

Harmonisierung der PPDR Funkfrequenzen in Deutschland, Europa und weltweit

Autoren:

J. Scott Marcus (WIK-Consult), John Burns (Aegis), Val Jervis (Aegis),
Reinhard Wählen,
Kenneth R. Carter (WIK-Consult), Imme Philbeck (WIK-Consult)

mit dem Senior Expert Prof. Dr. Peter Vary (RWTH Aachen)

WIK-Consult GmbH
Rhöndorfer Str. 68
53604 Bad Honnef
Deutschland

Bad Honnef, 6. Dezember 2010

Contents

1	Einleitung	1
1.1	Motivation für die Studie	1
1.2	Gründe für eine Harmonisierung auf europäischer Ebene	2
1.3	Unsere Ergebnisse und Empfehlungen	3
1.4	Projektteam und Methode	6
1.5	Struktur des Reports	7
2	Zusätzliche Funkfrequenzen für PPDR	8
2.1	Gegenwärtige schmalbandige und breitbandige Funkfrequenznutzungen	8
2.2	Technologische Trends und Treiber	10
2.3	Der Bedarf für mobile Hochgeschwindigkeitsnetze für schnelle Datenübertragungen und Video (Breitbandnetze)	13
2.3.1	Schnelle Datenübertragung	13
2.3.2	Video	14
2.3.3	Zunehmende Nutzung von fernmanipulierbaren Landfahrzeugen und fliegenden Drohnen	14
2.4	Ein Lösungsweg zur Deckung des Frequenzbedarfs für PPDR	16
2.4.1	Alternative Formen der Frequenznutzung	16
2.4.1.1	Zugriff auf kommerzielle Dienste	16
2.4.1.2	Mitnutzungen (Sharing) Gemeinsame Nutzung eines Frequenzbandes mit anderen Anwendungen	18
2.4.1.3	Ausschließliche Frequenznutzungsrechte	19
2.4.2	Technologische Anforderungen von breitbandigem PPDR	20
2.4.3	Eigenschaften eines Frequenzbandes oder -bänder, welche für breitbandige PPDR ausschließlich genutzt werden	21
3	Frequenzbedarf für PPDR in Deutschland	24
3.1	Eine Einschätzung seitens der IABG für das BMI	24
3.1.1	Zielsetzung der IABG Studie	24
3.1.2	Der analytische Rahmen	25
3.1.3	Art der Interviews	27
3.1.4	Identifizierte Anwendungen in den Interviews	27
3.1.5	IABG Ergebnisse	30

3.1.5.1	Die Ergebnisse der IABG-Studie	30
3.1.5.2	Bandbreitenanforderung	31
3.1.5.3	Unterstellter nutzungsbedingter Bandbreitenbedarf	32
3.2	Die angewandte Methode zur Schätzung des Frequenzbedarfs	32
3.2.1	Primäre Erfordernisse der drahtlosen Kommunikationsnetze für öffentliche Sicherheitsaufgaben	33
3.2.2	Mehrschichtiger Ansatz zur Netzabdeckung und Kapazitätsgenerierung	34
3.2.3	Wahl der Technologie	35
3.3	Zusammenfassung der Ergebnisse zur Frequenznachfrage	35
3.3.1	Frequenzen für die großflächige mobile Breitbandkommunikation	36
3.3.2	Frequenzen für die lokale Breitbandkommunikation	36
3.3.3	Frequenzen für Boden-Luft Kommunikation	37
3.3.4	Frequenzen für Backhaul	37
4	Folgenabschätzung der verschiedenen Optionen auf Deutschland	38
4.1	Politikoptionen	38
4.2	Analyse der Implikationen	40
4.2.1	Identifikation der ökonomischen und sozialen Auswirkungen	40
4.2.2	Qualitative und quantitative Analyse signifikanter Auswirkungen	41
4.2.2.1	Verbesserte PPDR-Arrangements: Rettung von Menschenleben und Eigentumsschutz	42
4.2.2.1.1	Mechanismus	42
4.2.2.1.2	Alltäglich stattfindende Einsätze	43
4.2.2.1.3	Konzerte und Sportereignisse	44
4.2.2.1.4	Katastrophen	45
4.2.2.2	Opportunitätskosten in Verbindung mit der Frequenznutzung für PPDR	51
4.2.2.3	Kosten des Refarming in Verbindung mit der PPDR Frequenznutzung	52
4.2.2.3.1	Komponenten der Kosten des Refarming	52
4.2.2.3.1	Schätzung der Refarming-Kosten	54
4.2.2.4	Netzbetriebskosten im Zusammenhang mit der Nutzung von Funkfrequenzen	57

4.2.2.5 Überlegungen zur Harmonisierung des Funkfrequenzbereichs	57
4.2.2.5.1 Nutzen der Harmonisierung	58
4.2.2.5.2 Kosten der Harmonisierung	61
4.3 Vergleich der Optionen	62
5 Ergebnisse und Handlungsempfehlungen	67
5.1 Ergebnisse	67
5.1.1 PPDR-Spektrumsbedarf in Deutschland	67
5.1.1.1 Spektrum zur Sicherung der mobilen Breitbandkommunikation in wide area networks	67
5.1.1.2 Spektrum zur Sicherung der mobilen Breitbandkommunikation in Local Area Networks	68
5.1.1.3 Spektrum zur Realisierung von Boden-Luft-Verbindungen	68
5.1.1.4 Spektrum für den Netzanbindung	68
5.1.2 PPDR-Spektrumsbedarf in anderen Ländern	69
5.1.3 Kosten und Nutzen	69
5.1.3.1 Nutzen neuer drahtloser breitbandiger PPDR-Anwendungen	69
5.1.3.2 Nutzen der Harmonisierung in der breitbandigen Spektrumsallokation	70
5.1.3.4 Kosten des Refarming von Frequenzbändern	72
5.1.3.5 Kosten des Netzaufbau und -betriebs	73
5.2 Empfehlungen	73
5.2.1 Der Weg in die Zukunft	74
5.2.2 Empfehlungen in Bezug auf Spektrum und Technologie	77
5.2.3 Vereinbarungen mit anderen Stakeholdern	77
5.2.3.1 Andere europäische Länder	78
5.2.3.2 Andere europäische und globale Stakeholder	79

Abbildungen

Abbildung 2-1: Europäische PPDR*-Netze (Erstes Quartal 2008)	9
Abbildung 3-1: Mehrschichtiger Ansatz zur Netzkonfiguration	34
Abbildung 4-1: Aufgezeichnete Naturkatastrophen 1900 - 2009	46

Abbildung 4-2:	Anzahl der durch Naturkatastrophen betroffenen Menschen 1900 - 2009	47
Abbildung 4-3:	Geschätzter Sachschaden (US\$ Mrd) durch aufgezeichnete Naturkatastrophen 1900 - 2009	48

Tabellen

Tabelle 3-1:	Geschätzte Gesamtbandbreitenanforderung der IABG für Uplink Datenströme in einem weitflächigen Netz	31
Tabelle 4-1:	Optionen im Rahmen der Folgenabschätzung	39
Tabelle 4-2:	Geschätzte Kosten pro Straftat (in US Dollar, 2008)	44
Tabelle 4-3:	Durchschnittlicher jährlicher Sachschaden (\$US Mrd.) verursacht durch erfasste Naturkatastrophen 1990 - 2009	49
Tabelle 4-4:	Opportunitätskosten für Frequenzen gemäß der kürzlich stattgefundenen Frequenzauktion in Deutschland	52
Tabelle 4-5:	Kosten und diese bestimmende Inputvariablen in Zusammenhang mit Refarming	53
Tabelle 4-6:	Vergleich der Refarming-Kosten von Funkfrequenzen	56
Tabelle 4-7:	Bewertung der Folgen anhand verschiedener Kriterien	66

Empfehlungen

Empfehlung 1.	Die deutsche Politik sollte eine harmonisierte Allokation mit zwei Bändern unterhalb von 1 GHz befürworten: ein 15 MHz-Band (Uplink) und ein 10 MHz-Band (Downlink)	76
Empfehlung 2.	Fortgesetzte Nutzung des 5150 - 5250 MHz-Frequenzbandes für lokale PPDR-Anwendungen, erweitert ggf. um die Nutzung des 1452 - 1479,5 MHz-Frequenzbandes	76
Empfehlung 3.	Förderung einer harmonisierten 15 MHz "Air to ground"-Allokation	76
Empfehlung 4.	Integration der Satellitennutzung, insbesondere in Gebieten, die weniger gut mit terrestrischen Netzen versorgt sind.	76
Empfehlung 5.	Förderung der Entwicklung von Standards, die nahtlose Schnittstellen sichern und Interoperabilität garantieren.	77
Empfehlung 6.	Förderung einer vollständigen Einhaltung von Standards, die die Gewährleistung der Interoperabilität anstreben.	77

Empfehlung 7. Zusammenarbeit mit anderen europäischen Ländern zur Konsensfindung	79
Empfehlung 8. Lösungen anderer Länder, die auf die Anpassung des Umfangs der Spektrumsallokation an die individuellen Gegebenheiten abzielen, sollten akzeptiert werden, sofern die vollständige Interoperabilität erhalten bleibt.	79
Empfehlung 9. Fortsetzung der Unterstützungsarbeit in dem CEPT-Ausschuss ECC, insbesondere mit PT 38, um Konsens zu finden.	79
Empfehlung 10. Fortsetzung der Zusammenarbeit mit der Europäischen Kommission und mit dem Radio Spectrum Committee (RSC).	79
Empfehlung 11. Zusammenarbeit mit ETSI um sicherzustellen, dass seine Arbeit zu einem termingerechten Abschluss kommt, wobei vollständige Interoperabilität, automatische Erkennung länderspezifischer Frequenzbänder und die Möglichkeit, standardisierte Systemlösungen zu verwenden, gewährleistet werden.	80
Empfehlung 12. Fortgesetzte Beobachtung internationaler Entwicklungen.	80
Empfehlung 13. Zusammenarbeit mit den Verantwortlichen für die Fernseh Rundfunkbereiche	80
Empfehlung 14. Zusammenarbeit mit der NATO.	80

1 Einleitung

Dies ist der finale, öffentliche Summary Report der Studie für das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie zur künftigen Harmonisierung von Funkfrequenzen für Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS)³ bzw. *Public Protection and Disaster Relief (PPDR) für Deutschland, Europa und weltweit*.

Ausgangspunkt für die vorliegende Studie war die Studie der IABG für das Bundesministerium des Inneren (BMI) zum PPDR Funkfrequenzbedarf und dessen funktionalen Erfordernissen.¹

Die Blickrichtung ist mittel- bzw. langfristig, grob umrissen der Zeitraum 2015 - 2025. Die Umsetzung der nötigen Handlungen, welche wir in Betracht ziehen und bewerten, benötigen gemeinhin einige Jahre.

1.1 Motivation für die Studie

Das deutsche Ministerium für Wirtschaft und Technologie wählte unser Team aus, um eine wissenschaftliche Studie zum Frequenzbedarf der BOS² bzw. PPDR erstellen zu lassen. Ein seit langem wahrgenommener Bedarf für die auf der europäischen Ebene harmonisierten PPDR-Funkfrequenzspektren ist die Motivation für diese Studie. Derartige Frequenzen sollen den PPDR-Nutzern eine hochbitratige Breitbandkommunikation, insbesondere auch Videoübertragung ermöglichen.

Neue Technologien treiben das Interesse an der sich entwickelnden PPDR-Kommunikation. Hohe Datenübertragungsraten sind aus einer Vielzahl von Gründen interessant. Mittels hoher Datenübertragungsraten würde beispielsweise die Übertragung von Gebäudeplänen oder anderer Informationen in Echtzeit zu Feuerwehrleuten oder anderen Einsatzkräften vor Ort, die mobile PPDR-Kommunikationswege nutzen, ermöglicht. Umgekehrt könnten Kameras, welche auf den Helmen der Einsatzkräfte oder auf unbemannten Fahrzeugen, wie fliegende Drohnen und fernlenkmanipulierbare Fahrzeuge (Roboter auf Ketten) befestigt sind, unmittelbar Bildmaterial an die Entscheidungsträger in der Einsatzzentrale schicken. Auf diese Weise erhalten die Entscheidungsträger ohne erhöhtes Risiko bessere Informationen über die Lage vor Ort.³

Die bestehenden Frequenzuteilungen an die heutigen PPDR-Netze, die z.B. TETRA- und TETRAPOL-Technologien nutzen, sind nur für schmalbandige (langsame)

¹ Fritsche, Wolfgang/Mayer, Karl (20 Mai 2010): Studie zum mittel und langfristigen Kapazitätsbedarf der BOS in der drahtlosen Kommunikation, IABG.

² Hoheitliche Institutionen sowie Institutionen, die ihre Leistungen im öffentlichen Auftrag erfüllen.

³ Ibid.

Datenübertragungen für Sprache und Einzelbilder geeignet. Erweiterte technische Spezifikationen ermöglichen auch breitbandige (schnellere) Datenübertragungen⁴. Nach Einschätzung der meisten Experten sind die gegenwärtig zugeteilten Frequenzen sowie die hierauf nutzbaren und gegenwärtigen Technologien für den sich abzeichnenden Höchstgeschwindigkeitsbedarf an Breitbanddaten wie z.B. Videoübertragungen nicht geeignet. Bedauernswerterweise wurde auf europäischer bzw. internationaler Ebene bisher keine Einigung dahingehend erzielt, in welchem Umfang, in welcher Frequenzlage oder in welcher Weise dafür Funkfrequenzen zur Verfügung gestellt werden sollten. Ein Hauptgrund ist sicherlich, dass eine umfängliche und wissenschaftlich fundierte Bedarfsanalyse dazu bisher nicht durchgeführt wurde.

Grundsätzlich kann jedes Land für sich selbst individuelle Frequenzen je nach dem landesspezifischen Bedarf identifizieren. Nach Auffassung der meisten Experten und Betroffenen ist ein unkoordiniertes landesspezifische Vorgehen der falsche Ansatz. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie untermauern die Einschätzung, dass einer harmonisierten Frequenznutzung der Vorzug zu geben ist. Bei einer harmonisierten Frequenznutzung resultieren europa- oder gar weltweit erhebliche Synergien, wie in Abschnitt 1.2 der Einleitung im Detail erläutert wird.

Deutschland, in dem ein erheblicher Teil der europäischen PPDR-Beschäftigten tätig sind, sucht die Zusammenarbeit mit den anderen europäischen Ländern, sodass das Problem im Interesse aller Betroffenen gelöst werden kann.

1.2 Gründe für eine Harmonisierung auf europäischer Ebene

Die vorliegende Studie erfolgte im Auftrag der Bundesregierung Deutschland, allerdings sind die darin angesprochenen Probleme in keiner Weise auf Deutschland beschränkt. Die Bundesregierung ist sich durchaus bewusst, dass eine effiziente Lösung eher nicht auf Deutschland beschränkt ist.

Zunehmend gelangt es in das Bewusstsein, dass Naturkatastrophen oder Terroranschläge nicht auf bestimmte Regionen beschränkt sind oder gar vor nationalen Grenzen halt machen. Der Vulkanausbruch in Island sowie die damit verbundene Aschewolke über Europa oder die Flutkatastrophe Mitte 2010 an der deutsch-polnischen Grenze sind Ereignisse aus der jüngsten Vergangenheit, die dies vor Augen führen. Europäisches PPDR-Personal muss insbesondere in solchen Fällen die Möglichkeit der Zusammenarbeit mit dem Gegenüber in den angrenzenden Staaten haben. Dies ist nur dann möglich, wenn die Ausrüstung bzw. die Endgeräte im gleichen Funkfrequenzbereich genutzt werden, und die relevanten technischen Spezifikationen

⁴ In Gestalt von TETRA Enhanced Data Services (TEDS).

der wechselseitig genutzten Netztechnologien und der genutzten Geräte harmonisiert sind.

PPDR-Einsatzkräfte signalisieren einen zunehmenden Bedarf für grenzübergreifende tägliche Kooperationen, mithin nicht nur in Krisensituationen. Zudem führen diese Nutzergruppen aus, dass eine einwandfreie interoperable PPDR Kommunikation nur dann in Krisensituationen zu erwarten ist, wenn diese bei alltäglichen Routineanwendungen genutzt und somit erprobt ist.

Eine Reihe weiterer Aspekte sprechen für die Harmonisierung der Frequenznutzung auf europäischer Ebene. Wie in Abschnitt 4.2.2.5.1 umfassend erläutert wird, gibt es insbesondere drei Vorteile, die man sich normalerweise von einer Harmonisierung der Frequenznutzung auf internationaler Ebene verspricht: (1) ökonomische Skalenvorteile, (2) umfassendere Möglichkeiten von gemeinsamen Operationen (Hilfseinsätze, Unterstützungsaktionen usw.) und (3) die Möglichkeit von Roaming über Hoheitsgrenzen hinweg. Jeder dieser Aspekte hat potentiell eine große Bedeutung im Zusammenhang mit der PPDR-Frequenzharmonisierung.

- Ökonomische Skalenerträge und Verbundvorteile können die Entwicklungs- und Produktionskosten für das zur PPDR-Kommunikation benötigte Equipment pro Einheit erheblich senken,
- Aufgrund multinationaler Einsatzmöglichkeit kann ein gemeinsames Vorgehen im Fall von länderübergreifenden Katastrophen mit dazu beitragen, Menschenleben zu retten und Eigentum zu schützen und
- Erweiterte multinationale Einsatzmöglichkeiten ermöglichen zudem, dass Länder andere Länder unterstützen können, sofern diese von Naturkatastrophen oder Terroranschlägen betroffen sind. Dies geschieht wiederum zum Schutz von Menschenleben oder Eigentum.

Die sich für Deutschland ergebenden Auswirkungen einer Harmonisierung werden im Abschnitt 4.1 eruiert. Hierbei werden die Nutzen und die Kosten, die eine Harmonisierung mit sich bringt, jeweils in den Abschnitten 4.2.2.5.1 und 4.2.2.5.2. untersucht.

1.3 Unsere Ergebnisse und Empfehlungen

Unsere Ergebnisse und Empfehlungen werden in Kapitel 5 darstellt. Die Hauptergebnisse sind:

- Geht man davon aus, dass eine von der ITU gewürdigte Technologie, wie z.B. ein zukünftiger IMT-Advanced Standard (gegenwärtig zwei technologische Kandidaten, LTE Advanced und Mobile WiMAX) für den Netzausbau eingesetzt

wird, besteht unterhalb von 1 GHz für Deutschland ein Mindest-Bandbreiten-Bedarf in Höhe von 15 MHz Uplink und 10 MHz Downlink.

- Der Frequenzbereich 5150-5250 MHz wurde bereits für die Nutzung durch die Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben identifiziert. Zusätzlich sollte, wenn möglich, das wenig genutzte Frequenzband 1452 - 1479,5 MHz Band (gegenwärtig für T-DAB Nutzung vorgesehen) für PPDR nutzbar werden, um den Kapazitätsbedarf für die “Hot-Spots” im Rahmen von Großveranstaltungen oder für spezifische Ereignisse in Deutschland zu decken. Die verfügbaren 802.11-Technologien können in diesen Bändern genutzt werden, wobei aber ein für öffentliche Sicherheitsdienste erlaubter höherer Leistungspegel von Vorteil wäre. Alternativ können ad hoc vermaschte Netzwerke oder LTE-Picozellen oder Verstärker zum Einsatz kommen.
- Nach unseren Schätzungen werden europaweit harmonisiert mindestens 15 MHz ungepaartes Spektrum im Bereich zwischen 1 und 5 GHz benötigt, um Videoverbindungen zwischen Luft- und Bodenterminals zu unterstützen. Speziell bezogen auf Deutschland sind darüber hinaus weitere 7,5 MHz erforderlich. Dazu sollte eine Kooperation mit dem Militär in Betracht gezogen werden.
- Wir sind der Auffassung, dass der Bedarf für die drahtlosen Anbindungen an die Weitverkehrsnetze durch verfügbare Richtfunkbänder im Mikrowellenbereich gedeckt werden können. Möglicherweise können auch Satellitendienste in entlegenen Regionen diese Anbindungen ergänzen.

In grober Darstellung, basierend auf der für Deutschland relevanten Einschätzung der Auswirkungen, die in Kapitel 4 dieser Studie dargestellt werden, sind wir der Auffassung, dass die beste Lösung für Deutschland wie folgt charakterisiert werden sollte (Option 4 im Abschnitt 4.1):

Option 4: Harmonisierte Lösungen in nur einem Band oder in mehreren Bändern bzw. für Geräte mit nur einer Schaltbandbreite oder mehreren Schaltbandbreiten im Spektrum unterhalb von 1 GHz

- Frequenzbänder in niedrigeren Lage zur großflächigen Versorgung sowie zur Versorgung von Gebäuden (“Inhaus-Abdeckung“)
- Frequenzbänder in höheren Lagen, um die Kapazitätserfordernisse von Spitzenlasten und Hot Spots abzudecken.
- Die Harmonisierungsmaßnahmen sollten sich an den technischen Möglichkeiten der Geräteschaltbandbreiten orientieren
- Weiterhin die Nutzung von Frequenzen im Bereich 380-400 MHz (nicht notwendigerweise unmittelbar angrenzend an neue Frequenzbänder) für TETRA/TETRAPOL

Unsere Empfehlungen für das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie werden im Detail in Abschnitt 5.2 behandelt; sie werden hier kurz zusammengefasst:

- Empfehlung 1. Die deutsche Politik sollte eine harmonisierte Allokation mit zwei Bändern unterhalb von 1 GHz befürworten: ein 15 MHz-Band (Uplink) und ein 10 MHz-Band (Downlink)
- Empfehlung 2. Fortgesetzte Nutzung des 5150 - 5250 MHz-Frequenzbandes für lokale PPDR-Anwendungen, erweitert ggf. um die Nutzung des 1452 - 1479,5 MHz-Frequenzbandes
- Empfehlung 3. Förderung einer harmonisierten 15 MHz "Air to ground"-Allokation
- Empfehlung 4. Integration der Satellitennutzung, insbesondere in Gebieten, die weniger gut mit terrestrischen Netzen versorgt sind.
- Empfehlung 5. Förderung der Entwicklung von Standards, die nahtlose Schnittstellen sichern und Interoperabilität garantieren.
- Empfehlung 6. Förderung einer vollständigen Einhaltung von Standards, die die Gewährleistung der Interoperabilität anstreben.
- Empfehlung 7. Zusammenarbeit mit anderen europäischen Ländern zur Konsensfindung
- Empfehlung 8. Lösungen anderer Länder, die auf die Anpassung des Umfangs der Spektrumsallokation an die individuellen Gegebenheiten abzielen, sollten akzeptiert werden, sofern die vollständige Interoperabilität erhalten bleibt.
- Empfehlung 9. Fortsetzung der Unterstützungsarbeit in dem CEPT-Ausschuss ECC, insbesondere mit PT 38, um Konsens zu finden.
- Empfehlung 10. Fortsetzung der Zusammenarbeit mit der Europäischen Kommission und mit dem Radio Spectrum Committee (RSC).
- Empfehlung 11. Zusammenarbeit mit ETSI um sicherzustellen, dass seine Arbeit zu einem termingerechten Abschluss kommt, wobei vollständige Interoperabilität, automatische Erkennung länderspezifischer Frequenzbänder und die Möglichkeit, standardisierte Systemlösungen zu verwenden, gewährleistet werden.
- Empfehlung 12. Fortgesetzte Beobachtung internationaler Entwicklungen.
- Empfehlung 13. Zusammenarbeit mit den Verantwortlichen für die Fernseh Rundfunkbereiche
- Empfehlung 14. Zusammenarbeit mit der NATO.

1.4 Projektteam und Methode

In der ersten Jahreshälfte 2010 hat die IABG im Auftrag des Bundesministeriums des Innern eine unabhängige Studie durchgeführt, die die funktionellen Erfordernisse von Diensten deutscher Institutionen mit PPDR-Verantwortlichkeiten eruierte. Unser Projekt für das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie beabsichtigt, diese funktionalen Erfordernisse in einen detaillierten Frequenzbedarf umzusetzen. Zudem werden die PPDR-Frequenzerfordernisse europaweit und weltweit in anderen Ländern und weltweit mit in Betracht gezogen, um darauf basierend konkrete Empfehlungen zu geben. Dazu wurde auch eine Reihe von technischen Optionen mit ins Kalkül gezogen, wie z.B. die potentielle Nutzung von verfügbaren kommerziellen Netzen. Weiterhin wurden die regulatorischen Optionen von Mitnutzungen und Exklusivnutzungen von Frequenzbändern untersucht.

Methodisch wurde das Projekt damit begonnen, dass die Resultate der IABG Studie mit den damit befassten Mitarbeiter des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, des Bundesministeriums des Innern und des Beratungsteams der IABG intensiv besprochen und diskutiert wurden. Anschließend wurden diese Resultate im Rahmen einer quantitativen Modellierung in konkrete Bandbreitenbedarfe mit den sich dafür am besten eignenden Funkfrequenzbändern transformiert.

Parallel dazu fand ein sogenanntes Desk Research statt, das durch Interviews ausgewählter Gesprächspartner ergänzt wurde, um das bestehende Wissen zu den PPDR-Erfordernissen in anderen Ländern zu ergänzen. Im Rahmen des Projekts fand eine Teilnahme in einer Vielzahl von Foren im Jahre 2010 statt (dazu gehörten der ECO Workshop in Mainz im März, die Abschlusspräsentation der IABG-Resultate im Bundesinnenministerium im Juni, die ECC-Meetings im Juni und November, sowie die Sitzung des Radio Spectrum Committee [RSC] im Juli und im Dezember). Zudem wurden eine Vielzahl von schriftlich erbetenen Stellungnahmen Betroffener ausgewertet, ohne dass dazu individuelle Besuche stattfanden.

Auf den Grundlagen dieser dokumentierten Bedarfsformulierungen wurde der sich hieraus ergebende Frequenzbedarf berechnet. Wir haben unsere Deutschland-spezifische Einschätzung mit der Impact-Assessment-Methode ermittelt. Sie ist das übliche Standardinstrument der Europäischen Kommission, um die Kosten und Nutzen gegeneinander abzuwägen.

Die Trade-offs zwischen Kosten und Nutzen dienen dazu, die Grenzen der Realisierbarkeit für der Umsetzung des berechneten Frequenzbedarfs hinreichend genau zu bestimmen. Für PPDR sind einige Frequenzbänder wertvoller als andere, weil sie mehr Information übertragen können, weil die Kosten für die Abdeckung von Versorgungsgebieten geringer sind oder auch weil sich bestimmte Frequenzen besser für eine Hausdurchdringung bzw. Inhaus-Versorgung (von besonderer Bedeutung für Feuerwehren) eignen als andere. Ceteris paribus, wird derartigen Lösungen in den

Empfehlungen der Vorzug gegeben, bei denen der soziale Wohlfahrtsüberschuss am höchsten ist, d.h. bei denen der sozialen Nutzen die Kosten am stärksten übersteigt.

Die Mitarbeiter unseres Projektteams arbeiteten zuvor an zwei weiteren Studien mit PPDR-Relevanz mit, weshalb unser Team bereits zum Beginn dieser Studie über ein substantielles Wissen verfügte. Bei diesen Studien mit PPDR-Relevanz handelte es sich z.B. zum einen um "Optimising the Public Sector's Use of the Radio Spectrum in the European Union", eine Studie für die Europäische Kommission im Jahre 2008, und zum anderen "Safety First: Reinvesting the Digital Dividend in Safeguarding Citizens", eine Studie für Motorola und EADS.

Das Projekt wurde von ökonomischen und wirtschaftspolitischen Experten der WIK-Consult geleitet. Aegis, eine britische Beratungsgesellschaft, kompetent für funkfrequenztechnische Aspekte, analysierte die Verfügbarkeit von Frequenzbändern und ermittelte auf Basis von Modellierungen den quantitativen deutschen Bandbreitenbedarf unter Berücksichtigung des in der IABG-Studie ermittelten Kapazitätsbedarfs. Reinhard Wählen trug mit seinem fundamentalen Wissen zur PPDR-Frequenznutzung und den Bedarfen in Deutschland sowie auf europäischer Ebene zur Studie bei. Prof. Dr. Peter Vary von der Universität in Aachen beriet und führte das Team bezüglich der neusten technologischen Entwicklungen und spezifischer Frequenzallokationen in Deutschland.

1.5 Struktur des Reports

In Kapitel 2 prüfen und bewerten wir die Begründungen für den Kapazitätsbedarf für die neuen mobilen Hochgeschwindigkeitsnetze. Zudem wird untersucht, mit welchen Optionen dieser Bedarf realisiert werden kann, z.B. Nutzung von kommerziellen Netzen, die Mitnutzung von Frequenzbändern (sharing) anderer Anwender und die nationale versus harmonisierte exklusive Frequenzbandallokation.

Kapitel 3 beinhaltet basierend auf der IABG Studie eine detaillierte Einschätzung zum deutschen Frequenzbedarf für PPDR.

Kapitel 4 präsentiert die generell geäußerten Meinungen zu der Thematik, und diskutiert ausführlich die möglichen Optionen. Die Empfehlungen werden als Folgenabschätzung der jeweiligen Optionen abgeleitet. Zum Schluss werden in Kapitel 5 unsere Ergebnisse und Empfehlungen für das deutsche Ministerium für Wirtschaft und Technologie zusammengefasst.

2 Zusätzliche Funkfrequenzen für PPDR

In diesem Kapitel diskutieren wir den Gesamtbedarf für zusätzliche Funkfrequenzen zur Nutzung für PPDR in Deutschland und Europa. Insofern, stellt dies die Grundlage für Abschnitt 2.4 dar, in welchem wir Wege aufzeigen, wie dieser Bedarf und die weiteren Erfordernisse befriedigt werden können.

