

POLICY BRIEF

DEUTSCHLANDS MOBILE DATENNETZE

INNOVATION DURCH OFFENES SPEKTRUM

JAN-PETER KLEINHANS

STEFAN HEUMANN, PHD

BEN SCOTT, PHD

EXECUTIVE SUMMARY

Die Nachfrage nach mobiler Datenübertragung ist in den letzten 15 Jahren exponentiell gestiegen. Mittlerweile gibt es mehr mobile Endgeräte als Einwohner. Dabei tragen Wifi-Netze bereits heute 50 Prozent der Last unseres täglichen, mobilen Datenaufkommens. Trotz dieser immensen volkswirtschaftlichen Bedeutung finden sie in der deutschen Frequenzpolitik bisher kaum Beachtung. In Deutschland dürfen Wifi-Geräte bisher nur Frequenzen mit vergleichsweise niedriger Reichweite nutzen, obwohl ehemalige Frequenzen des Digitalfernsehens (470Mhz - 790MHz) potenziell zur Verfügung stünden. Diese besitzen wesentlich bessere Eigenschaften (deutlich höhere Reichweiten bei gleichzeitig niedrigerem Energieverbrauch), werden jedoch bisher exklusiv an den Mobilfunk versteigert.

Pilotprojekte anderer Staaten zeigen das enorme Potenzial einer Öffnung von Teilen dieser Frequenzen für Wifi-Geräte. So versorgen beispielsweise in den Vereinigten Staaten und Südafrika leistungsstarke Wifi-Netze mit wenigen Sendemasten mehrere Schulen und Universitäten eines gesamten Bezirks mit schnellem mobilen Internet. In Großbritannien wurden kostengünstige, energiesparende Sensornetzwerke etwa zur Stauprävention, zum intelligenten Management der öffentlichen Abfallversorgung oder zur Früherkennung von Überschwemmungen aufgebaut. Die Bereitstellung von hochwertigen, frei verfügbaren Spektrums durch den Staat eröffnet so ein Innovationsfeld für Kommunen, Forschungseinrichtungen, Unternehmen und Zivilgesellschaft.

Auch in Deutschland bietet die Öffnung hochwertiger Frequenzen für Wifi-Geräte, insbesondere in den Kernbereichen der Digitalen Agenda, großes Potenzial. Die wichtigsten Erkenntnisse aus unserer Analyse der Pilotprojekte in anderen Ländern unter Berücksichtigung politischer Zielvorgaben und der regulatorischen Situation in Deutschland lauten:

- 1. In anderen Ländern ist Wifi über Fernsehfrequenzen bereits Realität:** Die potenzielle Rolle von Wifi im DVB-T-Frequenzbereich zur Ergänzung des Mobilfunks und Erweiterung der bisherigen Wifi-Frequenzen wird in vielen Ländern (u.a. den Vereinigten Staaten, Großbritannien, Japan und Singapur) diskutiert, erforscht und in Pilotprojekten erprobt. Deutschland droht eine wichtige technologische Entwicklung zu verpassen, die - wie weiter unten ausgeführt - zentrale Felder der digitalen Agenda betrifft.
- 2. Großes Potenzial für Industrie 4.0 und Internet der Dinge-Anwendungen:** Wifi im DVB-T-Frequenzbereich ermöglicht die kosten- und energieeffiziente Anbindung von verteilten Sensornetzwerken. Diese Sensornetzwerke bilden die Grundlage für neue Industrie 4.0 und Internet der Dinge-Anwendungen. Hier besteht großes Potenzial, dass Wifi über Fernsehfrequenzen sich zu einer innovativen und kostengünstigen Alternative gegenüber einer ausschließlichen Anbindung der Sensoren per Mobilfunk entwickelt.
- 3. Eine wichtige Komponente für den ländlichen Breitbandausbau:** Da im DVB-T-Frequenzbereich Daten über wesentlich größere Distanzen und ohne Sichtverbindung übertragen werden können, ermöglicht Wifi über Fernsehfrequenzen auch entlegene Regionen mit Internet auszustatten, für die eine Anbindung per Glasfaser oder mittels Mobilfunk nicht wirtschaftlich wäre.

Die Pilotprojekte und regulatorischen Erkenntnisse aus vielen anderen Ländern bieten eine gute Basis für eine Auseinandersetzung mit der Thematik in Deutschland. Zudem besteht bei Wifi über Funkfrequenzen ein direkter Bezug zu zwei zentralen Themen der Digitalen Agenda der Bundesregierung: Breitbandausbau und Industrie 4.0. Da es sich bei der Nutzung von Funkfrequenzen um den Umgang mit einem öffentlichen Gut handelt, trägt die Politik hier eine ganz besondere Verantwortung. Gemeinsam mit Wirtschaft und Gesellschaft muss sie bestimmen, wie das Frequenzspektrum im Sinne öffentlicher Interessen am besten genutzt werden kann. Aufgrund seiner besonders wertvollen Eigenschaften kommt der Nutzung des Frequenzspektrums unterhalb von 1GHz in dieser Debatte eine ganz besondere Rolle zu.

Jan-Peter Kleinhans
stiftung neue verantwortung

Stefan Heumann, PhD
stiftung neue verantwortung

Ben Scott, PhD
stiftung neue verantwortung

Die Autoren bedanken sich bei Michael Calabrese, Patrick Lucey, Andreas Achtmann, Andrew Stirling, William Webb und Les Smith für konstruktive Kritik und Anmerkungen.

INHALTSVERZEICHNIS

TECHNISCHER HINTERGRUND	3
Einsatzgebiete	7
Internet in öffentlichen Räumen und ländlichen Gebieten	7
Sensornetzwerke und das Internet der Dinge	8
Traffic Off-Loading	10
Katastrophenhilfe	10
REGULIERUNG DER TECHNIK	11
Die regulatorische Debatte in den Vereinigten Staaten	12
Regulatorische Entwicklungen auf Europäischer Ebene	12
Primäre gegenüber tertiärer Nutzung	13
Technische Gerätestandards	13
Datenbanken und Minderung von Störsignalen	14
Regulatorische Realitäten	15
DEBATTE IN DEUTSCHLAND	16
Freie TV Kanäle und die Digitale Dividende	16
ANWENDUNGSSZENARIOEN IN DEUTSCHLAND	18
Internet in öffentlichen Räumen und ländlichen Regionen	18
Industrie 4.0 und das Internet der Dinge	19
Katastrophenhilfe	20
FAZIT	20
APPENDIX: DER ERFOLG VON WIFI	22
Verbreitung	22
Breitband und Wifi	22
Mobilfunk und Wifi: „Data Off-Loading“	22
Wifi als Grundlage für Innovation	23

EINFÜHRUNG

Wifi findet sich heutzutage in praktisch jedem mobilen Endgerät – ganz gleich ob Smartphone, Tablet oder Laptop. Es ist Teil der Infrastruktur für unsere alltägliche Kommunikation und Mediennutzung. Und das, obwohl hier Funkfrequenzen eingesetzt werden, die denkbar ungeeignet sind, um größere Distanzen zu überbrücken oder Hindernisse zu durchdringen. Aus diesem Grund müssen Unternehmen, Universitäten und Bibliotheken hunderte von Access Points aufstellen, um größere Gebäude flächendeckend mit Wifi zu versorgen. Schon eine einzige Betonwand kann ein undurchdringbares Hindernis darstellen. Das muss aber nicht so sein.

Weltweit wird daran gearbeitet, dass Wifi auch über ungenutzte Frequenzen im zurzeit hauptsächlich zur Übertragung von digitalem, terrestrischen Fernsehen (DVB-T) verwendeten Frequenzspektrum einzusetzen. Da es mit Satellit, Kabel und IPTV¹ einige Alternativen zum klassischen terrestrischen Fernseh- und Rundfunkempfang gibt, schwanken Angebot und Nachfrage nach DVB-T örtlich teils sehr stark. Von den 40 möglichen Kanälen sind durchschnittlich in Deutschland 20 frei – mit großen ortsabhängigen Schwankungen. Dem Rundfunk ist vor einigen Jahrzehnten dieses Spektrum (470MHz-790MHz) aus gutem Grund zugewiesen worden: Es besitzt exzellente Ausbreitungseigenschaften und durchdringt Hindernisse extrem gut. Bisher darf dieser Frequenzbereich jedoch nur durch den Rundfunk und nachrangig durch Veranstaltungstechnik (Funkmikrofone) benutzt werden.

In den Vereinigten Staaten, Singapur, Großbritannien und Japan erlaubt man seit einiger Zeit auch Wifi-Geräten diese wertvollen Frequenzbereiche zu benutzen. Aufgrund der neuen Möglichkeiten und der sich daraus ergebenden Anwendungsszenarien wird die Technik auch als „Super Wifi“ bezeichnet.¹ Dadurch, dass Wifi-Geräte in diesem Frequenzbereich wesentlich größere Reichweiten erzielen, ist es möglich, ländliche Gebiete mit kostengünstigem Internet zu versorgen. Ebenso ermöglicht es den Aufbau großflächiger, dezentraler Sensornetzwerke – ein zentraler Baustein für das Internet der Dinge ebenso wie für Smart Cities, Smart Factories oder Smart Metering.

Das lizenzfreie Nutzbarmachen von freien Fernsehkanälen bedeutet erstmals kostengünstigen Zugang zu einem sehr wertvollen Frequenzspektrum für die Allgemeinheit. Dies darf natürlich nicht dazu führen, dass man den Fernsehempfang oder Funkmikrofone stört. Daher ist es wichtig, durch entsprechende Techniken und regulatorische Ansätze, eine störungsfreie Koexistenz der verschiedenen Nutzer des Frequenzspektrums sicherzustellen.

Obwohl die effizientere Nutzbarmachung des Fernspektrums durch Wifi auf internationaler und europäischer Ebene seit einiger Zeit ernsthaft diskutiert wird und es in manchen Ländern schon kommerziellen Status erreicht hat, ist diese Technologie in Deutschland immer noch weitestgehend unbekannt. Dieser Policy Brief gibt daher einen Überblick über die Technik, erfolgreiche Anwendungsszenarien und regulatorische Ansätze und Hürden von Wifi im Fernspektrum. Schließlich werden die Potenziale mit Fokus auf Deutschland diskutiert.

TECHNISCHER HINTERGRUND

Die Nachfrage nach mobiler Kommunikation und Datenübertragung wächst täglich. Mittlerweile gibt es mehr mobile Endgeräte als Einwohner auf der Welt. 2013 stieg der mobile Datentransfer um 81% im Vergleich zum Vorjahr an und erreichte 1.5 Exabytes (1.5 Millionen Terabytes) pro Monat.² All diese Geräte nutzen zur mobilen Datenübertragung Radiowellen - elektromagnetische Wellen aus einem bestimmten Bereich des Frequenzspektrums.

Elektromagnetische Wellen besitzen folgende grundlegenden Eigenschaften: Je niedriger die Frequenz ist, mit der eine elektromagnetische Welle schwingt, desto größer ist ihre Reichweite und

¹ Internet Protocol Television, Fernsehen über den Internetanschluss

desto besser durchdringt sie Hindernisse. Das heißt, dass sich nicht jeder Frequenzbereich für jedes Einsatzszenario eignet, da man immer zwischen zu übermittelnder Datenmenge, der zur Verfügung stehenden Frequenzbandbreite, Ausbreitungseigenschaften und Energieaufwand abwägen muss.

So nutzt das Militär zur Kommunikation mit U-Booten Radiowellen mit extrem niedriger Frequenz (23.4KHz) und sehr hoher Sendeleistung, um U-Boote auf der gesamten Welt zu erreichen. Demgegenüber wird gerade an einem neuen Wifi-Standard gearbeitet, der Frequenzen von 60GHz nutzt und damit ermöglicht, pro Sekunde rund 6 Gigabit an Daten zu übertragen³. Diese sehr hochfrequenten Radiowellen werden durch die Luft schon so stark abgedämpft, dass ein Empfang nur auf wenige Meter bei direkter Sichtverbindung zwischen Sender und Empfänger möglich ist. Beide Beispiele verdeutlichen, warum es in der einschlägigen Fachliteratur auch die grobe Unterscheidung zwischen „Flächenspektrum“ (Radiofrequenz unterhalb von 1GHz) und „Kapazitätsspektrum“ (Radiofrequenzen oberhalb von 1GHz)⁴ gibt: Der niederfrequente Marinefunk (Flächenspektrum) kann mit vergleichsweise geringem Energieaufwand jeden Teil der Erde erreichen, dabei aber nur sehr geringe Datenmengen transportieren. Der extrem hochfrequente 60GHz Wifi-Standard (Kapazitätsspektrum) ermöglicht einen hohen Datendurchsatz – innerhalb eines Zimmers.

Bestimmte Frequenzbereiche eignen sich also nicht unbedingt für alle Anwendungsfälle gleichermaßen. Je nach Anwendung können die Akteure jedoch nicht einfach auf andere Frequenzbereiche ausweichen, da diese eine andere Kombination aus Ausbreitungseigenschaften, Datendurchsatz und benötigter Sendeleistung ausweisen. Gleichzeitig kann ein Frequenzband nicht durch beliebig viele Akteure gleichzeitig (zeitlich und örtlich) genutzt werden. Frequenzbänder können somit „überfüllt“ sein. Daher gilt es, das vorhandene Frequenzspektrum als knappe Ressource möglichst effizient und wirkungsvoll für das Gemeinwohl zu nutzen. Gerade in Zeiten, in denen der Bedarf an mobiler Kommunikation und Datenübertragung rasant steigt, hat die Verwaltung des Frequenzspektrums eine immer größere volkswirtschaftliche Bedeutung. Aber wie verwaltet man das Frequenzspektrum als knappe Ressource am effizientesten?

Seit Anfang des letzten Jahrhunderts werden Radiofrequenzen und deren Nutzung sehr streng und genau reguliert. Ziel dabei ist es, einen möglichst störungsfreien Betrieb für alle Frequenznutzer zu garantieren. So sind mittlerweile rund 95% des verfügbaren Frequenzspektrums in Bändern bzw. Blöcken mittels Lizenzen exklusiv an bestimmte Nutzerⁱⁱ vergeben.⁵ Dieses lizenzierte Frequenzspektrum darf nur vom Lizenzinhaber für einen bestimmten Zeitraum benutzt werden und bietet diesem somit Investitionssicherheit. So ist das Frequenzspektrum von 470MHz-790MHz deutschlandweit primär dem digitalen, terrestrischen Fernsehen (DVB-T) zugeschrieben.⁶ Diese Art der exklusiven Lizenzvergabe stellt zwar sicher, dass Fernsehen über DVB-T störungsfrei deutschlandweit empfangen werden kann, gleichzeitig bleiben durch die statische Zuweisung etliche Bänder dieses Frequenzbereichs unbenutzt. Dies hat zwei Gründe:

1. Die Ausstrahlung über DVB-T rentiert sich vor allem für den privatrechtlichen Rundfunk nur in Ballungsgebieten. Daher bleiben viele der eigentlich zugewiesenen Kanäle in ländlichen Gebieten unbenutzt bzw. unbespielt.
2. Selbst wenn ein DVB-T-Signal ausgestrahlt wird, gibt es mittlerweile viele andere Techniken des Fernsehempfangs – von Kabel über Satellit bis hin zu IPTV – was die Nachfrage auch in Ballungsgebieten zusätzlich senkt.

