieren, wie vorgeschlagen, ist sinnvoll um Synergien und Flexibilität bei Betrieb, Ersatzhardware und Zuführungsleitungen zu nutzen.

Ein einfaches Sendernetz mit nur wenigen Senderstandorten bis Ende 2019 umzusetzen, erscheint möglich, hängt aber davon ab, wie die verschiedenen Unternehmen hier konstruktiv zusammenarbeiten und wie leicht sich die verschiedenen Vertragsverhältnisse etablieren lassen. Letztlich sind hier auch die Programmbetreiber ein entscheidender Faktor, da diese sich dem Projekt verschreiben und daran binden müssen. Gibt es hier Ausfälle oder Verzögerung kann die Finanzierung des gesamten DAB-Ensembles und Sendernetzes gefährdet sein oder zumindest deutlich verzögert werden, sofern niemand eventuelle Finanzierungslücken auffangen kann oder will.

Wichtig ist sich frühzeitig darüber klar zu werden, mit welcher minimalen Ausbaustufe man ggf. bereit ist den Betrieb überhaupt aufzunehmen, da auch bei nur ein oder zwei Senderstandorten, erhebliche Grundkosten anfallen und somit das Kosten-Nutzen-Verhältnis schlechter wird, sowie die Hörer verwirrt und frustriert werden könnten.

Wenn man Ende 2019 starten möchte, liegt die kritischste Phase im Frühjahr und Fröhsommer 2019, da hier ggf. massive Aktivitäten bei Umplanungen und Abwägung von Alternativen notwendig sind. Kurz vor einem möglichen Start sollte die Situation schon relativ klar sein, aber die eigentlichen Aufbauarbeiten müssen erfolgen. Dies wird die Betreiber stark fordern und binden. Kann man den Aufbau aller Standorte bis weit nach 2020 oder sogar 2021 hinein strecken, lassen sich die Arbeiten besser verteilen und man kann aus den Erfahrungen mit ersten Standorten, für die später realisierten Standorte bereits lernen und hier Synergien nutzen.

Eine erhebliche zusätzliche Komplexität für die Planung kann hinzu kommen, wenn man nicht eine Variante beschließt und realisiert, sondern bereit ist hier zunächst mit nur einem oder wenigen Sendernetzen zu starten und diese dann später schrittweise weitere aufzuteilen und zu verdichten. Durch die unterschiedlichen Frequenzen die dabei genutzt werden müssen und die in der Konsequenz notwendigen Frequenzwechsel an einzelnen Standorten, wären vorab all diese Varianten und Frequenzen jeweils auf Kompatibilität mit den Antennen, Weichen und bezüglich der Frequenzregulierung zu prüfen und planen. Eventuelle Mehrkosten durch spätere Wechsel müssen berücksichtigt und die Kosten gegen den Nutzen abgewogen werden.

Andererseits bietet die schrittweise Erhöhung der Anzahl der Sendernetze, gemeinsam mit einer Steigerung der Senderstandorte, deutlich mehr Flexibilität bei abgestuften Entscheidungen, um auf unterschiedliche Interessen einzelner Programmanbieter reagieren zu können, um Gesamtkosten langsamer zu steigern und um die Komplexität des Gesamtsystems schrittweise zu erhöhen und Lerneffekte zu nutzen.

Gibt es bestimmte Orte an denen sich die Studios der Programmanbieter ballen, kann es sinnvoll sein primär dort mit ggf. auch nur kleinen Testaussendungen zu starten, um die Programmanbieter frühzeitig möglichst direkt mit einzubinden und ihnen die Möglichkeit zu geben, das Medium DAB+ direkt zu nutzen und ggf. sogar im gewissen Rahmen bewusst zu experimentieren in einer zeitlich begrenzten Anfangsphase, bevor die Sendernetze dann ausgebaut werden.

Sieht man Messfahrten zur Kontrolle des Gleichwellennetzes vor, muss man diese nach Veränderungen am Sendernetz und der Aufschaltung neuer Standorte wiederholen, da schon ein einzelner zentraler neuer Sender, der nicht korrekt synchron arbeitet, zu großflächigen Empfangsproblemen führen kann, selbst in Bereichen die ohne diesen zusätzlichen Sender eigentlich schon ausreichend versorgt waren.

Diese Studie hat bei der Abschätzungen der Planungskosten weder die möglichen Mehrkosten durch einen solche abgestuften Ausbau durch verschiedene Varianten berücksichtigt, noch mögliche Einsparungen durch Lerneffekte die sich hierbei ergeben.