In Abschnitt 2,1 werden die gegenwärtigen schmalband und breitbandigen Frequenzuteilungen in Deutschland und innerhalb Europas präsentiert. Abschnitt 2.2 fasst die technologischen Veränderungen zusammen, die einen geänderten Bedarf an PPDR-Funkfrequenzen bedingen. In Abschnitt 2.3 werden neue Kommunikationsanwendungen mit hohem Datentransfererfordernis und Video (einschließlich von Ausrüstungen für Drohnenfahrzeugen) dargestellt, die einen erhöhten Bedarf an nutzbaren Funkfrequenzen bedingen.

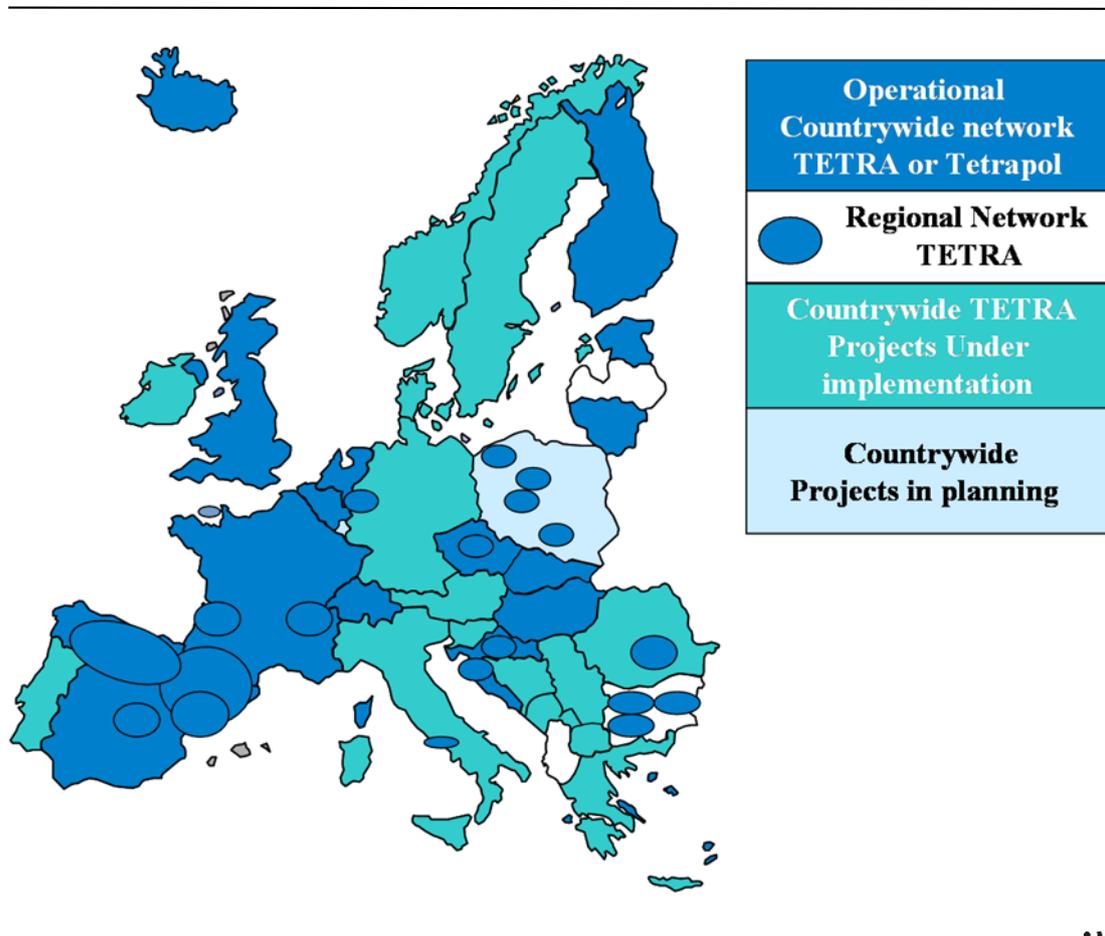
2.1 Gegenwärtige schmalbandige und breitbandige Funkfrequenznutzungen

Die Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben nutzen gegenwärtig Kommunikationsnetze unterschiedlicher Art, um ihre Aufgaben zu erfüllen. In Europa nutzen die meisten für die Sicherheit zuständigen Institutionen die TETRA oder die Tetrapol-Technologie im Frequenzband 380 - 400 MHz⁵ für ihre geschlossenen Netze zur schmalbandigen mobilen Kommunikation.⁶ Diese einheitliche Frequenznutzung basiert auf einer Entscheidung der ECC im Jahre 1996 zur harmonisierten Nutzung von Funkfrequenzen für öffentliche Sicherheitsaufgaben. Die nachfolgende Graphik stellt dar, in welchen Ländern im Jahre 2008 derartige schmalbandige Netze in Betrieb bzw. im Aufbau waren.

⁵ Die frühere ERC/DEC/(96)01 definierte das Duplexband 380 – 385 / 390 – 395 MHz.

⁶ Zusätzlich werden in vielen Ländern kommerziell betriebene öffentliche Netze wie GPRS und 3G für einige Anwendungen genutzt. In einigen Fällen werden „vermächte“ analoge Netze rückgreifend auf andere national zugeteilte exklusive Frequenzbänder genutzt.

Abbildung 2-1: Europäische PPDR-Netze (Erstes Quartal 2008)



Quelle: TETRA Verband

Seit einigen Jahren gibt es Bestrebungen dahingehend, dass weitere Funkfrequenzen für weitbandige PPDR-Anwendungen bereitgestellt werden, jedoch hatten diese Bemühungen bisher nur geringen Erfolg.

Die Entscheidung der Europäischen Kommission (ECC Decision (ECC/DEC/(08)05)) enthält Empfehlungen hinsichtlich einer Harmonisierung von zusätzlichen Funkfrequenzbereichen für digitale PPDR-Anwendungen im Frequenzbereich 380 - 470 MHz. Die Entscheidung empfiehlt, zusätzliche Funkfrequenzen zu den bereits für Schmalbandanwendungen gewidmeten PPDR-Diensten zusätzlich zur Verfügung zu stellen. Derartige Funkfrequenzen sollten im Bereich 380 - 470 MHz für weitbandige digitale PPDR zur Verfügung gestellt werden. Im Anhang der Entscheidung werden die Arten mobiler Systemtechnologien angeführt, die eingesetzt werden können.

Es gibt erhebliche Hindernisse, diese Entscheidung umzusetzen. Der gleiche Frequenzbereich ist der ECC Decision (ECC/DEC/(04)06) für schmalbandigen und breitbandigen⁷ digitalen Mobilfunk (PMR/PAMR) ausgewiesen. In nahezu 20 Ländern haben bestehende CDMA-450-Netze⁸ Auswirkungen auf die Verfügbarkeit von Funkfrequenzen für die Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben. Es besteht auch ein zunehmendes Interesse von kommerziellen Netzbetreibern, die hier LTE-Technologien einführen wollen. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass im Rahmen einer Überprüfung im Jahre 2007⁹ mit Blick auf das 400 MHz Band kein einziges harmonisiertes Frequenzband für die 20 Länder gefunden werden konnte. Von daher war es notwendig, einen harmonisierten Bereich für den Ausbau von breitbandigen Mobilfunksystem auszumachen.

Das Frequenzband 450 - 470 MHz wird zudem in Europa häufig für analoge Betriebsfunknetze (private Mobilfunkdienste) genutzt. In einigen Fällen, wie beispielsweise in Großbritannien und Irland, sind die Nutzungen zu den CEPT-Empfehlungen nicht konform. Es ist unwahrscheinlich, dass ein hinreichend großes Spektrum harmonisierter Funkfrequenzbänder zur Ermöglichung von breitbandigen mobilen Anwendungen innerhalb einer vertretbaren Zeit realisiert werden kann.

Aus diesen und anderen Gründen ist der Fokus der Studie auf den mittel- bis langfristigen Zeitraum (2015 bis 2020) und nicht auf den kurzfristigen Zeitraum ausgerichtet. Im Gegensatz zu einigen anderen Ländern hat Deutschland bisher auch keinen Bedarf zur Erweiterung seiner TETRA-Schmalbandnetze mit zusätzlichen Schmalbandkanälen, um diese durch Zusammenschaltung für schnellere Datenkommunikation zu erweitern oder um Engpässe in Frequenzplanungen zu vermeiden. In Deutschland gibt es zur Zeit also keine Indizien dafür, dass einem Bedarf mit einer Interimslösung innerhalb der TETRA-Schaltbandbreiten angemessen begegnet werden müsste, selbst dann nicht, wenn man die Frage der Umsetzbarkeit zunächst ausklammert.

2.2 Technologische Trends und Treiber

In den letzten Jahren gab es einen erheblichen Fortschritt hinsichtlich der Leistungsfähigkeiten von Technologien, die für kommerzielle elektronische Kommunikationsdienste genutzt werden. Dies gilt insbesondere mit Blick auf die über Funk realisierbaren Datenübertragungsraten und der realisierbaren Spektrums-

⁷ In diesem Zusammenhang versteht man unter "wideband" Systemen solche, die eine Übertragungsrate bis zu 384 kbps realisieren; solche mit höheren Übertragungsraten bezeichnet man mit "broadband".

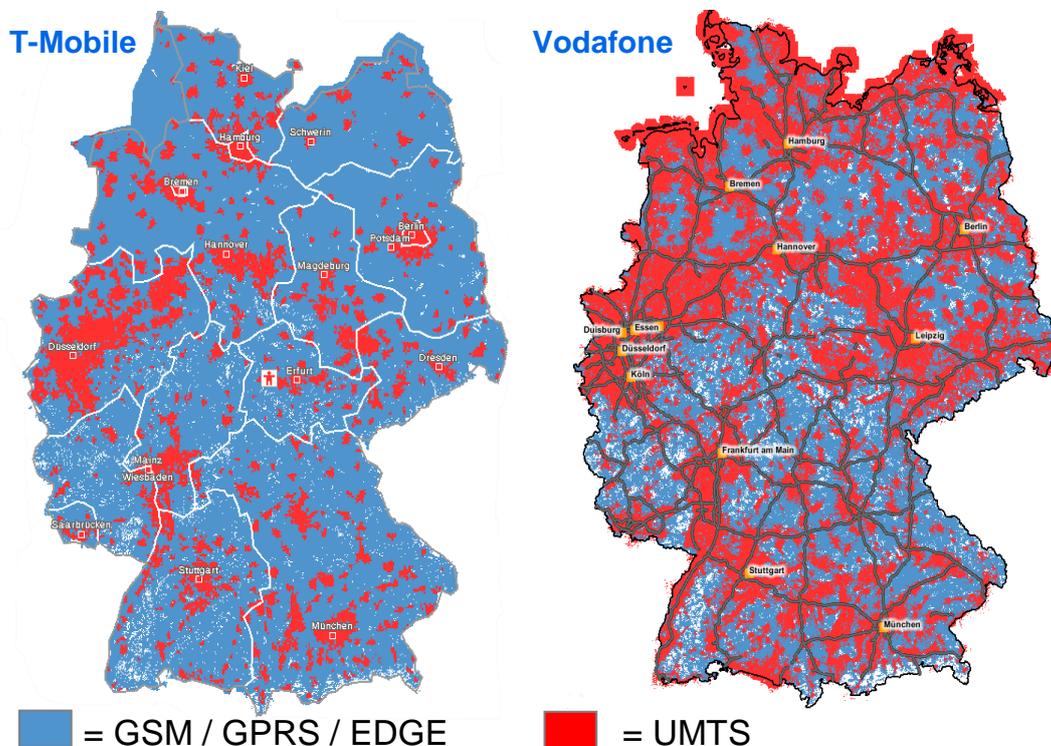
⁸ Siehe <http://www.cdg.org/worldwide/index.asp>: Die gelisteten Länder sind: Belarus, Bulgarien, Tschechien, Dänemark, Deutschland, Estland, Island, Irland, Lettland, Moldawien, Norwegen, Polen, Portugal, Rumänien, Russland, Serbien, Schweden, Ukraine und Ungarn.

⁹ ECC Report 102, "Public Protection and Disaster Relief Spectrum Requirements", Januar 2007.

Effizienz. Folgendes Beispiel verdeutlicht dies: Im Jahre 1999 einigte man sich auf den 3G-Mobilfunkstandard, der maximale Datenübertragungsraten von 2 Mbps in 3G-Mobilfunknetzen ermöglichte (In der Praxis waren Datenübertragungsraten von 64 - 384 kbps die Regel). Im Vergleich dazu ermöglichte die digitale Technologie TETRA bis zu 28 kbps in den PPDR-Netzen. Die meisten der heutigen 3G-Netze nutzen die Technologieerweiterung "High Speed Packet Access (HSPA, HSPA+)", die theoretisch Spitzenraten von bis zu 21 Mbps (nur ein Nutzer pro Zelle, bester Kanal, kein Fehlerschutz) erzielt. Tatsächlich werden Übertragungsraten von 1 Mbps oder mehr im Fall von üblicherweise mehreren Nutzer in dichtbesiedelten Gebieten mit hoher Nutzung realisiert, sofern der Netzbetreiber ein Frequenzpaket im Umfang von 5 MHz gepaart nutzt. Derzeit wird an einer verbesserten TETRA-Version gearbeitet, die theoretisch maximale IP-Übertragungsraten von 500 kbps in einem 150-kHz-Kanal¹⁰ realisieren soll. Wie dem auch im Detail sei, es kann festgehalten werden, dass die Leistungsfähigkeiten von kommerziellen Netzen und PPDR-Netzen zunehmend stark voneinander divergieren. Gleichzeitig steigt die PPDR Nachfrage nach mobilem Breitband erheblich. Dies macht spektraleffiziente Technologien erforderlich, die zu entwickeln sind und im kommerziellen Bereich schnell zur Anwendung gelangen müssen.

¹⁰ Ausgegangen wird von einer 64-QAM Modulation und einer Kodierungsrate von 1.

Abbildung 2-2: UMTS Netzabdeckung, der beiden am besten ausgebauten Mobilfunknetze in Deutschland



Quelle: www.umts-netzabdeckung.de

Viele PPDR-Nutzer greifen zusätzlich auf kommerzielle 3G-Netze zu, wenn ihre PPDR-Netze überlastet sind oder bestimmte Leistungsmerkmale (noch) nicht geboten werden.. Allerdings ist die Netzabdeckung der kommerziellen 3G-Netze geringer als die der PPDR-Netz (siehe Abbildung 2-2). Die Ursache liegt im betriebswirtschaftlichen Kalkül der kommerziellen Netzbetreiber insbesondere auch in Verbindung mit der kostenintensiveren Frequenznutzung in höheren Frequenzbereichen, bedingt durch die geringeren Zellgrößen). Hinzukommt, dass die bestehenden Schmalband-PPDR-Netze in kritischen Situationen mit hohen Belegungsdichten schnell an ihre Kapazitätsgrenzen gelangen. Die Tendenz ist steigend. Es bietet sich für PPDR an, die Lösung in der Nutzung von modernen kommerziellen Mobiltechnologien, wie HSPA, LTE, CDMA 2000 EV-Do oder WiMAX zu suchen.

Dem hinzufügend würde die Adaptierung derartiger neuer digitaler Standards auch neue und flexible Optionen für die Interoperabilität der PPDR-Geräte eröffnen. PPDR-Bedienstete könnten sich mit ihren PPDR-Geräten in öffentliche Netze einbuchen, um z.B. die zwischenbehördliche Kommunikation mit PPDR-Externen zu ermöglichen. Eine

derartige Implementierung, bei der sich die PPDR-Funkgeräte nur durch die RF-Module von denen der kommerziellen Geräte unterscheiden würden, könnten erhebliche ökonomische Skaleneffekte realisiert werden. Derartige Technologien sind durchaus sogar für mobile Überwachungskameras (Closed Circuit Television, CCTV) geeignet.

2.3 Der Bedarf für mobile Hochgeschwindigkeitsnetze für schnelle Datenübertragungen und Video (Breitbandnetze)

Zusätzliche PPDR-Funkfrequenzen werden für breitbandige digitale Kommunikationsanwendungen benötigt. Die bestehenden TETRA- und Tetrapol-Systeme dienen originär der digitalen schmalbandigen (langsamen) Sprachübertragung und sind somit für Datenübertragungen nur beschränkt geeignet. Mobile Hochgeschwindigkeitsdatenübertragungen, wie z.B. Videoübertragungen vom Ort des Geschehens zur Einsatz- oder Leitzentrale (Uplink), sind mit TETRA und TETRAPOL gar nicht möglich, werden in der Zukunft bei PPDR eine zunehmende Rolle spielen,¹¹ nicht nur in Form von auf den Schutzhelmen eingesetzten Kameras, sondern auch bei unbemannten fernlenkbaren Land-, Wasser- und Luftfahrzeugen (Drohnen).

Abschnitt 2.3.1 enthält kurze Ausführungen zu breitbandigen digitalen Kommunikationsanwendungen. In Abschnitt 2.3.2 wird der allgemeine Bedarf für Videodienste diskutiert, hingegen erörtern wir in Abschnitt 2.3.3 im Speziellen die Nachfrage von unbemannten Drohnenfahrzeugen, Seeschiffen und Luftfahrzeugen.

2.3.1 Schnelle Datenübertragung

Eine schnelle Datenübertragung ist für PPDR ebenso bedeutend wie für eine Vielzahl anderer Anwendungen – vielleicht sogar bedeutender. Damit verbunden ist offensichtlich die Möglichkeit, auf die jeweilige Situation fokussiertes Datenmaterial an PPDR-Kräfte im Einsatz – beispielsweise Gebäudepläne – in einer sich verändernden Situation zu übermitteln. Zudem wird mit schnellen Datenübertragungen die Möglichkeit eröffnet, umfangreiche Informationen in die Leitzentrale zu schicken. Ebenso wie die mobile Breitbandnutzung in der täglichen privaten Kommunikationswelt Eingang gefunden hat, wird die breitbandige digitale Kommunikation in diesem Zusammenhang zunehmend die gewohnte Nutzerart sein, sowohl in der normalen alltäglichen Nutzung als auch in weitaus höherem Masse im Ernstfall. Der IABG-Report untermauert dies durch eine Vielzahl an Szenarien.

¹¹ Solche Fähigkeiten werden von Bundesländern und Bundespolizei gefordert und auch vom Militär.

2.3.2 Video

Bereits heute schon werden einsatzfähige Video-Technologien zur Erhöhung von Operationserfolgen und zur Minimierung von Sicherheitsrisiken der Einsatzkräfte entwickelt. Angestoßen durch die Zunahme von Gewalt gegenüber Polizeikräften in Deutschland, laufen bereits einige reale Tests mit Videotechnologie ausgestatteten Einsatzfahrzeugen, mit dem Ziel, Einsätze aufzuzeichnen. Hierbei zeichnen sich schon erhebliche Vorteile dadurch ab, dass die Leitstellen der Einsatzkräfte umfänglich und unmittelbar über das Geschehen vor Ort informiert werden können, so dass bei Bedarf auf der Basis dieser Information weitere Anordnungen für die Einsatzkräfte vor Ort gegeben werden können ("Command and Control").

Über Video können auch Personen und Fahrzeuge identifiziert werden.

Auch Videoverbindungen zwischen Hubschraubern und Bodenstationen sind ebenfalls in Echtzeit möglich. Dies findet teilweise schon auf national nutzbaren Frequenzen statt. Es mangelt jedoch an genügend Spektrum. Kameras auf Schutzhelmen können in Echtzeit Informationen an die Einsatzleitzentralen übertragen. Feuerwehrleute erhalten Informationen über Gebäude als heruntergeladene Bilder auf ein tragbares Terminal bzw. Handgerät. Roboter mit hochauflösenden Kameras können Gebäude erkunden, bevor Feuerwehrmänner und Rettungskräfte Gebäude betreten. Auf diese Weise können vor Ort Risiken genauer abgeschätzt, Rettungspläne zielsicherer organisiert und zusätzliche Gefahrenstoffe, wie z.B. chemisches oder explosives Material, identifiziert werden.

2.3.3 Zunehmende Nutzung von fernmanipulierbaren Landfahrzeugen und fliegenden Drohnen

Zunehmende brisante, verdeckte oder geheime Operationen zur Gewährleistung der nationalen Sicherheit, insbesondere auch außerhalb von bewohnten Gebieten, erzwingen in den nächsten Jahren den vermehrten Einsatz von fernmanipulierbaren Landfahrzeugen, sogenannte Unmanned Ground Vehicles, UAGVs, ferngelenkten Luftfahrzeugen inkl. fliegender Drohnen, sogenannte Unmanned Aeronautical Vehicles (UAVs) und Wasserfahrzeuge.

Auf diese Weise sollen elektronisch erfasste Informationen übermittelt werden, ohne dass z.B. das Leben von Hilfskräften vor Ort gefährdet ist.

Ein fernmanipulierbares Fahrzeug kann beispielsweise ein Roboter auf Ketten mit Kameras und Greifarmen, eine fliegende Drohne oder ein Landfahrzeug sein, welches mit einer Reihe von verborgenen Kameras verbunden mit einer drahtlosen Breitbandverbindung ausgestattet ist. Die Kameras dieser Fahrzeuge zeichnen alle Bewegungen auf und ermöglichen dem Ermittlungsführer das Videomaterial in Echtzeit

an entfernten Ort auszuwerten. Einige Hersteller bieten derartige mobile Überwachungskamera-Systeme (Closed Circuit Television, CCTV), bereits an. Die Übertragungsqualität und Zuverlässigkeit dieser Systeme ist jedoch noch nicht ausgereift, um hinreichend sicher eingesetzt zu werden.

Unbemannte Luftfahrzeuge (unmanned aeronautical vehicles (UAVs)) werden zunehmend vom Militär eingesetzt, um größere Gebiete aus der Ferne zu überwachen. Erhebliche Bandbreiten sind sowohl für die Übertragung der Überwachungsvideos als auch zur Kontrolle und zur Übersendung von telemetrischen Signalen für die Steuerung der UAVs von großer Entfernung notwendig. In Bezug auf die Nutzung von UAVs ist die gute Performance auch bei nicht unmittelbarem Sichtkontakt (non-line-of-sight performance) anders als bei mobilem Landfunk nicht von Bedeutung. Insofern kommen für derartige Anwendungen Frequenznutzungen im Bereich der militärischen Bänder 2300 - 2400 MHz oder 4400 - 5000 MHz in Betracht.

In der vorigen Weltfunkkonferenz wurde das Thema UAV-Frequenzbedarf und mögliche regulatorische Maßnahmen (Tagesordnungspunkt Punkt 1.3) bereits behandelt.

Die nachfolgenden PPDR-Aktivitäten bzgl. UAVs werden in dem Entwurf einer Studie, welcher von der ITU Working Party 5B als Teil des Agenda Punkts durchgeführt wurde, identifiziert.

- Küstenwachen, vorsorgliche Grenzüberwachungen, Drogenkontrollen, antiterroristische Operationen, Streiks, Suche und Rettung von verwirrten Personen, und nationale Sicherheit.
- Einsätze im öffentlichen Interesse wie die Wetterbeobachtung von der Ferne, Lawinenvorhersagen und -Kontrollen, (die deutsche Bergwacht will in den Alpen verunglückte Personen mit Drohen finden), Überwachung von Hurrikanen, Verhinderung und Überwachung von Waldbränden, Versicherungsansprüche während oder nach einer Katastrophe, und Verkehrsüberwachungen werden ebenfalls angeführt.

In der Studie wurde weiterhin hinreichend genau der zusätzliche Frequenzbedarf für alle PPDR-Anwendungen in den Vereinigten Staaten abgeschätzt. Die Ergebnisse zeigen, dass für terrestrische Systeme ein zusätzlicher Bandbreitenbedarf in Höhe von 34 MHz besteht. Für Satellitenverbindungen wurde der Bandbreitenbedarf in Höhe von 56 MHz ermittelt. Die USA haben noch keine konkrete Frequenzbänder identifiziert.

2.4 Ein Lösungsweg zur Deckung des Frequenzbedarfs für PPDR

Welche den Herausforderungen gerecht werdenden Maßnahmen sollten in Deutschland ergriffen werden, damit die neuen Technologien Anwendung finden, um die PPDR-Einsätze zu unterstützen? Wie sieht eine angemessene Vorgehensweise aus, in der die Bundesregierung auf europäischer Ebene und weltweit eine solche Entwicklung fördert?

In Abschnitt 2.4.1 werden alternative Nutzungsmöglichkeiten der für PPDR in Betracht gezogenen Funkfrequenzen dargestellt. Diese umfassen: (1) die Nutzung kommerzieller Dienste, die bereits Frequenzen nutzen, (2) gemeinsame Nutzung mit anderen Anwendungen, und (3) exklusive Zuteilung, entweder in einem einzigen oder mehreren Frequenzbändern. Die zur Entscheidung führenden technologischen Aspekte werden in Abschnitt 2.4.2 präsentiert. Verschiedene Aspekte der exklusiven Nutzungen eines Bandes oder mehrerer Bänder werden beleuchtet mit Blick auf den vermehrten Bedarf für PPDR dargestellt.

2.4.1 Alternative Formen der Frequenznutzung

In diesem Abschnitt werden andere Optionen als nur die rein exklusive Belegung von Spektren behandelt und gegeneinander gegenübergestellt.

2.4.1.1 Zugriff auf kommerzielle Dienste

In diesem Abschnitt werden die relativen Kosten und die entstehenden Nutzen, abgeschätzt, wenn auf kommerzielle Dienste zugegriffen werden soll.

In einer Reihe von europäischen Ländern ist es nicht unüblich, dass bei mangelnden PPDR-Netz-Kapazitäten auf die Netze kommerzieller Anbieter zugegriffen wird. Das gilt insbesondere für Anwendungen, die aus sicherheitspolitischer Sicht als weniger brisant eingestuft werden. In der Tat ergänzen PPDR-Kräfte mit Mobilfunktelefonen die ihren PPDR-Kommunikationsbedarf, wenn es nötig ist. Es würde jedoch eine zu große Herausforderung darstellen, wenn alle Erfordernisse der PPDR-Bedarfe mit kommerziell angebotenen Diensten gedeckt werden sollen. Die Netze der Sicherheitsdienste sind durch die folgenden Merkmale charakterisiert:

- Unabdingbare hochgradige Funktionsfähigkeit insbesondere in kritischen Situationen;
- Die Notwendigkeit der vollständigen Funktionskontrolle, welche in operationellen Einsätzen (Spannungen, Krisen, Notfälle, Rettung usw.) eine uneingeschränkte und schnelle Anpassung des Systems ermöglicht;

- Eine Netzabdeckung, die in erster Linie dem Kommunikationsbedarf der Sicherheitskräfte Rechnung trägt, um unabhängig von den unkalkulierbaren Verkehrsströmen der öffentlichen im Netze zu sein;
- Hohe Sicherheitsanforderungen an die Basisstationen und verzögerungsfreier Aufbau von Kommunikationsverbindungen;
- Gewährleistung des Betriebes in besonderen Situationen (Stromausfall, Notstromversorgungen, Bereithaltung von Ersatzteilen und Ersatzgeräte, Schutz vor unbefugtem Zutritt, Datenschutz und Datensicherheit, Sabotageschutz);
- Ein stabiles Netz mit der gleichzeitigen Möglichkeit der Datenübertragung und Sprachkommunikation; und
- Verwendung unterschiedlicher Technologien, um den spezifischen Anforderungen gerecht zu werden; Möglichkeit der zentralen Netzsteuerung, um auch Situationsbedingt auf besondere Verkehrslasten reagieren zu können

Diesen Anforderungen können die öffentlichen Netze heutzutage nicht gänzlich erfüllen. Zudem gibt es keine Anhaltspunkte dafür, dass sie in Zukunft diesen Anforderungen genügen werden. Öffentliche Netze müssen in ihrer täglichen Nutzung betriebswirtschaftlichen Kriterien mit Blick auf die Netzaufbau- und Betriebskosten gerecht werden. Sicherheitsnetze hingegen werden nicht mit dem Ziel der Gewinnmaximierung betrieben, sondern mit dem Ziel, den operationellen Betrieb zuverlässig, sicher und abhörfest zu gewährleisten.

In der Regel sind kommerzielle Mobilfunknetze bei Massenveranstaltungen oder Katastrophen überlastet. Folglich stehen sie genau in diesen Überlastungs-Situationen für PPDR nicht verfügbar - es sei denn, dass eine bevorzugte Nutzung für PPDR-Dienste in solchen Situationen eingerichtet werden kann.

Hinzu kommt, dass für den Notfall eines Stromausfalls kommerzielle Netze eine batterieversorgte Back-up Lösung und keinen Generator verwenden. Basisstationen befinden sich häufig in unbewohnten Gegenden, so dass Generatoren leicht gestohlen werden können. Als Konsequenz ist bei kommerziell betriebenen Netzen mit Netzausfällen zu rechnen, die nicht vernachlässigbar sind. Für kommerziell betriebene Netze mag dies ausreichend sein, für PPDR-Netze wird aber eine sehr hohe Betriebssicherheit benötigt.

PPDR-Einsatzkräfte werden weiterhin kommerzielle Netze nutzen, wenn dies möglich ist oder wenn die exklusiven PPDR-Netze, aus welchem Grund auch immer, nicht verfügbar sind. Dies ist insoweit positiv, als die Nachfrage nach PPDR spezifischer Kommunikation reduziert wird. Allerdings bleibt festzuhalten, dass derartige kommerzielle Netze kein vollständiges Substitut für hochgradig stabile PPDR-Netze anbieten können.

2.4.1.2 Mitnutzungen (Sharing) Gemeinsame Nutzung eines Frequenzbandes mit anderen Anwendungen

Eine gemeinsame Frequenznutzung ist ein traditionelles Frequenzmanagementkonzept. Damit wird eine parallele Nutzung durch verschiedener Anwendungen ermöglicht.

