

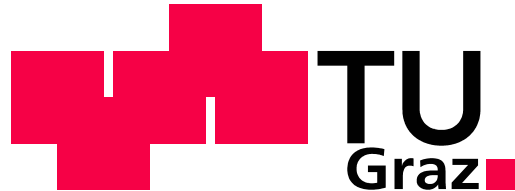
Last Mile Access Technologien zur Netzwerkanbindung verschiedener Gebäude unter Berücksichtigung technischer und rechtlicher Vorschriften

Dissertation

durchgeführt von

Peter Mandl

Institut für Breitbandkommunikation
Technische Universität Graz
Vorstand: Univ.-Prof. Dr. Gernot Kubin



Abstract

The thesis is concerned with the analysis of options to connect real estates with broad band data services. For real estate investors the maximum return on invest (ROI) is the interesting value. By the centralised connection of a real estate building to broad band data services, which also can be purchased at a cheaper rate by one service provider, the ROI for the leaser can be increased by having a higher living comfort and low priced data services. On the other hand the ROI for the investor is increased by innovative services which are part of the lease and also by its rising market value. Especially Internet, TV and telephony services which are pre installed can be provided cheap and centralized by one service provider. No additional installation costs are created, all services are ready to go when the user takes over the real estate. Another interesting aspect for the cost effective operation of a real estate is the centralised meter reading e.g. for heating or power.

The presented methods in the thesis allow an automated meter reading by the operator for each individual unit and can be connected to a central network. An additional aspect is the idea of remote control of household machines by the operator also during a specific time interval to switch the machines individually in off-peak times. Chapter 5, 6 and 7 will present 3 testbeds which have been set up in practice. The testbeds have been analyzed and the results were evaluated. The thesis will focus in a final chapter on legal and security issues regarding the presented last mile access technologies.

Kurzfassung

Die Arbeit befasst sich mit der Analyse der Möglichkeiten von Last Mile Access Technologien, um Immobilien an Breitbanddienste anzubinden. Gerade für Immobilieninvestoren ist es interessant, die maximale Rendite aus einer Immobilie zu erzielen. Durch die zentrale Anbindung einer Immobilie an Breitbanddienste, die zudem günstig zentral eingekauft werden können, kann die Rendite für den entsprechenden Investor insofern gesteigert werden, als einerseits die Zufriedenheit der Benutzer durch erhöhten Komfort und günstige Preise und andererseits der Wert der Immobilie durch innovative, in der Miete integrierte Dienstleistungen am Markt steigt. Dies kann insofern erreicht werden, indem Dienste wie z.B. Internet, TV und Telefonie durch den zentralen Einkauf entsprechend günstig weitergegeben werden und bei der Übergabe der entsprechenden Immobilie an den Benutzer bereits installiert und einsatzfähig sind. Für die individuelle Installation fallen daher keine weiteren Kosten an. Ein weiterer Aspekt für den kostengünstigen Betrieb von Immobilien ist das zentrale Ablesen von individuellen Verbrauchszahlen wie z.B. der Energieverbrauch jeder Einheit.

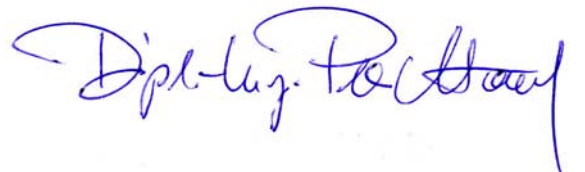
Mit den vorgestellten Strategien kann eine solche zentrale und automatisierte Ablesung realisiert werden, da alle Einheiten einer Immobilie damit informationstechnisch angebunden werden können. Denkbar ist auch die Möglichkeit der tarifbegünstigten zentralen Steuerung von Maschinen in Wohnungseinheiten in einem gewissen Zeitintervall, um seitens der Energieanbieter Energiezukäufe in Zeiten von steuerbaren Spitzenbelastungen zu minimieren. In den Kapiteln 5, 6 und 7 werden dabei auch 3 Anwendungsfälle, die praktisch realisiert wurden, analysiert und deren Ergebnisse ausgewertet. In der vorliegenden Arbeit werden in einem abschließenden Kapitel zudem die regulatorischen und sicherheitstechnischen Vorschriften für die entsprechenden Last Mile Access Technologien analysiert und dargestellt.

EIDESSTÄTTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, 22.11.2010

(Datum)




(Unterschrift)

STATUTORY DECLARATION

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

Graz, 22.11.2010

(Date)



(Signature)

Inhalt

1. Einleitung	1
2. Last Mile Anschlusstechnologien	7
2.1 Leitungsgebunden	7
2.1.1 Glasfaser	7
2.1.2 Koaxialkabel	8
2.1.3 Stromleitung und Power Line Communication (PLC)	10
2.1.4 Telefonleitung	11
2.2 Funkbasierend	14
2.2.1 Wireless LAN IEEE 802.11	14
2.2.2 WiMAX	21
2.2.3 Free Space Optics (FSO)	22
2.2.4 DVB-T Rückkanal	28
2.2.5 GSM/EDGE/UMTS/LTE	29
3. Netzwerkstrukturen in einer Immobilie	31
3.1 Netzwerkstrukturen in einer Wohneinheit	31
3.1.1 Netzwerkstrukturen in Altbauten	31
3.1.2 Netzwerkstrukturen in Neubauten	33
3.1.2.1 Koaxialkabel mit einem CMTS oder ähnlichem System	33
3.1.2.2 Strukturierte Verkabelungsstandards	33
3.1.2.3 Aktive und passive Glasfaserverkabelung	34
3.2 Netzwerktechnologien in einer Wohneinheit	35
3.2.1 Glasfaser	35
3.2.2 Polymeroptische Fasern (POF)	36
3.2.3 CATx (Cable and Telephone)	37
3.2.4 WLAN	37
4. Relevante Dienste	41
4.1 TV – Multicast, Unicast (VoD)	41
4.2 Videoconferencing	42
4.3 Telefonie (VoIP)	42
4.4 Internetdienste (Email, Web, etc.)	43
4.5 Sicherheit und Raumsteuerung	43
5. Hybrides Netzwerk in einem Altstadtkern	44
5.1 Verfügbare Technologien	45
5.2 Planung	46
5.3 Realisierung	49
6. Internetzugang mittels DVB-T, FSO und WLAN	54
6.1 Testaufbau	55
6.1.1 Direkter WLAN/FSO-Uplink	56
6.1.2 Lokales WLAN-Relay zu einem WLAN/FSO-Uplink	57
6.2 Praktischer Aufbau und Set-Up	57
6.3 Messungen und Analyse	62

7. Langzeitevaluierung an einem FSO System	68
7.1 Installation	69
7.2 Parameter	71
7.3 Analyse der Ausfälle	75
7.4 Verfügbarkeitsanalyse.....	79
8. Rechtliche Rahmenbedingungen	83
8.1 Grundlagen	83
8.2 Vorschriften Funk.....	87
8.2.1 WLAN	87
8.2.2 DVB-T.....	89
8.2.3 WiMAX	89
8.3 Arbeitsrechtliche-, Sicherheitsvorschriften	90
8.3.1 Normen für hochfrequente Strahlung	90
8.3.2 Normen für Laserstrahlung	91
8.3.3 Spezifische Aspekte	92
8.3.3.1 Systeme mit nichtionisierender hochfrequenter Strahlung.....	92
8.3.3.2 Optische Systeme - Lichtwellenleiter (LWL).....	96
8.3.3.3 Optische Freiraumübertragungssysteme (FSO, Free Space Optics).....	100
8.3.3.4 Höhenarbeiten	102
8.4 Rechtliche Aspekte bei FSO-Systemen	104
9. Schlußfolgerungen	106
Referenzen	108

1. Einleitung

Ausgehend von der momentanen Situation ist die vorherrschende Breitbandanbindung der österreichischen Bevölkerung für die zukünftigen bandbreitenintensiven Dienste wie z.B. HD (High Definition), Video on Demand (VoD), oder HD Videokonferenzen unzureichend. Es werden zumeist xDSL Datendienste basierend auf Telefonleitungen, die zum Teil noch auf die „Monarchie“ zurückgehen, von den Internet Providern angeboten. Überwiegend sind diese Internetanschlüsse keine dezidierten Leitungen, sondern die Benutzer teilen sich die Bandbreite mit anderen Nutzern im gleichen Netz. Je nach gleichzeitig verwendeter Bandbreite pro Benutzer teilt sich die Gesamtbandbreite auf alle Benutzer auf. Die Bandbreiten, die in den Verträgen mit den jeweiligen Providern vereinbart sind, entsprechen häufig nur dem Idealwert, in der Realität teilen sich die User die Bandbreite (Überbuchen). Für ein entsprechendes Breitbandnetz der Zukunft mit ausreichenden Bandbreitenreserven ist die Errichtung von Netzwerkbackbone Infrastrukturen und die tatsächliche breitbandige Anbindung von Immobilien mit Glasfaserleitungen notwendig.

Beispielhaft realisiert hat diesen Gedanken die Stadt Almere, die ca. 25 km östlich von Amsterdam gelegen ist. Mit mehr als 5000 neuen Bürgern pro Jahr ist Almere eine der am raschesten wachsenden Städte Europas. In Almere wurde seit 2002 jedes öffentliche Gebäude und 80-85% der Haushalte mittels Glasfaserverbindung mit einer Datenübertragungsrate von 100 Mbit/s an Datendienste wie z.B. Internet, TV und VoIP angeschlossen. Dies führte zu einem Mehrwert für die Stadt, deren Wirtschaft und Bevölkerung davon stark profitiert. Zudem ist die Skalierbarkeit entsprechend dem Stand der Technik für optische Nachrichtentechnik für die zukünftige Bandbreiten auch weiterhin für noch stärker werdende Zuwächse problemlos nach oben hin erweiterbar [1]. Schulen, Krankenhäuser, Seniorenheime und der soziale Wohnbau können angebunden werden und sind damit für breitbandige Dienstleistungen bereit.

Ein weiterer relevanter Aspekt, der für die Anbindung von Immobilien an ein entsprechendes Breitbandnetzwerk spricht, ist die zentrale Erfassung und Steuerung des Energieverbrauches. Für Anbieter von Energie wie z.B. Strom und Heizung müssen die entsprechend verbrauchten Energiemengen für die Verrechnung typischerweise zentral zusammengeführt werden. Üblicherweise erfolgt diese

1. Einleitung

Tätigkeit durch den Besuch eines Mitarbeiters des entsprechenden Versorgers. Mittels entsprechender Anbindung der Energiezähler von einzelnen Wohnungseinheiten an ein zentrales Rechenzentrum kann der Aufwand für Ablesemitarbeiter eingespart werden und der Komfort für den Kunden erhöht werden (keine Terminvereinbarung notwendig). Zudem kann die erreichte Kostenersparnis in Form von günstigeren Tarifen an den Kunden weitergegeben werden, was zudem den Wert einer Immobilie erhöhen kann.

Energetischer Endverbrauch nach Verbrauchszwecken im Jahr 2007 in PJ						
	Kohle	Öl	Gas	Erneuerb. Energien	Fernwärme	Elektr. Energie
Raumheizung u. Warmwasser	4,9	67,4	70,6	79,1	50,8	28,4
Mobilität	0,0	359,4	8,1	10,0	0,0	11,5
Prozesswärme	21,0	12,6	102,9	63,4	7,5	41,1
Mechanische Arbeit	0,0	16,7	0,4	0,5	0,0	98,8
Beleuchtung u. EDV	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	27,5

Abb. 1.1: Energetischer Endverbrauch nach Verbrauchszwecken, übernommen aus [2]

Energieaufbringung und Energieverbrauch im Überblick									
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Inlandserzeugung	409,9	412,5	416,1	428,3	430,4	433,8	420,1	440,1	458,9
Importe	925,7	925,7	982,1	1030,2	1127,1	1171,3	1238,5	1284,9	1246,1
Aufkommen	1335,6	1338,2	1398,2	1458,5	1557,6	1605,0	1658,6	1725,0	1705,0
Lager	15,5	9,0	38,5	0,3	-7,5	-6,6	-9,2	-28,9	-15,6
Exporte	124,8	125,3	145,1	142,6	158,8	189,6	202,9	232,2	268,4
Bruttoinlandsverbrauch	1226,3	1221,9	1291,5	1316,1	1391,3	1408,9	1446,5	1463,9	1421,0
Umwandlungseinsatz	853,7	802,9	843,8	844,3	837,4	851,4	879,7	869,0	864,9
Umwandlungsausstoß	744,1	714,3	740,4	746,2	725,6	735,8	760,9	753,5	754,9
Verbrauch d. Sektors Energie	60,8	64,9	61,4	74,6	74,6	79,2	83,6	84,4	80,4
Transportverluste, Messdiff.	15,8	15,8	15,9	16,6	18,0	20,2	21,0	18,6	26,0
Nichtenergetischer Verbrauch	104,9	108,2	112,1	110,0	110,4	112,6	116,7	127,2	122,1
Energetischer Endverbrauch	935,4	944,4	998,7	1016,8	1076,4	1081,3	1106,3	1118,2	1082,6
Produzierender Bereich	233,4	253,8	250,0	254,5	252,1	261,7	283,1	309,8	314,1
Verkehr	280,6	296,2	312,1	335,5	359,0	371,7	385,0	372,4	378,7
Dienstleistungen	116,7	98,2	119,4	109,7	119,8	119,5	109,2	118,5	101,6
Private Haushalte	280,2	272,3	291,9	291,5	318,1	301,3	302,5	291,3	262,6
Landwirtschaft	24,5	23,9	25,3	25,6	27,3	27,2	26,6	26,2	25,5

Abb. 1.2: Energieaufbringung und Energieverbrauch in Österreich, (übernommen aus [2])

Gemäß dem Energiestatusbericht des österreichischen Bundesministeriums für Wirtschaft, Familie und Jugend [2] sind im Jahr 2007 für die Raumheizung und Warmwasserbereitung ca. 301 Petajoule (PJ) an Energie und ca. 28 PJ für Beleuchtung und EDV, in Summe rund 329 PJ verbraucht worden (Abb. 1.1). Im Vergleich dazu wurden ca. 389 PJ für Mobilitätszwecke verbraucht. Bei einem Endverbrauch energetischer Energie von rund 1182,6 PJ stellen alleine die beiden angeführten Haushaltspositionen rund ein Drittel des Gesamtenergieverbrauchs dar. Mittels individuell von extern steuerbarer Warmwasserbereitung, Heizung und Kühlung bzw. Steuerung der (Außen)Beleuchtung und anderer Energieverbraucher mit mobilen Endgeräten ließe sich daher ein signifikanter Einspareffekt erzielen.

Einen weiteren großen Faktor im Energiebericht 2009 stellt der Energieverbrauch für Mobilität dar. Von den rund 1421 PJ Gesamtenergieverbrauch wurden im Jahr 2007 nur rund 459 PJ im Inland erzeugt und daraus rund 48% aus erneuerbaren Energien, 28% aus Wasserkraft und 24% aus fossilen Energieträgern wie Öl und Gas gewonnen (Abb. 1.2). Der Rest von 1246 PJ wurde importiert, wobei davon rund 50% aus Öl, 28% aus Gas und 14% aus Kohle gewonnen wurden. Die restlichen 8% bestehen aus Importen aus Strom und erneuerbaren Energien. Im Jahr 2007 wurden gemäß dem Energiebericht somit rund 74% durch fossile Energieträger erzeugt, was auch einen entsprechenden CO₂ Ausstoß bedingt. Aus Abb. 1.1 ergibt sich für den Bereich Mobilität ein Verbrauch von 389 PJ, also rund 27% des Gesamtenergiebedarfes, daraus werden wie bereits errechnet 74%, also 288 PJ aus fossilen Materialien verwendet.

Der Einsatz moderner Informationstechnologie mittels Konferenztechnik und Home Office Arbeitsplätzen kann diesen Ausstoß zwar nicht eliminieren, jedoch durch vernünftige Nutzung von Verkehrsmitteln (reduziert auf den Bedarfsfall) signifikant verringern. Um diese Ergebnisse zu erzielen ist allerdings eine flächendeckende Breitbandinfrastruktur notwendig, die den Menschen dadurch die entsprechenden Möglichkeiten gibt.

In Hinblick auf den effizienten Einsatz von Energie sei noch die Möglichkeit der vom Kunden in einem gewissen Zeitintervall autorisierten Fernsteuerung von Maschinen im Haushalt angeführt, die den Energielieferanten die Möglichkeit gibt, Energiespitzen durch aktives Eingreifen in den Verbrauch zu steuern. Gerade der Zukauf von elektrischer Energie für Spitzenzeiten stellt einerseits ein ökonomisches und andererseits ein wirtschaftliches Problem dar, da Stromzukäufe für Spitzenverbrauchszeiten typischerweise teuer gehandelt werden und zudem zumeist aus fossilen Energiequellen gewonnen werden müssen. Ein Anreiz für fernsteuerbare Stromverbraucher in Haushalten kann eine attraktive Tarifgestaltung seitens der Stromlieferanten sein. Für diese Zwecke und auch für das automatisierte Ablesen von Energieverbrauchsdaten in einer Liegenschaft, Wohneinheit oder Vergleichbarem ist die entsprechende Anbindung der Geräte an ein Netzwerk natürlich obligat.

Gemäß der Bandbreitenbedarfsanalyse der Firma Cisco Systems [3], einem der größten Hersteller für Netzwerkkomponenten, sehen wir einem exponentiell steigenden Bedarf an Bandbreite entgegen (Abb. 1.3).

Selbstverständlich bedeutet dies massive Investitionen in die zukünftige Infrastruktur, die letztlich auch bezahlt werden müssen. Es sind aber auch jetzt schon einige Trends des voran skizzierten Next Generation Networks zu erkennen.

In einigen zukunftsorientierten Gemeinden wird bereits jetzt bei Bauarbeiten am Straßennetz Leerverrohrung in die geöffneten Straßenstücke gelegt und entsprechend kartographiert, um zu einem späteren Zeitpunkt durch reduzierte Grabungsarbeiten in ökonomischer Form Glasfaserverkabelungen verlegen zu können. Bei anderen Gemeinden wird ein flächendeckendes WLAN Netz überlegt, um für mobile Endgeräte eine Internetgrundversorgung zu gewährleisten.

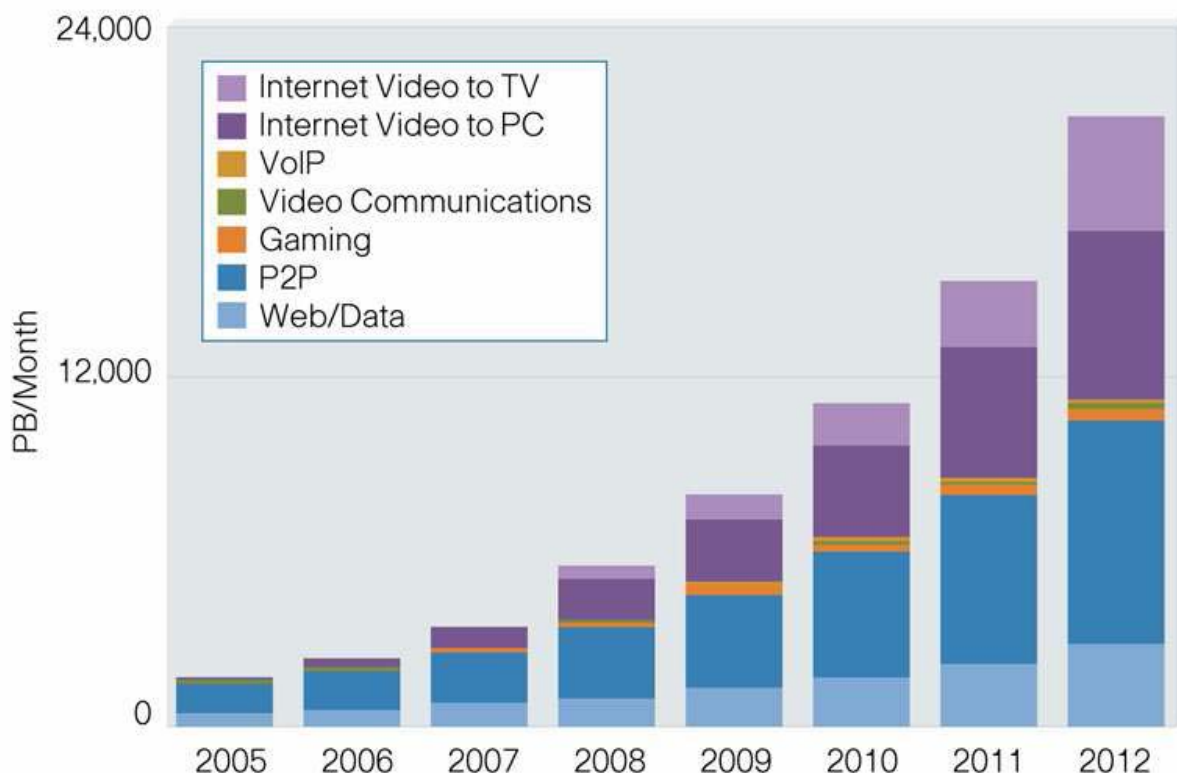


Abb. 1.3: Entwicklung des Bandbreitenbedarfes, übernommen aus [3]

Aus der Studie Cisco Studie „Cisco Global Internet Traffic Forecast“ (Abb. 1.4, [3]) geht eindeutig hervor, dass der Anteil der benötigten Bandbreite für Internet Video zu TV und PC signifikant steigen wird. Dies ist wird zudem durch die derzeitigen Trends in Richtung HD-TV und 3D TV bestätigt.

Eine kleine Anzahl von Benutzern, die HDTV Inhalte konsumieren, dominieren somit den Bandbreitenbedarf. Wenn man der Cisco Studie folgt, so erzeugen 40 Stunden HDTV Videos einen gleich großen Bandbreitenbedarf wie rund eine Million Emails.

Gerade auch der Bereich der zukunftsweisenden interaktiven HD Videokonferenzen erzeugt aufgrund der bidirektionalen Technologie den doppelten Bandbreitenbedarf,

der optimal gedeckt sein muss. In Hinblick auf die noch bevorstehenden und teilweise schon realisierten Entwicklungen und die anstehende globale Verbreitung dieser Technologien ist es höchst an der Zeit, entsprechende Strategien für den zukünftigen Bandbreitenbedarf festzulegen und auch rasch umzusetzen, um einen Flaschenhals in den zentralen Internetbackbones zu verhindern, der letztlich alle Benutzer treffen kann.

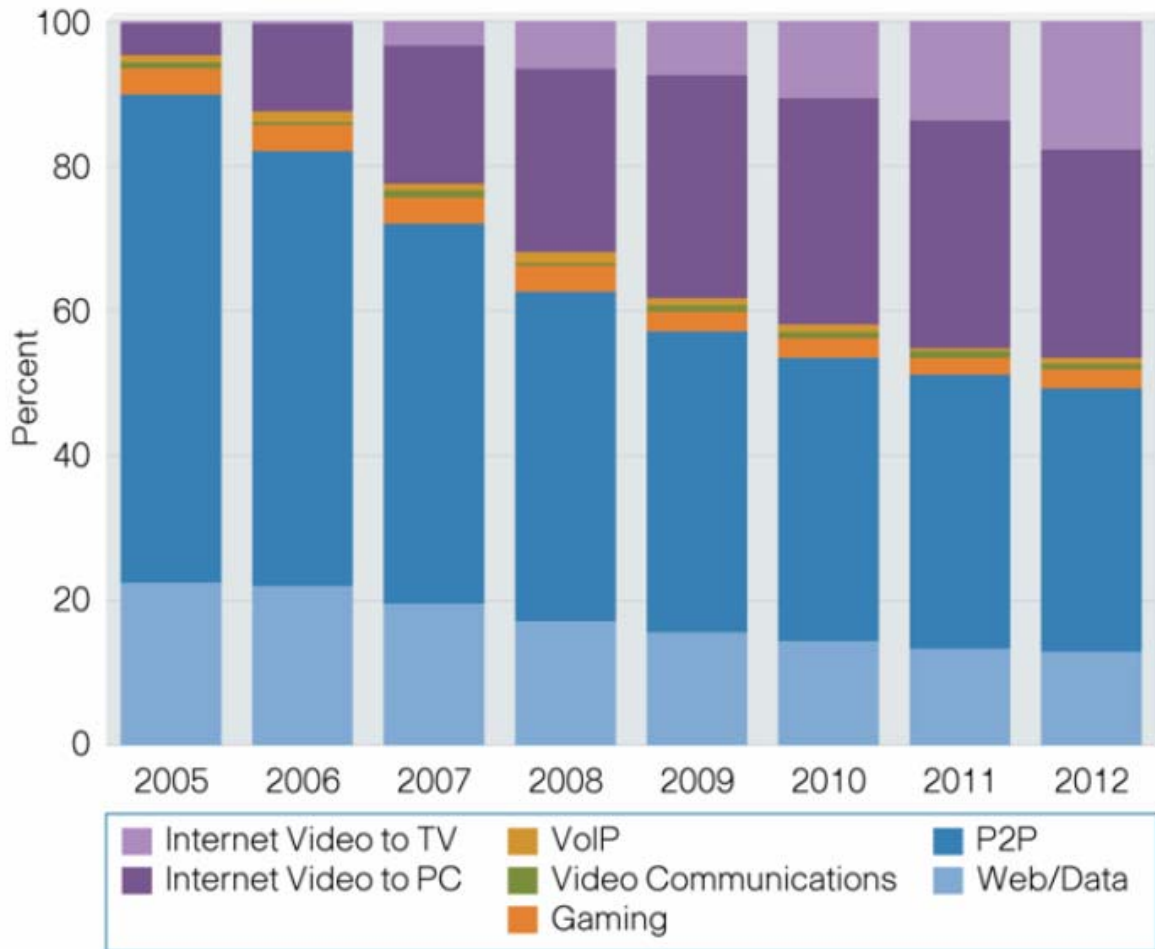


Abb. 1.4: Cisco Global Internet Traffic Forecast, übernommen aus [3]

Die vorangegangenen Ausführungen haben gezeigt, dass ein Bedarf für entsprechend innovative Lösungen zur breitbandigen Anbindung von Immobilien gegeben ist. Diese Dissertation wird die bestehenden und kombinierte Technologien und dazugehörige Rechtsaspekte analysieren und sich eingehend mit verschiedenen möglichen Lösungsansätzen beschäftigen

Konkret gibt Kapitel 1 eine entsprechende Motivation für die Anbindung von Immobilien an ein Breitbandnetzwerk und zeigt einen groben Überblick über die Struktur der Dissertation.

Im 2. Kapitel werden verschiedene kabelgebundene und kabellose Netzwerk- anbindungstechnologien dargestellt und deren Vor- und Nachteile, vor allem in Hinblick auf die Verwendung zur Anbindung von Immobilien erörtert.

Kapitel 3 gibt eine Übersicht der verschiedenen Netzwerkstrukturen und Netzwerk- technologien in Immobilien, es werden deren Vor- und Nachteile dargestellt.

In Kapitel 4 werden die verschiedenen Dienste für die Versorgung von Gebäuden und deren Nutzern kurz dargestellt und der entsprechende Bandbreitenbedarf erörtert.

Kapitel 5 stellt einen Testaufbau mit verschiedenen kombinierten Technologien (WLAN, FSO, LWL) zur Übertragung von multimedialen Daten in einem Innenstadtkern dar und analysiert die dabei aufgetretenen Problemstellungen.

Kapitel 6 stellt einen kombinierten innovativen Internetzugang für periphere, unterversorgte Regionen mit den Technologien DVB-T, WLAN und FSO vor. Ein Testaufbau mit entsprechend gewonnenen Messwerten für verschiedene Dienste wie z.B. Web, Email, VoIP und VoD wurde realisiert und entsprechend auf Verfügbarkeit und Qualität hin analysiert.

Kapitel 7 evaluiert ein FSO System über einen längeren Zeitraum und vergleicht theoretische und praktische Erkenntnisse, vor allem in Hinblick auf Verfügbarkeit und Sichtbarkeit bei Nebelsituationen.

Das 8. Kapitel beschäftigt sich eingehend mit der rechtlichen Situation, vor allem in Hinblick auf telekommunikationsrechtliche, arbeitsrechtliche und sicherheits- technische Aspekte und stellt entsprechende Lösungsvorschläge dar. Es wird zudem speziell auf die Situation von FSO Systemen, die privatrechtliche Liegenschaften überstrahlen, eingegangen.

Die Schlussfolgerungen und wesentlichen Ergebnisse der Dissertation werden in Kapitel 9 gezeigt und es wird auch auf zukünftige Forschungsaktivitäten eingegangen.

2. Last Mile Anschlusstechnologien

Dieses Kapitel gibt einen grundsätzlichen Überblick über die verschiedenen Möglichkeiten breitbandige Datendienste über verschiedene leitungsgebundene und drahtlose Medien zu übertragen. Es stellt die verschiedenen Möglichkeiten dar.

2.1 Leitungsgebunden

Im ersten Teil werden verschiedene kabelgebundene Technologien zur Übertragung von Datendiensten dargestellt und deren Vor- und Nachteile erläutert.

2.1.1 Glasfaser

Fibre to the home (FTTH) ist eine der attraktivsten Möglichkeiten einen Benutzer mit informationstechnischen Diensten zu versorgen. Glasfaser direkt zum Anwender oder zum Gebäude, die Abhörsicherheit und die Möglichkeit des Wellenlängenmultiplexens, damit verbunden die einfache Erhöhung der Bandbreite durch Erweiterung der Wellenlängen, sind die wesentlichsten Vorteile der Glasfaserverkablung. Einer der wesentlichsten Nachteile der Glasfaser ist die derzeit flächenmäßig schlechte Verfügbarkeit und sind die hohen Kosten für die Neuverlegung durch Grabungsarbeiten. Es können zu diesem Zweck bestehende Leerverrohrungen mittels Einblastechnik verwendet werden, bzw. können neue Leerrohre im Zuge von Bauvorhaben für die mögliche zukünftige Nutzung verlegt werden. Oftmals wird im Zuge von diesen Bauvorhaben auch das öffentliche Gut berührt, was zu weiteren Abgaben an die entsprechende Gemeinde oder Stadtverwaltung führt und in der Gesamtkalkulation seinen Niederschlag findet. Eine sehr interessante Variante der Glasfasertechnologie ist die Entwicklung von Passiven Optischen Netzwerken (PON), die mit einem Mindestmaß an aktiven Komponenten auskommen und deswegen sehr kostengünstig und wartungsarm betrieben werden können. Die passiven optischen Netzwerke (PON) werden im Kapitel 3.1.2.3 (Aktive und passive Glasfaserverkabelung) genauer dargestellt.

Auf die detaillierte Darstellung der Grundlagen der Glasfasertechnologie in Theorie und Praxis wird an dieser Stelle verzichtet, es wird allerdings auf das Kapitel 8.3.3.2 Lichtwellenleiter (LWL) verwiesen, in dem die Technologie rudimentär behandelt wird.

2.1.2 Koaxialkabel

In Ballungsräumen ist die Verkabelung mittels Koaxialkabel eine sehr weit verbreitete Technologie. Ursprünglich wurden diese Koaxialkabel nur für die Übertragung von TV Programmen verwendet. Erst mit dem Aufkommen der Internetdienste und digitaler Fernsehdienste in den 90'er Jahren wurde diese Technologie in hybriden Netzen (HFC, Hybrid Fiber Coax) gemischt mit Glasfasertechnologien auch für IP basierende Datenübertragungen verwendet. Typischerweise werden bei dieser Technologie längere Verbindungen mittels Glasfaserverbindungen errichtet und die Endverbraucher erst am letzten Drittel des Verbindungsweges mittels Koaxialkabel angebunden. Ursprünglich waren diese Netze nur für die Übertragung von maximal 450 MHz ausgelegt, nunmehr sind durch den Austausch entsprechender Komponenten im Kernbereich der Systeme, als auch in den Zubringerstrecken Frequenzen bis zu 862 MHz möglich, was die entsprechende Bandbreite signifikant erhöht hat. Diese Bandbreitenerhöhung hat die weite Verbreitung der sogenannten „Triple Play“ Dienste über diese Leitungen möglich gemacht. Unter Triple Play versteht man (HD)Fernsehen, Internet und (VoIP)Telefonie und weiters auch das stark bandbreitenkonsumierende Video on Demand (VoD).

Die Gewährleistung der Funktion dieser Dienste über HFC Netze wird mittels dem Standard DOCSIS (Data over Coaxial Service Interface Specification, [4]) beschrieben (siehe Abb. 2.1).

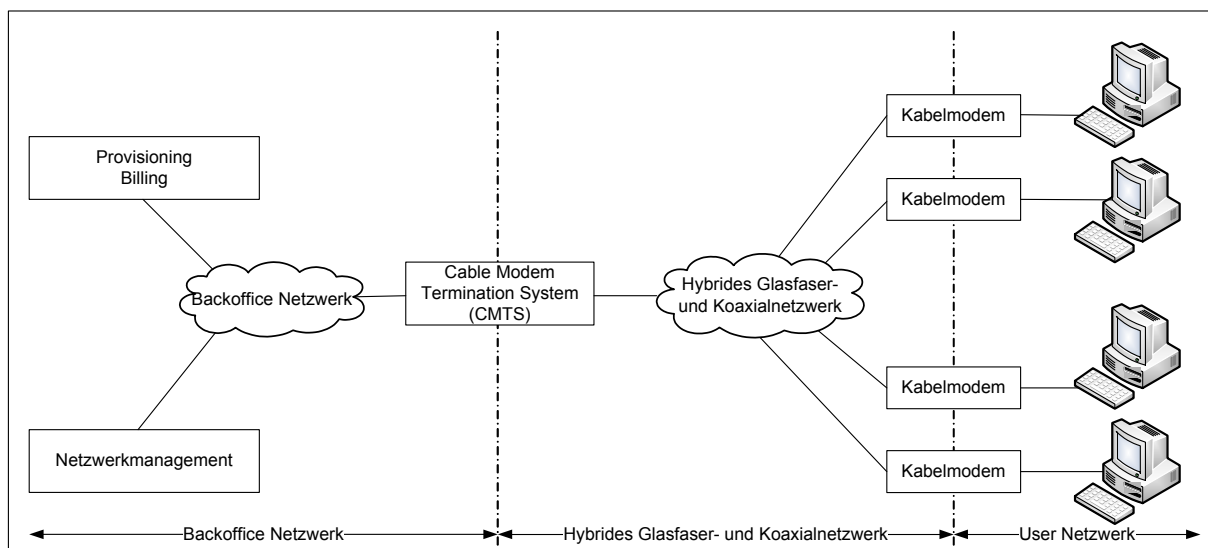


Abb. 2.1: Prinzipieller Aufbau eines Koaxialnetzes für die digitale Datenübertragung

Die DOCSIS Architektur besteht im Backoffice Netzwerk aus einem sogenannten Cable Modem Termination System (CMTS), dessen Funktion es ist, die

2. Last Mile Anschlusstechnologien

Netzwerkmanagement und Billing Aufgaben des entsprechenden Providers zu übernehmen. Die Benutzer sind über das Koaxialkabel mit einem sogenannten Kabelmodem angeschlossen, welches die entsprechenden Dienste entweder über ein Netzkabel oder eine zusätzliche Set-Top-Box (STB) an die entsprechenden Endgeräte weitergibt. Die derzeit vorherrschenden Standards sind DOCSIS 2.0 und DOCSIS 3.0. Letztere Referenzarchitektur in der Übersicht in Abb. 2.2 dargestellt.

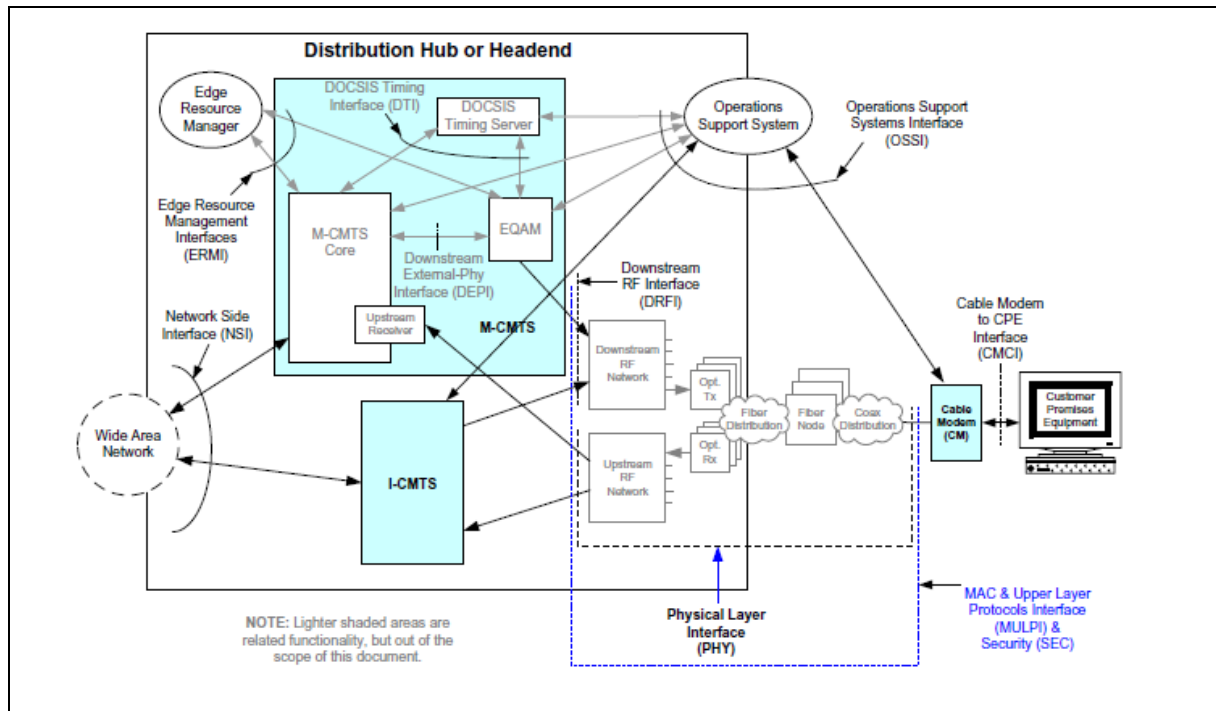


Abb. 2.2: Referenzarchitektur, übernommen aus [4]

Mit DOCSIS 2.0 kann man im Download eine Datentransferrate von ca. 38 Mbit/s je Kanal im Frequenzbereich von 50 MHz bis etwa 862 MHz erreichen. Im Upload ist eine Datenübertragungsrate von ca. 27 Mbit/s pro Kanal im Frequenzbereich von 5 bis 65 MHz möglich. Der Standard DOCSIS 3.0 kann durch Bündelung von mehreren Kanälen Datenübertragungsraten von bis zu 160 Mbit/s im Download und bis zu 108 Mbit/s im Upload erreichen. Die Übertragung der Daten erfolgt bei DOCSIS typischerweise mittels der sogenannten Quadraturamplitudenmodulation (Download 64-QAM oder 256-QAM und Upload 16-QAM oder QPSK).

2.1.3 Stromleitung und Power Line Communication (PLC)

Unter Power Line Communication (PLC) versteht man die Übertragung von Daten über Stromversorgungsleitungen. Es wird dafür das Stromversorgungsnetz vom entsprechenden Transformator bis zur Wohnungseinheit benutzt, die Daten werden beim Transformator auf die Leitungen aufgeprägt. Typischerweise werden bei dieser Technologie Frequenzen bis zu 30 MHz verwendet. Man geht bei PLC im geteilten Medium von Datenraten bis zu 2 Mbit/s pro Teilnehmer aus.

Diese Technologie wird von Energieanbietern schon seit 1930 auf den Hoch- und Niederspannungsleitungen verwendet, um entsprechende Daten/Schaltsignale zu übertragen. Aus diesem Grund wurde die CENELEC Norm EN 50065-1 [63] erstellt, die die Kommunikation über Stromnetze im Frequenzbereich von 3 bis 148,5 kHz mit einer maximalen Abstrahlleistung von 5 mW festgelegt.

Aufgrund des zunehmenden Bedarfes an Internetverbindungen war die Idee ein bestehendes Kabel (Stromversorgung) in einen Haushalt zum Datentransfer zu verwenden natürlich verlockend. Die Übertragung von Daten unter Verwendung von Hochfrequenz mittels Stromleitungen ist allerdings eine denkbar schlechte technische Strategie, da diese Leitungen ungeschirmt sind. Sie sind im Gegensatz zu nachrichtentechnischen Leitungen nicht für den Datentransfer, sondern nur für die Energieübertragung geeignet, da sie hochfrequente Wellen wie eine Antenne abstrahlen.

Diese ungewollten Ausstrahlungen können Benutzer des Kurzwellenbereiches (1 - 30 MHz) wie z.B. das Militär in Österreich, Interpol, das Rote Kreuz, Amateurfunken, den Katastrophenfunk, und auch den Rundfunk stören.

Zusätzlich ändert sich in einem Stromnetz durch das Zu- und Wegschalten von Verbrauchern ständig die Impedanz, was die verfügbare Bandbreite weiter reduzieren kann. Selbst wenn all diese Probleme zufriedenstellend geklärt werden sollten, so sind die zu übertragenden Daten jedenfalls zu verschlüsseln, da diese am gemeinsamen Medium von jedem Teilnehmer problemlos abgehört werden können (weitere Ausführungen zur Verschlüsselung sind im Kapitel 2.2.1 Wireless LAN IEEE 802.11 zu finden).

In Hinblick auf den derzeitigen Stand der Technik, die geringe Datenübertragungsrate und den möglichen Störeinwirkungen auf diverse hoheitliche und private Funkdienste wird von dieser Technik im Rahmen der vorliegenden Arbeit Abstand genommen.

2.1.4 Telefonleitung

Telefonleitungen stellen in der heutigen Zeit eine der am weitest verbreiteten Technologien dar, um Gebäude und Haushalte an digitale Datendienste anzubinden. Eine Telefonleitung besteht üblicherweise aus einem verdrehten Stück Kupferzweidrahtleitung mit einer bestimmten Länge und einem bestimmten Alter. Teile der Telefonverkabelung gehen in Österreich auf die Zeit der Monarchie zurück und haben dadurch auch entsprechend hohe Dämpfungswerte, die Datendienste nur bedingt zulassen.

In der Folge wird nun ein Ersatzschaltbild (Abb. 2.3) für ein differentielles Stück einer nachrichtentechnischen Leitung (Telefonleitung) dargestellt und dieses zum besseren Verständnis für praktische Probleme betreffend der Störanfälligkeit von nachrichtentechnischen Zweidrahtleitungen mathematisch erörtert.