Somit führt die erwähnte starre Lizenzierung des DVB-T-Frequenzspektrums aufgrund der dynamischen bzw. fluktuierenden Nachfrage zu Ineffizienz – wertvolles Spektrum liegt brach. Diese unge-

ii Lizenzierte Nutzer bestimmter Bänder des Frequenzspektrums sind z.B. der Mobilfunk, Rundfunk und Fernsehen, Seefunk oder das Militär.

nutzten Frequenzbänder im DVB-T-Spektrum werden auch als „TV White Space“ bezeichnet.

Der Frequenzbereich von 470MHz-790MHz ist zudem interessant, da er sehr gute Ausbreitungseigenschaften aufweist.

- Vergleichsweise hohe Reichweiten bei gleichzeitig geringem Energieaufwand (benötigte Sendeleistung)
- Eine sehr gute Durchdringung von Hindernissen und somit keine Notwendigkeit für Sichtverbindung zwischen Sender und Empfänger
- Ein guter Datendurchsatz in Kombination mit den zuvor erwähnten Eigenschaften

Um diese offensichtlich wertvolle Ressource möglichst effizient zu nutzen, gibt es seit langem neben „primären“ ebenso „sekundäre“ Nutzer dieses Spektrums. „Sekundäre Nutzung“ bedeutet, dass das Spektrum durch einen anderen Akteur mitbenutzt werden darf, solange dieser die Signale des primären Nutzers nicht stört. Unter diesen Bedingungen sind PMSE-Systeme (Program Making and Special Events) seit Jahrzehnten sekundäre Nutzer im DVB-T-Frequenzspektrum.ⁱⁱⁱ Lokal unbenutzte Frequenzbänder dieses Spektrums können so zeitlich und örtlich begrenzt unter bestimmten Bedingungen durch Veranstaltungselektronik verwendet werden. Jedoch geschieht auch dies auf Basis von Lizenzen.

Im Gegensatz zur Lizenzvergabe für die primäre und sekundäre Nutzung des Frequenzspektrums steht die lizenzfreie Nutzung von Funkfrequenzen. In Analogie zu einem öffentlichen Park, in dem sich jeder aufhalten darf, solange er gewisse Regeln beachtet und andere nicht stört, können Frequenzbänder, die für die lizenzfreie Nutzung freigegeben sind, von jedem benutzt werden. Ein gutes Beispiel für lizenzfreie Frequenznutzung sind Wifi- bzw. WLAN-fähige Geräte.^{iv} So können Laptops, Smartphones, Tablets, etc. das 2.4GHz- und 5GHz-Frequenzband lizenzfrei nutzen: Weder Hersteller noch Nutzer müssen zum Betrieb von Wifi-Geräten Lizenzen bei einer Regulierungsbehörde erwerben. Durch die Implementierung technischer Standards und die Einhaltung vorgegebener Grenzwerte wird ein möglichst störungsfreier Betrieb angestrebt. Dies bietet zwei große Vorteile. Zum einen wird durch die lizenzfreie Nutzung der Zugang zum Frequenzspektrum erleichtert. Zum anderen wird im Gegensatz zur Lizenzvergabe bei Rundfunk oder Veranstaltungselektronik nicht im Vorhinein durch den Regulierer festgelegt, für was das Frequenzspektrum benutzt werden darf. Während daher bei der Vergabe von Lizenzen für bestimmte Frequenzbänder der Fokus auf Investitionssicherheit liegt, fördert die Möglichkeit zur lizenzfreien Nutzung Innovation, da sie die Entwicklung neuer technischer Anwendungen begünstigt.

In anderen Ländern wurde dieses Innovationspotenzial erkannt und das DVB-T-Spektrum zur lizenzfreien Nutzung freigegeben, um die Frequenzbänder besser auszulasten. Diese (zeitlich und örtlich) ungenutzten Frequenzbänder werden auch als „TV White Space“ bezeichnet. In den Vereinigten Staaten und Singapur dürfen nun auch Wifi-Geräte die lokal freien DVB-T Frequenzen nutzen – unter der Bedingung, dass weder die Signale der primären Nutzer (Rundfunk) noch der sekundären Nutzer (PMSE-Systeme) gestört werden. In Großbritannien gibt es seit mehreren Jahren verschiedene Pilotprojekte für Wifi im DVB-T-Frequenzbereich unter der Aufsicht der dortigen Regulierungsbehörde Ofcom.

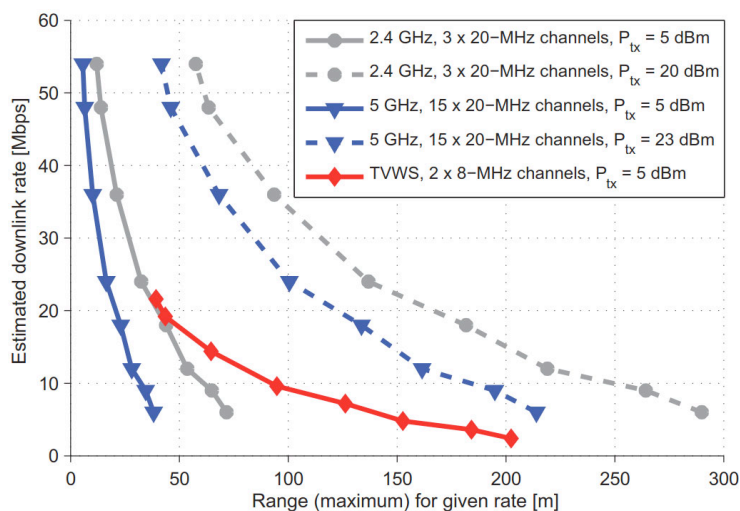
ⁱⁱⁱ PMSE-Systeme sind vor allem Funkmikrofone und Funkkopfhörer

^{iv} Das umfasst alle Geräte, die den IEEE 802.11 Standard des Institute of Electrical and Electronics Engineers implementieren. Entsprechende Funkmodule, die heute in jedem Handy, Tablet oder Laptop zu finden sind, nutzen das 2.4GHz- und 5GHz-Band.

Die Vorteile liegen auf der Hand:

1. Erweiterung des Frequenzspektrums: Mit 2.4GHz und 5GHz steht Wifi-Geräten ausschließlich „Kapazitätsspektrum“ zur Verfügung. Das bedeutet zwar relativ hohe Übertragungsraten aber geringe Reichweiten und schlechte Durchdringung von Hindernissen. Durch die Erweiterung auf das DVB-T-Spektrum können Wifi-Geräte erstmals „Flächenspektrum“ nutzen, um bei gleichem Energieaufwand wesentlich größere Reichweiten und bessere Durchdringung von Hindernissen zu erreichen.
2. Effizientere Nutzung des Spektrums: Das wertvolle DVB-T-Spektrum im Frequenzbereich von 470MHz-790MHz wird durch eine opportunistische, lizenzfreie Nutzung effizienter ausgelastet.
3. Kostengünstiger Zugang: Ähnlich wie schon im 2.4GHz- und 5GHz-Band, stellt die lizenzfreie Nutzung von TV White Space einen kostengünstigen Zugang zu wichtigem Frequenzspektrum für die Bevölkerung dar. Im Gegensatz zum Mobilfunk muss weder der Anbieter eine Lizenz zur Nutzung des Frequenzbereichs erwerben, noch muss der Nutzer einen Vertrag mit dem Anbieter abschließen.
4. Neue Anwendungsgebiete: Durch die wesentlich besseren Ausbreitungseigenschaften von Radiowellen im DVB-T-Spektrum stehen Wifi-Geräten potenziell neue Anwendungsgebiete offen – vor allem im Bereich des Internets der Dinge.^v

Abbildung 1: Simulation der Leistungsfähigkeit



Quelle: Achtzehn, A. et al. 2015. „Feasibility of Secondary Networks: Analysis Methodology and Quantitative Study of Cellular and Wi-Fi-like TVWS Deployments“

Abbildung 1 zeigt eine Simulation des Institute for Networked Systems der RWTH Aachen der Leistungsfähigkeit von Wifi in verschiedenen Frequenzbereichen.⁷ Betrachtet man die rote (White Space), graue (2.4GHz) und blaue (5GHz) durchgezogene Linie fällt direkt auf, dass bei gleicher Sendeleistung Wifi im White Space eine etwa 3-4fache Reichweite (200m) gegenüber dem 2.4GHz- (70m) und 5GHz-Band (40m) erzielt. Um im 2.4GHz- oder 5GHz-Band ähnliche Reichweiten zu erzielen (gestrichelte Linien), muss man die Sendeleistung erheblich anheben: Während Wifi im White Space mit einer Sendeleistung von 3 Milliwatt (5dbm) rund 200m weit reicht, benötigt man im 5GHz-Band mit 200 Milliwatt (23dbm) einen 66fach größeren Energieaufwand. Dies veranschaulicht sehr gut die

^v Wenn man sich vor Augen hält, wie schnell sich Wifi, trotz widriger Bedingungen, gerade im 2.4GHz-Band, ausgebreitet hat, ist es umso verständlicher, dass die US-amerikanische Regulierungsbehörde FCC Wifi über TV White Space als „Super Wifi“ bezeichnet.

vorteilhaften Ausbreitungseigenschaften der Frequenzbereiche unterhalb von 1GHz. Mit einer Sendeleistung von 200 Milliwatt im White Space käme man wiederum etliche hundert Meter weit.

Die opportunistische, lizenzfreie Nutzung von TV White Space durch Wifi-Geräte stellt somit eine sehr gute Möglichkeit dar, diese wertvollen Frequenzbereiche effizienter zu nutzen. Dadurch wird außerdem gewährleistet, der stetig wachsenden Nachfrage nach mobiler Kommunikation und Datenübertragung nachzukommen. Daher ist es wenig verwunderlich, dass sich schon vor einigen Jahren u.a. die Vereinigte Staaten, Großbritannien, Japan und Singapur mit Wifi über „TV White Space“ auseinandergesetzt haben. Im folgenden Kapitel werden einige der Anwendungsgebiete und neuen Möglichkeiten, die auf Wifi über TV White Space basieren, aus diesen Ländern vorgestellt.

Einsatzgebiete

Die effizientere Nutzung des Frequenzspektrums von 470MHz-790MHz auf Basis der nachrangigen, opportunistischen und lizenzfreien Nutzung des TV White Space eröffnet eine Vielzahl potenzieller Anwendungsfälle. Wifi-Geräte, die in TV White Space operieren, bieten sowohl technisch als auch ökonomisch einige Vorteile gegenüber anderen Technologien. Im Vergleich zur Mobilfunktechnologie bietet z.B. Wifi über TV White Space niedrigere Entwicklungs-, Markteintritts- und Betriebskosten. Auf technischer Seite sind die zuvor erwähnten sehr guten Ausbreitungseigenschaften, die hohe Reichweite und sehr gute Energieeffizienz zu nennen. Diese Kombination aus technischen und ökonomischen Vorteilen ermöglicht eine interessante Bandbreite an Nutzungsszenarien, die zurzeit weltweit in verschiedensten Pilotprojekten getestet wird. In den Vereinigte Staaten gibt es aufgrund des regulatorischen Vorsprungs schon seit 1-2 Jahren eine kommerzielle Nutzung dieser Techniken. Aber auch in Großbritannien, Südkorea, Japan, Singapur und Frankreich wird sich intensiv mit der Technik auseinandergesetzt.

Internet in öffentlichen Räumen und ländlichen Gebieten

Aufgrund der sehr guten Ausbreitungseigenschaften und der niedrigen Markteintrittskosten ist Wifi über TV White Space sehr interessant für die kostengünstige und effiziente Internetversorgung öffentlicher Räume und ländlicher Gebiete. In der Tat finden sich unter den verschiedenen TV White Space Piloten weltweit meist diese Anwendungsfälle. Öffentliche und private Wireless Internet Service Provider (WISP) haben deutlich geringere Einstiegskosten, da die Technik im Vergleich zum Aufbau von Mobilfunkmasten signifikant günstiger ist und unabhängig von Mobilfunkunternehmen eingesetzt werden kann. Ein weiterer großer Vorteil ist, dass die Technik sukzessive mit der Nutzerzahl mitwachsen kann und keine hohe Nutzerzahl nötig ist, um eine Anlage kostendeckend betreiben zu können. Im Folgenden werden einige der bisherigen TV White Space Piloten aus diesem Bereich vorgestellt.

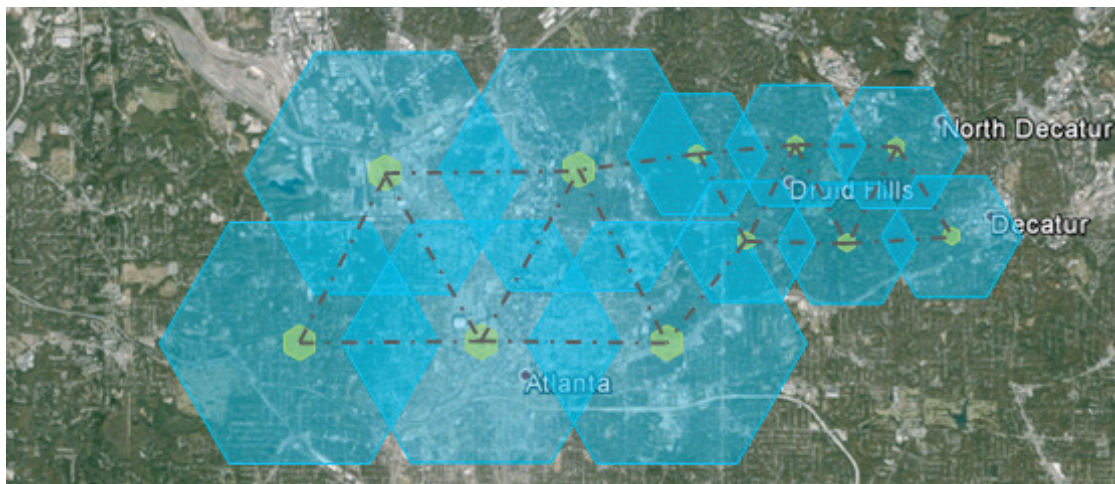
- Das Tertiary Education and Research Network (TENET) hat zusammen mit der südafrikanischen Regulierungsbehörde ICASA und Google einen TV White Space Piloten an der Stellenbosch Universität durchgeführt.⁸ Ziel war es, in einem Radius von 6.5 km zehn umliegende Schulen mit Breitband zu versorgen. Dies wurde mit lediglich 3 TV White Space Sendemasten erreicht. Jeder Schule wurden mindestens 2.5Mbps an Bandbreite zur Verfügung gestellt.
- Das Gigabit Library Network (GLN) in den Vereinigten Staaten fördert den Einsatz von Wifi über TV White Space, um in staatlichen Bibliotheken effizienter und flächendeckender einen freien Internetzugang anbieten zu können.⁹
- Der Archipel im Norden Schottlands (Orkney) besteht aus 67 Inseln, von denen 18 bewohnt sind, und beherbergt rund 20.000 Einwohnerinnen und Einwohner. Als Teil der Ofcom Piloten versorgt CloudNet, in Kooperation mit Carlson und Fairspectrum, einige der Fähren mit Internet und ermöglicht den Inselbewohnern Breitbandzugänge. Langfristig soll das Projekt auf weitere Inseln ausgedehnt werden.¹⁰