Um die Kosten und die Nutzen einer gemeinsamen Nutzung von Frequenzbändern durch PPDR und anderer Netzbetreiber gegeneinander abzuwägen, ist es notwendig, nicht nur die positiven, sondern auch die negativen Effekte, die eine gemeinsame Frequenznutzung haben kann, zu identifizieren.

In Europa als auch anderswo in der Welt ist eine gemeinsame Frequenzbandnutzung nicht unüblich. Verschiedenste Arten sind bekannt, welche von einer lizenzfreien Frequenznutzung wie im Fall von WiFi bis hin zur Nutzung des gleichen Frequenzbandes jedoch in unterschiedlichen geographischen Regionen (insbesondere bei Richtfunk). Es ist auch nicht unüblich, dass militärisches und ziviles Radar die gleichen Frequenzen nutzen. Allerdings sind in jedem konkreten Fall ein umsichtiges Vorgehen und in vielen Fällen eine umfassende Koordination erforderlich.¹²

Es ist selbstverständlich, dass in einem Notfall PPDR einen hinreichenden (vermutlich ungehinderten) Zugang zu den Funkfrequenzen haben muss. Dies erforderte eine hundertprozentig zuverlässige Vorzugsbehandlung in solchen Fällen.

Es gibt Beispiele für derartige Systeme. In der Studie "Collective Use of Spectrum" für die Europäische Kommission¹³ (WIK-Consult und Aegis waren an der Studie beteiligt), ist *Dynamic Frequency Selection (DFS)* angeführt, das eine gemeinsame Frequenznutzung für Radarsysteme ermöglicht. Bis zu gewissen Grad ist die DFS erfolgreich; allerdings sollte erwähnt werden, dass Veränderungen der Radarsysteme es mit der Zeit notwendig machen, dass die Instrumente zur Entdeckung (bzw. nicht Wahrnehmung) sich ändern und diese Veränderungen sind nicht so einfach in die Endnutzengeräte integrierbar.

Heutzutage ist eine denkbare Argumentation, dass *Software Defined Radio (SDR)* (d.h. damit würde sichergestellt, dass die Endnutzengeräte über eine Luftschnittstelle nachgerüstet werden können) eine Lösung für derartige Erfordernisse darstellt.

Als ein mit Vorbehalt zu wertender Hinweis sei angeführt, dass die Vereinigten Staaten beabsichtigten, ein Frequenzband mit bevorzugter Nutzung durch PPDR im Rahmen

¹² Siehe John Burns, Paul Hansen, J. Scott Marcus, Michael Marcus, Philippa Marks, Frédéric Pujol, and Mark Redman, "Study on Legal, Economic, & Technical Aspects of 'Collective Use' of Spectrum in the European Community", eine Studie für die Europäische Kommission, November 2006, verfügbar unter: http://europa.eu.int/information_society/policy/radio_spectrum/docs/workshop_collective_use/cus_rep_fin.pdf.

¹³ Ibid.

der „D-Block“-Auktion zu versteigern. Die US-Regulierungsbehörde FCC beabsichtigte „... award a nationwide 10 megahertz commercial licence in the Upper 700 MHz ... Block to the winning bidder once it has entered into a Commission-approved Network Sharing Agreement ... with the [corporate entity established by the FCC to manage emergency services rights of access to the spectrum]. ... Under the Partnership, [emergency services] will have priority access to the commercial spectrum in times of emergency, and the commercial licensee will have pre-emptible, secondary access to the public safety broadband spectrum. Providing for shared infrastructure will help achieve significant cost efficiencies while maximizing public safety’s access to interoperable broadband spectrum.“¹⁴

Dieses Vorgehen war jedoch nicht erfolgreich. Kein privater Bieter hatte ein hinreichendes Interesse an diesem Frequenzband, welches durch PPDR bevorzugt genutzt werden sollte. Niemand gab ein Gebot ab, welches höher war als das von der FCC gesetzte Minimalgebot. Eine mögliche Interpretation für dieses Ergebnis ist, dass der ökonomische Wert eines derartigen Frequenzbandes nicht sehr hoch ist. Allerdings muss an dieser Stelle hinzugefügt werden, dass eine Reihe von detaillierten Frequenznutzungsbestimmungen für diese Frequenzband für die Bieter erhebliche Unsicherheiten generierten, die zu einer erheblichen Wertminderung für das Frequenznutzungsrecht dieses Frequenzbandes beitrugen.

2.4.1.3 Ausschließliche Frequenznutzungsrechte

Verfahrenstechnisch am einfachsten ist es, Funkfrequenzen exklusiv (oder zumindest vorrangig) für PPDR-Anwendungen zu widmen und für diese Frequenznutzung zuzuteilen. Allerdings verursacht dies auch die höchsten Opportunitätskosten. Im Fall der exklusiven Frequenznutzung dürfen diese Frequenzen ausschließlich durch PPDR genutzt werden; eine lediglich vorrangige Nutzungsmöglichkeit würde bedeuten, dass anderweitige Nutzungen nur insoweit stattfinden dürfen, wenn sie keine Störung (Interferenz) für die PPDR-Nutzung bedingen.

Bezogen auf das Frequenzmanagement entstehen mit einer exklusiven Frequenzallokation für PPDR primär zwei Arten von Kosten: (1) Opportunitätskosten, da dieses Frequenzband nicht anderweitig genutzt werden kann und (2) eine Räumung des Bandes von denjenigen Nutzern, die bisher, für welche Anwendungen auch immer, dieses Frequenzband nutzten. Diese Kosten werden in der Auswirkungsanalyse in Kapitel 4 detailliert betrachtet.

¹⁴ FCC, vgl. <http://www.fcc.gov/pshs/public-safety-spectrum/700-MHz/safetyband.html>.

2.4.2 Technologische Anforderungen von breitbandigem PPDR

Die Vertragsbedingungen der Studie sprechen von Frequenzbedarf ohne spezifische Technologien zu nennen. Allerdings ist es aus unserer Sicht unumgänglich bestimmte Annahmen hinsichtlich der zu verwendenden Technologie zu machen, wenn man den Frequenzbedarf modellmäßig ableiten möchte.

Ohne Beschränkung der Allgemeinheit haben wir hier angenommen, dass lediglich eine Technologie mit mittlerer und weitreichender Reichweite in Form von OFDM (*orthogonal frequency-division multiplexing*) innerhalb einer neuen Frequenzbandes genutzt wird.

Zur Modellierung wurde eine LTE-Technologie unterstellt. Allerdings dürften die Resultate auch für andere Arten von OFDM-basierten Technologien, wie z.B. WiMAX sich nicht wesentlich von LTE unterscheiden.

LTE wird vielfach als die sich anbietende technologische Wahl für breitbandige PPDR-Anwendungen angesehen,¹⁵ allerdings wollen wir damit nicht das Ergebnis einer technologisch doch sehr komplexen Debatte vorwegnehmen, zudem dies für die Studie auch nicht erforderlich ist.

Wir haben weiterhin angenommen, dass für den lokalen ad-hoc-Kommunikationsbedarf unterschiedliche Technologien verwendet werden können, insbesondere zu Spitzenlastzeiten, wie z.B. bei großen Sportveranstaltungen, Konzerte oder Katastrophen. Die möglichen Kandidaten umfassen Varianten des Standards IEEE 802.11, ad-hoc-vermaschte-Netze, LTE-Repeater und Picozellen.

Drahtloser Backhaul wurde getrennt betrachtet, ebenso die selektive Nutzung von Satelliten dort, wo andere Lösung nicht mehr geeignet sind. Satelliten haben ihre eigenen technologischen Merkmale.

Wann immer wir einen technologischen Standard gewählt haben, wurden die folgenden Eigenschaften als sehr wünschenswert bzw. absolut essentiell angesehen:

- **Volle Interoperabilität:** Systeme unterschiedlicher Händler oder Hersteller in unterschiedlichen Ländern sollten auf einem festzulegenden Level miteinander kompatibel und interoperabel sein ohne, dass eine Veränderungen von spezifischen Einstellungen notwendig ist. Es sei anzumerken, dass dies heutzutage für TETRA- und Tetrapol-Systeme noch nicht der Fall ist.

¹⁵ Siehe beispielsweise: "NPSTC Votes To Endorse LTE Technology for Broadband Network", 10 June 2009, abrufbar unter http://www.npstc.org/documents/Press_Release_NPSTC_Endorses_LTE_Standard_090610.pdf.

- **Ökonomische Skalenerträge:** Sofern dies technisch möglich ist, sollte es so sein, dass PPDR spezifische Funktionalitäten eine Additive zu bestehenden Technologie, wie beispielsweise zu LTE oder WiMAX, sind. Auf diese Weise könnte die Markteinführung schneller erfolgen und das Equipment für PPDR von den positiven Effekten eines Massenmarktes über Skalenerträge profitieren (z.B. hinsichtlich der Chipsets). Zudem wäre die Möglichkeit der Interoperabilität mit bestehenden kommerziellen Netzen eher gewährleistet (wenn auch ggf. mit verminderter Funktionalität).

2.4.3 Eigenschaften eines Frequenzbandes oder -bänder, welche für breitbandige PPDR ausschließlich genutzt werden

Sofern exklusive Frequenzuteilungen für breitbandige PPDR erfolgen, sollte dies ein oder mehrere Bänder umfassen? Was kann über die notwendigen Eigenschaften eines solchen(r) Bandes(Bänder) gesagt werden?

Die Antwort auf diese Frage hängt von einer Reihe unterschiedlicher miteinander zusammenhängender Faktoren ab. Diese Faktoren umfassen (1) die Kosten für eine landesweite Netzabdeckung, (2) die Notwendigkeit einer guten Inhaus-Versorgung, (2) die plötzlich auftretenden Kapazitätsanforderungen für Sportereignisse, Konzerte oder Katastrophen, und (4) die Verhaltenseigenschaften des Equipments, insbesondere in Bezug auf das Antennendesign.

Zunächst ist festzuhalten, dass Funkfrequenzen mit einer Lage unterhalb von 1 GHz ideal für eine Versorgung in der Fläche sind. Dies ist im Übrigen der Grund dafür, dass Mobilfunknetzbetreiber und terrestrische Fernsehsender ein so großes Interesse an derartigen Frequenzen haben. Diese Frequenzen ermöglichen eine große Reichweite der Basisstationen und verursachen somit die geringes Netzaufbaukosten.

Zweitens, wenngleich die gute Inhaus-Versorgung nicht für alle PPDR-Anwendungen erforderlich ist, so ist diese dennoch absolut essential für einige, offensichtlich ist dies für Feuerwehreinätze der Fall. Für eine solche gute Inhaus-Versorgung sind erneut aus physikalischen Gründen Funkfrequenzen unterhalb von 1 GHz am geeignetsten.

Diese beiden Betrachtungen legen die Schlussfolgerung nahe, dass Funkfrequenzen unterhalb von 1 GHz für breitbandiges PPDR benötigt werden. Aufgrund der Unvorhersehbarkeit der Zukunft, sollten die Funkfrequenzen hinreichend dafür sein die alltäglichen Bedarfe ohne zusätzliche Komplexitäten (wie den Einsatz von Relays) abzudecken.

Gleichzeitig sind jedoch die Opportunitätskosten für Funkfrequenzen unterhalb von 1 GHz weitaus höher als in anderen Frequenzbändern (siehe Abschnitt 5.1.3.3). Von daher sollten die Frequenzuteilungen nicht umfangreicher sein als dies absolut

notwendig ist. Abgesehen von diesen ökonomische Betrachtungen ist nicht zu erwarten, dass bei realistischer Betrachtung ein umfangreiches Frequenzband unterhalb von 1 GHz verfügbar ist; weiterhin ist zu bedenken, dass ein umfangreiches Frequenzband insbesondere auch eher nicht in alle europäischen Ländern zur Verfügung steht, sodass eine diesbezügliche Harmonisierung nahezu unmöglich ist.

Die dritte Betrachtung bezieht sich auf den plötzlich auftretenden hohen Kapazitätsbedarf. Der Frequenznutzungsbedarf für Konzerte und große Sportereignisse sind hoch, allerdings sind sie im allgemeinen gut vorhersehbar. Katastrophen sind nicht vorhersehbar, weder hinsichtlich es Zeitpunkt noch mit Blick auf den Ort. Jedoch sind für beide Arten von Ereignissen zusätzliche Kapazitäten im Verhältnis zur alltäglich genutzten Kapazität erforderlich. Dem ist Rechnung zu tragen. In allen diesen Fällen ist es möglich und kosteneffizient zusätzliche Relay-Stationen einzusetzen. Da diese Relaystationen nahe am Einsatzort sind, können Funkfrequenzen in höheren Frequenzbereichen zur lokalen Übertragen vom Relay zu den PPDR Einsatzkräften vor Ort genutzt werden.

Eine vierte Betrachtung bezieht sich auf Funktionsbeschränkungen der Funkausrüstung. Für Funkausrüstungen, welche auf Funkfrequenzen unterhalb von 1 GHz ausgerichtet sind, sollte aus Gründen der Antenneneffizienz lediglich ein Frequenzband mit einem Einstellungsbereich genutzt werden, der nicht mehr als 10 % vom Zentralpunkt des Bandes abweicht. Von daher hat ein Frequenzband mit dem Zentralpunkt bei 800 MHz einen Variationswert von 80 MHz. Der Einstellungsbereich sollte somit zwischen 760 MHz und 840 MHz liegen. Hingegen ist bei einem Zentralwert von 400 MHz eine Abweichung von 40 MHz für den Einstellungsbereich hinnehmbar, somit von 380 MHz bis 420 MHz.^{16 17}

Die Antennengestaltung ist aufgrund der geringen physikalischen Größe und der höheren, erreichbaren Effizienz in höheren Frequenzlagen weniger problematisch. Allerdings werden dadurch der Nachteil der schlechteren Signalausbreitung in diesen Frequenzlagen, die die Anwendbarkeit derartige Frequenzen für weitflächige Regionen beschränken, nicht aufgewogen.

Ein einziges zusammenhängendes Frequenzband (oder ein Paar von Subbänder im Fall eines Frequency Division Duplex (FDD) Netze), welche für breitbandige PPDR in der Fläche geeigneter sind) unterhalb von 1 GHz, verursacht geringere unproduktive

¹⁶ An dieser Stelle möchten wir folgendes Statement des Memorandums anführen: “Public Safety frequency statement from 18 countries to the WG FM Workshop on Spectrum Harmonisation for Public Protection and Disaster Relief (PPDR) 11-12 March 2010 – Mainz (Germany)”: “.. we want ideally to be able to re-use the antenna sites we have today for the existing narrow-band systems, also for future wideband and broadband systems. Spectrum in the lower end around 400 MHz will have a positive impact on cost of deployment.” Dies ist ein relevanter Aspekt, wenn auch nur einer von vielen, der mitberücksichtigt werden sollte.

¹⁷ Außerdem sollte beachtet werden, dass die prozentuale Bandbreite bei 400 MHz für Kleingeräte wie Handies oder USB-Sticks aufgrund von der physischen Antennengröße geringer ist.

Overheads, beispielsweise in Form von Schutzbänder, um das Risiko der Nutzungsbeeinträchtigung von bzw. zu benachbarten Frequenzbändern im Vergleich zu fragmentierten Frequenzuteilungen zu verringern.

Sofern man alle diese Faktoren berücksichtigt, gibt es gute Argumente, ein Minimum an gepaarten Funkfrequenzen, unterhalb von 1 GHz für die Nutzung für den täglichen Bedarf und die Hauptpenetration für PPDR einzufordern; zusätzlich sind zu diesem Frequenzband ein oder mehrere Frequenzbänder oberhalb von 1 GHz erforderlich, um dem hohen Kapazitätsbedarf bei Sportereignissen, Konzerten oder Katastrophen Rechnung zu tragen. Die lokale Nutzung der ereignisbezogenen hohen Kapazitäten macht es möglich, Time Division Duplex Systeme einzusetzen, sodass es nicht notwendigerweise gepaarten Spektrums in den höheren Frequenzlagen bedarf.

Wir greifen diese Überlegungen in Kapitel 4 erneut auf, wenn wir ausführlich diskutierten, ob ein Mix von Frequenzen unterhalb und oberhalb von 1 GHz oder ein einziges, großes Band unterhalb von 1 GHz für breitbandiges PPDR besser geeignet ist.

Die Frequenzbänder können von Land zu Land teilweise unterschiedlich sein; Frequenzbänder verändern sich im Laufe der Zeit. Für uns hat es den Anschein, dass die mögliche Nutzung verschiedener Frequenzbänder bzw. Sendebereiche für den Einsatz von Geräten spricht, die hinreichend intelligent sind und automatisch die Umgebung erfassen, in der sie sich befinden. Dieser Gedanke wird in Abschnitt 2.4.2 aufgegriffen.

3 Frequenzbedarf für PPDR in Deutschland

Dieses Kapitel basiert auf den Arbeiten in der IABG Studie, und wir geben unsere eigenen Einschätzungen dahingehend, welche Frequenzanforderungen daraus resultieren, wobei wir die zu erwartenden technologischen Entwicklungen berücksichtigen. Dabei haben wir einige Annahmen der IABG Studie dahingehend modifiziert, wie wir die technologischen Entwicklungen verstehen. Außerdem ist es praktisch erforderlich, den geringsten möglichen Frequenzbedarf zu identifizieren, wobei natürlich gewährleistet sein muss, dass die notwendige Betriebsfähigkeit für den öffentlichen Sicherheitssektor gewährleistet ist.

Abschnitt 3.1 beinhaltet eine Zusammenfassung der IABG Studie, für das Ministerium des Inneren, welche die Grundlage für unsere Einschätzungen des Frequenzbedarfs für breitbandige PPDR darstellt. In Abschnitt 3.2 geben wir einen Überblick darüber, in welcher Weise wir diesen Frequenzbedarf in Deutschland geschätzt haben; allerdings, findet sich die vollständige Analyse ausschließlich in dem vollständigen Bericht. Die abgeleiteten Ergebnisse hinsichtlich des PPDR-Frequenzbedarfs in Deutschland sind in Abschnitt 3.3.

3.1 Eine Einschätzung seitens der IABG für das BMI

Die IABG-Studie stellt eine hervorragende erste Analyse des Problems dar, und beinhaltet wertvolle Daten, wenngleich wir wie bereits erwähnten es als geboten erachtet haben, Annahmen in einigen Fällen zu modifizieren. In diesem Abschnitt präsentieren wir einen kurzen Überblick der IABG-Studie, mit einem besonderen Augenmerk auf den gewählten analytischen Modellrahmen, die entwickelten Szenarien und die Studienergebnisse mit Blick auf die Datenströme und die Anforderungen an die Funkfrequenzen.

3.1.1 Zielsetzung der IABG Studie

Das grundsätzliche Ziel der Studie war eine Abschätzung der zukünftigen Nachfrage für breitbandige drahtlose Kommunikationsdienste von Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben, und die sich daraus ergebenden Anforderungen für benötigte Funkfrequenzen. Die primäre Datengrundlage für die Analyse lieferte eine Reihe von Interviews, welche mit Vertretern lokaler Organisationen oder Bundesbehörden geführt wurden. Diese umfassten die Polizei, die Feuerwehr, medizinische sowie weitere öffentliche Sicherheitsaufgaben.

3.1.2 Der analytische Rahmen

IABG's Ansatz bestand darin, eine Anzahl spezifischer operationaler Anforderungen zu definieren, und für jede dieser Anforderung folgende Größen zu schätzen.

- Insgesamt zu erwartendes Datenverkehrsaufkommen,
- Welcher Umfang dieses Verkehrsvolumens ist kritisch für den zu erfüllenden Auftrag und
- Welcher Anteil an diesem Verkehr kann als redundant angesehen werden (d.h. aufgrund der Verfügbarkeit von anderen Übertragungswegen).

Auf diese Weise wurde für jede Anwendung bzw. Anforderung ein minimales Datenvolumen berechnet. IABG hat dann die als ähnlich zu erachtenden Anwendungen in Gruppen zusammengefasst und die Datenbandweite für jede dieser Anwendungsgruppen definiert. Die Datenbandweiten jeder Gruppe von Anwendungen wurde dann dahingehend unterteilt, welche Übertragungsplattform jeweils erforderlich ist (d.h. WLAN, LTE, Satelliten etc.). Für jede identifizierte Plattform hat die IABG dann alle gruppenindividuelle Datenanforderungen zusammenaddiert und das Ergebnis als die insgesamt erforderlich Datenbandweite für die jeweilige Plattform identifiziert.

Diese Berechnungen wurde für drei breit angelegte Betriebsszenarien durchgeführt, genauer gesagt:

- A. **Normalbetrieb der BOS**, d.h. die typischen alltäglichen Nutzungsszenarien;
- B. **Große Kultur- und Sportveranstaltungen und Demonstrationen** mit erheblich höherem Kommunikationsbedarf, wobei der Veranstaltungsort und die jeweiligen Anforderungen im Vorfeld bekannt sind;
- C. **Naturkatastrophen und Großschadenslagen**, mit erheblich höherem Kommunikationsbedarf und kurzem Vorankündigungszeitraum, wobei die Örtlichkeiten und die Erfordernisse im Vorfeld nicht bekannt sind.

Innerhalb dieser drei Grobkategorien wurden sechs spezifische Kommunikationsszenarien identifiziert, die im Folgenden zusammengefasst sind:

1. **Datenübermittlung vom Kontrollzentrum zu den Einsatzkräften vor Ort:** Das primäre Charakteristika dieses Szenarios ist die Datenübermittlung von der Einsatzleitzentrale zu einem oder mehreren Einsatzkräften am Einsatzort. Die Richtung des Datenstroms ist Downlink. Die Nutzungsarten unterscheiden sich je nach Behörde, jedoch umfassen diese typischerweise:

- Feuerwehr: Informationen über die Örtlichkeit, d.h. Evakuationswege, Gebäudepläne, Instruktionen wie Gefahrenstoffe zu behandeln sind, oder Instruktionen wie in Fahrzeugen eingeschlossene Personen idealerweise zu befreien sind
 - Polizei: Zugang zu Fahrzeug- oder Personendaten;
 - Medizinisches Personal: Zugang zu Patienten- oder Medikamentendaten.
2. **Datentransfers von den Einsatzkräften vor Ort zu den Einsatzzentralen.** in diesem Fall erfolgt der Datentransfer in genau der umgekehrten Weise wie im vorherigen Szenario, nämlich Uplink. Anders als in Szenario A können diese Datenübertragungen Anwendungen mit hohen Datenraten wie Video oder hochauflösende Photographien umfassen. Sensordaten (d.h. Überwachung der Lebenszeichen eines Verletzten) können auch übertragen werden, allerdings ist die dafür benötigte Bandbreite geringer.
 3. **Kommunikation zwischen Fahrzeugen und dem Ort des Zwischenfalls:** Bezieht sich auf die Kommunikation zwischen den Fahrzeugen und dem Ort des Zwischenfalls. Hierbei können Videoübertragungen, sowie Sprach- und Datenkommunikation zu den Fahrzeugen auftreten.
 4. **Kommunikation zwischen den Einsatzkräften:** Dies umfasst Kommunikation im Direktmodus zwischen den Einsatzkräften vor Ort, typischerweise zwischen Polizeikräften, Feuerwehrmännern oder Rettungsdienst. Gemäß den Ausführungen der IABG kann die Anzahl und Dichte der Kommunikationspartner weitaus höher sein als in Szenario 3, obwohl dies unter normalen Einsatzbedingungen wohl eher fraglich ist. Die IABG geht ferner davon aus, dass zwischen den Behörden eine Kommunikation erforderlich ist. Einige Datentransfers sind sehr zeitkritisch, beispielsweise solche in Bezug auf Atemstillstand. Anwendungen umfassen Textnachrichten, Dokumententransfer und potentiell eine Videoübertragungen.
 5. **Nutzung in Tunneln, Gebäuden und Kellern:** Dieses Szenario beinhaltet, dass Individuen in solchen beschränkten Örtlichkeiten mit anderen Personen, Fahrzeugen oder Kommandoposten außerhalb des Gebäudes kommunizieren möchten. Analoge oder TETRA-Sprachnetze sind in solchen Situationen häufig nicht verfügbar. Anwendungsmöglichkeiten sollten von daher Sprache als auch Bilder, Sensordaten und Videoübertragungen umfassen.
 6. **Zugang zu Informationen aus dem Internet oder anderen externen Datenquellen**

Für jedes dieser Szenarios wurden spezifische Anwendungen in Interviews identifiziert, die für Bandweiteschätzungen genutzt wurden.

3.1.3 Art der Interviews

IABG verwendete die Interviewtechnik eines “geführte Interviews”, wobei eine Reihe von detaillierten Fragen zu nutzerspezifischen Anforderungen gestellt wurden. Als Ergebnis wurde eine Reihe von ähnlichen Erfordernissen identifiziert, diese umfassten primär Dienste mit hohen Bandbreiten wie hochauflösende Videos.

3.1.4 Identifizierte Anwendungen in den Interviews

In der nachfolgenden Tabelle werden die Anwendungen angeführt, welche von den zwanzig Seiten der IABG interviewten Organisationen genannt wurden. Korrespondierend zu diesen werden die entsprechenden Szenarien genannt (wie weiter oben kurz dargestellt wurden):

Organisation	Anwendung	Szenar	Ref
Bundesamt für Güterverkehr (BAG)	Breitbandige Anbindungen von mobile Kontrolleuren	A1, A2, A5 und A6	1.1
Bergwacht Bayern	Sprachkommunikation	A1-A4, B1-B4 und C1-C4	2.1
	Alarmierung mit Gleichwellenfunk	A1,A2,A5,B1,B2,B5, C1,C2 und C5	2.2
	Einsatz von Drohnen zur Erkundung	A3,B3 und C3.	2.3
	Redundante Anbindung von Berghütten, Relaisstellen und Notrufsystemen per Funk an ein Netzwerk	A, B und C	2.4
Berufsfeuerwehr Berlin	Kommunikation an der Einsatzstelle	A3-A5,B3-B5 und C3-C5	3.1
	Alarmierung und Disposition	A1,A2,B1,B2,C1 und C2	3.2
	Steuerung von Verkehrsleitsystemen zur Optimierung der Fahrwege	A, B und C	3.3
	Übertragung von Patientendaten ins Krankenhaus	A6, B6, C6	3.4
	Informationsübertragung von der Leitstelle zu Einsatzmittel zusätzlich zur Alarmierung	A1, B1, und C1.	3.5
	Zugriff auf interne und externe Datenbanken	A1, A2, A6, B1, B2, B6, C1, C2 und C6.	3.6
	Datenübermittlung zwischen ABC-Erkundungswägen	A3 und C3.	3.7
	Infrastruktursysteme zur Vernetzung der Einsatzstelle mit der Leitstelle	C1,C2, und C6	3.8
Berufsfeuerwehr Dortmund	Lageerfassung und Lageübermittlung	A1-A4, B1-B4 und C1 - C4	4.1

Organisation	Anwendung	Szenar	Ref
	Übermittlung von Statusmeldungen	A2,A3,B2,B3,C2 und C3.	4.2
	Sensorik am Einsatzort	A3-A5, B3-B5 und C3 - C5	4.3
	Zugriff auf Datendienste in der Leitstelle bzw. Im Internet	A1,A2,A6,B1,B2,B6, C1,C2 and C6.	4.4
Bundeskriminalamt (BKA)	Datenkommunikation (Video, Audio, GPS, Bürokommunikation)	A1-A6, B1-B6 und C1-C6	6.1
	Identifizierungskommission (IDKO)	C1, C2, C4 und C6	6.2
Bundespolizei (BP)	Verbindungen zwischen unterschiedlichen Leitstellen.	A1,A2,B1,B2,C1 und C2	7.1
	Anbindung von Fahrzeugen und fest installierten Kameras an stationäre und mobile Leitstellen	A1,A2,A5,B1,B2,B5, C1,C5 und C2	7.2
	Sprachkommunikation als Ergänzung/Redundanz zu TETRA	A1-A6, B1-B6 und C1 - C6	7.3
	Datenübertragung zw. Personen, Fahrzeugen, Leitstelle	A1-A5, B1-B5 und C1-C5	7.4
	Video-/Bildübertragung und Videokonferenzen	A1-A6, B1- B6 und C1 - C6	7.5
	Intranet bzw. Internet	A1,A2,A5, A6,B1,B2, B5,B6,C1, C2,C5 und C6	7.6
	Funkpeilung	A2, A5, B2 und B5	7.7
	Steuerung / Fernmanipulation von Drohnen	A1-A3,B1 - B3 und C1 - C3	7.8
	Unterwasserkommunikation mittels Sprache	A4, B4, und C4	7.9
	Vernetzung von Geräten am Mann oder im Fahrzeug	A, B und C	7.10
Deutscher Feuerwehrverband (DFV)	Anbindung Einsatzfahrzeug / ELW an Leitstelle	A1, A2, C1 und C2	8.1
	Übertragung von Daten vom Einsatzort/Gebäude an die Einsatzleitung vor Ort	A4, A5, C4 und C5	8.2
	Verknüpfung von mehreren Leitstellen per Funk	A und C	8.3
Deutsches Rotes Kreuz (DRK)	Datenkommunikation am Einsatzort bzw. mit der Leitstelle	A1-A3, A5, A6,B1-B3, B5, B6, C1- C3, C5 und C6	9.1
	Redundante Weitverkehrsverbindung der Landesgeschäftsstellen mit dem Bundesverband	A1,A2, und A3	9.2
Landespolizei Bayern	Videoübertragung vom Hubschrauber zur Leitstelle/Zentrale	A1, A2, B1, B2, C1 und C2	11.1
	Videoübertragung per DVB-T	A1,A2, A5, B1,B2, B5, C1,C2 und C5	11.2