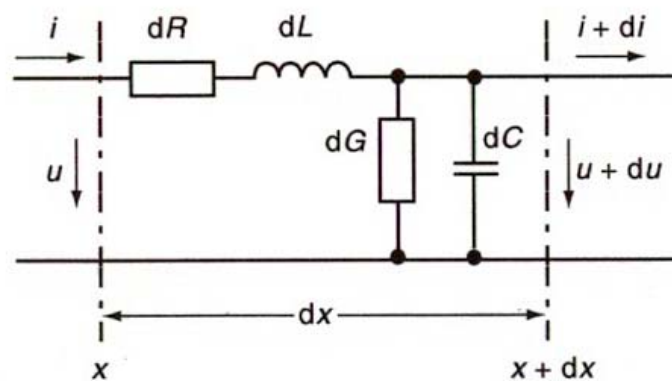


Abb. 2.3: Ersatzschaltbild eines differentiellen Stückes einer nachrichtentechnischen Leitung (entnommen von Harter, Lörcher, Nachrichtentechnik, 9. Auflage, [5])

Durch Ansatz von Maschen- und Knotengleichungen erhält man folgende partielle Differentialgleichung:

$$-\frac{\partial u}{\partial x} = R'i + L'\frac{\partial i}{\partial t} \quad (2.1.4.1)$$

$$-\frac{\partial i}{\partial x} = G'i + C'\frac{\partial u}{\partial t} \quad (2.1.4.2)$$

Durch partielles Ableiten der Gleichungen nach t und x erhält man eine Differentialgleichung 2. Ordnung in folgender Form:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = R'\frac{\partial i}{\partial x} + L'\frac{\partial^2 i}{\partial t \partial x} \quad (2.1.4.3)$$

$$\frac{\partial^2 i}{\partial x \partial t} = G' \frac{\partial u}{\partial t} + C' \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad (2.1.4.4)$$

Daraus ergibt sich mit (2.1.4.2) die sogenannte bekannte Telegraphengleichung:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = L'C' \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + (R'C' + L'G') \frac{\partial u}{\partial t} + R'Gu \quad (2.1.4.5)$$

Unter Annahme sinusförmiger Größen folgt:

$$\underline{u}(x, t) = \sqrt{2} \underline{U}(x) e^{j\omega t} \quad (2.1.4.6)$$

$$\frac{d\underline{u}}{dt} = \sqrt{2} j\omega \underline{U}(x) e^{j\omega t} \quad (2.1.4.7)$$

$$\frac{d^2 \underline{u}}{dt^2} = -\sqrt{2} \omega^2 \underline{U}(x) e^{j\omega t} \quad (2.1.4.8)$$

Durch entsprechendes Einsetzen erhält man weiters die modifizierte Telegraphengleichung:

$$\frac{d^2 \underline{U}(x)}{dx^2} = (R' + j\omega L')(G' + j\omega C') \underline{U}(x) \quad (2.1.4.9)$$

Mittels dem folgendem Ansatz erhält man die Lösung der Telegraphengleichung:

$$\underline{U}(x) = \underline{U}' e^{-\gamma x} + \underline{U}'' e^{+\gamma x} \quad (2.1.4.10)$$

$$\gamma = \sqrt{(R' + j\omega L')(G' + j\omega C')} = \alpha + j\beta \quad (2.1.4.11)$$

α ... Dämpfungskoeffizient

β ... Phasenkoeffizient

γ ... Ausbreitungskoeffizient

In weiterer Folge lässt sich daraus der Wellenwiderstand für eine verlustbehaftete Leitung ermitteln:

$$\underline{Z}_w = \sqrt{\frac{R' + j\omega L'}{G' + j\omega C'}} \dots \text{Wellenwiderstand} \quad (2.1.4.12)$$

Aus den obigen Ausführungen geht hervor, dass der Widerstand einer Leitung einen Einfluss auf den Wellenwiderstand einer nachrichtentechnischen Leitung hat. Wie aus der Elektrotechnik bekannt ist, geht der Widerstand einer Leitung mit der Länge ein. Praktische Messungen im Zuge der Erstellung eines Gutachtens des Autors haben zeigt, dass ein Meter einer typischerweise verwendeten Leitung einen Widerstand von ca. 0,06 Ω hat [64].

Aus den voran erörterten Fakten geht eindeutig hervor, dass eine fernmeldetechnische Leitung, im gegenständlichen Fall eine verdrehte Zweidrahtleitung, zur sinnvollen Datenübertragung nur bis zu einer gewissen Länge sinnvoll eingesetzt werden kann.

In Tabelle 2.1 sind zu den Verfahren POTS (Plain Old Telephone System) und ISDN (Integrated Speech Data Network) weiters die wichtigsten derzeit verwendeten Übertragungsverfahren für breitbandige Internetverbindungen über Telefonleitungen angeführt.

Verfahren	Bandbreite	Upload [Mbit/s]	Download [Mbit/s]
POTS	300 Hz - 3,4 KHz	0,056	0,056
ISDN	0 Hz - 120 kHz	0,064	0,064
ADSL	138 kHz - 1,1 MHz	bis zu 6 Mbit/s	bis zu 0,5 Mbit/s
ADSL2+	138 kHz - 2,2 MHz	bis zu 25 Mbit/s	bis zu 3,5 Mbit/s
VSDL	138 kHz - 12 MHz	bis zu 50 Mbit/s	bis zu 5 Mbit/s
VDSL2	138 kHz - 30 MHz	bis zu 200 Mbit/s	bis zu 200 Mbit/s

Tabelle 2.1: Übersicht der wichtigen Übertragungsverfahren

Je höher die Datenübertragungsrate bei den angeführten Verfahren wird, desto geringer wird die maximal nutzbare Länge der Zweidrahtleitung. In Abb. 2.4 werden die Leitungslängen in Verbindung mit den maximalen Datendurchsätzen für verschiedene DSL (Digital Subscribers Line) Technologien dargestellt. Wie sich in der Praxis gezeigt hat und auch aus der Abb. 2.4 hervorgeht, liegt der Grenzwert für eine vernünftige Anbindung unter ca. 4 km. Höhere Leitungslängen bedingen oftmals unvorhergesehene Verbindungsabbrüche und Bandbreiteneinbußen. Dies begründet sich auch dadurch, da die Leitungen oftmals ein hohes Alter haben und dadurch bereits zusätzlich hohe Dämpfungswerte, begründet z.B. durch Wassereinschlüsse oder Isolationsalterung, aufweisen.

2. Last Mile Anschlusstechnologien

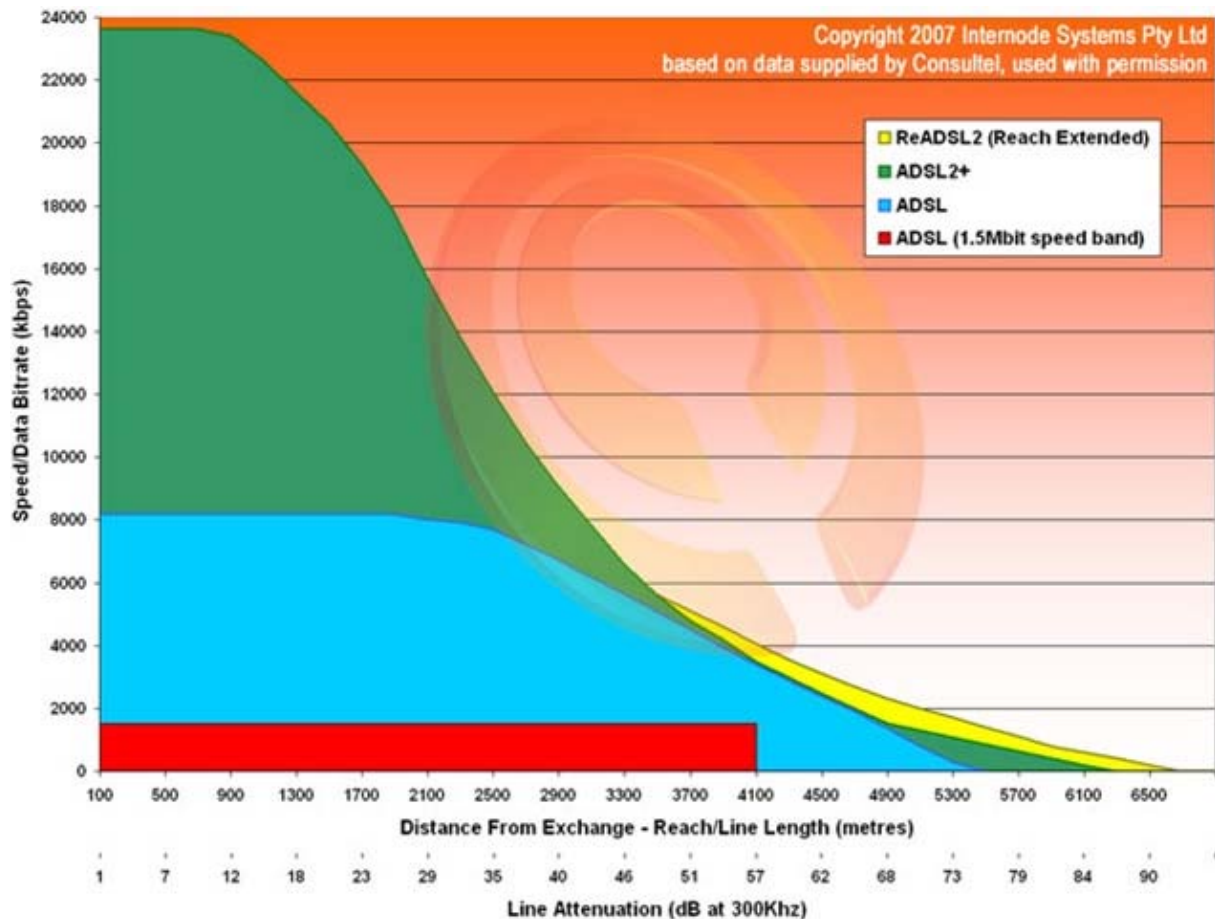


Abb. 2.4: Leitungslängen mit den maximalen Datendurchsätzen für verschiedene DSL Technologien (entnommen aus einer Publikation der Internode Systems Pty Ltd, [6])

2.2 Funkbasierend

In diesem Teil werden verschiedene funkbasierende Technologien zur Übertragung von Datendiensten dargestellt sowie deren Vor- und Nachteile hervorgehoben.

2.2.1 Wireless LAN IEEE 802.11

Wireless LAN IEEE 802.11 (WLAN, Wi-Fi, Wireless Fidelity) ist Teil der IEEE 802 Netzwerktechnologie Familie [9, 24, 29, 32, 35, 37]. Üblicherweise werden die individuellen Spezifikationen der 802 Netzwerkfamilie mit der zweiten Nummer dargestellt. So ist z.B. 802.3 die Spezifikation für ein Carrier Sense Multiple Access Netzwerk mit Kollisionsdetektion (CSMA/CD). In 802.1 sind die Management Funktionen wie z.B. virtuelle LAN's (802.1D) oder VLANs (802.1Q) spezifiziert, in 802.2 die logische Link Kontrolle (LLC), die von jeder weiteren tiefer liegenden Protokollebene benutzt werden kann. 802.11 ist eine weitere Verbindungsschicht, die die 802.2/LLC Kapselung verwenden kann. Die grundlegende Spezifikation von

802.11 besteht aus 802.11 MAC und zwei physikalischen Schichten, nämlich der FHSS Ebene (Frequency Hopping Spread Spectrum) und der DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) Schicht. Vorerst kam 802.11b mit der HR/DSSS (High Rate Direct Sequence Spread Spectrum) Technologie auf den Markt. Es folgte der Standard 802.11a mit einer physikalischen Schicht, die OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) verwendet. Derzeit ist 802.11g mit OFDM und einem höheren Datendurchsatz als 802.11a sehr weit verbreitet. Der guten Ordnung halber soll 802.11n nicht unerwähnt bleiben, ein Verfahren, das den Datendurchsatz durch drei Sender und Empfänger signifikant erhöhen kann.

Bei IEEE 802.11 wird grundsätzlich zwischen zwei Typen von Netzwerken (BSS, Basic Service Set) unterschieden (Abb. 2.5), nämlich einem unabhängigen Netzwerk und einem Infrastruktur Netzwerk. Die unabhängigen Netzwerke, oftmals auch Ad hoc Netzwerk genannt dienen einem spezifischen Zweck und werden nur temporär dafür eingesetzt, z.B. mehrere Notebooks bilden ohne Accesspoint ein Netzwerk auf einer Baustelle. Im Gegensatz dazu bedienen sich Infrastruktur Netzwerke üblicherweise eines Accesspoints über den der gesamte Datentransfer stattfindet.

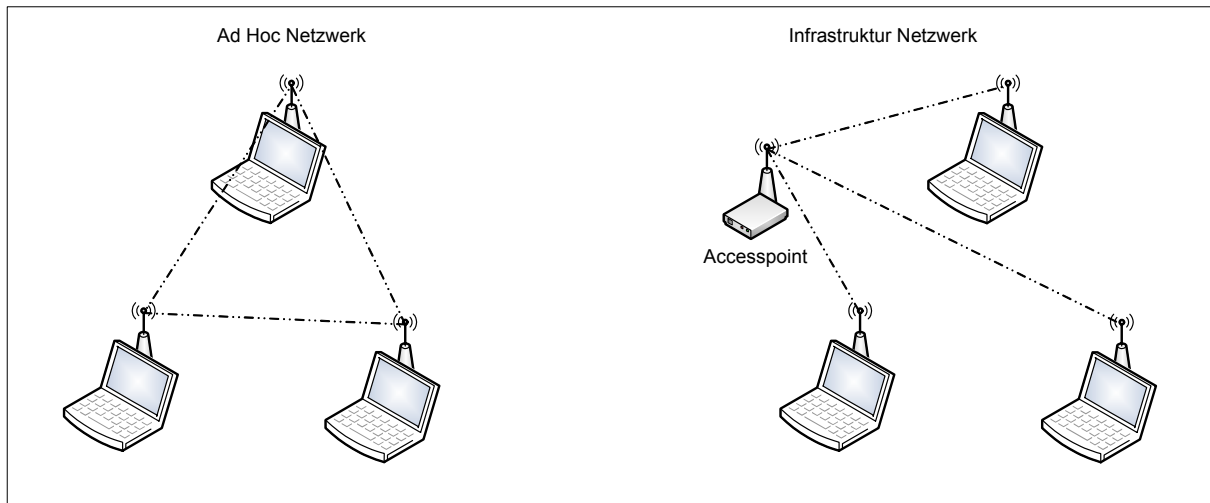


Abb. 2.5: Darstellung Ad Hoc und Infrastruktur WLAN Netzwerke

Üblicherweise wird einem Accesspoint eine SSID (Service Set Identifier), also eine eindeutige Kennung zugeteilt. Mit dieser Kennung ist es auch möglich, den Sendebereich eines Accesspoints durch mehrere an verschiedenen Orten einer Liegenschaft platzierten und mit dem gleichen Netzwerk verbundenen Accesspoints zu erhöhen. Dies wird als ESS (Extended Service Set) bezeichnet. Es gibt oftmals die Anforderung, dass verschiedene Benutzer von Accesspoints verschiedene Berechtigungen bekommen sollen. Mit dem vorliegenden Standard ist

es möglich sogenannte „virtuelle Accesspoints“ (BSS) zu errichten. Diese Accesspoints können mehrere SSID's aussenden, die je nach Zugangsberechtigung zu verschiedenen VLAN's führen. Derzeitig am Markt befindliche Chipsätze können in einem Accesspoint bis zu 64 virtuelle BSS's abbilden.

Kabellose Netzwerke werden typischerweise mittels nichtionisierenden hochfrequenten elektromagnetischen Wellen betrieben, die auch Empfänger erreichen können, die nicht für den Empfang der Informationen bestimmt sind. Aus diesem Grund und auch aus Gründen der Sicherheit gegen willentliches Abhören ist es unabdingbar die Datenübertragung entsprechend zu verschlüsseln.

Die hauptsächlich verwendeten Verschlüsselungsmethoden sind sogenannte Blockverfahren, Stromverfahren und asynchrone Verfahren bzw. Public Key Verfahren.

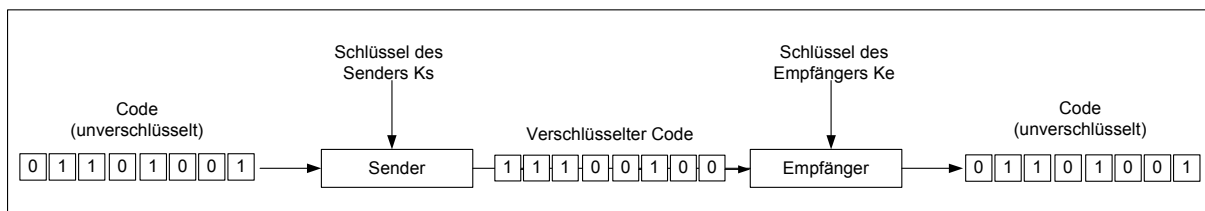


Abb. 2.6: Grundsätzliches Prinzip der Stromchiffrierung

Bei WLAN IEEE 802.11 hat sich vorerst der Verschlüsselungsstandard WEP (Wired Equivalent Privacy, 1997), ein Stromchiffrierverfahren (Abb. 2.6) durchgesetzt. Stromchiffrierverfahren benötigen relativ wenig Rechenleistung und sind zuverlässig, wenn der Zufallszahlengenerator und der Schlüssel K geheim bleiben. Weiters wird die Sicherheit signifikant erhöht, wenn alle Datenpakete mit unterschiedlichen Schlüsselströmen verschlüsselt werden. WEP benutzt einen statischen Schlüssel und basiert auf dem RC4 Verschlüsselungsalgorithmus.

Der RC4 Algorithmus wurde 1987 von Ron Rivest für die Firma RSA Data Security Inc. entwickelt [7]. Er besteht im Wesentlichen aus einer S-Box (lineares Feld) der Größe 256 mit Permutationen der Zahlen 0 bis 255. Im ersten Schritt werden die S-Box Permutationen mit dem geheimen Schlüssel errechnet. Diese S-Box liefert dann die Grundlage für die Berechnung der Zufallsfolge, wobei nach jedem Berechnungsschritt zwei Werte in der S-Box getauscht werden.

Der zu chiffrierende Code wird dann bitweise mittels XOR Funktion mit der zu generierten Zufallsfolge verknüpft, die dann als Ergebnis den verschlüsselten Code liefert (Abb. 2.7).

Es hat sich im Lauf der Zeit allerdings gezeigt, dass WEP ein unsicheres Verfahren ist, da bei der Authentifizierung, als auch bei der Verschlüsselung der gleiche statische Schlüssel als Eingabewert für den RC4 Algorithmus verwendet wird.

Der Wert des sehr kurzen Initialisierungsvektors (IV, 24 Bit) wird zudem unverschlüsselt im MAC Frame übertragen, womit jeder Empfänger der Aussendung den Schlüssel erzeugen kann und die gesamte Datenübertragung mittels Modulo 2 Operation vollständig entschlüsseln kann. Weiters ist die Schlüssellänge mit 40 Bit begrenzt und sehr kurz.

Der Integrity Check Value (ICV), ein Wert der aus den zyklischen Redundanzprüfungen (CRC) von Header und Payload gewonnen wird, bietet nur Schutz gegen zufällige Fehler, aber nicht gegen gezielt gerichtete Angriffe.

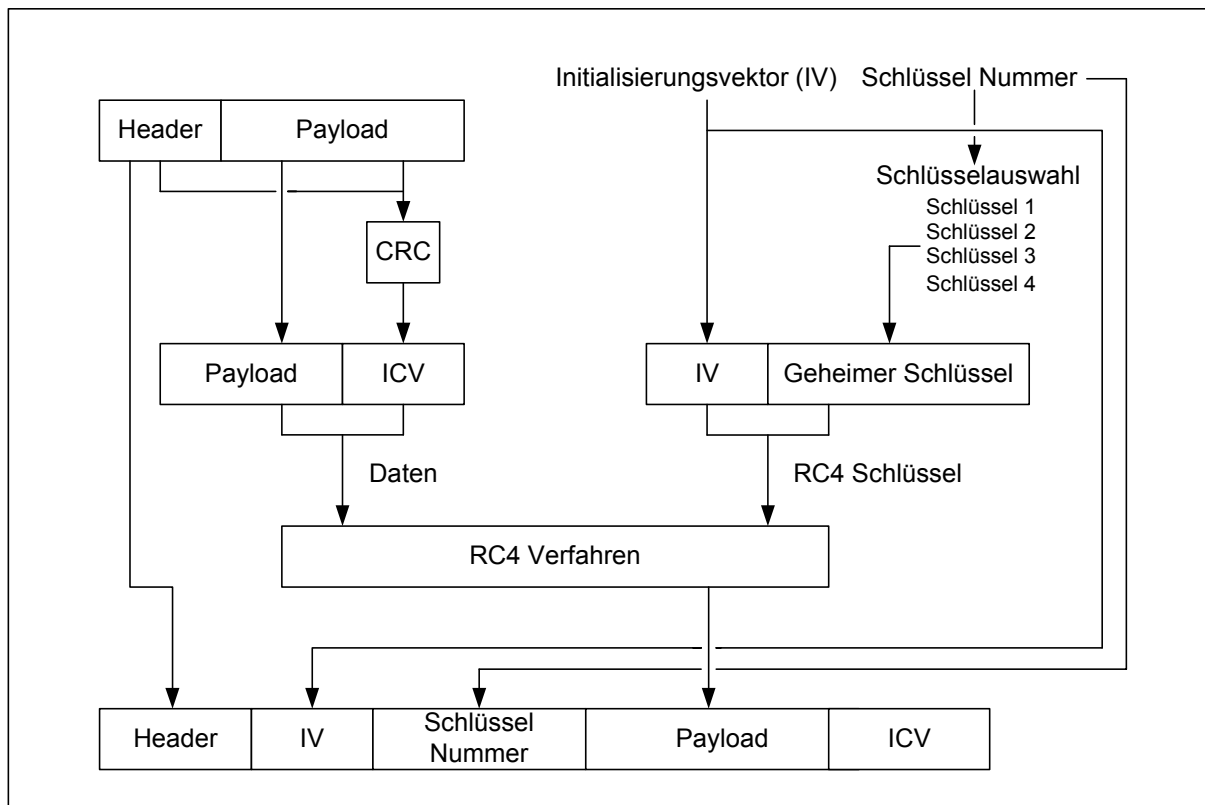


Abb. 2.7: Übersicht WEP Verschlüsselungsverfahren [7]

Aufgrund dieser signifikanten Schwäche im WEP Verschlüsselungsverfahren wurde der Standard IEEE 802.11i ins Leben gerufen, besser bekannt als Wi-Fi Protected Access (WPA) bzw. Wi-Fi Protected Access 2 (WPA2). Bei dieser Technologie wird das Verfahren Advanced Encryption Standard (AES) angewendet, welches ein symmetrisches Verschlüsselungssystem darstellt und bis dato in Verbindung mit einem starken Schlüssel noch nicht geknackt wurde.

In der nachfolgenden Tabelle 2.2 sind die derzeit verwendeten WLAN Standards mit den entsprechenden Brutto- und Nettobandbreiten dargestellt:

Standard	Frequenzband	Übertragungsgeschwindigkeit	
		Brutto [Mbit/s]	Netto [Mbit/s]
IEEE 802.11a	5 GHz	54	25
IEEE 802.11b	2,4 GHz	11	5
IEEE 802.11g	2,4 GHz	54	25
IEEE 802.11n	2,4/5 GHz	300	150

Tabelle 2.2: Übersicht WLAN Standards und Übertragungsgeschwindigkeiten

Weiters sind in der folgenden Tabelle 2.3 die seitens ETSI (European Telecommunications Standards Institute) global freigegebenen Frequenzen und Kanäle für die typischerweise verwendeten WLAN Standards IEEE 802.11 a, b, g und n dargestellt.

IEEE 802.11 a/n		IEEE 802.11 b/g/n	
Kanal	Frequenz [GHz]	Kanal	Frequenz [GHz]
36	5,180	1	2,412
44	5,200	2	2,417
48	5,220	3	2,422
52	5,240	4	2,427
56	5,260	5	2,432
60	5,280	6	2,437
64	5,300	7	2,442
100	5,500	8	2,447
104	5,520	9	2,452
108	5,540	10	2,457
112	5,560	11	2,462
116	5,580	12	2,467
120	5,600	13	2,472
124	5,620	14	2,484
128	5,640		
132	5,660		
136	5,680		
140	5,700		
147	5,735		
151	5,755		
155	5,775		
167	5,835		

Tabelle 2.3: Übersicht WLAN Standards, Kanäle und Frequenzen

Für die breitbandige Anbindung von Immobilien ist der Umstand der Reichweite von Anbindungen sehr relevant. Die Kanalkapazität und damit die maximale Bandbreite hängt nach SHANNON signifikant vom Signal zu Rauschverhältnis ab (2.2.1.1).

$$C = Bld \left(1 + \frac{P_S}{P_N} \right) \quad (2.2.1.1)$$

wobei: B : Bandbreite, C : Kanalkapazität, P_N : Signalleistung, P_S : Rauschleistung

Im Folgenden werden dazu weitere Überlegungen angestellt. Der relevante Faktor für das Maß der Empfangsfeldstärke ist die Freiraumdämpfung. Diese kann mit der der FRILS'schen Formel berechnet werden:

$$PG(f, d_L) = G_{TX}(f)G_{RX}(f) \frac{c^2}{(4\pi d_L^2) f^2} \quad (2.2.1.2)$$

G_{TX}Verstärkung der Sendeantenne
 G_{RX}Verstärkung der Empfangsantenne
 f Frequenz
 d_L Distanz

Mittels Gleichung 2.2.1.2 wurde die Freiraumdämpfung für das 2.4 GHz und das 5 GHz Band berechnet. Ein Vergleich der Freiraumdämpfung für eine Strecke bis zu 30 km für die beiden Frequenzbänder wird in Abb. 2.7 dargestellt [8, 9].

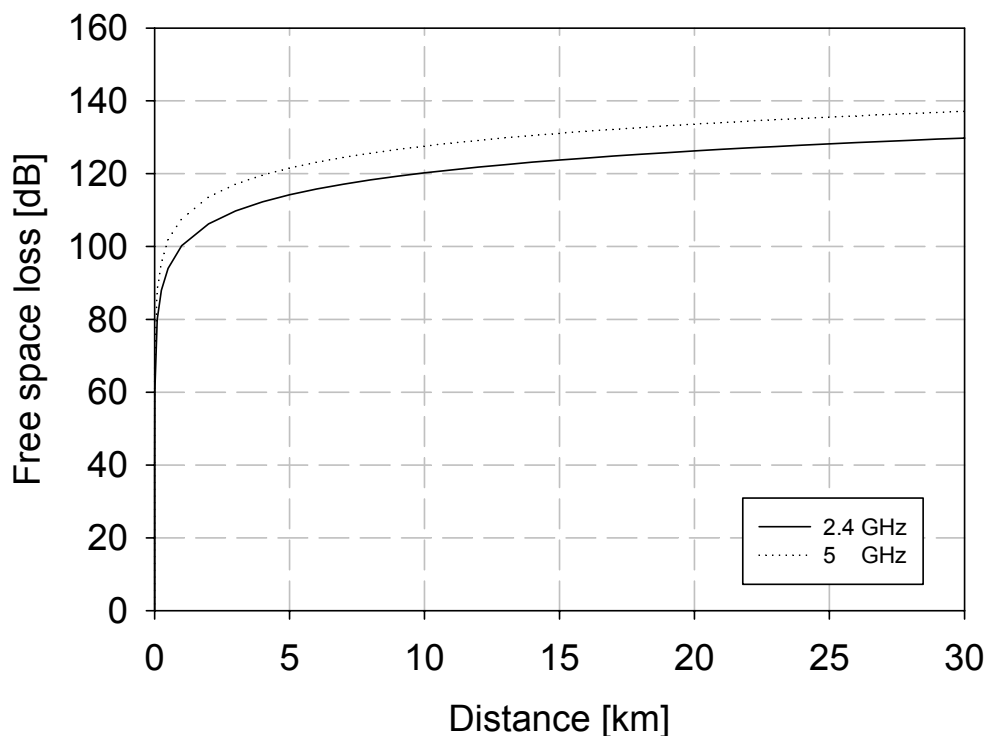


Abb.2.7: Vergleich der Freiraumdämpfung für 2,4 und 5 GHz

Ein weiterer Haupteinflussfaktor für hochfrequente Verbindungen ist die Beugung des Funkstrahles, die von Hindernissen im Ausbreitungsweg verursacht wird.

Oftmals befinden sich Hügel oder Gebäude in der direkten Verbindung zwischen dem Sender und dem Empfänger, welche eine gewisse Dämpfung verursachen können. Die Fresnel Zone definiert jenen Bereich in der Hauptausbreitungsrichtung der Sendeenergie, in dem sich keine Hindernisse befinden dürfen.

Die Fresnel Zone Höhe $\frac{h}{r_n}$ kann mit dem Beugungsparameter ν dargestellt werden:

$$\nu \approx h \sqrt{\frac{2(d_1 + d_2)}{\lambda d_1 d_2}} = \frac{h}{r_n} \sqrt{2n} \quad (2.2.1.3)$$

Wobei:

- nNummer der Fresnel Zone
- rRadius der Fresnel Zone
- λ Wellenlänge
- hHöhe des Hindernisses
- d_1Abstand des Senders zum Hindernis
- d_2Abstand des Empfängers zum Hindernis

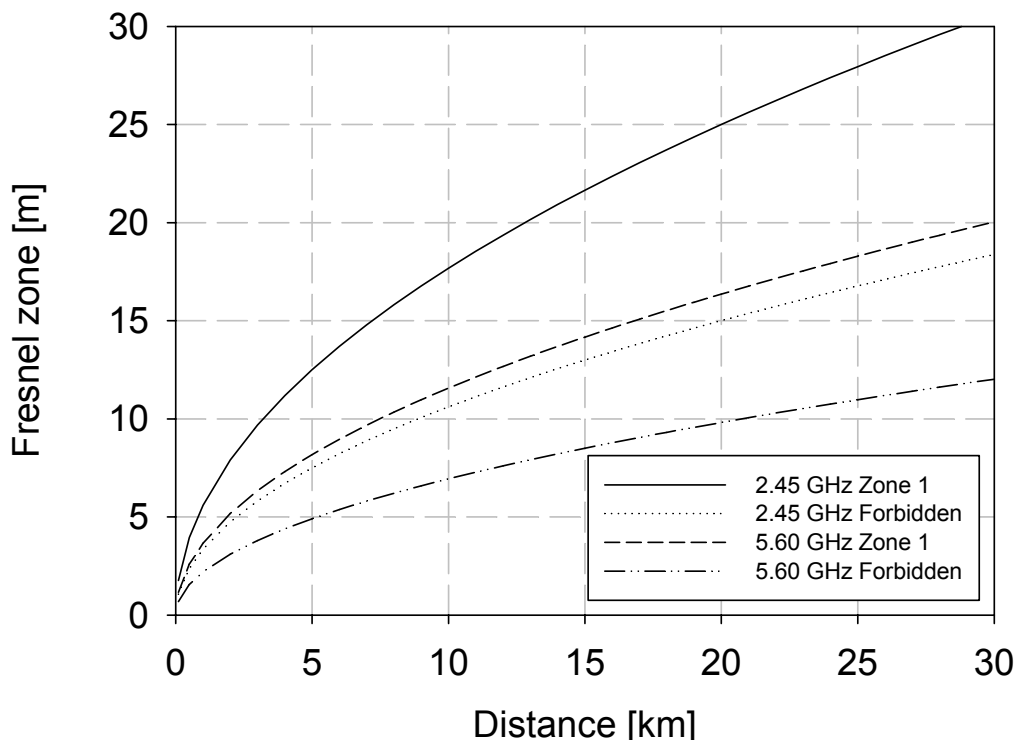


Abb. 2.8: Vergleich der 1. Fresnel Zone und des „verbotenen Bereiches“ [8]

Aus den vorangegangenen Ausführungen geht hervor, dass das 5 GHz Band zwar eine höhere Dämpfung aufweist, diese aber durch die für dieses Band höhere Sendeleistung wieder kompensiert werden kann. Für Verbindungen im verbauten

urbanen Bereich ist es von Vorteil eine kleine Fresnel Zone zu haben. Es hat sich gemäß Abb. 2.8 gezeigt, dass diese beim 5 GHz Band vorteilhafter ist als beim 2,4 GHz Band. Der verbotene Bereich in Abb. 2.8 ergibt sich dadurch, dass in der ersten Fresnelzone die meiste Energie übertragen wird und eine Verdeckung dieser Zone Leistungseinbußen nach sich ziehen würde.

Beispielhaft wird ein Link Budget für 2,4 und 5 GHz WLAN Strecken für verschiedene Distanzen innerhalb der regulatorisch erlaubten Sendeleistungen (EIRP) dargestellt. Aus Tabelle 2.2 geht klar hervor, dass das 5 GHz Band aufgrund der höheren Verbindungsreserve besser als das 2,4 GHz Band geeignet ist (Kabel1, 2: Dämpfung des Antennenkabels 1 und 2, Ant1, 2: Antennengewinn der Antennen 1 und 2, FSL: Freiraumdämpfung, EIRP: Sendeleistung).

Dist [km]	20		10		5		2.5	
	2.4	5	2.4	5	2.4	5	2.4	5
Tx [dBm]	-6	4	-6	4	-6	4	-6	4
Kabel1 [dBm]	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3
Ant1 [dBi]	29	29	29	29	29	29	29	29
FSL [-dB]	126	133	120	127	114	121	108	115
Ant2 [dBi]	29	29	29	29	29	29	29	29
Kabel2 [dBm]	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3
Rx [dBm]	85	85	85	85	85	85	85	85
EIRP [dBm]	20	30	20	30	20	30	20	30
Reserve [dB]	5	8	11	14	17	20	23	26

Tab 2.2: Typisches Link Budget für 2,4 und 5 GHz Systeme

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich hauptsächlich mit den Standards 802.11a und 802.11g, rechtliche Grundlagen für den Betrieb von WLAN's finden sich im Kapitel 8.2.1.

2.2.2 WiMAX

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access, IEEE 802.16 [96]) ist eine Technologie die ihre Ursprünge in der raschen Entwicklung der IP basierenden drahtlosen Dienste hat. Die wegen der multimedialen Inhalte steigende Bandbreite machten es notwendig eine neue Art von Next Generation Network (NGN) zu entwickeln. Die Mobilfunknetze waren von Beginn an nicht für derartig hohe Bandbreiten ausgelegt. Die Datenraten der 3GPP (3rd Generation Partnership Project), 3G-HSDPA (3rd Generation High Speed Downlink Packet Access) und Long Term Evolution (LTE) Netze können zwar theoretisch hohe Datenraten liefern, was in der Praxis aber daran scheitert, dass kein entsprechendes Frequenzspektrum für die gleichzeitige Übermittlung an viele Benutzer vorhanden ist. Der Vorteil von

WiMAX ist, dass mittels MIMO (Multiple Input Multiple Output) Antennen in Verbindung mit speziellen Technologien wie z.B. Spatial Multiplexing (SM) bzw. Space Time Coding (STC) gearbeitet werden kann, was die Datenrate im Vergleich zu Systemen mit einfacher Antenne, gerade in Bereichen wo es keine Sichtverbindung gibt, signifikant erhöht [10].

Die ersten WiMAX Standards gehen auf das Jahr 2001 zurück, in weiterer Folge wurde im Jahr 2004 ein entsprechender Standard für fixes (IEEE 802.16-2004) und im Jahr 2005 für mobiles WiMAX (IEEE 802.16e) geschaffen. Der Standard IEEE 802.16e ermöglicht die Verbindung zu Fahrzeugen bis zu einer Geschwindigkeit von 120 km/h. Typischerweise ist der Versorgungsradius einer WiMAX Basisstation ca. 20 km. Abhängig von den lokalen baulichen Gegebenheiten kann die nutzbare Datenrate bis zu 75 Mbit/s betragen. WiMAX kann gemäß dem Standard IEEE 802.16 im Frequenzbereich von 2-11 GHz mit Kanalbandbreiten von 1,25 MHz, 1,75 MHz, 3 MHz, 7 MHz, 8,75 MHz, 10 MHz, 14 MHz und 15 MHz betrieben werden. Es wird die OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) Modulation mit 256 oder 2048 Trägern verwendet (QPSK, 16 QAM oder 64 QAM).

In Österreich dürfen aufgrund der vorherrschenden Rechtslage (Telekommunikationsgesetz 2003, TKG) Frequenzen, sofern sie nicht für die Allgemeinheit zugänglich sind (vgl. WLAN) nur nach Bewilligung durch die Fernmeldebehörde verwendet werden. Üblicherweise werden die Frequenzen in einem Versteigerungsverfahren dem Bestbieter zugeschlagen. Derzeit ist dem Autor nur bekannt, dass entsprechende Frequenzen in Österreich für den Betrieb von WiMAX an die Provider UPC und an WiMAX Telecom vergeben worden sind.

2.2.3 Free Space Optics (FSO)

Ein optisches Freiraumübertragungssystem (FSO, Abb. 2.9) ist eine flexible Breitbandtechnologie (hohe Datenraten ohne Verkabelung) für den mobilen Zugang zu Backbone-Netzen [11, 12, 13, 14, 15]. Im Vergleich zu mobilen Übertragungsverfahren, wie beispielsweise Richtfunk, hat die optische Freiraumübertragung wesentliche Vorteile durch die höheren Bandbreiten, den einfachen Auf- und Abbau, die bessere Bündelbarkeit, den Wegfall der Lizenzgebühren für Funkübertragungsfrequenzen, bessere Abhörsicherheit und vor allem auch durch seine Umweltverträglichkeit (Wegfall des „Elektrosmogs“). Nachteilig sind vor allem atmosphärische Störungen wie Regen, Schnee, Nebel und direkt oder indirekt

einfallendes Sonnenlicht. Optische Freiraumübertragungssysteme werden heutzutage üblicherweise in rasch aufzubauenden Nahverbindungen in Stadtgebieten als Punkt-zu-Punkt oder Punkt-zu-Mehrpunkt-Topologie, für die breitbandige Verbindung zur Überquerung von Autobahnen, Eisenbahntrassen oder Flüssen, zur abhörsicheren Verbindung zwischen Gebäuden von Firmen und anderen Institutionen und zur Anbindung von mobilen Sanitäts- und anderen Einrichtungen der Exekutive, der Feuerwehr bzw. des Militärs an das Backbonenetz bei Krisen oder Katastropheneinsätzen verwendet [16, 17].



Abb. 2.9: Ansicht verschiedener FSO Systeme

Aus diesem Grund stellt die optische Freiraumübertragung für die dargestellten Verwendungszwecke eine ideale Technologie dar. Das FSO-System für den bidirektionalen Punkt-zu-Punkt-Datenaustausch besteht prinzipiell aus zwei getrennten OSE-Einheiten (optische Sende- und Empfangseinheiten) mit jeweils integrierten Empfangs-(PIN-Dioden) und Sendeeinrichtungen (Laser-Dioden).

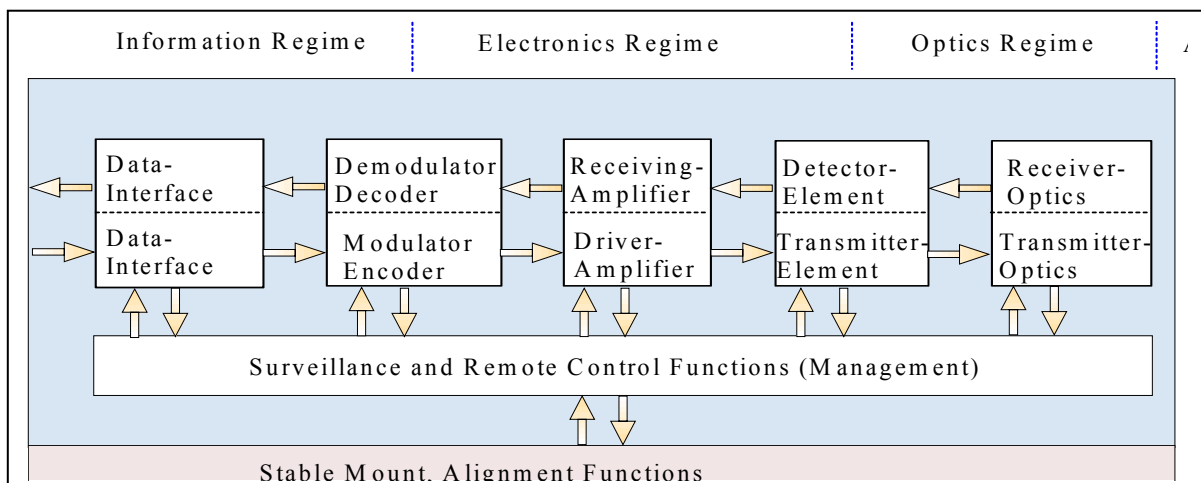


Abb. 2.10: Funktionsschema eines FSO Systems [16]

Typische Datenraten für FSO-Systeme reichen von 100 Mbit/s bis zu 1,5 Gbit/s (Abb. 2.10).

Aus Sicherheitsgründen ist die Ausgangsleistung gemäß den standardisierten Laserklassen beschränkt [18]. Die typische Dämpfung durch Nebel in österreichischen Regionen liegt bei ca. 100 dB/km. Um diese Dämpfung zu überwinden, kann die Ausgangsleistung der OSE's für den sicheren Betrieb bis zur Laserklasse 1M erhöht werden. Trotzdem sollen bei dieser Laserschutzklasse die Positionen der beiden OSE's sorgfältig gewählt und justiert werden, um mögliche Gesundheitsschäden durch optische Instrumente zu vermeiden.

Es wurde dokumentiert, dass FSO-Systeme mit automatischen Nachführeinheiten (Autotracking) im militärischen Bereich auf Schiffen Distanzen von 25 km bei einer Datenrate von 1,5 Gbit/s mit einer Laser-Ausgangsleistung von 7500 mW erfolgreich überbrücken konnten [19].