Bei den Planungen sollte auch berücksichtigt werden, dass eventuell kurzfristig und auf einige Jahre befristet, eine erhöhte Nachfrage nach Programmplätzen bestehen könnte, da sich das eigentlich vorgesehene zweite deutschlandweite DAB-Ensemble („Bundesmux 2“) aufgrund juristischer Auseinandersetzung weiter verzögern kann und hier Programmbetreiber übergangsweise Aussendemöglichkeiten in regionalen oder landesweiten Netzen suchen könnten. Auch dahingehend könnte es Sinn machen abgestufte Ausbauplätze näher zu prüfen.

7 Anhänge und Verzeichnisse

7.1 DAB+ Kapazitäten

Ein DAB+ Ensemble (Multiplex), bietet Übertragungskapazität für 864 capacity units (CU).

Häufig erfolgen Preisangaben für Kunden in € pro CU und Jahr. Für die effektiven Kosten pro Programm muss die benötigte Anzahl CUs entsprechend des Protectionlevels (Empfangsstabilität) und der Datenrate (Audioqualität) herangezogen werden.

Die folgende Tabelle zeigt einige mögliche und übliche Kombinationen.

Protectionlevel (EEP-A)	Subchannel-Datenrate	Capacity Units	Programme pro DAB+ Ensemble
4	56 kbit/s	28 CU	30
4	64 kbit/s	32 CU	27
4	72 kbit/s	36 CU	24
4	80 kbit/s	40 CU	21
4	88 kbit/s	44 CU	19
4	96 kbit/s	48 CU	18
3	56 kbit/s	42 CU	20
3	64 kbit/s	48 CU	18
3	72 kbit/s	54 CU	16
3	80 kbit/s	60 CU	14
3	88 kbit/s	66 CU	13
3	96 kbit/s	72 CU	12
2	56 kbit/s	56 CU	15
2	64 kbit/s	64 CU	13
2	72 kbit/s	72 CU	12
2	80 kbit/s	80 CU	10
2	88 kbit/s	88 CU	9
2	96 kbit/s	96 CU	9

Je höher die Audioqualität ist, desto mehr Datenrate wird benötigt und umso mehr CU werden benötigt. Je besser der Fehlerschutz ist, umso mehr CU werden benötigt. (Der beste Fehlerschutz wird dabei als „1“ bezeichnet, der schlechteste als „4“. In der Praxis kommt meist „3“ zum Einsatz, für bessere Stabilität manchmal auch „2“, nur selten „1“ oder „4“).

7.2 Verzeichnis der Preisboxen

PREISBOX 4-1: DAB-MULTIPLEXER	57
PREISBOX 4-2: MONITORING/ÜBERWACHUNG.....	58
PREISBOX 4-3: WEITERES EQUIPMENT PAYOUTC.....	59
PREISBOX 4-4: RACKSPACE RZ.....	60
PREISBOX 4-5: ENERGIEKOSTEN PAYOUTCENTER	61
PREISBOX 4-6: ZEITNORMAL RZ.....	62
PREISBOX 4-7: BETRIEB PAYOUTCENTER	62
PREISBOX 4-8: PLANUNG/AUFBAU PAYOUTCENTER.....	63
PREISBOX 4-9: ANBINDUNG STANDORTE	66
PREISBOX 4-10: ANBINDUNG PAYOUTC.....	67
PREISBOX 4-11: ANTENNENNEUBAU	76
PREISBOX 4-12: ERSATZSENDER	81
PREISBOX 4-13: SENDER STROMKOSTEN	82
PREISBOX 4-14: KOSTEN TECHNIKFLÄCHE.....	83
PREISBOX 4-15: NETZWERK STANDORTE	84

7.3 Verzeichnis der Abbildungen

ABBILDUNG 1-1: ÜBERBLICK REGIONEN	8
ABBILDUNG 1-2: ÜBERSICHTSKARTE REGIONEN UND STANDORTE.....	10
ABBILDUNG 2-1: SCHEMATISCHER AUFBAU VON ANTENNE, WEICHE, FILTER UND SENDER BEI MITBENUTZUNG DER ANTENNE. ...	34
ABBILDUNG 2-2: FLUSSDIAGRAM FÜR DAS GEPLANTE VORGEHEN BEI DER STANDORTRECHERCH.	36
ABBILDUNG 5-1: DIAGRAMM DER PROZENTUALEN CU-PREISE DER SENDERNETZE IM VERGLEICH ZUM BASISPREIS.....	100
ABBILDUNG 5-2: DIAGRAMM CU-PREISE UND ANZAHL DER STANDORTE, MIT TRENDLINIE.....	101
ABBILDUNG 5-3: DIAGRAMM CU-PREISE UND ANZAHL DER STANDORTE, MIT TRENDLINIE MIT ZUSÄTZLICHEN BEISPIELEN	102
ABBILDUNG 5-4: CU-JAHRESPREIS DER SENDERSTANDORTBEZOGENEN KOSTEN	103
ABBILDUNG 5-5: CU-JAHRESPREIS DER ENSEMBLEBEZOGENEN KOSTEN	104
ABBILDUNG 5-6: WERTE NACH VARIANTE FÜR DIE BERECHNUNGSFORMEL DES CU-JAHRESPREISES	104
ABBILDUNG 5-7: ANTEILE DER ENSEMBLEBEZOGENEN UND SENDERSTANDORTBEZOGENEN KOSTEN.....	105
ABBILDUNG 5-8: ANTEILE DER SENDERSTANDORTBEZOGENEN KOSTEN.....	105
ABBILDUNG 5-9: ANTEIL NEUBAUSTANDORTE UND CU-PREISE PRO STANDORT JE SENDERNETZ.....	106
ABBILDUNG 5-10: BILDUNG DER GESAMTKOSTEN FÜR DIE KLASSEN N3, N4 UND N5 ZUR NACHFOLGENDEN BETRACHTUNG.....	108
ABBILDUNG 5-11: KOSTENVERTEILUNG BEI ANTENNENMITBENUTZUNG.....	108