Organisation	Anwendung	Szenar	Ref
	Anbindung von Fahrzeugen/Personen/Standorte an die Zentrale bzw. das Polizeipräsidium	A1,A2,A5,B1,B2,B5, C1,C2 and C5	11.3
	Vorortkommunikation für unterschiedliche Anwendungen	A3, B3, und C3	11.4
	Vernetzung von Relaisstationen mit der Zentrale	A, B und C	11.5
Landespolizei Brandenburg	Mobile Datenanbindung der Streifenwagen an die Zentrale	A1,A2,A5,B1,B2,B5, C1,C2 und C5	12.1
	Datensynchronisation in der Nähe der Leitstelle	A1,A2,B1,B2,C1, und C2	12.2
	Video- und Bildübertragung zwischen Fahrzeugen	A3, B3 und C3	12.3
Landespolizei Nordrhein-Westfalen	Videoübertragung vom Hubschrauber/Flugzeug an den zentralen Übergabepunkt ins Polizeinetz	A1, A2, B1, B2, C1 und C2	13.1
	Videoübertragung von einer Drohne zu einem Bodenfahrzeug	A3, B3, und C3	13.2
	Videoübertragung von fest installierten Kameras an den zentralen Übergabepunkt ins Polizeinetz	A1,A2,A5,B1,B2,B5,C1,C2 und C5	13.3
	Übertragung von Sensordaten an den zentralen Übergabepunkt ins Polizeinetz	A1,A2,A5,B1,B2,B5,C1,C2 und C5	13.4
	Anbindung motorisierter Streifen (KFZ und Krad)	A1,A2,A5,B1,B2,B5,C1,C2 und C5	13.5
	Mobile Befehlsstellen zu Land und zu Wasser	A1,A2,A3,A5,B1,B2,B3,B5,C1, C2,C3 und C5	13.6
	Anbindung des nichtmotorisierten Streifenpolizisten (Radfahrer, Reiter, Fußstreife)	A1,A2,A5,B1,B2,B5,C1,C2 und C5	13.7
	Kommunikation mit einem Roboter zur Entschärfung von Sprengsätzen	A3,A5, B3, B5,C3 und C5	13.8
MEK / SEK Niedersachsen	Feuerleitsystem/Präzisionsschützenleitsystem	A4,A5, B4, B5, C4 und C5	14.1
	Funkfernzündanlage	A3,A5,B3,B5, C3 und C5	14.2
	Video-, Audio und Positionsübertragung (GPS) am Einsatzort und mit der Zentrale	A2,A3,A4,A5,A6,B2,B3,B4,B5, B6,C2,C3, C4,C5 und C6	14.3
	Mobile Office: Zugriff auf Landesverwaltungsnetz und das Internet	A5,A6, B5, B6,C5, and C6	14.4
	Datenübertragung aus dem Hubschrauber zu einer mobile Befehlsstelle für die Anwendung eines Imsi-Catchers	A3,A5, B3, B5,C3, und C5	14.5

Organisation	Anwendung	Szenar	Ref
SEK Baden-Württemberg	Kein Bedarf an drahtloser Kommunikation über den Analogfunk hinaus	-	-
Brand- und Katastrophenschutz Landkreis Potsdam Mittelmark	Videobildübertragung zum Einsatzleiter	A3-A5,B3 - B5 und C3-C5.	16.1
	Datenanwendungen	A1,A2,A6,B1,B2,B6,C1,C2 und C6	16.2
	Atemschutzgeräteüberwachung	A4, A5, C4, und C5	16.3
Technisches Hilfswerk (THW)	Verbindung von Einsatzstellen und Anbindung ans Internet	A1- A3, B1-B3 und C1-C3.	17.1
	Vernetzung des Einsatzortes	A3-A6,B3-B6 und C3-C6.	17.2
	Kommunikationsanbindungen des Einsatzgebietes im Ausland an die Zentrale im Inland	A1,A2,A6,B1,B2,B6,C1,C2 und C6	17.3
Werksfeuerwehr TU München	Datenaustausch mit der Leitstelle	A1,A2,A6,B1,B2,B6,C1,C2 und C6	18.1
	Datenübermittlung am Einsatzort	A3-A5,B3-B5, und C3-C5	18.2
	Anbindung von Feuermeldesystemen an Leitstelle	A1,A2 und A5	18.3
	Kommunikation am Einsatzort und mit der Leitstelle	A1-A5,B1-B5, und C1-C5	18.4
Werksfeuerwehr BASF	Datenübertragung zwischen Leitstelle und Einsatzleitung vor Ort	A1,A2,A6,C1, C2 und C6	19.1
	Vernetzung des Einsatzortes: Übertragung von Daten vom Einsatzort an den ELW	A3-A5 und C3-C5	19.2
	Übertragung von Daten von der Messwarte an den ELW	A3 und C3	19.3
Zoll	Datenkommunikation bzw. Datenabfragen	A1 und A2	20.1
	Video- und Bildübertragung	A1, A2 und A3	20.2

3.1.5 IABG Ergebnisse

3.1.5.1 Die Ergebnisse der IABG-Studie

Als Ergebnis der IABG-Studie wird ein großer Bandbreitenbedarf identifiziert, der gegenwärtig von keiner praktisch verfügbaren drahtlosen Technologie abgedeckt werden kann.

Die Anforderungen werden nach drei Grobszenarien (Normalbetrieb der BOS, Große Kultur- und Sportveranstaltungen und Demonstrationen sowie drittens

Naturkatastrophen und Großschadenslagen). Beispielhaft stellt die nachfolgende Tabelle die Bandbreitenforderungen Uplink für ein großflächiges zellularer Mobilfunknetz dar.

Tabelle 3-1: Geschätzte Gesamtbandbreitenanforderung der IABG für Uplink Datenströme in einem weitflächigen Netz

	Gesamtnachfrage (inkl. Mission und Realzeit) Nicht Critical keine	Mission Critical und Realzeit ausschl.	Mission Critical Realzeit ausschl. und keine Redundanz und
Normalbetrieb der BOS	387 Mbps	223 Mbps	143 Mbps
Große Kultur- und Sportveranstaltungen und Demonstrationen	651 Mbps	335 Mbps	255 Mbps
Naturkatastrophen und Großschadenslagen	621 Mbps	300 Mbps	220 Mbps

Wenngleich die IABG für jede Anwendung geographische Reichweiten angegeben hat, so bleibt dennoch offen wie die oben angeführten Datenraten sich in der Realität im Netz verteilen, d.h. wie viele Funkzellen (und eine dazu korrespondierende Netzkapazität) lokal verfügbar sind, um den aktuellen Bedarf zu decken. Wir gehen jedoch davon aus, dass die Anforderungen des Szenar 2 und des Szenar 3 sich entsprechen und sich auf eine Funkzelle beziehen.

3.1.5.2 Bandbreitenanforderung

In diesem Report hat die IABG die Einschätzung, dass realistisch betrachtet der Frequenzbedarf für mobiles Breitband für Sicherheitsanwendungen bei 20 MHz im Downlink und 40 MHz im Uplink liegt.

Diese Einschätzung beruht auf einer Annahme hinsichtlich der Frequenzeffizienz von 10bps/Hz für LTE im Uplink (431 Mbps in einem 40 MHz Frequenzbereich.). Diese Ergebnisse beziehen sich auf Tests von Nokia Siemens Networks im Jahre 2007 multipliziert mit dem Faktor 4, der reflektiert, dass die LTE Version 10 gegenüber der LTE-Version 6 höher Datenübertragungsraten zu Spitzenlastzeiten ermöglicht. Diese frequenzökonomische Verbesserung mag zwar unter optimalen Bedingungen (d.h. ein einziger Nutzer in Nähe der Basisstation) erreichbar sein, allerdings ist die typische Frequenzeffizienz in den Netzen im Durchschnitt sicherlich weitaus geringer. Gemäß dem Third Generation Partnership Project (3GPP), welche den LTE Version 10 Standard entwickelt, liegt die angestrebte durchschnittliche Frequenzeffizienz bei 2

bps/Hz¹⁸. Dies würde bedeuten, dass der Frequenzbedarf um ein fünffaches höher ist als nach den IABG Einschätzungen, mit anderen Worten 200 MHz Uplink beträgt.

Die Spektraleffizienz am Rande der Zelle einer versorgten Fläche ist auf jeden Fall gering – geringste Modulation/ coding scheme option bei LTE¹⁹ ermöglichen eine aggregierte Datenrate von bis zu 750 kbps innerhalb eines 5 MHz Kanals. Dies entspricht einer Spektraleffizienz von 0,15 bps/Hz. Wie wir im weiteren der Studie zeigen werden, ist die Variabilität der Spektraleffizienz innerhalb einer versorgten Regionen ein entscheidender Faktor, der den Frequenzbedarf für Netze der öffentlichen Sicherheit bestimmt.

3.1.5.3 Unterstellter nutzungsbedingter Bandbreitenbedarf

In einigen Fällen sahen wir es als notwendig an, die Annahmen der IABG hinsichtlich der benötigten Bandbreite zu ändern, weil wir die dort unterstellte Frequenzeffizienz als nicht realisierbar ansahen. Als erwähnenswertes Beispiel sei angeführt, dass die für hochauflösende Videoübertragungen benötigte Bandbreiten unnötig und undurchführbar hoch sind. Für viele Anwendungen, wie eine Überwachung der Geschehnisse in einer Menge in Realzeit, ist eine Standardqualität sicherlich hinreichend (Hierbei sollte beachtet werden, dass unter normalen Umständen die Aufzeichnungen in höherer Auflösung sind als die üblicherweise unmittelbar übertragene Signale.). Telemedizin erfordert eine hohe Auflösung der übertragenen Bilder. Es ist jedoch keine hohe Bildwiederholungsfrequenz (Frame Rate) notwendig. Somit ist auch für diesen Fall kein Full High Definition Video mit extremer Geschwindigkeit von jeder Kamera her notwendig. Zudem sollte beachtet werden, dass bei vielen mobilen Anwendungen, die Auflösung weniger durch die verfügbare Bandbreite sondern durch andere Faktoren wie Bewegungen der Kamera (bei Handkameras) oder kleine Bildschirme beschränkt ist.

3.2 Die angewandte Methode zur Schätzung des Frequenzbedarfs

Unsere Frequenzbedarfseinschätzung beruht auf einer Berechnung für verschiedene von Seiten der IABG identifizierten Szenarien. Diese wurden ergänzt um weitere Fallstudien, die wir anderweitig wahrgenommen haben. Hierbei wurde die Leistungsfähigkeit der Technologien unterstellt, von denen wir ausgehen, dass sie für zukünftige Sicherheitsnetze verwendet werden. Einige Annahmen hinsichtlich der Kommunikationserfordernisse wurde in Nachfrage nach Datenverkehr und

¹⁸ Siehe "Proposal for Candidate Radio Interface Technologies for IMT- Advanced Based on LTE Release 10 and Beyond (LTE- Advanced), presentation by Takehiro Nakamura (3GPP TSG- RAN Chairman), Oktober 2009 (www.3gpp.org/IMG/pdf/2009_10_3gpp_IMT.pdf).

¹⁹ Gemäß 3GPP, TS36.213, V9.2.0, Table 7.2.3-1, Juni 2010.

Frequenznachfragen transformiert. Im ersten Schritt, haben wir versucht einen ganzheitlichen Ansatz mit Blick auf den Bedarf von drahtlosen Kommunikationsdiensten des öffentlichen Sektors zu verfolgen, um auf diese Weise die erforderlichen Hauptelemente zu identifizieren.

3.2.1 Primäre Erfordernisse der drahtlosen Kommunikationsnetze für öffentliche Sicherheitsaufgaben

Die drahtlose Kommunikation für öffentliche Sicherheitsdienste unterscheidet sich merklich von kommerziellen Netzen, weil die Verkehrsnachfrage bei weitem schwieriger vorhersehbar ist. Dies gilt sowohl geographisch als auch in Bezug auf den Zeitpunkt. Großschadenslagen wie Flugzeugunglücke oder terroristische Anschläge sind Gott sei Dank extrem selten, allerdings können sie jederzeit nahezu überall auftreten. Wenn derartige Ereignisse auftreten, ist der Kommunikationsbedarf erheblich und konzentriert sich auf einen relativ kleinen geographischen Bereich (typischerweise einige hundert Quadratmeter oder gar weniger). Es wäre jedoch praktisch nicht ausführbar, sowohl aus ökonomischen als auch technischen Gründen, ein konventionelles drahtloses Netz auf Basis derart möglicher Eventualitäten zu gestalten, da 99 % der dann geschaffenen Kapazität nicht genutzt würde. Vielmehr ist es weitaus effektiver das Netz so zu gestalten, dass eine Grundversorgung für drahtlose Verbindungen überall geschaffen wird, wobei im Bedarfsfall ad hoc zusätzliche Kapazität generiert werden kann, um den Bedarf unvorhersehbarer Ereignisse abzudecken.

Mittels eines mehrschichtiger Ansatz kann dies umgesetzt werden. Hierbei werden komplementäre Frequenzbänder und Technologien genutzt, um eine Versorgung in der Fläche, Kapazität und Zuverlässigkeit zu gewährleisten. Als Ausgangspunkt können wir ein Reihe essentieller Erfordernisse an ein drahtloses Breitbandnetz definieren, nämlich:

- Nationale Abdeckung mit hinreichender Kapazität für im Regelfall auftretenden Kommunikationserfordernisse im alltäglichen Betrieb (entspricht dem Szenar A der IABG)
- Fähigkeit schnell eine weitergehende Abdeckung in schwierigen Frequenznutzungsumgebungen (wie Tunnel, Keller, etc.)
- Fähigkeit des Netzes innerhalb eines wo auch immer gelegenen lokalen Gebiets die verfügbare Kapazität zu erhöhen (drinnen und draußen), um dem vorhersehbaren Kommunikationsbedarf bei Großschadenslagen zu genügen (IABG Szenar C)

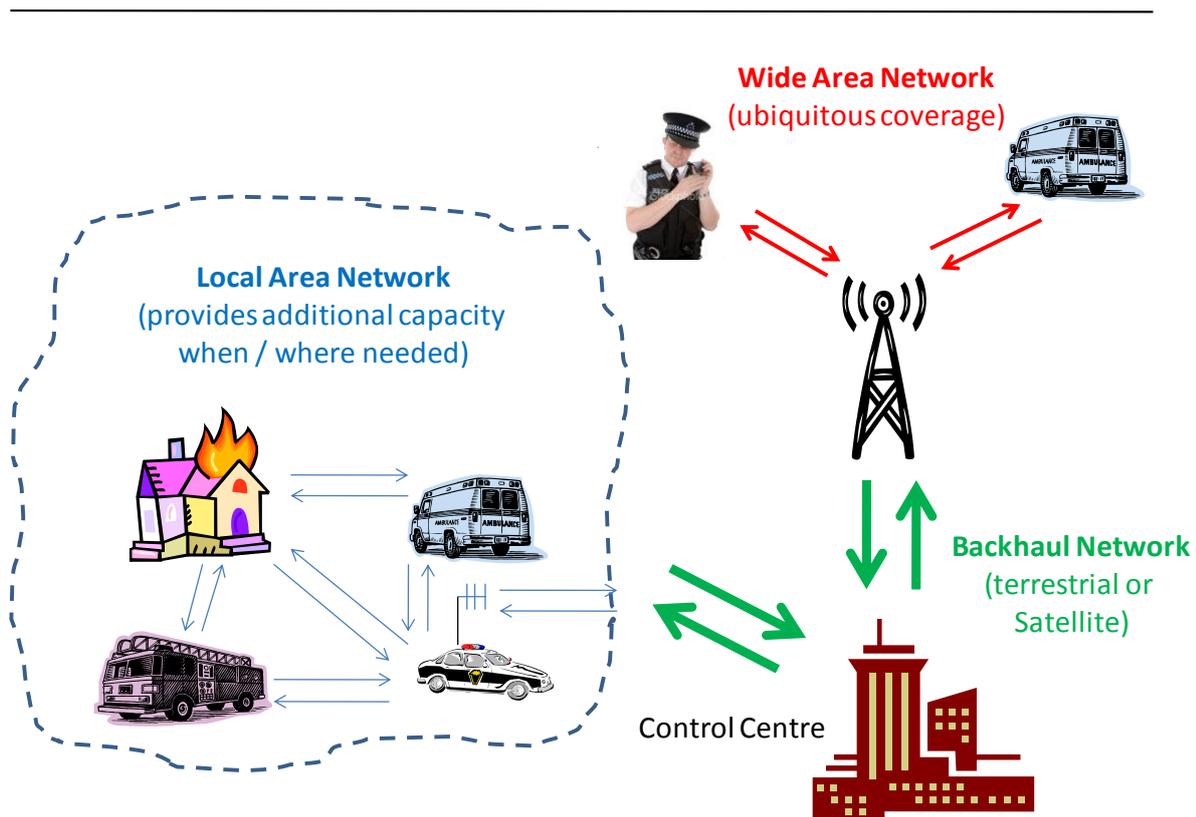
Neben der Eigenschaft möglichst schnell für ungeplante Ereignisse gerüstet zu sein, sollte das Netz auch in der Lage sein, für gelegentlich auftretenden

Großveranstaltungen den erhöhten Kapazitätsbedarf abzudecken (IABG Szenar B). Allerdings sind derartige Großveranstaltungen frühzeitig bekannt, sodass eine erforderliche zusätzliche Infrastruktur im Vorfeld geplant und dann umgesetzt werden kann. Derartige Veranstaltungen stellen somit weitaus geringere Anforderungen an das Frequenzmanagement.

3.2.2 Mehrschichtiger Ansatz zur Netzabdeckung und Kapazitätsgenerierung

Um eine optimale Netzabdeckung und Kapazität zu minimalen Kosten zu gewährleisten ist ein mehrschichtiger Ansatz für die Netzplanung erforderlich. Drei Schichten sind essentiell: der lokale Layer, der nationale Layer und der Backhaul-Layer. Dies wird in der Abbildung 3-1 illustriert.

Abbildung 3-1: Mehrschichtiger Ansatz zur Netzkonfiguration



Der Backhaul-Layer verbindet die Basisstationen mit dem Kernnetz und besteht typischerweise aus einer Glasfaser- oder einer Richtfunkverbindung (in einigen entlegenen Regionen mag eine Satellitenverbindung erforderlich sein). Das weitflächige Netz ist auf den täglichen Bedarf ausgerichtet (IABG Szenar A) und sollte dazu in der

Lage sein, den üblichen Routineverkehr unabhängig davon wo dieser auftritt, zu bewältigen. Lokale Netzwerke sollten so konfiguriert sein, dass damit entweder geplant (für den Bedarf von im Voraus bekannten Großveranstaltungen) oder ad hoc für Großschadensfälle dem erhöhten Bedarf für drahtlose Kommunikation genügt werden kann. Diese können auch im Fall eines signifikant erhöhten Verkehrs vor Ort im normalen Betriebsszenario genutzt werden.

Der Vorteil des mehrschichtigen Ansatzes besteht darin, dass das weitflächige Netz im allgemeinen nur unter normalen Betriebsbedingungen genutzt wird; jedoch, wenn ein Großereignis stattfindet, kann ein lokales Netz mit Zugangspunkten in Fahrzeugen schnell aufgebaut werden, sowohl um eine Backhaul-Verbindung zur Leitzentrale als auch einen Netzknoten (Hub) für lokale Kommunikation vor Ort aufzubauen.

Eine der Hauptschwierigkeiten besteht darin, Backhaul für lokale, ad hoc errichtete Netze insbesondere in entlegenen Orten zu gewährleisten. Dieses Problem wird im nachfolgenden Abschnitt 3.2.3 diskutiert.

3.2.3 Wahl der Technologie

An dieser Stelle ist noch nicht genau vorhersehbar, welcher technologischer Standard in Zukunft für drahtlose Kommunikationsnetze für Sicherheitsdienste zum Einsatz kommen wird; allerdings zeichnet sich im Kommunikationssektor eindeutig eine Migration hin zu OFDM basierten Technologien wie UMTS Long Term Evolution (LTE) und WiMAX für Mobilfunkdienste in der Fläche ab. Diese zeichnen sich durch eine erhöhte Elastizität in schwierigen Funkumgebungen aus und weisen eine erhöhte Frequenzeffizienz im Vergleich zu den früheren Technologien wie TDMA und CDMA auf. Daher sind wir in unseren Abschätzungen des Frequenzbedarf davon ausgegangen, dass ein derartiger Technologietyp im großflächigen Layer verwendet wird. Diese Technologien können auch für den lokalen Layer durch die Verwendung von Relays oder temporären Basisstationen genutzt werden. Alternativ können für letzteren allerdings auch Technologien der etablierten 802.11 Serie der WLAN Standards verwendet werden, welche gegenwärtig bereits für Anwendungen für öffentliche Sicherheitsdienste in einigen Bereichen der Netze (insbesondere in den Vereinigten Staaten) genutzt werden.

3.3 Zusammenfassung der Ergebnisse zur Frequenznachfrage

Zusammenfassend wurden die folgenden minimalen Frequenzbedarfe für mobile Breitbandkommunikation für öffentliche Sicherheitsdienste bei Zugrundelegung der Nutzerbedarfe und der technologischen Entwicklungen für das nächste Jahrzehnt identifiziert.

3.3.1 Frequenzen für die großflächige mobile Breitbandkommunikation

Unter der Annahme, dass eine von der ITU als IMT-Advanced Technologies definierte Technologie wie LTE-Advanced oder Mobile-WiMAX zum Netzausbau verwendet wird, wurde der folgender minimaler Frequenzbedarf ermittelt:

- **Uplink: 15 MHz**
- **Downlink: 10 MHz**

Um ein Optimum an Netzabdeckung zu erreichen und die Zahl der erforderlichen Zellen in einem überschaubaren Rahmen zu halten, sollten Frequenzen unterhalb von 1 GHz genutzt werden. Der dominante Treiber für den Frequenzbedarf in weitflächigen Netzen ist die Nutzung am Rande einer Funkzelle. Die Anforderungen an Frequenzen wird nicht substantiell durch zusätzliche andere Ereignisse an anderen Orten in der Funkzelle beeinflusst, weil die Spektraleffizienz hin zur Basisstation deutlich höher ist. Der Ausbau eines dichteren Netzes würde die minimale Effizienz am Rand einer Funkzelle erhöhen und könnte damit den Frequenzbedarf auf 10 MHz Uplink und 5 MHz Downlink reduzieren. Dies würde den Betrieb von mehr Funkzellen bedeuten und würde damit die Nutzung des weitflächigen Netzes für Backhaul-Verkehr von Großereignissen limitieren. Von daher empfehlen wir eine derartige Option nicht.

3.3.2 Frequenzen für die lokale Breitbandkommunikation

Aufgrund unserer Analyse kommen wir zu dem Schluss, dass Funkfrequenzen in dem Frequenzband 5150 - 5250 MHz, welches bereits derzeit für öffentliche Sicherheitsaufgaben genutzt wird, zusammen mit dem Frequenzband 1452 - 1479 MHz am geeignetsten ist, um den Kapazitätsbedarf bei „Hot Spots“ in Zusammenhang mit Großereignissen und Katastrophen abzudecken. Verfügbare 802.11 Technologie könnte in dem Frequenzband 5150 - 5250 MHz eingesetzt werden. Hierbei könnte der höhere Leistungspegel, welcher für öffentliche Sicherheitsdienst erlaubt werden sollte, zum Vorteil genutzt werden. In einigen Fällen kann es notwendig sein, multiple Zugangspunkte in einer vermaschten Konfiguration zu schaffen um die Netzabdeckung in diesem Band zu optimieren.

Es mag Fälle geben (beispielsweise sofern eine Netzabdeckung innerhalb unzugänglicher Gebäude erforderlich ist, und wo eine erhebliche Dämpfung durch andere Funksignale auftritt), in denen die Nutzung von Frequenzen in niedrigen Frequenzlagen sinnvoll ist. Dies kann durch die Nutzung des Frequenzbandes 1452 - 1479,5 MHz erreicht werden, oder alternativ durch die Nutzung eines mobilen Verstärkers im weitflächigen LTE Netz, oder alternativ durch die Verwendung von 802.11 Technologie in einem nieder gelegenen Frequenzband (d.h. die „White Spaces“

in dem UHF TV Frequenzband. Die letztere Alternative kann jedoch signifikante Kosten für Endgeräte implizieren.

Obwohl das Frequenzband 5150 - 5250 MHz mit anderen kommerziellen WLAN Systemen gleichzeitig genutzt wird, ist das Auftreten von Interferenzen für PPDR-Nutzer eher unwahrscheinlich, da diese Anwendungen auf geringer Übertragungsstärke und für die Nutzung innerhalb von Gebäuden beschränkt sind. Allerdings besteht grundsätzlich immer das Nah/Fern Problem, wenn der Standort der WLAN-Nutzung mit niedriger Strahlungsleistung näher ist als die PPDR-Antenne mit hoher Strahlungsleistung.

Die Nutzung des Frequenzbandes 4940 - 4990 MHz stellt eine Alternative zu dem Frequenzband 5150 - 5250 MHz dar; unglücklicherweise wird dieses Frequenzband gerade vom Militär und für Radioastronomie-Funkdienste genutzt.

Die Abdeckungsbeschränkungen im Frequenzbereich 5150 - 5250 MHz haben zur Folge, dass eine Vielzahl von Zugangspunkten erforderlich ist, um eine zuverlässige Netzabdeckung bei Großveranstaltungen zu haben. Zugang zu Frequenzbänder in niedrigeren Lagen wie 1452 - 1479 MHz sind besser geeignet, um eine Netzverfügbarkeit bei Großveranstaltungen zu gewährleisten.

3.3.3 Frequenzen für Boden-Luft Kommunikation

Wir schätzen, dass ein **Minimum von 15 MHz** (ungepaart) europaweit harmonisiert im Frequenzbereich 1 - 5 GHz erforderlich ist, um Boden-Luft Kommunikation zu ermöglichen. Zusätzlich werden potentiell **weitere 7,5 MHz** erforderlich, um Deutschland spezifischen Anforderungen zu genügen.

3.3.4 Frequenzen für Backhaul

Der Backhaul-Bedarf für weitflächige Netze kann weitgehend durch bestehende Mikrowellen-Richtfunk-Bänder gedeckt werden. Von daher wird es nicht als erforderlich angesehen weitere spezifische Frequenzbänder für öffentliche Sicherheitsaufgaben zur Verfügung zu stellen. Für Richtfunk nutzbare Frequenzbänder in höheren Lage wie 33 GHz oder 58 GHz können auch zur Unterstützung fester Installationen wie CCTV Überwachung anstelle von knappen Mobilfunkfrequenzen genutzt werden.

4 Folgenabschätzung der verschiedenen Optionen auf Deutschland

In diesem Kapitel werden die Hauptaspekte der Folgenabschätzung der verschiedenen Optionen dargestellt. *Impact Assessment (IA)* von verschiedenen Politikoptionen ist ein Instrument, um die Kosten und den Nutzen von vorgeschlagenen Politikmaßnahmen abzuschätzen.

Die Analyse entspricht der Vorfahrensweise, die von der Europäische Kommission in den aktualisierten Richtlinien (*Impact Assessment Guidelines* vom 15. Januar 2009 (SEC(2009) 92)) empfohlen wird. Die vollständige Analyse findet sich im Vollständigen Bericht. Die hier vorliegende Zusammenfassung beinhaltet lediglich die Hauptaspekte, die für den Nicht-Spezialisten dieser Thematik von Interesse sind: die Optionen (Abschnitt 4.1), der Vergleich der Folgenabschätzungen der verschiedenen Optionen (Abschnitt 4.2), und die Schlussfolgerungen, die sich aus diesen Vergleichen ergeben (Abschnitt 4.3).

4.1 Politikoptionen

Aufgrund der Wesensart des Verfahrens der Folgenabschätzung ist es notwendig mit Blick auf die Zahl der Optionen, eine Abstraktionsebene zu wählen, sodass die Analyse beherrschbar ist. Dies bedeutet typischerweise, dass zwischen drei und fünf Optionen bewertet werden.

Diejenigen Politikoptionen, die wir für die Folgenabschätzungen ausgewählt haben, sind anschließend angeführt und werden dann detaillierter diskutiert.

- **Option 1: Keine Veränderung:** Eine Folgenabschätzung muss potentielle Maßnahmen immer im Vergleich dazu bewerten, dass keine Veränderung vorgenommen wird. Diese Option unterstellt, dass keine zusätzlichen Frequenzen für PPDR-Anwendungen zur Verfügung gestellt werden.
- **Option 2: „Lass tausend Blumen blühen“:** Bei dieser Option wird angenommen, dass die europäischen Länder Frequenzen gemäß den individuellen Bedarfen zuteilen und keine weitere Harmonisierung auf europäischer oder internationaler Ebene erfolgt. Insoweit stellt dies eine alternativen Vergleichslinie dar, die ein höheres Maß an Aktivität von Seiten der Europäischen Ländern unterstellt.
- **Option 3: Harmonisierte Lösung unterhalb von 1 GHz:** Zusätzliche Frequenzen unterhalb von 1 GHz werden in einem hinreichenden Umfang zur ausschließlichen Nutzung, auf europäischer Ebene harmonisiert, für PPDR-Anwendungen zur Verfügung gestellt.

- **Option 4: Harmonisierte Lösung unterhalb von 1 GHz und oberhalb von 1 GHz:** Zusätzliche Frequenzen mit exklusivem Nutzungsrecht, harmonisiert auf europäischer Ebene, werden für PPDR-Anwendungen zur Verfügung gestellt. Frequenzen oberhalb von 1 GHz werden, sofern realisierbar zur Kapazitätserhöhung verwendet, um auf diese Weise den Frequenzbedarf unterhalb von 1 GHz gering zu halten.