- In einem weiteren Ofcom Piloten in Glasgow wird der Campus der Strathclyde Universität mit Wifi versorgt. Microsoft, in Kooperation mit anderen Partnern, deckt mit lediglich 8 Sendemasten an 5 Standorten den gesamten Strathclyde Campus der Innenstadt ab.¹¹

Da in den Vereinigten Staaten die nationale Regulierungsbehörde FCC schon Teile des DVB-T-Frequenzbereichs zur Nutzung durch Wifi-Geräte freigegeben hat, gibt es hier seit 2013 auch schon erste Zugangsanbieter, die White Space Technologie kommerziell einsetzen:

- Der kalifornische Internetanbieter Cal.Net hat sich auf die Breitbandversorgung ländlicher Gebiete spezialisiert und setzt dabei auf die „RuralConnect“ Technologie von Carlson Wireless.¹² Diese ist seit Dezember 2013 durch die FCC zertifiziert und kann nach Aussage von Carlson Wireless Distanzen von 10km überbrücken (Punkt-zu-Punkt ohne Sichtverbindung) und bis zu 12Mb/s übertragen.¹³ So werden einzelne Haushalte und kleinere Siedlungen per White Space mit Internet versorgt.
- Revplex ist ein neuer Internetanbieter in Atlanta, der zur ländlichen Breitbandversorgung dezentrale Mesh-Netzwerke mit White Space aufbaut.¹⁴ In Abbildung 2 ist der grundsätzliche Aufbau und die Reichweite der Mesh-Netzwerke zu sehen. Jedes Sechseck besitzt einen Durchmesser von 5km bzw. 2.5km bei einer Sendeleistung von 1W, wobei Revplex angibt, dass dies nicht die maximale Distanz darstellt. Hierbei soll eine durchschnittliche Übertragungskapazität von 28Mb/s erreicht werden.¹⁵

Abbildung 2: Revplex White Space Mesh-Netzwerk



Quelle: <http://blog.revplex.net>

Sensornetzwerke und das Internet der Dinge

Maschine-zu-Maschine (M2M) Kommunikation bildet die Grundlage für das Internet der Dinge und wird in den kommenden Jahren rapide wachsen. Laut einer Studie für die britische Regulierungsbehörde Ofcom ist davon auszugehen, dass die M2M-Kommunikation allein in Großbritannien bis 2022 mit bis zu 3 Milliarden Kommunikationsvorgängen pro Tag die menschliche Kommunikation via Instant Messenger (WhatsApp) eingeholt haben wird.¹⁶ Ebenso besitzt M2M-Kommunikation grundsätzliche andere Charakteristika als menschliche Kommunikation. Meist handelt es sich um geringe Datenmengen, die über große Distanzen in langen (teils unregelmäßigen) Zeitintervallen übertragen werden müssen. Da heutige Mobilfunknetze für die Übertragung menschlicher Kommunikation opti-

miert sind, sind sie nicht besonders effizient (in Bezug auf das benötigte Spektrum, Zeit und Kosten) bei der Übertragung von M2M-Kommunikation. Wifi im 2.4GHz- oder 5GHz-Band ist hier zwar kostengünstiger und effizienter, bietet jedoch keine vergleichbaren Reichweiten und Ausbreitungseigenschaften. Die Übertragung im TVWS-Spektrum bietet hier spannende Alternativen.

Einer der Eckpfeiler des „Internets der Dinge“ sind Sensornetzwerke. Diese werden immer leistungsfähiger, da sowohl Rechenleistung, als auch die benötigten Halbleiter immer günstiger werden. Ein grundsätzliches Problem ist jedoch die Übertragung der Sensordaten. Konventionelles Wifi im 2.4GHz- und 5GHz-Band bietet nur geringe Reichweite und wird im Innenbereich durch Wände schnell zu stark abgedämpft. Kabelgebundene Übertragung ist oft nicht möglich und die Nutzung von Mobilfunkübertragung ineffizient. Zugang zu unlizenziertem Spektrum in Form von TV White Space im DVB-T-Frequenzbereich ermöglicht hier die kostengünstige Funkübertragung der Daten. Über diese Frequenzen können Daten auch ohne direkte Sichtverbindung zwischen Sender und Empfänger kosten- und energieeffizient über große Strecken übertragen werden. So findet man unter den TV White Space Piloten in den Vereinigte Staaten, Großbritannien, Japan und Singapur einige Projekte¹⁷ zu Sensornetzwerken: Wasserstandmessungen von Flüssen als Frühwarnsystem, Stauprävention auf Autobahnen, Analyse des Parkplatzbedarfs in Städten und intelligente öffentliche Abfallentsorgung. In den Vereinigte Staaten liegt ein weiterer Fokus auf den Bereichen Smart-Metering und Smart-Factory.

Umwelt-Messung: Das britische Start-Up „Love Hz“ hat das Oxford Flood Network ins Leben gerufen.¹⁸ Das Projekt ist einer der Ofcom TV White Space Piloten 2014 und nutzt ein per Funk verbundenes Sensornetzwerk, um den Wasserstand von Flüssen zu messen.¹⁹ Obwohl die Flüsse in Oxford durch staatliche Messstationen überwacht werden, sind diese bei weitem nicht ausreichend, um eine adäquate Kontrolle des Wasserstandes zur Vorhersage drohender Überschwemmungen zu gewährleisten. Durch kleine Ultraschallsensoren, die auf offener Hard- und Software basieren und per Funk mit einer Basisstation kommunizieren, können die Flüsse besser überwacht werden. Aufgrund der relativ großen Distanz zur Basisstation wäre eine Verbindung per Wifi (2.4GHz oder 5GHz) nicht praktikabel. Daher sind die einzelnen Sensor-Gateways über TV White Space angeschlossen. Das Projekt ist darauf ausgelegt, dass durch die günstige Hardware und offene Software möglichst viele Bürgerinnen und Bürger entsprechende Sensoren zur Wasserstandmessung installieren und so ein breites Sensornetzwerk entsteht. Auf einem sehr ähnlichen Prinzip des community-basierten Sensornetzwerkes besteht die Japan Radiation Map, die nach dem Fukushima Unglück ins Leben gerufen wurde, um radioaktive Strahlung zu messen.²⁰

Natürlich wären erwähnte Sensornetzwerke rein technisch auch ohne die Nutzung von TV White Space möglich. Die kostengünstige, energieeffiziente und ressourcenschonende Funkverbindung über große Distanzen hinweg ermöglicht in vielen Bereichen jedoch erst den wirtschaftlichen Aufbau und Betrieb entsprechender Sensornetzwerke.

Verkehrsmanagement: Das britische Verkehrsministerium, das „Internet der Dinge“ Start-Up Neul aus Cambridge und das Telekommunikationsunternehmen British Telecom (BT) starteten in Ofcoms erster Testphase 2013 mit einem Piloten zum Verkehrsmanagement.²¹ Die Autobahn A14 verbindet in Großbritannien den Frachthafen in Felixstowe mit Birmingham. Hier wurden rund 80km Autobahn mit Funksensoren ausgestattet. Über TV White Space haben entsprechend ausgestattete Fahrzeuge dann mit den verschiedenen Sensoren am Straßenrand kommuniziert. Langfristig erhofft man sich, so Aufschluss über Fahrverhalten zu unterschiedlichen Tageszeiten und bei unterschiedlichen Licht- und Witterungsverhältnissen zu bekommen. Das Fernziel ist es, über dieses Kommunikationsnetzwerk effizient und kostengünstig auf Staus hinweisen zu können und direkt im Auto entsprechendes Fahrverhalten zu empfehlen.²²

Intelligente Städte: Die Stadt Milton Keynes in Buckinghamshire, England, ist zurzeit eines der größten Smart City Projekte in Europa.²³ Von intelligentem Energie- und Wassermanagement über Verkehrsplanung und Vernetzung öffentlicher Einrichtungen bis hin zu einem Open Data Hub entwi-

ckelt und erforscht Milton Keynes mit MK: Smart die Möglichkeiten eines großflächiges Smart City Projekt. Auch hier werden Sensornetzwerke, die über TV White Space miteinander verbunden sind, für eine Vielzahl von Anwendungsfällen genutzt. So sollen Fahrzeuge direkt zum nächsten freien Parkplatz in der Stadt geleitet werden. Öffentliche Abfalleimer werden mit Sensoren ausgestattet, um der Müllabfuhr zu melden, wann diese voll sind und geleert werden müssen. Weiterhin wird TV White Space genutzt, um öffentliche Plätze kostengünstiger mit freiem Internetzugang zu versorgen.

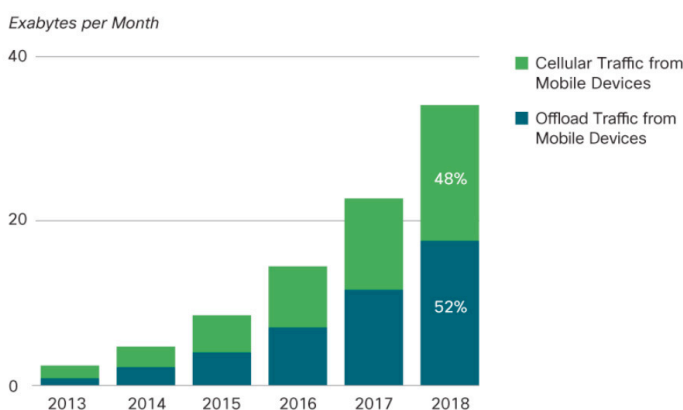
Auch in den Vereinigte Staaten gibt es vor allem in den ländlichen Regionen einige Smart Meter Projekte, die TV White Space benutzen, um Strom-, Wasser- oder Gasverbrauch aus großen Entfernungen und ohne Sichtverbindung auswerten zu können. Ein entsprechender Pilot startete 2010 in Sierra Nevada (USA) zwischen Spectrum Bridge, Google und der Plumas-Sierra Rural Electric Cooperative.²⁴ Das Smart Meter Netzwerk wurde jedoch nicht nur zur Sensorkontrolle genutzt, sondern stellte den Anwohnern gleichzeitig einen Internetzugang zur Verfügung.

Ein ähnliches Smart City Projekt startete 2010 in Wilmington, North Carolina. TV White Space hat es hier ermöglicht, Verkehrskameras kostengünstig miteinander zu vernetzen.²⁵ Außerdem wurden Sensoren zur Kontrolle des Wasserstands in Rückhaltebecken und in den umliegenden Gewässern zur Qualitätskontrolle installiert. Zuvor mussten diese in unregelmäßigen Abständen per Hand abgelesen werden.²⁶

Traffic Off-Loading

Schon heute wird deutlich weniger als die Hälfte des gesamten Datenverkehrs mobiler Endgeräte (Smartphones und Tablets) über die Mobilfunknetze geleitet. Abbildung 3 verdeutlicht, dass der überwiegende Teil des Datenverkehrs durch Wifi-Netze abgedeckt wird – Zuhause, im Unternehmen oder an der Universität.²⁷ Dies wird als „Traffic Off-Loading“ bezeichnet, da Datenverkehr der durch die Nutzung eines Mobilfunkgerätes entsteht, nicht über das Mobilfunknetz übertragen wird, sondern per Wifi auf einen fixen Breitbandanschluss „ausgelagert“ wird. Dies sorgt für eine große Entlastung des Mobilfunknetzes. Diese Strategie wird unabhängig von den Geschwindigkeiten der Mobilfunknetze auch zukünftig eine große Rolle spielen. Wifi über TV White Space bietet hier die Möglichkeit „Off-Loading“ nicht nur in direkter Nähe von Wifi-Access Points zu ermöglichen, sondern aufgrund der wesentlich besseren Reichweite und Durchdringung von Gebäuden eine flächendeckendere Wifi-Versorgung aufzubauen. Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass die Mobilfunknetze auch zukünftig entlastet werden könnten.

Abbildung 3: Vergleich Datenverkehr Mobilfunk und Wifi



Source: Cisco VNI Mobile, 2014

Quelle: Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2013 – 2018

Katastrophenhilfe

Wenn durch ein Erdbeben, eine Sturmflut oder einen Orkan die Strom- und Telefonnetze ausgefallen sind, ist es entscheidend, die Bevölkerung möglichst schnell mit den wichtigsten Informationen zu versorgen: Wo sind Notunterkünfte? Wo sind Stationen von Hilfsorganisationen? Welche Gebiete sind von der Naturkatastrophe betroffen? Außerdem will man natürlich mit Angehörigen und Freunden sprechen. Je nachdem, wie viel durch ein Erdbeben oder eine Sturmflut zerstört wurde, ist eine solche Kommunikation oft nur noch mit Satellitentelefon möglich.²⁸ Diese sind jedoch sehr teuer und bieten keine Möglichkeit zur Verbindung mit dem Internet. Wifi über TV White Space kann hier einen wichtigen Beitrag leisten, um kostengünstig und vor allem sehr schnell die entsprechenden Gebiete wieder mit Konnektivität und somit lebenswichtigen Informationen zu versorgen. Dies wurde schon in einigen Piloten eindrucksvoll unter Beweis gestellt.

Philippinen, Taifun Haiyan: 2013 gab es in den Philippinen einen der stärksten tropischen Wirbelstürme, der vor allem die Inselgruppe Visayas verwüstete. Microsoft, in Kooperation mit örtlichen Partnern und der ITU, errichtete um die Stadt Tacloban ein Wifi-Netzwerk basierend auf TV White Space.²⁹ Dadurch wurden nicht nur die Hilfsorganisationen vor Ort und die Behörden mit Internet versorgt, sondern auch die Bevölkerung hatte die Möglichkeit wieder an Informationen zu gelangen. Bis dahin mussten die Einwohner stundenlang vor den Rettungszentren warten, um Angehörige für wenige Minuten per Satellitentelefon anrufen zu können. Durch die Kombination von Wifi über TV White Space und VSATs (Very Small Aperture Terminal), die für die bidirektionale Satellitenkommunikation verwendet wurden, war es so möglich, über 5000 Mitarbeitern von Hilfsorganisationen und rund 500 Einwohnern Zugang zum Internet zu ermöglichen.³⁰

Vereinigte Staaten, Hurrikan Katrina: Nachdem Hurrikan Katrina, eine der verheerendsten Naturkatastrophen der Vereinigten Staaten, der 2005 u.a. die Gegend um New Orleans verwüstet hatte, entwickelte der Pascagoula Schuldistrikt eine TV White Space Anlage. Ziel dabei ist es, ähnlich wie im Falle der Philippinen, bei einer zukünftigen Naturkatastrophe schneller wieder ein funktionierendes Telekommunikationsnetz aufbauen zu können. Abgesehen davon wird die Anlage im Alltag zur besseren Internetversorgung des Schulgeländes benutzt.³¹

Dies sind nur einige Beispiele für mögliche Einsatzszenarien von Wifi über TV White Space. Zentrale Aspekte der Technik sind die niedrigen Einstiegskosten, die hohe Reichweite, sehr gute Durchdringung von Hindernissen und der damit einhergehende vergleichsweise niedrige Energiebedarf. Diese besondere Kombination ermöglicht den erfolgreichen Betrieb in den verschiedensten Einsatzgebieten. Die hohe Reichweite, die niedrigen Hardware- und Betriebskosten und ein geringer Energiebedarf sind essenziell für großflächige Sensornetzwerke bei „Internet der Dinge“-Anwendungen. Die niedrigen Einstiegskosten und die gute Skalierbarkeit sind sehr vorteilhaft für Wireless Internet Service Provider (WISP), um ländliche Gegenden kostendeckend mit Breitband versorgen zu können. Ebenso ist es durch Wifi über TV White Space möglich, öffentliche Räume kostengünstig mit Internet zu versorgen.

