

WLAN (Wireless Local Area Network) - Messwerte zu Reichweiten und Dämpfungen, Empfehlungen zur Planung von Konfigurationen

Mell, Wolf-Dieter

Veröffentlichungsversion / Published Version

Arbeitspapier / working paper

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit / provided in cooperation with:

GESIS - Leibniz-Institut für Sozialwissenschaften

Empfohlene Zitierung / Suggested Citation:

Mell, W.-D. (2004). WLAN (Wireless Local Area Network) - Messwerte zu Reichweiten und Dämpfungen, Empfehlungen zur Planung von Konfigurationen. (IZ-Arbeitsbericht, 31). Bonn: Informationszentrum Sozialwissenschaften. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-50731-4>

Nutzungsbedingungen:

Dieser Text wird unter einer Deposit-Lizenz (Keine Weiterverbreitung - keine Bearbeitung) zur Verfügung gestellt. Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Terms of use:

This document is made available under Deposit Licence (No Redistribution - no modifications). We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document. This document is solely intended for your personal, non-commercial use. All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

IZ-Arbeitsbericht Nr. 31

**WLAN (Wireless Local Area Network) -
Messwerte zu Reichweiten und Dämpfungen,
Empfehlungen zur Planung von Konfigurationen**

Wolf-Dieter Mell

Februar 2004

Zugleich IBoaT-Arbeitsbericht Nr. 1



InformationsZentrum
Sozialwissenschaften

Lennéstraße 30
D-53113 Bonn
Tel.: 0228/2281-0
Fax.: 0228/2281-120
email: iz@bonn.iz-soz.de
Internet: <http://www.gesis.org/IZ/index.htm>

Dipl.-Ing. Dr. Wolf-Dieter Mell

Institut für Boots-Tourismus (IBoaT)

Jenastr. 14
D-53125 Bonn
Tel.: (+49)228/256292
Fax: (+49)228/258780
email: mell@iboat.de

Brekkenweg 4-76
NL - 8531 PM Lemmer

ISSN: 1431-6943

Herausgeber: Informationszentrum Sozialwissenschaften der Arbeits-
gemeinschaft Sozialwissenschaftlicher Institute e.V. (ASI)
[Institut für Boots-Tourismus \(IBoaT\)](#)

Druck: Informationszentrum Sozialwissenschaften, Bonn
Printed in Germany

Vertrieb: Informationszentrum Sozialwissenschaften, Bonn
[Institut für Boots-Tourismus \(IBoaT\)](#)

Das IZ ist Mitglied der Gesellschaft Sozialwissenschaftlicher Infrastruktureinrichtungen e.V. (GESIS).
Die GESIS ist Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft.

Inhalt

1 Vorbemerkungen	4
1.1 WLAN - Wireless Local Area Network	4
1.2 Institut für Boots-Tourismus (IBoaT)	5
2 Messaufbau	6
2.1 Messtechnik	6
2.2 Messreihen und Messumgebung	7
3 Messergebnisse	8
3.1 Skalen-Konkordanz	8
3.2 Grenzwerte der zuverlässigen Datenübertragung	10
3.3 Abstrahlungseigenschaften der AP-Antenne	12
3.4 Messungen in offenem Gelände	12
3.5 Auswirkungen von SNR-Veränderungen auf den Abstand	14
3.6 Dämpfungswerte spezieller Hindernisse	15
3.6.1 Betondecken	16
3.6.2 Ziegelwände	17
3.6.3 Gebüsch	18
3.6.4 Vergleichsmessung 802.11b / 802.11g	20
4 Rechnerischer Einfluss von Richtantennen	21
5 Bridging, Router, Wireless Distribution System	25
6 Empfehlungen und Beispiele zur WLAN-Planung	26
6.1 Planungsmethode	27
6.2 Beispiel 1: Freigelände mit Bungalows	28
6.3 Beispiel 2: Gebäude mit mehreren Stockwerken	31
7 Zusammenfassung	33
8 Haftungsausschluss und Kontakt	34

1 Vorbemerkungen

1.1 WLAN - Wireless Local Area Network

Wireless LANs nach IEEE 802.11b (2,4 GHz, 11 MBit/s) und 802.11g (2,4 GHz, 54 MBit/s) gewinnen als Funk-basierte Kommunikations-Infrastruktur für die Vernetzung von IT-Systemen zunehmend an Bedeutung.

Einsatzschwerpunkte sind neben Büroumgebungen und Konferenzräumen u.a. offene Areale mit einer unbestimmten Anzahl von Zugangspunkten an beliebiger Stelle innerhalb des Areals. Beispiele sind Indoor-Hotspots (Hotelhallen, Bahnhöfe, Flughallen) und zunehmend auch Outdoor-Hotspots (Universitätsgelände, Yachthäfen, Campingplätze, Bungalowsiedlungen, Marktplätze in Gemeinden).