Das Systemverhalten eines FSO Systems wird im Folgenden beginnend mit dem Niveau der Sendeleistung P_{SYS} , Gleichung (2.2.3.1) dargestellt [20]:

$$P_{SYS} = P_{TX} + G_{TX} + A_{RX} - \sum a_{SYS} \quad (2.2.3.1)$$

In diesem Ausdruck stellt P_{TX} die gesamte durchschnittliche optische Ausgangsleistung in dBm dar, diese kann mittels Gleichung (2.2.3.2) berechnet werden.

$$P_{TX} (dBm) = 10 \log(P_{TX} (mW)) \quad (2.2.3.2)$$

Der geometrische Sendegewinn G_{TX} wird mit dem Winkel der Strahldivergenz α in Gleichung (2.2.3.3) ermittelt:

$$G_{TX} (dB) = 10 \log \left(\frac{4\pi}{2\pi \left(1 - \cos \frac{\alpha}{2} \right)} \right) \quad (2.2.3.3)$$

Die Ausgangsleistung bzw. das Niveau der Sendeleistung wird oft als äquivalente isotrope Sendeleistung (EIRP) bezeichnet, die nur die Sendereigenschaften

beschreibt. Wenn man eine kreisförmige optische Empfängerlinse (Radius R in Meter) verwendet, so ist die Empfangsfläche mit der Gleichung (2.2.3.4) gegeben:

$$A_{RX} = 20 \log(R_{OPTICAL}) \quad (2.2.3.4)$$

$\sum a_{SYS}$ summiert alle Systemverluste wie Absorption und Reflexion an den Linsen bzw. schlechte Ausrichtung. Wenn man die atmosphärische Dämpfung vernachlässigt, kann man die durchschnittlich empfangene optische Energie P_{RX} nach einer Streckenlänge von $d_L(m)$ mit der Gleichung 2.2.3.5 darstellen

$$P_{RX} = P_{SYS} - D_L = P_{SYS} - 20 \log(2d_L) \quad (2.2.3.5)$$

Die Toleranz M_{SYS} (in dB), die alle atmosphärischen Streckenverluste eines installierten Systems kompensiert, ist in Gleichung 2.2.3.6 gegeben:

$$M_{SYS} = P_{SYS} - P_{RS} - D_L \quad (2.2.3.6)$$

P_{RS} ist die Grenze für die Empfängerempfindlichkeit für den ordnungsgemäßen Betrieb des Systems. Schlussendlich wird noch die spezifische Streckenreserve M_{SPEC} in (dB/km) abhängig von der Streckenlänge d_L in Gleichung 2.2.3.7 angeführt.

$$M_{SPEC}(d_L) = \frac{1000m}{d_L} M_{SYS} \quad (2.2.3.7)$$

$$M_{SPEC}(d_L) = \frac{1000m}{d_L} [P_{SYS} - P_{RS} - 20 \log(2d_L)] \quad (2.2.3.8)$$

Wie vorangegangene Publikationen gezeigt haben, stellen atmosphärische Einflüsse, im Speziellen der Nebel, für FSO Systeme einen entscheidenden Einfluss dar.

Die Atmosphäre besteht aus mehreren Schichten, wobei das Wetter in der sogenannten Troposphäre, in der auch wir leben, seine verschiedenen Ausprägungen zeigt. Bedingt durch den hydrologischen Zyklus der Erde, dem ständigen Austausch von Wasser unter, an der Oberfläche und über der Erde, ändert sich der Aggregatzustand des Wassers ständig. Während der Änderung der

Aggregatzustände gibt es mehrere physikalische Prozesse, einer davon ist die Kondensation. Die Kondensation ist in der Troposphäre für die Bildung von Wolken und Nebel durch die Umwandlung von Wasserdampf in flüssige Wassertropfen verantwortlich. Nebel kann prinzipiell als eine Wolke mit Bodenkontakt betrachtet werden und führt zu Sichtbarkeitsverhältnissen von bis zu 1000 m. Man kann den Nebel je nach den Kondensationsbedingungen in mehrere Arten unterscheiden. Damit Nebel überhaupt entstehen kann, ist es notwendig, dass Wasser auf einer Oberfläche kondensiert. Diese Oberfläche können Staubpartikel, Aerosole oder auch Schmutzstoffe darstellen. Letztere können also in Form der Umweltverschmutzung Einflüsse auf das Entstehen und die Ausformung des Nebels und damit auch auf die Verfügbarkeit einer optischen Verbindung haben.

Prinzipiell kann man zwischen maritimen und kontinentalen Nebel unterscheiden. Dichter maritimer Nebel hat typischerweise eine Dämpfung von bis zu 400 dB/km. Es gibt oft rasche Änderungen der Nebeldichte wegen der sich ständig ändernden Winde über der See. Maritimer Nebel hat typischerweise eine Partikelgröße von 20 μm . Eine Studie, die in La Turbie in der Nähe von Nizza durchgeführt wurde, zeigt die entsprechenden Freiraumdämpfungen für die Wellenlängen von 850 nm und 950 nm (Abb. 2.11).

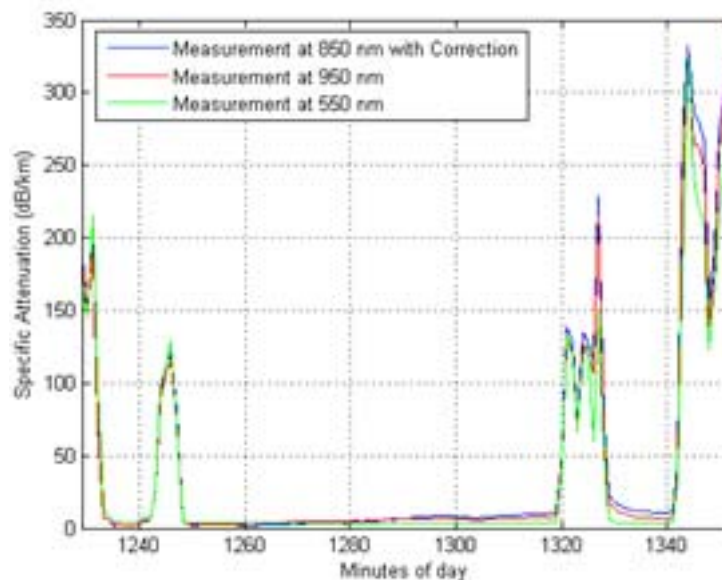


Abb. 2.11: Dämpfung durch Nebel in Nizza bei 550, 850 und 950nm [20]

Es wurden auch in Graz entsprechende Messungen durchgeführt, wobei die Partikel einen mittleren Durchmesser von 4 μm haben und die Freiraumdämpfung dafür bei ca. 100 dB/km liegt (Abb. 2.12).

2. Last Mile Anslusstechnologien

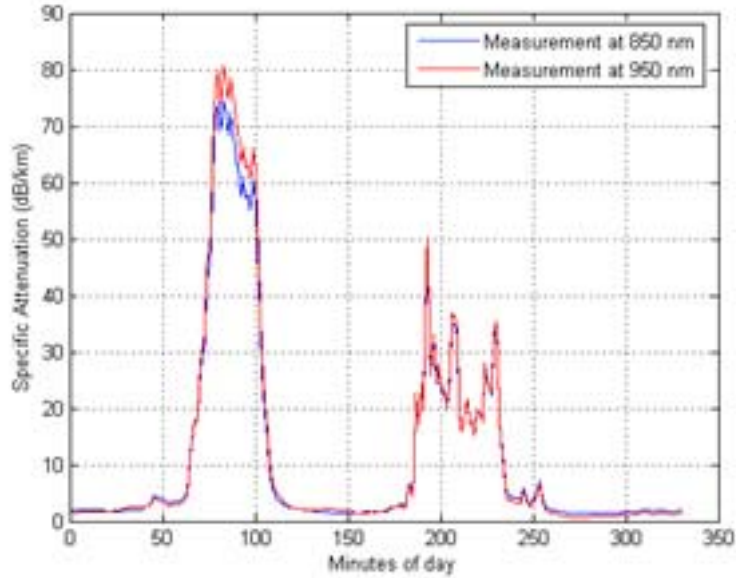


Abb. 2.12: Dämpfung durch Nebel in Graz bei 850 und 950nm [20]

Aufgrund der vorangegangenen Ausführungen liegt es klar auf der Hand, dass der Durchmesser der Partikel des Nebels einen entscheidenden Einfluss auf die Freiraumdämpfung eines optischen Systems hat und signifikant von der geographischen Lage des entsprechenden Einsatzortes abhängig ist, der in jede Planung eingehen muss.

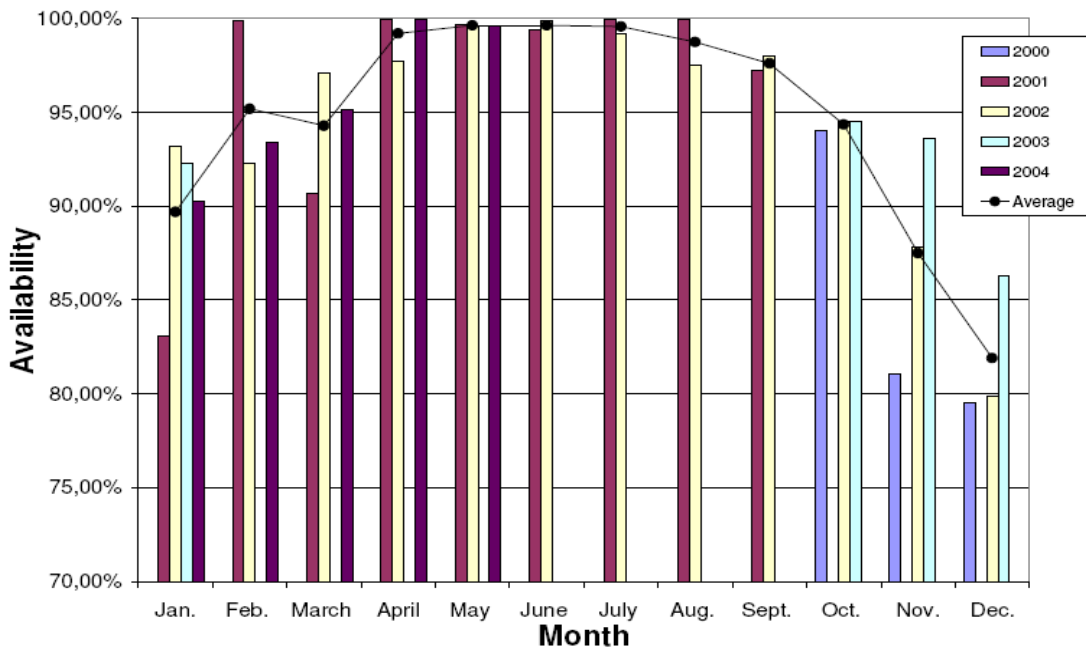


Abb. 2.13: Verfügbarkeit einer 2,7 km FSO Verbindung über 4 Jahre [20]

Letztlich dargestellt ist noch eine Grafik (Abb. 2.13), die die Verfügbarkeit eines FSO Systems mit einer Verbindungslänge von 2,7 km über mehrere Jahre über die

verschiedenen Jahreszeiten zeigt [20]. Signifikante Einschränkungen in der Verfügbarkeit sind in den Monaten Oktober bis März zu beobachten, in denen typischerweise auch Nebel auftritt.

2.2.4 DVB-T Rückkanal

DVB-T ist eine relative neue Technologie um digitale Datendienste in spezifischen Regionen auszustrahlen. Es wird ein komprimierter Video- und Audio-Stream mittels dem OFDM-Modulationsverfahren übertragen. Die Quellcodierung wird mittels MPEG2 oder MPEG4 (H264/AVC) Algorithmen durchgeführt. DVB-T wird typischerweise verwendet, um digitale TV-Programme im Frequenzbereich von 470 bis 862 MHz (UHF Bänder IV und V) auszustrahlen. Ein DVB-T Sender multiplext eine Anzahl von TV Kanälen (einzelne Programmströme) in einen Transportstrom. Das Einkapslungsverfahren für einen Kanal ist vergleichbar mit dem Verfahren, welches bei Satelliten-TV (DVB-S) für einen Transponder verwendet wird. Die Bandbreite eines Kanals reicht von 5 bis ca. 23 Mbit/s. Um ein entsprechendes Programm empfangen zu können, wird eine Set-Top-Box (STB) oder ein Integriertes TV-Set (ITV) benötigt, welches das gewählte Programm empfangen, demultiplexen und decodieren kann [22].

DVB-T erlaubt grundsätzlich das Ausstrahlen von Audio- und Video-Signalen mittels MPEG2 Programmströmen und ermöglicht zusätzlich auch den Transfer von Daten, beispielsweise mit dem IP over DVB-T Standard [23]. Für den Rückkanal sind im entsprechenden Standard verschiedene Technologien wie z.B. GPRS, UMTS oder POTL angeführt. DVB-T überträgt Daten in einer Reihe von diskreten Blöcken mit einer spezifischen Symbolrate. Weiters verwendet DVB-T das Modulationsverfahren COFDM mit einem zeitlichen Schutzabstand (Guard Intervall). Dieses Intervall erlaubt dem Empfänger auch in Situationen mit Mehrwegausbreitung eine einwandfreie Signalqualität zu erhalten. Innerhalb einer spezifischen geographischen Region erlaubt DVB-T auch die Ausstrahlung mittels Gleichwellennetz (SFN). Bei diesem Verfahren übertragen zwei oder mehrere Sender dieselben Daten auf dem gleichen Kanal (Frequenz). Wenn ein SFN verwendet wird, müssen die Sender exakt bitsynchron abstrahlen, jedes Bit wird also zeitgleich von allen Sendern gesendet. Die für die Synchronisation notwendige gemeinsame hochpräzise Zeitreferenz wird üblicherweise mittels GPS-synchronisierten Uhren oder Atomzeitnormalen realisiert.

DVB-T verwendet in der Praxis Sendeantennen ähnlich den weitverbreiteten GSM-Sektorantennen (Abb. 2.14) und hat im Vergleich zu WLAN herausragende Vorteile betreffend Wellenausbreitung. WLAN-Signale (IEEE 802.11 a, b, g, n) werden üblicherweise an Metalloberflächen oder Stahlbeton reflektiert, wobei DVB-T Signale aufgrund der niederfrequenteren Wellenausbreitung Wände leichter durchdringen können.



Abb. 2.14: DVB-T Sendeantenne auf einem Gebäude

2.2.5 GSM/EDGE/UMTS/LTE

GSM (Global System for Mobile Communication), EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution), UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) und LTE (Long Term Evolution) stellen derzeit verwendete Mobilfunkstandards dar, die für breitbandige Internetanbindung nur bedingt geeignet sind. All diese Standards arbeiten mit Funkschnittstellen und verwenden ein gemeinsames Medium, auf dem sowohl Sprach, Daten- und Internetdienste gleichzeitig abgewickelt werden. Die Bandbreite ist auf Grund der beschränkten Einsatzreichweite von entsprechenden mobilen Endgeräten auf die Anzahl der eingebuchten Benutzer in der lokalen Funkzelle abzustellen. Zudem sind die verwendeten Frequenzen für die gegenwärtig verwendeten Systeme bereits fix vergeben und damit die gesamte mögliche Bandbreite für einen Benutzer aufgrund der Vielzahl von Diensteanbietern

beschränkt. Aufgrund der digitalen Dividende, entstanden durch die Digitalisierung des Fernsehrundfunks, gibt es nunmehr einige freie Frequenzbänder, die möglicherweise für den Mobilfunk versteigert werden. Selbst wenn es nun neue Frequenzen für den Mobilfunk geben sollte, so sind dazu weiters neue Sendestationen zu errichten, die sich letztlich für die Diensteanbieter auch amortisieren müssen. Typischerweise gibt es in Ballungszentren, wo es ohnehin sowohl Kupfer- also auch Glasfaseranbindungen gibt, auch die größte Konzentration von Mobilfunksendestationen. In peripheren Gebieten sinkt typischerweise die Konzentration der Mobilfunksendestationen signifikant, womit sich die Anzahl der Benutzer pro Zelle erhöht und sich damit die durchschnittliche Bandbreite pro Nutzer reduziert. Aus den angeführten Gründen werden die erwähnten Mobilfunktechnologien in dieser Arbeit lediglich als Backupsysteme für Notsysteme herangezogen. Eine alternative Breitbandtechnologie für periphere Bereiche wird im Kapitel 6 „Internetzugang mittels DVB-T, FSO und WLAN“ dargestellt.

3. Netzwerkstrukturen in einer Immobilie

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit den Netzwerkstrukturen und -technologien sowohl in Neu- als auch in Altbauten und zeigt bzw. erörtert verschiedene Anbindungsmöglichkeiten von Immobilieneinheiten.

3.1 Netzwerkstrukturen in einer Wohneinheit

In diesem Teil werden verschiedene Möglichkeiten von Netzwerkstrukturen in Wohnungseinheiten dargestellt.

3.1.1 Netzwerkstrukturen in Altbauten

Eine sehr weitverbreitete Verkabelungstechnologie in Wohnungsgebäuden ist das Koaxialkabel. Typischerweise wird über ein Koaxialkabel die Zwischenfrequenz von Satelliten LNB's (Low Noise Block Converter) übertragen.

Wenn man über diese Kabel eine Busstruktur zur Datenübertragung einführt, so kann man die damit verbundenen Benutzer relativ einfach mit synchronen Internetdiensten versorgen.

Diese Technologie ist sehr ähnlich zu koaxial geführten Ethernet Netzwerken (z.B. Token Ring, 10Base2), die in den letzten Dekaden benutzt wurden. Prinzipiell besteht ein solches Datenübertragungssystem aus einem Datenmaster und einer entsprechenden Anzahl von Datenclients. Der Datenmaster ist mit dem Last Mile Internetanschluss verbunden und vergibt die entsprechenden IP Adressen mittels DHCP und steuert auch die Datenraten (Traffic Shaping) und Services für jede Wohnungseinheit.



Abb. 3.1: Datenblattauszug der Firma Elcon Systemtechnik, MoCa Master (links), MoCa Client (rechts)[94]

Es sind mit diesen Systemen (ITU-T Rec. G.9954, [95]) synchrone Datenraten bis zu

3. Netzwerkstrukturen in einer Immobilie

100 Mbit/s möglich. Am Markt sind diese Systeme als sogenannte MoCa Geräte (Multimedia over Coaxial Cable) erhältlich (vgl. Abb. 3.1). Die Bandbreite für einen einzelnen Benutzer kann nach der entsprechenden Bandbreitenplanung auch am Datenclient in Hinblick auf die gesamte zur Verfügung stehende Datenrate und für die benötigte Datenrate des Benutzers konfiguriert werden.

Als Alternative besteht die Möglichkeit, wie professionelle Internet Service Provider, ein Cable Modem Termination System (CMTS) in einem oder einer Gruppe von Gebäuden zu verwenden. Dies ist allerdings unökonomisch. Diese Systeme sind in der einfachsten Ausführung für rund 5000 Benutzer ausgelegt und wird diese Anzahl von Benutzern in der Praxis typischerweise auch in komplexeren Gebäudestrukturen nicht erreicht.

Ein CMTS zeigt noch den weiteren Nachteil, dass es gemäß DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specification, ITU-T Rec. J.112, [95]) nicht für den synchronen Datentransfer ausgelegt ist. Typischerweise wird der Datentransfer asynchron durchgeführt, die Downloadbandbreite ist demnach um einen gewissen Faktor höher als die Uploadbandbreite. In Hinblick auf den Bedarf an synchronen Bandbreiten in Gebäuden scheidet das System CMTS in der derzeitigen Form damit auch aus diesem Grund aus.

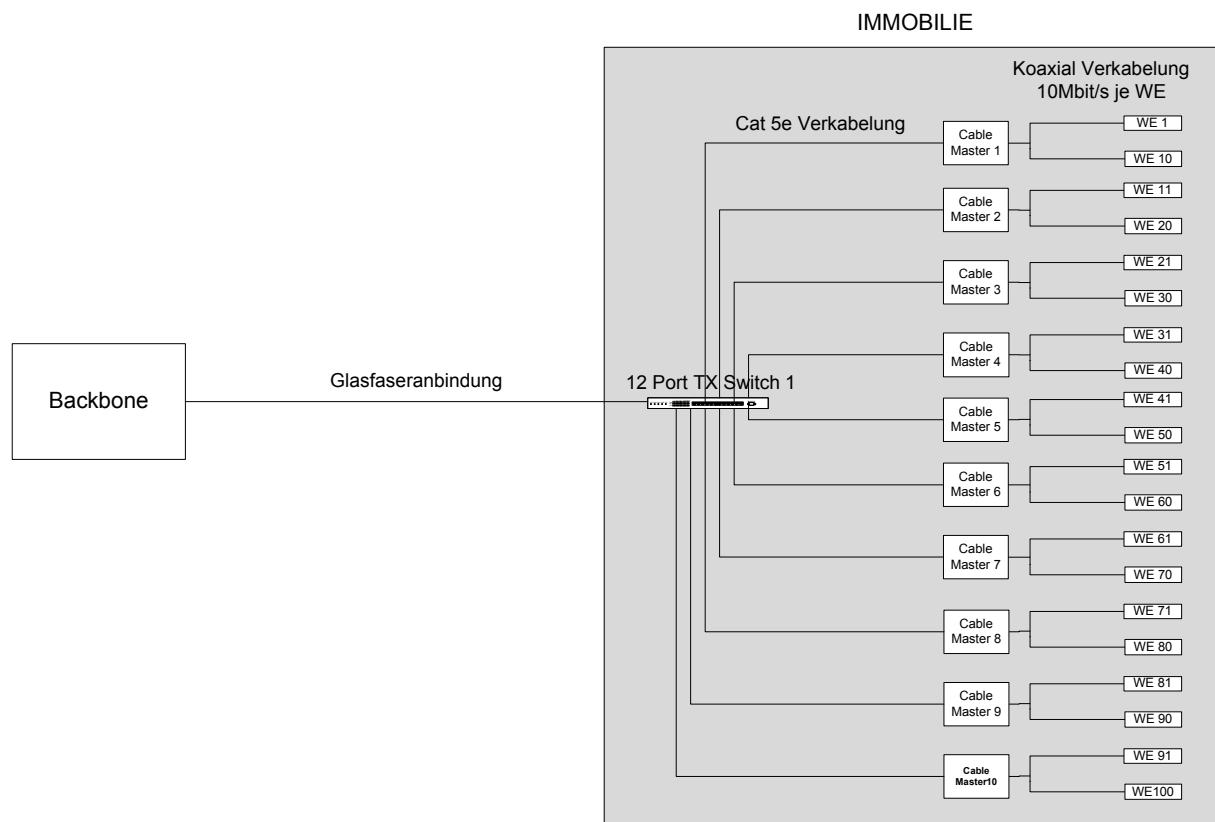


Abb. 3.2: Anbindung einer Immobilie mittels Glasfaser und Verteilung im Haus mit dem System MoCa

Wenn man in Betracht zieht, dass der Austausch eines Verkabelungssystems mit einem anderen System (z.B. Koaxialkabel mit CATx oder Glasfaser) einerseits kostenintensiv ist und zudem stauberzeugende Bautätigkeiten nach sich zieht, so stellt das System MoCa durchaus eine interessante und kostengünstige Variante dar. Dies vor allem dann, wenn der Hauseigentümer Umbauarbeiten, aus welchen Gründen auch immer, nicht gestattet.

In Abb. 3.2 wird eine beispielhafte Lösung der Anbindung einer Immobilie mittels Glasfaser zum und Verteilung im Haus mittels dem System Moca für 100 Wohnungseinheiten dargestellt.

3.1.2 Netzwerkstrukturen in Neubauten

Wenn man ein neues Gebäude errichtet, so gibt es eine Vielzahl von Möglichkeiten die in der Planungsphase berücksichtigt werden müssen, um Wohnungseinheiten zu verkabeln und mit einem Datenbackbone zu verbinden. Der folgende Teil gibt einen kurzen Überblick [24].

3.1.2.1 Koaxialkabel mit einem CMTS oder ähnlichem System

Es hat sich in der Praxis herausgestellt, dass in den meisten Fällen die Koaxialverkabelung nicht passend für hohen Datentransfer ist. Hohe Dämpfung wegen des Alters des Kabels und zudem oftmals die Verkabelungsarchitektur, die nur für Satellitenfernsehen ausgelegt ist, machen die Koexistenz mit einem CMTS unmöglich.

Selbst wenn die Koaxialverkabelung gänzlich neu installiert wird, hat es sich gezeigt, dass die Kosten-Nutzenrechnung wegen den hohen Investitionskosten und letztlich auch wegen der niedrigen asynchronen CMTS Performance negativ ist. Wirtschaftlich interessant ist lediglich das System MoCa.

3.1.2.2 Strukturierte Verkabelungsstandards

Eine sehr flexible Lösung um Gebäude zu verkabeln sind die sogenannten CATx (Cable and Telephone, [25]) Standards, die nahezu auch in jedem Büro zu finden sind. Diese Kabel bestehen typischerweise aus verdrehten Zweidrahtleitungen, sind je nach Anforderungsprofil geschirmt oder ungeschirmt und können in verschiedenen Kategorien besorgt werden. Für die Verkabelung kommen die Kategorien CAT 5e

(TIA/EIA-568-B.2.2001), CAT 6a (ANSI/TIA/EIA-568-B.2-10) und CAT 7 (ISO/IEC 11801:2002) in Frage. CAT 5e kann bis zu 1 Gbit/s auf einer Übertragungsstrecke von 100 m übertragen, CAT 6a auf der gleichen Länge bis zu 10 Gbit/s (10Gbase-T). CAT 7 kann 10 Gbit/s übertragen [97] und es wurde erst kürzlich berichtet, dass dieser Standard im Jahr 2013 bis zu 100 Gbit/s auf einer Strecke von 100 m übertragen soll [26].

3.1.2.3 Aktive und passive Glasfaserverkabelung

Der Hauptunterschied zwischen aktiver und passiver Glasfaserverkabelung (PON, Passive Optical Networks, ITU-T G.671, [95]) besteht darin, dass bei passiver Verkabelung keine Netzwerkswitches in den entsprechenden Gebäuden installiert werden müssen und damit keine Investitions-, Energie- und Wartungskosten entstehen. Die Verteilung wird mittels passiver Weichen bewerkstelligt, was den kostengünstigsten und effizientesten Weg darstellt, eine Immobilie an einen Breitbandbackbone anzuschließen. Es kann mittels einer einzelnen Glasfaser von einem zentralen Network Operation Center (NOC) ein optischer Splitter in der Immobilie angebunden werden, der wiederum alle einzelnen Wohnungseinheiten anschließt. Durch das Benutzen von verschiedenen Wellenlängen wie z.B. Dense Wavelength Division Multiplex (DWDM) und Wavelength Division Multiplex (WDM) kann die Bandbreite signifikant und einfach erhöht werden, ohne teure und fehleranfällige Hardware tauschen zu müssen.

Diese Technologie stellt im Vergleich zur traditionellen aktiven Glasfaserverkabelung mit Ethernetswitches und entsprechenden Einschubmodulen für Glasfaserverbinder eine kostengünstige Methode dar, die auch den zukünftigen hohen Bandbreitenbedarf durch die einfache Skalierung befriedigen kann.

Derzeit sind Geräte mit dem Standard GPON (Gigabit Passive Optical Network, ITU-T G.984, [95]) mit einer Downlink Bandbreite von wahlweise 1,2 Gbit/s bzw. 2,4 Gbit/s und einer Uplink Bandbreite von wahlweise 155 Mbit/s bzw. 622 Mbit/s und 1,2 Gbit/s bzw. 2,4 Gbit/s erhältlich.

Ein GPON Übertragungssystem besteht prinzipiell aus einer Optical Line Termination (OLT) die mittels Glasfaser an eine Immobilie angebunden ist und aus einem optischen Splitter, der die einzelnen Wohnungseinheiten mit ihren ONU (Optical Network Units) und ONT (Optical Network Terminations) verbindet.

Die Übertragung wird mittels der GPON Encapsulation Method (GEM) durchgeführt, die sowohl Daten im Zeitmultiplex (TDM) als auch paketbasierende Daten zulässt. Die Übertragung wird gemäß ITU für den Downstream auf 1490 nm und für den Upstream auf 1310 nm durchgeführt. Zusätzlich ist es mittels eines OLT-V (Optical Line Termination – Video) und einer Einkoppelung des Videosignales in die Glasfaser möglich einen Videomulticaststream auf 1550 nm zu übertragen (Abb. 3.3).

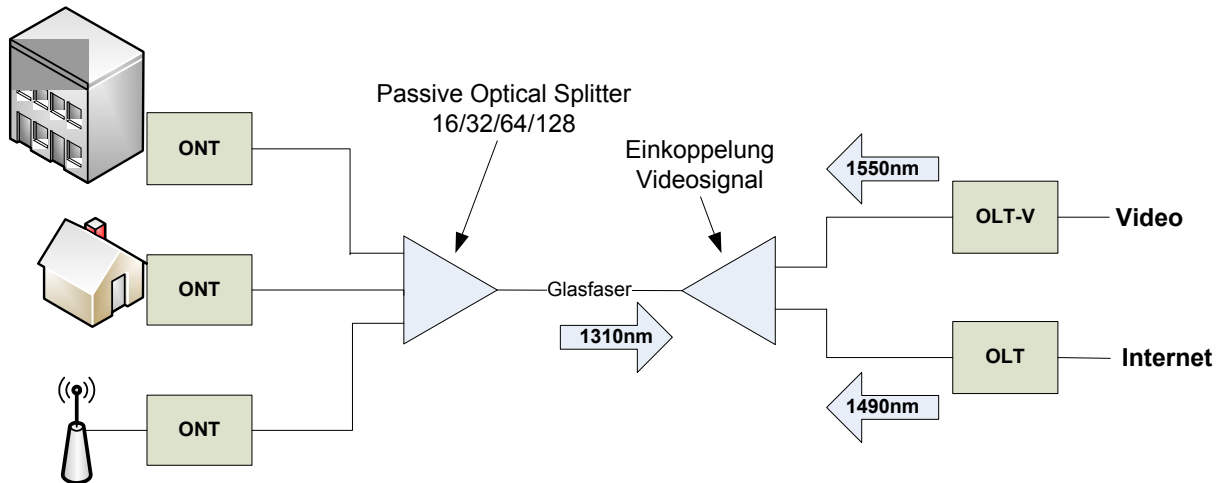


Abb. 3.3: Funktionsprinzip eines GPON Netzwerkes mit Video

Je nach Qualität des zentralen OLT's und der optischen Splitter können mit einem Splitter typischerweise bis zu 32 Einheiten/Geräte angesprochen werden, es sind allerdings Splitter mit 64 bis 128 Anschlüssen in Planung [27].

3.2 Netzwerktechnologien in einer Wohneinheit

In diesem Unterkapitel werden verschiedene Technologien zum Anbinden und zur Verteilung von Daten in Wohnungseinheiten erörtert.

3.2.1 Glasfaser

Wie bereits in den vorangegangenen Kapiteln ausgeführt, haben Glasfasern bezüglich der Datenübertragungseigenschaften herausragende Vorteile. Wenn Glasfasern allerdings in Immobilien verlegt werden sollen, so ist der Kostenaufwand betreffend der Verlegungskosten (Spleissarbeiten) jedenfalls in der Planung zu berücksichtigen. Es erscheint wirtschaftlich nicht sinnvoll, jedes Endgerät in einer Immobilie mittels Glasfaseranschluss anzubinden. Zudem haben die meisten derzeit am Markt erhältlichen Endgeräte keine entsprechende optische

Schnittstelle, weswegen für den Betrieb Medienkonverter notwendig sind. Ebenso ist zu berücksichtigen, dass mit den Glasfasern keine engen Biege radien überbrückt werden können. Es ist daher aus ökonomischer Sicht sinnvoll, dass man in entsprechenden Projekten mittels Glasfaser nur größere Distanzen zwischen Gebäuden und Stockwerken überbrückt und die Anbindung zu den Endgeräten mittels kostengünstigeren Technologien, wie im Folgenden dargestellt, ausführt.

3.2.2 Polymeroptische Fasern (POF)

Dieser Fasertyp wurde bereits in den 60er Jahren hergestellt, wies aber Dämpfungswerte von rund 1000 dB/km auf. Erst eine Dekade später konnten Fasern mit Dämpfungswerten von ca. 125 dB/km bei 650 nm Wellenlänge entwickelt werden. Mit dem Einsetzen der zunehmenden Digitalisierung in den 90er Jahren wurde die Polymerfaser zunehmend interessant, da sie zur Verbindung von audiovisuellen HiFi Geräten und auch in der Automobilindustrie eingesetzt wurde. Die heutzutage verwendeten polymeroptischen Fasern werden typischerweise als Einzelpolymer-Fasern mit Durchmessern zwischen 250 µm und 3 mm mit Stufenindexprofilen hergestellt.

Der Vorteil dieser Fasern liegt in der einfachen Herstellung und in der extrem hohen Belastbarkeit. Der prinzipielle Aufbau dieser Fasern besteht aus einem Kern aus Silizium mit einem Durchmesser von 200 µm, darüber aus einer Polymerschicht von ca. 15 µm, aus einem inneren Schutzmantel mit 500 µm und einem äußeren Schutzmantel mit 2,3 mm. Durch den Polymermantel um den Glasfaserkern wird eine sehr hohe mechanische Belastbarkeit und werden sehr enge Biegeradien gewährleistet. Gerade bei der praktischen Verlegung in Immobilien sind enge Biegeradien oftmals von großem Vorteil.

Polymeroptische Fasern können mit entsprechenden Medienconvertern mit einer maximalen Datenübertragungsrate von ca. 100 Mbit/s bis zu Distanzen von 200 m eingesetzt werden. Diese Bandbreite ist für die Anbindung verschiedener audiovisueller Komponenten in Immobilien jedenfalls ausreichend.

Ein weiterer Vorteil der polymeroptischen Fasern ist die einfache Verlegung ohne entsprechende Spleissgeräte. Bei einer zu verlegenden Faser wird der Mantel abgesetzt, die Faser auf einen entsprechenden Stecker montiert, das überstehende Ende mit einem Messer abgeschnitten und letztlich die Oberfläche geschliffen und poliert. Die genannten Eigenschaften machen POF's zu einem sehr attraktiven

Verbindungsmedium in Immobilien, da die Verbindungen auch ohne großes Fachwissen vom Heimwerker in einfacher Art und Weise hergestellt werden können [28].

3.2.3 CATx (Cable and Telephone)

Die CATx Standards wurden bereits in Kapitel 3.1.2.2 behandelt. In der Praxis erweist sich die Verkabelung mit CATx bis zu 100 m problemlos, die Kabel werden auf einem Patchfeld aufgeschaltet und sternförmig zu den entsprechenden Verbindungsdosen in der Wohneinheit verlegt und können mit handelsüblichen Patchkabeln angeschlossen werden.

Für den Betrieb ist an einem Sternpunkt ein entsprechender Ethernetswitch vorzusehen. Sofern der Switch über die Funktion PoE (Power over Ethernet) verfügt, können entsprechende Endgeräte (typischerweise VoIP Telefone) zudem mit Strom versorgt werden, was ein weiteres Netzteil für die Endgeräte nicht mehr notwendig macht. Der Nachteil der CATx Verkabelung liegt allerdings in der nachträglichen Verlegung, da die Kabel durch deren Dicke nicht unter den Sesselleisten verbaut werden können. Es ist daher in der Praxis in den meisten Fällen die Verlegung in der Mauer bzw. mittels eines Kabelkanales über Putz notwendig. Letzterer wird von den Benutzern oftmals als unästhetisch empfunden. Zweckmäßigerweise sollte in Immobilien aus Gründen der Zukunftssicherheit zumindest der Standard Cat 6e verlegt werden.

3.2.4 WLAN

Auf den ersten Blick mag der Vorteil von WLAN für die multimediale Anbindung von Endgeräten in einer Immobilie auf der Hand liegen, da keine Verkabelung notwendig ist. In der Praxis stellen sich für den angestrebten Zweck aber oft einige Probleme.

Wie bereits in den vorangegangenen Kapiteln ausgeführt, ist WLAN eine Technologie, bei der sich alle Benutzer ein bestimmtes Medium teilen. In Abb. 3.4 ist eine Momentaufnahme mit dem WLAN Tool Network Stumbler durchgeführt worden. Es ist deutlich erkennbar, wie viele verschiedene WLAN Accesspoints auf welchen Kanälen aktiv sind. Im Speziellen wird bei der gegenständlichen Messung der Kanal 11 sehr stark verwendet, was eine sinnvolle breitbandige Verwendung dieses Kanals unmöglich macht.

3. Netzwerkstrukturen in einer Immobilie

MAC	SSID	Name	Chan	Speed	Vendor	Type	Enc...	SNR	S...	Noise	SNR+	IP Addr
00179A5B8FE1	xi-net		6	54 Mbps	(Fake)	AP	WEP	12	-88	-100	12	
00134645A78	Glasglocke		6	54 Mbps	(Fake)	AP	WEP	12	-87	-100	13	
001CF04C6B6	ETM170108		6	54 Mbps	(Fake)	AP	WEP	14	-86	-100	14	
0024D1727CEA	UPC007616		11	54 Mbps	(Fake)	AP	WEP	12	-86	-100	14	
0024B2C83EC0	NETGEAR		6	54 Mbps	(Fake)	AP	WEP	15	-85	-100	15	
0026CBAB7DD5	eduroam		11	54 Mbps	(Fake)	AP	WEP		-85	-100	15	
00C049FFEF14	ThaSweeW/G		11	54 Mbps	US Rob...	AP	WEP	16	-84	-100	16	
0026CBAB7DD4	AKH-Hotspot		11	54 Mbps	(Fake)	AP		13	-84	-100	16	
0026CBAB7DD0	MUW-NET		11	54 Mbps	(Fake)	AP	WEP	13	-84	-100	16	
0026CBD11695	eduroam		11	54 Mbps	(Fake)	AP	WEP	14	-83	-100	17	
00040EF3ED59	FRITZBox Fon WLAN 7140 Annex A		11	54 Mbps	(Fake)	AP	WEP	13	-83	-100	17	
0026CBAB7557	AKH-Intern		1	54 Mbps	(Fake)	AP	WEP	16	-83	-100	17	
0026CBD13844	AKH-Hotspot		6	54 Mbps	(Fake)	AP		15	-82	-100	18	
0026CBD13841	MUW-GUEST		6	54 Mbps	(Fake)	AP		16	-82	-100	18	
0026CBD11694	AKH-Hotspot		11	54 Mbps	(Fake)	AP		15	-82	-100	18	
0026CBAB7DD1	MUW-GUEST		11	54 Mbps	(Fake)	AP		15	-82	-100	18	
0026CBD11690	MUW-NET		11	54 Mbps	(Fake)	AP	WEP	15	-82	-100	18	
0026CBAB7554	AKH-Hotspot		1	54 Mbps	(Fake)	AP			-82	-100	18	
0026CBAB7555	eduroam		1	54 Mbps	(Fake)	AP	WEP	17	-82	-100	18	
0026CBAB7550	MUW-NET		1	54 Mbps	(Fake)	AP	WEP	15	-82	-100	18	
0026CBAB7551	MUW-GUEST		1	54 Mbps	(Fake)	AP		17	-82	-100	18	
0026CBD11691	MUW-GUEST		11	54 Mbps	(Fake)	AP		15	-82	-100	18	
0026CBD13847	AKH-Intern		6	54 Mbps	(Fake)	AP	WEP	15	-81	-100	19	
0026CBD11697	AKH-Intern		11	54 Mbps	(Fake)	AP	WEP	14	-81	-100	19	
0026CBAB7DD7	AKH-Intern		11	54 Mbps	(Fake)	AP	WEP	13	-81	-100	19	
38229D54A4CC	PBS-54A4C5		1	54 Mbps	(Fake)	AP	WEP	13	-80	-100	20	
0012CF00EFA	philips		6	54 Mbps	(Fake)	AP	WEP	14	-80	-100	20	
0026CBD13840	MUW-NET		6	54 Mbps	(Fake)	AP	WEP		-78	-100	22	
0026CBD13845	eduroam		6	54 Mbps	(Fake)	AP	WEP	15	-76	-100	24	
001F9FD0FB9D	Thomson98FCC8		11	54 Mbps	(Fake)	AP	WEP	19	-74	-100	26	
001B11F79C82	ETM130206		6	54 Mbps	(Fake)	AP	WEP		-72	-100	28	
008048547D1D	.		11	11 Mbps	Compex	AP		17	-72	-100	28	
5251E5D55A43	martin-laz32.freitunk		10	54 Mbps	(User-d...)	Peer		27	-70	-100	30	
002268DE9746	linksys		6	54 Mbps	(Fake)	AP	WEP	22	-69	-100	31	
00216396156F	SpeedTouchDC7330		6	54 Mbps	(Fake)	AP	WEP	28	-68	-100	32	
0002613CF447	Tele2_Easybox		10	54 Mbps	(Fake)	AP	WEP	36	-61	-100	39	

Abb. 3.4: Darstellung aktiver WLAN Accesspoints mit entsprechend verwendeten Kanälen

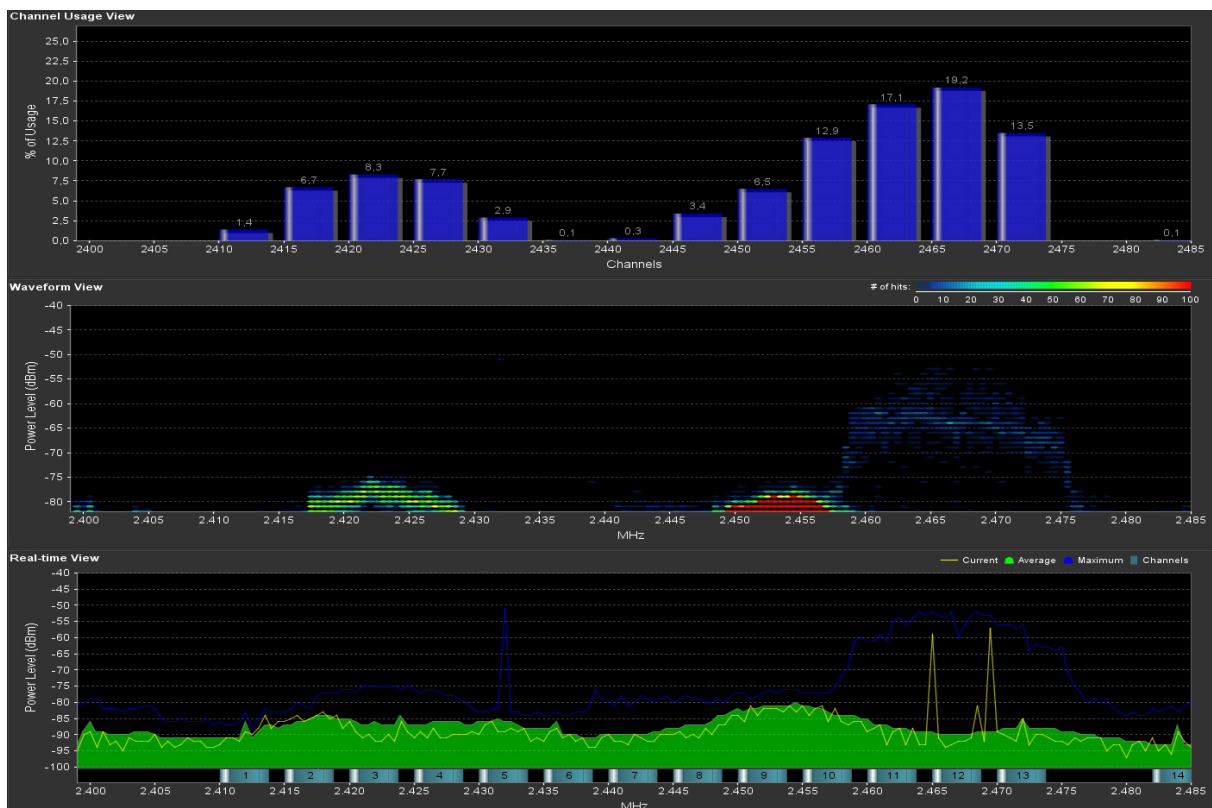


Abb. 3.5: Output des Ubiquiti Air View Spektrumanalyzers für eine spezifische Immobilie

Dieser Umstand kommt auch in Kapitel 5 „Hybrides optisches Netzwerk in einer Innenstadt“ sehr stark zum Tragen.