Betrachtet man die verschiedenen erfolgreichen Piloten in den unterschiedlichsten Anwendungsszenarien, muss man sich fragen, was alles möglich wäre, wenn heute schon jedes mobile Endgerät mit Wifi über TV White Space ausgestattet wäre. MediaTek, der drittgrößte Hersteller von Wifi-Modulen, hat im Juni 2014 verkündet, dass sie am ersten Triple-Band Wifi-Modul arbeiten, das die Kommunikation über 2.4GHz, 5GHz und über TV White Space ermöglicht.³²

REGULIERUNG DER TECHNIK

Die Vielzahl an erfolgreichen Piloten und die ersten kommerziellen Anwendungen verdeutlichen, dass es sich bei Wifi über TV White Space nicht mehr um ein Laborexperiment handelt. Ganz im Gegenteil. Im Folgenden sollen die verschiedenen technischen Gerätestandards und Regulierungen auf internationaler, US-amerikanischer und europäischer Ebene vorgestellt werden.

Die regulatorische Debatte in den Vereinigten Staaten

In den Vereinigten Staaten begann man bereits kurz nach der Jahrtausendwende, über das Potenzial von White Space für die Datenübertragung zu diskutieren. Diese Debatte war von Anfang an eng mit frequenzpolitischen Fragen verknüpft. Hierbei stand vor allem die regulatorische Frage im Mittelpunkt, ob White Space über Lizenzen Mobilfunkunternehmen exklusiv zur Verfügung gestellt werden sollte. Dagegen beriefen sich die Verfechter einer freien Nutzung auf die rasante Verbreitung des Wifi-Standards, dessen Erfolg sie auf den unlicenzierten Regulationsansatz zurückführten.

Ausgangspunkt der Debatte war der Bericht der Spectrum Policy Task Force der zuständigen amerikanischen Regulierungsbehörde, der Federal Communications Commission (FCC), aus dem Jahr 2002.³³ Die Task Force kam zu dem Schluss, dass der frequenzpolitische Ansatz der FCC verschiedene Regulierungsmodelle berücksichtigen sollte. Anstatt lizenzierte und unlicenzierte Frequenznutzung gegeneinander auszuspielen, wurden beide Ansätze von der Task Force als komplementär betrachtet. Dieser neue frequenzpolitische Ansatz fiel in den Vereinigten Staaten mit dem Aufkommen einer breiteren Debatte zur Nutzung von White Space zusammen. Im Mai 2004 veröffentlichte die FCC eine Absichtserklärung für das Erlassen einer Verordnung zur Regulierung der Nutzung freier TV Frequenzen für drahtlose Geräte.³⁴ Damit begann in den Vereinigten Staaten eine breitere Debatte über das Potenzial von TV White Space und die unlicenzierte Nutzung von Frequenzspektrum unterhalb von 1GHz. Im November 2008 verabschiedete die FCC Regeln für die unlicenzierte Nutzung von White Space. Diese Regeln verlangten, dass die White Space Geräte über eine von der FCC geprüfte Datenbank die freien Kanäle erfragen und ständig die genutzten Frequenzen nach möglichen anderen Nutzern wie z. B. drahtlosen Mikrofonen scannen müssen, um mögliche Störungen zu vermeiden. In den neuesten Regulierungen vom September 2010 sind die vorgeschriebenen Scans weitestgehend aufgehoben worden.³⁵ Dafür wurden strengere Regeln zur Nutzung der Frequenzen erlassen. Nach den neuesten Plänen zur Frequenzallokation der FCC vom Mai 2014 wird es selbst in großen Stadtregionen wie Los Angeles oder New York, wo der größte Bedarf an Frequenzbändern für Fernsehübertragungen besteht, mindestens einen Frequenzkanal für unlicenzierte Nutzung geben.³⁶ Die frequenzpolitische Debatte dauert in den Vereinigten Staaten nach wie vor an. So hat die FCC bereits eine weitere Anpassung der Regeln für die Nutzung von White Space mit dem Ziel, die Nutzung dieses Frequenzbereichs zu erleichtern, angekündigt.

Regulatorische Entwicklungen auf Europäischer Ebene

Auf europäischer Ebene beschäftigt man sich schon seit einigen Jahren sehr intensiv mit der Regulierung von TV White Space. Die Cognitive Radio Standardization Initiative (CRS-i) soll hier als Koordinierungsstelle zur Begleitung und Beeinflussung der verschiedenen (internationalen) Standardisierungsgremien bzgl. TV White Space dienen.³⁷ CRS-i koordiniert außerdem innerhalb der EU verschiedene Pilotprojekte und Studien zu TV White Space und der lizenzfreien Nutzung von Spektrum.

Die Ergebnisse der Piloten und der Arbeit der CRS-i unterstützen wiederum das Europäische Institut für Telekommunikationsnormen (ETSI), das als zentrales europäisches Standardisierungsinstitut die technischen Anforderungen spezifiziert. Das Endprodukt sind dann harmonisierte Normen, die europaweite Gültigkeit besitzen, um die langfristige Entwicklung des europäischen Binnenmarktes voranzutreiben. In Bezug auf die lizenzfreie Nutzung von TV White Space wäre hier der ETSI EN 301 598 Standard „White Space Devices (WSD); Wireless Access Systems operating in the 470 MHz to 790 MHz TV broadcast band“ zu nennen.³⁸ Weiterhin stützt sich diese harmonisierte Norm zum einen auf die Ergebnisse der Reports 159^{vi}, 185^{vii} und 186^{viii} des Electronic Communications Committees (ECC)

vi Report 159: Technical and operational requirements for the possible operation of cognitive radio systems in the 'white space' of the frequency band 470-790MHz

vii Report 185: Further definition of technical and operational requirements for the operation of white space devices in the band 470-790 MHz

viii Report 186: Technical and operational requirements for the operation of white space devices under geo-location approach

der Europäischen Konferenz der Verwaltungen für Post und Telekommunikation (CEPT). Zum anderen fließen die Ergebnisse aus der ETSI-Arbeitsgruppe „Reconfigurable Radio Systems“ (RRS 01)³⁹ über verschiedene Berichte^x in die Ausarbeitung der harmonisierten Norm ETSI EN 301 598 ein.

Seine erste Anwendung findet diese harmonisierte Norm bei den Ofcom Piloten in Großbritannien^x. Deren Ergebnisse und die daraus gewonnenen Erkenntnisse werden wiederum genutzt, um den Standard weiterzuentwickeln. Auf der Website des Electronic Communications Committees⁴⁰ lässt sich außerdem eine Liste der bisherigen europäischen Pilotprojekte und technischen Studien zum Thema Cognitive Radio Systems und TV White Space finden.

Primäre gegenüber tertiärer Nutzung

Wie eingangs erwähnt, könnte Frequenzspektrum zur lizenzfreien Nutzung auf unterschiedliche Arten zugewiesen werden: primär oder tertiär. Die 2.4GHz- und 5GHz-Bänder, in denen schon seit vielen Jahren Wifi-Geräten operieren, sind z.B. primär zur lizenzfreien Nutzung freigegeben. In Analogie hierzu könnte ein bestimmter Frequenzbereich unterhalb von 1GHz exklusiv zur Verfügung gestellt werden. Der Vorteil dieser Art der Zuweisung bzw. Regulierung ist die geringe Komplexität für Endgeräte. Ein Nachteil wäre, dass es sich wieder um eine statische Zuweisung von Spektrum handelt und aufgrund des großen Interesses am Spektrum unterhalb von 1GHz voraussichtlich nur ein sehr schmaler Frequenzbereich von 20-40MHz der lizenzfreien Nutzung primär zugewiesen werden würde. Demgegenüber steht die tertiäre Nutzung, bei der nur kommuniziert werden darf, wenn weder primäre (Rundfunk) noch sekundäre (PMSE) Nutzer gestört werden. Diese Art der Regulierung wird international zumindest bisher durch die Vereinigten Staaten, Großbritannien und Singapur favorisiert. Eine tertiäre Zuweisung setzt jedoch voraus, dass bekannt ist, ob und in welchem Umfang zu einer bestimmten Zeit an einem bestimmten Ort primäre oder sekundäre Nutzer ein Frequenzband belegen. Informationen über das Umfeld und die Kommunikationsbedingungen erhält das Wifi-Gerät über sog. Geolocation-Datenbanken. So kann potenziell ein wesentlich größerer Frequenzbereich zur tertiären Nutzung freigegeben werden (im Falle von Singapur z.B. 180MHz). Allerdings wird in Ballungsgebieten davon nur sehr wenig bis gar nichts für Wifi-Geräte zur Verfügung stehen – in ländlichen Regionen dafür umso mehr. Durch die Abhängigkeit von der Geolocation-Datenbank könnten Endgeräte außerdem nicht direkt untereinander kommunizieren, wie dies beim Mesh-Networking der Fall ist.

Eine Primärzuweisung von Frequenzspektrum unterhalb von 1GHz zur lizenzfreien Nutzung wäre wünschenswert, da es die homogenste Erweiterung des Frequenzspektrums für Wifi-Geräte darstellen würde.

Technische Gerätestandards

Wifi ist ein eingetragener Markenname der Wifi Alliance⁴¹ und bezeichnet letztlich alle Geräte, die den IEEE 802.11 Standard des Institute of Electrical and Electronics Engineers⁴² zur funkgestützten Kommunikation benutzen. Der 802.11 Standard wird laufend weiterentwickelt und ist zurzeit für das 2.4GHz-, 5GHz- und 60GHz-Band spezifiziert. Heutzutage finden sich die verschiedenen Versionen des 802.11 Standards in praktisch jedem modernen Kommunikationsgerät – ganz gleich, ob Tablet, Smartphone oder Laptop. Um auch die Frequenzen von TV White Space nutzen zu können, wurde der 802.11af entwickelt.⁴³ So hat MediaTek, einer der größten Hersteller von Funkmodulen, eine Serienfertigung von entsprechenden 802.11af-Modulen für Ende 2014 angekündigt.⁴⁴ Dies schafft die

^{ix} TS 103 143 „System Architecture for WSD GLDBs“ und TS 103 145 „System Architecture for TVWS use“

^x Die britische Medienaufsichtsbehörde Office of Communications (Ofcom) veröffentlichte schon 2009 ein Diskussionspapier zu TV White Space und führt seit 2013 Piloten in Großbritannien durch. Ziel dabei ist es, internationale technische Standards (z.B. 802.11af oder 802.22) und europäische regulatorische Rahmenwerke, wie ETSI EN 301 598, zu überprüfen und anzupassen. Neben den verschiedenen Geolocation-Datenbanken von insgesamt neun Anbietern wird die Pilotphase außerdem genutzt, um Interferenzen zwischen TV White Space Geräten und PMSE-Systemen bzw. DVB-T Empfang zu untersuchen.

Voraussetzung dafür, dass zukünftige Laptops, Tablets und Smartphones direkt über TV White Space kommunizieren können.

Neben dem IEEE 802.11af WLAN-Standard gibt es noch den IEEE 802.22 WRAN-Standard⁴⁵ (Wireless Regional Area Network), der vor allem für stärkere, stationäre Anlagen ausgelegt ist. Beide Standards werden in vielen der zuvor erwähnten Piloten eingesetzt und stetig weiterentwickelt. Anfang 2014 führte das japanische National Institute of Information and Communications Technology (NICT) einen Test beider Standards durch, bei dem eine Distanz von 12.7 km erfolgreich bei einem gleichzeitigen Datendurchsatz von 5Mbps überbrückt wurde.⁴⁶ Hersteller kommerzieller Geräte für den 802.11af bzw. 802.22 Standard sind z.B. Adaptrum, Aviacomm und Carlson Wireless.⁴⁷

Speziell für M2M-Kommunikation wurde der offene Weightless Standard entwickelt.⁴⁸ Weightless fokussiert auf geringe Herstellungskosten (\$2 pro Modul), geringen Energiebedarf und somit Batterielaufzeiten von mehreren Jahren, kleine Datenpakete (<50Byte) und Robustheit gegenüber hoher Latenz.⁴⁹ Das britische Unternehmen Neul setzt den Weightless Standard bei den verschiedenen erwähnten Piloten zu Smart Cities in Großbritannien ein.⁵⁰ Auch dieser wird von einem Konsortium (Special Interest Group) ständig weiterentwickelt.

Datenbanken und Minderung von Störsignalen

Die deutlich besseren Ausbreitungseigenschaften von Funkwellen im Frequenzbereich unterhalb von 1GHz und die damit einhergehende höhere Reichweite von White Space Geräten bedeutet ebenso, dass die benutzten Frequenzkanäle in einem größeren Gebiet nicht wiederverwendet werden können. Dieses Gebiet, in dem ein Frequenzkanal durch ein White Space Gerät „belegt“ ist, ist verglichen mit dem 2.4GHz- oder 5GHz-Band größer. Daher muss beim Einsatz von White Space Geräten besonderer Wert auf einen störungsfreien Betrieb gelegt werden. Dies kann auf verschiedene Arten passieren:

Wie im vorigen Unterkapitel erklärt, sind die IEEE 802.11 Gerätestandards auf einen robusten Umgang mit Störsignalen ausgelegt. Techniken, die Interferenzen zu minimieren, sind z.B. das dynamische Anpassen der Sendeleistung oder „Listen-before-Talk“ Mechanismen. So kamen Wissenschaftler des Karlsruher Instituts für Technologie zum Ergebnis, dass auch im Bereich unterhalb von 1GHz ein störungsfreier Betrieb von Wifi-Geräten möglich wäre – vorausgesetzt, es werden sowohl auf Protokollebene als auch seitens der regulatorischen Rahmenbedingungen entsprechende Vorkehrungen getroffen.⁵¹

Tools against congestion could be based on mandatory stochastic channel back-off or, if multiple users are present, on adaptive power and bandwidth control.⁵²

Weiterhin ist eine White Space-Anbindung jedes Endgerätes nicht immer notwendig. In einigen der vorgestellten Pilotprojekte wurde mittels White Space lediglich eine Punkt-zu-Punkt Verbindung mittels Richtfunk aufgebaut. So wird ein Schulgebäude, das mehrere Kilometer entfernt ist, mittels White Space an das Internet angeschlossen. Die einzelnen Endgeräte in der Schule (Laptops, Smartphones, etc.) nutzen weiterhin Wifi via 2.4GHz und 5GHz. Gerade in Verbindung mit einer dynamischen Zuweisung des Spektrums (tertiäre Nutzung) ergibt diese Art der „Punkt-zu-Punkt“-Anbindung sehr viel Sinn: In einem Industriegebiet wird für gewöhnlich ein großer Teil des DVB-T-Frequenzbereichs für White Space Geräte zur Verfügung stehen und somit hohe Übertragungsraten ermöglichen.