Tabelle 4-1: Optionen im Rahmen der Folgenabschätzung

Optionen für die Folgenabschätzung
<p>Option 1: Keine Veränderung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Keine zusätzlichen Frequenzzuteilungen für PPDR auf europäischer Ebene • Keine zusätzlichen Frequenzzuteilungen für PPDR auf nationaler Ebene • Weiterhin die Nutzung von Frequenzen im Bereich 380-400 MHz für TETRA/TETRAPOL
<p>Option 2: "Lass tausend Blumen blühen"</p> <ul style="list-style-type: none"> • Keine zusätzlichen Frequenzzuteilungen für PPDR auf europäischer Ebene • Länder in Europa weisen zusätzliche Frequenzen in für PPDR-Anwendungen in hinreichendem Umfang für die individuellen nationalen Bedürfnisse zu • Weiterhin Nutzung von Frequenzen im Bereich 380-400 MHz für TETRA/TETRAPOL
<p>Option 3: Harmonisierte Lösung für Frequenzbänder bzw. Sende-/Empfangsbereiche unterhalb von 1 GHz</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nationale Ausweitung harmonisierter Frequenzbänder in den festgelegten Sendebereichen • Weiterhin Nutzung von Frequenzen im Bereich 380-400 MHz für TETRA/TETRAPOL
<p>Option 4: Harmonisierte Lösungen in nur einem Band oder in mehreren Bändern bzw. für Geräte mit nur einer Schaltbandbreite oder mehreren Schaltbandbreiten im Spektrum unterhalb von 1 GHz</p> <ul style="list-style-type: none"> • Frequenzbänder in niedrigeren Lage zur großflächigen Versorgung sowie zur Versorgung von Gebäuden ("Inhaus-Abdeckung") • Frequenzbänder in höheren Lagen, um die Kapazitätserfordernisse von Spitzenlasten und Hot Spots abzudecken • Die Harmonisierungsmaßnahmen sollten sich an den technischen Möglichkeiten der Geräteschaltbandbreiten orientieren • Weiterhin die Nutzung von Frequenzen im Bereich 380-400 MHz (nicht notwendigerweise unmittelbar angrenzend an neue Frequenzbänder) für TETRA/TETRAPOL

Mit Blick auf alle Optionen wird unterstellt, dass kommerzielle Netze dort wo möglich genutzt werden (konsistent zu den Nutzungsanforderungen hinsichtlich der Kapazität, Zuverlässigkeit und Robustheit). Ebenso wird eine gemeinsame Nutzung von Frequenzbändern, soweit dies möglich ist, bei allen Optionen unterstellt.

Die Wahl der Option steht in unmittelbarem Zusammenhang zu den Vergleichen, die wir vornehmen. Es ist sinnvoll in die Option 1, Option 2 und Option 3 zu unterscheiden, um die Opportunitätskosten für den Fall auszuweisen, dass keine modernen PPDR Anwendungen genutzt werden, unabhängig von einer Harmonisierung auf europäischer Ebene. Die Unterscheidung in Option 3 und Option 4 dient dann primär dazu, die Unterschiede aufzuzeigen, die sich ergeben sofern einerseits bedingungslos mit brachialer Gewalt eine Harmonisierungslösung durchgesetzt wird und andererseits wenn ein nuancierter Ansatz verfolgt wird.

4.2 Analyse der Implikationen

In diesem Abschnitt werden die Folgewirkungen, positive als auch die negative Implikationen, der Optionen 1 bis 4 auf die Betroffenen abgeschätzt. In Abschnitt 4.2.1 werden die primären Implikationen dargestellt und die Parteien erfasst, die positiv oder negativ betroffen sind. Abschnitt 4.2.2 präsentiert die primären Auswirkungen, qualitativ und wenn möglich auch quantitativ.

4.2.1 Identifikation der ökonomischen und sozialen Auswirkungen

Die bedeutendsten Auswirkungen der Optionen 2 bis 4 im Vergleich zu Option 1 (die „keine Veränderung“ Option) sind:

- Eine Verbesserung der Effektivität der PPDR-Leistungsfähigkeit landesweit, mit einer zu erwartenden Verringerung von Menschen- und Eigentumsverlusten, geringerem Risiko für PPDR-Einsatzkräfte, und einhergehend mit einer Verbesserung der sozialen Zusammenhalts bei Nachwirkungen von größeren Katastrophen.
- Opportunitätskosten, da die für PPDR exklusiv zugeteilten Frequenzen nicht für anderweitige sinnvolle Anwendungen genutzt werden können.
- Refarming Kosten in Bezug auf die Anwendungen, für die die Frequenzen bisher genutzt wurden, wobei davon ausgegangen wird, dass diese Anwendungen weiterhin anderweitig benötigt werden.
- Erhöhte Betriebskosten für PPDR-Netze.

Im Rahmen einer Abschätzung der Folgewirkung sind normalerweise auch die administrativen Kosten einer Politikmaßnahme mit ins Kalkül zu ziehen. Im vorliegenden Fall haben wir den Eindruck, dass diese Kosten durch eine gewählte Option nicht sonderlich beeinflusst werden. PPDR-Dienste werden in allen Fällen genutzt, und auch die Funkfrequenzen, ob dies nun für PPDR oder anderweitig genutzt werden, bedürfen bei allen Optionen eines entsprechenden Frequenzmanagements.

Die landesweite Verbesserung der PPDR-Leistungsfähigkeit kommt allen zugute. Geht man davon aus, dass ein besser Schutz nicht zu höheren Kosten gewährleistet wird, generiert dies zum Vorteil aller, ob es sich dabei um betroffene Opfer handelt oder nicht. Auch die PPDR-Einsatzkräfte profitieren von der höheren persönlichen Sicherheit.

Es ist am einfachsten davon auszugehen, dass diese Vorteile unabhängig von den Kosten sind, die für den Aufbau und den Betrieb der Netze und Realisierung der Anwendungen anfallen. Diese Aufbau- und Betriebskosten werden erheblich durch die Art der genutzten Frequenzen beeinflusst; mit anderen Worten, erhebliche Kostendifferenzen entstehen abhängig davon, ob Frequenzen im Bereich 800 MHz oder 5150 GHz zugeteilt wurden. Gleichzeitig, bedingen geringe Unterschiede in der Frequenzlage des Bandes nur geringe Kostenunterschiede. Netzabdeckungskosten, im Bereich 700 MHz unterscheiden sich nur unwesentlich von den Netzabdeckungskosten im Bereich 800 MHz, sodass derartige Unterschiede für die Art der Analyse, die hier vorgenommen wird, vernachlässigt werden können. Von daher können wir an dieser Stelle annehmen, dass die *Vorteile der Ermöglichung neuer hochbitratigen Anwendungen in hohem Masse unabhängig davon sind, welcher bisherige Nutzer, die Frequenzen für PPDR-Anwendungen frei räumen muss.*

Opportunitätskosten entstehen denjenigen Nutzern, die anderenfalls einen Dienst genutzt hätten, der im Fall von Option 2 oder 4 nicht mehr verfügbar ist oder aber zu höheren Kosten angeboten wird. Diese Kosten sind eine Funktion der wertvollsten alternativen Nutzung der Frequenzen, und nicht etwa eine Funktion der gegenwärtigen Nutzung des ausgewählten Frequenzbandes.

Die Kosten des Refarming hingegen beziehen sich ausschließlich auf die gegenwärtige Nutzung. Diese Kosten umfassen die „harten“ Kosten für eine neues Equipment, welches gekauft werden muss, und für die Beschäftigten, die die Geräte aufstellen müssen, inklusive Ausfallkosten während des Aufbaus. Kosten entstehen auch in Form sogenannter „Soft“-Kosten, beispielsweise für eine Umschulung des Personals und des administrativen Overheads. Diese Kosten sollten netto ohne mögliche Zusatznutzen ins Kalkül gezogen werden – in einigen Szenarien mag eine Verlagerung bzw. Modernisierung sowieso überfällig gewesen sein, sodass der Einsatz neuer Technologie auch vorteilhaft für den Anwender sein kann.

4.2.2 Qualitative und quantitative Analyse signifikanter Auswirkungen

In diesem Abschnitt werden Kosten und Nutzen in Verbindung mit einer der vier Optionen, die in Abschnitt 4.1 identifiziert wurden, detaillierter dargestellt.

Beginnend mit Abschnitt 4.2.2.1 bis Abschnitt 4.2.2.4 präsentieren wir jeweils einen Vergleich der Optionen 2, 3 und 4 mit Option 1. Abschnitt 4.2.2.1 stellt die Vorteile der

neuen Technologie dar, die es ermöglicht, hoch-bitratige Daten- und Videodienste zu nutzen, ohne die Kosten des Ausbaus und des Betriebs zu berücksichtigen.

In Abschnitt 4.2.2.2 erfolgt eine Prüfung der Opportunitätskosten, die aufgrund der Nutzung durch PPDR anfallen, und die eine anderweitige Nutzung durch als so bezeichnete hochwertige Dienste. Abschnitt 4.2.2.3 diskutiert auf allgemeiner Ebene die Refarming-Kosten, welche durch eine Reallokation von bestehenden Anwendungen resultieren. Abschnitt 4.2.2.4 betrachtet die inkrementellen Betriebskosten eines breitbandigen PPDR-Netzes. Abschnitt 4.2.2.5 widmet sich den Kosten und Nutzen einer Harmonisierung, und behandelt somit den relativen Vorzug der Optionen 3 und 4 gegenüber der Option 2 (bei der zwar national genügend Frequenzen für PPDR zugeteilt werden aber nicht in international harmonisierter Weise).

4.2.2.1 Verbesserte PPDR-Arrangements: Rettung von Menschenleben und Eigentumsschutz

Der Hauptgrund für die Nutzung einer verbesserten PPDR liegt natürlich darin, dass auf diese Weise die Wirksamkeit zur Rettung von Menschenleben und Eigentumsschutz sowohl durch alltägliche Bedrohungen als auch Katastrophen erhöht wird. Die Bewertung von verhinderten Vermögensverlusten ist allerdings weitaus einfacher zu bewerten als gerettete Menschenleben.

4.2.2.1.1 Mechanismus

Als unmittelbarer Vorteil sind der Wert der neuen Anwendungen zu nennen, die nunmehr nutzbar gemacht werden. Viele dieser Anwendungen wurden in der IABG-Studie²⁰ identifiziert, die für das Ministerium des Innern (BMI) in Deutschland durchgeführt wurde.

Die Nutzung von Kameras auf Helmen, Fahrzeugen und Luftdrohen insbesondere für gefährliche Einsätze sind in diesem Zusammenhang bemerkenswerte Beispiele für solche Anwendungen. Die verbesserte Möglichkeit komplexe geographische Informationen wie Gebäudepläne unmittelbar abzurufen können für Feuerwehrleute einen unschätzbaren Wert haben. Die verbesserte Zusammenarbeit bei Einsätzen nahe an den Einsatzgebieten kann weiteren Nutzen schaffen. Dies ist jedoch nur in den Optionen 3 und 4 realisierbar, und auch nur dann, wenn die technische Standardisierung und Anwendungsstandardisierung hinreichend ist, um eine wirkliche Interoperabilität herzustellen. Es sei darauf hingewiesen, dass TETRA bis heute dieses Level noch nicht wirklich erreicht hat.

²⁰ Fritsche, Wolfgang/Mayer, Karl (20 Mai 2010): Studie zum mittel und langfristigen Kapazitätsbedarf der BOS in der drahtlosen Kommunikation, IABG.

Die Möglichkeit, eine PPDR-Ausrüstung bzw. Einheit auch an andere europäische Länder auszuleihen, stellt einen weiteren Nutzen dar. Dieser Nutzungsvorteil ist jedoch erneut vom Erreichen einer vollständigen Interoperabilität abhängig. Eine Umsetzung des selbigen durch technische Standardisierung (diese Thematik geht in der Konkretisierung über die hier vorliegende Studie hinaus) sollte erfolgen, wenn die Entscheidung für Option 3 oder 4 fällt.

Alle diese Nutzenmechanismen haben eine unterschiedlich bedeutende Rolle abhängig davon, ob alltägliche Anwendungen, geplante Nutzungen zu Spitzenlastzeiten wie Sportveranstaltungen oder Konzert, oder Naturkatastrophen betrachtet werden.

Die nächsten Abschnitte betrachten diese drei Fälle, wobei diese auf vorangegangenen Arbeiten im Rahmen der IABG-Studie für das deutsche Ministerium des Innern (BMI) aufbauen.

4.2.2.1.2 Alltäglich stattfindende Einsätze

Alltägliche PPDR-Nutzen betreffen routinemäßig stattfindende Einsätze wie Autounfälle, Verkehrsstaus, Brände, medizinische Notfalldienste und polizeiliche Ermittlung bzw. Einsätze.

Autounfälle geschehen täglich in Deutschland. Jährlich sind ungefähr 336.000 auf Deutschlands Straßen zu verzeichnen. 34.000 von diesen bedingen jährlich ernsthafte Verletzungen, dabei sind pro Jahr annähernd 5.360 Verkehrstote zu verzeichnen. Es ist davon auszugehen, dass in den Hauptverkehrszeiten die Polizei mit ungefähr 70 Verkehrsfällen gleichzeitig konfrontiert ist.

Verbrechen sind ebenso alltäglich anzutreffende Ereignisse in Deutschland. Im Jahre 2008 gab es in Deutschland 6,1 Millionen verübte Straftaten. Diese entspricht 16.712 Fälle pro Tag. Bezogen auf die Hauptverkehrszeiten sind von der Polizei 2.500 Einsätze gleichzeitig zur Verbrechensbekämpfung erforderlich.

Hochgerechnet aus den Erfahrungen in Großbritannien finden ungefähr 2.300 Ambulanzeinsätze während der Hauptverkehrszeiten gleichzeitig in Deutschland statt, und gleichzeitig auch 285 Feuerwehreinsätze deutschlandweit.

Angesichts der erheblichen Anzahl von Vorfällen, können auch relativ geringe Verringerungen der Fallzahlen erhebliche Nutzensgewinne bewirken. Eine jüngst veröffentlichte Studie²¹ erfasst die Kosten von Gewaltverbrechen in den Vereinigten Staaten (diese beinhalten die Kosten der Opfer, Kosten der Täter, Kosten des Justizapparates, und die vielleicht erstaunlich hohen Beträge, die andere bereit sind zu

²¹ "Murder by the Numbers", Matt DeLisi et al., Iowa State University, 2010.

zahlen (Versicherung, Vermeidung), um zu verhindern, selbst Opfer zu werden). Sofern eine besser Technologie einen besseren Gesetzesvollzug bewirkt, der eine Verhinderung einer Reihe von Straftaten bewirkt, die andernfalls erfolgen, so sind die damit verbundenen Einsparungen in Gänze relevant, wenn die Kosten und Nutzen der Frequenzallokation für PPDR Breitband zu bewerten sind.

Tabelle 4-2: Geschätzte Kosten pro Straftat (in US Dollar, 2008)

Offense	Victim costs	Justice costs	Offender productivity	Subtotal	WTP	Total
Murder	4,712,769	307,355	143,432	5,163,556	12,089,100	17,252,656
Rape	138,310	8503	4610	151,423	297,109	448,532
Armed robbery	29,711	15,060	4098	48,869	286,864	335,733
Aggravated assault	37,907	13,831	6557	58,295	87,084	145,379
Burglary	2049	2356	1025	5430	35,858	41,288

Quelle: "Murder by the Numbers", Matt DeLisi et al., Iowa State University, 2010

Im Lichte dieser relativ hohen Kosten pro Straftat, bedingt die Verhinderung auch einer geringen Zahl von Verbrechen einen substantiellen Wohlfahrtsgewinn für die Gesellschaft als Ganzes.

Eine ähnliche Behauptung gilt mit Blick auf eine schnellere und effektive Reaktion im Brandfall, bei medizinischen Notfalleinsätzen und so weiter.

4.2.2.1.3 Konzerte und Sportereignisse

Es besteht natürlich die Tendenz, Konzerte und Sportereignisse mehr oder weniger als spezielle Ereignisse des gewöhnlichen PPDR-Betriebsablaufs anzusehen, zumal diese Ereignisse im allgemeinen im Vorfeld bekannt und somit planbar sind. Die Love Parade am 24. Juni 2010 in Duisburg mag das Gegenteil suggerieren. Die Panik einer eingeschlossenen Menschenmenge in einem Tunnel, hatte 21 Todesopfer und zahllose Verletzte zur Folge.²² Die Verantwortlichen wurden bisher nicht festgestellt, und das Projektteam hat auch nicht die Absicht sich an dieser Diskussion zu beteiligen. Allerdings wurde in Presseberichten behauptet, dass Kommunikationsprobleme und Fehler von Seiten der PPDR-Einsatzkräfte möglicherweise zu dem beobachteten

²² Siehe zum Beispiel, Der Spiegel, "Analysis of the Love Parade Tragedy: The Facts Behind the Duisburg Disaster, 28 July 2010, at <http://www.spiegel.de/international/germany/0,1518,708876,00.html>.

Problem beigetragen haben.²³ Sollte sich dies bewahrheiten, so würde dies klar zeigen, dass hinreichend Raum für technische Verbesserungen besteht.

Gleichzeitig sollte allerdings darauf hinweisen, dass derzeit ein Netz mit einer verbesserten Technologie, TETRA, gegenwärtig in Deutschland aufgebaut wird.

4.2.2.1.4 Katastrophen

Es gibt immer wieder die Neigung natürliche Katastrophen, oder auch durch Menschen verursachen Desaster wie Terrorakte zu vernachlässigen, insofern sie auch nicht vorhergesehen werden können. Dabei handelt es sich natürlich um einen Irrtum. Die World Bank führt in ihrer Bewertung ihrer Aktivitäten zur Katastrophenhilfe aus: “Most natural disasters are foreseeable to the extent that it is possible to predict generally where an event is likely to occur at some time in the near future (but not precisely when or its magnitude).”

Eine eher angemessene Reaktion richtet ihre Anstrengungen auf eine *Risikoabschätzung* und die *Einsatzbereitschaft*. Grob gesprochen ist der statistisch erwartete Schaden eines spezifischen Risikos das Produkt der Wahrscheinlichkeit für einen solches Unglück multipliziert mit der Schadenshöhe im Durchschnitt, die in solchen Fällen zu verzeichnen ist. Man sollte umso mehr in Vorbereitungen und Schadensminderung investieren, je höher das schadensfallspezifische Risiko ist. Von daher rechtfertigt eine Erdbebengefahr in Istanbul intensive Maßnahmen, ein ebenso wahrscheinliches Erdbeben in der Wüste, dort wo niemand lebt, erfordert keinen großen Einsatz.

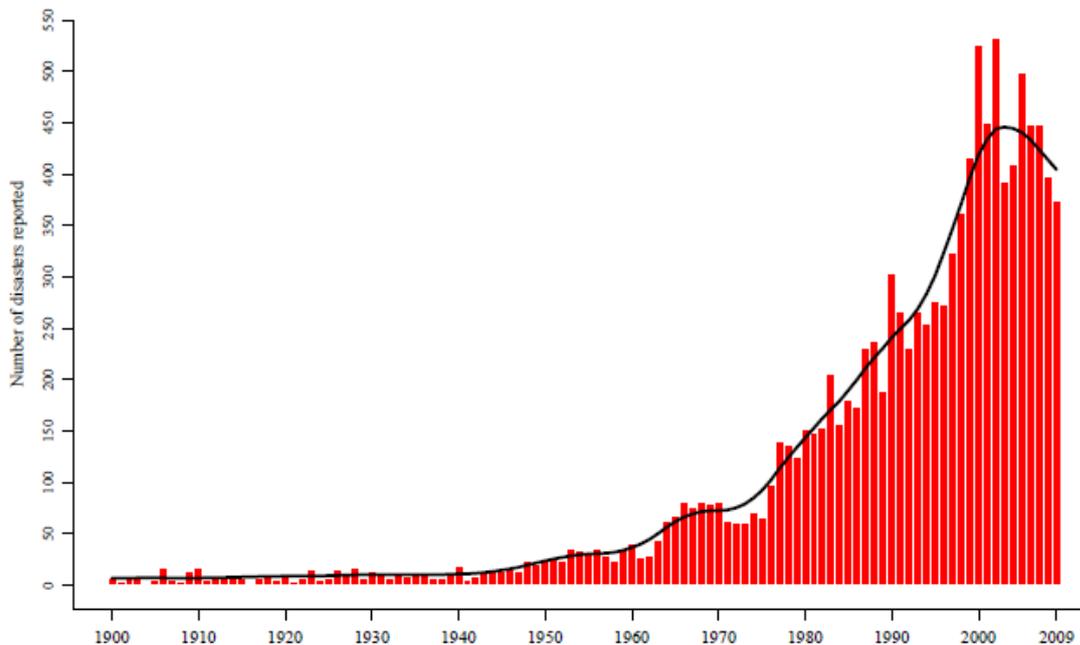
In den letzten einhundert Jahren war eine dramatische Zunahme der Zahl der verzeichneten Naturkatastrophen und in den damit verbundenen Sachbeschädigungen zu beobachten (siehe Abbildung 4-1). Ursächlich dafür mag die Erwärmung der tropischen Ozeanen im letzten Jahrhundert um 2 Grad Fahrenheit sein, welche zu einem Anstieg der wetterbedingten Katastrophen führte.²⁴ Allerdings mag es auch sein,

23 Der Spiegel, *ibid*. “Firemen and police officers on duty in Duisburg on Saturday said they had had problems with their analogue radios. Communication between officers had been difficult at best, and at times impossible. Was there a communications breakdown? Did the officers at the entrances to the tunnel not know that people were being crushed on the ramp? So far no one wants to comment on these questions. The radios ‘are in some cases so old that you can’t even get spare parts for them,’ said Andreas Nowak, a member of the police federation for the state of North Rhine-Westphalia, where Duisburg is located. Officers repeatedly get in dead spots where they are out of range and can’t be reached in emergencies. ‘Often officers take their private mobile because it’s the only way to stay in touch,’ said Nowak. But the mobile phone network collapsed on Saturday, so that wouldn’t have helped either.”

24 Siehe The New York Times, “In Weather Chaos, a Case for Global Warming”, 14 August 2010. “Seemingly disconnected, these far-flung disasters are reviving the question of whether global warming is causing more weather extremes. The collective answer of the scientific community can be boiled down to a single word: probably. ‘The climate is changing,’ said Jay Lawrimore, chief of climate analysis at the National Climatic Data Centre in Asheville, N.C. ‘Extreme events are occurring with

dass von Naturkatastrophen, die in der Vergangenheit lediglich als lokale Ereignisse gesehen wurden, heutzutage weltweit berichtet wird und diese auch aufgezeichnet werden.²⁵

Abbildung 4-1: Aufgezeichnete Naturkatastrophen 1900 - 2009



Quelle: EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database²⁶

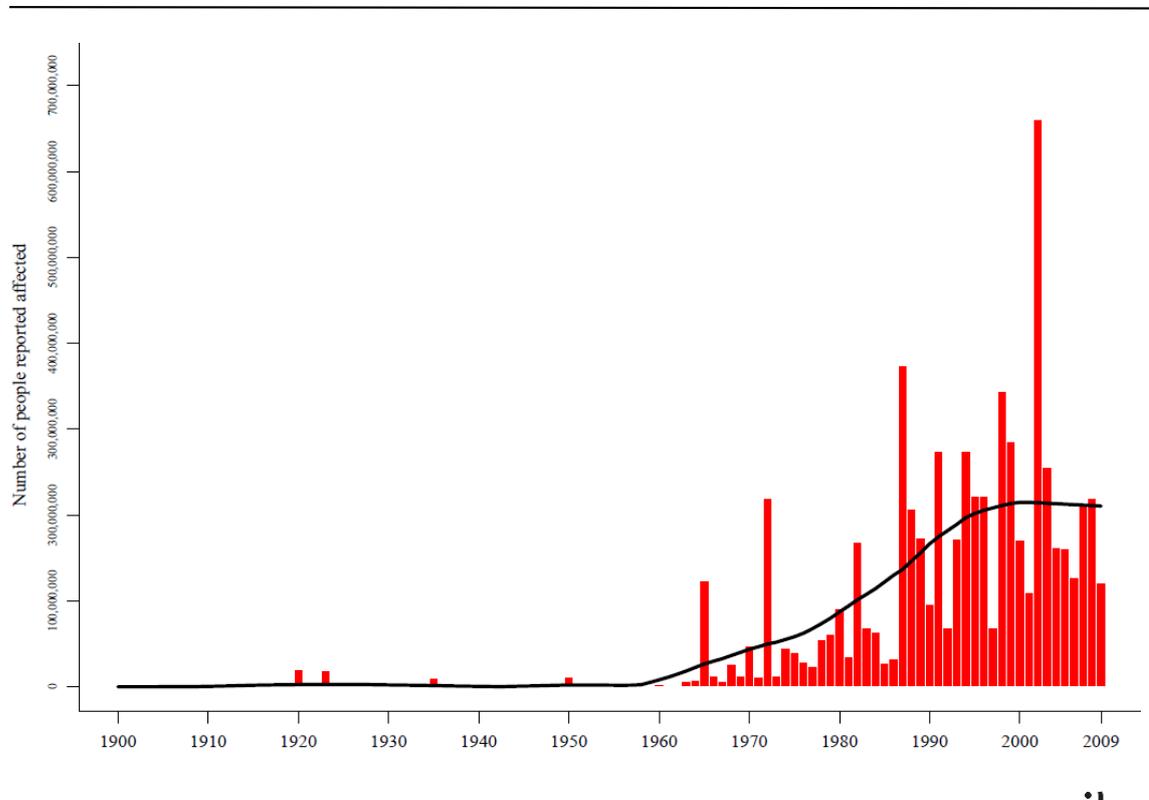
Die Zahl der Todesopfer als Folge von Naturkatastrophen hat in den letzten einhundert Jahren abgenommen. Es bleibt jedoch abzuwarten, ob dies auch mit Blick auf 2010 der Fall ist. Allerdings ist die Zahl der von Naturkatastrophen Betroffenen enorm angestiegen, ebenso wie die Sachbeschädigungen, welche aus Naturkatastrophen resultierten (siehe Abbildung 4-2 und Abbildung 4-3).

greater frequency, and in many cases with greater intensity.' He described excessive heat, in particular, as 'consistent with our understanding of how the climate responds to increasing greenhouse gases.' Theory suggests that a world warming up because of those gases will feature heavier rainstorms in summer, bigger snowstorms in winter, more intense droughts in at least some places and more record-breaking heat waves. Scientists and government reports say the statistical evidence shows that much of this is starting to happen. But the averages do not necessarily make it easier to link specific weather events, like a given flood or hurricane or heat wave, to climate change."

²⁵ World Bank, op. cit.

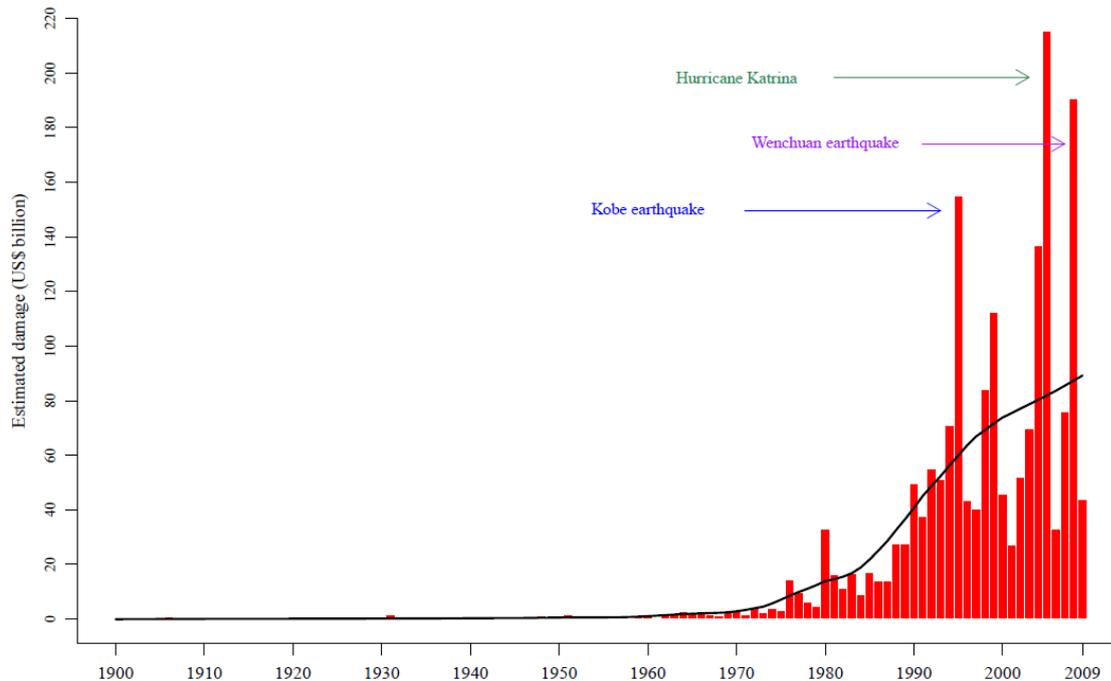
²⁶ Université Catholique de Louvain, EM-DAT, Brussels, Belgium, at www.emdat.be.

Abbildung 4-2: Anzahl der durch Naturkatastrophen betroffenen Menschen 1900 - 2009



Source: EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database

Abbildung 4-3: Geschätzter Sachschaden (US\$ Mrd) durch aufgezeichnete Naturkatastrophen 1900 - 2009



Quelle: EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database

Wir in Europa sollten dankbar dafür sein, dass wir von Naturkatastrophen weniger betroffen sind als viele andere Teile der Welt, wie man der Tabelle 4-3 entnehmen kann. In der Tat belegen Schätzungen der Weltbank, dass 95% aller Schadensfälle ursächlich in Naturkatastrophen in Entwicklungsländern auftreten. Möglicherweise ist das Naturrisiko ein Grund dafür, dass diese Länder weniger entwickelt sind, und teilweise hat die schlechte Infrastruktur zur Folge, dass die Auswirkung einer Naturkatastrophe dort in der Tendenz bei weitem größer sowohl relativ gesehen als auch in absoluten Größen im Vergleich zu entwickelten Ländern sind.