7.4 Verzeichnis der Tabellen

TABELLE 2-1: KONZEPTIONELLER ÜBERBLICK DER ZUSTÄNDIGKEITS- UND BETRIEBSEBENEN.	27
TABELLE 2-2: KONZEPTIONELLES BEISPIEL 1 DER ZUSTÄNDIGKEITS- UND BETRIEBSEBENEN.	28
TABELLE 2-3: KONZEPTIONELLES BEISPIEL 2 DER ZUSTÄNDIGKEITS- UND BETRIEBSEBENEN.	29
TABELLE 3-1: ÜBERSICHTSTABELLE DER ERSCHLIEßBARKEIT VON STANDORTE ENTSPRECHEND DER L-KLASSIFIKATION	40
TABELLE 3-2: ÜBERSICHTSTABELLE DER DISTANZ ZU EINEM THEORETISCHEN HUB UND DIE RESULTIERENDE D-KLASSIFIKATION	41
TABELLE 3-3: ÜBERSICHTSTABELLE DER ERSCHLIEßBARKEIT VON STANDORTE ENTSPRECHEND DER L-KLASSIFIKATION	43
TABELLE 3-4: ABSCHÄTZUNG DER BENÖTIGTEN HÖHENEINHEITEN IM RACK DES PAYOUTCENTERS.	44
TABELLE 3-5: ABSCHÄTZUNG DER BENÖTIGTEN LEISTUNG AM PAYOUTCENTER.	46
TABELLE 3-6: S-KLASSIFIKATION MIT AUSGANGSLEISTUNG UND WIRKUNGSGRAD DER SENDER.	47
TABELLE 3-7: M-KLASSE BZW. N-KLASSE MIT DEM FAKTOR UND DER GRUNDSÄTZLICHEN EINTEILUNG.	54
TABELLE 4-1: KOSTENÜBERSICHT FÜR EINEN DAB-MULTIPLEXER.	56
TABELLE 4-2: BEISPIELPREISE FÜR RACK-MIETE UND SETUP.	60
TABELLE 4-3: BEISPIELE FÜR STROMPREISE IN RECHENZENTREN.	60
TABELLE 4-4: GESAMTSTROMBEDARF UND KOSTEN, JE NACH ANZAHL DER MULTIPLEXER, IM PAYOUTCENTER.....	61