Ein weiteres zentrales Element, um einen störungsfreien Betrieb bei der dynamischen Zuweisung des Spektrums (tertiäre Nutzung) zu gewährleisten, sind Geolocation-Datenbanken. In den Datenbanken sind die Standorte und die technischen Daten der TV-Sender hinterlegt. Durch heuristische Verfahren wird so berechnet, wieviele und welche Frequenzbänder für sekundäre Nutzer an einem bestimmten Standort zur Verfügung stehen. Das TV White Space Gerät sendet an die Datenbank den eigenen Standort und erhält daraufhin Frequenzen, auf denen es mit einer bestimmten Signalstärke Daten senden bzw. empfangen darf. Betreiber dieser Geolocation Datenbanken sind meist private

Unternehmen, die von der nationalen Regulierungsbehörde eine Lizenz zum Betrieb einer solchen Datenbank erhalten haben. Zu den Datenbankbetreibern gehören u.a. Google⁵³, SpectrumBridge⁵⁴ und FairSpectrum.

Aufgrund ihrer zentralen Rolle fließt entsprechend viel Entwicklung in den Aufbau dieser Datenbanken. Bei den Ofcom Pilotprojekten in Großbritannien geht es daher vorrangig darum, die heuristischen Modelle und Parameter der Datenbanken zu verifizieren und entsprechend anzupassen. Essenzielle Fragen sind z.B. wie viel Schutzabstand zu PMSE-Anlagen – z.B. in Theatern oder Museen – eingehalten werden muss. Ebenso wird gemessen, wie stark unterschiedliche Gebäude Radiowellen durch ihre unterschiedliche Bausubstanz abdämpfen. Alle diese Informationen müssen vom Propagationsmodell der White Space Datenbank beachtet werden, um einen störungsfreien Betrieb für den primären (Rundfunk) und sekundären Nutzer (PMSE) sicherzustellen. Ganz offensichtlich spielen auch datenschutzrechtliche Aspekte eine große Rolle, da jedes Gerät seine GPS-Koordinaten ständig mit der Datenbank abgleichen muss. Bei der Entwicklung kann der Fokus daher nicht allein auf einem störungsfreien Betrieb liegen, sondern muss auch den Schutz der Privatsphäre miteinbeziehen.

Da bisher noch kein einheitliches Protokoll zur Abfrage von WSDBs (White Space Databases) entwickelt wurde, kooperieren bisher Anbieter von Wifi-Modulen nur mit bestimmten Datenbanken. Langfristig wird sich hier jedoch ein Standard durchsetzen. Ein solcher wird zurzeit durch die Internet Engineering Task Force (IETF) mit „PAWS“ (Protocol to Access WS databases) entwickelt, um den Zugriff von WSDBs auf Geolocation Datenbanken zu standardisieren und Interoperabilität zu gewährleisten.⁵⁵

Regulatorische Realitäten

Die erwähnten technischen Standards und regulatorischen Initiativen zeigen, dass es sich bei TV White Space nicht (mehr) um ein Experiment handelt. In vielen Ländern ist die alltägliche Nutzung dieser Technologie bereits Realität. So hat sich Singapur im Juni 2014 dazu entschieden, 180MHz des DVB-T Frequenzspektrums für die nachrangige, opportunistische Nutzung durch TV White Space Geräte freizugeben.⁵⁶ Die US-amerikanische Regulierungsbehörde FCC hat sogar verkündet, dass 20-34MHz an Spektrum bei der nächsten Umstrukturierung des DVB-T Bandes 2015 unlizenziiert bleiben könnten.⁵⁷ Dies würde bedeuten, dass es keinen primären Nutzer mehr für diese Bänder gäbe und sie landesweit für entsprechende Wifi-Geräte zugänglich wären.

Es bleibt festzuhalten, dass die technischen Standards stetig weiterentwickelt werden und sich schon in kommerziellen Anwendungen bewährt haben. Des Weiteren erkennen Regulatoren auf der ganzen Welt die gesellschaftlichen und ökonomischen Potenziale von TV White Space Technik und arbeiten an Regelwerken, um den störungsfreien Betrieb von TV White Space Geräten mit anderer Funktechnik zu gewährleisten. Daher ist gerade in Bezug auf den Bericht der High Level Working Group der Europäischen Kommission⁵⁸ zur Zukunft des UHF-Bandes (Frequenzbereich von 470MHz-694MHz) eine ernsthafte Auseinandersetzung mit den Potenzialen von TV White Space Geräten auch in Deutschland dringend geboten. Der Vorsitzende der High Level Working Group, Pascal Lamy, schlägt eine Festbeschreibung des Spektrums zum digitalen, terrestrischen Fernsehen als primären Nutzer bis 2030 mit einer Marktevaluierung im Jahr 2025 vor. Dies würde im Umkehrschluss bedeuten, dass es bis 2030 weiterhin ungenutzte Fernsehbander gäbe, die man effektiver nutzen könnte. 15 Jahre sind mehr als genug Zeit, um die Potenziale von TV White Space Geräten näher zu beleuchten, durch Entwicklung robuster Geolocation-Datenbanken sicherzustellen, dass PMSE-System nicht beeinträchtigt werden und der Gesellschaft dadurch einen freien Zugang zum wichtigen Spektrum unterhalb von 1GHz zu ermöglichen. Auf regulatorischer Ebene sollte dabei immer die Frage im Mittelpunkt stehen, wie man das vorhandene Frequenzspektrum mit dem größten Nutzen für die Gesellschaft einsetzen kann. Denn zunächst ist Frequenzspektrum ein Gemeingut, dessen Verwendung sich vorrangig nach den Bedürfnissen der Gesellschaft richten sollte. Gerade deswegen ist es so wichtig Frequenzbereiche für die unlizenziierte Nutzung freizulassen. Frei zugängliches Frequenzspektrum ermöglicht einer Vielzahl von Innovatoren und gesellschaftlichen Akteuren, gemeinnützige Anwendungen für diese Ressource zu entwickeln.

DEBATTE IN DEUTSCHLAND

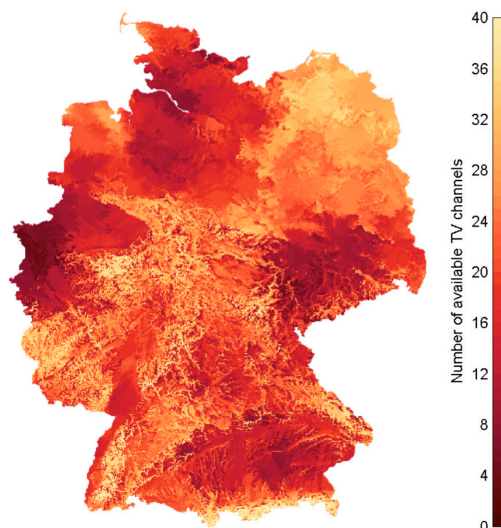
Die vorherigen Kapitel haben gezeigt, wie viel Potenzial in der Nutzung von TV White Space Geräten steckt. International und auf Ebene der EU hat man diese Chancen erkannt und sowohl technisch als auch regulatorisch an TV White Space Geräten gearbeitet – teilweise mit den ersten handfesten kommerziellen Ergebnissen. Im folgenden Kapitel sollen nun die regulatorische Debatte und der technische Stand in Deutschland beleuchtet werden.

Freie TV Kanäle und die Digitale Dividende

Je nachdem, wo man sich in Deutschland befindet, gibt es eine unterschiedliche Menge an Fernsehkanälen, die unbespielt sind und deren Frequenzspektrum somit ungenutzt ist. Wie bereits erläutert, wird dieses Frequenzspektrum als TV White Space bezeichnet. Abbildung 4 zeigt die Anzahl freier TV-Kanäle im DVB-T-Frequenzspektrum in Deutschland nach dem Longley-Rice Propagationsmodell

und dem Regulierungsmodell der FCC.⁵⁹ So ist die DVB-T-Nutzung in den einzelnen Bundesländern sehr heterogen. Im Saarland nutzen nur etwa 3% der TV-Haushalte ein DVB-T-Gerät. Dagegen nutzen in Berlin, Bremen und Schleswig-Holstein deutlich über 20% der TV-Haushalte DVB-T.⁶⁰ Laut des im Auftrag des Bundeswirtschaftsministeriums erstellten Abschlussberichtes der TU Braunschweig liegt die DVB-T-Nutzung nur dann über 20%, wenn entsprechend guter Empfang von sowohl öffentlich-rechtlichen als auch privaten Sendern gewährleistet ist. Durchschnittlich sind in Deutschland knapp 20 TV-Kanäle unbenutzt, wobei dies – wie die Karte sehr gut verdeutlicht – örtlich sehr stark variiert. Die maximale Anzahl an Kanälen beträgt 40, da jeder Kanal 8MHz benötigt und das digitale terrestrische Fernsehen ein Frequenzspektrum von 320MHz (470MHz-790MHz) besitzt.

Abbildung 4: Freie DVB-T Kanäle in Deutschland



Quelle: Van de Beek, Jaap et al, 2011, "UHF white space in Europe – a quantitative study into the potential of the 470–790 MHz band"

Abbildung 5 zeigt exemplarisch einen Teil Mecklenburg-Vorpommerns und Brandenburgs, um zu verdeutlichen, wie viele DVB-T-Kanäle (und somit wie viel ungenutztes Frequenzspektrum) lokal zur Verfügung stünden. Wenn man in den nord-östlichen Gebieten von etwa 30 freien TV-Kanälen ausgeht, entspricht dies einer lokal ungenutzten Frequenzbandbreite von 240MHz.

Der Frequenzbereich zur terrestrischen Rundfunkübertragung erstreckte sich ehemals von 470MHz bis 862MHz. Durch die Umstellung von analoger auf digitale Übertragung (DVB-T) der Fernsehsender konnte das vorhandene Frequenzspektrum wesentlich effizienter genutzt werden. Da nun weniger Spektrum je Programm benötigt wurde, konnten deutlich mehr Programme übertragen werden. Da es schon lange Alternativen zum terrestrischen Fernsehempfang gibt (Satellit, Kabel, IPTV) und relativ wenig Sender den Frequenzblock von 790MHz-862MHz (auch als „800MHz-Band“ bezeichnet) nutzten, kam es so zur Umstrukturierung dieses Frequenzbereichs. Im ersten Schritt beschloss man auf internationaler Ebene, das 800MHz-Band primär dem Mobilfunk zuzuweisen. In Deutschland und vielen anderen Ländern wurde das 800MHz-Band infolgedessen an die Mobilfunkanbieter versteigert. Dieser Prozess wird als „Digitale Dividende I“ bezeichnet.

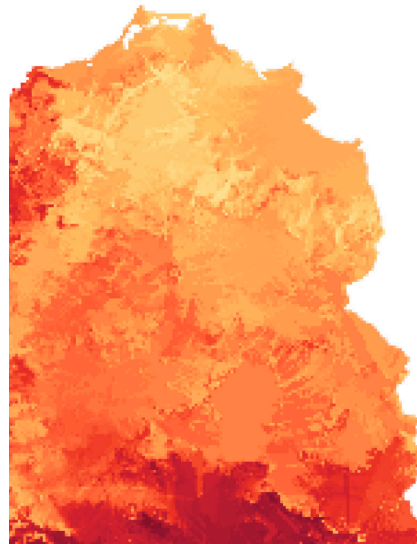
In Deutschland versteigerte die Bundesnetzagentur 2010 entsprechende Lizenzen für das 800MHz-Band an Mobilfunkunternehmen für fast 3.5 Milliarden Euro. Bemerkenswert ist, dass deutlich mehr Lizenzen für andere Frequenzbänder (1.8GHz, 2GHz und 2.6GHz) versteigert wurden, diese jedoch mit lediglich einer Milliarde Euro wesentlich weniger Auktionserlöse erzielten.⁶¹ Dies unterstreicht nochmals, wie wertvoll der Frequenzbereich unterhalb von 1GHz aufgrund der guten Ausbreitungseigenschaften ist.

Auf internationaler Ebene wird seit der Weltfunkkonferenz 2012 auch über die „Digitale Dividende II“ gesprochen: die Umstrukturierung des 700MHz-Bandes. In Deutschland spricht die Bundesregierung sich in der „Digitalen Agenda“ sehr klar für die Nutzung des 700 MHz-Bandes durch den Mobilfunk und den Ausbau von LTE bzw. LTE-Advanced aus.⁶² Im Zuge des „Projekt 2016“⁶³ hat die Bundesnetzagentur 2011 mit einem Konsultationsverfahren begonnen, um Meinungen zur zukünftigen effizienten Frequenznutzung einzuholen. Im aktuellen Konsultationsentwurf⁶⁴ wird ebenso empfohlen, das 700MHz-Band dem Mobilfunk im Zuge einer „Digitalen Dividende II“ zuzuschreiben. Auf regulatorischer Ebene scheint es in Deutschland daher relativ absehbar zu sein, dass exklusive Lizenzen für das 700MHz-Band als „Digitale Dividende II“ wieder an die drei großen Mobilfunkunternehmen versteigert werden.

Im Gegensatz zum 800MHz-Band und der „Digitalen Dividende I“, wird das 700MHz-Band jedoch noch wesentlich stärker durch Fernsehen und Rundfunk genutzt. Ebenso ist dieses Band im tagtäglichen Einsatz durch PMSE-Geräte. Eine „Räumung“ und die darauf folgende Neuzuteilung des 700MHz-Bandes (Digitalen Dividende II) ist keineswegs trivial. Durch die Einführung des neuen, deutlich effizienteren DVB-T2 Standards soll es zumindest für die Fernsehsender einfacher werden, das 700MHz-Band zu räumen. Im Zuge dieser Entwicklungen haben sich mit ARD und ZDF zumindest die öffentlich-rechtlichen Rundfunksender für eine Umstellung auf DVB-T2 ausgesprochen, um langfristig nicht mehr auf das 700MHz-Band angewiesen zu sein.⁶⁵

Bei den regulatorischen Überlegungen zur Neuzuteilung des DVB-T-Spektrums spielen in Deutschland unlicenzierte Wifi-Geräte jedoch keine Rolle. Es ist daher interessant, dass zwar deutsche Unternehmen und Institutionen auf internationaler und europäischer Ebene aktiv in verschiedenen TV White Space Piloten und Studien involviert waren und sind. Dennoch hat es das Thema aber offensichtlich noch nicht in die politische und regulatorische Debatte geschafft. So waren Rohde & Schwarz und das Institut für Rundfunktechnik am COGEU^{xi} Projekt beteiligt, das 2010 bis 2012 einige technische Studien zu TV White Space durchgeführt hatte – u.a. in Deutschland.⁶⁶ Am europäischen QUASAR Projekt^{xii} war außerdem die RWTH Aachen beteiligt.⁶⁷ Hier war das Forschungsziel, die Auswirkungen der opportunistischen, sekundären Nutzung von Spektrum auf den primären Nutzer zu identifizieren und messbar zu machen. Der deutsche PMSE-Equipment Hersteller Sennheiser beteiligte sich außerdem an einem der Piloten in Cambridge, Großbritannien, zur Untersuchung von Störsignalen durch TV White Space Geräte auf Funkmikrofone und -kopfhörer.⁶⁸ Und von 2011 bis 2013 hat ein vom Bundeswirtschaftsministerium mit 7.5 Mio Euro finanziertes Projekt⁶⁹ die Möglichkeiten intelligenter PMSE-

Abbildung 5:
Ungenutztes Frequenzspektrum



Quelle: ibid.

xi Cognitive radio systems for efficient sharing of TV white Space in European context

xii Quantitative Assessment of Secondary spectrum access

Geräte untersucht, die auf ganz ähnliche Techniken wie Wifi-Geräte über TV White Space setzen.^{xiii} Keine der erwähnten Studien führte zu dem Ergebnis, dass Wifi über TV White Space nicht möglich sei oder andere Nutzer störe.