Tabelle 4-3: Durchschnittlicher jährlicher Sachschaden (\$US Mrd.) verursacht durch erfasste Naturkatastrophen 1990 - 2009

Damages (2009 US\$ bn)	Africa	Americas	Asia	Europe	Oceania	Global
Climatological 2009	0.00	1.23	0.06	0.12	1.30	2.71
<i>Avg. 2000-08</i>	<i>0.05</i>	<i>2.36</i>	<i>3.47</i>	<i>3.15</i>	<i>0.36</i>	9.39
Geophysical 2009	0.00	0.30	3.10	2.50	0.16	6.06
<i>Avg. 2000-08</i>	<i>0.73</i>	<i>0.72</i>	<i>17.90</i>	<i>0.31</i>	<i>0.00</i>	19.67
Hydrological 2009	0.15	1.33	5.23	0.97	0.19	7.88
<i>Avg. 2000-08</i>	<i>0.37</i>	<i>2.99</i>	<i>9.05</i>	<i>7.01</i>	<i>0.52</i>	19.94
Meteorological 2009	0.02	10.37	7.53	6.65	0.07	24.64
<i>Avg. 2000-08</i>	<i>0.08</i>	<i>39.93</i>	<i>10.30</i>	<i>3.01</i>	<i>0.31</i>	53.63
Total 2009	0.17	13.23	15.91	10.24	1.73	41.28
<i>Avg. 2000-08</i>	<i>1.23</i>	<i>45.99</i>	<i>40.72</i>	<i>13.49</i>	<i>1.19</i>	102.63

Quelle: CRED, Annual Disaster Statistical Review 2009

Gleichwohl ist Europa erheblichen Gefahren ausgesetzt, Deutschland stellt in diesem Zusammenhang keine Ausnahme dar. Die Webseite der Europäischen Kommission²⁷ führte eine Reihe von Naturkatastrophen und großen Unfällen in Deutschland an. Diese umfassen den Hurrikan Lothar im Jahre 1999, die Elbeflut im Jahr 2002, und den Hurrikan Kyrill im Jahr 2007. Andere Beispiele verdeutlichen, die vielfältigen Bedrohungen, denen Deutschland ausgesetzt ist:

- 2007: Sturm; 11 Tote
- August 2003: Extreme Temperaturen; 9,355 Tote
- 7. Juni 2003: Sturm; 10 Tote
- 11. August 2002: Flut; 27 Tote
- 26. Oktober 2002: Sturm; 11 Tote
- 1999: Sturm; 15 Tote
- 1998: ICE Zugunglück in Eschede; 101 Tote
- 1997: Oder Flut; Sachschaden EUR 327.4 Millionen, 2,300 evakuierte Personen
- 1988: Flugzeugzusammenstoß bei einer Flugschau in Ramstein; 70 Tote, mehr als 400 Verletzte

²⁷ Siehe http://ec.europa.eu/echo/civil_protection/civil/vademecum/de/2-de-6.html.

- 1987: Explosion eines Tankwagens mit 36,000 Liter Benzin bei Herborn; 5 Tote, 38 Verletzte
- 1986: Brand bei Sandoz in Basel; starke Verschmutzung des Rheins (Deutschland/Schweiz)
- 1962: Flutkatastrophe und Überschwemmung in Hamburg; 400 Tote, mehr als 100.000 betroffene Personen, 50 Deichbrüche

Ein weiteres erwähnenswertes Beispiel, sind die Flutkatastrophen in einer Reihe von europäischen Ländern, einschließlich Polen, Deutschland, Österreich, Tschechien, Ungarn, Slowakei, Serbien und der Ukraine im Mai, Juni und August 2010. Dutzende von Menschen starben, Tausende wurden evakuiert, und der Sachschaden ging in die Milliardenhöhe.²⁸

Die Flutkatastrophe entlang der deutsch-polnischen Grenze ist für diese Studie von besonderer Bedeutung. Diese hat zu der Erkenntnis bei den Regierungen in Deutschland und Polen geführt, dass eine verbesserte gemeinsame Planung und Reaktion notwendig ist. Einem Pressebericht zu Folge, "Poland and Germany are to establish teams of experts to tighten cooperation in flood prevention following heavy rains this month which flooded the border region between the two countries. The two sides are drafting procedures for a better exchange of data concerning the hydrological and meteorological situation in the border region as well as coordination of rescue services. The teams of experts will also comprise fire service and police chiefs at local government and district level from both countries."²⁹

Aufgrund der (1) großen Zahl von Naturkatastrophen betroffener Menschen, (2) der merklichen Gefahr von Sachschaden, und (3) dem Risiko des sozialen Zusammenhalts in der Folgezeit von Katastrophen, ist es offensichtlich, dass eine geringe Verbesserung der Effektivität von PPDR erhebliche Nutzegewinne bewirkt. Weiterhin besteht reichlich Spielraum die Koordination und Zusammenarbeit zu verbessern.

Die Flutkatastrophe macht auch die potentiellen Vorteile deutlich, die ein Verleih der PPDR-Einsatzkräfte in andere Länder mit sich bringt. "Among the individual EU member states who have so far sent rescuers and equipment are France, Germany, the Baltic nations of Lithuania, Latvia and Estonia, and Poland's neighbour the Czech Republic, which has also been hit by floods."³⁰ Wir sind hier nicht in der Lage den Umfang der ökonomischen Vorteile quantitativ zu bemessen, allerdings kann begründet geschlussfolgert werden, dass eine verbesserte Kommunikationsmöglichkeit und eine

²⁸ Siehe beispielsweise, "Flash floods inundate central Europe", 8. August 2010.

²⁹ thenews.pl, "Poland and Germany on joint flood prevention programme", 17. August 2010.

³⁰ RTE, "Flood waters reach Warsaw", 21. Mai 2010, abrufbar unter <http://www.rte.ie/news/2010/0521/poland.html>.

verbesserte Interoperabilität der Kommunikation erhebliche Nutzegewinne zu Zeiten und an Orten bedingt, wo diese benötigt werden.

Erneut Bezug nehmend auf Tabelle 4-3, verzeichnet Europa 10,24 Milliarden US\$ in Katastrophenschäden im Jahre 2009 im Vergleich zu einem jährlichen durchschnittlichen Schaden von 2000 bis 2008 von 13,49 Mrd. US\$. Deutschland repräsentiert 1/6 der Europäischen Bevölkerung, und ungefähr 1/5 des europäischen Bruttonettoprodukts. Gemäß dieser Anteile ist ein Katastrophenschaden von 2 Mrd. US\$ pro Jahr anzunehmen.

Verbesserung in der Effektivität der Katastropheneinsätze könnte von daher einen erheblichen Einfluss haben.

4.2.2.2 Opportunitätskosten in Verbindung mit der Frequenznutzung für PPDR

Die Opportunitätskosten bemessen die Kosten, die dadurch entstehen, dass die entsprechend exklusiv genutzten Frequenzbänder nicht durch anderweitige sinnvolle Anwendungen genutzt werden.

Eine Möglichkeit zur Bestimmung der Opportunitätskosten wäre, einen sachverständigen Käufer zu fragen, was er bereit wäre, für einen ähnlichen Frequenzblock für die beste alternative Nutzung zu zahlen. In Deutschland wurde erst kürzlich eine Frequenzversteigerung durchgeführt, in der viele Frequenzbänder angeboten wurden, die direkt vergleichbar mit denjenigen sind, die für eine PPDR-Nutzung am attraktivsten sind. Die erfolgreichen Bieter waren allesamt Mobilfunknetzbetreiber, welche die Frequenzen für den Zugang zu mobilen Breitbanddiensten nutzen werden. Mobilfunknetzbetreiber waren über die Zeit hinweg diejenigen, welche die höchste Zahlungsbereitschaft für Funkfrequenzen hatten. Von daher bestätigt dies, dass mobile Datenübertragung und Sprache die wertvollste alternative Nutzungsmöglichkeit darstellen.

Es sei darauf hingewiesen, dass die Opportunitätskosten sich aufgrund der wertvollsten potentiellen Nutzbarkeit für die betrachteten Frequenzen bestimmen und nicht von der tatsächlichen aktuellen Nutzung. Ob die in Betracht kommenden Frequenzbänder aktuell für Mobilfunktelefonie, kostenfreies Fernsehen, oder vom Militär genutzt werden, ist somit für die Opportunitätskosten irrelevant.

In der Frequenzauktion in Deutschland, erzielten die Frequenzen im Bereich 800 MHz einen erheblich höhere Preis pro MHz als die Frequenzpakete in den Bereichen 1800 MHz und 2100 MHz. Im Detail wurde die in der nachfolgenden Tabelle 4-4 angegebenen Höchstgebote pro MHz abgegeben.

Tabelle 4-4: Opportunitätskosten für Frequenzen gemäß der kürzlich stattgefundenen Frequenzauktion in Deutschland

Frequenzband	Preis pro MHz in Deutschland
800 MHz	59.607.917 €
1.800 MHz	2.087.100 €
2.000 MHz	8.790.025 €
2.600 MHz gepaart	1.841.457 €
2.600 MHz ungepaart	1.730.360 €

Der erzielte Erlös, der für Frequenzen im Bereich 800 MHz erzielt wurde, ist nach unserer Ansicht, ein vernünftiger Referenzwert für die Opportunitätskosten für Frequenzzuteilungen unterhalb von 1 GHz für breitbandige PPDR Dienste. Mit diesem Blickwinkel setzen wir 60 Millionen pro MHz als eine Schätzung für die Opportunitätskosten unterhalb von 1 GHz für PPDR, und auf 2 Millionen pro MHz als eine Schätzung der Opportunitätskosten einer Frequenzzuteilung oberhalb von PPDR.

4.2.2.3 Kosten des Refarming in Verbindung mit der PPDR Frequenznutzung

Der Nutzen, der aus der Frequenznutzung eines ursprünglich anderweitig genutzten Frequenzbandes resultiert, unterscheidet sich wahrscheinlich nicht von der Frequenznutzung eines freien Frequenzbandes. Für die Berechnung der sozioökonomischen Wohlfahrt ist es jedoch erforderlich, die Kosten einer Reallokation bestehender Anwendungen (unter der Annahme, dass der gegenwärtige Nutzer die Frequenzbänder nicht gemeinsam mit PPDR-Anwendungen nutzen kann) und alle anderen Kosten in Verbindung mit dem Refarming des Frequenzbandes mit ins Kalkül zu ziehen. Die primären Kosten der Harmonisierung sind Opportunitätskosten bestehender (und zukünftiger) Frequenznutzungen, die durch eine Verwendung für PPDR in diesen Frequenzbändern nicht mehr möglich sind. Um diese Kosten abzuschätzen ist es erforderlich, diejenigen alternativen Anwendungen zu identifizieren und abzuschätzen, die durch eine exklusive Frequenzzuteilung für PPDR nicht mehr möglich sind.

4.2.2.3.1 Komponenten der Kosten des Refarming

Alle Frequenzbänder sind für bestimmte Frequenznutzungen zugewiesen und wurden für bestimmte Anwendungen zugeteilt. Von daher hat eine Reallokation von spezifischen Frequenzbändern für neue Frequenznutzungen oder eine Zuteilung der Frequenznutzungsrechte an neue Nutzer zwangsläufig eine Freiräumung dieser Bänder von Seiten der gegenwärtigen Nutzer zur Folge. Von daher bedingt ein Refarming die Frequenzzuteilung von anderen Frequenzbändern an den bisherigen Nutzer, die

Bereitstellung gleichwertiger nicht-drahtloser Netzfunktionen oder eine gemeinsame Frequenznutzung mit den neuen Nutzer. Die Nutzung des bisherigen Frequenznutzungsrechtsinhabers wird somit nicht zwangsläufig eliminiert.

In Verbindung mit Refarming entstehen eine Reihe von realen Kosten, für die Reallokation bestehender Anwendungen. Einige davon sind einfach zu quantifizieren. Sogenannte „weichen“ Kosten wie die Unterbrechung der Dienstbereitstellung oder eine Fortbildung sind hingegen weitaus schwieriger zu quantifizieren. Einige typische Kosten in Verbindung mit Refarming sind in der nachfolgenden Tabelle 4-5 aufgelistet.

Tabelle 4-5: Kosten und diese bestimmende Inputvariabeln in Zusammenhang mit Refarming

- Original Ausrüstungs- und Systemkosten
- Ersatzkosten für die Ausrüstung/System
- Reallokationskosten (inklusive der transitorischen Kosten des Betriebs von zwei parallelen Netzen mit entsprechender Ausrüstung) und Fortbildung
- Die Übergangszeit
- Anzahl der Zuteilungen
- Anzahl der Sender
- Anzahl der Empfänger
- Netzabdeckung, Kapazität, und Hausdurchdringung bzw. -versorgung
- Kosten der Interferenzvermeidung

Quelle: WIK

Eine Umsiedlung bestehender Nutzer in ein anderes Frequenzband bedingt, dass technische Geräte nachgerüstet oder gar ersetzt werden müssen. Beispielsweise kann es sein, dass Antennen nicht mehr verwendet werden können, wenn ein neu nutzbares Frequenzband nicht unmittelbar angrenzenden oder in einem harmonischem vielfachen des Sende-/Empfangsbereich gelegen ist. Allerdings sind die Sendemasten und die Versorgungsleitungen weiterhin nutzbar. Ein gegenwärtiger Nutzer muss ggf. eine Verminderung des Nutzungspotentials in Kauf nehmen, wenn die neue Frequenzen nicht so geeignet sind wie die alten Frequenzen, oder vice versa. Gleichzeitig kann die Verminderung des Nutzungspotentials durch neue leistungsfähigere Geräte aufgewogen werden, sodass der Netzbetrieb effizienter ist als vorher.

Die entstehenden Kosten im Zusammenhang mit der Unterbrechung einer Übertragung sind in ihrer Struktur weitaus komplexer. Die Endnutzer müssen mit neuen Endgeräten ausgestattet sein, und sie müssen zur tatsächlichen Nutzung dieser bewogen werden.

Die Gerätenutzer müssen möglicherweise geschult werden. Außerdem fallen ggf. Betriebskosten bzw. Unannehmlichkeiten durch den parallelen Betrieb des alten und neuen Systems in der Übergangsphase an.

Sofern ein Refarming erforderlich ist, empfiehlt sich möglicherweise ein Finanzierungsfond, aus dem die gegenwärtigen Nutzer entschädigt werden, um den Prozess, in dem Funkfrequenzen verfügbar werden, zu beschleunigen. Derartige Kompensationsarrangements sind in Frankreich allgemeine Praxis. Nebenbei sei erwähnt, dass erst kürzlich in einer Studie für die Europäische Kommission eine umfangreichere Nutzung von Kompensationszahlung für die Kosten der Aufgabe von Frequenznutzungsrechten empfohlen wurde.³¹ Auch für die vorliegende Studie ist von erheblicher Bedeutung, dass sofern bisherige Nutzer entschädigt werden sollen, es notwendigerweise einer Studie bedarf, in der die zu kompensierenden Kosten ermittelt werden. Eine derartige Analyse liefert eine gute Datenquelle zur Bestimmung der Refarming Kosten.

4.2.2.3.1 Schätzung der Refarming-Kosten

Refarming-Kosten sind ebenso wie Opportunitätskosten eine Funktion der gegenwärtigen Nutzung des Spektrums. Die Kosten umfassen die „harten“ Kosten des neu anzuschaffenden Equipments und die Personalkosten für die Installation des Equipments, üblicherweise ohne Nutzungsausfall während der Installation. Darüber hinaus enthalten die Kosten „weiche“ Kosten der Weiterbildung von Personal und Gemeinkosten für anfallende Verwaltungsaufgaben.

Refarmingkosten sollten gekürzt um die Nutzenaspekte von Refarming betrachtet werden. In einigen Szenarien z.B. hätten die umgesiedelten Applikationen aufgrund des bereits überfälligen Einsatzes verbesserter Technologie sowieso eine Neugestaltung erforderlich gemacht.

Wir verfügen nicht über ausreichend detaillierte Informationen, um einen ausführlichen Vergleich der Refarmingkosten nach Frequenzbändern vorzunehmen. Darüber hinaus denken wir, dass es in diesem frühen Stadium kontraproduktiv wäre, Empfehlungen zu geben, welches Spektrum von wo umgesiedelt werden sollte, um ausreichende Leistungsfähigkeit für breitbandige PPDR-Anwendungen zu schaffen. Wir denken, dass dies komplexer Verhandlungen bedarf, die am besten von den betroffenen

31 Siehe J. Scott Marcus, John Burns, Phillipa Marks, Frédéric Pujol, and senior expert Prof. Martin Cave, *Optimising the Public Sector's Use of the Radio Spectrum in the European Union*, available at: http://ec.europa.eu/information_society/policy/ecommm/radio_spectrum/_document_storage/studies/digital_dividend_2009/dd_finalreport_executivesummary.pdf, http://ec.europa.eu/information_society/policy/ecommm/radio_spectrum/_document_storage/studies/pus_2008/pus_study_2008_1_finalreport.pdf, and http://ec.europa.eu/information_society/policy/ecommm/radio_spectrum/_document_storage/studies/pus_2008/pus_study_2008_2_annex.pdf. Note that two of the authors are also authors of this study.

Verhandlungspartnern selbst durchgeführt werden. Wir sind dennoch davon überzeugt, dass win-win-Lösungen möglich sind und ermutigen die Verhandlungspartner, diese anzustreben.

Um eine grobe Schätzung der Refarming-Kosten zu erreichen, beziehen wir uns auf die Spektrumkosten (gemessen in MHz pro Einwohner), die bei einer erneuten Belegung von Funkfrequenzen in den USA und Frankreich angefallen sind. In Tabelle 4-6 zeigen wir die Refarming-Kosten einer erneuten Belegung von Frequenzspektrum in den USA und fünf erneuter Belegungen von Frequenzspektrum, die in Frankreich seit dem Jahr 2001 durchgeführt wurden.

Im Jahr 2001 begann die National Telecommunications and Infrastructure Administration (NTIA) mit der erneuten Belegung von bundesstaatlichen zivilen und militärischen Nutzern im 1710 MHz bis 1850 MHz Frequenzband. Der Commercial Spectrum Enhancement Act (CSEA), der im Jahr 2004 unterschrieben wurde, gab die Schaffung eines Spectrum Relocation Fund (SRF) vor, durch den Dienststellen der Bundesstaaten ihre Kosten für die Neubelegung von Frequenzbändern erstattet bekamen.

Die NTIA schätzte die Refarmingkosten bis zu einem gewissen Detailgrad und die neu zu belegenden Funkfrequenzen wurden privaten Nutzern von AWS/UMTS-Systemen im Rahmen einer von der FCC durchgeführten Auktion zugeteilt.

Nachdem die Schätzung mehrfach revidiert wurde, legte die NTIA die aggregierten Kosten der Neubelegung von Funkfrequenzen der 12 Bundesstaaten und des Ministeriums für Verteidigung, die den Frequenzbereich nutzten, auf 1.008.552.502 US\$ fest.³² Von diesen Kosten bezogen sich 355.351.524 US\$ auf das Refarming des Verteidigungsministeriums. Der SRF wurde durch die Auktion 66 der FCC finanziert, die sich auf Advanced Wireless Services (AWS-1) im Frequenzbereich 1710 MHz - 1755 MHz bezog. Der CSEA legte einen Reservationspreis für die gesamten Auktionsumsätze in Höhe von 110% der geschätzten Relokationskosten fest. Die Auktion 66 wurde am 18. September 2006 beendet und erzielte 13.879.110.200 US\$ Bruttogebote.³³ Die Neubelegung von militärischen Nutzern in den 1755 MHz-1850 MHz Frequenzbereich dauert noch an.

32 US Office of Management and Budget (16. Februar 2007): Commercial Spectrum Enhancement Act: Report to Congress on Agency Plans for Spectrum Relocating Funds, verfügbar unter: http://www.ntia.doc.gov/reports/2007/OMBSpectrumRelocationCongressionalNotification_final.pdf.

Die betroffenen staatlichen Einrichtungen waren: Department of Agriculture; Department of Defense; Department of Energy; Department of Homeland Security; Department of Housing and Urban Development; Department of the Interior; Department of Justice; Department of Transportation; The US Treasury; National Aeronautical and Space Administration, Tennessee Valley Authority; and US Postal Service. Ibid.

33 Federal Communications Commission (2006): Zusammenfassung der Ergebnisse von Auktion 66, available at: http://wireless.fcc.gov/auctions/default.htm?job=auCTION_summary&id=66.

Frankreich kompensiert üblicherweise militärische und zivile Regierungsinstitutionen, die zur Freigabe eines von ihnen genutzten Frequenzbereichs für neue zivile Anwendungen aufgefordert sind. Seit dem Jahr 1992 hat die Agence Nationale des Fréquences (ANFR) etwa 1400 MHz Funkfrequenzen im Rahmen zahlreicher Prozesse neu zugeteilt. Dabei ist die ANFR aufgefordert, die Kosten und das Budget für diese Neuzuteilungen zu schätzen. Sie ist verantwortlich für den Implementierungsplan und für die Kostenkontrolle. Als Teil dieses Prozesses managt die ANFR den Spectrum Refarming Fund (FRS). Der FRS wird durch den nationalen Haushalt und durch Gebühren finanziert, die von den neuen Funkfrequenznutzern zu entrichten sind (nachdem der neue Lizenznehmer identifiziert ist). Refarming wird vom FRS fallweise finanziert.

Ein Vergleich der Erfahrungen in den USA und Frankreich mit der erneuten Zuteilung von Frequenzspektrum kommt zu dem Ergebnis, dass etwa 0,001 Euro bis 0,05 Euro Kosten pro MHz pro Einwohner anfallen, wie in Tabelle 4-6 aufgezeigt wird.

Tabelle 4-6: Vergleich der Refarming-Kosten von Funkfrequenzen

Land	Jahr(e)	Frequenzbereich	Funkfrequenzen in MHz	Übertragen von	Kosten der erneuten Zuteilung in 1.000€	Betroffene Einwohnerzahl in 1.000	Kosten in MHz/Einwohner
USA	2007-2010	1710 MHz	45	12 Fed Agencies & DoD	€737.288	301.290	€0,05438
FR	2001	1800 MHz	150	Defence	€7.000	59.476	€0,00078
FR	2001	2 GHz	140	Defence & FT	€38.000	59.476	€0,00456
FR	2001	2.4 GHz	83.5	Defence	€8.000	59.476	€0,00161
FR	2002-2010	DTT	320	Analogue broadcast	€57.000	61.181	€0,00291
FR	2001	PMR446	0.1	SNCF & RRs	€120	59.476	€0,02018

Quelle: NTIA, ANFR, WIK-Schätzungen

Für die sechs uns zur Verfügung stehenden Referenzfälle stellen wir fest, dass die Kosten für die Übertragung eines Frequenzbereichs zwischen 0,001 Euro und 0,05 Euro pro MHz/Einwohner liegt. Die Berechnung der Kosten als MHz/Einwohner gibt uns die Möglichkeit, die Kosten für kleinere oder größere Frequenzbänder sowie für kleinere oder größere Länder zu ermitteln.

4.2.2.4 Netzbetriebskosten im Zusammenhang mit der Nutzung von Funkfrequenzen

Die Nutzung von neuen breitbandigen PPDR-Diensten ist auf den Aufbau eines neuen breitbandigen PPDR-Netzes angewiesen. Im allgemeinen sollte der Nutzen der neuen Dienste *abzüglich der Kosten für den Betrieb dieses Netzes* betrachtet werden.

Kurz- und möglicherweise auch mittelfristig sind diese Kosten wahrscheinlich signifikant, da PPDR-Dienststellen zunächst gezwungen sein werden, ein zweites PPDR Netz parallel zu dem ersten zu betreiben. Es können wahrscheinlich Economies of Scope realisiert werden – z.B. durch die gemeinsame Nutzung von Masten und Betriebspersonal – jedoch werden Mehrkosten bleiben.

Längerfristig werden diese Mehrkosten höchstwahrscheinlich wegfallen. Da konventionelle Fest- und Mobilfunknetze sich zu IP-basierten Next Generation Networks (NGN) entwickeln, kann man vernünftigerweise erwarten, dass diese breitbandigen PPDR-Netze auf lange Sicht die Funktionen der gegenwärtigen TETRA/Tetrapol-Netze auffangen werden. In der Tat gibt es bereits Anzeichen dafür, dass TETRA über LTE übertragen werden könnte, was möglicherweise auch die bevorzugte Technologie für zukünftige PPDR-Netze wird.

Sollte dies geschehen so ist es höchstwahrscheinlich, dass die Betriebskosten für ein einziges integriertes PPDR-Netz, über das Sprache, Daten und Video übertragen werden, nicht größer sind als die des gegenwärtigen TETRA-Netzes. Tatsächlich könnten die Kosten sogar geringer ausfallen, da das neue Netz auf einer fortschrittlicheren und effizienteren Technologie basiert.

Auf diese Weise betrachtet, können die Mehrkosten des Netzbetriebs als ein vorübergehendes Problem betrachtet werden.

4.2.2.5 Überlegungen zur Harmonisierung des Funkfrequenzbereichs

Die Diskussionen bis zu diesem Punkt haben sich auf kommerzielle Dienste, geteilte Nutzung oder exklusive Nutzung unter der Verantwortlichkeit eines einzelnen Landes bzw. einer einzigen *Spectrum Management Authority (SMA)* bezogen. Im folgenden Kapitel beziehen wir uns auf den Nutzen (Abschnitt 4.2.2.5.1) und die Kosten (Abschnitt 4.2.2.5.2) einer Reihe von Zuteilungen oder Frequenzbändern ein, die auf europäischer Ebene harmonisiert werden.

Wie im ECC-Bericht 80 über *Enhancing Harmonisation and Introducing Flexibility in the Spectrum Regulatory Framework*³⁴ ausgeführt wurde, kann unter bestimmten Bedingungen erwartet werden, dass Marktmechanismen zu industriegetriebener *de*

34 Vgl. S. 4: <http://www.erodocdb.dk/Docs/doc98/Official/Pdf/ECCRep080.pdf>.

facto Harmonisierung führen, sofern die Nutzen der Harmonisierung die Kosten überwiegen.

“Harmonisation may be achieved in different ways. From a spectrum management point of view, harmonisation currently relates primarily to de jure spectrum harmonisation, i.e. to mandatory measures facilitating the coexistence of the different equipment or networks. De facto harmonisation may occur when, for instance, in response to market forces or perceptions of economic or commercial advantage, service providers and equipment manufacturers adopt similar usages in a given frequency band. It should be noted that the underlying technical assumptions made during the spectrum management decision-making process also affect flexibility and therefore need to be taken into consideration.”

Im Falle von breitbandigen Funkfrequenzen jedoch halten wir es für unwahrscheinlich, dass angesichts der kleinen Produktionsvolumina eine Harmonisierung ohne eine konzertierte Aktion auf europäischer Ebene zustande kommt.

4.2.2.5.1 Nutzen der Harmonisierung

Es gibt eine Anzahl von erkennbaren Nutzenaspekten, die sich aus der Harmonisierung von Spektrum im allgemeinen ergeben und die alle für PPDR relevant sind. Diese Nutzenaspekte umfassen:

- eine breitere Produktionsbasis und eine zunehmende Menge an Equipment resultiert in Economies of Scale und in erweiterter Verfügbarkeit von Equipment;
- erweiterte grenzüberschreitende Koordination;
- vergrößertes Potenzial für Interoperabilität, mit erweiterten Möglichkeiten für die Verteilung von Equipment und Personal; und ggf.
- Verbesserungen bei Funkfrequenzmanagement und -planung.

Kapitel 4.2.2.5.1.1 diskutiert die Nutzen von Economies of Scale bei der Herstellung, während Kapitel 4.2.2.5.1.2 den Nutzen erörtert, der sich aus einer erweiterter Interoperabilität ergibt.

4.2.2.5.1.1 Economies of Scale bei der Produktion

Harmonisierung von Funkfrequenzen ermöglicht in Kombination mit vollständiger und effektiver Technikstandardisierung Economies of Scale, von denen eine Absenkung der Stückkosten für die Herstellung von PPDR-Equipment erwartet werden kann. Derselbe

Effekt ist einer der Schlüsselfaktoren, der zu einem kontinuierlichen Absinken der Stückpreise von Mobiltelefonie-Endgeräten beigetragen hat, wobei jedoch das Produktionsvolumen von Mobiltelefonie-Endgeräten um ein vielfaches größer ist als das von PPDR-Equipment. Der Nutzen von Harmonisierung und Standardisierung für PPDR-Equipment kann vermutlich als deutlich größer eingeschätzt werden als für Mobiltelefonie-Endgeräte, da das Volumen des hergestellten PPDR-Equipment ohne vorgegebene Harmonisierung und Standardisierung voraussichtlich ineffizient gering ist.

Reduzierte Stückkosten für PPDR-Equipment schlagen sich auf vielfältige Weise nieder und sind insgesamt als nutzenbringend zu sehen. Sie könnten z.B. bewirken, dass PPDR-Einrichtungen es sich leisten können, mehr Personal auszustatten oder dass mehr oder besseres Equipment angeschafft werden kann. All diese Faktoren führen zu Produktivitätsverbesserungen der PPDR-Einsatzkräfte und zu verbesserter Sicherheit des PPDR-Personals.