Dieser Umstand hat die breitbandige Verbindung von multimedialen Daten über WLAN Accesspoints in einem Innenstadtgebiet aufgrund der Vielzahl von parallel arbeitenden 2,4 GHz Geräten unmöglich gemacht. Es wurde weiters für eine Immobilie die Kanalauslastung mit Hilfe eines Ubiquitus Air View Spektrumanalyzers gemessen und die Ergebnisse in Abb. 3.5 entsprechend dargestellt.

Der oberste Graph stellt die Auslastung eines entsprechenden 2,4 GHz Kanals in Prozenten dar und ist optimal geeignet, den richtigen Kanal für die maximale Datenübertragungsrate zu wählen.

Der mittlere Graph zeigt den akkumulierten Energiezuwachs seit dem Beginn der Messung über die Zeit für jede Frequenz. Die Leistung wird in dBm angezeigt, wobei jede Sekunde eine neue Zeile eingefügt wird (Wasserfalldiagramm). Die Farben in diesem Diagramm stellen die Amplitude der Signale dar, dunklere Farben (z.B. blau) stellen sehr niedrige und niedrige Energiepegel dar, hellere Farben wie z.B. grün, gelb, orange und rot stellen hohe Energiepegel dar, dies ist auch in der Legende dargestellt.

Der unterste Graph stellt in traditioneller Form die Leistung in dBm pro Frequenz dar und hält weiters die Maximalwerte fest (blaue Kurve).

Mit Hilfe dieses Messwerkzeuges ist es möglich, die maximale Bandbreite in einer Immobilie zu einem bestimmten Zeitpunkt zu ermitteln und die Kanäle und Leistungen der Accesspoints entsprechend einzustellen.

Wie bereits erwähnt, stellt dieses Werkzeug nur auf die momentane Auslastung der Kanäle ab, weswegen die Messung für die Verwendung breitbandiger WLAN Anbindungen bei Änderung der Kanäle der Benutzer im geteilten Medium zu wiederholen wäre und entsprechende Adaptierungen durchzuführen wären.

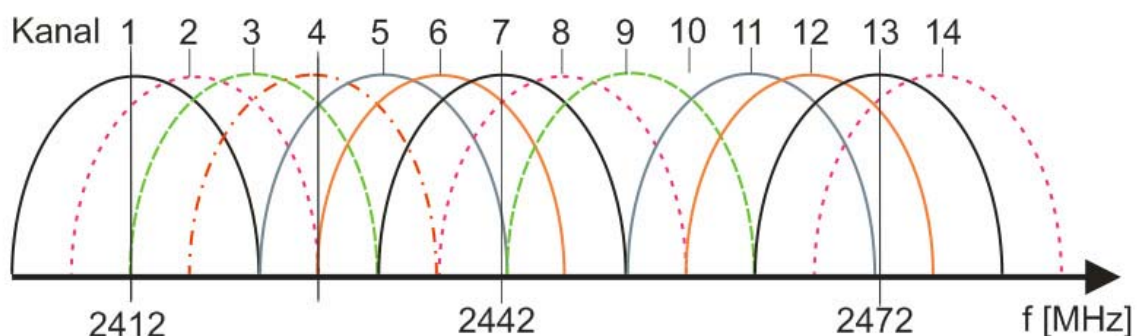


Abb. 3.6: Frequenzraster und nicht überlappende Kanäle bei 2,4 GHz für IEEE 802.11b/g, modifiziert übernommen aus [9]

Das 2,4 GHz Frequenzband stellt für die Standards IEEE 802.11b und g ca. 80 MHz Bandbreite mit 14 Trägern zur Verfügung. Der Trägerabstand ist mit 5 MHz definiert und es kommt in der Praxis bei der Verwendung vieler Accesspoints zu Überlappungen. Praktisch genutzt werden können in einer Immobilie im Sendebereich eines Accesspoints allerdings nur drei Kanäle ohne sich gegenseitig zu stören (Abb. 3.6), was die geteilte nutzbare Bandbreite auf die rund dreifache Nettobandbreite der Accesspoints reduziert.

Typischerweise gibt es in Gebäuden noch Dämpfungen und Reflexionen von Mauern, metallbedampften Fenstern, Personen und Pflanzen. All diese Umstände verringern die theoretisch mögliche Nettobandbreite weiters [29].

Wie sich in den vorangegangenen Ausführungen gezeigt hat, ist WLAN für die breitbandige Übertragung von multimedialen Inhalten in Immobilien mit vielen aktiven Accesspoints nur bedingt geeignet, da sich die Bandbreite mit der Anzahl der Benutzer signifikant verringert und dies zu störenden Einflüssen z.B. bei Videoübertragungen führen kann.

4. Relevante Dienste

In diesem Kapitel werden die für eine Immobilie interessanten Dienste analysiert und deren Verhalten und Bandbreitenbedarf erörtert. Letzterer wird in der nachfolgenden Tabelle 4.1 übersichtsartig dargestellt, zudem sind auch die notwendigen Protokolle und die Notwendigkeit einer synchronen Anbindung an den Internetbackbone dargestellt:

Dienst	Bandbreite	Protokoll	Synchrone Verbindung
Haus-, Sicherheitstechnik	0.001-0.1 Mbit/s	TCP/IP	nein
VoIP	0.01 - 0.1 Mbit/s pro Anruf	TCP/UDP	ja
Überwachungstechnik	0.5 - 1 Mbit/s pro Stream	TCP/IP - UDP	nein
VoD	0.5 - 1 Mbit/s pro Stream	TCP/IP	nein
Email, http	bis zu 1 Mbit/s	TCP/IP	nein
IPTV	bis zu 30 Mbit/s pro Kanal	IP Multicast	nein
Videokonferenzen	bis zu 30 Mbit/s pro Stream	TCP/IP	ja
IPTV HD	bis zu 30 Mbit/s pro Kanal	Multicast	nein
Videokonferenzen HD	bis zu 30 Mbit/s pro Stream	IP Multicast	ja

Tabelle 4.1: Übersicht des Bandbreitenbedarfes verschiedener Dienste

4.1 TV – Multicast, Unicast (VoD)

Typischerweise wird in Immobilien TV mittels koaxialer Verkabelung in Verbindung mit einer Satellitenempfangsanlage und einer geschwichteten Zwischenfrequenz-aufbereitung oder mittels einer Programmaufbereitung, bei der einzelne TV Programme einer gewissen Trägerfrequenz aufmoduliert werden, zur Verfügung gestellt.

Die entsprechenden Aufbereitungen stellen einen Kostenfaktor dar, der üblicherweise für jede Immobilie zu bezahlen ist, da typischerweise je Immobilie eine eigene Anlage vorgesehen wird. Mittels der IPTV Technologie, welche TV über IP Multicaststreams überträgt, ist eine Zentrale mit entsprechenden Empfängern, Aufbereitung und der Erstellung eines EPG Streams für eine große Anzahl von Immobilien ausreichend. Die Immobilien müssen lediglich mit einer Glasfaser an die entsprechende Zentrale angeschlossen werden. In diesem Fall ist die benötigte Bandbreite einfach zu berechnen, diese beträgt die Anzahl der Kanäle multipliziert mit der maximalen Datenbandbreite eines Kanals.

Wenn Videoinhalte mittels Video on Demand Systemen (VoD, Unicast) zur Verfügung gestellt werden, ist der Bandbreitenbedarf schwieriger abzuschätzen, da

jeder einzelne Benutzer einen einzelnen oder mehrere Datenstreams zur Serveranlage öffnen kann. Die entsprechenden Teilbandbreiten sind hier großzügiger zu dimensionieren, speziell wenn hochauflösende Videos übertragen werden sollen.

4.2 Videoconferencing

Die interaktive Erweiterung von TV ist die Videokonferenz. Es gibt eine Vielzahl von Anwendungsbereichen, wie z.B. Besprechungen an verschiedenen Standorten, Kommunikationsmöglichkeiten für ältere, kranke und gebrechliche Personen, interaktive Gesundheitsdienstleistungen bis hin zu interaktiven Schulen, für die die Videokonferenztechnologie eine kostengünstige Möglichkeit bietet, soziale Kontakte zu pflegen, Beratungen in Anspruch zu nehmen und Lehreinheiten zu konsumieren bzw. Prüfungen abzulegen, ohne eine Immobilie verlassen zu müssen. Dies hat den Vorteil, keine Zeit und Kosten für entsprechende Reisetätigkeiten aufbringen zu müssen und wirkt sich auch in Summe positiv auf die globale Energiebilanz aus.

Videokonferenzen sind bidirektionale Unicast Streams, die individuelle Bandbreite in zwei Richtungen erzeugen. Wenn eine Konferenz zudem in hochauflösender Qualität durchgeführt wird, so stellt diese Anwendung für das entsprechende Übertragungssystem trotz entsprechender Komprimierungsalgorithmen ein sehr hohes Datenaufkommen dar. Sollte dieser Dienst zudem noch von mehreren Personen in verschiedenen Räumlichkeiten gleichzeitig benutzt werden, so kann es zu einem Flaschenhals kommen. Gerade dieser Umstand ist bei der Planung eines Zugangs- und Verteilnetzes bei einer Immobilie in der Planungsphase zu berücksichtigen.

4.3 Telefonie (VoIP)

In den letzten Jahren hat sich in der Telefonie durch die Verbreitung des Internets ein neuer Standard durchgesetzt, der die herkömmliche Telefonie mit den Diensten POTL (Plain Old Telephone Line) und ISDN (Integrated Speech and Data Network) mehr und mehr verdrängt. Voice over IP (VoIP) ist eine flexible und kostengünstige Methode Telefoniedienstleistungen über eine bestehende Internetverbindung in Anspruch zu nehmen und auch um verschiedene Immobilien untereinander mit einem privaten und/oder öffentlichen Telefoniedienst zu verbinden. Die dafür notwendige Serversoftware ist als Open Source oftmals kostenlos erhältlich und kann auch an einen sogenannten SIP-Provider an das öffentliche Telefonnetz

angeschlossen werden. Diese Möglichkeiten, ohne einem monopolistischen Diensteanbieter Telefoniedienste anbieten zu können, sind sowohl für den Betreiber, als auch für den Nutzer einer Immobilie eine attraktive und kostengünstige Lösungsmöglichkeit.

4.4 Internetdienste (Email, Web, etc.)

Wie sich in der Praxis herausgestellt hat, benötigen diese Dienste eine sehr geringe Bandbreite, und stellen aufgrund der robusten Protokolle kein Problem dar. Lediglich das Konsumieren von vielen verschiedenen eingebetteten (HD)Videoinhalten kann wie bereits in Punkt 4.2 angeführt ohne Berücksichtigung der Anzahl der Benutzer zu Engpässen führen.

4.5 Sicherheit und Raumsteuerung

Ein immer stärker werdendes Bedürfnis nach Sicherheit in und um Immobilien lässt den Markt der Sicherheitstechnologien boomen. Der Stand der Technik für Immobilien umfasst Videoüberwachungen mit entsprechenden Livestreams aus verschiedenen Blickwinkeln und das Auslösen eines Events, wenn sich in einem gewissen Bereich Pixel in einem Bild signifikant ändern. Gerade die Vernetzung mehrerer Immobilien mit der breitbandigen Anbindung an eine Überwachungszentrale kann für eine große Anzahl von Immobilien ein interessantes, kostengünstiges und realisierbares Modell darstellen, um den Wert einer Immobilie und das Sicherheitsgefühl der Benutzer bzw. der Bewohner zu erhöhen.

Die Fernsteuerung einer Immobilie oder Wohnungseinheit bezogen auf Energie (Steckdosen), Heizung, Kühlung und Beschattung bzw. das gezielte Ein- und Ausschalten spezifischer Geräte mittels eines mobilen Endgerätes stellt eine komplett neue Funktionalität dar, um die Benutzerfreundlichkeit zu erhöhen und den Energieverbrauch zu verringern oder aber bei gewissen Ereignissen gewarnt zu werden (z.B. Einbruch, Wasserleck, Brandalarm). Im Vergleich zu den Überwachungsvideos stellt die Raumsteuerung mit verschwindend geringer Datenmenge eine vernachlässigbare Komponente im gemeinsamen Datenstrom dar (vgl. Tab 4.1).

5. Hybrides Netzwerk in einem Altstadt kern

Der vorliegende Feldversuch beschäftigt sich mit dem Übertragen von multimedialen Daten aus dem Rechenzentrum des Grand Media Congress Hotels Villach mittels Cisco Netzwerk Komponenten [3]. Grand Media verbindet Immobilien mit seinem State of the Art System Pentaplay (Konvergenz von TV, Telephonie, Internet, Haustechnik und Sicherheit). Weiters werden Hotels in Laibach (Slowenien), Villach (Österreich) und Sarajevo (Bosnien) mit dem eigens entwickelten Building Operation System (BOS) betrieben [30].

Bei dem gegenständlichen Projekt wurden von Grand Media, der TU-Graz und dem Autor SDTV bis ca. 5 Mbit/s und HDTV bis ca. 30 Mbit/s, VoIP (Voice over IP, RFC 3261 [31]) und den einschlägigen Internetdiensten (HTTP, HTTPS, SMTP, POP3, etc.) an verteilte Standorte der Innenstadt übertragen [32]. Diese Standorte sind mit WLAN Accesspoints ausgestattet, um den freien Internetzugang mittels mobiler drahtloser Endgeräte für die Öffentlichkeit zu gewährleisten. Weiters sind sie mit einem VoIP Telefon ausgestattet, von dem Telefonate über den VoIP Telefonserver des Hotels kostenlos in 41 Länder der Welt geführt werden sollen. Als Protokoll für die Telefonie wurde SIP (Session Initiation Protocol – RFC 3264) verwendet. VoIP kann SIP (RFC 3261) als Kontrollprotokoll verwenden. Davon unabhängig verwendet es RTP (Real Time Transfer Protokoll, RFC 1889, RFC 3550) zum Übermitteln der Sprach/Videodaten.

SDTV (Standard Definition Television) ist in Europa die Bezeichnung für analoge Videonormen mit max. 768×576 Pixel bei einer Bildfrequenz von 50 Hz. HDTV (High Definition Television) ist ein Verfahren zur Videoübertragung mit Auflösungen von 1280×720, 1920×1080 bis 2048×1152 Pixel, die Bildfrequenz reicht von 25 bis 60 Hz. Es gibt zwei Arten von Zeilensprungverfahren, Halb- (interlaced) und Vollbildübertragung (progressive). Üblicherweise wird ein HDTV Fernsehkanal mit 1280×720 Pixel, progressiv mit 50 Hz (720p50) dargestellt.

Da die Sportveranstaltung seitens des ORF mit 10 Kameras und einem mobilen Regieplatz fernsehtechnisch in SDTV aufbereitet wurde, stand ein analoges Composite SDTV und Stereo Audiosignal vom Regiecontainer via Koaxialkabel zur Verfügung. Dieses Signal sollte an alle Standorte in der Innenstadt und in das Hotel per MPEG2 Stream übertragen werden. Es wurde weiters noch angedacht das Signal während der Veranstaltung zusätzlich live zu encodieren und an einen

Streamingserver der Telekom Austria für den öffentlichen Abruf mit ca. 270 kbit/s in das Internet abrufbar zu machen [99].

5.1 Verfügbare Technologien

Bei diesem Demonstrator standen verschiedene Anlagen, die nun aufgelistet sind, mit folgenden Parametern zur Verfügung:

1.) Satellitenempfangsanlage bestehend aus:

3 Parabolspiegel mit je 1,5 m Durchmesser

und 3 LNB's ausgerichtet auf die Satelliten: Astra 1 (19,2° Ost)
Sirius 3 (5,0° Ost)
Eutelsat Hotbird 2 (13,0° Ost)

2.) Satellitenempfangsanlage SDTV mit Multicast (Punkt zu Multipunkt) IP Streaming Server MPEG2 (max. 64 Programme)

3.) Satellitenempfangsanlage HDTV (MPEG4) mit Multicast IP Streaming Server (5 Demo HD Programme)

4.) SDTV und HDTV Streamingquellen, Fileserver, Unicast (Punkt zu Punkt) Video on Demand (VoD)

5.) Analoge Fernsehkamera und Mikrofonsignale vom Regie Schnittplatz

An den Endgeräten der Standorte wurde eine spezielle Software zum interaktiven Abspielen von Multi- und Unicast Multimediaquellen mit einem entsprechenden Auswahlmechanismus für die Inhalte bereitgehalten.



Abb. 5.1: Grand Media User Interface

Dieser Auswahlmechanismus entsprach jenem, der in den Zimmern des Grand Media Hotels Villach den Gästen zur Verfügung gestellt wird. Er ermöglicht am Bildschirm auch den Zugriff auf das Internet mittels eines entsprechenden Userinterfaces (Abb. 5.1).

Es wurde im gesamten Aufbau generell auf Ethernet mit 100Base-TX, IEEE 802.3u mit IPv4 (RFC 791) zurückgegriffen. Da es im Netzwerk Multicast Multimediaquellen gab, wurde bei den aktiven Komponenten wie Ethernetswitches und -router darauf geachtet, dass diese IGMPv3 (Internet Group Management Protocol, RFC 3376) fähig sind, um die Multicast Gruppen optimal zu organisieren. IP Multicasting ist die gleichzeitige Verteilung von IP Paketen von einer IP Adresse an mehrere IP Adressaten. Mittels IGMP multipliziert ein Ethernetrouter oder -switch ein Datenpaket eines Senders an seinen Schnittstellen an entsprechende Multicastempfänger. Die übrigen Schnittstellen bleiben von diesem Paket unberührt. Dieses Verfahren optimiert somit die Netzwerkbandbreite. Der Multicast Adressbereich ist von 224.0.0.0 bis 239.255.255.255 definiert (RFC 1112).

Auf QoS (Quality of Service, IEEE 802.3Q/D) der Layer 2 und 3 wurde wegen der hohen Netzwerkbandbreite und der geringen Anzahl von 3 Telefonen bei einer geschätzten Bandbreite von 10-70 kbit/s pro VoIP Telefongespräch verzichtet, die Bandbreite für alle Dienste war jedenfalls ausreichend.

5.2 Planung

Im Netzwerkbackbone des Hotels stand am entsprechenden Gateway ein Internetanschluss mit einer Bandbreite von 8 Mbit/s synchron zur Verfügung.

In der ersten Planungsphase wurde angedacht die komplette Veranstaltung mittels WLAN Accesspoints und Richtantennen mit sehr hohem Gewinn zwischen den einzelnen Standorten mit einer Bruttodatenrate von 54 Mbit/s abzuwickeln. Üblicherweise liegt die typische Nettodatenrate dieser Geräte bei ca. 30 Mbit/s. Es wurden Accesspoints für den Outdoorbereich auf die Brauchbarkeit hin getestet, ob die grenzwertigen Datenmengen von bis zu 30 Mbit/s stabil übertragen werden können. IEEE 802.11g ist wie bereits erwähnt ein von der EU für die öffentliche Benutzung freigegebenes Verfahren zur digitalen Datenübertragung auf 2,4 GHz. Da dieses Verfahren jedermann zur Verfügung steht, besteht jedenfalls die Gefahr von Störeinwirkungen durch andere gleichzeitige Benutzer im selben Medium.

Als Teststrecke wurde ein Kirchturm (Höhe 90 m über Grund) und ein Dach eines Innenstadtgebäudes gewählt, die Distanz betrug ca. 150 m, die Sendeleistung der Accesspoints 30 mW, der Gewinn der in den Geräten integrierten Antennen 13 dBi bei 36° horizontal und 38° vertikaler Abstrahlung (siehe Abb. 5.2).

Die Accesspoints wurden zunächst aufeinander ausgerichtet und bei Maximalausschlag der Feldstärke mechanisch fixiert. Mittels Testsoftware wurde stufenweise die Übertragungsrate gesteigert. Der Maximalwert schwankte von 1,2 – 14 Mbit/s. Dies gab jedenfalls Anlass zur Verwunderung, da die Feldstärkewerte optimal erschienen, die Datenübertragungsrate aber relativ gering war und nur die Hälfte des Wertes erreichte, der eigentlich erwartet wurde. Es wurden weitere Tests durchgeführt und von beiden Standorten nach anderen aktiven Accesspoints gesucht. Das Ergebnis zeigte, dass mehr als 60 WLAN Accesspoints in dem besagten Bereich aktiv waren und alle Kanäle des Mediums belegten.

Dieser Test wurde auch noch zwischen zwei anderen Standorten (Distanz 80 m) durchgeführt, auch hier war keine konstante zufriedenstellend hohe Datenübertragungsrate festzustellen.



Abb. 5.2: Blick vom Kirchturm zur WLAN Gegenstelle

Der verwendete Standard IEEE 802.11g benutzt den in Europa zugelassenen Frequenzbereich von 2,4120 GHz bis 2,4835 GHz. Dieser Bereich, das Medium, ist in 13 gleich große Übertragungskanäle aufgeteilt. Jeder Kanal nimmt 20 MHz Bandbreite in Anspruch. Rechnerisch ergibt sich daher, dass es demnach nur drei Kanäle mit entsprechend großen Kanalabständen (z.B. Kanal 1, 6, 11) geben kann, die gleichzeitig ausgeleuchtet werden können. Die Kanäle 9 und 10 haben nahezu die idente Frequenz wie haushaltsübliche Mikrowellengeräte oder Babytelefone und sind bei allfälliger Inbetriebnahme solcher Geräte mit entsprechender Störabstrahlung im Sendebereich nicht verwendbar

Der Mediumzugriff erfolgt bei WLAN IEEE 802.11g mittels CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance), einem Mehrfachzugriffsverfahren mit Trägerprüfung und Kollisionsvermeidung. Bei diesem Verfahren wird zuerst das Medium abgehört (Carrier Sense) und ist dieses für einen gewissen Zeitraum frei, so wird gesendet. Ist es belegt, wird gewartet bis es wieder frei ist und erst zusätzlich nach dem Addieren eines zufälligen Zeitintervalls (Backoff Zeit) zur Kollisionsverhinderung wieder gesendet. Tritt während der Backoff Zeit ein Medienzugriff auf, stoppt der Zeitzähler und startet erst dann wieder mit der Medienfreigabe.

Das Hauptproblem bei der drahtlosen Datenübertragung ist die Bewältigung von Mehrwegausbreitung und Reflexionen, die beim Empfänger Streuungen und Echos auslösen können. Bei höheren Bitraten können die Daten nicht mehr als serieller Code übertragen werden. IEEE 802.11g benutzt deswegen eine bestimmte Anzahl von Unterträgern die mittels dem Orthogonal Frequency Division Multiplex (OFDM) Verfahren moduliert werden und die Bits eines seriellen Datenstromes parallel übertragen [33].

Ausgehend von diesen Definitionen ist es bei den im fraglichen Medium festgestellten 60 konkurrierenden Accesspoints und anderen potentiellen Störern nicht sonderlich verwunderlich, dass zwischen den zwei Knotenpunkten trotz des hohen Antennengewinnes von 13 dBi keine hohen Bandbreiten übertragen werden konnten. Es auch davon auszugehen, dass der hohe Antennengewinn allfällige Störer genauso mitverstärkt, wie das Nutzsignal. Dies kann wiederum auch zur Verschlechterung der Gesamtdatenrate führen.

WLAN IEEE 802.11g ist daher für die stabile Übertragung der angestrebten Multi- und Unicast Multimediadaten zumindest in dem besagten Bereich nicht geeignet.

Durch die negativen Ergebnisse mit WLAN erforderte das Überbrücken der langen Distanzen zwischen den einzelnen Standorten die Nutzung alternativer Technologien. Diese wurde im FSO System (Free Space Optics, Optische Freiraumübertragung, vgl. Kapitel 2.2.3) und in der Nutzung bestehender und neuverlegter Glasfaserkabel gefunden. Beide Techniken werden im Folgenden beleuchtet.

Das verwendete Gerät hat eine vom Hersteller angegebene Reichweite von max. 3 km, wobei nur 2 km bei leichtem Nebel garantiert werden. Der optische Sender besteht aus 4x2 mW Laserdioden bei 850 nm, die optische Strahlführung bestand aus 4 Sendern und 4 Empfängern, die Datenschnittstelle hat einen 1300 nm LWL-Anschluß, während die Managementschnittstelle einen 730 nm LWL Anschluss besitzt. Die Datenrate des Gerätes von 155 Mbit/s protokolltransparent wurde auf beiden Seiten mittels Medienkonverter in 100 Mbit/s Ethernet signale gewandelt.

5.3 Realisierung

Beide OSE Einheiten sind mit einem Zielfernrohr mit Fadenkreuz ausgestattet um die Geräte auch auf weitere Distanz (Einsatzbereich bis zu 3 km) einrichten zu können. Eine OSE Einheit wurde auf einem biegesteifen Aluminiumrohr (Querschnitt 120 mm) montiert, die Gegenstelle auf einem stabilen Stahldreibein auf einem Flachdach (Abb. 5.3). Die Distanz zwischen den beiden Stationen betrug ca. 1,5 km. Zunächst gab es Probleme mit dem Einrichten, es konnte keine bidirektionale Datenverbindung zustande gebracht werden. Nach neuerlichem Einrichten der Gegenstationen kam die Verbindung einwandfrei zustande und 100 Mbit/s wurden problemlos bidirektional übertragen. Grund für die anfänglichen Verbindungsabbrüche waren vermutlich Reflexionen der Laserstrahlen an anderen Objekten oder atmosphärischen Störungen wie z.B. Szintillation durch minimale Veränderungen des Brechungsindex der Luft [17].

Zusätzlich zu den bereits dargestellten Technologien wurden die angeführten Standorte auch teils mit bereits vorhandenen und neu verlegten Multimode-Glasfaserkabel ausgestattet. Die neu zu verlegenden Glasfaserkabel wurden in teils abenteuerlicher Weise über Dächer der Innenstadt verlegt und deren Ende mittels entsprechendem Medienkonverter mittels Cat 5e Verbindungen an die ent-

sprechenden Switches und Router angeschlossen, diese wiederum an die Endgeräte (Grand Media TV Gerät, WLAN Accesspoints, VoIP Telefone).



Abb. 5.3: Montagesituation der FSO Einheiten

In Summe wurden für die 3 Standorte ca. 1,5 km Glasfaserkabel benötigt. Das Verlegen und Anschließen stellte sich durch die vorgefertigten Kabel als komplett problemlos dar.

Es zeigte sich, dass der Freifeldaufbau (Abb. 5.4, 5.5) im Betrieb mit der FSO Anbindung sehr stabil war – es gab während der Veranstaltung kurzzeitige Bildausfälle im Sekundenbereich. Es stellte sich als mögliche Ursache für diese Ausfälle das große Dach, auf dem das Dreibein montiert war als Fehlerquelle heraus. Es handelte sich hierbei um ein Flachdach mit ca. 140 m² Fläche, das bei schon bei entsprechend leichter Windeinwirkung zu schwingen beginnt. Diese durch den böig einfallenden Wind erzeugten Schwingungen reichten jedenfalls aus, dass die Verbindung zwischen den beiden OSE Einheiten offenbar immer wieder kurzfristig unterbrochen wurde. Damit wurden auch wechselseitig die Datenströme zwischen den entsprechenden Geräten und damit auch zum Netzwerkbackbone des Rechenzentrums unterbrochen. Es ist für künftige Aufbauten daher zu achten, dass die OSE Einheiten des FSO Systems an biegesteifen Aluminiumrohren zu befestigen sind, um die dargestellten Ausfälle weitestgehend zu verhindern bzw. zu vermindern.

Während des Zeitraumes der Veranstaltung gab es sonst keine weiteren nennenswerten meteorologischen Einflüsse, die festgestellt werden konnten. Es konnten von allen Standorten zum selben Zeitpunkt SDTV und HDTV Übertragungen ohne Qualitätsbeeinträchtigungen durchgeführt werden. Zum selben Zeitpunkt wurden der VoIP Telefonie- und der freie WLAN Internetzugang an jedem der Standorte benutzt – Einschränkungen der Dienste waren nicht bemerkbar. Die vorgenannten kurzfristigen Ausfälle, bedingt durch die Windböen, waren bei diesen beiden Diensten nicht störend.



Abb. 5.4: Anordnung der Standorte und Lokale

5. Hybrides Netzwerk in einem Altstadtkern

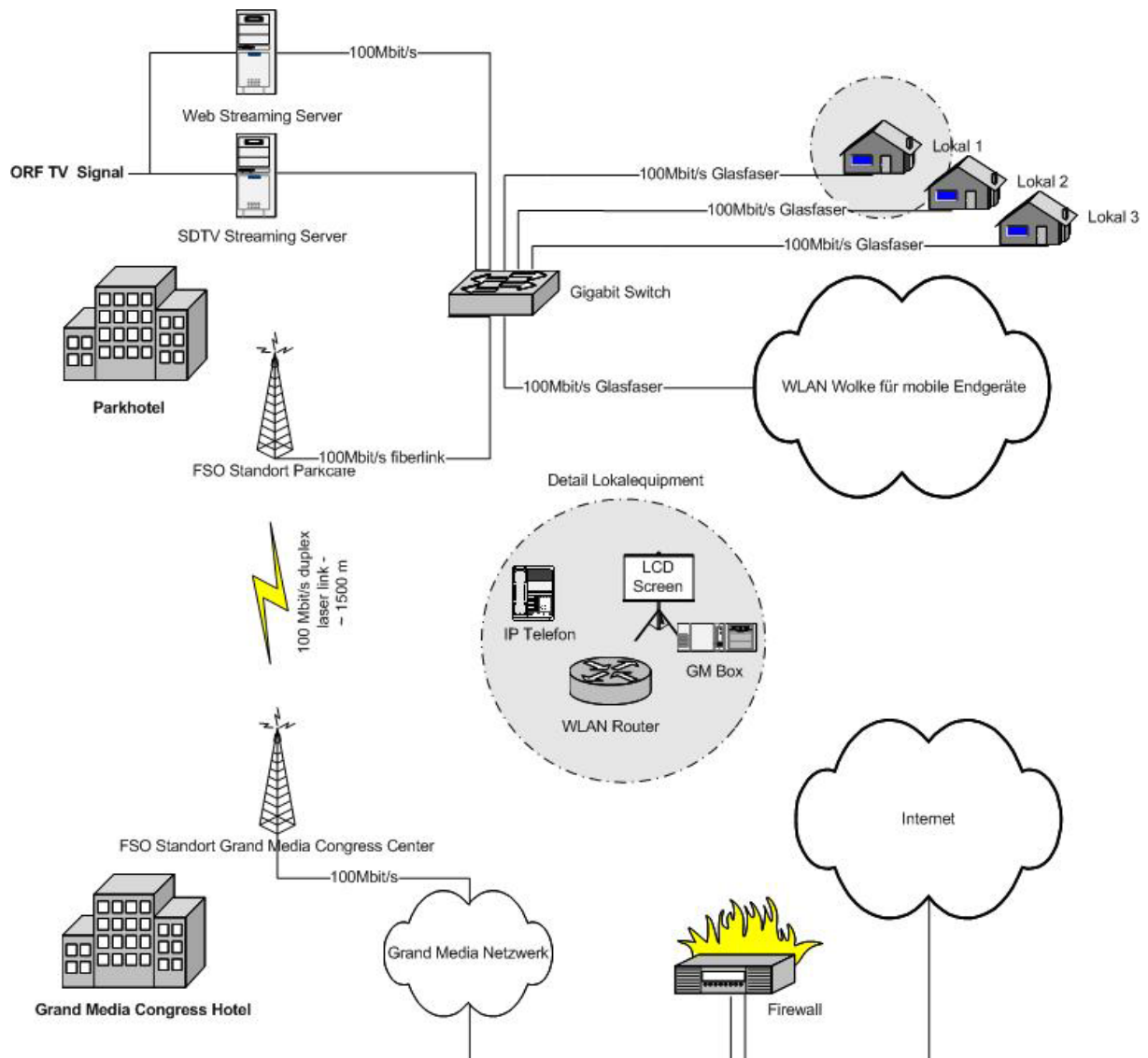


Abb. 5.5: Netzwerkplan des Freifeldaufbaues

Der Stream zum Multimediaserver der Telekom Austria wurde während der Veranstaltung einwandfrei übertragen – über die bestehenden Accesspoints der Innenstadt konnten die Bilder der Kameras in ausgezeichneter Qualität an Mobile Endgeräte vom öffentlichen Streamingserver abgerufen werden.

Durch den großen Erfolg des Aufbaues und der damit verbundenen einzigartigen Demonstration ist es seitens der Veranstalter auch in Zukunft angedacht, bei ähnlichen und anderen Veranstaltungen auf die dargestellten Technologien zu setzen.

Der gegenständliche Testaufbau hat gezeigt, dass die Kombination mehrerer verschiedener Accesstechnologien für die Verwendung von bandbreitenkonsumierenden multimedialen Diensten zweifelsfrei möglich ist und eine zuverlässige Verfügbarkeit gewährleistet. Es hat sich weiters gezeigt, dass die

optischen Technologien im Vergleich zu funkbasierenden Technologien im dicht bebauten Stadtgebiet herausragende Vorteile, wie z.B. die Störungsfreiheit, haben und zudem auch bei zukünftigen nomadischen Anwendungen eine wichtige Säule für die hohe Verfügbarkeit bei der Übertragung von entsprechenden Diensten darstellen werden.

6. Internetzugang mittels DVB-T, FSO und WLAN

Speziell in Berg- oder peripheren Regionen, welche oft nicht von den gängigen Internetanbindungstechnologien wie xDSL oder UMTS versorgt werden können, ist für die entsprechende Versorgung eine alternative Technologie notwendig [35, 100]. Man kann eine Internetanbindung grundsätzlich in zwei verschiedene Kanäle trennen, den Vorwärts- und den Rückwärtskanal. Üblicherweise werden beide Kanäle in einem Medium entweder mit synchronem oder asynchronem Datentransfer je nach Leistungsvereinbarung oder Leitungsqualität zur Verfügung gestellt. Dieses Projekt beschäftigt sich speziell mit lizenzfreien Technologien wie WLAN (IEEE 802.11 a, b, g) und FSO (Free Space Optics) für den Rückkanal. Der Vorwärtskanal wird mittels DVB-T abgebildet, das typischerweise nicht lizenzfrei ist, aber üblicherweise auch in peripheren Gebieten, in denen oft keine entsprechenden Breitbandkupferleitungen genutzt werden können, vorhanden ist. In diesen Gebieten sind zwar Kupferleitungen vorhanden, allerdings sind diese oftmals überaltert und weisen eine zu hohe Dämpfung aufgrund ihres Alters, der verlegten Länge und des schlechten Zustandes auf. DVB-T hat überragende Vorteile in Hinblick auf die Größe eines Versorgungsgebietes pro Sender, dessen Ausdehnung sich oft über mehrere Bezirke ausweiten kann. Speziell in Österreich gab es Initiativen seitens der Bundesregierung um weitere DVB-T Kanäle für private Rundfunkanbieter zur Verfügung zu stellen. Diese Kanäle ermöglichen zudem das Ausstrahlen eines DVB-T Datendienstes [34].

Wie schon in der Einleitung ausgeführt, zeigen derzeitige Trends, dass die weltweite Internetnutzung - insbesondere der Datenverkehr - sehr stark im Wachstum begriffen ist. Dies ist speziell deswegen der Fall, da immer mehr multimediale Anwendungen in sozialen Netzwerken mit hohen Bandbreiten (z.B. YouTube, www.gm1.tv) seitens der Internetnutzer verwendet werden. Es wird mit diesem Projekt gezeigt werden, dass es alternative Methoden gibt, um Benutzer in Gebieten mit momentan schmalbandiger Internetanbindung die Möglichkeit zu geben, breitbandige Internetdienste zu nutzen. Diese Methoden eröffnen Städten, Regionen und Gemeinden zudem die Möglichkeit, den Benutzern eine Internetgrundversorgung als eine Art soziale Dienstleistung zur Verfügung zu stellen. Speziell in Zeiten, wo die globale Erwärmung die Reduktion von Treibhausgasen, wie beispielsweise CO₂, welches hauptsächlich durch das Verbrennen fossiler Brennstoffe entsteht, notwendig macht, könnte mit der vorgestellten Lösung die Situation insoweit

verbessert werden, als damit der Individualverkehr reduziert werden kann. Die vorgestellte Methode ermöglicht den Personen, die in schlecht angebundenen peripheren Regionen leben, Heimarbeitsplätze mit breitbandigen Internetdiensten zu betreiben [35].

6.1 Testaufbau

In diesem Abschnitt wird der Testaufbau in zwei verschiedene Lösungsvarianten dargestellt. Eine Lösung stellt einen direkten WLAN/FSO-Rückkanal dar, die zweite Lösung verwendet ein WLAN-Relay, welches mit dem WLAN/FSO-Rückkanal verbunden ist.

Beide Lösungen bestehen aus drei verschiedenen logischen Netzen, einem Kern-Netz, einem DVB-T Vorwärtskanal-Netz und einem WLAN/FSO Rückkanal-Netz, welche in drei unterschiedliche Subnetze geteilt sind. Das Kernnetz verwendet zwei Typen von Gateways, eines verbindet zum öffentlichen Internet, das zweite ist das Gateway für den DVB-T Vorwärtskanal und speist einen DVB-T Modulator. Dieser ist mit dem DVB-T Sender verbunden, welcher das Hochfrequenzsignal über spezielle Sektorantennen im entsprechenden Sendegebiet verbreitet. Der gegenständlich verwendete DVB-T Sender verwendet das UHF Band V mit einer Bandbreite von 8 MHz. Es wird die COFDM-Modulation mit der Konstellation von 16-QAM, FEC: 3/4 und einem Guard Intervall von 1/8 verwendet. Die resultierende Nettobitrate ist daher 16,588 Mbit/s. Mehrere MPEG-2 Programmströme werden in einen Transportstrom gemultiplext und mit einer speziellen Programmkennung versehen. Ein Programmstrom besteht aus elementaren Datenströmen (ES, Elementary Streams), welche wiederum aus einer Reihe von paketierte Elementardatenströmen (PES, Packetized Elementary Streams) zusammengesetzt sind. Es kann die sogenannte Multi Protokoll Einkapselung (MPE) verwendet werden, die speziell für den Transport von IP über DVB entwickelt wurde. Eine alternative Methode, um Network Layer Data Units (beispielsweise IP-Datenverkehr) in MPEG-Zellen einzukapseln, ist ULE (Ultra Lightweight Encapsulation) und die Generic Stream Encapsulation (GSE) [23]. Im gegenständlichen Testaufbau wurde eine erweiterte Version von MPE verwendet. Diese Technologie verwendet IP-MAC Benachrichtigungstabellen (Notification Tables), um ARP (Address Resolution Protocol) Funktionalitäten über einen unidirektionalen Kanal verwenden zu können [36].

Der Testaufbau versorgt die Benutzer mit grundlegenden Internetdiensten, wie z.B. HTTP und Email, die üblicherweise ein asynchrones Datenübertragungsverhalten haben. Dieses Verhalten ermöglicht auch für eine größere Anzahl von Benutzern eine ausgezeichnete statistische Bandbreitenverteilung im Netzwerk. Das gesamte Netzwerk soll zusätzlich auch noch für den Telefonedienst (VoIP) eingerichtet werden, es müssen dabei aber von den Netzbetreibern einige rechtliche Aspekte beachtet werden. Im nationalen Telekommunikationsgesetz (TKG 2003, [69]) ist verankert, dass ein Betreiber von Telefonediensten einen sogenannten Notrufdienst vorzuhalten hat. Aus diesem Grund müssen für den stabilen Betrieb und die Hochverfügbarkeit des Dienstes kritische Systemkomponenten mit einer unterbrechungsfreien Stromversorgung (USV) ausgestattet sein und zusätzlich redundante Telefonleitungen installiert werden. Für einen Notruf muss man mit ca. 15-20 kbit/s benötigter Bandbreite rechnen.

6.1.1 Direkter WLAN/FSO-Uplink

Wenn der Benutzer eine direkte Sichtverbindung zum korrespondierenden WLAN/FSO-Netzzugangspunkt hat, wird ein WLAN-Accesspoint mit Richtantenne bzw. eine FSO-Einheit am Dach der entsprechenden Immobilie installiert, um den Rückkanal zu realisieren.

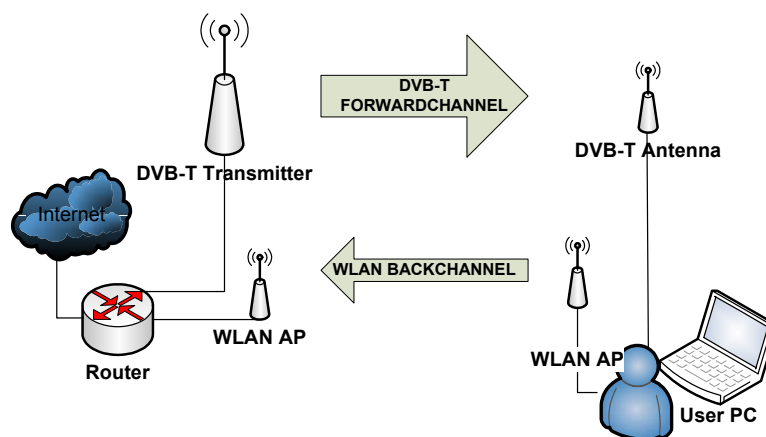


Abb. 6.1: Schema der Datenübertragungskanäle

Der PC oder das Notebook des Benutzers wird mit einem DVB-T Datenempfänger verbunden (Vorwärtskanal) und dessen Netzwerkkarte wiederum mit einem WLAN-Accesspoint oder einer FSO-Einheit (Rückwärtskanal). Abb. 6.1 zeigt den prinzipiellen Aufbau als Schemaplan. Die WLAN-Accesspoints können einfach mit

den FSO-Einheiten ausgetauscht werden, sofern diese Technologie als Rückwärtskanal eingesetzt werden soll (Abb. 6.1).