Es ist eine klare Diskrepanz zwischen der Debatte über TV White Space in Deutschland und auf internationaler Ebene festzustellen. Auf der einen Seite erkennen immer mehr Länder das Potenzial des unlizenzierten Zugangs zu Fernsehfrequenzen, um dieses wertvolle Spektrum besser auszunutzen als es bisher durch strikte Lizenzvergabe der Fall ist. Innerhalb verhältnismäßig kurzer Zeit wurden internationale technische Standards entwickelt und auch auf europäischer Ebene wird dem Thema erhebliche Beachtung durch regulatorische Gremien und Institutionen geschenkt. Gleichzeitig scheint sich in Deutschland, trotz der offensichtlichen Anwendungsszenarien, immer noch wenig zu tun.

ANWENDUNGSSZENARIOEN IN DEUTSCHLAND

Zwei der zentralen Themen der Digitalen Agenda der Bundesregierung sind der Breitbandausbau – gerade in ländlichen Regionen – und Industrie 4.0. Beide Themen sind direkt mit der lizenzfreien Nutzung von TV White Space verbunden und Piloten in diesen Bereichen wurden schon erfolgreich in anderen Ländern durchgeführt. Im Laufe der letzten Kapitel wurde deutlich, dass bei einer Pilotphase in Deutschland nicht „bei Null“ angefangen werden müsste. Die entsprechende Hardware ist mittlerweile kommerziell verfügbar. Es gibt verschiedene Anbieter von White Space-Datenbanken, die in Großbritannien, den Vereinigten Staaten, Japan oder Singapur erfolgreich operieren und man kann auf einen reichhaltigen Erfahrungsschatz der britischen Regulierungsbehörde Ofcom und der EU zurückgreifen.

Gleichwohl gibt es in Deutschland einige Besonderheiten zu beachten. Zum einen hat Deutschland wesentlich mehr Nachbarländer als die Vereinigten Staaten oder gar Großbritannien. In manchen der Nachbarländer spielt DVB-T eine wichtigere Rolle, d.h. es gibt weniger freie Kanäle und es kann leichter zu Störungen kommen. Gleichzeitig bietet dies die Chance den harmonisierten europäischen Standard (ETSI EN 301 598) weiterzuentwickeln. Zusätzlich ist zu beachten, dass es in Deutschland selbst durchschnittlich weniger TV White Space gibt und PMSE-Geräte eine größere Rolle als z.B. in den Vereinigten Staaten spielen. Daher ist die Entwicklung und Verifizierung von Geolocation-Datenbanken besonders wichtig. Fehler bei der Datenbank (Frequenzbänder werden als „frei“ deklariert, obwohl sie es gar nicht sind) können potenziell schwerwiegendere Folgen, wenn hierdurch z.B. der Einsatz von PMSE-Geräten gestört wird. Potenzielle Fehlerquellen können nur mit Hilfe einer ausgiebigen Pilotphase identifiziert und beseitigt werden. Im Folgenden werden einige potenzielle Piloten und deren Nutzen vorgestellt.

Internet in öffentlichen Räumen und ländlichen Regionen

Wifi über TV White Space ermöglicht es öffentlichen Einrichtungen, einen Internetzugang für die Allgemeinheit wesentlich kostengünstiger (da mit deutlich weniger Hardware-Einsatz) zur Verfügung zu stellen. Nicht nur Museen, Bibliotheken und Schulen, sondern auch öffentliche Plätze und Behörden könnten so flächendeckender mit Internet versorgt werden. Dabei ist es wichtig zu verstehen, dass Wifi über TV White Space eine Basisversorgung ermöglicht und nicht in Konkurrenz zu Hochgeschwindigkeitsnetzen, wie LTE-Advanced oder 5G steht. Der Schritt von „keinem Internet“ zu 5 MBit/s ist zunächst jedoch wesentlich wichtiger, als der von 5 MBit/s zu 50 MBit/s. Wifi per TV White Space könnte hier eine „WLAN-Grundversorgung“ sicherstellen.

^{xiii} Im „Cognitive Program Making and Special Events“ Projekt wurden kognitive bzw. intelligente Verfahren erforscht, um eine effektivere Nutzung des Frequenzspektrums durch PMSE-Geräte zu erzielen. Es entstand nachdem mit der „Digitalen Dividende I“ ein wichtiger Teil des Spektrums für PMSE nicht mehr zur Verfügung stand. Auch hier wurden zentrale Datenbanken und „Spectrum Sensing“ eingesetzt – ganz ähnlich zu Wifi über TV White Space.

Die Breitbandversorgung in Deutschland ist grundsätzlich relativ gut. Es gibt nur wenige ländliche Gebiete, die gar nicht angeschlossen sind. Studien haben jedoch gezeigt, dass gerade diese Gebiete durch kleine, unabhängige Wireless Service Internet Provider, die Wifi über TV White Space-Technologie nutzen, versorgt werden könnten und dies vor allem kostengünstiger als durch LTE, Glasfaser oder Satellit.⁷⁰ So können per Richtfunk schon heute mittels Wifi im 5GHz-Band zwei stationäre Punkte über etliche Kilometer hinweg (bei Sichtverbindung) verbunden werden.⁷¹ Würde man ähnliche Richtfunktechnik im Frequenzbereich unterhalb von 1GHz einsetzen, könnten bei geringerem Energieaufwand deutlich größere Distanzen überwunden werden – ohne die Notwendigkeit einer Sichtverbindung zwischen beiden Punkten. So könnten entlegene, kleinere Siedlungen per Richtfunk (Punkt-zu-Punkt Verbindung) über TV White Space ans Internet angebunden werden. Die Endgeräte (Computer, Tablets, etc.) in der Siedlung würden dann, wie bisher, über 2.4GHz- und 5GHz-Wifi ans Internet angeschlossen werden.

Da abgelegene, ländliche Gebiete ebenso nur in geringem Maße mit DVB-T versorgt werden und davon auszugehen ist, dass auch PMSE hier nur eine untergeordnete Rolle spielt, gibt es viele freie DVB-T Frequenzkanäle. Dies erhöht die Bandbreite, die über TV White Space zur Verfügung stünde.

Das Zulassen unlizenzierter Geräte im TV White Space birgt jedoch nicht nur Potenziale für die Internetversorgung öffentlicher Räume und ländlicher Regionen. Die Internetversorgung der Schiffe in Häfen geschieht zurzeit via Satellit für jedes einzelne Schiff. Dies ist mit hohen Kosten verbunden und daher nicht sehr wirtschaftlich. Bereits vor zwei Jahren begann man in Singapur in einem Pilotprojekt den Hafen über TV White Space mit Internet zu versorgen.⁷² Das gleiche wäre natürlich auch in deutschen Häfen wie Hamburg möglich, immerhin einer der größten Containerhäfen weltweit.

Industrie 4.0 und das Internet der Dinge

Das Internet der Dinge basiert auf Sensornetzwerken, die ressourceneffizient hergestellt und betrieben werden können. Effiziente Funkverbindungen sind eine wichtige Komponente in dieser Entwicklung. Zurzeit können Funkverbindungen über kurze Distanzen energieeffizient und günstig per Wifi oder wesentlich teurer und aufwändiger per Mobilfunk über mittlere und große Strecken aufgebaut werden. Wifi über TV White Space bietet hier, wie zuvor bereits dargestellt, interessante, neue Möglichkeiten. In Bezug auf Kosten, Energie und Frequenzspektrum ermöglicht Wifi über TV White Space eine wesentlich effizientere Maschine-zu-Maschine Kommunikation über mittlere Distanzen als dies bisher mit Mobilfunktechnologie möglich ist und schafft somit die Voraussetzungen für den wirtschaftlichen Betrieb großflächiger, verteilter Sensornetzwerke.

- Wie man am Beispiel von Milton Keynes sieht, sind die Möglichkeiten bezüglich Smart Cities praktisch unbegrenzt. Gerade Großstädte wie Berlin, München oder Frankfurt könnten öffentliche Parkplätze mit Sensoren ausstatten und die Daten öffentlich zugänglich machen, um Fahrer direkt zum nächsten Parkplatz zu leiten. Mülleimer könnten signalisieren, wann sie geleert werden müssen. Sensoren zur Messung der Luftqualitäten könnten flächendeckend eingesetzt werden.
- Wie beim Oxford Flood Network könnten verteilte Sensornetzwerke zur Wasserstandsmessung eingesetzt werden, um ein genaueres Bild von hochwassergefährdeten Flüssen wie Elbe, Donau, Spree und Rhein zu erhalten.
- Wegen der guten Ausbreitungseigenschaften und Ressourceneffizienz eröffnet Wifi über TV White Space auch neue Möglichkeiten für die Car-to-Car Kommunikation und intelligentes Verkehrsmanagement. Radiowellen dieses Frequenzbereichs können Schallschutzwände auf Autobahnen durchdringen und lassen so eine bessere Beobachtung des Verkehrs zu. Auch Fahrzeuge, die weiter voneinander entfernt sind, könnten miteinander kommunizieren. Auch hier besteht der Nutzen primär darin, an mehr und bessere Daten zu gelangen.

- Smart Factories und Smart Meter profitieren ebenso von Wifi über TV White Space und könnten zu unzähligen interessanten Projekten in Deutschland führen. Intelligentes Lagermanagement und Produktionssteuerung in großen Fabriken, wie z.B. dem Volkswagen Werk in Wolfsburg, sind geradezu prädestiniert für den Einsatz von Wifi-Geräten, die das Fernsichtspektrum ausnutzen können. Ebenso könnte die Reichweite von Smart Metern deutlich erhöht werden.

Katastrophenhilfe

Während des schweren Elbe-Hochwassers 2002 fielen durch die heftigen Überflutungen im Raum Chemnitz und Dresden auch Teile der Kommunikationsnetze aus.⁷³ Wie einige im zweiten Kapitel beschriebene Pilotprojekte gezeigt haben, böte Wifi über TV White Space hier die Möglichkeit, bei schweren Naturkatastrophen und dem dadurch bedingten Ausfall von Mobilfunknetzen der Bevölkerung sehr schnell wieder eine Kommunikationsinfrastruktur zur Verfügung zu stellen. Mobile Anlagen in Fahrzeugen des Technischen Hilfswerks, der Feuerwehr oder des Deutschen Roten Kreuzes könnten in betroffenen Regionen dezentrale Ad-Hoc Funknetzwerke errichten. Dies ist besonders wichtig, da extreme Wetterereignisse, wie Sturmfluten oder Orkane laut Experten in den kommenden 30 Jahren weiter zunehmen werden.⁷⁴

FAZIT

Das Öffnen des Frequenzbereichs des digitalen, terrestrischen Fernsehens für die nicht-lizenzierte Nutzung durch Wifi-Geräte ist keineswegs eine neue Idee. Entsprechende Überlegungen sind u.a. in den Vereinigten Staaten über 10 Jahre alt. Die eingesetzte Technik hat mittlerweile kommerziellen Status erreicht und immer mehr nationale Gremien setzen sich mit entsprechenden Regulierungen auseinander. So hat sich neben den Vereinigten Staaten und Singapur auch Großbritannien nach einer mehrjährigen Testphase dazu entschieden, Teile des DVB-T-Spektrums zur lizenzfreien Nutzung freizugeben.⁷⁵ Dies passiert nicht grundlos. Der terrestrische Rundfunk hat vor einigen Jahrzehnten einen sehr wertvollen Frequenzbereich erhalten – damals aus gutem Grund. Würde man heute auf einem „weißen Blatt“ die Frequenzvergabe von Grund auf neu planen können, würde man den Frequenzbereich von 470MHz-790MHz vielleicht nicht mehr vollständig und primär dem terrestrischen Fernsehen zuweisen. Das Nutzungsverhalten und die Nachfrage der Bevölkerung ändern sich, ebenso wie die Technik. Gerade weil dieser Frequenzbereich so leistungsfähig ist, muss man versuchen, ihn so gut wie möglich auszunutzen. Aus diesem Grund können PMSE-Geräte schon seit einiger Zeit dieses Spektrum mitbenutzen. Warum also nicht auch andere Geräte?

Bei der Öffnung des DVB-T-Frequenzbereichs zur lizenzfreien Nutzung können grundsätzlich zwei Strategien mit unterschiedlichen Schwerpunkten verfolgt werden. Zum Einen gibt es die Möglichkeit, einen bestimmten Frequenzbereich exklusiv zur lizenzfreien Nutzung freizugeben, analog zu den 2.4GHz- und 5GHz-Bändern. Konkret würde sich hier die geplante 700MHz-Duplexlücke von 733MHz – 758MHz anbieten.

Zum Anderen gibt es die Strategie der nachrangigen/tertiären Nutzung. Im verbleibenden DVB-T-Frequenzbereich von 470MHz-690MHz könnten Wifi-Geräte operieren, solange sie weder Rundfunk noch PMSE-Geräte stören. Dieser Ansatz wird international am stärksten verfolgt und hierzu wurden (und werden) ausführliche Tests durch die britische Regulierungsbehörde Ofcom durchgeführt.

Der Vorteil dieser Frequenzregulierung wäre, dass Wifi-Geräten potenziell mehr Bandbreite zur Verfügung stünde. Gerade in ländlichen Räumen und Industriegebieten gibt es weder ein großes DVB-T-Angebot noch häufigen Einsatz von PMSE-Geräten. Dies würde Wifi-Geräten potenziell deutlich mehr Frequenzspektrum und somit höhere Übertragungsgeschwindigkeiten zur Verfügung stellen. Ein Nachteil dieser Art der Frequenzvergabe wäre, dass jedes Wifi-Gerät zunächst eine zentrale Datenbank abfragen muss, um einen lokal freien Frequenzkanal zugewiesen zu bekommen. Dadurch wird die Komplexität der Technik deutlich erhöht.

Die bisherigen Pilotprojekte und Anwendungen haben gezeigt, dass es ohne Probleme eine störungsfreie Koexistenz zwischen PMSE-Geräten und Wifi im TV White Space geben kann. Von zentraler Funktion sind hier robuste Datenbanken und vernünftige regulatorische Rahmenrichtlinien. An beidem wird auf internationaler und europäischer Ebene gearbeitet.