Unter der Annahme, dass PPDR-Einsatzkräfte kontinuierlich Gefahren ausgesetzt sind, um die Öffentlichkeit zu schützen, ist jede Verbesserung für die persönliche Sicherheit des Personals bei der Ausübung ihrer Aufgaben bedeutend. Tatsächlich haben alle diese Nutzenaspekte voraussichtlich beträchtliche Multiplikatoreffekte aus Sicht der Gesellschaft als Ganzes, aber ihr Wert ist nur schwierig rein ökonomisch auszudrücken.

Über die bereits aufgezeigten Nutzenaspekte hinaus können sinkende Stückkosten eine Reduktion des Budgets von PPDR-Organisationen ermöglichen bei einem gleichbleibenden Niveau von Equipment-Einsatz und Qualität.

4.2.2.5.1.2 Erweiterte grenzüberschreitende Einsätze, verbesserte Interoperabilität

Der PPDR Sektor ist tendenziell fragmentiert. Viele kleine Organisationen, die zumeist auf lokaler Ebene tätig sind, versorgen die Öffentlichkeit mit einer Vielzahl von Polizei-, Feuerwehr- und Rettungsdiensten sowie öffentlichen Sicherheitsdiensten. Diese Fragmentierung erschwert eine koordinierte Vorgehensweise im Falle einer Naturkatastrophe oder eines terroristischen Anschlags, sobald nationale Grenzen überschritten werden.

Es wird zunehmend wahrgenommen, dass ein Bedarf an Lösungen besteht, die über nationale Grenzen hinweg interoperabel sind. Viele europäische Länder haben zumindest teilweise ihre Kommunikationssysteme für Notfalldienste auf digitale mobile Verbindungsleitungsnetze (entweder TETRA oder Tetrapol) migriert, die im harmonisierten Frequenzbereich von 380-400 MHz betrieben werden. TETRA und Tetrapol stellen Sprach- und schmalbandige Datendienste zur Verfügung, werden aber als ungeeignet für die Hochgeschwindigkeitsdatenübertragung und für Video betrachtet. Darüber hinaus sind sowohl TETRA als auch Tetrapol nominell harmonisiert und standardisiert. In Wirklichkeit ist jedoch in keinesfalls sichergestellt, dass PPDR-

Einsatzkräfte eines europäischen Landes in der Lage sind, ihre Ausrüstung erfolgreich in einem anderen europäischen Land zu nutzen.

Naturkatastrophen, terroristische Anschläge und große Unfälle können sich häufig international auswirken. Das Fehlen von sehr leistungsfähigen, vollständig interoperablen Lösungen stellt ein unausgeschöpftes Potenzial für die Verringerung des Risikos für Leben und Eigentum dar.

Als Beispiel sei der Absturz der kommerziellen Boeing 737-222 Maschine, Air Florida Flight 90, am 13. Januar 1982 genannt. Das Flugzeug stürzte unmittelbar nach dem Start auf die 14th Street Bridge ab, die die Verbindung zwischen Washington, DC und dem Staat Virginia darstellt. Dieser Unfall ereignete sich also direkt an dem Knotenpunkt, an dem die US-Regierung und zwei US-Bundesstaaten verantwortlich waren. Die Rettung von Überlebenden wurde wahrscheinlich durch den Mangel an interoperabler Kommunikation zwischen dem US-Küstenschutz, dem National Park Service und der PPDR-Einsatzkräfte aus Virginia und Washington, DC, behindert. 78 Menschen starben in Folge dieses Unfalls. Fünf Menschen konnten erfolgreich gerettet werden, jedoch zahlreiche andere, die den Absturz selbst überlebt hatten, starben im eiskalten Wasser des Potomac River.

Die Überschwemmungen im Grenzbereich zwischen Polen und Deutschland im Mai 2010 stellen ein weiteres Beispiel dar, das die Notwendigkeit und das Potenzial einer grenzüberschreitenden Kooperation und gegenseitigen Unterstützung verdeutlicht. Zu den einzelnen EU-Mitgliedsstaaten, die Hilfskräfte und Equipment nach Polen übersendet haben, zählten Frankreich, Deutschland und die baltischen Länder Estland, Lettland und Litauen sowie die tschechische Republik, die ebenfalls von der Flut betroffen war.³⁵ Eine derartige Kooperation im Katastrophenfall könnte noch weitaus effektiver sein, wenn die Kommunikationssysteme vollständig interoperabel wären.

Einige Verfasser dieser Studie haben diese Aspekte im Rahmen des Projektes der Europäischen Kommission "Optimising the Public Sector's Use of the Radio Spectrum in the European Union" im Jahr 2008 untersucht. Die für diese Studie befragten Gesprächspartner betonten ausdrücklich den Bedarf an leistungsfähigeren interoperablen Lösungen. Dabei wiesen die Befragten besonders darauf hin, dass auch im alltäglichen Einsatz und bei Routineeinsätzen ein steigender Bedarf an grenzüberschreitender Kooperation bestehe. Sie argumentierten in diesem Zusammenhang, dass interoperable Lösungen wahrscheinlich nur dann für internationale Katastrophenfälle erfolgreich eingesetzt werden können, wenn sie in der alltäglichen Arbeit bereits stets genutzt werden.

³⁵ RTE, "Flood waters reach Warsaw", 21. Mai 2010, <http://www.rte.ie/news/2010/0521/poland.html>.

4.2.2.5.2 Kosten der Harmonisierung

Der Nutzen der PPDR-Harmonisierung und Standardisierung wurde bereits in Kapitel 4.2.2.5.1 ausgeführt. Auch wenn die Harmonisierung signifikanten Nutzen generieren kann, geht sie doch mit spezifischen Kosten einher. Es ist daher erforderlich, die Nutzen im Vergleich zu den Kosten, die für die Zielerreichung anfallen, zu sehen.

Der erste und möglicherweise auch deutlichste Kostenaspekt besteht darin, dass die Möglichkeiten, Spektrum entsprechend der nationalen Umstände zuzuteilen, eingeschränkt werden. PPDR-Einsatzkräfte arbeiten nicht in jedem Land auf exakt gleiche Weise, so dass folglich substantielle Unterschiede zwischen den Ländern darin bestehen können, wie viel Spektrum für die Unterstützung von breitbandigen PPDR-Anwendungen benötigt wird.

Darüber hinaus können bereits bestehende Zuteilungen von Funkfrequenzen und deren Nutzung von Land zu Land variieren. Dies hat zur Folge, dass die Zuweisung eines Funkfrequenzspektrums, das in einem Land problemlos funktioniert, in einem anderen Probleme verursachen könnte dadurch, dass Interferenzen zwischen PPDR-Kommunikation und anderen Anwendungsbereichen entstehen. Eine harmonisierte Zuteilung reduziert zwingend den Spielraum für individualisierte Zuteilungen, die die landesspezifischen Besonderheiten besser berücksichtigen können.

Diese Schwäche könnte ein wenig dadurch ausgeglichen werden, dass harmonisierte *tuning ranges* definiert werden anstelle harmonisierter Zuteilungen. Ein festgelegtes *tuning range* erfordert von jedem Land die Zuteilung eines Mindestbetrags von Funkfrequenzen innerhalb eines für die Entwicklung von effizientem Equipment eng genug begrenzten Frequenzbereichs, eröffnet aber jedem Land ein wenig Flexibilität in Bezug auf die genaue Größe und Platzierung des Frequenzbands. Eine *tuning range*-Lösung macht jedoch nur dann Sinn, wenn das breitbandige PPDR-Equipment in der Lage ist, dynamisch und automatisch die verfügbaren Frequenzbänder am jeweiligen Einsatzort zu erkennen.³⁶

Unabhängig davon, ob PPDR-Funkfrequenzen auf nationaler Ebene zugeteilt werden oder harmonisiert auf europäischer Ebene, ist es unwahrscheinlich, dass sie unter Einsatz von Marktmechanismen wie z.B. Auktionen zuzuteilen sind. PPDR kann im allgemeinen als ausgezeichnetes Beispiel für ein *öffentliches Gut* angesehen werden. Sein Wert für die Gesellschaft übersteigt in hohem Maße seinen privaten Wert. Darüber hinaus würde der fragmentierte Bereich der PPDR-Provider substantielle Transaktionskosten verursachen bei dem Versuch, seine Nachfrage so zu aggregieren, dass ein koordiniertes Gebot für PPDR-Spektrum möglich wird. Aus diesen beiden

³⁶ Diese Annahme ist nicht weit hergeholt. Mobile Telefonie-Endgeräte verfahren heute bereits routinemäßig so. Unter der Annahme, dass LTE (oder etwas ähnliches) ein Kandidat für die technische Implementierung von breitbandigen PPDR-Lösungen ist (s. Kapitel 2.4.2), könnte diese Fähigkeit leicht erreichbar sein.

Gründen kann eine Auktion den Wert von PPDR-Spektrum für die Gesellschaft nicht geeignet widerspiegeln, weder in einem nationalen noch in einem europäischen Zuteilungsszenario. Folglich ist eine Form der administrativen Zuteilung von Funkfrequenzen im Falle von breitbandigen PPDR-Spektrum geeigneter als eine Auktion.

Die möglichen Risiken einer administrativen Zuteilung bestehen darin, dass andere Nutzer das Spektrum verlassen müssen, bevor ein erfolgreicher Aufbau und eine gut funktionierende Nutzung der designierten Zuteilung bewiesen ist. Sollte die designierte Zuteilung versagen, entstehen dadurch *Opportunitätskosten*, während gleichzeitig der mögliche Nutzen von alternativen Anwendungen bereits entgangen ist. Im Ergebnis würde alternativen Diensten oder Technologien der Zugang zu Funkfrequenzen versagt, was möglicherweise zu Verzögerungen bei Innovationen, zurückgehendem Wettbewerb zwischen Applikationen und Verlusten bei Konsumentenvorteilen führt.

Diese Kosten bestehen möglicherweise sowohl bei nationaler Zuteilung für breitbandige PPDR als auch für harmonisierte Zuteilung auf europäischer Ebene. Die Risiken und Kosten könnten jedoch im Falle harmonisierter Zuteilung größer ausfallen. Erstens könnten Verzögerungen und Ineffizienzen beim Verhandeln einer Vereinbarung und bei der Implementierung harmonisierter Maßnahmen auftreten. Zweitens könnte die Harmonisierung, nachdem sie erreicht ist, eine Eigendynamik entfalten, die mit signifikant erhöhten Transaktionskosten einhergeht und Verzögerungen bei der Rückforderung von Spektrum bedingt, falls breitbandige PPDR-Anwendungen aus irgendwelchen Gründen nicht erfolgreich in einem oder mehreren Frequenzbändern eingesetzt werden können. Wir betrachten dies zwar im vorliegenden Fall nicht als großes Risiko, aber es sollte zumindest als mögliches Risiko zur Kenntnis genommen werden.

4.3 Vergleich der Optionen

Formal stellt unsere Analyse eine partielle Kosten-Nutzen-Analyse dar.³⁷ Einige der Kosten und Nutzen der zahlreichen Optionen können quantifiziert werden, andere nicht.

In Übereinstimmung mit der Standardpraxis für Folgenabschätzungen³⁸ beginnen wir mit einem Vergleich der vier Optionen im Hinblick auf Effektivität, Effizienz und Kohärenz. Zum Zweck dieser Folgenabschätzung definieren wir diese Begriffe wie folgt:

- **Effektivität** – der Umfang, in dem die Optionen die Ziele des Vorschlags erreichen können.

³⁷ Vgl. Abschnitt 9.1 der Commission's Impact Assessment Guidelines, 2009.

³⁸ Ebenda.

- **Effizienz** – der Umfang, in dem die Ziele erreicht werden können für einen festgelegten Ressourcenverbrauch/zu geringstmöglichen Kosten (Kosteneffizienz).
- **Kohärenz** – der Umfang, in dem Optionen mit den übergreifenden politischen Zielen übereinstimmen und der Umfang, in dem sie unerwünschte ökonomische, soziale oder umweltbezogene Folgen haben können.

Bezogen auf diese Kriterien wird deutlich, dass Option 1 (keine Veränderung) eine niedrige Effektivität aufweist, insofern als dass hohe Barrieren für den Einsatz neuer PPDR-Anwendungen bestehen bleiben. Das derzeit auf nationaler Ebene in Deutschland verfügbare Spektrum kann nicht als ausreichend betrachtet werden, um weite Teile der erforderlichen Leistungsfähigkeit zu unterstützen (vgl. Kapitel 3). Produktionsverbesserungen sind mit dieser Variante nicht möglich.

Bei der Bewertung der Effizienz von Option 1 muss berücksichtigt werden, dass wir nicht über die Effizienz der PPDR-Einsatzkräfte sprechen, sondern über die Effizienz bei der Erreichung der Ziele (die bei dieser Option nicht erreichbar sind). Daher spiegelt die Effizienz effektiv die nicht anfallenden Kosten wieder in Vergleich mit den entgangenen potenziellen Nutzen. Es wird kein neues Netzwerk gebaut; es fallen keine Opportunitätskosten an, weil das in Frage stehende Spektrum für andere Einsatzbereiche verfügbar ist; und es ist kein Refarming erforderlich.

Anders ausgedrückt, fragt die Effizienzfrage gewissermaßen: Überwiegt der Nutzen, dieses Spektrum verfügbar zu machen, tatsächlich die Kosten? Dies ist eine äußerst wichtige Frage, die nicht vermieden werden kann. Sind die Kosten, die für die Bereitstellung des Spektrums für diese Anwendungen an erster Stelle entstehen, tatsächlich gerechtfertigt?

PPDR-Dienststellen in Deutschland beabsichtigen, diese Möglichkeiten in den kommenden Jahren zu nutzen, so dass sie bereits der Meinung sind, dass die Kosten zur Nutzung der betreffenden Netzwerke (die sie nicht direkt tragen müssen) geringer ausfallen als der zu erwartende gesellschaftliche Nutzen.

Darüber hinaus ist es wahrscheinlich, dass die längerfristigen Betriebskosten des neuen Netzes nicht größer sind als diejenigen des gegenwärtigen TETRA/Tetrapol-Netzes, sobald das neue Netz sich so entwickelt hat, dass Sprachverkehr mit Video und High Speed Data konsolidiert werden kann. Wir nehmen an, dass außer Frage steht, dass der Nutzen des gegenwärtigen TETRA-Netzwerks seine Betriebskosten deutlich übersteigt. Folglich bilden jedwede Grenzkosten einen vorübergehenden Faktor, der nur für eine begrenzte Anzahl von Jahren Gültigkeit besitzt.

Daher ergibt sich die relevantere Frage, ob der gesellschaftliche Nutzen, verrechnet mit den Kosten des Netzbetrieb, diejenigen Kosten übersteigt, die die Dienststellen nicht

übernehmen müssen: die Opportunitätskosten, die damit verbunden sind, dass das Spektrum nicht für andere Einsatzbereiche verfügbar ist, und die Kosten des Refarming.

Im Vergleich zu Option 4 halten wir Option 1 für weniger teuer, da sie die folgenden Kosten vermeidet:

- Opportunitätskosten in Höhe von 60 Mio. Euro pro MHz mal 25 MHz unterhalb von 1 GHz, plus 2 Million Euro mal 27 MHz, d.h. gesamte Opportunitätskosten in Höhe von 1,554 Mrd. Euro.
- Refarmingkosten in Höhe von mehr als 160 Mio. Euro.
- Grenzkosten des Netzbetriebs für eine begrenzte Anzahl von Jahren, die im Vergleich zu den Opportunitätskosten vernachlässigbar gering sind.
- Als gerundetes Ergebnis ist Option 4 der Option 1 überlegen, wenn sie zumindest 1,714 Mrd. Euro Netto-Ersparnisse über die zu erwartende Lebensdauer des Systems erbringt, die mit Sicherheit mindestens 30 Jahre beträgt.

Die Kosten könnten gerechtfertigt werden durch eine Kombination von (1) Lebensrettung, (2) vermiedene Eigentumsverluste, (3) Zugewinn in der Betriebseffizienz und (4) Vermeidung von Todesfolgen bei PPDR-Einsatzkräften. In einer vereinfachten Berechnung müssten diese Netto-Ersparnisse 57 Mio. Euro pro Jahr übersteigen.

Dies ist ein maßvoller Schwellenwert, der leicht überschritten werden kann durch die Zugewinne, die in Verbindung mit neuen PPDR-Fähigkeiten entstehen.

Tatsächlich könnte dieser Schwellenwert angesichts der Schätzung, dass in Deutschland jährlich im Durchschnitt etwa 2 Mrd. Euro pro Jahr Schaden durch Naturkatastrophen entstehen, durch eine geringfügige Verbesserung der Effektivität der Leistungsfähigkeit leicht überstiegen werden. Auf ähnliche Weise könnte dieser Schwellenwert durch verbesserte Effektivität in der Verbrechensvorbeugung und -bekämpfung vor dem Hintergrund der Anzahl von Verbrechen pro Jahr und der gesellschaftlichen Kosten pro Verbrechen (zusammen mit ähnlichen Verbesserungen im Bereich der Feuerwehr und des Rettungsdienstes) deutlich überstiegen werden.

Eine alternative Perspektive besteht darin, Option 2, 3 oder 4 wie eine Versicherung zu betrachten – die potenziellen Kosten einer größeren Katastrophe oder eines terroristischen Anschlags (einschließlich des Schadens, der der gesamten Gesellschaft zugefügt wird) seien so groß, dass es einfach undenkbar ist, eine Investition in dieser Größenordnung nicht zu tätigen. Sofern die Investitionen in Deutschland sich im Rahmen von etwa 1,7 Mrd. Euro über eine Periode von etwa 30 Jahren belaufen, ist dies eindeutig der Fall.

Bei Option 2 wird vorausgesetzt, dass ausreichend Spektrum für den Einsatz neuer Anwendungen zur Verfügung gestellt wird; gleichwohl gibt es einen Verlust bei Preis-Leistung des Equipment in Folge des Mangels an Standardisierung der Frequenzbänder und der Technologie. Dies ist zwar ein Aspekt, jedoch vielleicht nicht überaus bedeutsam im Falle Deutschlands - Deutschland ist groß genug, um von seinen eigenen Economies of Scale zu profitieren. Der Verlust von potenziellen Einsparungen erscheint für die kleineren europäischen Länder möglicherweise größer.

Kooperationen, sowohl in Bezug auf Störfälle im Grenzbereich als auch in Bezug auf die Möglichkeit, einem europäischen Land PPDR-Einsatzkräfte eines anderen europäischen Landes zu überlassen, könnten eindeutig problematisch sein. Sobald ein Land breitbandige PPDR-Anwendungen vollständig in die täglichen Arbeitsabläufe integriert hat, können PPDR-Einsatzkräfte voraussichtlich kaum mehr ohne diese Anwendungen arbeiten.

Eine andere Dimension von Effizienz wäre in diesem Fall besser. Da Spektrum bei dieser Option nicht harmonisiert ist, kann jedes europäische Land frei wählen, welches Spektrum es bereitstellt, um die landesspezifischen Opportunitätskosten und Refarmingkosten zu minimieren.

Alles in allem scheint es eindeutig, dass die Verluste von potenzieller Effizienz und Interoperabilität wesentlich größer sind als sämtliche Zugewinne durch eine erweiterte Flexibilität bei der Zuteilung, die gezwungenermaßen gering ausfallen.

Option 3 und 4 können als mehr oder weniger gleichwertig betrachtet werden in Bezug auf Effektivität. Beide erlauben den vollständigen Einsatz von neuen PPDR Breitbandanwendungen basierend auf High speed data und/oder Video, beide erreichen Economies of Scale und Scope auf europäischer Ebene und beide ermöglichen europäischen PPDR-Einsatzkräften eine reibungslose Zusammenarbeit. Sie sind zudem gleichwertig im Hinblick auf Kohärenz.

Diese zwei Optionen unterscheiden sich hauptsächlich im Bereich der Effizienz. Wenn wir annehmen, dass in beiden Szenarien die „Air to Ground“-Abdeckung 15 MHz beträgt und der lokale Zugang 20 MHz, dann sind die mit der Spektrumsallokation verbundenen Opportunitätskosten für Option 3 mehr als zweimal höher als für Option 4. Diese Differenz spiegelt unmittelbar die wesentlich höheren Opportunitätskosten für Spektrum unterhalb von 1 GHz wieder (etwa 60 Mio. Euro pro MHz) im Vergleich zu den Opportunitätskosten für Spektrum oberhalb von 1 GHz (etwa 2 Mio. Euro pro MHz). Diese Opportunitätskosten übersteigen die Refarming-Kosten und sämtliche Mehrkosten des Netzbetriebs.

In Bezug auf Kohärenz ist Option 1 den anderen deutlich unterlegen, da sie weniger effektiv ist bei der Gewährleistung von Deutschlands (und bei Ausweitung Europas) Sicherheit, und dadurch ökonomische, soziale und umweltbezogene Risiken zur Folge

hat. Option 2 ist Option 3 und 4 ein wenig unterlegen, da sie weniger effektiv ist bei der koordinierten Reaktion auf einen Störfall, der mehr als ein europäisches Land betrifft.

Tabelle 4-7: Bewertung der Folgen anhand verschiedener Kriterien

Kriterium	Option 1: Keine Änderung	Option 2: "Lass 1000 Blumen blühen"	Option 3: Harmonisierte Lösung unterhalb von 1 GHz	Option 4: Harmonisierte Lösung unterhalb von 1 GHz und oberhalb von 1 GHz
Effektivität	Gering. Aufgrund fehlenden zusätzlichen Spektrums können neue Anwendungen, die auf Video und High Speed Data beruhen, nicht eingesetzt werden.	Mittel. Neue Applikationen können eingesetzt werden, aber weder grenzüberschreitende Interoperabilität ist gewährleistet noch die Möglichkeit zur Überlastung von PPDR-Einsatzkräften von einem Land an andere Länder.	Hoch. Neue Applikationen können eingesetzt werden, grenzüberschreitende Interoperabilität ist gewährleistet und PPDR-Einsatzkräfte eines Landes können vollständig effektiv in einem anderen Land arbeiten.	Hoch. Neue Anwendungen können eingesetzt werden, grenzüberschreitende Interoperabilität ist gewährleistet und PPDR Einsatzkräfte eines Landes können vollständig effektiv in einem anderen Land arbeiten.
Effizienz	Gering. Dies ist zwar die Option mit den geringsten Kosten, aber sie kann den beträchtlichen Nutzen neuer PPDR Technologie nicht ausschöpfen.	Gering. Erreicht zwar den Nutzen neuer PPDR-Anwendungen, aber versagt beim Erreichen von Economies of Scale und Scope. Bestimmte Kosten sind gering, jedoch das Verhältnis von Kosten zu Nutzen ist insgesamt ungünstig.	Hoch. Erreicht alle Nutzenaspekte bei bezahlbaren Kosten.	Sehr hoch. Erreicht alle Nutzenaspekte, weist niedrigere Opportunitäts- und Refarmingkosten auf als Option 3.
Kohärenz	Gering in dem Sinn, dass kein Erfolg in Bezug auf die Gewährleistung von Sicherheit, Terrorismusbekämpfung und Gesetzesvollzug erreichbar ist.	Mittel in dem Sinn, dass Sicherheit, Terrorismusbekämpfung und Gesetzesvollzug zwar unterstützt werden, jedoch keine internationale Kooperation verbessert.	Hoch in dem Sinn, dass Sicherheit, Terrorismusbekämpfung und Gesetzesvollzug unterstützt werden auf eine Weise, die internationale Kooperation verbessert.	Hoch in dem Sinn, dass Sicherheit, Terrorismusbekämpfung und Gesetzesvollzug unterstützt werden auf eine Weise, die internationale Kooperation verbessert.

Bei einer Gesamtbetrachtung der qualitativen Faktoren, die in Tabelle 4-7 aufgeführt sind, und der quantitativen Vergleiche aus diesem und den vorangegangenen Kapiteln ergibt sich eindeutig, dass Option 4 vorgezogen werden sollte.

5 Ergebnisse und Handlungsempfehlungen

In Kapitel 5.1. werden unsere wichtigsten Ergebnisse aufgezeigt, während Kapitel 5.2 die Empfehlungen an das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) darlegt.

5.1 Ergebnisse

Dieses Kapitel zeigt unsere wichtigsten Ergebnisse in Bezug auf breitbandigen Spektrumsbedarf für Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben im Zeitraum 2015-2025 auf. Diese Ergebnisse basieren auf den zu erwartenden Nutzerbedürfnissen und technologischen Entwicklungen und auf ausgewählten möglichen Kosten im Zusammenhang mit der Befriedigung dieser Bedürfnisse.

Abschnitt 5.1.1 fasst unsere Ergebnisse in Bezug auf die deutschen Anforderungen an PPDR-Spektrum zusammen. Abschnitt 5.1.2 führt aus, wie diese im Vergleich zu den Anforderungen an PPDR-Spektrum in anderen europäischen Ländern zu sehen sind. In Abschnitt 5.1.3 werden schließlich die Ergebnisse im Hinblick auf Kosten und Nutzen dargelegt.

5.1.1 PPDR-Spektrumsbedarf in Deutschland

Dieser Abschnitt stellt unsere Ergebnisse im Bereich des PPDR-Spektrumsbedarfs in Deutschland dar. Er fasst die Resultate aus Abschnitt 2.4 zusammen.

5.1.1.1 Spektrum zur Sicherung der mobilen Breitbandkommunikation in wide area networks

Unter der Annahme, dass eine der IMT-advanced Technologien der ITU – bspw. LTE Advanced oder Mobile WiMAX – eingesetzt werden, schätzen wir die Mindestanforderungen an das Spektrum wie folgt ein:

- Uplink: 15 MHz
- Downlink: 10 MHz

Um eine optimale Abdeckung zu erreichen und um die geforderte Anzahl der Zellen auf einem handhabbaren Niveau zu halten (und um Gebäudedurchdringung zu erreichen, falls erforderlich), sollten Frequenzen unterhalb von 1 GHz genutzt werden.

Das wichtigste Argument für die Nachfrage nach Spektrum im Wide Area Network ist die Möglichkeit, einen Störfall am Rande des Deckungsbereichs einer Zelle zu beheben, während die Spektrumsanforderungen vom Vorliegen weiterer Störfälle in anderen Bereichen der Zelle aufgrund der höheren Spektrumseffizienz weitgehend unberührt bleiben.

5.1.1.2 Spektrum zur Sicherung der mobilen Breitbandkommunikation in Local Area Networks

Unsere Analyse weist darauf hin, dass das bereits identifizierte Spektrum für öffentliche Sicherheitsaufgaben im Frequenzbereich 5150 - 5260 MHz für die meisten Kapazitätsanforderungen für „hot spots“ in Krisensituationen in Deutschland ausreichend sein wird. Dabei kann existierende 802.11 basierte Technologie in diesem Frequenzband eingesetzt werden, wobei sich Vorteile aus den erlaubten höheren „Power level“ für öffentliche Sicherheitsaufgaben ergeben. Alternativ könnten Mesh networks oder LTE picocells und repeater in Erwägung gezogen werden.

Falls machbar, könnte dieses Spektrum um Frequenzen oberhalb von 1 GHz erweitert werden. Hier kommt insbesondere das Frequenzband 1452 - 1479 in Betracht.

5.1.1.3 Spektrum zur Realisierung von Boden-Luft-Verbindungen

Wir schätzen, dass mindestens 15 MHz (ungepaart) im Frequenzbereich 1 - 5 GHz auf einer harmonisierten europäischen Ebene erforderlich sind, um „Air to Ground“-Videoverbindungen herzustellen. Darüber hinaus werden möglicherweise weitere 7,5 MHz benötigt, um deutschlandspezifische Anforderungen zu erfüllen, basierend auf unserem Verständnis der Anforderungen aus dem IABG-Bericht. Eine Abstimmung mit dem militärischen Bereich könnte hierbei in Erwägung gezogen werden.

5.1.1.4 Spektrum für den Netzanbindung

Die Anforderungen an den Netzanbindung können im Wide Area Network unserer Einschätzung nach mit existierenden Bändern für feste Funkverbindungen erfüllt werden. Es sollte daher nicht erforderlich sein, spezifisches Spektrum für öffentliche Sicherheitsanwendungen zu reservieren. Fest Funkverbindungen in den 33 GHz oder 58 GHz Bändern könnten ebenso eingesetzt werden, um festnetzgestützte Anwendungen – z.B. CCTV Überwachung – zu unterstützen, anstatt knappes Mobilfunkspektrum zu nutzen.

5.1.2 PPDR-Spektrumsbedarf in anderen Ländern

Wir gehen davon aus, dass andere europäische Ländern basierend auf ihren spezifischen Bedürfnissen und nationalen Bedingungen ihre eigenen Bewertungen von Spektrumsbedarf vornehmen werden.

Bisher haben nur wenige europäische Länder ihren Bedarf analysiert. Eine Studie über den PPDR-Spektrumsbedarf in Norwegen legt nahe, dass der Bedarf weitgehend demjenigen in Deutschland ähnelt.

Unsere Schätzung des Spektrumsbedarf im weitbandigen Bereich (15 MHz uplink und 10 MHz downlink) sind höchstwahrscheinlich auch für andere europäische Länder zutreffend, sofern deren Anforderungen an Anwendungen denen in Deutschland weitgehend entsprechen. Die Spektrumsanforderungen sind vor allem dadurch bestimmt, dass der Bedarf zur Handhabung von Krisensituationen im Grenzbereich des Zellabdeckungsbereichs besteht, und sind daher weitgehend unabhängig von der Größe oder Bevölkerungszahl eines europäischen Landes.

Das Ergebnis, dass der Frequenzbereich 5150 - 5250 MHz – ggf. erweitert um Spektrum im Frequenzband 1452 - 1479 MHz – zur Abdeckung der meisten lokalen „Hot Spots“ ausreichend ist, ist wahrscheinlich auch für die meisten oder gar für alle europäischen Länder gültig.