6.1.2 Lokales WLAN-Relay zu einem WLAN/FSO-Uplink

Oftmals gibt es von einer Immobilie eines Benutzers keine direkte Sichtverbindung zu einem Rückkanal-Gateway. Speziell in diesem Fall kann der Benutzer sich in einer spezifischen Region an ein lokales WLAN-Netzwerk, das aus einer Anzahl von WLAN-Accesspoints besteht, verbinden. Diese WLAN-Wolke kann an einen Punkt konzentriert werden, von dem aus die Anbindung an den Rückkanal-Gateway über eine entsprechende Sichtverbindung einfach möglich ist. Als entsprechende Technologie für diese WLAN-Netze können vermaschte WLAN Netze verwendet werden, die mittels Richtfunkantennen ca. 20 km oder mit einem FSO-System ca. 2 km an einen entfernten Rückkanal-Gateway anbindbar sind.

6.2 Praktischer Aufbau und Set-Up

Der praktische Aufbau wurde am Institut im Rahmen einer Diplomarbeit [37]* durchgeführt, aus der auch die Ergebnisse und Bilder angeführt sind.

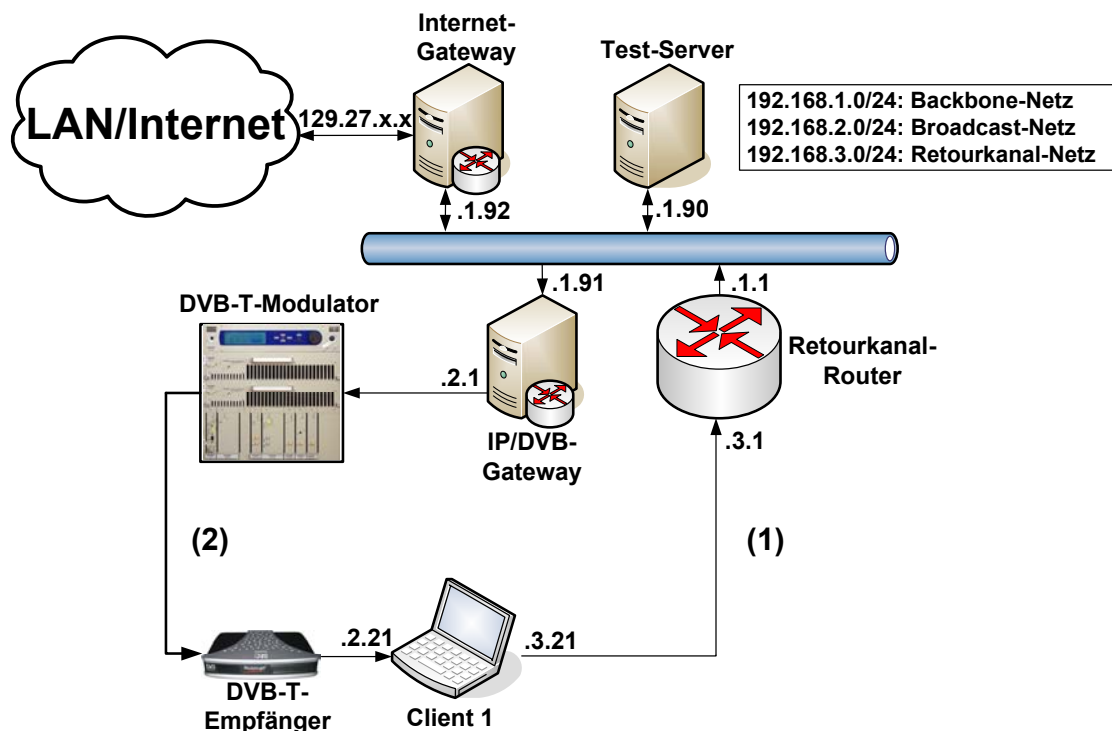


Abb. 6.2: Netzwerkplan des Laboraufbaues mit kabelgebundenem Rückkanal, vgl.*

Es wurde im Labor zunächst ein kabelgebundener Aufbau errichtet, um die prinzipiellen Funktionen und die Datenübertragungsrate zu testen (Abb. 6.2). Die

* Lenzhofer, M., *Hybride Internetanbindung für unterversorgte Regionen mittels DVB-T-Vorwärts- und WLAN-Retourkanaltechnologie*, Diplomarbeit, TU Graz, 2009, die Diplomarbeit wurde vom Autor dieser Dissertation mitbetreut

Kabelverbindungen bestehen in diesem Aufbau aus dem mit 1 (Rückkanal) und 2 (Vorwärtskanal) gekennzeichneten Pfad.

Das Netz besteht aus drei Subnetzen, einem Backbonenetz mit dem Adressbereich 192.168.1.0/24, einem Broadcastnetz 192.168.2.0/24 und aus einem Retourkanalnetz 192.168.3.0/24. In dem Aufbau stellt ein Client eine Anfrage über das Retourkanalnetz 192.168.3.0/24 an das Backbonenetz 192.168.1.0/24. Die entsprechenden Daten werden dem Client über das DVB-Broadcastnetz 192.168.2.0/24 übertragen. Der Backbone ist an den Internetgateway des TU-Graz Netzes 129.27.140.x/25 angebunden und bekommt mittels DHCP eine dynamische öffentliche IP Adresse zugewiesen. Das Backbonenetz besteht in diesem Aufbau aus einem 100 Mbit/s Switch, der mit dem Gateway und den anderen Komponenten verbunden ist.

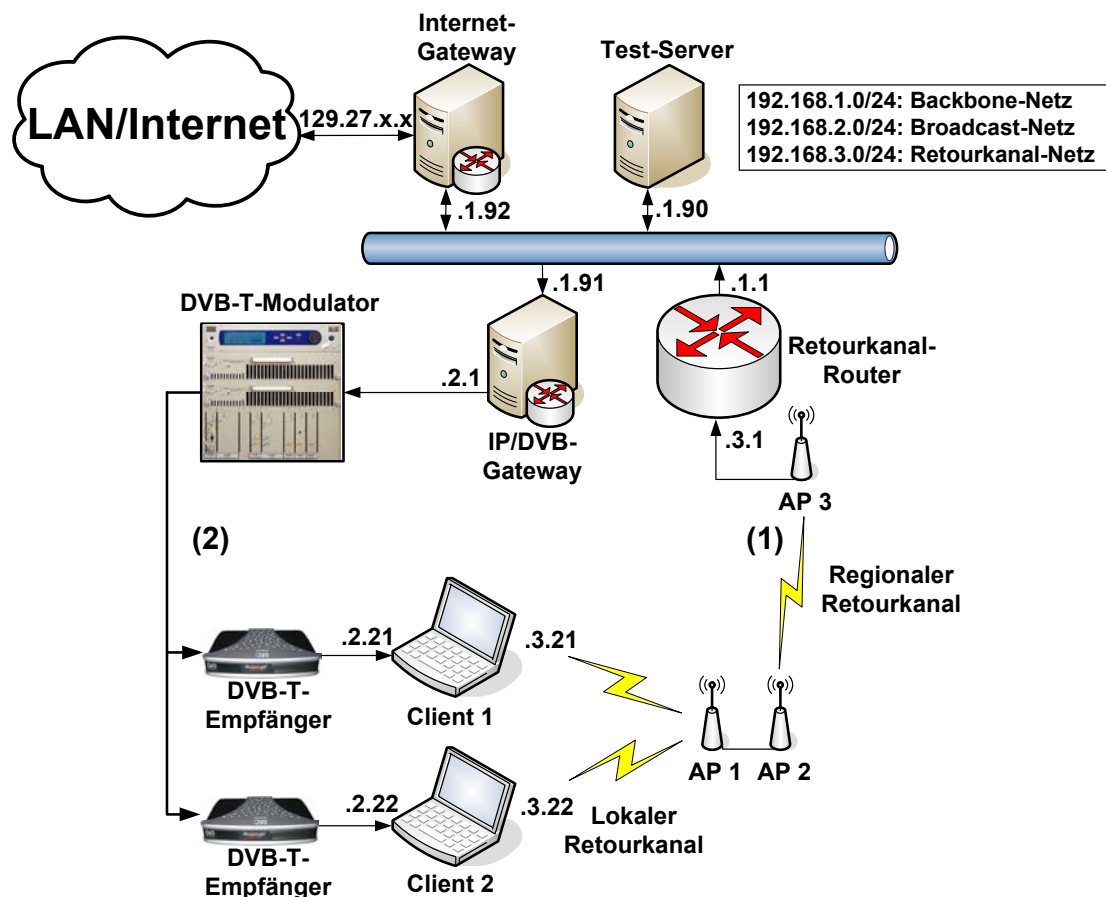


Abb. 6.3: Erweiterung des Laboraufbaues mit dem WLAN Rückkanal und zwei Clients, vgl *

Das DVB-Broadcastnetz, welches die Daten an den Client sendet kapselt die IP Daten in einem MPEG-2 Datenstrom. Hierfür wird im IP/DVB-Gateway eine spezielle DVB Karte verwendet (Cobra). Die Karte verfügt über eine SPI Schnittstelle (Synchronous Parallel Interface) und ist mit einem SPI/ASI Konverter (ASI – Asynchronous Serial Interface) mit dem ASI Eingang des DVB-T Modulators

verbunden. Der Monitorausgang des Modulators ist ohne Verstärkung direkt mit dem Antenneneingang der DVB-T Set-Top-Box verbunden. Der Retourkanal ist für den Laborbetrieb mittels Ethernetkabelverbindung des Clients mit dem Router ausgeführt. Nach den ersten positiven Funktionstests mittels des Befehles „ping“ konnte festgestellt werden, dass alle Netzwerkkomponenten untereinander plangemäß funktionierten.

Der Laboraufbau wurde in einem weiteren Schritt im Retourkanal mit WLAN erweitert (Abb. 6.3). In diesem Aufbau wurde sowohl der regionale als auch der lokale Retourkanal realisiert. Der regionale Retourkanal wurde mit einem 5 GHz Accesspoint (IEEE 802.11a) und der lokale Retourkanal mittels eines 2,4 GHz Accesspoints (IEEE 802.11g) der Firma Compex [98] realisiert. Es wurden für die Tests zwei DVB-T Receiver in Verbindung mit zwei Notebooks verwendet. Die Accesspoints wurden mit dem integrierten Ethernetswitch miteinander verbunden. Im Laboraufbau wurden als Messparameter die Verzögerungszeit (Round Trip Time, Abb. 6.4) und der UDP- und TCP Datendurchsatz gemessen.

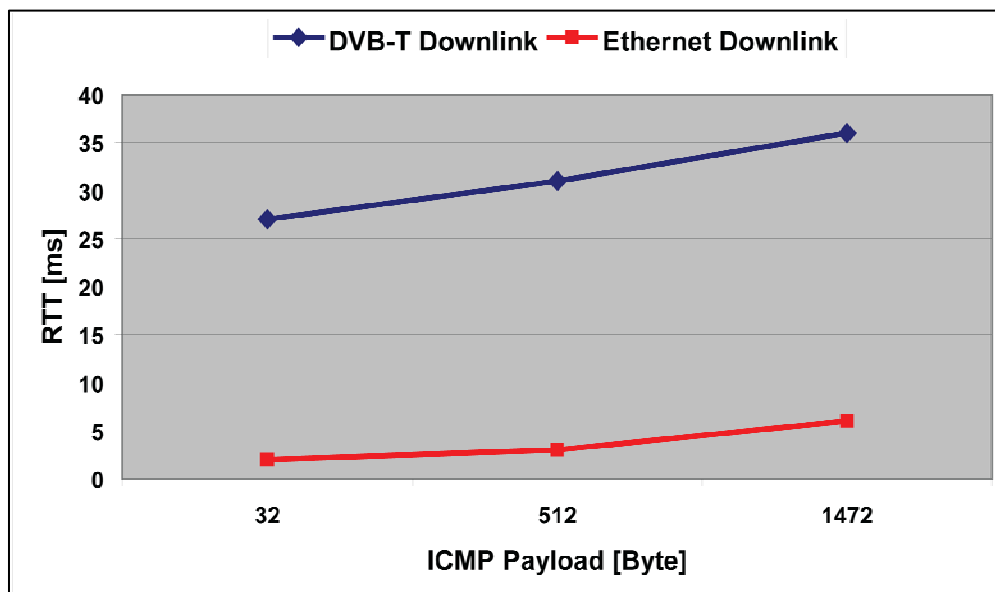


Abb. 6.4: Verzögerungszeiten gemessen an Client 2, vgl *

Betreffend der Verzögerungszeiten ist bei DVB-T mit den Rückkanaltechnologien PSTN (Public Switched Telephone Network) mit ca. 130 ms und bei GSM mit ca. 400 ms zu rechnen [38]. Bei dem gegenständlichen WLAN Retourkanal ist aus Abb. 6.4 im Laboraufbau je nach ICMP-Paketgröße von 32, 512 und 1472 Byte durch Mittelung von 60 gesendeten Paketen für den DVB-T Downlink eine Verzögerung von 27 bis 36 ms ersichtlich. Im Verhältnis zum Ethernet Downlink ergibt sich diese

Verzögerung durch die notwendige Zeit beim Ein- und Entkapseln der IP-Daten in den MPEG2-Transportstrom. Die rote Vergleichskurve wurde durch Ersetzen des DVB-T Downlinks durch ein Ethernetkabel gewonnen.

Für die Gewinnung der Datenraten wurde das Tool „iperf“ eingesetzt, welches einerseits Datenmengen generieren und andererseits die entsprechende Datenraten auch messen kann.

Bei den Messungen des UDP und TCP Durchsatzes des WLAN Retourkanals wurde eine maximale Datenrate von ca. 25 Mbit/s für beide Protokolle gemessen, die Paketverlustrate war vernachlässigbar gering ($< 0,003\%$).

Beim DVB-T Vorwärtskanal wurden für die UDP und TCP Durchsätze lediglich maximal 4,5 Mbit/s gemessen. Dieser Wert liegt in der maximalen Empfangsdatenrate der DVB-T Datenempfänger begründet.



Abb. 6.5: Ansicht des Testaufbaus, Detail WLAN-Antenne (links), FSO-System (rechts)

Mit diesen Erkenntnissen wurden am Institut für Breitbandkommunikation eine FSO und eine 5 GHz WLAN Transceivereinheit, als auch am 2,8 km entfernten Lustbühel die korrespondierenden Einheiten errichtet und entsprechend ausgerichtet (Abb. 6.5 und 6.6). Für die DVB-T Verbindung wurde der institutseigene Forschungssender entsprechend konfiguriert und die Sendeleistung inklusive Gewinn der Sendeantenne (ERP) entsprechend der Sendegenehmigung auf 33 dBW in vertikaler Polarisation justiert.

6. Internetzugang mittels DVB-T, FSO und WLAN



Abb. 6.6: Ansicht des Testaufbaus, Korrespondierendes System am Lustbühel, vgl *

Die WLAN Accesspoints wurden in wetterfeste Gehäuse eingebaut und mit den beiden 5 GHz Aluminium Gitterspiegelantennen verbunden, die einen Gewinn von je 31 dB aufweisen. Auch hier wurde darauf geachtet, dass die maximale Sendeleistung die regulatorischen Vorschriften von 27 dBm nicht übersteigt. In Hinblick auf diesen Umstand wurde in Anlehnung an [8, 9] ein Link Budget erstellt, welches eine maximale Ausgangsleistung der Accesspoints von 1 dBm bei 9 dB Leistungsreserve lieferte (Tab 6.1).

Distanz	[km]	2,7
Frequenz	[GHz]	5,5
Sendeleistung	[dBm]	1
Kabel- und Steckerverluste	[dBm]	-5
Gewinn Sendeanenne	[dBi]	31
Freiraumdämpfung	[dB]	-116
Gewinn Empfangsantenne	[dBi]	31
Kabel- und Steckerverluste	[dBm]	-5
Rx	[dBm]	73
Empfängerempfindlichkeit	[dBm]	27
Reserve	[dB]	9

Tab 6.1: Link Budget für den 5 GHz WLAN Rückkanal

Für die optimale Funktion der Accesspoints mussten die Timing Parameter in dem Accesspoints AP 2 und AP 3 entsprechend auf die Verbindungsstrecke von 2,7 km eingestellt werden, die Bruttoverbindungsdatenrate wurde von den Accesspoints mit 54 Mbit/s abgelesen. Der komplette Freifeldaufbau ist in Abb. 6.7 dargestellt.

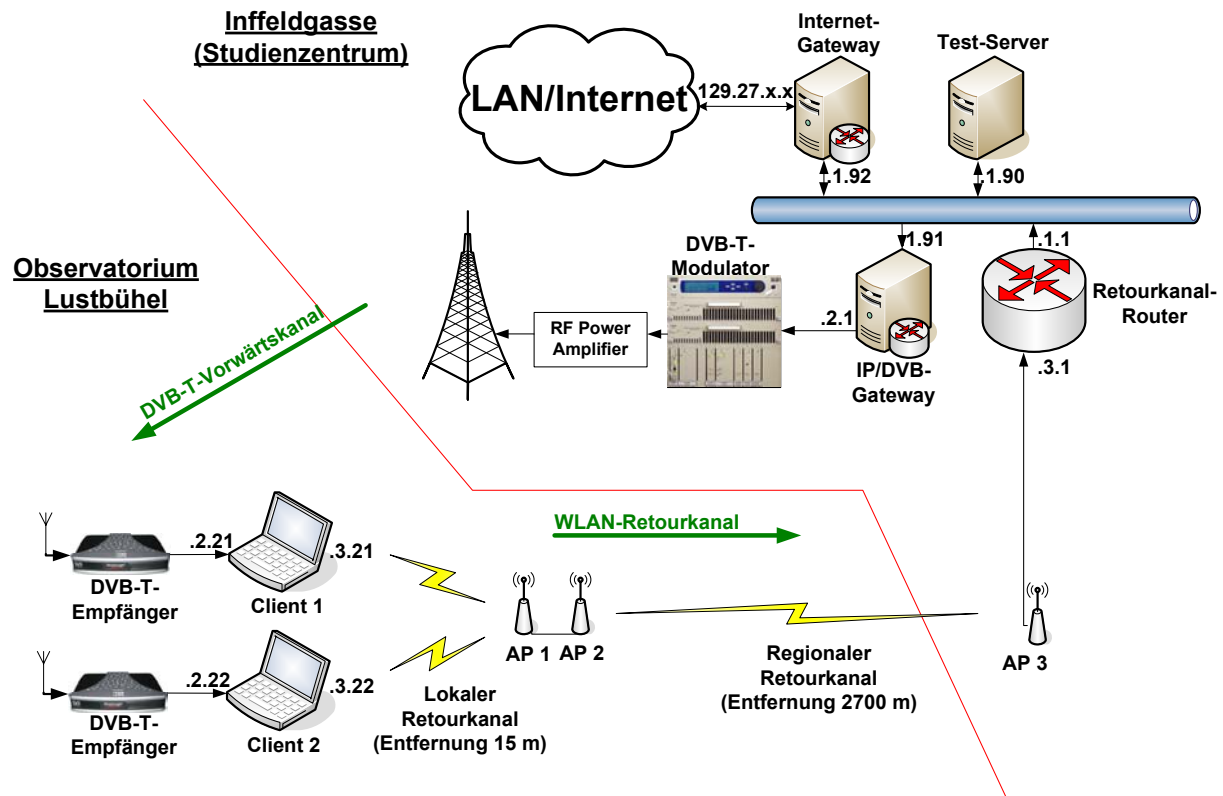


Abb. 6.7: Netzwerkplan des Freifeldaufbaues, vgl *

Wie aus Abb. 6.7 weiters zu entnehmen ist, wurde am Standort Observatorium Lustbühel ein weiterer Accesspoint, AP 1 zur Anbindung an die Clients verwendet. Dieser Accesspoint wurde nach entsprechender Messung des Mediums auf Kanal 11 bei einer maximal erlaubten Sendeleistung von 20 dB eingestellt. Trotz der maximalen Sendeleistung kam es aufgrund der zwischen den Funkstrecken liegenden Betondecke trotzdem zum Schwanken der Bruttodatenraten zwischen 24 – 54 Mbit/s, was im Feldversuch allerdings vernachlässigt werden konnte.

6.3 Messungen und Analyse

Bei den Messungen der Verzögerungszeiten im Freifeldaufbau hat sich gezeigt, dass sich diese im Vergleich zu den Zeiten im Laboraufbau kaum verändert haben (Abb. 6.8).

Es wurde weiters der Jitter, also die Abweichung der Verzögerung, sowohl für den DVB-T Vorwärts-, als auch für den WLAN Retourkanal gemessen. Das Maß des Jitters ist für die Qualität von VoIP Verbindungen ein signifikanter Messwert [39, 40]. Für die Messungen wurde das Tool "iperf" verwendet, das sowohl den Codec G.729A, als auch G.711 (PCM) simulieren kann.

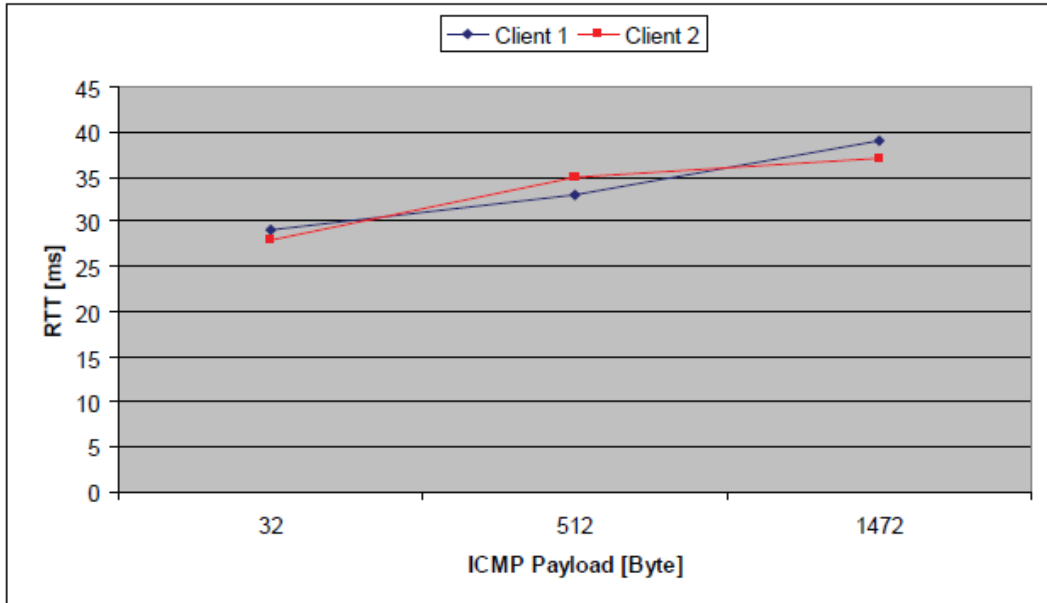


Abb. 6.8: Verzögerungszeiten gemessen an beiden Clients, vgl *

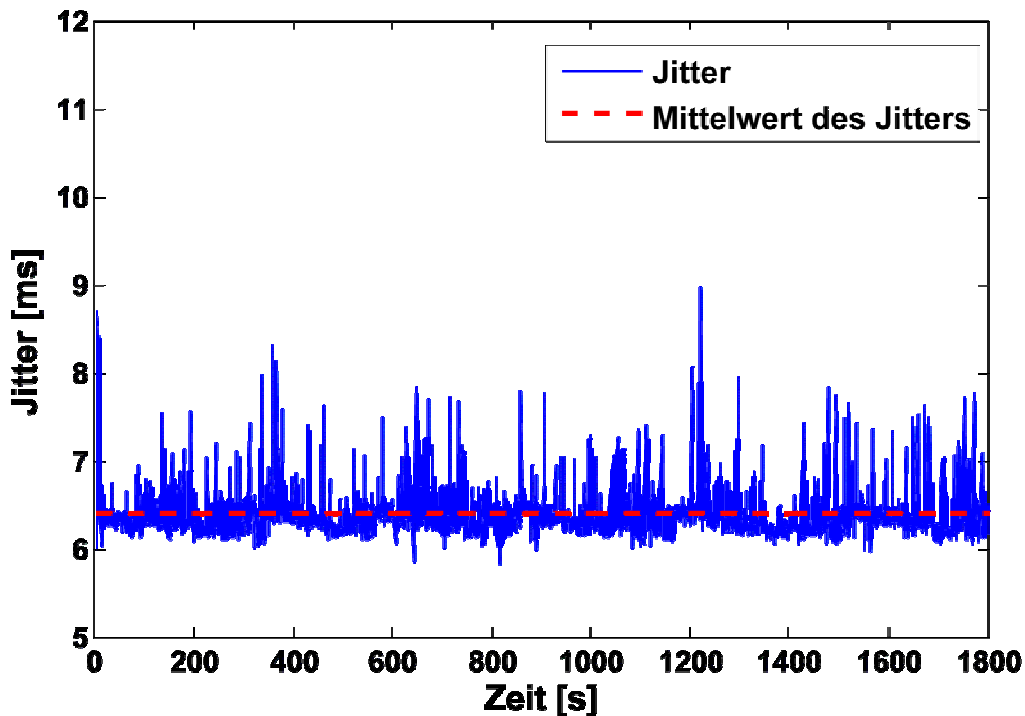


Abb. 6.9: Jitter des DVB-T Vorwärtskanals an Client 1 mit Codec G.729A, vgl *

Der Codec G.729A wurde mit einer Datenübertragungsrate für Sprache mit 8 kbit/s und in Summe mit einer Ethernetdatenrate von 31,2 kbit/s und der Codec G.711(PCM) mit einer Datenübertragungsrate für Sprache mit 64 kbit/s und in Summe mit einer Ethernetdatenrate von 87,2 kbit/s simuliert. Für beide Clients und beide Codecs konnte ein Mittelwert des Jitters von ca. 6,45 ms festgestellt werden (Abb. 6.9 und 6.10). Als Grenze, bei der sich die Qualität eines VoIP Signals signifikant verschlechtert werden gemäß [41] 30 ms angeführt.

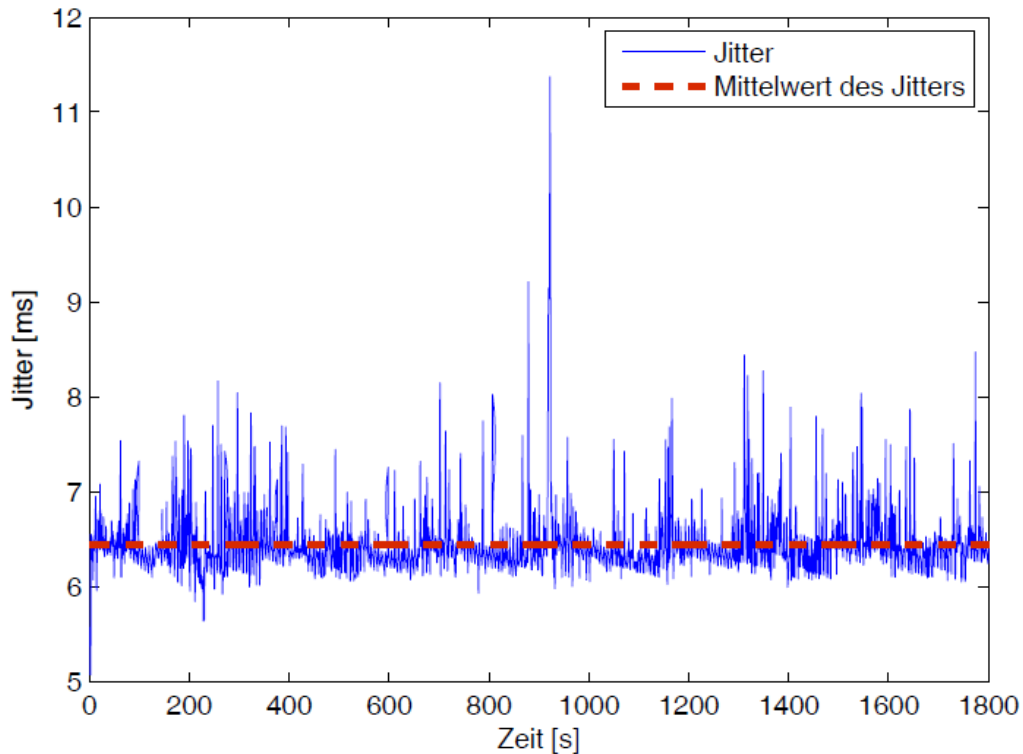


Abb. 6.10: Jitter des DVB-T Vorwärtskanals an Client 2 mit Codec G.729A, vgl *

Wie auch im Laboraufbau wurden beim DVB-T Vorwärtskanal für die UDP und TCP Durchsätze lediglich maximal 4,5 Mbit/s gemessen. Dieser Wert liegt, wie schon erwähnt, in der maximalen Empfangsdatenrate der DVB-T Datenempfänger begründet. Beim WLAN Retourkanal wurden wie beim DVB-T Vorwärtskanal idente Jittermessungen mit dem Tool „iperf“ an den beiden Clients durchgeführt (Abb. 6.11 und 6.12). Es konnte für beide Clients ein Mittelwert des Jitters von rund 5 ms festgestellt werden. Die Abweichung der beiden Diagramme, insbesondere der Grund für das Auftreten der Ausreißer in Abb. 6.12 konnte nicht exakt festgestellt werden. Eine Begründung sind möglicherweise die unterschiedlichen WLAN Chipsätze in den Clients, Client 1 hatte einen Atheros AR5007EG und Client 2 einen Intel® PRO/Wireless 2200 BG Chipsatz.

Alle Messungen wurden exklusiv und ohne weitere Dienste auf den entsprechenden Medien durchgeführt, in der Praxis wird sich der Jitter jedoch bei der Steigerung der Benutzeranzahl im Netzwerk ebenso erhöhen, was beim Überschreiten der 30 ms zu signifikanten Qualitätseinbußen bei VoIP Telefonaten führen kann.

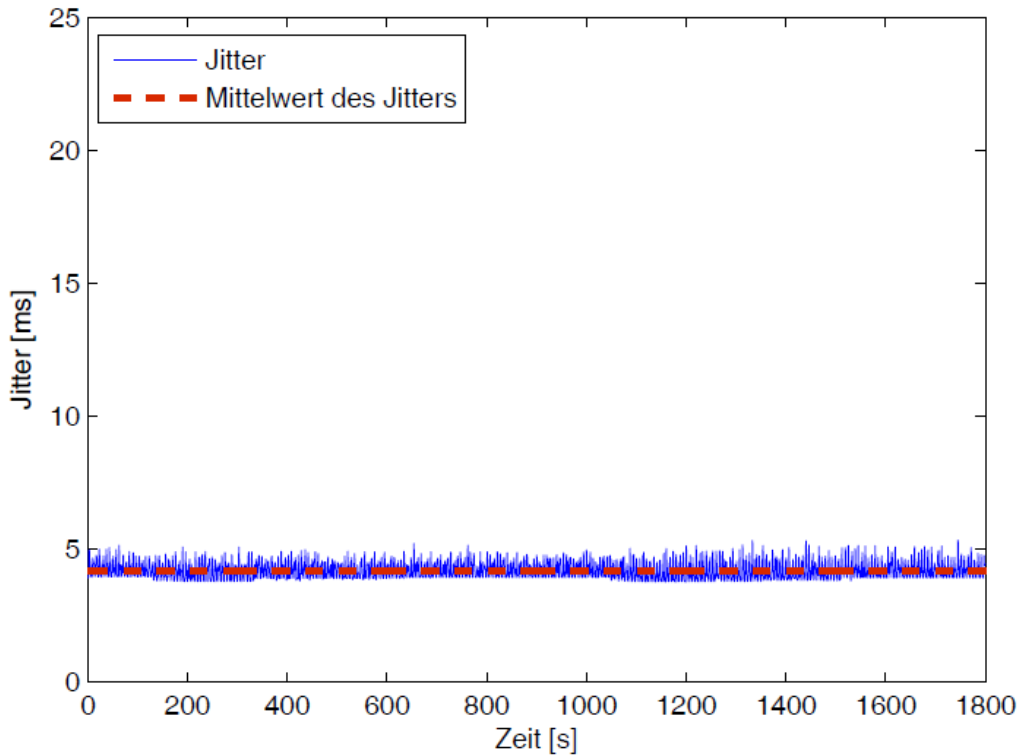


Abb. 6.11: Jitter des WLAN Retourkanals an Client 1 mit Codec G.729A, vgl *

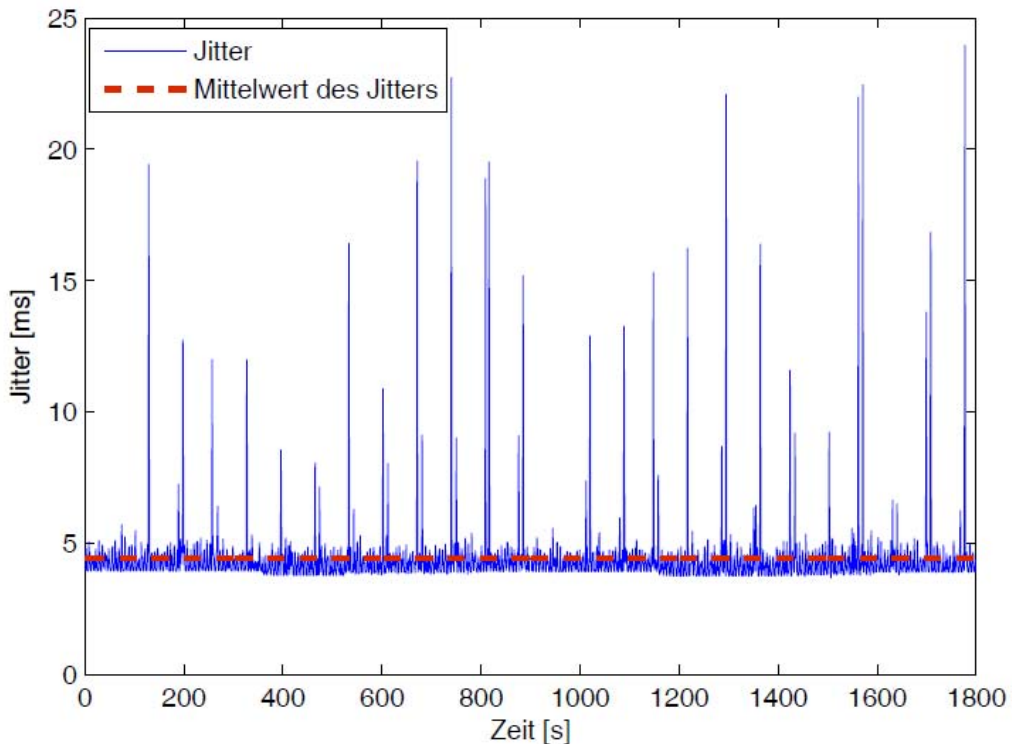


Abb. 6.12: Jitter des WLAN Retourkanals an Client 2 mit Codec G.729A, vgl *

Es wurden in weiterer Folge verschiedene Anwendungen auf ihre Funktion hin getestet. Das Browsen im Web und das Versenden und Empfangen von Emails mit ca. 2 MByte großen Anhängen konnte problemlos durchgeführt werden. Mittels dem File Transfer Protokoll (FTP) wurde eine ca. 314 MByte große Datei übertragen,

wobei am WLAN Retourkanal eine schwankende Datenrate von 12 bis 15 Mbit/s gemessen werden konnte.

Weiters wurde mittels des Streaming Servers des VLC-Media Players ein MPEG-2 codiertes Video mit einer Videobitrate von 2000 kbit/s und einer Audiobitrate von 128 kbit/s über den DVB-T Vorwärtskanal als Unicast gestreamt. Es konnte während der ganzen Übertragungsdauer von rund 44 Minuten kein Aussetzer bei Bild oder Ton festgestellt werden.

Mittels der Open Source Software Open VPN wurde eine VPN Verbindung zwischen Client 2 und dem Testserver konfiguriert. Die VPN Verbindung konnte einwandfrei aufgebaut werden und ein Dauertest mittels des Befehles „ping“ wurde nach ca. 66 Stunden erfolgreich beendet.

Als letzter Dienst wurde noch VoIP getestet. Die Tests wurden zunächst mit der Internettelefoniesoftware „Skype“ durchgeführt, wobei die Übertragungsqualität mit mehreren Partnern hervorragend war. Aufgrund dieses Ergebnisses wurde ein Linksys SPA2101 VoIP Telefonadapter mit einem Ethernetkabel an den Client 2 angeschlossen. Mit einem analogen Telefon konnten mit diesem VoIP Adapter über einen im Internet verfügbaren SIP Server Verbindungen in das öffentliche Telefonnetz hergestellt werden. Sowohl bei den Anrufen im Inland in das Festnetz, als auch in das Mobilfunknetz wurde eine hervorragende Gesprächsqualität festgestellt. In Hinblick auf diese Ergebnisse wurde ein weiteres Gespräch an ein Mobilfunknetz ins Ausland hergestellt. Obwohl dieses Gespräch über verschiedenste Technologien und längere Signallaufzeitstrecken geführt wurde, konnten keine Mängel wie Tonaussetzer oder Gesprächsabbrüche festgestellt werden. Die entsprechende Signalstrecke ist in Abb. 6.13 genauer dargestellt.

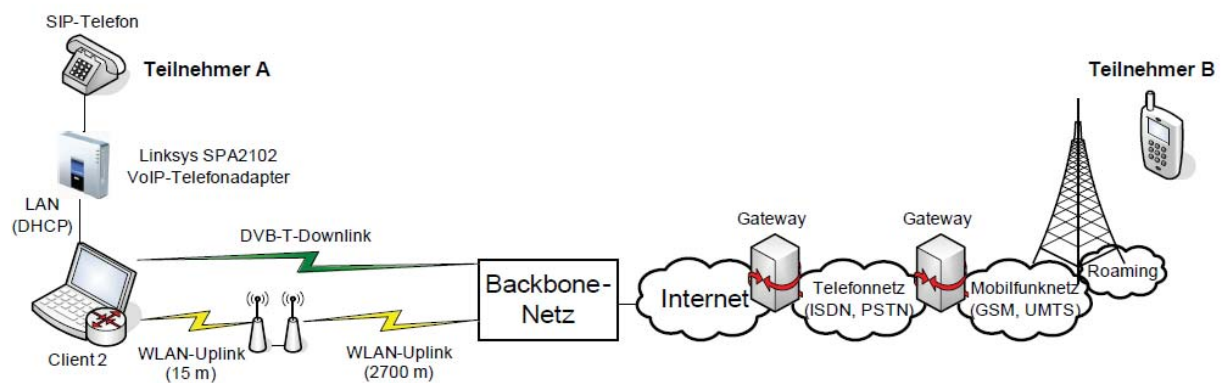


Abb. 6.13: Darstellung der Signalstrecke für die Mobiltelefonverbindung in das Ausland, vgl *

Der Verlauf des Jitters zum Zeitpunkt des Telefongespräches wurde in Abb. 6.14 aufgezeichnet und ist entsprechend dargestellt. Der Jitterverlauf zeigt einen

Durchschnittswert von ca. 5 ms, die Spitzen bewegen sich bei ca. 60 ms und sind nach den bisherigen Erkenntnissen auf das WLAN Interface des Client 2 rückzuführen.

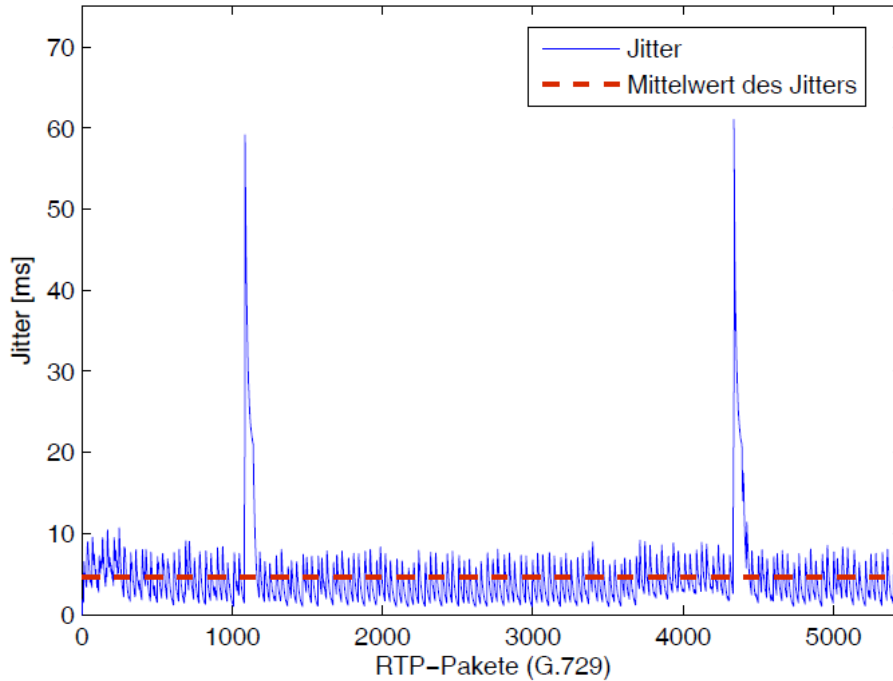


Abb. 6.14: Jitterverlauf während der Mobiltelefonverbindung, vgl *

Der Testaufbau hat gezeigt, dass die Kombination der verschiedenen angeführten Zugangstechnologien in Verbindung mit dem DVB-T Vorwärtskanal eine sehr interessante und robuste Möglichkeit darstellen kann, unterversorgte Regionen mit Breitbandinternet und damit verbundenen Diensten zu verbinden. Für den Rückkanal stehen mehrere Möglichkeiten zur Verfügung, die auf den entsprechenden Anlassfall und in Hinblick auf die geographische Situation abzustellen sind. Mit der entsprechenden Lizenz bzw. der Berechtigung Daten über einen DVB-T Kanal zu übertragen, können zukünftig somit kostengünstige breitbandige Internetdienste für entsprechend dislozierte Benutzer etabliert werden, die ansonsten im besten Fall mit schmalbandigen Verbindungen das Auslangen finden müssten.

7. Langzeitevaluierung an einem FSO System

In den letzten Jahren wurden an der TU Graz mehrere Arten von FSO Systemen entwickelt. Der dargestellte Aufbau verfolgt das Ziel die hohe Verfügbarkeit dieser FSO Systeme vor allem in Hinblick auf Wettereinflüsse mittels Langzeitbeobachtung aufzuzeigen.

Vorangegangene Kurzzeitbeobachtungen von FSO Systemen haben zweifelsfrei gezeigt, dass atmosphärische Einflüsse die Verfügbarkeit dieser Systeme beeinflussen können. Verschiedene Einflüsse wie z.B. Regen, Schnee, direktes Sonnenlicht oder Nebel können verschiedene Störungen einer Verbindung begründen.