Dabei geht es nicht um eine Entscheidung zwischen Mobilfunk oder White Space bzw. der lizenzfreien Nutzung. Beide Technologien und die dahinterstehenden regulatorischen Ansätze sind wichtig und vor allem komplementär zu sehen. Ein lizenzfreier Zugang zu Teilen des Frequenzspektrums unterhalb von 1GHz kann als „WLAN-Grundversorgung“ betrachtet werden und bietet gerade in ländlichen Gebieten, die bisher mit Breitband unterversorgt sind, großes Potenzial. Bei der Umsetzung könnte Deutschland dabei auf die Erfahrung und das Wissen der Länder zurückgreifen, in denen Wifi über TV White Space schon länger erforscht und sogar schon erfolgreich eingesetzt wird.

Ganz gleich, für welche regulatorische Strategie man sich in Deutschland letztlich entscheiden würde, müsste man sich im Vorfeld zunächst intensiv mit Fragen des lizenzfreien Zugangs zu Teilen des UHF-Bandes auseinandersetzen. Von großer Bedeutung ist hier der Umgang mit Interferenzen, um einen störungsfreien Betrieb zu gewährleisten. Gerade mit Blick auf die beiden zentralen Themen der Digitalen Agenda der Bundesregierung, Breitbandausbau und Industrie 4.0, wäre es nur konsequent, wenn man sich auch ausführlich mit den Möglichkeiten und Potenzialen der Nutzung von TV White Space befasst. Wifi wurde zum absoluten Erfolg, obwohl es unter den widrigsten Bedingungen in sogenannten „Schrottbändern“, Frequenzbereiche, die am Ende von Vergabeprozessen aufgrund schlechter Ausbreitungseigenschaften übrig blieben, zum Einsatz kommt. Als fester Bestandteil unserer heutigen digitalen Kommunikationsinfrastruktur ist Wifi nicht mehr wegzudenken und transportiert mehr Daten als Mobilfunknetze. Warum also so eine volkswirtschaftlich wichtige Technologie nicht mit besserem Spektrum ausstatten?

APPENDIX: DER ERFOLG VON WIFI

Die Ursprünge des Wifi-Standards für WLAN-Netzwerke gehen auf eine Entscheidung der FCC aus dem Jahr 1985 zurück, Frequenzspektrum in den Bereichen 902-928 MHz, 2400-2483,5 MHz und 5725-5850 MHz für unlicenzierte Nutzung zur Verfügung zu stellen. Diese Frequenzbereiche wurden ursprünglich als „Schrottbänder“ („garbage bands“) bezeichnet, da man für sie, außer für den Betrieb von Mikrowellen, kaum Nutzen sah. Mit der Entwicklung von Wifi-Technologie wurde es allerdings möglich, mit vielen Geräten in diesen Frequenzbändern zu operieren und dabei Interferenzprobleme zu minimieren. Die ersten WLAN Netzwerke beruhten noch auf proprietären Technologien, die nicht mit den Geräten anderer Anbieter kompatibel waren. 1997 einigte man sich schließlich im Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE) auf den ersten Standard für Wifi-Technologie (802.11). Bereits 1999 brachte Apple den ersten Laptop mit integrierter Wifi-Technologie auf den Markt. 15 Jahre später sind 63% aller amerikanischen Haushalte mit einem Wifi-Netzwerk ausgestattet.⁷⁶

Mehrere amerikanische Studien leiten aus der Analyse der Entwicklung und Verbreitung der Wifi-Technologie Argumente für das Potenzial unlizenzierter Frequenznutzung ab.⁷⁷ Diese Studien sehen in der Wifi-Technologie einen zentralen Treiber hinter der Entwicklung und Verbreitung neuer mobiler Endgeräte wie Smartphones und Tablets. Die Erfolgsgeschichte der Wifi-Technologie bietet daher einen guten Einstieg zu einer breiteren Debatte über die Rolle und das Potenzial freier, unlizenzierter Frequenzen im Informations- und Kommunikationstechnologiesektor.

Verbreitung

Innerhalb weniger Jahre nach der Einigung auf den Wifi-Standard hat sich ein riesiger Markt für Wifi-Geräte entwickelt. So gab es bereits im Jahr 2004 über 2000 den Wifi-Standard nutzende Geräte, die sich millionenfach verkauften. Im Zeitraum 2010/2011 näherte sich die Zahl der verkauften Geräte bereits der Milliardengrenze. Wenn man davon ausgeht, dass diese Geräte im Durchschnitt zwei Jahre genutzt werden, so kommt man auf eine Zahl von 1,5 bis 2 Milliarden Wifi-Geräte, die zu dieser Zeit weltweit im Gebrauch waren. Nach Angaben der Wifi Alliance gibt es heutzutage weltweit bereits in 25% aller Haushalte Wifi und wurden 2013 insgesamt 2 Milliarden Geräte mit integrierter Wifi-Technologie verkauft.⁷⁸ In der Praxis lässt sich heutzutage zwischen der Nutzung von lizenzierten und unlizenzieren Frequenzbereichen bei der mobilen Datenübertragung kaum mehr unterscheiden. Schließlich wird mittlerweile kaum ein Smartphone ohne Wifi-Technologie ausgeliefert. Allein davon wurden im Jahr 2013 fast eine Milliarde verkauft.⁷⁹

Breitband und Wifi

Insbesondere die Möglichkeit, zu Hause oder im Büro Breitbandanschlüsse um ein drahtloses Netzwerk zu erweitern, sorgte anfänglich für die rasante Verbreitung der Wifi-Technologie. Der Verkauf von Wifi-Routern verzeichnete nach der Jahrtausendwende jährliche Wachstumsraten von 30%. Wifi-Fähigkeit wurde schnell zu einem Standard-Feature neuer mobiler Endgeräte. Die Kombination aus unlizenziertem Frequenzspektrum und Wifi-Technologie bildete auch ideale Voraussetzungen für die Verbreitung sogenannter Hot Spots, die in öffentlichen Räumen Wifi-Konnektivität anbieten. Vor allem Hotels, Cafés und Bars sahen in Hot Spots eine Möglichkeit, ihren Gästen einen zusätzlichen Service zu bieten. Universitäten, Büchereien und öffentliche Verwaltung sorgten ebenfalls für eine rasche Verbreitung von Wifi-Netzwerken außerhalb privater Häuser und Büros. Auch die großen Mobilfunkanbieter betreiben mittlerweile Hot Spots im großen Stil. So gab es Ende 2013 bereits über 6 Millionen Wifi-Hotspots weltweit.⁸⁰

Mobilfunk und Wifi: „Data Off-Loading“

Das unlicenzierte Frequenzmodell stellte bereits mobilen Zugang zum Internet her, als Datenübertragung über die lizenzierten Mobilfunkfrequenzen noch in den Anfängen steckte. Datenübertragung über lizenzierte Mobilfunkfrequenzen hat zwar in den letzten Jahren dramatisch zugenommen, aber

auch bei dieser Entwicklung spielt der unlicenzierte Frequenzbereich eine wichtige Rolle. Denn ohne die Möglichkeit, auf mobile Datenübertragung über Wifi zurückzugreifen – eine Maßnahme die man gemeinhin als „Data Offloading“ bezeichnet – könnten die Mobilfunknetzwerke die Nachfrage nach mobiler Datenübertragung gar nicht bedienen. Mobilfunkanbieter haben daher bereits schon vor einigen Jahren begonnen, Wifi in ihre mobilen Breitbandstrategien zu integrieren. So plant die Deutsche Telekom, bis 2016 2,5 Millionen neue Wifi-Hotspots in Deutschland zu errichten.⁸¹ Dies soll in einer Kooperation mit dem Wifi-Anbieter Fon auf Basis des Modells erreicht werden, dass Nutzer ihre privaten Wifi-Netzwerke für alle anderen Kunden öffnen und dadurch selbst Zugang zum globalen Fon Wifi-Netzwerk erhalten. Laut einer Studie von Mobidia Technology und Informa beziehen Smartphone Nutzer ihre meisten Daten über Wifi- und nicht über Mobilfunknetzwerke.⁸² Bei Mobilfunkanbietern, die auf Data Offloading setzen, erreicht bereits bis zu 80% ihres Datenverkehrs die eigenen Netzwerke über Wifi-Zugänge.⁸³ Daran wird sich auch in Zukunft wenig ändern, denn die stetig steigende Nachfrage nach schnellerer mobiler Datenübertragung kann ohne Offloading über Wifi gar nicht befriedigt werden.

Die Data-Offloading Strategien unterstreichen daher auch das Argument, dass unlicenzierte und lizenzierte Frequenznutzung nicht miteinander konkurrieren, sondern vielmehr eine fruchtbare Symbiose bilden. Die unlicenzierte Nutzung von Frequenzen im DVB-T-Frequenzbereich würde einen wichtigen Beitrag zur Förderung von mobilem Breitband leisten. Aus dem Erfolg von WiFi in den höheren Frequenzbereichen lässt sich zudem schließen, dass dies nicht zu Lasten der Nutzung von Mobilfunkfrequenzen passieren würde, sondern Nachfrage und Nutzung von mobilem Breitband insgesamt fördere. Zusätzlich würde der unlicenzierte Frequenzbereich neue Innovationen im Zusammenhang mit den oben beschriebenen Nutzungsszenarien ermöglichen. Öffentliches und privates WLAN würde davon genauso profitieren wie die Möglichkeiten der drahtlosen Verbindung von Maschinen und Sensoren in den Bereichen Industrie 4.0 und Smart-Cities.

Wifi als Grundlage für Innovation

Innovation zu messen ist sehr schwierig. Die Einführung, Weiterentwicklung und Integration neuer technischer Standards wird oft als ein wichtiger Gradmesser für Innovation herangezogen. Basierend auf dem ursprünglichen 802.11 Protokoll wurden ein Vielzahl von Standards und technischer Anwendungsmöglichkeiten für verschiedene Frequenzbereiche und Anwendungen entwickelt.⁸⁴ Sie kommen in vielen Alltagsgegenständen wie Routern, Laptops, Tablets, Druckern, Telefonen, Kameras, digitalen Audiogeräten und Video-, Speicher-, und Spielgeräten zum Einsatz. Bei der Entwicklung neuer Anwendungsgebiete für digitale Technologien spielt Wifi nach wie vor eine entscheidende Rolle. Ob bei Smart Grids, mobilen Bezahlsystemen oder neuen Gesundheitsfunktionen – Konnektivität wird überwiegend über Wifi-Netzwerke hergestellt. So bietet der Wifi-Standard auch über 15 Jahre nach seiner Einführung eine wichtige Grundlage für innovative Technologien und Dienste und wird stetig weiterentwickelt.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Simulation der Leistungsfähigkeit.....7

Abbildung 2: Revplex White Space Mesh-Netzwerk.....9

Abbildung 3: Vergleich Datenverkehr Mobilfunk und Wifi.....11

Abbildung 4: Freie DVB-T Kanäle in Deutschland.....17

Abbildung 5: Ungenutztes Frequenzspektrum.....18

ENDNOTEN

1 Vaughan-Nichols, Steven J.: „What is ‚Super WiFi?“, Zdnet, 5. Februar 2013, <http://www.zdnet.com/what-is-super-wi-fi-7000010802/>, abgerufen 9. Januar 2015

2 „Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2013–2018,“ Cisco, abgerufen 1. Oktober 2014, http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white_paper_c11-520862.html

3 „IEEE 802.11ad,“ ITWissen, abgerufen 1. Oktober 2014, <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/IEEE-802DOT-11ad-802DOT-11ad.html>

4 Mecklenbräuer, Christoph und Gaigg, Peter: „Frequenzverteilungsuntersuchung der möglichen Flexibilisierung im 900/1800MHz Band“, TU Braunschweig, 2013, http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/OffentlicheNetze/Mobilfunk/GutachtenFrequenzverteilungsuntersuchungTUWien.pdf?__blob=publicationFile&v=1, abgerufen 9. Januar 2015

5 William Webb, 2013, „Dynamic White Space Spectrum Access“, S. 1

6 Siehe Frequenzplan der Bundesnetzagentur (Stand 13.02.2014), http://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/Grundlagen/Frequenzplan/frequenzplan-node.html, abgerufen 9. Januar 2015

7 Achtzehn, A. et al. 2015. „Feasibility of Secondary Networks: Analysis Methodology and Quantitative Study of Cellular and Wi-Fi-like TVWS Deployments“. <http://www.inets.rwth-aachen.de/fileadmin/templates/images/PublicationPdfs/2014/2014-TMC-Secondary-Use-Feasibility.pdf>. abgerufen am 19. Januar 2015

8 „The Cape Town TV White Spaces Trial“, Tertiary Education and Research Network of South Africa, <http://www.tenet.ac.za/tvws/>, abgerufen 9. Januar 2015

9 „Libraries White Spaces Pilot“, Gigabit Libraries Network, <http://gigilibraries.net/page-1628969>, abgerufen 9. Januar 2015

10 „Ofcom TV White Spaces Pilot Update Event“, Ofcom, 26. Juni 2014, http://stakeholders.ofcom.org.uk/binaries/spectrum/whitespaces/TVWS_Pilot_Update_event_26-06-14_presentation_PUBLISH.pdf, abgerufen 9. Januar 2015

11 „Glasgow – Urban White Space Lab“, Dynamic Spectrum Alliance, 2014, http://www.dynamicspectrumalliance.org/assets/DSA_Presentations/DSASummit_May2014_SmarterCities_AndrewStirling.pdf, abgerufen 9. Januar 2015

12 Cal.net. 18. April 2013. „White Space arrives in Gold Country“. <https://www.cal.net/blog/?p=499> abgerufen 9. Februar 2015

13 Carlson Wireless Technologies. „RuralConnect TV White Spaces Radio“. <http://www.carlsonwireless.com/ruralconnect/> abgerufen 19. Februar 2015

14 Revplex. 15. November 2014. „Revplex Network Overview“. <http://blog.revplex.net> abgerufen 15. Februar 2015

15 Ibid.

16 „M2M application characteristics and their implications for spectrum“, AEGIS spectrum engi-

neering Machina Research, 2014, http://stakeholders.ofcom.org.uk/binaries/research/technology-research/2014/M2M_FinalReportApril2014.pdf, abgerufen am 9. Januar 2015

17 „Ofcom TV White Spaces Pilot Update Event“, Ofcom, 2014, http://stakeholders.ofcom.org.uk/binaries/spectrum/whitespaces/TVWS_Pilot_Update_event_26-06-14_presentation_PUBLISH.pdf, abgerufen 9. Januar 2015

18 <http://oxfloodnet.co.uk>

19 Ward, Ben: „Oxford Flood Network – Using the Internet of Things to Detect Flooding“, Designspark, 5. März 2014,

<http://designandmake.designspark.com/eng/blog/love-hertz-oxford-flood-network-the-internet-of-things>, abgerufen 9. Januar 2015

20 <http://jciv.iidj.net/map/>

21 „Ofcom unveils participants in wireless information trial“, Ofcom, 2. Oktober 2013, <http://media.ofcom.org.uk/news/2013/ofcom-unveils-participants-in-wireless-innovation-trial/>, abgerufen 9. Januar 2015

22 „BT takes lead in wireless technology trials“, BT Group, 15. Oktober 2013, <http://www.btplc.com/Innovation/Innovationnews/wireless/index.htm>, abgerufen 9. Januar 2015