Der Vorteil von WLAN gegenüber Ethernet-Verkabelungen mit Kupfer oder Glasfaser ist einerseits die hohe Flexibilität und Mobilität der Endgeräte, andererseits der vergleichsweise geringe Aufwand für die flächendeckende Installation der Übertragungseinrichtungen (Access Points) vor allem in komplexen offenen oder geschlossenen Umgebungen.

Spezielle Probleme der WLAN-Technik und ihrem Funk-Frequenzbereich von 2,4 GHz sind:

- Die international gesetzlich begrenzte Sendeleistung der WLAN-Antennen nach EN300328-1 auf maximal 20 dBm = 100 mW Sendeleistung.

Anmerkung 1:

dBm = Leistungspegel in Dezibel, bezogen auf 1 mW. Die Leistung von 100 mW entspricht beispielsweise $20 \text{ dBm} = 10 \log(100 \text{ mW} / 1 \text{ mW})$.

Anmerkung 2:

Zum Vergleich: Die Sendeleistung eines Handy im D-Netz (900 MHz) beträgt 2 Watt (bei sehr gutem Empfang 0,16 Watt).

Das ist eine bis zu 20-mal höhere Abstrahlung als von einer WLAN-Station.

- Die dadurch begrenzte Reichweite der Funkverbindungen.
- Die hohe Dämpfung der Übertragung durch Hindernisse (wie Wände oder Gebüsch) die sich zwischen den miteinander kommunizierenden WLAN-Stationen (z.B. WLAN-Client und Access Point) befinden. Die Dämpfung der Übertragungsleistung durch Hindernisse schränkt die Reichweite zusätzlich z.T. erheblich ein.

Für die Planung von WLAN-Strukturen werden zuverlässige, gemessene Kennwerte für die Reichweiten der WLAN-Systeme unter definierten Bedingungen und die Dämpfungswerte typischer Hindernisse dringend benötigt. Allerdings sind entsprechende Tabellen z.Z. weder von den Herstellern noch von den System-Anbietern öffentlich verfügbar. Stattdessen beschränken sich die Anbieter auf prinzipielle Hinweise vor allem zu den begrenzten Reichweiten in Gebäuden und empfehlen auch für offenes Gelände aus Sicherheitsgründen Abstände bis maximal 100 m.

Um diesem Mangel an konkreten Daten abzuhelfen, wurde im Dezember 2003 eine Serie systematischer Messreihen sowohl in offenem Gelände als auch in Gebäuden durchgeführt, die im folgenden dokumentiert und interpretiert werden.

1.2 Institut für Boots-Tourismus (IBoaT)

Das Institut für Boots-Tourismus (IBoaT) ist eine unabhängige wissenschaftlich-technische Forschungs- und Beratungseinrichtung.

Boots-Tourismus ist nicht nur Wassersport, sondern als wissenschaftliches und ökonomisches Feld eine komplexe Überlappung unterschiedlicher Disziplinen, von den Sozialwissenschaften über Sportwissenschaft und Betriebswirtschaft bis zu Bootsbau und Informationstechnik.

Darüber hinaus ist Boots-Tourismus ein expandierender Markt und einerseits für die betroffenen Regionen eine wichtige wirtschaftliche Basis mit erheblichen Umsätzen, andererseits für die Boots-Touristen eine Quelle von Entspannung, körperlich/geistiger Aktivität und sozialer Kommunikation.

Aufgabe des Institutes ist die Erhebung und Analyse von Daten, Strukturen und Prozessen für den Bereich des Boots-Tourismus, die Untersuchung von Zusammenhängen und die Bereitstellung handlungsrelevanter Ergebnisse für die Akteure in diesem Segment. Ein spezieller Schwerpunkt liegt dabei auf der Unterstützung der Akteure bei der Integration technologischer Innovationen - z.B. moderner Informationstechnik - in traditionelle Prozesse und Angebote.

Die vorliegende Untersuchung entstand im Zusammenhang mit WLAN-Projekten deutscher und niederländischer Betreiber von Yachthäfen und Ferien-Siedlungen, mit denen einerseits die touristische Attraktivität gesteigert, andererseits Infrastruktur, z.B. zur Installation Internet-basierter Mess- und Überwachungstechnik in Ferienwohnungen angeboten werden soll.