Für die gegenständliche Langzeitbeobachtung wurde im April 2006 eine Installation errichtet, um entsprechende Daten sammeln und auswerten zu können [42]. Die Gemeinde Dobl in der Nähe von Graz war interessiert, eine Schule mittels kabellosen Breitbandinternet anzubinden. Weiters befindet sich ein nicht mehr benutzter Sendemast in der Nähe der Schule, auf dem sich eine mit dem Internet verbundene Wetterstation befindet. Durch den Umstand, dass die Wetterstation über einen Breitbandanschluss verfügt, der mitbenutzt werden kann, ist dieser Standort ideal für das Projekt. Die Distanz Schule und Sendemast beträgt ca. 300 m (Abb. 7.1).



Abb. 7.1: Darstellung der FSO Verbindung

7.1 Installation

Die verwendeten FSO Einheiten wurden an der TU Graz mit Komponenten entwickelt, die am Massenmarkt einfach erhältlich sind. Die mögliche Einsatzreichweite liegt bei Schönwetterbedingungen bei ca. 30 bis 600 m, die empfohlene Einsatzreichweite liegt bei ca. 300 m.

Bei den verwendeten FSO's besteht der Sender aus acht Hochleistungs LED's mit einer Wellenlänge von 850 nm und einer gesamten optischen Abstrahlleistung von 28 mW, die Stahldivergenz beträgt 42 mrad (2,5°). Die optische Abstrahlleistung ist konform mit der Laserklasse 1M (IEC 60 825-1:2001) [18]. Der Empfänger besteht aus einer Si-PIN Diode mit einer Empfindlichkeit von 45 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ und einem zusätzlichen optischen Bandpassfilter. Die Management und Datenschnittstelle sind mittels einer Glasfaseranbindung realisiert worden, wobei die Datentransferrate 10 Mbit/s beträgt, die Ethernetschnittstelle ist protokolltransparent. Um die beiden FSO Einheiten auf größere Distanzen entsprechend einrichten zu können, sind sie mit Zielfernrohren ausgerüstet.

Eine FSO Einheit wurde mittels einer massiven Befestigung an der Mauer außerhalb der Schule mittels Schraubverbindungen stabil und schwingungsfrei montiert. Die korrespondierende FSO Einheit wurde am Sendeturm montiert (Abb. 7.2).



Abb. 7.2: Montagesituation des FSO Systems am Masten, Eigenentwicklung der TU Graz (Detail, rechts)

Bei der Montage der FSO Einheiten wurde das Augenmerk darauf gelegt, dass die gesamte Übertragungsstrecke frei von Hindernissen ist (Abb. 7.3).

In Hinblick auf den langen Datenerhebungszeitraum wurden für die Datenerfassung alle Stromversorgungen der Datenerfassungsgeräte redundant ausgelegt.



Abb. 7.3: Ansicht der Verbindungsstrecke

Es wurden an beiden Seiten Server installiert, um entsprechende Datenpakete generieren und dokumentieren zu können.

Um die Verfügbarkeit der Verbindung zu dokumentieren wurden alle 10 ms kleine IP Pakete von einer Einheit zur anderen gesendet, die wiederum mit einem Paket geantwortet hat. Zusätzlich wurde jede volle Stunde ein http-Download einer Datei mit genau 200 MByte durchgeführt. Die Ergebnisse wurden in einer Datenbank mit Fernzugriff gespeichert.

Weiters wurde die gesamte Schule mit ca. 20 PC Arbeitsplätzen über die FSO Strecke mit dem Internet verbunden. Die Breitbandverbindung wurde auf 4 Mbit/s limitiert, um genug Bandbreite für die Teststrecke in Reserve zu haben und um die entsprechenden Messdaten übertragen zu können.

Durch die Nähe der Teststrecke zum Flughafen Graz waren entsprechende Sichtbarkeitsdaten für den Bereich des Sendemastes seitens der Austro Control, der österreichischen Flugsicherungsbehörde, vorhanden. Aufgrund der Tatsache, dass der Nebel im Projektbereich sehr stabil ist, wurde die Sichtbarkeit nur einmal pro Stunde gemessen. Der Umstand, dass es zwei verschiedene Datenquellen gibt, macht es möglich, diese Informationen zu korrelieren.

Wie sich schon bei der Beschreibung eines FSO Systems gezeigt wurde, ist der Haupteinflussfaktor für die Verfügbarkeit der Nebel. Im Folgenden wird das Link Budget für die gegenständliche FSO Strecke in Verbindung mit Nebelwirkungen beim der gegenständlichen Langzeituntersuchung erörtert und dargestellt.

7.2 Parameter

Das verwendete FSO System hatte im Überblick unten angeführte technische Parameter. Mit diesen Werten wurde im Folgenden die Systemreserve berechnet.

Optische Leistung gesamt:	28 mW
Wellenlänge:	850 nm
Länge der Übertragungsstrecke:	300 m
Linsendurchmesser TX:	25 mm
Linsendurchmesser RX:	100 mm
Strahldivergenz:	42 mrad (2,5°)
Anzahl Sendedioden:	8 LED's (Type L7558-01)
Anzahl Empfangsdioden:	1 Si-PIN (Type SFH 203)
Akzeptanzwinkel:	30 mrad (1,8°)

Die Sendeleistung P_{TX} des Systems beträgt:

$$P_{TX} = 10 \log \left(\frac{P_S}{1mW} \right) = 10 \log \left(\frac{28}{1mW} \right) = 14,47 \text{ dBm} \quad (7.1)$$

Weiters beträgt der geometrische Gewinn bei 2,5° Strahldivergenz

$$G_{TX} = 10 \log \left(\frac{4\pi sr}{2\pi \left(1 - \cos \frac{\alpha}{2}\right) sr} \right) = 10 \log \left(\frac{4\pi sr}{2\pi \left(1 - \cos \frac{2,5^\circ}{2}\right) sr} \right) = 39,25 \text{ dB} \quad (7.2)$$

Die äquivalente isotrope Sendeleistung $EIRP$ ergibt sich daher mit

$$EIRP = P_{TX} + G_{TX} = 14,47 \text{ dBm} + 39,25 \text{ dB} = 53,72 \text{ dBm} \quad (7.3)$$

Mit dem Empfangslinsendurchmesser von 100 mm ergibt sich folgender Wert:

$$A_{RX} = 20 \log(R_{RXLINSE}) = 20 \log(0,05) = -26,02 \text{ dB} \quad (7.4)$$

Die Verluste der Empfangsoptik gehen mit ca. $\sum a_{RX} = 0,2 \text{ dB}$ ein.

Für die Systemleistung P_{SYS} ergibt sich nunmehr

$$P_{SYS} = EIRP + A_{RX} + \sum a_{RX} = 53,72 \text{ dBm} - 26,02 \text{ dB} - 0,2 \text{ dB} = +27,50 \text{ dBm} \quad (7.5)$$

Der Dämpfungsbeitrag a_D der Übertragungsstrecke beträgt

$$a_D = 10 \log(2d) = 20 \log\left(\frac{600m}{1m}\right) = +55,56 \text{ dB} \quad (7.6)$$

Für die Empfangsleistung P_{RX} unter optimalen Bedingungen ergibt sich nunmehr:

$$P_{RX} = P_{SYS} - a_D = 27,50 \text{ dBm} - 55,56 \text{ dB} = -28,06 \text{ dBm} \quad (7.7)$$

Letztlich ergibt sich die Systemreserve M_{SYS} mit der minimalen Empfangsleistung der Empfangsdiode von $P_{RS} = -44 \text{ dBm}$ aus nachfolgender Berechnung:

$$M_{SYS} = P_{SYS} - a_D - P_{RS} = 27,50 \text{ dBm} - 55,56 \text{ dB} + 44 \text{ dBm} = 15,94 \text{ dB} \quad (7.8)$$

Die spezifische Systemreserve M_{SPEC} ist gegeben mit:

$$M_{SPEC}(d_L) = \frac{1000m}{d_L} M_{SYS} = \frac{1000m}{300m} \cdot 15,94 \text{ dB} = 53,13 \text{ dB / km} \quad (7.9)$$

Typischerweise hat die Durchlässigkeit der bodennahen Atmosphäre (Transmission) durch Absorption von Molekülen der Luft und durch Streuung an diesen Molekülen bestimmt. Mit Hilfe des Gesetzes nach BEER LAMBERT kann man diese Zusammenhänge darstellen:

$$\tau(\lambda, d) = \frac{P_{(\lambda, d)}}{P_{(\lambda, 0)}} = e^{-\gamma(\lambda) d} \quad (7.10)$$

wobei:

$\tau(\lambda, d)$ Transmission der Atmosphäre bezogen aus Wellenlänge und Distanz
 $P(\lambda, d)$ optische Leistung nach der Distanz d
 $P(\lambda, 0)$ abgestrahlte optische Leistung
 $\gamma(\lambda)$ Extinktionskoeffizient (Dämpfung pro Streckenlänge bezogen auf die Wellenlänge)

Der Extinktionskoeffizient $\gamma(\lambda)$ lässt sich wie folgt darstellen:

$$\gamma(\lambda) = \alpha_m(\lambda) + \alpha_a(\lambda) + \beta_m(\lambda) + \beta_a(\lambda) \quad (7.11)$$

Wobei:

$\alpha_m(\lambda)$ molekularer Streuungskoeffizient
 $\alpha_a(\lambda)$ aerosoler Streuungskoeffizient
 $\beta_m(\lambda)$ molekularer Absorbtionskoeffizient
 $\beta_a(\lambda)$ aerosoler Absorbtionskoeffizient

Wie sich in den Ausführungen zu den FSO Systemen in Kapitel 2.3.3 gezeigt hat, ist der aerosole Absorptionskoeffizient in Form von Nebel jener Faktor, der FSO Systeme am stärksten beeinflussen kann, da die Wellenlänge im Bereich der Nebelpartikel liegt. Näherungsweise gilt für den Extinktionskoeffizient $\gamma(\lambda)$ daher:

$$\gamma(\lambda) \cong \beta_a(\lambda) \quad (7.12)$$

Für eine bestimmte Streckenlänge ergibt sich daher eine Dämpfung von

$$a(\text{dB}) = 10 \log \frac{1}{\tau} = \frac{10}{\ln(10)} \gamma(\lambda) d \quad (7.13)$$

Die näherungsweise Berechnung der spezifischen Dämpfung eines FSO Systems kann mit drei Modellen, nämlich mit KRUSE, KIM und AL NABOULSI [44, 45, 46, 47] durchgeführt werden.

Die spezifische Dämpfung nach KRUSE und KIM wird mit folgender Gleichung dargestellt:

$$a_{\text{spec}} = \frac{10 \log V\%}{V(\text{km})} \left(\frac{\lambda}{\lambda_0} \right)^{-q} \left(\frac{\text{dB}}{\text{km}} \right) \quad (7.14)$$

wobei:

$V(km)$Sichtbarkeit (km)
 $V\%$Verhältnis der Wassertropfen zum Prozentsatz des Bewölkungsgrades
 λWellenlänge
 λ_0Wellenlänge (Sichtbarkeitsreferenz 550 nm)

Für das KRUSE Modell gelten nachfolgende q- Parameter:

$$q = \begin{cases} 1,6 & \text{wenn } V > 50km \\ 1,3 & \text{wenn } 6km > V > 50km \\ 0,585V^{1/3} & \text{wenn } V < 6km \end{cases} \quad (7.15)$$

Später wurden von KIM die q-Parameter aufgrund neuerer und besserer Messwerte korrigiert, was sich vor allem bei starkem Nebel auswirkt:

$$q = \begin{cases} 1,6 & \text{wenn } V > 50km \\ 1,3 & \text{wenn } 6km > V > 50km \\ 0,16V + 0,34 & \text{wenn } 1km > V > 6km \\ V - 0,5 & \text{wenn } 0,5km > V > 1km \\ 0 & \text{wenn } V < 0,5km \end{cases} \quad (7.16)$$

Aus letzterem Modell geht hervor, dass der Einfluss der Wellenlänge bei geringeren Sichtweiten nicht mehr in die Dämpfung eingeht.

Die Gleichung von KOSCHMIEDER gibt den Zusammenhang der atmosphärischen Transmission in Abhängigkeit der entsprechend übertragenen Wellenlänge wieder. In Europa wird die Sichtweite so festgelegt, dass die Transmission der Atmosphäre, bei 550 nm mit 200 nm Bandbreite, über die als Sichtweite festgelegte Distanz genau 5% beträgt [43].

$$V = \frac{\ln\left(\frac{1}{\tau_s}\right)}{\lambda_{550nm}} = \frac{\ln\left(\frac{1}{0,02}\right)}{\lambda_{550nm}} = \frac{3,912}{\lambda_{550nm}} \quad (7.17)$$

Mit dem Zusammenhang von KRUSE kann weiters die Dämpfung aus der Sichtweite ermittelt werden:

$$\gamma(\lambda) \cong \beta_a(\lambda) = \frac{3,912}{V} \left(\frac{\lambda}{550nm} \right)^{-q} \quad (7.18)$$

In Verbindung mit Gleichung 7.13 ergibt sich daher:

$$a(dB) = 10 \log \frac{1}{\tau} = \frac{10}{\ln(10)} \gamma(\lambda) = \frac{10}{\ln(10)} \frac{3,912}{V} \left(\frac{\lambda}{550nm} \right)^{-q} = \frac{16,99 dB}{V} \left(\frac{\lambda}{550nm} \right)^{-q} \quad (7.19)$$

Wenn das neuere Modell von KIM angewendet wird so fällt der wellenlänge-abhängige Teil durch den Parameter $q=0$ weg und man kann für die Sichtbarkeit wie folgt umformen:

$$V(km) = \frac{16,99 dB}{a(dB)} \quad (7.20)$$

7.3 Analyse der Ausfälle

Mit der Systemreserve von 53,13 dB/km aus Gleichung 7.9 ergibt sich nunmehr eine minimale Sichtweite V von:

$$V(km) = \frac{16,99 dB}{a(dB)} = \frac{16,99 dB}{53,13 dB} = 0,320 km = 320 m \quad (7.21)$$

Die Strecke sollte daher bei Nebel bis auf eine Sichtweite von 320 m funktionieren. Alternativ wird dieser Wert zur Plausibilisierung auch noch mit dem Verfahren von AL NABOULSI (France Telecom Model, [46]) berechnet.

Das Verfahren unterscheidet zwei verschiedene Entstehungsarten von Nebel, den Konvektionsnebel (radiation fog) und den Advektionsnebel (advection fog). Der Konvektionsnebel entsteht typischerweise durch Auskühlen des Untergrundes und bildet Partikelgrößen bis zu 4 μm , während der Advektionsnebel durch durchströmen warmfeuchter Luftmengen über einer kühleren Oberfläche mit Partikelgrößen bis zu 20 μm entsteht.

Für den Advektionsnebel gilt nachfolgende Gleichung:

$$\gamma_{ADV}(\lambda) = \frac{0,11478\lambda + 3,8367}{V} = \frac{3,8367}{V} \quad (7.22)$$

In Verbindung mit Gleichung 7.19 ergibt sich:

$$a(dB) = 10 \log \frac{1}{\tau} = \frac{10}{\ln(10)} \gamma(\lambda) = \frac{10}{\ln(10)} \frac{3,8367}{V} \left(\frac{\lambda}{550nm} \right)^{-q} = \frac{16,66 dB}{V} \left(\frac{\lambda}{550nm} \right)^{-q} \quad (7.23)$$

Mit der Systemreserve von 53,13 dB/km aus Gleichung 7.9 in Verbindung mit dem Parameter $q=0$ ergibt sich nunmehr eine minimale Sichtweite V :

$$V(km) = \frac{16,66 dB}{a(dB)} = \frac{16,66 dB}{53,13 dB} = 0,314 km = 314 m \quad (7.24)$$

Für den Konvektionsnebel gilt nachfolgende Gleichung:

$$\gamma_{RAD}(\lambda) = \frac{0,18126\lambda^2 + 0,13709\lambda + 3,7502}{V} = \frac{3,750}{V} \quad (7.25)$$

In Verbindung mit Gleichung 7.19 ergibt sich:

$$a(dB) = 10 \log \frac{1}{\tau} = \frac{10}{\ln(10)} \gamma(\lambda) = \frac{10}{\ln(10)} \frac{3,750}{V} \left(\frac{\lambda}{550nm} \right)^{-q} = \frac{16,29 dB}{V} \left(\frac{\lambda}{550nm} \right)^{-q} \quad (7.26)$$

Mit der Systemreserve von 53,13 dB/km aus Gleichung 7.9 in Verbindung mit dem Parameter $q=0$ ergibt sich nunmehr eine minimale Sichtweite V :

$$V(km) = \frac{16,29 dB}{a(dB)} = \frac{16,29 dB}{53,13 dB} = 0,306 km = 306 m \quad (7.27)$$

Es wurden in weiterer Folge mit der empirisch ermittelten Formel 7.28 (entnommen aus [48]) für den Dämpfungsfaktor α_{scat} die verschiedenen Dämpfungswerte für unterschiedliche Wellenlängen und Sichtweiten ermittelt (Abb. 7.4 und Abb. 7.5).

$$\alpha_{scat} = \frac{17}{V_M} \cdot \left(\frac{0,55}{\lambda} \right)^{0,195 \cdot V_M} \quad (7.28)$$

Wobei:

- α_{scat} Dämpfungsfaktor
- V_M Sichtweite im km
- λ Wellenlänge in μm

7. Langzeitevaluierung an einem FSO System

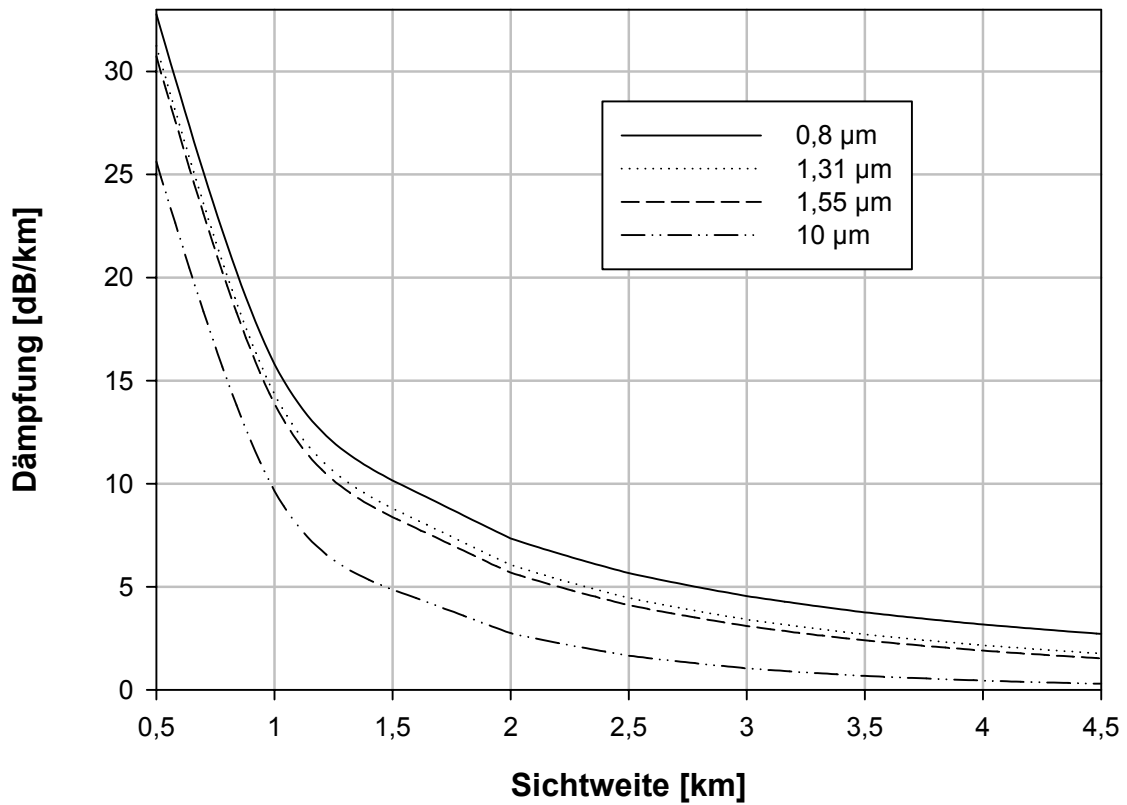


Abb. 7.4: Spezifische Dämpfung in Abhängigkeit von Wellenlänge und Sichtweite für eine Sichtweite von 0,5 bis 4,5 km

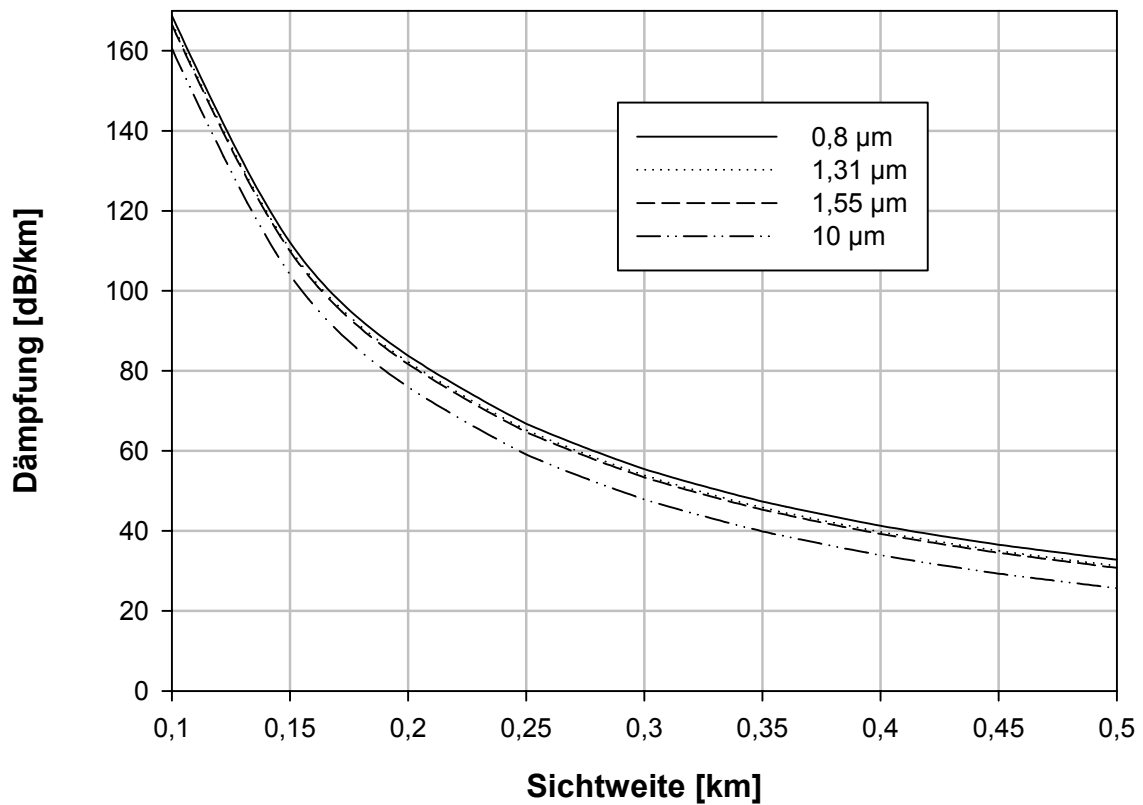


Abb. 7.5: Spezifische Dämpfung in Abhängigkeit von Wellenlänge und Sichtweite für eine Sichtweite von 0,1 bis 0,5 km

Abbildung 7.4. gibt die Dämpfungswerte entsprechend der Sichtweite im Bereich 0,5 bis 4,5 km wieder. Ein starker Anstieg der Dämpfungswerte ist ab einer Sichtweite von ca. 1 km erkennbar. Aus diesem Grund wurden die Dämpfungswerte für geringere Sichtbarkeiten in Abb. 7.5 einer genaueren Analyse zugeführt, zudem dient diese Analyse der Plausibilisierung der vorangegangenen Ergebnisse. Es zeigt sich in Abb. 7.5, dass die bereits errechneten Dämpfungswerte für Sichtweiten von ca. 300 bis 350 m zweifelsfrei korrekt sind.

Interessant ist die Tatsache, dass die Dämpfung bei einer Wellenlänge von 10 μm von allen analysierten Wellenlängen die geringsten Werte aufweist und damit eine höhere Systemverfügbarkeit gewährleisten würde.

Wie sich aus den vorangegangenen theoretischen Herleitungen ergibt, bewegt sich die minimale Sichtweite für das gegenständliche System zwischen 306 m bis 320 m, gemittelt also bei rund 313 m. Im Zuge der Analyse der Daten hat sich am 26.12.2006 ein signifikanter Ausfall der FSO Verbindung gezeigt (Abb. 7.6).

Verfügbarkeit und Sichtbarkeit am 26.12.2006

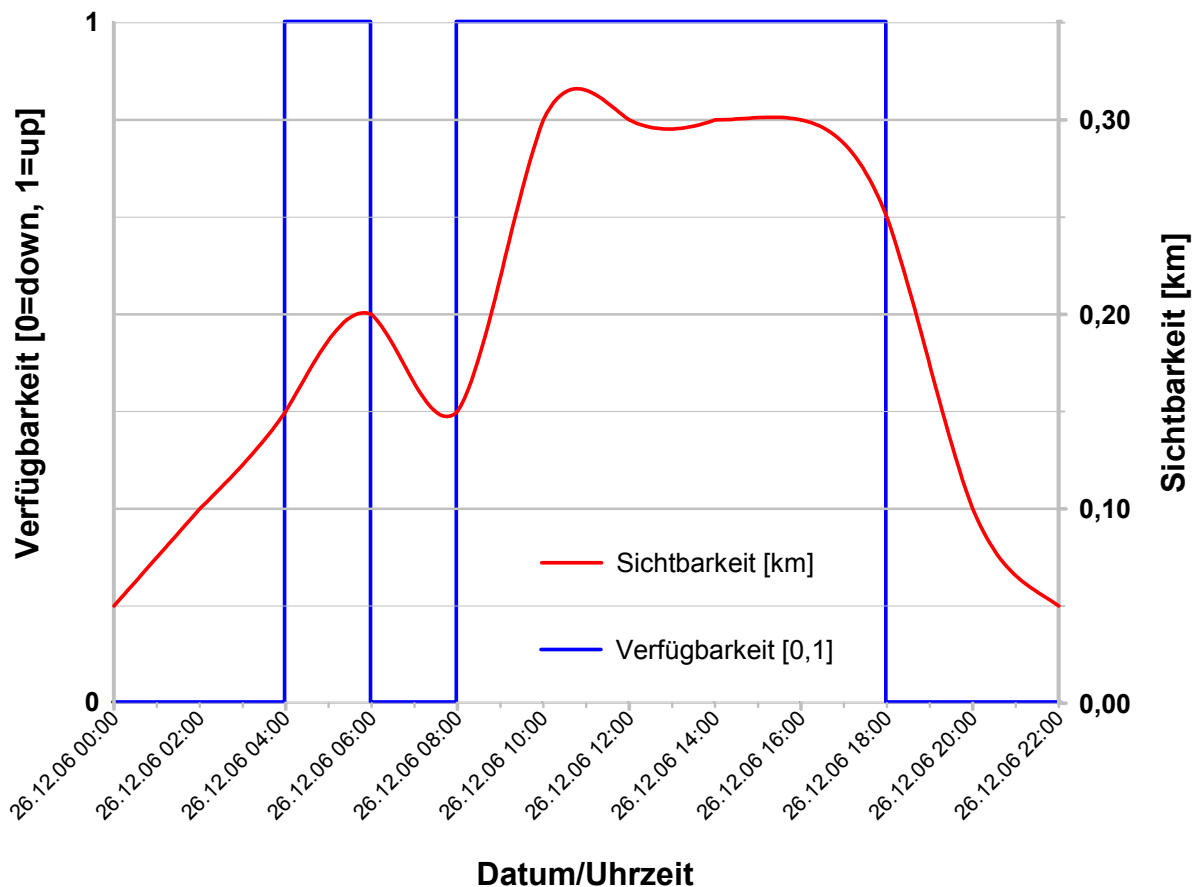


Abb. 7.6: Verfügbarkeit und Sichtbarkeit der FSO Verbindung am 26.12.2006, modifiziert aus [42]

Nach den theoretischen Ergebnissen der minimalen Sichtweite für das gegenständliche FSO System ist eine Sichtweite von rund 313 m gegeben. Die gegenständliche Messstrecke weist eine Länge von rund 300 m auf und dürfte nach den ermittelten Ereignissen eigentlich keine Ausfälle zeigen. Wie in Abb. 7.6 ersichtlich ist, tritt bei einem Schwellwert von 200 m Sichtbarkeit ein signifikanter Ausfall auf, was belegt, dass das gegenständliche System sogar besser funktioniert, als in der theoretischen Herleitungen ermittelt wurde.

Dieser Umstand ist dadurch zu erklären, dass die Sichtbarkeit des Nebels nicht direkt am Projektstandort, sondern am Flughafen Graz gemessen wurde und lässt den logischen Schluss zu, dass die Sichtbarkeit zum Zeitpunkt des Ausfalles an den FSO Standorten geringer gewesen sein muss, als in den Daten der Austro Control angegeben, die speziell im Bereich der Landebahn des Flughafens gewonnen werden. Aus Abb. 7.5 geht zudem klar hervor, dass geringe Änderungen der Sichtweite im Bereich von 100 bis 500 m relativ große Änderungen der Dämpfungswerte und damit der Verfügbarkeit bewirken.

7.4 Verfügbarkeitsanalyse

Aus den Daten der Austro Control ergibt sich generell, dass es im Bereich des Flughafen Graz im Jahr rund 140 Nebeltage gibt. Es wurden zunächst die im Projekt gesammelten Rohdaten in Form der Verfügbarkeit des FSO Systems in Prozenten ausgewertet, die keine Systemausfälle beinhalten.

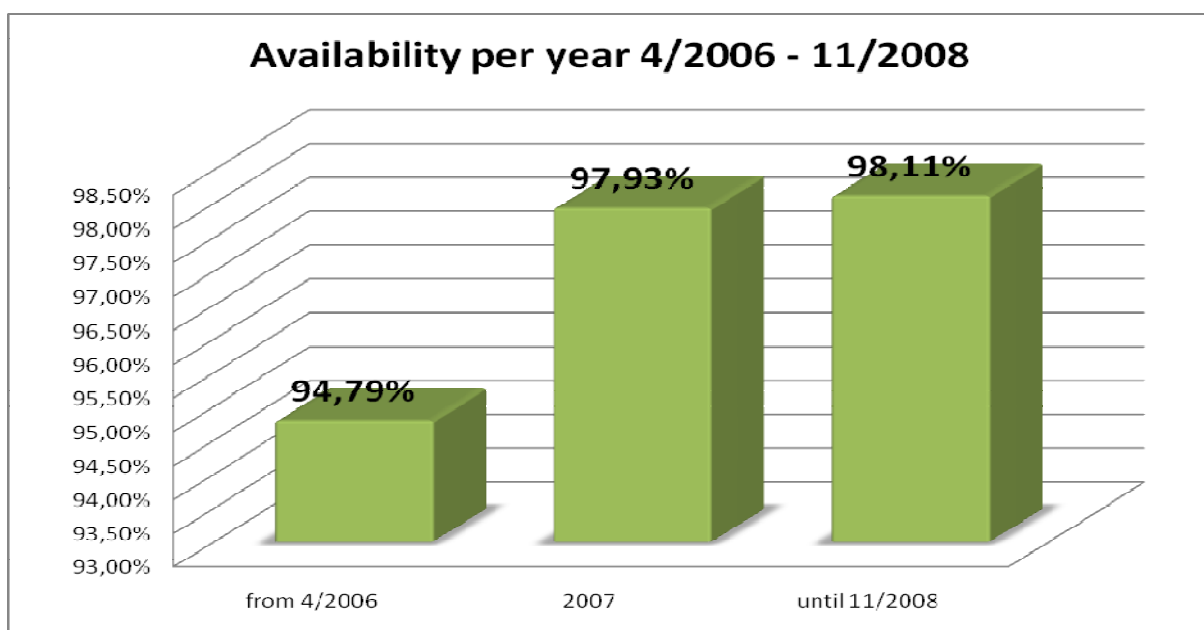


Abb. 7.7: Verfügbarkeit der Verbindung von 4/2006 bis 11/2008 bezogen auf das Jahr [42]

Es fällt auf, dass im Jahr 2006 im Vergleich zu den Jahren 2007 (97,93%) und 2008 (98,11%) nur eine Verfügbarkeit von 94,79% gegeben war (Abb. 7.7).

Diese Abweichung ist mit Renovierungsarbeiten an der Schule erklärbar, die es notwendig machten, die FSO Verbindung für sieben Tage abzuschalten. Nach der Korrektur dieser Zeitspanne in den Daten ergibt sich in Abb. 7.8 nunmehr die richtige Verfügbarkeit für das Jahr 2006.

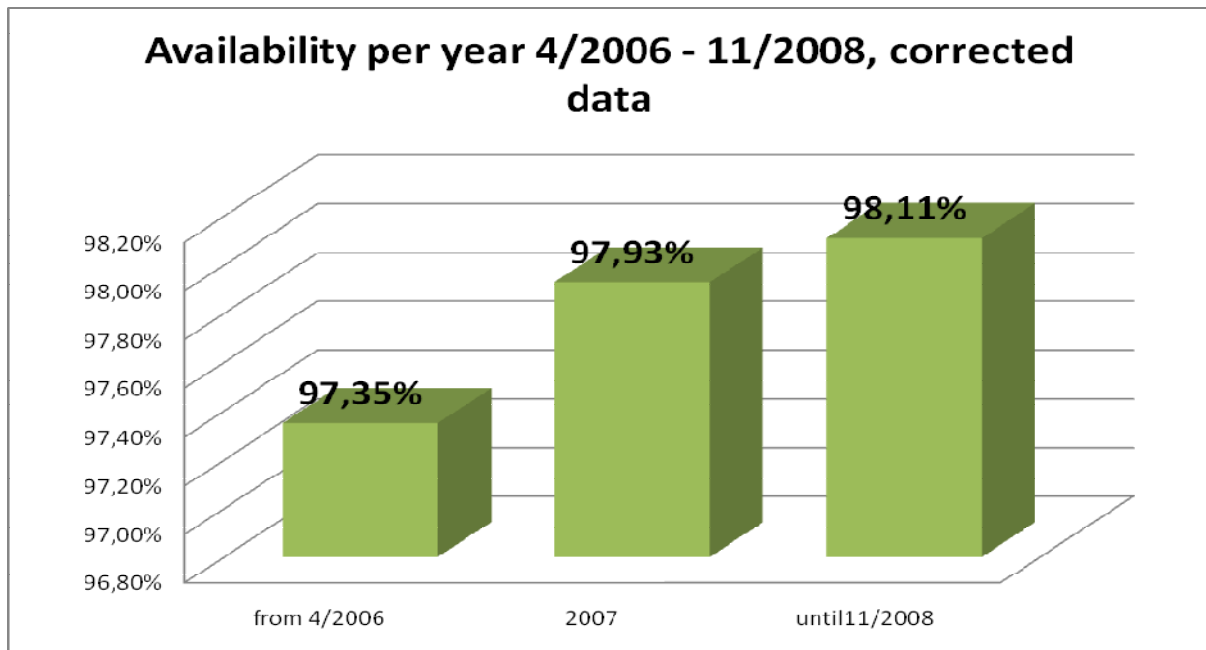


Abb. 7.8: Verfügbarkeit der Verbindung von 4/2006 bis 11/2008 bezogen auf das Jahr mit korrigierten Daten [42]

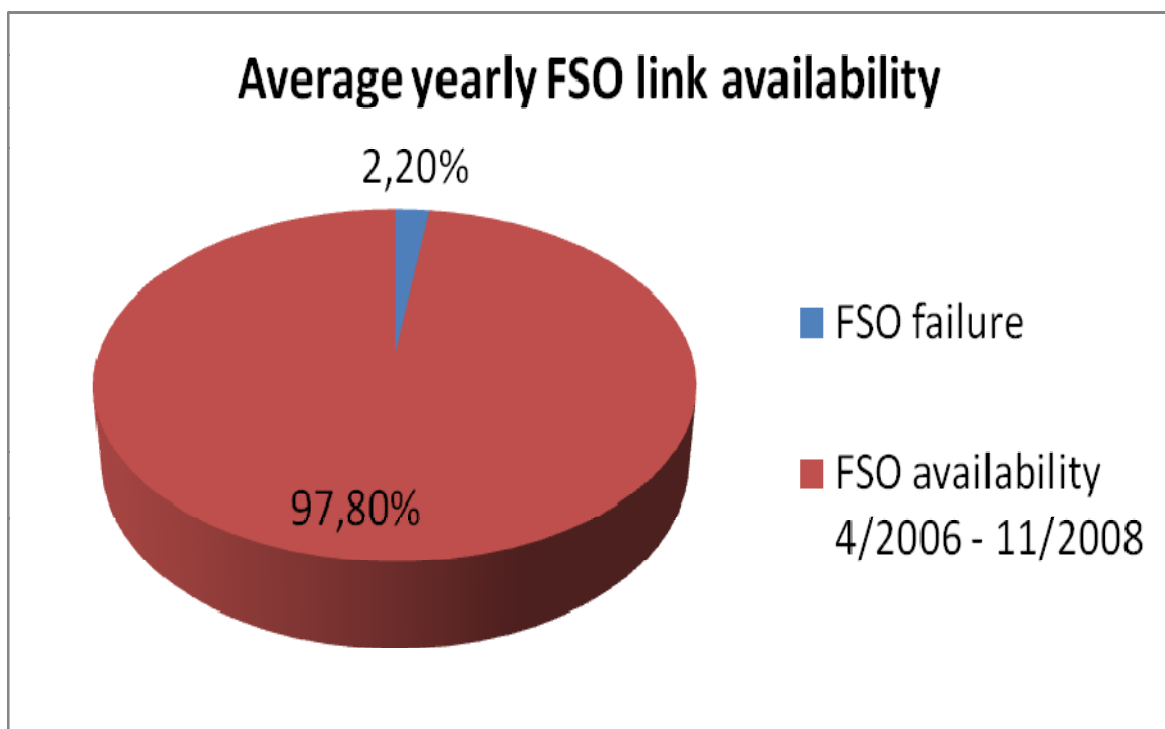


Abb. 7.9: Durchschnittliche jährliche Verfügbarkeit der Verbindung mit korr. Daten von 04/2006 bis 11/2008 [42]

Die ausgewertete Verfügbarkeit der Verbindung steigt nun auf 97,35% und ist den Werten aus den Jahren 2007 und 2008 sehr ähnlich.

Aufgrund dieser Auswertung liegt der Schluss nahe, dass das Nebelverhalten im Bereich des FSO Systems jedes Jahr ähnlich ist.

Wenn man den Mittelwert aus den Daten der Jahre 2006, 2007 und 2008 errechnet, so ergibt sich die gesamte Verfügbarkeit über die Projektlaufzeit (Abb. 7.9).

Der Mittelwert der Verfügbarkeit von 97,80% liefert für eine FSO Verbindung im Vergleich zu einer kabelgebundenen Verbindung, die typischerweise mit mehr als 99,999% Verfügbarkeit keinen metrologischen Einflüssen unterliegt, ein sehr gutes Resultat.

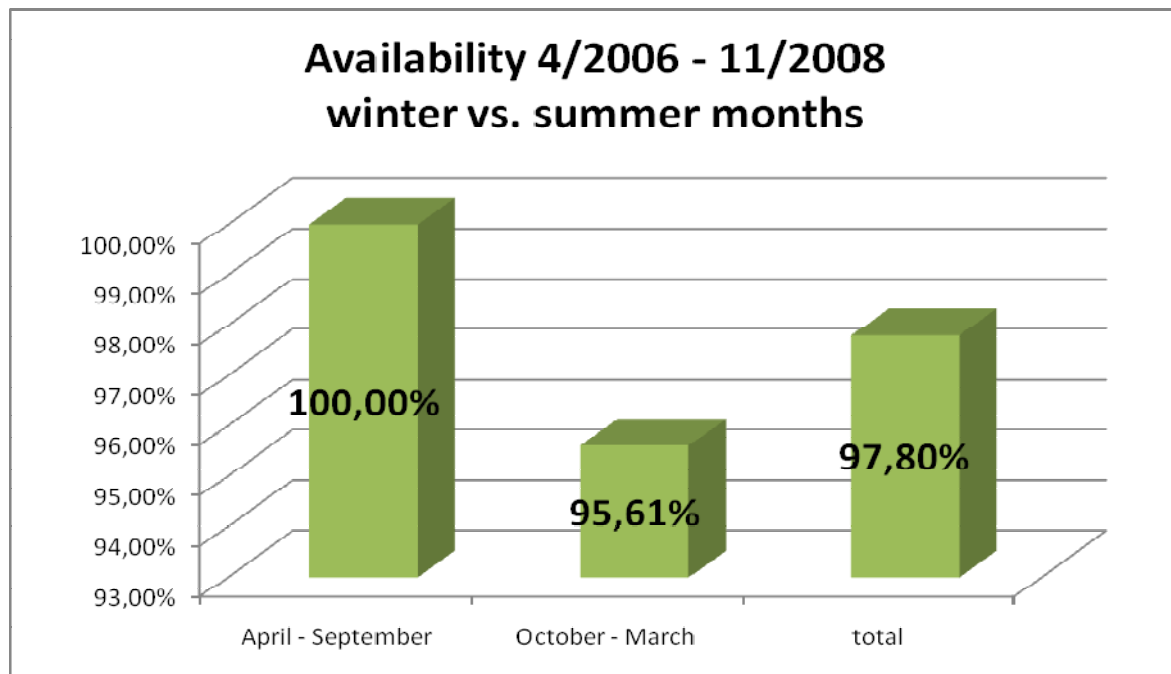


Abb. 7.10: Durchschnittliche Verfügbarkeit der FSO Verbindung, Vergleich Winter und Sommer [42]

Wenn man für Dauer eines typischen Jahres 365 Tage annimmt, so erstreckt sich die Ausfallszeit des FSO Systems auf rund 8 Tage (exakt 8,03 Tage). Um die Verfügbarkeit in die Nähe einer kabelgebundenen Verbindung zu bringen, wären im Fall eines Ausfalles zuschaltbare funkbasierende Systeme eine probate Lösung.

Es stellt sich nunmehr die Frage, ob es eine bestimmte Jahreszeit gibt, in der die Ausfälle vermehrt auftreten. In Hinblick auf diese Fragestellung hat sich beim weiteren Auswerten der Daten ergeben, dass die Ausfälle im Bereich des gegenständlichen FSO Systems hauptsächlich in der kalten Jahreszeit von Oktober bis März auftreten. Dies begründet sich darin, dass dichter Nebel typischerweise

dann entsteht, wenn die Temperaturen niedrig sind und die Differenz zwischen Umgebungstemperatur und Taupunkt $2,5\text{ °C}$ unterschreitet.