23 <http://www.mksmart.org/about/>

24 „The Future is Now – Nation’s First ‚Smart Grid‘ TV White Space Network Trial“, Spectrum Bridge, <http://udia.spectrumbridge.com/ProductsServices/WhiteSpacesSolutions/success-stories/plumas.aspx>, abgerufen 9. Januar 2015

25 „Whatever Happened to... White Space Network Products, L.A.’s Gmail Contract, Fingerprint ID Program?“, Government Technology Magazine, 26. August 2013, <http://www.govtech.com/health/Whatever-Happened-To-White-Space-Network-Products-LAs-Gmail-Contract-Fingerprint-ID-Program.html>, abgerufen 9. Januar 2015

26 Zager, Masha: „Smart City Network Uses TV White Spaces“, Broadband Communities Magazine, 2010, http://www.bbpmag.com/2010mags/may-june10/BBP_MayJune10_SmartCityNetwork.pdf, abgerufen 9. Januar 2015

27 „Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2013 – 2018“, 2014, http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white_paper_c11-520862.pdf, abgerufen 9. Januar 2015

28 „TVWS in Disaster Response: A Breakthrough Technology for Rapid Communications after Typhoon Haiyan in the Phillippines“, ICT for the Development in the Asia-Pacific Region, 2014, <http://www.ictd-asp.org/wp-content/uploads/2014/04/TVWS-in-Disaster-Response-in-the-Philippines.pdf>, abgerufen 9. Januar 2015

29 *ibid.*

30 „Connectivity Amidst Disaster“, Microsoft Citizenship Asia Pacific, 2014, https://www.youtube.com/watch?v=PChqinp_dtw, abgerufen 9. Januar 2015

31 Pascagoula TV White Spaces project page, <https://www.facebook.com/PSDTVWS>, abgerufen 9. Januar

32 Siehe Endnote 44

33 „Report of the Spectrum Efficiency Working Group“, Federal Communications Commission, Spectrum Policy Task Force, 2002, http://transition.fcc.gov/sptf/files/SEWGFinalReport_1.pdf, abgerufen 9. Januar 2015

34 „Notice Of Proposed Rule Making in the Matter of Unlicensed Operation in the TV Broadcast Bands, Additional Spectrum for Unlicensed Devices Below 900 Mhz and in the 3 Ghz Band“, Federal Communications Commission, 2004, <http://apps.fcc.gov/ecfs/document/view?id=6516214773>, abgerufen 9. Januar 2015

35 „Second Memorandum Opinion and Order in the Matter of Unlicensed Operation in the TV Broadcast Bands, Additional Spectrum for Unlicensed Devices Below 900 Mhz and in the 3 Ghz Band“, Federal Communications Commission, 2010, https://apps.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/FCC-10-174A1.pdf, abgerufen 9. Januar 2015

36 „FCC adopts rules for first ever incentive auction; will make available additional airwaves, increase competition for mobile broadband“, Federal Communications Commission, 15. Mai 2014, <https://www.fcc.gov/document/fcc-adopts-rules-first-ever-incentive-auction>, abgerufen 9. Januar 2015

37 Overall concept, Cognitive Radio Standardization Initiative, <http://www.ict-crsi.eu/index.php/crs-i/overall-concept>, abgerufen 9. Januar 2015

38 Work Programme, ETSI, http://webapp.etsi.org/workprogram/Report_WorkItem.asp?WKI_ID=38857, abgerufen 9. Januar 2015

39 ETSI, <http://portal.etsi.org/tb.aspx?tbid=718&SubTB=718>, abgerufen 9. Januar 2015

40 „Cognitive Radio Systems and Software Defined Radio“, Electronic Communications Committee, 2014, <http://www.cept.org/ecc/topics/cognitive-radio-systems-and-software-defined-radio>, abgerufen 9. Januar 2015

41 Who We Are, WiFi Alliance, <http://www.wi-fi.org/who-we-are>, abgerufen 9. Januar 2015

42 „Official IEEE 802.11 Working Group Project Timelines“, IEEE 802, 2014, http://www.ieee802.org/11/Reports/802.11_Timelines.htm, abgerufen 9. Januar 2015

43 IEEE 802 Standards available for free download, <http://www.ieee802.org/11/>, abgerufen 9. Januar 2015

44 Dynamic Spectrum Alliance, 2014, <http://www.itu.int/en/ITU-R/seminars/rrs/2014-Americas/forumpresentations/RRS-14-Americas-DSA.pdf>, abgerufen 9. Januar 2015

45 IEEE 802.22 Working Group on Wireless Regional Area Networks, IEEE 802, <http://www.ieee802.org/22/>, abgerufen 9. Januar 2015

46 Hirota, Sachiko: „World’s First Breakthrough Achieved for Long-Range Broadband Communications in TV White Space“, National Institute of Information and Communications Technology, 23. Januar 2014, <http://www.nict.go.jp/en/press/2014/01/23-1.html>, abgerufen 9. Januar 2015

47 <http://www.aviacomm.com>, <http://www.adaptrum.com>, <http://www.carlsonwireless.com>

48 <http://www.weightless.org>

49 Frenzel, Lou: „White Space Radio Gives New Life To Old Spectrum“, Electronic Design, 5. Juni 2014, <http://electronicdesign.com/communications/white-space-radio-gives-new-life-old-spectrum>, abgerufen 9. Januar 2015

50 „UK Consortium announces an open access, city scale Internet of Things network in Milton Keynes“, Neul, 22. Mai 2014, <http://www.neul.com/neul/?p=5195>, abgerufen 9. Januar 2015

51 Elsner, J. und Weber, A. „Beachfront Commons“. Telecommunications Policy 2014. <http://www.munich-innovation.com/wordpress/wp-content/uploads/1412-3.pdf>. abgerufen 19. Februar 2015

52 *ibid.*

53 Spectrum Database, Google, 2015, <https://www.google.com/get/spectrumdatabase/channel/>, abgerufen 9. Januar 2015

54 UK Interactive Map, Spectrum Bridge, <http://uk-whitespaces.spectrumbridge.com/WhiteSpaceSearch/interactive-map.aspx>, abgerufen 9. Januar 2015

55 Charter for Working Group, Internet Engineering Task Force, <https://datatracker.ietf.org/wg/paws/charter/>, abgerufen 9. Januar 2015

56 Proposed Regulatory Framework for TV White Space Operations in the VHF/UHF Bands, Infocomm Development Authority of Signapore, <http://www.ida.gov.sg/Policies-and-Regulations/Consultation-Papers-and-Decisions/Store/Proposed-Regulatory-Framework-for-TV-White-Space—Operations-in-the-VHF-UHF-Bands>, abgerufen 9. Januar 2015

57 Schley, Stewart: „TV White Space gets a piece of the auction“, University of New Hampshire, Broadband Center of Excellence, <https://unhbcoe.org/technology/tv-white-space/tv-white-space-gets-piece-auction>, abgerufen 9. Januar 2015

58 „Report on the results of the work of the High Level Group on the future use of the UHF band“, European Commission Digital Agenda for Europe, 29. August 2014, <https://ec.europa.eu/digital-agenda/en/news/report-results-work-high-level-group-future-use-uhf-band>, abgerufen 9. Januar 2015

59 Van de Beek, Jaap et al, 2011, “UHF white space in Europe – a quantitative study into the potential of the 470–790 MHz band” S. 6

60 Abschlussbericht TU Braunschweig, S. 6

61 „Frequenzauktion bringt 4,4 Milliarden Euro“, 20. Mai 2010, heise online, <http://www.heise.de/newsticker/meldung/Frequenzauktion-bringt-4-4-Milliarden-Euro-1004771.html>, abgerufen 9. Januar 2015

62 Digitale Agenda, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Digitale-Welt/digitale-agenda.html>, abgerufen 9. Januar 2015

63 Mobiles Breitband – Projekt 2016, Bundesnetzagentur, 2014, http://www.bundesnetzagentur.de/cIn_1421/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/OeffentlicheNetze/Mobilfunknetze/Projekt2016/projekt2016-node.html, abgerufen 9. Januar 2015

64 „Konsultationsentwurf zur Anordnung und Wahl des Verfahrens zur Freigabe von Frequenzen in den Bereichen 700 Mhz, 900 Mhz, 1800 Mhz sowie im Bereich 1452 – 1492 Mhz für den drahtlosen Netzzugang“, BK1-11/003, Bundesnetzagentur, 2013, http://www.bundesnetzagentur.de/Shared-Docs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/OffentlicheNetze/Mobilfunk/DrahtloserNetzzugang/Projekt2016/KonsultationsentwurfProjekt2016.

pdf?_blob=publicationFile&v=4, abgerufen 9. Januar 2015

65 „ARD für DVB-T2“, ARD, 2013, http://www.ard.de/home/intern/ARD_fuer_DVB_T2/368678/index.html, abgerufen 9. Januar 2015

66 Partners, COGnitive Radio Systems EU, <http://www.ict-cogeu.eu/partners.htm>, abgerufen 9. Januar 2015

67 QUASAR, Institute for Networked Systems, RWTH Aachen University, <http://www.inets.rwth-aachen.de/?id=quasar>, abgerufen 9. Januar 2015

68 „Ofcom TV White Spaces Pilot Update Event“, Ofcom, 26. Juni 2014, http://stakeholders.ofcom.org.uk/binaries/spectrum/whitespaces/TVWS_Pilot_Update_event_26-06-14_presentation_PUBLISH.pdf, abgerufen 9. Januar 2015

69 „ETSI STF386 on Cognitive PSME – Status and Next Steps“, ETSI, 2011, [http://cept.org/Documents/fm-51/3008/FM51\(11\)Info006_ETSI-STF386-on-Cognitive-PMSE-Status-and-next-steps](http://cept.org/Documents/fm-51/3008/FM51(11)Info006_ETSI-STF386-on-Cognitive-PMSE-Status-and-next-steps), abgerufen 9. Januar 2015

70 MacKenzie, Richard, Ole Grøndalen, and Per H. Lehne. „Economic Evaluation of Rural Broadband and Machine-to-Machine Deployments in TV Whitespaces.“ In Wireless Conference (EW), Proceedings of the 2013 19th European, pp. 1-6. VDE, 2013.

71 Freifunk Berlin. Netzkarte. <http://berlin.freifunk.net/network/map/> abgerufen 29. Februar 2015

72 Kwang, Kevin: „Super WiFi Goes Commercial in Signapore“, ZDNet, 5. September 2012, <http://www.zdnet.com/super-wi-fi-goes-commercial-in-singapore-7000003737/>, abgerufen 9. Januar 2015

73 Reese, Daniel: „Telekom-Netz durch Hochwasser ausgefallen“, Teltarif, 18. August 2002, <http://www.teltarif.de/arch/2002/kw33/s8598.html>, abgerufen 9. Januar 2015

74 „Wetter-Katastrophen nehmen in Deutschland weiter zu“, Hamburger Abendblatt, 20. März 2012, <http://www.abendblatt.de/hamburg/article2222618/Wetter-Katastrophen-nehmen-in-Deutschland-weiter-zu.html>, abgerufen 9. Januar 2015

75 Ofcom Media News. 12. Februar 2015. „Ofcom gives green light for ‘TV white space’ wireless technology“. <http://media.ofcom.org.uk/news/2015/tvws-statement/> abgerufen 19. Februar 2015

76 Raul Katz, „Assessment of the Economic Value of unlicensed Spectrum in the United States“, S. 4

77 Milgrom, Paul, Levin, Jonathan und Eilat, Assaf: „The Case for Unlicensed Spectrum“ 2011; Cooper, Mark: „Efficiency Gains and Consumer Benefits of unlicensed Access to the public Airwaves: The dramatic Success of Combining Market Principles and Shared Access“, 2012, http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2030907, abgerufen 9. Januar 2015; Katz, Raul (im Auftrag von WiFi-Forward): „Assessment of the economic Value of unlicensed Spectrum in the United States“, 2014, <http://www.wififorward.org/wp-content/uploads/2014/01/Value-of-Unlicensed-Spectrum-to-the-US-Economy-Full-Report.pdf>, abgerufen 9. Januar 2015

78 <http://www.wi-fi.org/who-we-are>

79 Zeaman, Eric: „1 Billion Smartphones Shipped in 2013“, InformationWeek, 28. Januar 2014, <http://www.informationweek.com/mobile-business/1-billion-smartphones-shipped-in-2013/d-d-id/1113603>, abgerufen 9. Januar 2015

80 Parker, Tammy: „AT&T's numbers show carriers' public Wi-Fi networks may not be justifiable“, Fierce WirelessTech, 21. Februar 2013, <http://www.fiercewireless.com/tech/story/atts-numbers-show-carriers-public-wi-fi-networks-may-not-be-justifiable/2013-02-21>, abgerufen 9. Januar 2015

81 „Telekom rolls out the WiFi carpet: 2,5 million new hotspots in Germany by 2015“, Telekom, 4. März 2013, <http://www.telekom.com/media/consumer-products/180150>, abgerufen 9. Januar 2015

82 Parker, Tammy: „AT&T's numbers show carriers' public Wi-Fi networks may not be justifiable“, Fierce WirelessTech, 21. Februar 2013, <http://www.fiercewireless.com/tech/story/atts-numbers-show-carriers-public-wi-fi-networks-may-not-be-justifiable/2013-02-21>, abgerufen 9. Januar 2015

83 Mark Cooper, „Efficiency Gains and Consumer Benefits of unlicensed Access to the public Airwaves,“ S. 14

84 Mark Cooper, „Efficiency Gains and Consumer Benefits of unlicensed Access to the public Airwaves,“ S. 25-26

ÜBER DIE STIFTUNG NEUE VERANTWORTUNG

Die stiftung neue verantwortung (snv) ist eine gemeinnützige Denkfabrik in Berlin, die Expertise aus Politik, Forschungseinrichtungen, NGOs und Unternehmen zusammenbringt, um überparteiliche Vorschläge zu aktuellen politischen Fragen zu entwickeln, zu diskutieren und zu verbreiten. In den Schwerpunkt-Programmen Digitalisierung, Energie- und Ressourcen sowie Zukunft des Regierens erstellt die snv Analysen, veröffentlicht Handlungsempfehlungen und formt sektorenübergreifende Koalitionen.

Website: www.stiftung-nv.de
Twitter: @snv_berlin

Die vorliegende Studie wurde im Auftrag des Fördervereins freie Netzwerke e.V. und der Medienanstalt Berlin Brandenburg erstellt.



IMPRESSUM

April 2015

stiftung neue verantwortung e. V.

Beisheim Center
Berliner Freiheit 2
10785 Berlin
T. +49 30 81 45 03 78 80
F. +49 30 81 45 03 78 97
www.stiftung-nv.de
info@stiftung-nv.de

Layout

Franziska Wiese

Kostenloser Download:

www.stiftung-nv.de



Dieser Beitrag unterliegt einer CreativeCommons-Lizenz (CC BY-SA). Die Vervielfältigung, Verbreitung und Veröffentlichung, Veränderung oder Übersetzung von Inhalten der stiftung neue verantwortung, die mit der Lizenz „CC BY-SA“ gekennzeichnet sind, sowie die Erstellung daraus abgeleiteter Produkte sind unter den Bedingungen „Namensnennung“ und „Weiterverwendung unter gleicher Lizenz“ gestattet. Ausführliche Informationen zu den Lizenzbedingungen finden Sie hier: <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>