TABELLE 4-5: ÜBERBLICK ALLER EINMALIGEN UND ENSEMBLEBEZOGENEN INVESTITIONSKOSTEN.	64
TABELLE 4-6: ÜBERBLICK ALLER EINMALIGEN UND ENSEMBLEBEZOGENEN JÄHRLICHEN KOSTEN.	65
TABELLE 4-7: FAKTOREN FÜR DIE WEITERE BERECHNUNG ENTSPRECHEND DER L-KLASSE BZW. D-KLASSE.	67
TABELLE 4-8: MATRIX MIT DEN PREISEN DER LEITUNGSGEBUNDENE ZUFÜHRUNG ENTSPRECHEND DER D-/L-KLASSE	67
TABELLE 4-9: ÜBERBLICK ALLER STANDORTE MIT D-/L-KLASSE UND DEN RESULTIERENDEN KOSTEN FÜR ZUFÜHRUNGSLEITUNGEN.	68
TABELLE 4-10: REGIONEN/SENDERNETZE-TABELLE MIT DEN LEITUNGSGEBUNDENEN ZUFÜHRUNGSKOSTEN (PRO JAHR).....	69
TABELLE 4-11: REGIONEN/SENDERNETZE-TABELLE MIT DEN LEITUNGSGEBUNDENEN ZUFÜHRUNGSKOSTEN (PRO MONAT)	69
TABELLE 4-12: ÜBERBLICK ÜBER MÖGLICHE KOSTENRAHMEN BEI SATELLITENZUFÜHRUNG VON EIN BIS FÜNF DAB-ENSEMBLES. ..	71
TABELLE 4-13: BEISPIELKOSTEN ANSCHAFFUNG UND MONTAGE FÜR ZWEI VERSCHIEDENEN ANTENNENTYPEN MIT WEICHE	74
TABELLE 4-14: ÜBERBLICK DER N-KLASSE, KOSTEN UND DER ZUORDNUNG DER STANDORTE.	75
TABELLE 4-15: ÜBERBLICK NACH STANDORTEN MIT ANTENNENNEUBAU MIT N-KLASSE, BETREIBER UND ANTENNENHÖHE.....	76
TABELLE 4-16: ÜBERBLICK DER BUDGETPREISE FÜR TYPISCHE DAB-SENDER UNTERSCHIEDLICHER TYPEN.	78
TABELLE 4-17: ZUORDNUNG VON BUDGETPREISEN ZUR LEISTUNGSKLASSE DER SENDER (S-KLASSE).....	79
TABELLE 4-18: S-KLASSE MIT INVESTITIONEN UND JÄHRLICHEN KOSTEN FÜR SENDER UND MASKENFILTER.	79
TABELLE 4-19: ÜBERSICHT ALLER STANDORTE MIT ERP, AUSGANSLEISTUNG UND S-KLASSE.....	80
TABELLE 4-20: ÜBERBLICK S-KLASSE, GESAMTKOSTEN UND ANZAHL DER SENDERSTANDORTE UND ERSATZHARDWARE	81
TABELLE 4-21: ÜBERSICHTSTABELLE DES STROMVERBRAUCHS UND DER STROMKOSTEN JE STANDORT	82
TABELLE 4-22: DIE M-KLASSIFIKATION, MIT KOSTEN UND DEN ZUGEORDNETEN SWR-STANDORTEN.	83
TABELLE 4-23: ÜBERSICHT DER AUFWÄNDE UND KOSTEN FÜR PLANUNG, AUFBAU UND BETRIEB JE STANDORT.	85
TABELLE 4-24: GESAMTÜBERSICHT DER SENDERSTANDORTBEZOGENEN KOSTEN, MIT S-/M- UND N-KLASSE.	86
TABELLE 4-25: REGIONEN/SENDERNETZ-TABELLE MIT STROMKOSTEN	87
TABELLE 4-26: REGIONEN/SENDERNETZE SENDERSTANDORTBEZOGENE GESAMTKOSTEN	87
TABELLE 4-27: ÜBERSICHT ALLER STANDORTE, S-/M-/L-KLASSEN UND STANDORTBEZOGENER GESAMTKOSTEN.	88
TABELLE 5-1: SENDERNETZE/REGIONEN: AUFSUMMIERTE BETRIEBSKOSTEN.....	90
TABELLE 5-2: GESAMTKOSTEN SUPPORT/ÜBERWACHUNG PLOUTOCENTER/MULTIPLEXER	91
TABELLE 5-3: SUPPORT/ÜBERWACHUNG SUMME VARIANTE 1	91
TABELLE 5-4: SUPPORT/ÜBERWACHUNG SUMME VARIANTE 2	92
TABELLE 5-5: SUPPORT/ÜBERWACHUNG SUMME VARIANTE 3	92
TABELLE 5-6: SUPPORT/ÜBERWACHUNG SUMME VARIANTE 4	93
TABELLE 5-7: SUPPORT/ÜBERWACHUNG SUMME VARIANTE 5	93
TABELLE 5-8: GESAMTKOSTEN VARIANTE 1.....	94
TABELLE 5-9: GESAMTKOSTEN VARIANTE 2.....	94
TABELLE 5-10: GESAMTKOSTEN VARIANTE 3.....	95
TABELLE 5-11: GESAMTKOSTEN VARIANTE 4.....	95
TABELLE 5-12: GESAMTKOSTEN VARIANTE 5.....	95
TABELLE 5-13: GESAMTKOSTEN DER VARIANTEN IM VERGLEICH	96
TABELLE 5-14: CU-PREISE FÜR SENDERNETZE UND SUMMEN FÜR LANDESWEITE VERSORGUNG	98
TABELLE 5-15: PROZENTUALER BEZUG DER CU-PREISE DER SENDERNETZE ZUM BASISPREIS.....	100
TABELLE 6-1: FREQUENZNUTZUNGSBEITRÄGE JE REGION UND SENDERNETZ	110
TABELLE 2: ANNUITÄT ALS PROZENTWERT DER INVESTITIONSKOSTEN (10 JAHREN LAUFZEIT; VERSCHIEDENEN ZINSSÄTZE).....	113
TABELLE 3: PROZENTUALE VERÄNDERUNG DER GESAMTKOSTEN PRO JAHR BEI FINANZIERUNG (UNTERSCHIEDLICHE ZINSSÄTZE) .	115