Abb. 7.10 zeigt das Resultat der Auswertung, in den warmen Monaten (April bis September) gibt es eine sehr hohe Verfügbarkeit von 100%, während es in den kalten Monaten (Oktober bis März) nur eine Verfügbarkeit von 95,61% gibt.

Es wurde in diesem Abschnitt die theoretische und praktische Sichtbarkeitsgrenze für die Verfügbarkeit des gegenständlichen FSO Systems bereits ermittelt (Abb. 7.6). Mit Hilfe dieser Informationen, speziell die praktische Sichtbarkeitsgrenze, könnte ein Schwellwert generiert werden, der einen zusätzlichen funkbasierenden Kanal aktiviert, der die Verfügbarkeit des Systems signifikant erhöhen kann und auch den Betrieb kritischer Anwendungen ermöglichen würde. Dies besonders auch aus dem Grund, da ein funkbasierender Kanal nicht annähernd so großen meteorologischen Störungseinflüssen unterliegt, wie ein FSO System. Bei funkbasierenden Systemen verringert sich bei atmosphärischen Einflüssen typischerweise die Datenübertragungsrate, während bei einer optischen Verbindung und der verwendeten Intensity Modulation (on-off-keying, OOK) die Datenübertragung bedingt durch eine zu geringe Anzahl an Photonen bei der Empfängerdiode abbricht.

8. Rechtliche Rahmenbedingungen

In diesem Kapitel werden die rechtlichen Rahmenbedingungen, die Vorschriften für Arbeitssicherheit und spezielle rechtliche Probleme mit FSO Verbindungen erörtert.

8.1 Grundlagen

Der Rechtsbau des Telekommunikationsrechts in Österreich wird durch folgende verfassungsrechtlichen Rechtsquellen begründet:

- Art 10 Abs 1 Z 9 Bundesverfassungsgesetz (B-VG): Post- und Fernmeldewesen inkl. Rundfunk ist Bundessache in Gesetzgebung und Vollziehung [66]
- Art 102 Abs 2 Bundesverfassungsgesetz (B-VG): Fernmeldewesen unmittelbare Bundesverwaltung (d.h.: auch Bundesbehörden in den Ländern) [66]
- Art 10a Staatsgrundgesetz (StGG): Fernmeldegeheimnis [67]
- Art 8 (Europäische Menschenrechtskonvention) EMRK: Privat- und Familienleben [68]
- Art 10 (Europäische Menschenrechtskonvention) EMRK: Informationsfreiheit [68]

Um in Österreich Rechtskonformität mit der Europäischen Union gemäß dem EG Vertrag 1995 (Kompetenzgrundlage Liberalisierung Artikel 86 und Kompetenzgrundlage Harmonisierung Artikel 95 [65]) zu haben, trat das Telekommunikationsgesetz 2003 (TKG 2003, [69]) am 20.08.2003 in Kraft.

Durch dieses Bundesgesetz werden primär folgende Richtlinien der Europäischen Union umgesetzt:

- a.) Richtlinie 2002/21/EG über einen gemeinsamen Rechtsrahmen für elektronische Kommunikationsnetze und -dienste (im Folgenden: Rahmenrichtlinie), ABl. Nr. L 108 vom 24. April 2002, S 33, in der Fassung der Verordnung (EG) Nr. 717/2007 (im Folgenden: Roaming-Verordnung), ABl. Nr. L 171 vom 29.6.2007, S. 32
- b.) Richtlinie 2002/20/EG über die Genehmigung elektronischer Kommunikationsnetze und -dienste (im Folgenden: Genehmigungsrichtlinie), ABl. Nr. L 108 vom 24. April 2002, S 21

c.) Richtlinie 2002/22/EG über den Universaldienst und Nutzerrechte bei elektronischen Kommunikationsnetzen und -diensten (im Folgenden: Universal-dienstrichtlinie), ABI. Nr. L 108 vom 24. April 2002, S 51

d.) Richtlinie 2002/19/EG über den Zugang zu elektronischen Kommunikationsnetzen und zugehörigen Einrichtungen sowie deren Zusammenschaltung (im Folgenden: Zugangsrichtlinie), ABI. Nr. L 108 vom 24. April 2002, S 7

e.) Richtlinie 2002/58/EG über die Verarbeitung personenbezogener Daten und den Schutz der Privatsphäre in der elektronischen Kommunikation (im Folgenden: Datenschutzrichtlinie), ABI. Nr. L 201 vom 31. Juli 2002, S 37

Zweck- und Zielbestimmungen des TKG 2003 sind unter anderem der Auslegungsmaßstab bei Unklarheiten und das Konkretisieren des Ermessensspielraumes

Der Gesetzeszweck gemäß § 1 Abs 1 TKG 2003 ist es, durch Förderung des Wettbewerbs die Versorgung der Bevölkerung mit zuverlässigen, preiswerten, hochwertigen und innovative Telekommunikationsdiensten zu versorgen. Weiters werden mit dem Gesetz unter anderem noch folgende weitere Ziele verfolgt:

- Wettbewerbsziele (Art 8 Abs 2 Rahmen Richtlinie (R-RL); § 1 Abs 2 Z 1 und 2 sowie § 1 Abs 3 TKG)
- Binnenmarktziele (Art 8 Abs 3 R-RL)
- Verbraucherschutzziele (Art 8 Abs 4 R-RL, § 1 Abs 2 Z 3 TKG)
- Allgemeiner Grundsatz der Angemessenheit aller Maßnahmen
- Technologieneutralität (Art 8 Abs 1 R-RL, § 1 Abs 3 u § 34 Abs 1 TKG)
- Grundsätzlich Gleichrangigkeit der Ziele
- Abwägung bei Zielkonflikten
- Schaffung einer modernen Telekommunikations Infrastruktur zur Förderung der Standortqualität auf hohem Niveau
- Sicherstellung eines chancengleichen und funktionsfähigen Wettbewerbs
- Verhinderung von Wettbewerbsverzerrungen oder Wettbewerbsbeschränkungen
- Förderung effizienter Infrastrukturinvestitionen und Innovationen
- Sicherstellung einer effizienten Nutzung und Verwaltung von Frequenzen und Nummern

- Technologieneutralität

Insbesondere wird auch auf den Schutz der Nutzer hoher Wert gelegt:

- einfache und kostengünstige Streitbeilegung
- hohes Datenschutzniveau
- Transparenz von Entgelten und AGB
- Integrität und Sicherheit von öffentlichen Netzen
- größtmögliche Vorteile in Bezug auf Auswahl, Preis und Qualität für alle Nutzer durch die Förderung des Wettbewerbes unter Berücksichtigung der Interessen behinderter Nutzer

Gemäß § 3 Z 11 TKG 2003 sind elektronische Kommunikationsnetze Übertragungssysteme und gegebenenfalls Vermittlungs- und Leitweeinrichtungen sowie anderweitige Ressourcen, die die elektronische Übertragung von Signalen über Kabel, Funk, optische oder andere elektromagnetische Einrichtungen ermöglichen, einschließlich Satellitennetze, feste (leitungs- und paketvermittelte, einschließlich Internet) und mobile terrestrische Netze, Stromleitungssysteme, soweit sie zur Signalübertragung genutzt werden, Netze für Hörfunk und Fernsehen sowie Kabelrundfunknetze (Rundfunknetze), unabhängig von der Art der übertragenen Informationen. Weiters sind elektronische Kommunikationsdienste gemäß § 3 Z 9 TKG 2003 eine gewerbliche Dienstleistung, die ganz oder überwiegend in der Übertragung von Signalen über Kommunikationsnetze besteht, einschließlich Telekommunikations- und Übertragungsdienste in Rundfunknetzen, jedoch ausgenommen Dienste, die Inhalte über Kommunikationsnetze und -dienste anbieten oder eine redaktionelle Kontrolle über sie ausüben. Ausgenommen davon sind Dienste der Informationsgesellschaft im Sinne von § 1 Abs. 1 Z 2 des Notifikationsgesetzes, BGBl. I Nr. 183/1999 [72], die nicht ganz oder überwiegend in der Übertragung von Signalen über Kommunikationsnetze bestehen.

Auszugsweise sind nachfolgend die für den Betrieb von öffentlichen Telekommunikationsdiensten iS des TKG 2003 wichtigsten gesetzlichen Erfordernisse angeführt. Gemäß § 15 TKG 2003 besteht vor einer beabsichtigten Bereitstellung eines öffentlichen Kommunikationsnetzes eine schriftliche Anzeigepflicht des Diensteanbieters bei der Regulierungsbehörde. § 17 TKG 2003 normiert, dass Bereitsteller von öffentlichen Kommunikationsdiensten vergleichbare,

angemessene und aktuelle Informationen über die Qualität ihrer Dienste zu veröffentlichen und der Regulierungsbehörde auf deren Anforderung vor der Veröffentlichung bekannt zu geben haben. Betreiber von öffentlichen Telefondiensten haben gemäß § 18 Abs 1 Z 1 TKG 2003 ein auf dem aktuellem Stand zu haltendes Verzeichnis ihrer Teilnehmer zu führen, welches in gedruckter Form (Buch), als telefonischer Auskunftsdienst, als elektronischer Datenträger oder in einer anderen technischen Kommunikationsform gestaltet sein kann. Gemäß § 20 TKG 2003 haben Betreiber eines öffentlichen Telefonnetzes oder -dienstes die kostenlose Herstellung der Verbindung zu allen Notrufnummern zu gewährleisten. Weiters ist sicherzustellen, dass beim Notrufträger die Rufnummer des rufenden Anschlusses zur Identifikation bereit steht. § 23 TKG 2003 normiert weiters, dass Betreiber öffentlicher Telefondienste sicherzustellen haben, dass ihren Teilnehmern die Möglichkeit des Wechsels des Telefondiensteanbieters unter Beibehaltung der Rufnummern ohne Änderung der für den betreffenden Rufnummernbereich spezifischen Nutzungsart und bei geografisch gebundenen Rufnummern die Möglichkeit des Wechsels des Standortes innerhalb des für den Nummernbereich festgelegten geografischen Gebietes ohne abschreckendes Entgelt eingeräumt wird. Gemäß § 48 Abs 1 TKG 2003 hat jeder Betreiber eines öffentlichen Kommunikationsnetzes anderen Betreibern solcher Netze auf Nachfrage ein Angebot auf Zusammenschaltung zu legen. Alle Beteiligten haben hierbei das Ziel anzustreben, die Kommunikation der Nutzer verschiedener öffentlicher Kommunikationsnetze untereinander zu ermöglichen und zu verbessern.

Hinsichtlich des Datenschutzes dürfen Stammdaten, Verkehrsdaten und andere Standortdaten als Verkehrsdaten von Diensteanbietern prinzipiell nur zum Zwecke der Besorgung eines Kommunikationsdienstes für einen sehr eng gesteckten Zeitraum für den angestrebten Zweck verwendet werden und sind sodann unverzüglich zu löschen (§§ 99, 101 und 102 TKG 2003).

Gemäß § 98 TKG 2003 haben Betreiber Betreibern von Notrufdiensten auf deren Verlangen Auskünfte über Stammdaten im Sinne von § 92 Abs 3 Z 3 lit a bis d sowie über Standortdaten im Sinne des § 92 Abs 3 Z 6 zu erteilen.

8.2 Vorschriften Funk

Betreffend der Vorschriften für Funkanwendungen kann prinzipiell zwischen lizenzfreien und lizenzpflichtigen Verfahren unterschieden werden. Prinzipiell ist gemäß Art 10 Abs 1 Z 9 Bundesverfassungsgesetz (B-VG) das Post- und Fernmeldewesen inkl. Rundfunk Bundessache in Gesetzgebung und Vollziehung. Die für diese Arbeit relevanten Technologien werden im Folgenden behandelt.

8.2.1 WLAN

WLAN IEEE 802.11 [9] wurde technisch bereits in den vorangegangenen Kapiteln behandelt. Rechtlich ist WLAN eine Technologie, die auf speziellen Frequenzbändern eingesetzt wird, die gemäß ETSI (European Telecommunications Standards Institute) von jedermann unter Einhaltung entsprechender Sendeleistungen (EIRP) benutzt werden kann.

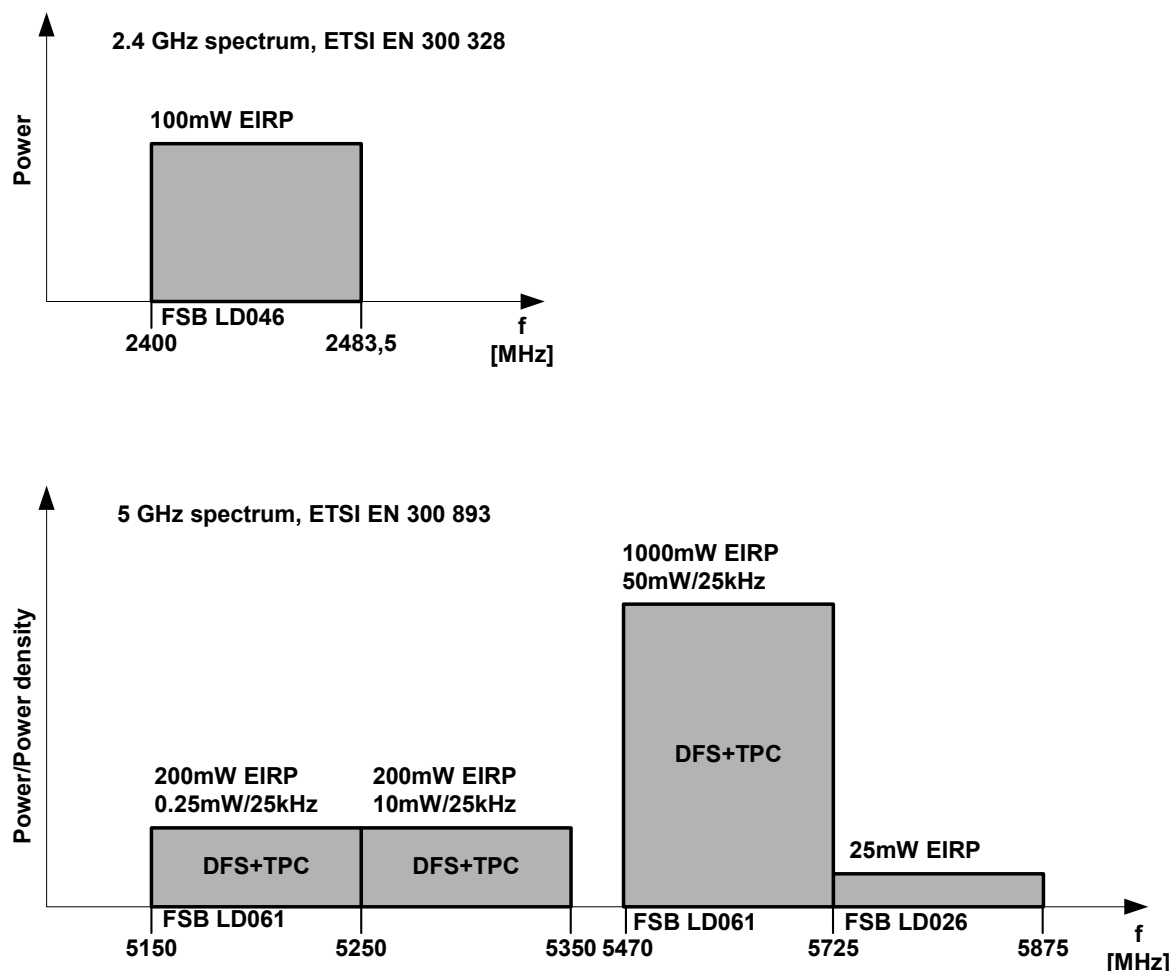


Abb. 8.1: Lizenzfreie Frequenzbereiche gemäß ETSI

Die harmonisierten Standards dafür wurden im Amtsblatt der Europäischen Union veröffentlicht und ins nationale österreichische Recht entsprechend übernommen:

Für 2,4 GHz gilt die EN 300 328 „Elektromagnetische Verträglichkeit und Funkspektrumangelegenheiten (ERM); Breitband-Übertragungssysteme; Datenübertragungseinrichtungen für den Einsatz im 2,4 GHz ISM-Band mit Spreizspektrummodulation [87].

Für 5 GHz gilt die ETSI EN 301 893: Breitbandige Funkzugangsnetze (BRAN); Lokale Funknetze mit hoher Leistung im 5 GHz Band; Harmonisierte Europäische Norm (EN) für die grundlegenden Anforderungen des Artikels 3.2 der Funk- und Telekommunikationsendgerätedirektive) [88].

Die entsprechenden Frequenzbereiche mit den maximalen Sendeleistungen sind in Abb. 8.1 dargestellt.

Für den Betrieb von Geräten im Frequenzbereich 5470 GHz bis 5725 GHz sind für den Betrieb mit Leistungen bis zu 1000 mW (30 dBm) zwei Technologien, nämlich Direct Frequency Selection (DFS) und Transmit Power Control (TPC) zwingend vorgesehen, um die Störung anderer im gleichen Frequenzband arbeitenden Systeme wie z.B. Wetter/Flugradarsysteme zu verringern bzw. zu vermeiden. Beide Technologien sind im Standard IEEE 802.11h definiert und werden in Folgenden kurz dargestellt:

a.) Direct Frequency Selection ist eine Technologie, die einen automatischen Frequenzwechsel durchführen kann, sofern auf der gegenständlichen Frequenz bereits ein Benutzer sein sollte. Es wird zu diesem Zweck die entsprechende Frequenz ständig abgehört und sobald ein anderer Benutzer erkannt wird, wird umgehend ein Frequenzwechsel ausgelöst. Typischerweise erfolgt dabei eine zufällige Auswahl der Frequenz durch den Accesspoint.

b.) Transmit Power Control ist eine Technologie, die die Sendeleistung je nach Empfangsbedingungen regelt, um die Störung anderer Teilnehmer zu minimieren. Typischerweise wird dafür vom Empfänger die Empfangsfeldstärke zum Sender übermittelt, der darüber entscheidet ob die Sendeleistung ausreichend ist und diese gegebenenfalls entsprechend erhöht oder verringert.

8.2.2 DVB-T

In Österreich werden für den Betrieb von DVB-T sogenannte MUX-Plattformen verwendet. Bis 2007 hat der einzige unter entsprechenden behördlichen Auflagen befugte Betreiber von DVB-T-Infrastruktur, nämlich die mehrheitlich dem ORF gehörende Österreichische Rundfunksender GmbH (ORS), die MUX-A Plattform für das staatliche Fernsehen (ORF1, ORF2) und einige private Sender (z.B. ATV, Puls4, Servus TV, uA) alleine betrieben. Um den Zugang privater lokaler, regionaler DVB-T Sender zu ermöglichen, fand im Jahr 2007 seitens der Rundfunk und Telekom Regulierungs GesmbH (RTR) eine entsprechende Ausschreibung statt. Zahlreiche kleine Fernsehanbieter haben bei dieser Ausschreibung teilgenommen und bieten nunmehr ihre entsprechenden lokalen regionalen Fernsehdienste über die eigene Hardware an. Nach derzeitigem Erkundungsstand dürfen mit den entsprechend ausgestellten Bescheiden seitens der RTR nur Fernsehdienste aber keine IP-Datendienste ausgestrahlt werden. Letztere Erlaubnis ist für die Anbindung von Immobilien mittels des DVB-T Vorwärtskanal zwingend notwendig, um im rechtskonformen Raum zu operieren.

8.2.3 WiMAX

Für das Betreiben eines WiMAX Kommunikationsnetzes ist der Einsatz von zuteilungspflichtigen Frequenzen erforderlich. Die Bestimmungen betreffend der Zuteilung und der Nutzung von Frequenzen sind im 6. Abschnitt (§§ 51 - 60) des TKG 2003 enthalten. Internetdienste über WiMAX sind in Österreich derzeit flächendeckend wenig ausgeprägt und wenn, nur lokal verfügbar, was die breite Nutzbarkeit stark einschränkt. Wie schon im Kapitel 2.2.2 ausgeführt hat die Telekom Austria ihre ersteigerten Frequenzen im Jahr 2007 wieder zurückgegeben und der Provider UPC hat bis dato kein großes Interesse gezeigt seine Frequenzen zu nutzen.

8.3 Arbeitsrechtliche-, Sicherheitsvorschriften

Bei den gegenständlichen angeführten Methoden wird hauptsächlich mit hochfrequenten und optischen Methoden in Verbindung mit entsprechend dimensionierten Antennen/Abstrahlanlagen gearbeitet. Die Technologien lassen sich hinsichtlich der Gefahren wie folgt unterscheiden:

- a.) Hochfrequente nichtionisierende Übertragungsverfahren: Dabei stellen stark gebündelte hochfrequente Strahlung im Abstrahlbereich der Antennen, thermische und athermische Effekte potentielle Gefahren dar.
- b.) Optische Übertragungsverfahren: Kabelgebunden (Diverse Glasfaserverbindungen, kabellos (Optischer Richtfunk, Free Space Optics, FSO). Dabei stellen stark gebündelte LED/LASER Strahlung an Linsenöffnungen und optischen Kabelenden, Schädigung von Gewebe (insbesondere die Augen), Blue Light Hazard potentielle Gefahren dar.

Die Antennen bzw. Abstrahlanlagen befinden sich oftmals in exponierten Bereichen wie z.B. Antennenmasten und Plattformen weswegen Höhenarbeiten notwendig sein können. Als potentielle Gefahren gelten: Gefahr durch Absturz und herabfallende Teile, Hängetrauma bei Steigerarbeiten

8.3.1 Normen für hochfrequente Strahlung

In Hinblick auf nichtionisierende hochfrequente Strahlung gibt es in Österreich derzeit keine Verordnung zur Regelung des Schutzes von Personen in elektromagnetischen Feldern. Als geltende Regel der Technik ist die ÖNORM E 8850 für elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder im Bereich von 0 Hz bis 300 GHz heranzuziehen [49]. Diese Norm beinhaltet jene Grenzwerte die in der ICNIRP-Richtlinie (Richtlinie der Internationalen Kommission zum Schutz von nichtionisierender Strahlung, 1998) angegeben sind. Nichtthermische- oder Langzeiteinwirkungseffekte werden von dieser Norm nicht berücksichtigt. Seitens der Europäischen Union wurde 1999 eine Ratsempfehlung zur Begrenzung der Exposition der Allgemeinbevölkerung veröffentlicht [50], die im Wesentlichen die Grenzwerte der ICNIRP-Richtlinie [51] widerspiegelt. Es gibt weitere Empfehlungen

(sog. Vorsorgewerte) diverser Institutionen, die keine gesetzliche Verbindlichkeit haben und rein freiwillig vereinbart werden können, wie z.B. jene des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) der Schweizer Eidgenossenschaft [52]. Zum Schutz von Arbeitnehmern wird das ASchG (BGBl. Nr. 450/1994, [73]) mit den Abschnitten 2, 5 und 6 herangezogen. Diese Abschnitte regeln den Schutz des Lebens, der Gesundheit und der Sittlichkeit der Arbeitnehmer und weiters auch die Verhütung von beruflich bedingten Unfällen und Krankheiten, indem entsprechende Maßnahmen zu ergreifen sind. Es gibt weitere Regelungen in der Maschinen Sicherheitsverordnung (MSV, BGBl. Nr. 306/1994, [74]), Abschnitt 3 und in der Arbeitsmittelverordnung (AM-VO, [75]). Für die Kennzeichnung der exponierten Bereiche ist die Kennzeichenverordnung (KennV, [76]) heranzuziehen.

8.3.2 Normen für Laserstrahlung

Derzeit gibt es in Österreich kein eigenständiges Gesetz zum Schutz vor Laserstrahlen. Zum Schutz von Arbeitnehmern wird das ASchG (BGBl. Nr. 450/1994) mit den Abschnitten 2, 5 und 6 herangezogen. Diese Abschnitte regeln den Schutz des Lebens, der Gesundheit und der Sittlichkeit der Arbeitnehmer und weiters auch die Verhütung von beruflich bedingten Unfällen und Krankheiten, indem entsprechende Maßnahmen zu ergreifen sind. Es gibt weitere Regelungen in der Maschinen Sicherheitsverordnung (MSV, BGBl. Nr. 306/1994), Abschnitt 3 und in der Arbeitsmittelverordnung. Aufgrund mangelnder konkreter gesetzlicher Maßnahmen zum Schutz gegen Laserstrahlung in den angeführten Rechtsnormen wird die europäische Norm EN 60825 Teil 2 und Teil 12 [53, 54] herangezogen.

Grundsätzlich ist jedenfalls der Arbeitgeber für die Sicherheit von Lasergefahren verantwortlich, er kann sich jedoch in Teilbereichen seiner Verantwortung und Aufgaben eines Laserschutzbeauftragten bedienen. Die entsprechende Kontrolle der Schutzmaßnahmen obliegt gemäß Arbeitsinspektionsgesetz und Betriebsverfassungsgesetz primär der Arbeitsinspektion und in weiterer Folge dem Betriebsrat. Die persönliche Schutzausrüstung bei Gefährdung der Augen und des Gesichtes wird in § 66 ASchG genauer geregelt. Normativ ist die persönliche Schutzausrüstung bei Gefahren von Laserstrahlen weiters in den Normen EN207/1994 [55, 56] bzw. DIN 58215, Laserschutzfilter und Laserschutzbrillen [57]

und DIN 58219 Laserjustierbrillen [58] genauer ausgeführt. Für die Kennzeichnung der exponierten Bereiche ist die Kennzeichenverordnung (KennV) heranzuziehen.

Da bei den vorgestellten Technologien auch Arbeiten an höher gelegenen Stellen, wie z.B. für die Montage von Anlagen auf Dächern oder Antennenmasten, vorkommen können, ist für den Bedarfsfall hinsichtlich der persönlichen Schutzausrüstung (PSA) einerseits betreffend herabfallender Teile gemäß § 69 ASchG Schutz des Kopfes (Schutzhelm) und hinsichtlich der Höhenarbeiten gemäß § 72 ASchG auf Schutzausrüstung zur Sicherung gegen Absturz (Sicherheitsgürtel, Sicherheitsgeschirre, Sicherheitsseile, Höhensicherungsgeräte, Falldämpfer) abzustellen.

Bei den Absturzsystemen ist zwischen Haltesystemen gemäß EN 358/359 [80, 81] und Auffangsystemen gemäß EN 363 [82] zu unterscheiden. Ein Haltesystem besteht aus einem sicheren Anschlagpunkt (EN 795, [83]), einem Verbindungsmittel (EN 354) und einem Haltegurt (EN 358, [80]), ein Auffangsystem anstatt des Verbindungsmittels aus einem Auffanggurt (EN 361, [85]) und zusätzlich aus einem dämpfenden Element (EN 355, [86]).

Die entsprechenden Maßnahmen bei Absturzgefahr (insbesondere auch PSA) und die Absturzhöhen sind in der Bauarbeiterschutzverordnung (BauV, [78]) geregelt. Hinsichtlich der persönlichen Schutzausrüstung ist im Speziellen die PSA-Sicherheitsverordnung PSASV BGBl. Nr. 596/1994 idgF [79] heranzuziehen. Die entsprechenden Prüfpflichten für PSA können der Allgemeinen Arbeitnehmerschutzverordnung (AAV, [77]) §§ 72 und 90 entnommen werden.

8.3.3 Spezifische Aspekte

Im Folgenden wird auf die verwendeten Technologien näher eingegangen, jeweils die potentiellen Gefahren herausgearbeitet und entsprechende Ansätze und Lösungen für den sicheren Umgang dargestellt [62]. Im letzten Teil dieses Kapitels wird noch auf die bei beiden Technologien vorkommende Höhenarbeit eingegangen und die damit verbundenen entsprechenden Probleme dargestellt und zweckmäßige Lösungen präsentiert.

8.3.3.1 Systeme mit nichtionisierender hochfrequenter Strahlung

Für die dargestellten Methoden werden für die unterschiedlichsten

8. Rechtliche Rahmenbedingungen

Anwendungsbereiche Systeme mit Rundstrahl-, Richt- bzw. Sektorantennen und Parabolantennen verwendet (Abb. 8.2). Der größte Teil der elektromagnetischen Strahlung wird bei Richt- bzw. Sektorantennen und Parabolantennen üblicherweise in eine Richtung mit einer antennentypischen Abstrahlkeule abgestrahlt. Rundstrahlantennen geben die hochfrequente Strahlung kugelförmig in alle Richtungen ab.



Abb. 8.2: Beispielhafte Antennenanordnung am IBK der TU Graz

Im Folgenden wird eine typische 5 GHz WLAN Richtfunkantenne, wie sie in der gegenständlichen Forschungsarbeit verwendet wurde, mit der Montagesituation in Verbindung mit der Abstrahlcharakteristik dargestellt. Aus der Abstrahlcharakteristik ist die Hauptstrahlrichtung und damit die Richtung des Energieflusses klar erkennbar (Abb. 8.3, 8.4)



Abb. 8.3: Typische 5 GHz WLAN Richtfunkantenne und Montagesituation, Quelle: Fa. Wimo [91]

Radiation Patterns

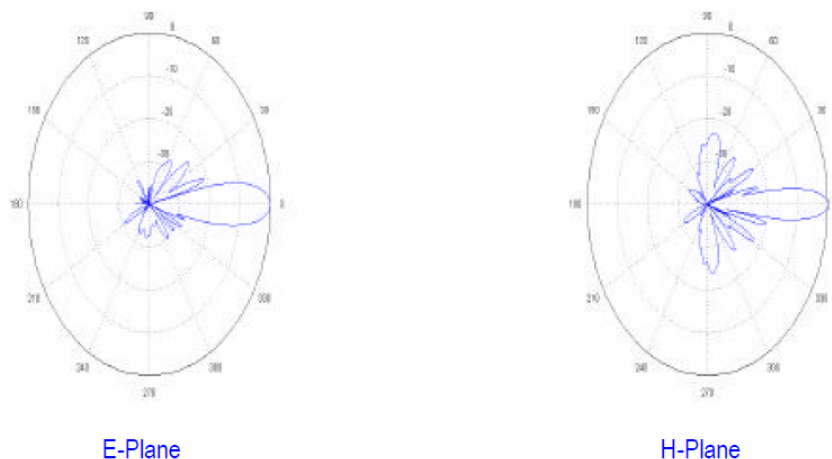


Abb. 8.4: Abstrahlcharakteristik der 5 GHz WLAN Richtfunkantenne, Quelle: Fa. Wimo [91]

Arbeitsrechtlich relevant in diesem Zusammenhang ist die Einwirkung von hochfrequenten Feldern auf biologische Materie. Es kann dabei prinzipiell zwischen thermischen und athermischen Effekten unterschieden werden.

Bei den thermischen Effekten ist die Erwärmung des Körpers eines Menschen im Wesentlichen durch elektrische Ströme, Umorientierungsbewegungen von elektrisch polaren Molekülen und Rotationsbewegungen von Molekülen durch Einwirkung von hochfrequenten Feldern begründet. Je nachdem, wo die Strahlung am Körper mit welcher Leistung auftrifft, können je nach Frequenzbereich verschiedene schädigende Wirkungen wie z.B. die Trübung der Augenlinse bedingt durch das mangelhafte Wärmeabgabeverhalten dieses Gewebes, Herzinfarkt bedingt durch Blutverdickung, Entstehung von Hitze Hotspots im Körper (Mikrowelleneffekt), Kreislaufversagen und Hitzetod bis hin zur Unfruchtbarkeit entstehen [59].

Athermische Wirkungen sind Effekte die, wie der Name schon sagt, sich nicht auf thermische Effekte rückführen lassen. Die Existenz dieser Effekte ist umstritten und ihre Wirkung wird meist als nicht relevant anerkannt. Es wird daher in diesem Zusammenhang auf die Ausführungen in [59] verwiesen.

In Hinblick auf die thermischen Effekte wurden zwei Maßeinheiten, einerseits für die absorbierte Menge der HF Strahlung pro Masseneinheit (spezifische Absorption, SA) als auch deren Verteilung im Körper pro Zeiteinheit (spezifische Absorptionsrate, SAR) definiert (8.1, 8.2).

$$SA = \frac{dW}{dm} \quad \text{spezifische Absorption [J/kg]} \quad (8.1)$$

$$SAR = \frac{d}{dt} \frac{dW}{dm} \quad \text{spezifische Absorptionsrate [W/kg]} \quad (8.2)$$

Mit diesen beiden Maßeinheiten wurde ein Grundstein für entsprechende Expositionsgrenzwerte und Auslösewerte gelegt.

Grundsätzlich wird zwischen der absorbierten Leistung im ganzen Körper (Ganzkörper SAR) und der absorbierten Leistung in einem räumlich begrenzten Bereich des Körpers, z.B. Auge, Kopf, Hände, (lokale SAR) unterschieden (vgl. Tab. 8.1).

Berufliche Exposition				
Norm	Frequenzbereich	Grenzwert	Mittelungsmasse	Anwendungsbereich
ICNIRP, ÖNORM E 8850	100kHz - 10GHz	10 g	10 W/kg	Kopf und Rumpf
			20 W/kg	Gliedmaßen
			0,4 W/kg	ganzer Körper ohne Ausnahmen
Allgemeinbevölkerung				
Norm	Frequenzbereich	Grenzwert	Mittelungsmasse	Anwendungsbereich
ICNIRP, ÖNORM E 8850	100kHz - 10GHz	10 g	2 W/kg	Kopf und Rumpf
			4 W/kg	Gliedmaßen
			0,08 W/kg	ganzer Körper ohne Ausnahmen

Tab.8.1: SAR Grenzwerte gemäß ICNIRP bzw. nach ÖNORM E 8850 (gemittelt über 10g Körpermasse)

Wie bereits erwähnt, gibt es in Österreich derzeit keine gesetzlichen Regelungen zum Schutz von Personen in elektromagnetischen Feldern. In Hinblick auf die §§ 60 und 61 ASchG sind allerdings entsprechende Vorkehrungen für die Sicherheit der Arbeitnehmer zu treffen, die sich in Ermangelung konkreterer Regelungen an die Grenzwerte der ICNIRP bzw. ÖNORM E 8850 anlehnen sollen. Generell ist auf mögliche Gefahren für Träger von Herzschrittmachern hinzuweisen.

Grundsätzlich sollte der Zugang zu den Sendeantennen versperrt sein und nur für befugte und unterwiesene Personen möglich sein. Der Abstrahlbereich ist gem. KennV als Gefahrenbereich zu kennzeichnen (Abb. 8.5).



Warnung vor nichtionisierender Strahlung



Zutritt für Unbefugte verboten

Abb. 8.5: Entsprechende Warn- und Verbotsschilder gemäß KennV [76]

Der Arbeitsplatz ist für alle Betriebsarten als Gesamtes zu evaluieren, eine Trennung in Gefahren, die beim Errichten und bei der Wartung im Nichtbetrieb bzw. beim Betrieb auftreten können, ist dementsprechend durchzuführen. Die SAR Werte sind durch Messen bzw. durch entsprechende Berechnung festzustellen.

Bei den gegenständlichen Sendeanlagen gibt es üblicherweise Wartungs- und Justierarbeiten. Um die Expositionsdauer generell zu minimieren, sollte die Sendeanlage wenn möglich vor diesen Arbeiten außer Betrieb genommen werden. Oftmals ist die Justage aus technischen Gründen allerdings nur im Betrieb möglich, dies bedingt jedenfalls das Heranziehen jenes Teiles der Evaluierung, der auf die Wartung abzielt. Die Evaluierung stellt sicher, dass die SAR Werte für den Arbeitnehmer unterschritten werden. Im Fall des Überschreitens ist das Arbeiten nur im ausgeschalteten Zustand gestattet. Jedenfalls sind die entsprechenden Arbeitnehmer über die Gefahren und in der sicheren Durchführung der Arbeit gemäß ASchG und AM-VO zu unterweisen.

8.3.3.2 Optische Systeme - Lichtwellenleiter (LWL)

Die in dieser Arbeit beschriebenen Lichtwellenleiter dienen der Übertragung von entsprechenden Informationen von und zu informationstechnisch genutzten Geräten. Die Verbindung zwischen zwei Geräten wird üblicherweise als Übertragungsstrecke bezeichnet.

Prinzipiell besteht eine Übertragungsstrecke aus einem optischen Sender, einem Glasfaserkabel und einem optischen Empfänger.

Der optische Sender ist typischerweise eine modulierte LED- bzw. Laserdiode oder VCSEL die je nach Anwendungszweck und Glasfasertyp eine geeignete Wellenlänge in den Lichtwellenleiter einkoppelt. Ein Glasfaserkabel besteht üblicherweise aus einem Belag (Coating), der Hülle (Cladding) und dem Kern (Core), Abb. 8.6.

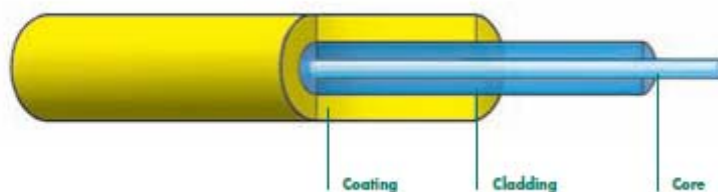


Abb. 8.6: Aufbau eines Lichtwellenleiters, Quelle: Produktkatalog Fa. Dätwyler Cables GmbH [89]

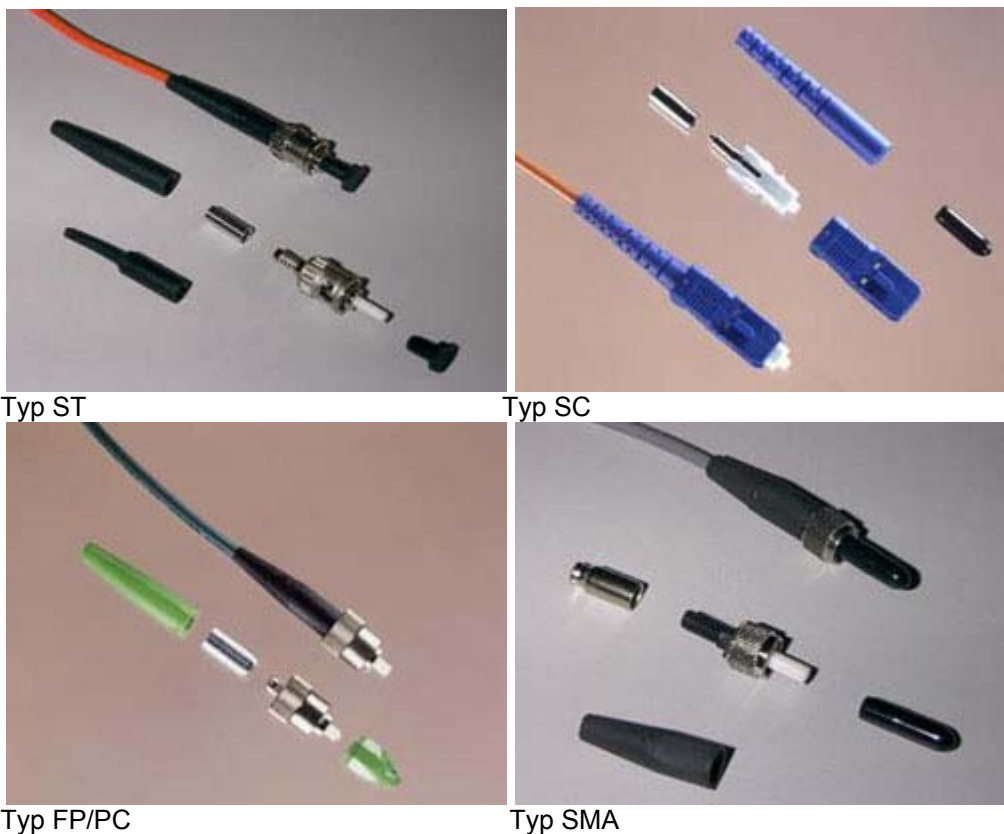
8. Rechtliche Rahmenbedingungen

Die Hülle weist einen Außendurchmesser von typischerweise 125 μm auf. Zum mechanischen Schutz der Glasfasern wird um die Hülle herum noch ein Belag aufgebracht, der einen Durchmesser von 250 μm aufweist. LWL Leiter werden je nach Verwendungszweck als Einzel-, Duplex- oder Mehrfachkabel hergestellt (Abb. 8.7).



Abb. 8.7: Typische Ausführungen von LWL Kabeln, Duplex und Breakoutkabel, Quelle: Fa Huber+Sühner [90]

Die Signalübertragung in Lichtwellenleitern erfolgt durch Reflexion im Faserkern. Je nach Verwendungszweck (Multimode, Monomode) unterscheidet man üblicherweise zwischen einem Faserkern im Gradientenindexprofil (Kerndurchmesser von 62,5 oder 50 μm) und einem Faserkern der im Stufenindexprofil (Kerndurchmesser von 9 μm) ausgeführt ist.



Typ ST

Typ SC

Typ FP/PC

Typ SMA

Abb. 8.9: Verbindungsstecker für LWL, Quelle: Produktkatalog Fa. Ficonet [92]

Bei Multimodefasern, die oftmals bei Gigabit Local Area Netzwerken (LAN) eingesetzt werden, kommen meistens VCSEL's als optische Sender zum Einsatz, die typischerweise bei einer Wellenlänge von 850 nm arbeiten. Die bisher gebräuchlichsten Singlemode-Fasern sind für den Einsatz bei $\lambda=1310$ nm oder $\lambda=1550$ nm hergestellt und werden üblicherweise mit Laserdioden/LED's betrieben. Um zwei Lichtwellenleiter zu verbinden werden üblicherweise zwei Technologien verwendet, nämlich die permanente Spleissverbindung durch Verschweißen der planen Faserenden und das temporäre Verbinden mittels standardisierter Steckverbindungen (z.B. ST, SC, FP/PC, SM, Abb. 8.9). Die Steckverbindungen können zum Verteilen von Signalen entweder selbst an Fasern angebracht werden, oder als sogenannte Patchkabel in spezifischen Längen (typischerweise 0,5 m, 1 m, 2 m, 5 m, 20 m) fertig konfiguriert erworben werden. Letztere sind bei den gegenständlichen Projekten eingesetzt worden. Als optische Empfänger werden bei Lichtwellenleiterübertragungssystemen sogenannte PIN- oder Avalanche Dioden verwendet, die die einfallende modulierte Strahlung in verwertbare elektrische Signale umwandeln. Für die Datenübertragung werden üblicherweise sogenannte Medienkonverter (Schnittstelle zwischen elektrischem und optischem Medium, Abb. 8.10) bzw. sogenannte Transceivermodule (z.B. GBICs, Abb. 8.12) in Ethernetswitches verwendet.