Für Boden-Luftverbindungen dürften 15 MHz im Frequenzbereich 1 – 5 GHz auch für andere europäische Länder angemessen sein.

Wir erwarten, dass die meisten oder gar alle europäischen Länder der Auffassung sein werden, dass drahtlose Anforderungen an den Rücktransport mithilfe bestehender Mikrowellen Frequenzbänder erfüllt werden können.

5.1.3 Kosten und Nutzen

Die Kosten sind erwartungsgemäß leichter zu quantifizieren als der Nutzen. Der Nutzen ist jedoch beträchtlich und übersteigt die Kosten unserer Ansicht nach in erheblichem Maße.

5.1.3.1 Nutzen neuer drahtloser breitbandiger PPDR-Anwendungen

Die Quantifizierung des Nutzens von zusätzlichem PPDR-Spektrum ist eine große Herausforderung, wobei der Nutzen insgesamt mit Sicherheit als erheblich eingeschätzt werden kann.

Ein Nutzenzuwachs kann dabei aus dem Zusammenspiel vielfältiger Faktoren entstehen:

- **Reduktion des Risikos von Todesfolgen:** Basierend auf einer umfangreichen Literaturlauswertung kann man schätzen, dass die Rettung eines Lebens mit einem monetären Wert von mindestens 2 bis 10 Mio. Euro bewertet werden kann, wobei der ganz offensichtliche gesellschaftliche Nutzen hierbei nicht berücksichtigt wird (s. Abschnitt 4.2.2.1). Eine erweiterte PPDR-Kommunikation kann Leben retten sowohl durch die tägliche Nutzung als auch in Notfallsituationen. Öffentlich verfügbare Statistiken legen nahe, dass eine bessere Vorbereitung auf Katastrophen eine wesentliche Rolle bei der Reduktion des Todesrisikos im vergangenen Jahrhundert gespielt hat und auch weiterhin spielen wird. Daher ist der daraus resultierende Nutzen real und beträchtlich (s. Kapitel 4.2.2.1.4).
- **Reduktion des Risikos von Eigentumsbeschädigung:** Die Beschädigung von Eigentum wird durch erweiterte PPDR-Anwendungen voraussichtlich ebenfalls zurückgehen, sowohl durch die tagtägliche Nutzung als auch im Fall von Katastrophen. Statistiken zeigen, dass im vergangenen Jahrhundert aufgrund von Katastrophen eine deutliche Zunahme in der Beschädigung von Eigentum zu verzeichnen ist (s. Kapitel 4.2.2.1.4), obwohl sich die Vorbereitung auf Katastrophen verbessert hat. Dabei ist jedoch unklar, ob diese Zunahme durch eine verbesserte Berichterstattung und Erfassung erklärbar ist, ob die Zunahme in der Stärke der Katastrophen selbst begründet ist, oder ob der Zuwachs an dem Wert des Eigentums liegt, das beschädigt wurde. In jedem Fall kann eine verbesserte PPDR-Kommunikation jedoch zu einer effektiveren Reaktion auf Katastrophen genutzt werden und so das Risiko der Eigentumsbeschädigung reduzieren.
- **Produktivitätsverbesserung der PPDR-Aktivitäten:** PPDR-Einrichtungen sollten in der Lage sein, einen besseren Schutz zum gleichen Preis zu leisten, oder einen vergleichbaren Schutz zu einem niedrigeren Preis.
- **Reduktion des Verletzungs- und Todesrisikos der PPDR-Einsatzkräfte:** Es ist zu erwarten, dass verbesserte Anwendungen dazu beitragen, das persönliche Risiko der im PPDR-Bereich Beschäftigten in Deutschland zu senken.

5.1.3.2 Nutzen der Harmonisierung in der breitbandigen Spektrumsallokation

Wie bereits ausgeführt, bestehen die wesentlichen Nutzenaspekte einer harmonisierten Spektrumsallokation für PPDR-Breitbanddienste in Verbindung mit entsprechenden Protokollen und einer Standardisierung des Equipments im Folgenden:

- **Besseres Preis-Leistungsverhältnis** für breitbandige PPDR-Anlagen und -Dienste aufgrund von Economies of Scale und Scope.
- **Erweiterte grenzüberschreitende PPDR Kooperation** bei der Reaktion auf Katastrophen, die mehr als ein europäisches Land betreffen.
- **Möglichkeit zur Überlassung von PPDR Einsatzkräften von einem europäischen Land an das andere**, falls eine Katastrophe oder ein Störfall die Kapazitäten eines einzelnen europäischen Landes übersteigt oder falls spezialisierte Fähigkeiten, die nicht in jedem europäischen Land verfügbar sind, benötigt werden, um mit einer besonderen Bedrohung, Unfall oder Katastrophe umzugehen. Sobald diese PPDR Fähigkeiten verfügbar sind, werden sie in die *Standard Operating Procedures (SOP)* der PPDR Einsatzkräfte aufgenommen. Sollten PPDR Einsatzkräfte nicht in der Lage sein, ihren SOP zu folgen während sie einem anderen Land aushelfen, wird ihre Effektivität und Effizienz beträchtlich beeinflusst.

5.1.3.3 Opportunitätskosten

Aus ökonomischer Sicht sind Opportunitätskosten diejenigen Kosten eines entgangenen Nutzens dadurch, dass eine nur einmal verwendbare Ressource durch alternativen Einsatz einen anderen Nutzen hätte erzielen können. Im vorliegenden Kontext, sind Opportunitätskosten mit dem für die Nutzung von PPDR zugewiesenen Spektrum verbunden, das anderenfalls für Mobilfunk, Fernsehen oder andere Zwecke hätte eingesetzt werden können und dadurch einen gesellschaftlichen Wert hätte erzielen können. Wie hoch könnte der mögliche Wert für die Gesellschaft eingeschätzt werden?

Spektrumsallokationen für eine breite Anwendungsform werden i.d.R. von Regulierern, häufig auf internationaler oder globaler Ebene entschieden. Spektrumsallokationen von kommerziell einsetzbarem Spektrum an eine einzelne Organisation hingegen werden heute häufig unter Einsatz kommerzieller Mechanismen wie z.B. Auktionen, Handel oder Vermietung vorgenommen. Diese kommerziellen Mechanismen sollen sicherstellen, dass kommerzielle Nutzer mit den Opportunitätskosten des von ihnen gehaltenen Spektrums konfrontiert werden und dadurch das Spektrum dem am höchsten bewerteten Einsatzpotenzial zuführen.

Es kann im allgemeinen angenommen werden, dass der Preis, der bei einer Auktion gezahlt wird, einen guten Hinweis auf den wirklichen Wert eines Spektrumblocks gibt, sofern die Käufer sachkundig sind und die Auktion keinen willkürlich gesetzten Beschränkungen unterliegt. In Deutschland wurde jüngst eine große Spektrumsauktion durchgeführt, die sich auf Frequenzbänder bezog, die den für breitbandige PPDR Nutzung geeigneten sehr nahe sind. Diese Auktion des 800 MHz Spektrums bildet eine gute Ausgangsbasis für die näherungsweise Schätzung der Opportunitätskosten von

Spektrum unter 1 GHz für PPDR Breitbandnutzung in Deutschland. Auf dieser Grundlage nutzen wir 50 Mio. Euro pro MHz als Schätzung der Opportunitätskosten für zugeteiltes Spektrum unter 1 GHz für PPDR-Anwendungen und 2 Mio. Euro pro MHz als Schätzung der Opportunitätskosten für Spektrum über 1 GHz für PPDR-Anwendungen (s. Kapitel 4.2.2.2.).

Die Opportunitätskosten, die mit der Allokation eines Paares von unter 1 GHz Frequenzbändern, insgesamt 25 MHz, für PPDR-Anwendungen verbunden sind, könnten so etwa 1,5 Mrd. Euro betragen.

Unter der Annahme, dass Opportunitätskosten sich proportional zur Bevölkerung verhalten und dass die EU-27-Länder insgesamt 6,13 mal so viele Einwohner haben wie Deutschland, könnten die gesamten Opportunitätskosten für PPDR-Anwendungen in den EU-27-Ländern im Bereich von etwa 9,2 Mrd. Euro liegen.

5.1.3.4 Kosten des Refarming von Frequenzbändern

Refarming-Kosten für das sub-1 GHz Spektrum würden selbstverständlich stark davon abhängen, welches spezifische Paar von Frequenzbändern für PPDR abschließend gewählt wird und zu welchen Frequenzen bestehende Anwendungen umgesiedelt werden. Nichtsdestotrotz besteht die begründete Annahme, dass *bei gleichbleibenden anderen Faktoren* Kosten tendenziell weitgehend proportional sind zu (1) der Größe des Frequenzbands in MHz und (2) der Anzahl der Individuen, die potenziell mit dem Netz erreichbar sind.

Erfahrungen mit der Umsiedlung von militärischen und Fernsehübertragungs-Frequenzbändern in Frankreich im vergangenen Jahrzehnt haben gezeigt, dass Refarming-Kosten zwischen 0,001 Euro und 0,02 Euro pro MHz/Einwohner liegen, während US-amerikanische Erfahrungen mit der Umsiedlung von militärischen und zivilen Anwendungen in den 1710 - 1755 MHz Frequenzbereich Kosten von 0,05 Euro pro MHz/Einwohner ergaben (s. Kapitel 4.2.2.3).

Unter der Annahme, dass die Kosten der Umsiedlung von bestehenden Spektrumsnutzern in Anlehnung an die Erfahrungen aus Frankreich und den USA etwa 0,001 Euro (niedrig), 0,02 Euro (mittel) oder 0,05 Euro (hoch) pro MHz/Einwohner betragen, dann würden sich die Gesamtkosten der Einführung eines 25 MHz Frequenzbereichs in Deutschland für PPDR-Anwendungen (mit einer geschätzten Bevölkerung von etwa 81.757.600 am 1. Januar 2010³⁹) auf 2 Mio. Euro (niedrig), 41 Mio. Euro (mittel) oder 102 Mio. Euro (hoch) summieren.

³⁹ Euorstat, Giampaolo LANZIERI, "Population and social conditions: First demographic estimates for 2009", Data in focus 47/2009.

Die entsprechende Schätzung für die EU-27-Länder, basierend auf einer Gesamtbevölkerung von 501.259.800⁴⁰ beläuft sich auf 13 Mio. Euro (niedrig), 251 Mio. Euro (mittel) und 627 Mio. Euro (hoch).

5.1.3.5 Kosten des Netzaufbau und -betriebs

Wir haben nicht den Versuch unternommen, die CAPEX oder OPEX-Kosten des Netzes zu schätzen. Basierend auf den Gesprächen, die mit der IABG geführt wurden, besteht Klarheit darüber, dass deutsche PPDR-Einsatzkräfte davon überzeugt sind, dass der Nutzen deutlich alle vorhersehbaren Kapital- oder Betriebskosten übersteigt.

5.2 Empfehlungen

Der vorliegende Bericht wurde im Auftrag des deutschen Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) durchgeführt. Gleichwohl müssen viele der vorgeschlagenen Maßnahmen auf europäischer Ebene implementiert werden. Daher sind die hier formulierten Empfehlungen als Schritte zu sehen, die das BMWi durchführen könnte – idealerweise mit Unterstützung des Bundesministeriums des Innern (BMI) und der Bundesnetzagentur (BNetzA) – um eine Lösung voranzutreiben, die den deutschen Interessen entspricht.

Andere europäische Regierungen könnten diese Empfehlungen in Betracht ziehen in Bezug auf ihre spezifischen Bedürfnisse und Umstände.

Kapitel 5.2.1 fasst die Kernideen zusammen, die den zukünftigen Weg im Bereich der Spektrumsallokation betreffen.

Kapitel 5.2.2 zeigt ergänzende Empfehlungen in Bezug auf Equipment und Protokollstandardisierung auf.

Abschließend wird in Kapitel 5.2.3 verdeutlicht, dass das BMWi die Implementierung in Zusammenarbeit mit einem breiten Spektrum von Stakeholdern anstreben sollte.

Eine Zusammenfassung der Empfehlungen mit einem entsprechenden Verweis auf die Seite, auf der sich die detaillierten Ausführungen befinden, gibt die folgende Auflistung:

- Empfehlung 1. Die deutsche Politik sollte eine harmonisierte Allokation mit zwei Bändern unterhalb von 1 GHz befürworten: ein 15 MHz-Band (Uplink) und ein 10 MHz-Band (Downlink)

⁴⁰ Ibid.

Empfehlung 2.	Fortgesetzte Nutzung des 5150 - 5250 MHz-Frequenzbandes für lokale PPDR-Anwendungen, erweitert ggf. um die Nutzung des 1452 - 1479,5 MHz-Frequenzbandes	76
Empfehlung 3.	Förderung einer harmonisierten 15 MHz "Air to ground"-Allokation	76
Empfehlung 4.	Integration der Satellitennutzung, insbesondere in Gebieten, die weniger gut mit terrestrischen Netzen versorgt sind.	76
Empfehlung 5.	Förderung der Entwicklung von Standards, die nahtlose Schnittstellen sichern und Interoperabilität garantieren.	77
Empfehlung 6.	Förderung einer vollständigen Einhaltung von Standards, die die Gewährleistung der Interoperabilität anstreben.	77
Empfehlung 7.	Zusammenarbeit mit anderen europäischen Ländern zur Konsensfindung	79
Empfehlung 8.	Lösungen anderer Länder, die auf die Anpassung des Umfangs der Spektrumsallokation an die individuellen Gegebenheiten abzielen, sollten akzeptiert werden, sofern die vollständige Interoperabilität erhalten bleibt.	79
Empfehlung 9.	Fortsetzung der Unterstützungsarbeit in dem CEPT-Ausschuss ECC, insbesondere mit PT 38, um Konsens zu finden.	79
Empfehlung 10.	Fortsetzung der Zusammenarbeit mit der Europäischen Kommission und mit dem Radio Spectrum Committee (RSC).	79
Empfehlung 11.	Zusammenarbeit mit ETSI um sicherzustellen, dass seine Arbeit zu einem termingerechten Abschluss kommt, wobei vollständige Interoperabilität, automatische Erkennung länderspezifischer Frequenzbänder und die Möglichkeit, standardisierte Systemlösungen zu verwenden, gewährleistet werden.	80
Empfehlung 12.	Fortgesetzte Beobachtung internationaler Entwicklungen.	80
Empfehlung 13.	Zusammenarbeit mit den Verantwortlichen für die Fernsehrundfunkbereiche	80
Empfehlung 14.	Zusammenarbeit mit der NATO.	80

5.2.1 Der Weg in die Zukunft

Die vorliegende Studie bestätigt die vom deutschen Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) bereits seit langem vermutete Annahme: *Deutschlands Interessen im Bereich des Spektrums für breitbandige PPDR werden am besten vertreten durch Lösungen, die in irgendeiner Form einer Harmonisierung auf europäischer Ebene bedürfen.*

In Kurzfassung, basierend auf der für Deutschland durchgeführten Folgenabschätzung in Kapitel 4.1 dieses Berichts, halten wir den folgenden Ansatz (der als Option 4 in Sektion 4.1 ausgeführt wurde) für die beste Lösung:

Option 4: Harmonisierte Lösungen in nur einem Band oder in mehreren Bändern bzw. für Geräte mit nur einer Schaltbandbreite oder mehreren Schaltbandbreiten im Spektrum unterhalb von 1 GHz

- Frequenzbänder in niedrigeren Lage zur großflächigen Versorgung sowie zur Versorgung von Gebäuden ("Inhaus-Abdeckung")
- Frequenzbänder in höheren Lagen, um die Kapazitätserfordernisse von Spitzenlasten und Hot Spots abzudecken.
- Die Harmonisierungsmaßnahmen sollten sich an den technischen Möglichkeiten der Geräteschaltbandbreiten orientieren
- Weiterhin die Nutzung von Frequenzen im Bereich 380-400 MHz (nicht notwendigerweise unmittelbar angrenzend an neue Frequenzbänder) für TETRA/TETRAPOL

Wir würden anregen, dass andere europäische Länder diese Ergebnisse in Bezug auf ihre jeweiligen nationalen Bedingungen prüfen. Wir denken, dass unsere Bewertung von ihnen für weitestgehend zutreffend gehalten wird und dass Option 4 auch für andere europäische Länder die bevorzugte Option sein wird.

Dieser Ansatz unterstellt, dass Kapazität für lokale Spitzenlaste (z.B. größere Konzerte und Sportveranstaltungen) und Katastrophen bereitgestellt wird, indem ein ad-hoc Wireless Local Area Network installiert und mit einer Relay Station verbunden wird, die entweder in einem Lastwagen untergebracht oder vorinstalliert ist, um Kommunikation entweder auf der Basis netzgebundener Facilities oder über eine drahtlose Verbindung mit einer directionalen Antenne zu übertragen. An sehr abgelegenen Orten muss ggf. eine temporäre Satellitenverbindung hergestellt werden.

Die Empfehlung ist formuliert in Bezug auf dediziertes Spektrum, aber dieses dedizierte PPDR-Spektrum sollte möglicherweise ergänzt oder ersetzt werden durch (1) Anwendungen, die kommerzielle Dienste und kommerzielles Spektrum nutzen und (2) Spektrum, das mit anderen Nutzern und Anwendungen geteilt wird.

Der Spektrumsbedarf für breitbandige PPDR-Anwendungen in Deutschland wird im Detail in Kapitel 2.4 bewertet. Die wichtigsten Ergebnisse sind in Kapitel 5.1.1 dieser Studie zusammengefasst.

Wir denken, dass die Bedürfnisse Deutschlands mit zwei Unterbändern unterhalb von 1 GHz ausreichend erfüllt werden können: ein 15 MHz uplink und ein 10 MHz downlink, um eine nationale Abdeckung (einschließlich Gebäudedurchdringung) zu erreichen, ergänzt um die Nutzung des 5150-5250 MHz Frequenzbandes und – falls praktikabel – des 1452 - 1579,5 MHz Frequenzbands, um eine zusätzliche Kapazität für Peaks und Katastrophen bereitzuhalten.

Empfehlung 1. Die deutsche Politik sollte eine harmonisierte Allokation mit zwei Bändern unterhalb von 1 GHz befürworten: ein 15 MHz-Band (Uplink) und ein 10 MHz-Band (Downlink)

Die deutsche Politik sollte eine harmonisierte Allokation mit zwei Bändern unterhalb von 1 GHz befürworten: ein 15 MHz-Band (Uplink) und ein 10 MHz-Band (Downlink).

Zusätzlich sollte die deutsche Politik danach streben, dass das 5150 - 5250 MHz-Frequenzband auf einer harmonisierten Basis weiterhin verfügbar ist für PPDR-Anwendungen. Deutschland sollte darüber hinaus eine harmonisierte Allokation von zusätzlichen 15 MHz im Frequenzbereich 1 - 5 GHz - möglicherweise koordiniert mit dem militärischen Bereich – für Boden-Luft-Nutzung befürworten. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass in Deutschland - ebenso wie in vielen anderen europäischen Ländern – einige Regionen nur schwierig mit einem terrestrischen Netzwerk zu vernünftigen Kosten erreichbar sind, sollten Lösungsansätze, die eine integrierte und angemessene Betrachtung der Satellitennutzung (unter Realisierung von so viel Interoperabilität wie möglich) beinhalten, empfohlen werden. Abschließend muss Deutschland nicht nach der zusätzlichen Allokation von Wireless Backhaul streben, sofern existierende Fixed Link Allokationen ausreichend erscheinen.

Empfehlung 2. Fortgesetzte Nutzung des 5150 - 5250 MHz-Frequenzbandes für lokale PPDR-Anwendungen, erweitert ggf. um die Nutzung des 1452 - 1479,5 MHz-Frequenzbandes

Die deutsche Politik sollte erwägen, weiterhin das 5150 - 5250 MHz Frequenzband für lokale PPDR-Anwendungen zu nutzen, erweitert um das 1452 - 1479,5 MHz Frequenzband, um die Reichweite und Kapazität bei größeren Störfällen zu optimieren.

Empfehlung 3. Förderung einer harmonisierten 15 MHz "Air to ground"-Allokation

Deutschland sollte sich für eine harmonisierte Allokation von zusätzlichen 15 MHz im Frequenzbereich 1-5 GHz einsetzen, ggf. in Koordination mit dem militärischen Bereich, für „Air to ground“-Nutzung.

Empfehlung 4. Integration der Satellitennutzung, insbesondere in Gebieten, die weniger gut mit terrestrischen Netzen versorgt sind.

Nutzung von Satellitenplattformen (festnetzgestützt und mobil) in Gegenden außerhalb der Reichweite von terrestrischen Netzen.

5.2.2 Empfehlungen in Bezug auf Spektrum und Technologie

Unabhängig davon, welcher technologische Standard gewählt wird, sollten die folgenden Charakteristika als erstrebenswert oder gar notwendig erachtet werden:

- **Vollständige Interoperabilität (Kompatibilität):** Systeme verschiedener Hersteller oder Systeme, die für verschiedene europäische Länder hergestellt wurden, sollten in der Lage zu sein zu interoperieren bis zu einem vorher bestimmten Level ohne irgendwelche Anpassungen oder spezielle Vereinbarungen.
- **Economies of scale:** Falls technisch möglich, sollte das Equipment so ausgestaltet sein, dass PPDR-spezifische Fähigkeiten zusätzlich an eine existierende Technologie wie z.B. LTE oder WiMAX (oder 802.11 für wireless LAN PPDR) angefügt werden. Auf diese Weise wird es potenziell ermöglicht, dass das Equipment von den Economies of Scale des Massenmarktes profitiert (z.B. bei Chips) und möglicherweise mit kommerziellen Netzwerken kompatibel sein kann (vielleicht mit reduzierter Funktionalität).

Empfehlung 5. Förderung der Entwicklung von Standards, die nahtlose Schnittstellen sichern und Interoperabilität garantieren.

Deutschland sollte, durch Zusammenarbeit mit anderen Stakeholdern, die Entwicklung von technischen Standards für Equipment und Protokolle vorantreiben, die vollständige und nahtlose Interoperabilität von breitbandigen PPDR-Lösungen gewährleisten.

Empfehlung 6. Förderung einer vollständigen Einhaltung von Standards, die die Gewährleistung der Interoperabilität anstreben.

Deutschland sollte, durch die Zusammenarbeit mit anderen Stakeholdern und durch seine Beschaffungspolitik, die vollständige Einhaltung von technischen Standards für Equipment und Protokolle fördern, die eine vollständige und nahtlose Interoperabilität von breitbandigen PPDR-Lösungen gewährleisten.

5.2.3 Vereinbarungen mit anderen Stakeholdern

Die deutsche Regierung kann nicht einseitig eine harmonisierte Zuteilung erreichen, die diesen Anforderungen entspricht, aber sie kann ihren ganzen Einfluss geltend machen, um eine weitgehende Übereinstimmung zu erlangen. Deutschlands Interessen in diesem Bereich werden tendenziell mit denen der meisten oder gar aller europäischer Länder und mit vielen anderen Stakeholdern gleichgerichtet sein.

Aus diesen Gründen regen wir dazu an, dass die deutsche Regierung eng mit den zahlreichen Stakeholdern zusammenarbeitet, um eine positive Lösung der Anliegen zu erreichen, die im vorliegenden Bericht erörtert werden.

5.2.3.1 Andere europäische Länder

Uns ist kein europäisches Land bekannt, das nicht die Notwendigkeit erkannt hat, Spektrumsallokationen zu gewährleisten, die den Einsatz und die Nutzung von neuen PPDR-Anwendungen ermöglichen, die sich auf high speed data und/oder Video stützen.

Die deutschen Anforderungen an PPDR-Spektrum könnten gegebenenfalls jedoch größer sein als diejenigen vieler Nachbarländer. Dies zeigt sich nicht nur an der Tatsache, dass Deutschland ein großes Land mit beträchtlichen PPDR-Einsatzkräften ist, sondern auch daran, dass Deutschland beabsichtigt, neue PPDR-Technologie in weitergehendem Umfang einzusetzen.

Dies legt nahe, dass die meisten europäischen Länder mit Deutschland zwar im Hinblick auf die Notwendigkeit von einer harmonisierten Allokation für PPDR-Spektrum übereinstimmen, aber nicht alle mit Deutschland der gleichen Ansicht darüber sein werden, wie viel Spektrum benötigt wird.

Vor diesem Hintergrund sollte Deutschland technische Lösungen bevorzugen, die vollständige Interoperabilität ermöglichen, aber europäischen Ländern ausreichend Flexibilität gewähren, um die Größe der PPDR Spektrumsallokation so anzupassen, dass sie den jeweiligen nationalen Bedürfnissen entsprechen.

Für Allokationen oberhalb von 1 GHz, die die Verfügbarkeit von zusätzlicher Kapazität für den Fall eines Spitzenereignisses oder einer Katastrophe beabsichtigen, könnte jedes europäische Land einigen Spielraum erhalten, wie diese Frequenzbänder zu vergeben sind und wie viel Spektrum in jedem potenziellen Frequenzband zugeteilt wird. Für die Allokation unterhalb von 1 GHz ist es im Interesse einer vollständigen Interoperabilität höchstwahrscheinlich am einfachsten, ein einziges Frequenzband oder „tuning range“ zu belegen, wobei einige Flexibilität in Bezug auf die Wahl der Größe des Frequenzbandes bestehen könnte. In jedem Fall sollten das Equipment und die zugehörigen Protokolle und Mechanismen in der Lage sein, in dynamischer Weise herauszufinden, welches Spektrum in dem Land genutzt werden kann, in dem das Equipment sich befindet.

Dies hört sich möglicherweise kompliziert an, entspricht in der Realität jedoch den heutigen Routinen in der Mobilfunktelefonie.

Empfehlung 7. Zusammenarbeit mit anderen europäischen Ländern zur Konsensfindung

Das deutsche Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie sollte danach streben, in einem konstruktiven Dialog mit anderen europäischen Ländern Bereiche der Übereinstimmung zu identifizieren und weitergehende Übereinstimmung für den zukünftigen Weg zu erreichen.

Empfehlung 8. Lösungen anderer Länder, die auf die Anpassung des Umfangs der Spektrumsallokation an die individuellen Gegebenheiten abzielen, sollten akzeptiert werden, sofern die vollständige Interoperabilität erhalten bleibt.

Im Interesse einer zu erreichenden Übereinstimmung sollte das BMWi technische Lösungsansätze in Betracht ziehen, die es verschiedenen europäischen Ländern ermöglichen, in unterschiedlichem Umfang Spektrum für breitbandige PPDR-Lösungen bereitzustellen, solange jede landesspezifische Spektrumsallokation automatisch erkannt wird und vollständige Interoperabilität erhalten bleibt.

5.2.3.2 Andere europäische und globale Stakeholder

Im Folgenden empfehlen wir dem deutschen Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie die folgenden Handlungsansätze, ohne diese im Detail näher auszuführen:

Empfehlung 9. Fortsetzung der Unterstützungsarbeit in dem CEPT-Ausschuss ECC, insbesondere mit PT 38, um Konsens zu finden.

Das deutsche Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie sollte weiterhin mit CEPT/ECC zusammenarbeiten - insbesondere mit PT 38 - um Bereiche der Übereinstimmung zu identifizieren und um weiterführende Übereinstimmung voranzutreiben.

Empfehlung 10. Fortsetzung der Zusammenarbeit mit der Europäischen Kommission und mit dem Radio Spectrum Committee (RSC).

Das deutsche Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie sollte die Zusammenarbeit mit der Europäischen Kommission, mit dem Radio Spectrum Committee (RSC) und mit anderen Einrichtungen der Europäischen Union fortsetzen, um Übereinstimmungsbereiche zu identifizieren und um die Kommission dazu aufzufordern, eine harmonisierte Allokation zur Unterstützung von breitbandigen PPDR-Anwendungen voranzutreiben.

Empfehlung 11. Zusammenarbeit mit ETSI um sicherzustellen, dass seine Arbeit zu einem termingerechten Abschluss kommt, wobei vollständige Interoperabilität, automatische Erkennung länderspezifischer Frequenzbänder und die Möglichkeit, standardisierte Systemlösungen zu verwenden, gewährleistet werden.

Das deutsche Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie sollte die Zusammenarbeit mit ETSI fortsetzen, um anzuregen, dass (1) die Arbeit zu einem termingerechten Abschluss kommt, (2) dass breitbandige PPDR-Lösungen vollständig interoperabel sind, (3) dass breitbandiges PPDR-Equipment automatisch die Tatsache handhaben kann, dass nicht jedes Land genau die gleichen Frequenzbänder für breitbandige PPDR-Anwendungen implementieren wird und (4) um breitbandige PPDR-Lösungen auf eine Art und Weise zu strukturieren, die die Nutzung von Standard-Chips nicht unnötig ausschließt.

Empfehlung 12. Fortgesetzte Beobachtung internationaler Entwicklungen.

Das deutsche Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie sollte weiterhin internationale Entwicklungen beobachten, sich jedoch nicht darauf verlassen, dass eine von ihnen realisiert wird.

Empfehlung 13. Zusammenarbeit mit den Verantwortlichen für die Fernseh- und Rundfunkbereiche

Das deutsche Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie sollte den Dialog mit Verantwortlichen aus dem Fernseh- und Rundfunkbereich fortführen, um Bereiche der Übereinstimmung zu identifizieren und Lösungen für die Zukunft zu untersuchen.

Empfehlung 14. Zusammenarbeit mit der NATO.

Das deutsche Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie sollte die Zusammenarbeit mit der NATO fortsetzen, um jegliche Bereiche der Übereinstimmung zu identifizieren und um Möglichkeiten für ein für beide Seiten akzeptables Arrangement im Bereich des zukünftig benötigten Spektrums für breitbandige PPDR-Lösungen zu untersuchen.