Abb. 8.10: Datenblattauszug der Firma Allied Telesis, Beispielhafte Ansicht von Medienkonvertern [93]

Port Type (Connector)	Cable Distance	Optical Frequency	Launch Power (dBm)			Receive Power (dBm)		
			Max.	Avg.	Min.	Min. Sensitivity	Typical Sensitivity	Saturation
100FX MMF (2km)	2km	1310nm	-14.0	-16.8	-19.0	-31.8	-34.5	-14.0
100FX SMF (15km)	15km	1310nm	-8.0	-11.5	-15.0	-31.0	-31.0	-8.0
100FX SMF (40km)	40km	1310nm	0.0	-3.0	-5.0	-35.0	-38.0	0.0

Abb. 8.11: Datenblattauszug der Firma Allied Telesyn, Sendeleistungen von Medienkonvertern [93]

8. Rechtliche Rahmenbedingungen



Abb. 8.12: Datenblattauszug der Firma Cisco Systems, Beispielhafte Ansicht von 1GB Transceivern [3]

GBIC	Wavelength (nm)	Fiber Type	Core Size (Micron)	Modal Bandwidth (MHz/km)	Cable Distance
Cisco 1000BASE-SX	850	MMF	62.5	160	722 ft (220 m)
			62.5	200	902 ft (275 m)
			50.0	400	1640 ft (500 m)
			50.0	500	1804 ft (550 m)
Cisco 1000BASE-LX/LH	1310	MMF*	62.5	500	1804 ft (550 m)
			50.0	400	1804 ft (550 m)
			50.0	500	1804 ft (550 m)
		SMF	9/10	N/A	6.2 miles (10 km)
Cisco 1000BASE-ZX	1550	SMF	9/10	N/A	43.4 to 62 miles (70 to 100 km)**

Abb. 8.13: Datenblattauszug der Firma Cisco Systems, Darstellung der Wellenlängenbereiche [3]

Device	Type	Transmit (dBm)		Receive (dBm)	
		Max	Min	Max	Min
WS-G5484	1000BASE-SX	-3	-9.5	0	-17
WS-G5486	1000BASE-LX/LH	-3	-9.5	-3	-19
WS-G5487	1000BASE-ZX	5	0	-3	-23*

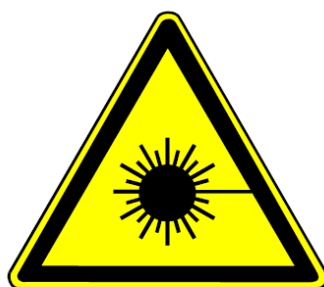
Abb. 8.14: Datenblattauszug der Firma Cisco Systems, Darstellung von Sendeleistungen für Transceiver [3]

Die Wellenlänge der Laser/LED Strahlung der gegenständlichen Geräte liegt wie bereits erwähnt im Infrarotbereich bei $\lambda=850$ nm, $\lambda=1310$ nm bzw. $\lambda=1550$ nm und ist unsichtbar. Je nach Leistung und Einwirkdauer im Gewebe können thermische, photochemische und nichtlineare gesundheitsschädliche Effekte auftreten. In den gegenständlichen IR Wellenlängenbereichen wird die Strahlung in der Horn- und Bindehaut bzw. der Netzhaut absorbiert und es können je nach Leistung bzw. Einwirkdauer leichte bis schwerste Schädigungen auftreten [60].

Der Arbeitsplatz ist jedenfalls als Gesamtes für alle Betriebsarten zu evaluieren, eine Trennung in Gefahren, die beim Errichten und bei der Wartung im Nichtbetrieb bzw. beim Betrieb auftreten können ist dementsprechend durchzuführen. Idealerweise sollten entsprechende Arbeiten im ausgeschalteten Zustand stattfinden, um das

Risiko einer Gesundheitsschädigung durch Laserstrahlung auszuschließen. Oftmals ist das Arbeiten an den Geräten aus technischen Gründen allerdings nur im Betrieb möglich, dies bedingt jedenfalls das Heranziehen jenes Teiles der Evaluierung der auf die Wartung im Betrieb des gegenständlichen Arbeitsplatzes abzielt. In Hinblick auf die verwendeten Geräte ist daher vor Inbetriebnahme die entsprechende Leistung bzw. Laserklasse aus dem Handbuch/Datenblatt zu entnehmen bzw. vom Aufdruck am entsprechenden Gerät abzulesen. Die Evaluierung stellt sicher, dass die Strahlungswerte für den Arbeitnehmer unterschritten werden. Im Fall des Überschreitens ist das Arbeiten nur mit normgerechten Schutzbrillen gestattet. Die Schutzbrillen sind entsprechend der verwendeten Wellenlänge, ersichtlich aus dem Datenblatt des Herstellers, auszuwählen (vgl. z.B. die Datenblattauszüge mit Wellenlängen und Sendeleistung Abb. 8.11, 8.13, 8.14) und sind mit passender Schutzstufe und entsprechend der Betriebsart des Lasers vom Arbeitgeber zur Verfügung zu stellen.

Jedenfalls sind die entsprechenden Arbeitnehmer über die Gefahren und in der sicheren Durchführung der Arbeit gemäß ASchG und AM-VO zu unterweisen. Der Abstrahlbereich bzw. die Geräte sind gem. KennV als Gefahrenbereich zu kennzeichnen (Abb. 8.15). Generell sollte der direkte Blick in ein Kabelende bzw. eine Anschlussbuchse vermieden werden. Gemäß EN 60825 ist ab der Laserklasse 3B und 4 ein Laserschutzbeauftragter und ein entsprechender Stellvertreter seitens des Arbeitgebers zu bestellen.



Warnung vor Laserstrahl

Abb. 8.15: Entsprechendes Warnzeichen gemäß KennV [76]

8.3.3.3 Optische Freiraumübertragungssysteme (FSO, Free Space Optics)

Ein optisches Freiraumübertragungssystem (FSO, Abb. 8.16) ist wie schon in Kapitel 2.2.3 beschrieben, eine flexible Breitbandtechnologie (hohe Datenraten ohne Verkabelung) für den mobilen Zugang zu Backbone-Netzen. Diese Technologie arbeitet zur Datenübertragung mit stark gebündelten LED- bzw. Laserstrahlen



Abb. 8.16: Montagesituationen von FSO Systemen

Aus Sicherheitsgründen ist die Ausgangsleistung gemäß den standardisierten Laserklassen mit Klasse 1M beschränkt und die Positionen der beiden OSE's müssen sorgfältig gewählt und justiert werden, um mögliche Gesundheitsschäden durch optische Instrumente zu vermeiden.

Der Arbeitsplatz ist jedenfalls als Gesamtes für alle Betriebsarten zu evaluieren, eine Trennung in Gefahren die beim Errichten und bei der Wartung im Nichtbetrieb bzw. beim Betrieb auftreten können ist dementsprechend durchzuführen (Abb. 8.16). Oftmals ist die Justage an den Geräten aus technischen Gründen allerdings nur im Betrieb möglich. Dies bedingt zusätzlich jedenfalls das Heranziehen jenes Teiles der Evaluierung des gegenständlichen Arbeitsplatzes, der sich mit dem Betrieb beschäftigt, da in den Geräten auch Linsensysteme zur Bündelung des Strahles und Fernrohre zur Justage installiert sind. Die Evaluierung stellt sicher, dass die Strahlungswerte für den Arbeitnehmer unterschritten werden. Im Fall des Überschreitens ist das Arbeiten nur im ausgeschalteten Zustand bzw. mit einer vom Arbeitgeber zur Verfügung zu stellenden Schutzbrille mit entsprechender Schutzstufe, Wellenlänge und für die Betriebsart des Lasers geeignet gestattet.

Wie bereits in der Einleitung dieses Punktes angeführt, kommen derzeit lediglich Laserklassen bis zur Klasse 1M zum Einsatz. Diese Klasse ist auch bei direktem längeren Blick des freien Auges in den Strahl sicher, nicht sicher ist die Bestrahlung von optischen Hilfsmitteln wie z.B. dem Zielfernrohr zur mechanischen Justage oder Bündelung mit Linsen. Letztere optische Hilfsmittel kommen in den gegenständlich

verwendeten FSO Geräten vor, was eine entsprechende Evaluierung der Systeme notwendig macht. Die Festlegung der entsprechend geeigneten Schutzbrille ist in allen Fällen im Rahmen der entsprechenden Evaluierung durchzuführen.

Zurzeit werden auch FSO Systeme mit blauen LED's getestet. Hinsichtlich dieser blauen LED's ist darauf hinzuweisen, dass diese Lichtquellen Anteile von Ultraviolett (UV) Strahlung beinhalten und die fotochemische Schädigung durch Blaulicht (Blue Light Hazard) bei längeren direktem Blicken in den Strahl ab 1 mW zu Schädigungen der Netzhaut führen kann (Photoretinitis). Die höchste Schädigungswirkung hat die Strahlung mit einer Wellenlänge von 440 nm. Diese Schädigungen werden typischerweise erst mit einer Verzögerung von 4 bis 48 Stunden nach der Exposition bemerkt, sind irreversibel und können bis zur Erblindung führen [60]. Die entsprechenden Systeme müssen daher so installiert werden, sodass ein längeres direktes Hineinblicken in den Strahl nicht möglich ist.

Jedenfalls sind die entsprechenden Arbeitnehmer über die Gefahren und in der sicheren Durchführung der Arbeit zu unterweisen. Generell sollte der direkte Blick in den Strahl bei allen Systemen vermieden werden. Der Abstrahlbereich ist gem. KennV als Gefahrenbereich zu kennzeichnen und Unbefugten ist der Zutritt mit einem entsprechenden Verbotsschild zu untersagen (Abb. 8.17). Gemäß EN 60825 ist ab der Laserklasse 3B und 4 ein Laserschutzbeauftragter und ein entsprechender Stellvertreter seitens des Arbeitgebers zu bestellen.



Warnung vor Laserstrahl



Zutritt für Unbefugte verboten

Abb. 8.17: Entsprechende Warn- und Verbotsschilder gemäß KennV [76]

8.3.3.4 Höhenarbeiten

Wenn bei den beschriebenen Arbeiten unter anderem auch Arbeiten an exponierten Stellen bzw. erhöhten Standorten wie z.B. Masten und Plattformen durchgeführt werden, so sind gemäß Bauarbeiterschutzverordnung (BauV) ab 2 m Absturzhöhe

Maßnahmen zur Sicherung gegen Absturz durchzuführen. Gemäß § 7 BauV sind bei Absturzgefahr entsprechende Absturzsicherungen anzubringen. Wenn kein Schutz durch technische oder organisatorische Maßnahmen möglich ist, ist auf die PSA iSd § 22 BauV abzustellen. Dies ist insbesondere die normgerechte persönliche Schutzausrüstung gegen Stürze aus Höhe (Sicherheitsgürtel, Sicherheitsgeschirre, Sicherheitssteile, Höhensicherungsgeräte, Falldämpfer) und an der Anlage entsprechend angebrachte Anschlagpunkte. Je nach Tätigkeit ist nach entsprechender Evaluierung entweder auf Haltesysteme bzw. auf Auffangsysteme abzustellen. Die normgerechte Schutzausrüstung muß gemäß § 72 ASchG vom Arbeitgeber zur Verfügung gestellt werden.

Im Zusammenhang mit den entsprechenden Höhensicherungssystemen sind die Arbeitnehmer auf die Gefahr des Hängetraumas und der damit unter Umständen verbundene Todesgefahr hinzuweisen. Vor allem sind die Arbeitnehmer in Hinblick auf die Maßnahmen vor der Bergung (Betätigung allfällig vorhandener Tretschnüre bei der PSA, Muskelpumpe in den Beinen) und bei der Bergung (Verunfallten nicht sofort hinlegen, sondern aufrecht sitzen lassen, Gefahr der Herzüberlastung) zu unterweisen.

In Hinblick auf mögliche herabfallende Werkzeuge und Teile und der Eintrittswahrscheinlichkeit, dass daraus tödliche oder ernste irreversible Gesundheitsschäden entstehen können, muß gemäß § 69 ASchG ein entsprechender Schutzhelm getragen werden.

Die persönliche Schutzausrüstung ist gemäß § 69 Abs 2 ASchG vom Arbeitgeber auf seine Kosten dann zur Verfügung zu stellen, wenn die Gefahren nicht durch arbeitsorganisatorische Maßnahmen vermieden werden können.

Die Arbeitnehmer sind im Umgang mit der PSA zu unterweisen und speziell auch auf die Gefahren durch ein Hängetrauma hinzuweisen.

Es wird gemäß § 90 AAV wird noch darauf hingewiesen, dass die persönliche Schutzausrüstung zumindest einmal pro Jahr und nach langem Einsatz bzw. Nichteinsatz zu überprüfen ist.

Beim Verwenden von Leitern sollte insbesondere der äußere Gesamtzustand der Leiter und die standsichere Aufstellung überprüft werden.

8.4 Rechtliche Aspekte bei FSO-Systemen

In der Praxis werden FSO Verbindungen über verschiedene Liegenschaften gerichtet, weswegen dieser Aspekt nunmehr einer genaueren juristischen Betrachtung zugeführt wird. Gemäß § 297 ABGB idgF [70] gehören zu den unbeweglichen Sachen unter anderem auch Häuser und Gebäude mit dem in senkrechter Linie darüber befindlichen Luftraum. Über den Luftraum über einem Grundstück kann der Eigentümer somit frei verfügen. Theoretisch reicht der Luftraum eines privaten Grundstückes somit unendlich in die Höhe. Die Verfügungsgewalt des Eigentümers ist in Österreich allerdings durch das Luftfahrtgesetz eingeschränkt, damit Überflüge über Privatgrundstücke seitens Privatpersonen nicht verboten werden können. Luftfahrzeuge haben allerdings aber die entsprechend vorgeschriebenen Mindestflughöhen einzuhalten. Entsprechend Rummels Kommentar zum ABGB § 354 Rz 4 erstreckt sich das Grundeigentum auf alles Brauchbare, dass die Erde hervorbringt (§ 295 ABGB), den Raum über der Grundfläche bis zur Grenze der objektiven Möglichkeit der Einwirkung und in die erreichbare Tiefe [61].

Gemäß § 504 ABGB idgF ist eine Servitut des Gebrauches, dass jemand befugt ist eine fremde Sache ohne Verletzung der Substanz bloß zu seinen Bedürfnissen zu benützen. In Hinblick auf die vorangegangenen Ausführungen beeinträchtigt Laserstrahlung, die über ein privates Grundstück geleitet wird somit grundsätzlich das Eigentum durch Benutzung des Luftraumes. Als entsprechender Rechtsbehelf kommt die Besitzstörungsklage mit einer Verjährungsfrist von 30 Tagen ab Kenntnisnahme zum Tragen. Diese Klage richtet sich auf Feststellung der Störung des Besitzes, Wiederherstellung des letzten ruhigen Besitzstandes und Untersagung weiterer Störungen (§ 339 ABGB und § 454 ZPO [71], jeweils idgF). Als weiterer Rechtsschutz steht die *actio negatoria* (Eigentumsfreiheitsklage, § 523 ABGB idgF) zur Verfügung. Die *actio negatoria* ist auf Unterlassung aller Arten von Störungen und auch auf Beseitigung bzw. Wiederherstellung des störungsfreien Zustandes gerichtet.

Gemäß § 1453 ABGB kann jeder, der sonst zu erwerben fähig ist, auch ein Eigentum oder andere (dingliche) Rechte durch Ersitzung erwerben. Die Ersitzung führt zum Eigentumserwerb oder auch zum Erwerb beschränkter dinglicher Rechte. Man spricht hierbei vom Ersitzungsbesitzer.

Die Ersitzungszeit beginnt mit Besitzerwerb, die Ersitzungszeit beginnt grundsätzlich mit dem ersten Ausübungsakt, durch den der Rechtsbesitz erworben wird, zu laufen (Schubert in Rummel II 1213, [61]). Der Ersitzungsbesitzer ist während seiner Ersitzungszeit Rechtsbesitzer, weil er sich zur Besitzausübung berechtigt glaubt, da er (vermeintlich) ein Recht als das seine ausübt. Es wird grundsätzlich zwischen kurzer und langer Ersitzungsfrist unterschieden. Bewegliche Sachen haben eine kurze Ersitzungsfrist von 3 Jahren, unbewegliche Sachen eine lange Ersitzungsfrist von 30 bzw. 40 Jahren (Ersitzung von Sachen/Rechten des Fiskus bzw. der Kirche, vgl. § 1472 ABGB).

Die Beweislast des Ersitzungsbesitzers ist für die kurze und lange Ersitzung verschieden. Bei der langen Frist ist im Vergleich zur kurzen Frist, wo auch die Rechtmäßigkeit nachgewiesen werden muss (Titel), nur der Beginn und das Ende zu beweisen.

Nach § 1460, 2. Halbsatz ABGB muss der Besitz „durch die ganze von dem Gesetze bestimmte Zeit fortgesetzt“ werden. Gemäß § 1454 ABGB kann die Ersitzung gegen alle Privatpersonen, welche ihre Rechte selbst auszuüben fähig sind, stattfinden.

In Hinblick auf die vorangenannten Punkte ist eine Ersitzung der Servitut für die Durchführung eines Laserstrahles über eine Liegenschaft jedenfalls rechtlich gedeckt, wenn der Stahl über 30 Jahre ununterbrochen gutgläubig über die Liegenschaft geführt worden ist und muss zudem vom Ersitzungsberechtigten bewiesen werden.

Um allfälligen Rechtsstreitigkeiten aufgrund einer möglichen Klage aus dem Weg zu gehen, ist es aus streng juristischer Sicht notwendig, für eine Laserverbindung über eine oder mehrere Liegenschaften eine Servitut mit dem jeweiligen Eigentümer auszuhandeln. Problematisch für den Kläger ist in jedem Fall sicherlich der Beweis in Form eines Nachweises von tatsächlicher Laserstrahlung über einer spezifischen Liegenschaft bzw. der Nachweis einer (schädlichen) Störung durch Laserstrahlung.

Tatsächlich wird dieser Beweis in der Praxis allerdings schwierig zu erbringen sein, da die verwendete Laserstrahlung typischerweise im für das menschliche Auge unsichtbaren infraroten Wellenlängenbereich liegt, sich üblicherweise einige Meter über dem Boden befindet und zudem sehr stark gebündelt ist. Demnach kann die Strahlung ohne spezielle Gerätschaften schwer detektiert werden. In Hinblick auf die letztgenannten Fakten wird man dem Risiko eines möglichen Rechtsmittels eines Eigentümers aber wohl eher gelassen entgegensehen können.

9. Schlußfolgerungen

Wie sich in den vorangegangenen Ausführungen gezeigt hat, können verschiedene multimediale Technologien, wie z.B. IPTV, VoIP und grundlegende Internetdienste wie z.B. Email und http gemeinsam über hybride funktechnische und kabelgebundene Netzwerke geführt werden.

Es hat sich erwartungsgemäß gezeigt, dass die größte Bandbreite und auch die größte Skalierbarkeit von entsprechend breitbandigen Diensten mit optischen Methoden möglich ist.

Als zuverlässigste und zukunftssicherste Technologie erscheint die Anbindung von Immobilien mittels Glasfaser bis in die Wohnungseinheiten. Es gibt derzeit starke Bestrebungen Immobilien in vielen Städten und Gemeinden an Glasfaserleitungen anzuschließen, allerdings stellt sich in der Praxis oftmals die Kostenfrage bzw. wann sich die entsprechenden Kosten amortisieren. Teilweise werden die Glasfaseranschlüsse bis vor den Eingang von Immobilien verlegt und die „Last Mile“ mit alternativen Technologien wie z.B. Kupferzweidrahtleitungen oder mittels funkbasierenden Methoden bewerkstelligt. Diese Schritte können eine erste Maßnahme sein, um einen drohenden Flaschenhals, wie in der Einleitung dieser Arbeit gezeigt, abzuwenden.

Neben der Glasfaser sind optische Freiraumübertragungssysteme eine der interessantesten zukünftigen Technologien. Sie kommen ohne Grabungsarbeiten aus und es ist gegebenenfalls lediglich eine entsprechende Servitut über die durchstrahlten Liegenschaften auszubedingen.

Die bereits vorangegangenen Studien und Arbeiten betreffend FSO Systemen haben gezeigt, dass bei nebfreiem Wetter eine außerordentlich hohe Verfügbarkeit von Datendiensten möglich ist, lediglich bei nebeligen Wetter ist mit Ausfällen zu rechnen und ein hybrides Funksystem ist bei kritischen Anwendungen zu installieren, um diesen Nachteil zu kompensieren. In Hinblick auf dieses Verhalten gibt es am Institut für Breitbandkommunikation der Technischen Universität Graz derzeit starke Bestrebungen genau diese Probleme auszuräumen und mittels einer neuen Generation von FSO Systemen mit einer Wellenlänge von 10 μm diese Einschränkungen zu minimieren. Aus einigen Publikationen ist bekannt, dass der Wellenlängenbereich von 10 μm eine sehr geringe Dämpfung bei Nebelaufkommen darstellt. Dieser Umstand wurde in Kapitel 7 einer genaueren Beleuchtung unterzogen und es zeigt sich, dass dieser Wellenlängenbereich einen

zukunftsträchtigen Forschungs- und Anwendungsbereich darstellen wird, wenn entsprechend kostengünstige Komponenten am Markt vorhanden sind.

In der Arbeit wurde auch gezeigt, dass es gerade in ländlichen Gebieten oftmals keinen Zugang zu entsprechend breitbandigen Internetdiensten gibt. Die Versuche mit dem DVB-T Testsender in Verbindung mit WLAN und FSO Systemen haben außerordentlich eindrucksvoll ergeben, dass mit diesen Technologien auch in unterversorgten Regionen eine durchaus solide Anbindung von Haushalten an das Internet und an Telefoniedienstleistungen möglich ist.

Letztlich bleibt noch der Punkt der Inhouseverkabelungen, wobei in dieser Arbeit interessante optische und kupfergebundene Techniken für die verschiedensten Anwendungsbereiche herausgearbeitet wurden. Eine der interessantesten zukünftigen Entwicklungen auf diesem Sektor dürften aber die Anbindungen von Immobilieneinheiten mittels Passiv Optischen Netzwerken (PON) in Verbindung mit Polymeroptischen Fasern (PON) im Innenbereich sein.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass in Zukunft viele neuen Applikationen, wie z.B. intelligente Stromnetze (Smart Grids), intelligente Energiemesser (Smart Metering), internetbasierende multimediale Dienste, sicherheitsbezogene Videodienste und viele weitere heute noch unbekannte Anwendungen die Notwendigkeit der breitbandigen Anbindung von Immobilien an Netzwerke notwendig machen werden. Nicht überall werden diese Dienste so selbstverständlich benutzt werden können, wie im urbanen Bereich. Diese Arbeit bietet sowohl den urbanen, als auch jenen Benutzern, die sich in peripheren Bereichen aufhalten, innovative Lösungsmöglichkeiten für den breitbandigen Netzwerkzugang und errichtet mit diesen Ansätzen ein Fundament für weitere zukunftsträchtige Forschungsgebiete.

Referenzen

- [1] http://newsroom.cisco.com/dlls/2006/prod_022106b.html, zuletzt besucht am 23.07.2010
- [2] Energiestatus Österreich 2010, Bundesministerium für Wirtschaft Familie und Jugend
- [3] www.cisco.com, Webseite Firma Cisco Systems, zuletzt besucht am 23.07.2010
- [4] <http://www.cablelabs.com/cablemodem/specifications>, zuletzt besucht am 23.07.2010
- [5] Herter, E., *Nachrichtentechnik, Übertragung, Vermittlung, Verarbeitung*, Hanser Verlag, 9. Auflage, 2003
- [6] <http://www.internode.on.net/>, zuletzt besucht am 23.07.2010
- [7] Schneier, B., *Angewandte Kryptographie - Der Klassiker. Protokolle, Algorithmen und Sourcecode in C*, Pearson 2006
- [8] **Mandl, P.**, Schrotter, P., Leitgeb, E., *Wireless synchronous broadband last mile access solutions for multimedia applications in license free frequency spectrums*, CSNDSP 08 (July 23rd to 25th 2008), Graz, Austria
- [9] **Mandl P.**, Schrotter P., Kogler W., Leitgeb E., *Wireless Symmetric Broadband Last Mile Access Solutions for Multimedia Applications in License Free Frequency Bands*, The Mediterranean Journal of Electronics and Communications special issue on optical wireless 2009 (06/09)
- [10] Kumar, A., *Mobile Broadcasting with WiMAX, Principles, Technology and Applications*, Focal Press, Elsevier, 2008
- [11] Leitgeb E., Gebhart M., Fasser P., 2000, *Reliability of Free Space Laser Communications – Investigations at the TU Graz*, 8th WCA Technical Symposium
- [12] Leitgeb E., Bregenzer J., Fasser P., Gebhart M, 2002, *Free Space Optics - Extension to Fiber-Networks for the "Last Mile"*, LEOS 2002
- [13] Leitgeb E., Bregenzer J., Gebhart M., Fasser P., Merdonig A., 2003, *Free Space Optics – Broadband Wireless Supplement to Fiber-Networks*, LASE 2003
- [14] Leitgeb E., Gebhart M., Birnbacher U., Muhammad S. Sheikh, Chlestil Ch., 2004, *Applications of Free Space Optics for Broadband Access*, OPNETEC 2004

- [15] Gebhart M., Schrotter P., Birnbacher U., Leitgeb E., 2004, *Worldwide broadband wireless access independent of terrestrial infrastructure*, MELECON 2004
- [16] Leitgeb E., Gebhart M., Birnbacher U., Schrotter P., Merdonig. A., Truppe A., 2004, *Hybrid Wireless Networks for Civil-Military-Cooperation (CIMIC) and Disaster Management*, (SPIE 2004)
- [17] Leitgeb E., Gebhart M., Birnbacher U., *Optical networks, last mile access and applications*, *Journal of Optical and Fiber Communication Reports*, 2005, Rep 2, p 56 - 85
- [18] ÖVE/ÖNORM EN65825-2 Sicherheit von Lasereinrichtungen – Teil 12: Sicherheit von optischen Freiraumkommunikationssystemen für die Informationsübertragung (IEC 60825-12:2004)
- [19] Epple B., Henninger H., *Discussion on Design Aspects for free-Space Optical Communication Terminals*, IEEE Communications Magazine, October 2007, p 62-68
- [20] Flecker B., Gebhart G., Leitgeb E., Sheikh Muhammad S., Chlestil C., *Results of attenuation-measurements for Optical Wireless Channel under dense fog conditions regarding different wavelengths*, *Proc. SPIE Vol. 6303* (2006)
- [21] Nadeem F., Flecker B., Leitgeb E., Khan M.S., Awan M.S., Javornik T., *Comparing the fog effects on hybrid network using optical wireless and GHz links*, CNSDSP 2008, 6th International Symposium on Networks and Digital Signal Processing, 2008, p 278 - 282
- [22] Reimers U., *DVB - Digitale Fernsehtechnik - Datenkompression und Übertragung*, 3. Auflage, Springer, 2008
- [23] Fairhurst G., Collini-Nocker B., *Extension Formats for Unidirectional Lightweight Encapsulation (ULE) and the Generic Stream Encapsulation (GSE)*, IETF Proposed Standard, RFC 5163, April 2008, <http://tools.ietf.org/html/rfc5163>
- [24] **Mandl P.**, Schrotter P., Leitgeb E., *Optical, Wired and Wireless Multimedia Service Access Solutions for trend Setting Real Estates*, pp. 64 – 71, Vol. 4 / 2008, Communications - Scientific Letter of the University of Zilina, Slovakia
- [25] Herrick C., *Telecommunications Wiring*, Third Edition, Prentice Hall PTR, 2001
- [26] Hodgin R., *Cat-7 copper theorized to transmit 100Gbit/s in exec of 100 meters using future modem*, TG Daily
- [27] Siemens Surpass Broadband Access Solutions, Nokia Siemens Networks
- [28] Ziemann O., Krauser J., Zamzow P., Daum W., *POF-Handbuch*, 2. bearbeitete und ergänzte Auflage, Springer Verlag, 2007

- [29] Lüders, C., *Lokale Funknetze*, 1. Auflage, Vogel Buchverlag, 2007
- [30] <http://www.gm1.tv>, zuletzt besucht am 23.07.2010
- [31] RFC's: <http://www.ietf.org/rfc.htm>
- [32] **Mandl P.**, Chlestil Ch., Zettl K., Leitgeb E., *Hybrid systems using Optical Wireless, Fiber Optics and WLAN for temporary multimedia applications*, Beitrag und Präsentation zur 9th International Conference on Telecommunications (ConTel 2007, IEEE-Konferenz), pp. 73 - 76, 13. - 15. Juni 2007, Zagreb, Croatia
- [33] Gebhart M., Muhammad S. S., Leitgeb E., Brandstatter E., Chlestil Ch., *Optical Wireless and RF WLAN links for Ethernet networking applications*, 2006, The Mediterranean Journal of Electronics and Communications, Vol. 2, No.3
- [34] <http://www.rtr.at/de/rf/MUXCAusschr>, zuletzt besucht am 23.07.2010
- [35] **Mandl P.**, Schrotter P., Leitgeb E., *Hybrid Systems Using DVB-T, WLAN and FSO to Connect Peripheral Regions with Broadband Internet Services*, ConTel 2009, 8-10 June 2009, Zagreb, Croatia (IEEE)
- [36] *!TV4Graz - Testbetrieb für Digitales Terrestrisches Fernsehen und Interaktive MHP-Applikationen*, RTR 2004
- [37] Lenzhofer, M., *Hybride Internetanbindung für unterversorgte Regionen mittels DVB-T-Vorwärts- und WLAN-Retourkanaltechnologie*, Diplomarbeit, TU Graz, 2009, die Diplomarbeit wurde **vom Autor dieser Dissertation mitbetreut**
- [38] Gardikis G., Kormentzas G., Xilouris, G., Koumaras H., Kourtis A., *Broad-band Data Access over Hybrid DVB-T Networks*, (2005)
- [39] Chandra, P., Lide, D., *Wi-Fi Telephony, Challenges and Solutions for Voice over WLANs*, Elsevier, 2007
- [40] Finneran, M., *Voice Over WLANs - The Complete Guide*, Elsevier, 2008
- [41] Szigeti, T., Hattingh, C., *End-to-End QoS Network Design: Quality of Service in LANs, WANs, and VPNs*, Macmillan Technical Publishing, 2004
- [42] Löschnigg M., **Mandl P.**, Leitgeb E., *Long-term Performance Observation of a Free Space Optics Link*, ConTel 2009, 8-10 June 2009, Zagreb, Croatia (IEEE)
- [43] Gebhart M., *Untersuchung optischer Freiraumübertragungstrecken*, Dissertation, TU-Graz, 2001
- [44] Kruse P. and al., *Elements of infrared technology: Generation, Transmission and Detection*, J. Wiley and Sons, New York (1962)

- [46] Kim I., McArthur B., Korevaar E., *Comparison of laser beam propagation at 785 and 1550 nm in fog and haze for opt. wireless communications*, *Proc. SPIE* Vol. 4214, pp.26-37 (2001)
- [46] Al Naboulsi M., Sizun H., de Fornel F., *Fog Attenuation Prediction for Optical and Infrared Waves*, *Optical Engineering*, 43(2), pp.319-329 (February 2004).
- [47] Bouchet O., Marquis T., Chabane M., Al Naboulsi M., Sizun H., *FSO and quality of service software prediction*, *Proc. SPIE* Vol. 5892, pp.01-12 (2005)
- [48] Leitgeb E., Fasser P., *Optische Nachrichtentechnik*, Institut für Breitbandkommunikation der TU Graz, Skriptum, 2004
- [49] Entwurf ÖNORM/ÖNORM E 8850, Ausgabe:2005-08-01 Elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder im Frequenzbereich von 0 Hz bis 300 GHz – Beschränkung der Exposition von Personen
- [50] EU 1999, Empfehlung des Rates vom 12.Juli 1999 zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz – 300 GHz), Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft L 199/59, 30.07.1999
- [51] ICNIRP 1998, ICNIRP Guidelines: Guidelines for Limiting Exposure to Time – Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz), International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, Health Physics, Vol 74, No 4, April 1998
- [52] *Hochfrequente Strahlung und Gesundheit, Bewertung von wissenschaftlichen Studien im Niedrigdosisbereich*, Bundesamt für Umwelt BAFU, Schweizer Eidgenossenschaft, 2. aktualisierte Auflage, 2006
- [53] ÖVE/ÖNORM EN65825-2 Sicherheit von Lasereinrichtungen – Teil 2: Sicherheit von Lichtwellenleiter-Kommunikationssystemen (LWLKS) (IEC 60825-2:2004)
- [54] ÖVE/ÖNORM EN65825-2 Sicherheit von Lasereinrichtungen – Teil 12: Sicherheit von optischen Freiraumkommunikationssystemen für die Informationsübertragung (IEC 60825-12:2004)
- [55] EN207/1994 Persönlicher Augenschutz – Filter und Augenschutz gegen Laserstrahlen (Laserschutzbrillen)
- [56] EN207/1994 Persönlicher Augenschutz – Brillen für Justierarbeiten an Lasern und Laseraufbauten (Laser-Justierbrillen)
- [57] DIN 58215: Laserschutzfilter und Laserschutzbrillen
- [58] DIN 58219: Laser Justierbrillen
- [59] Molla-Djafari H., *Hochfrequente Elektromagnetische Felder*, Ausbildung zur Sicherheitsfachkraft, Band 2

Referenzen

- [60] Information des berufsgenossenschaftlichen Instituts für Arbeitssicherheit, *Gefährdung der Augen*, Ausgabe 07/2002
- [61] Rummel, P., *Kommentar zum Allgemeinen bürgerlichen Gesetzbuch*, 1. Band, Manz Verlag, Wien
- [62] **Mandl, P.**, *Arbeitssicherheit beim Errichten und Warten von optischen und hochfrequenten fernmeldetechnischen Sende- u. Empfangseinrichtungen*, AUVA Projektarbeit, 2010
- [63] EN 50065-1, Signalübertragung auf elektrischen Niederspannungsnetzen im Frequenzbereich 3 kHz bis 148,5 kHz - Teil 1: Allgemeine Anforderungen, Frequenzbänder und elektromagnetische Störungen
- [64] **Mandl, P.**, Gerichtsgutachten des Autors am Landesgericht für Zivilrechtssachen Graz (LG f. ZRS) betreffend Telekommunikationsleitungen
- [65] EG Vertrag 1995, Dokumente betreffend den Beitritt des Königreichs Norwegen, der Republik Österreich, der Republik Finnland und des Königreichs Schweden zur Europäischen Union, Amtsblatt Nr. C 241 vom 29. August 1994, Anpassungsbeschluss 1995, Amtsblatt Nr. L 1 vom 1. Januar 1995, <http://eur-lex.europa.eu>, zuletzt besucht am 20.11.2010
- [66] Bundesverfassungsgesetz (B-VG), BGBl.Nr. 1/1930 zuletzt geändert durch BGBl.Nr. 1013/1994, <https://www.ris.bka.gv.at/>, zuletzt besucht am 20.11.2010
- [67] Staatsgrundgesetz (StGG), RGebl.Nr. 142/1867, <https://www.ris.bka.gv.at/>, zuletzt besucht am 20.11.2010
- [68] Konvention zum Schutze der Menschenrechte und Grundfreiheiten (Europäische Menschenrechtskonvention, EMRK), BGBl. Nr. 210/1958, zuletzt geändert durch BGBl. III Nr. 47/2010, <https://www.ris.bka.gv.at/>, zuletzt besucht am 20.11.2010
- [69] Telekommunikationsgesetz 2003 (TKG 2003), BGBl. I Nr. 70/2003, <https://www.ris.bka.gv.at/>, zuletzt besucht am 20.11.2010
- [70] Allgemein bürgerliches Gesetzbuch, ABGB, JGS Nr. 946/1811, zuletzt geändert durch BGBl. I Nr. 58/2010, <https://www.ris.bka.gv.at/>, zuletzt besucht am 20.11.2010
- [71] Zivilprozessordnung (ZPO), RGebl. Nr. 113/1895 zuletzt geändert durch BGBl. I Nr. 128/2004, <https://www.ris.bka.gv.at/>, zuletzt besucht am 20.11.2010
- [72] Notifikationsgesetz 1999, Bundesgesetz zur Durchführung eines Informationsverfahrens auf dem Gebiet der technischen Vorschriften, der Vorschriften für die Dienste der Informationsgesellschaft und der Normen, BGBl. I Nr. 183/1999, <https://www.ris.bka.gv.at/>, zuletzt besucht am 20.11.2010
- [73] ArbeitnehmerInnenschutzgesetz (ASchG), Bundesgesetz über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit, BGBl.Nr. 450/1994, zuletzt geändert durch

- BGBI. I Nr. 159/2001, <https://www.ris.bka.gv.at/>, zuletzt besucht am 20.11.2010
- [74] Maschinen-Sicherheitsverordnung 2010 (MSV 2010), Verordnung des Bundesministers für Wirtschaft und Arbeit über die Sicherheit von Maschinen und von Sicherheitsbauteilen für Maschinen BGBl. II Nr. 282/2008, zuletzt geändert durch BGBl. II Nr. 265/2010, <https://www.ris.bka.gv.at/>, zuletzt besucht am 20.11.2010
- [75] Arbeitsmittelverordnung (AM-VO), Verordnung des Bundesministers für Wirtschaft und Arbeit über den Schutz der ArbeitnehmerInnen bei der Benutzung von Arbeitsmitteln, BGBl. II Nr. 164/2000 zuletzt geändert durch BGBl. II Nr. 21/2010, <https://www.ris.bka.gv.at/>, zuletzt besucht am 20.11.2010
- [76] Kennzeichenverordnung (KennV), Verordnung der Bundesministerin für Arbeit, Gesundheit und Soziales über die Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung, BGBl. II Nr. 101/1997, <https://www.ris.bka.gv.at/>, zuletzt besucht am 20.11.2010
- [77] Allgemeine Arbeitnehmerschutzverordnung (AAV), Verordnung des Bundesministers für soziale Verwaltung vom 11. März 1983 über allgemeine Vorschriften zum Schutz des Lebens, der Gesundheit und der Sittlichkeit der Arbeitnehmer, BGBl.Nr. 218/1983, <https://www.ris.bka.gv.at/>, zuletzt besucht am 20.11.2010
- [78] Bauarbeiterschutverordnung (BauV), Verordnung des Bundesministers für Arbeit und Soziales über Vorschriften zum Schutz des Lebens, der Gesundheit und der Sittlichkeit der Arbeitnehmer bei Ausführung von Bauarbeiten, BGBl.Nr. 340/1994 zuletzt geändert durch BGBl. II Nr. 256/2009, <https://www.ris.bka.gv.at/>, zuletzt besucht am 20.11.2010
- [79] PSA-Sicherheitsverordnung (PSASV), Verordnung des Bundesministers für wirtschaftliche Angelegenheiten über das Inverkehrbringen und Ausstellen von persönlichen Schutzausrüstungen und über die grundlegenden Sicherheitsanforderungen an persönliche Schutzausrüstungen, BGBl.Nr. 596/1994 zuletzt geändert durch BGBl.Nr. 740/1996, <https://www.ris.bka.gv.at/>, zuletzt besucht am 20.11.2010
- [80] ÖNORM EN 358:2000, Persönliche Schutzausrüstung für Haltefunktionen und zur Verhinderung von Abstürzen - Haltegurte und Verbindungsmittel für Haltegurte, 03 01
- [81] ÖNORM EN 359:1990 08 01, Persönliche Schutzausrüstung für Arbeitsplatz-Rückhaltesysteme
- [82] ÖNORM EN 363:2008 05 01, Persönliche Absturzsutzausrüstung - Persönliche Absturzsutzesysteme
- [83] ÖNORM EN 795/A1:2001 01 01, Schutz gegen Absturz – Anschlag-einrichtungen, Anforderungen und Prüfverfahren

- [84] ÖNORM EN 354:2010 09 01, Persönliche Schutzausrüstung gegen Absturz – Verbindungsmittel
- [85] ÖNORM EN 361:2002 09 01, Persönliche Schutzausrüstung gegen Absturz – Auffanggurte
- [86] ÖNORM EN 355:2002 09 01, Persönliche Schutzausrüstung gegen Absturz – Falldämpfer
- [87] ETSI EN 300 328 V1.7.1 (2006-10), Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Wideband transmission systems; Data transmission equipment operating in the 2,4 GHz ISM band and using wide band modulation techniques; Harmonized EN covering essential requirements under article 3.2 of the R&TTE Directive, <http://www.etsi.org>, zuletzt besucht am 19.05.2010
- [88] ETSI EN 301 893 V1.4.1 (2007-07), Broadband Radio Access Networks (BRAN); 5 GHz high performance RLAN; Harmonized EN covering essential requirements of article 3.2 of the R&TTE Directive, <http://www.etsi.org>, zuletzt besucht am 19.05.2010
- [89] Dätwyler Cables GmbH, D-65795 Hattersheim, <http://www.daetwyler-cables.com>, zuletzt besucht am 20.11.2010
- [90] Huber + Suhner GmbH, D-82024 Taufkirchen, <http://www.hubersuhner.de>, zuletzt besucht am 20.11.2010
- [91] WiMo Antennen und Elektronik GmbH, D-76863 Herxheim, <http://www.wimo.com>, zuletzt besucht am 20.11.2010
- [92] FICONET ® systems GmbH, D-08233 Treuen, <http://www.ficonet.de>, zuletzt besucht am 20.11.2010
- [93] Allied Telesis International SA, CH-6830 Chiasso, <http://www.alliedtelesis.at>, zuletzt besucht am 20.11.2010
- [94] ELCON Systemtechnik GmbH, D-09232 Hartmannsdorf, <http://www.elcon-system.com>, zuletzt besucht am 20.11.2010
- [95] International Telecommunication Union (ITU), <http://www.itu.int>, zuletzt besucht am 20.11.2010
- [96] Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), <http://www.ieee.org>, zuletzt besucht am 20.11.2010
- [97] Telecommunications Industries Association, <http://www.tiaonline.org>, zuletzt besucht am 20.11.2010
- [98] Compex Systems PTE LTD, <http://www.compex.com.sg>, zuletzt besucht am 20.11.2010

- [99] **Mandl P.**, Chlestil Ch., Zettl K., Leitgeb E., *Verwendung von Lichtfunk, Glasfaser und WLAN als temporäre Installation für Multimediaanwendungen*, Springer Verlag, e & i Elektrotechnik und Informationstechnik, Volume 124, Number 10, pp. 346-350
- [100] **Mandl P.**, Schrotter P., Leitgeb E., *Verwendung von DVB-T, WLAN und FSO für Internetanbindungen in unterversorgten Regionen*, Springer Verlag, e & i Elektrotechnik und Informationstechnik, Volume 126, Numbers 7-8, pp. 322-326