2 Messaufbau

Die WLAN-Messungen wurden mit folgendem Messaufbau durchgeführt:

2.1 Messtechnik

Für die Messungen wurde jeweils ein WLAN Access Point und ein Notebook mit WLAN Adapter und Mess-Software verwendet:

Technische Daten:

Access Points:

Goldline WAVEline Micro Access Point

- IEEE 802.11b kompatibler Access Point (DSSS) mit 11 MBit/s max. Übertragungsrate
- Zum IEEE 802.3 Standard kompatibel
- Repeater-Modus
- Ausgangsleistung ca. 19 dBm (typical)
- Empfangsempfindlichkeit: -82 dBm, 11 Mbps, PER $8 \cdot 10^{-2}$
- Interne Antenne

Belkin Access Point F5D7B130

- IEEE 802.11g/b kompatibler Access Point mit 54 MBit/s max. Übertragungsrate

Notebook:

IBM Thinkpad X21 mit Windows 2000 Prof.

WLAN Adapter:

Goldline WAVEline Wireless Mini USB-Adapter

- Entwickelt nach IEEE802.11 und IEEE802.11b
- USB V1.1 konform
- Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)
- Arbeitet laut ETSI- Spezifikation im 2,4 GHz ISM-Band mit 13 Kanälen
- Die Datenrate wird automatisch ausgewählt

D-Link Cardbus Adapter DWL-G650+

- High-Speed 2,4 GHz Wireless
- 802.11b / 11g, 54 MBit/s

Mess-Software:

- WAVEline 11 Mbps Wireless LAN Utility
Zubehör zu WAVEline Wireless Mini USB-Adapter
- Network Stumbler Version 0.3.30
Copyright Marius Milner 2001-2002
mariusm@pacbell.net
Quelle: <http://www.netstumbler.com>

2.2 Messreihen und Messumgebung

Es wurden zunächst mit den WAVEline-Geräten (802.11b, 11 MBit/s) folgende Messreihen erhoben:

1. Konkordanz der Skalen:

Wegen der besseren Ergonomie und der exakteren Aktualisierungsrate erwies es sich als zweckmäßig, die Messungen der Signalstärken mit Hilfe der Skala „Signal Strength“ des Mess-Tools WAVEline Utility durchzuführen. Zur Umrechnung in eine standardisierte SNR-Skala wurden Vergleichsmessungen bei unterschiedlichen Distanzen mit den Skalen „Signal (dBm)“, „Noise (dBm)“ und „Signal-to-Noise-Ratio (SNR)“ des Mess-Tools Network Stumbler durchgeführt.

Hinweis:

Die „Signal-to-Noise-Ratio (SNR)“ misst die Differenz zwischen dem Nutzsignal und den Störsignalen (z.B. dem Rauschen) und damit die tatsächlich nutzbare Signalstärke. SNR ist damit ein guter Index für die Übertragungsqualität.

2. Grenzwerte der zuverlässigen Datenübertragung:

Nach den technischen Empfehlungen der Hersteller ist für eine Datenübertragung mit maximaler Übertragungsrate (802.11b: 11 MBit/s) ein Signal-Rausch-Abstand

SNR besser als 10 - 20 dBm

erforderlich.

Der Zusammenhang von Übertragungsrate und SNR wird durch eine Messreihe mit systematischer Variation der SNR durch Abschirmung überprüft.

3. Abstrahlungseigenschaften des AP

Ermittlung der Antennen-Charakteristik des AP durch systematische Variation

- o der AP-Position und
- o der Ausrichtung der WLAN-Adapter-Antenne
- o bei einer SNR von rund 40 dBm.

4. Freilandmessung:

- o offenes Gelände
- o Temperatur ca. 10 Grad C, Luftfeuchtigkeit ca. 90 %,
- o Höhe des AP: 2 m über dem Boden
- o Messung der Distanz mit GPS
- o systematische Variation des Abstandes AP-Notbeook zwischen 0-400 m,
- o Messreihe a) ungestörte Sichtverbindung, ohne Hindernisse,
- o Messreihe b) gestörte Sichtverbindung, Hindernisse aus dichtem Buschwerk.

5. Inhouse-Messungen

- o Messreihe a) Betondecken als Hindernisse,
- o Messreihe b) Ziegelwände als Hindernisse.

In einer zweiten Runde wurden Vergleichsmessungen zwischen den Geräten mit 802.11g (54 MBit/s) und 802.11b (11 MBit/s) durchgeführt.

3 Messergebnisse

3.1 Skalen-Konkordanz

Zur Messung der Signalstärken wurde die Skala „Signal Strength“ (SS) des Mess-Tools WAVEline Utility verwendet. Die folgende Tabelle zeigt Vergleichsmessungen mit Skalen des Tools Network Stumbler,

In der Spalte „Mess SNR (dBm)“ wurden die ursprünglichen Messwerte der Skala „Signal (dBm)“ von dem konstanten Messwert „Noise (dBm)“ = -97 dBm abgezogen.

Die lineare Trendlinie für „Mess SNR“ entspricht der Formel

$$\text{SNR} = -0,57 * \text{SS}$$

Die Spalte „Rechn SNR“ enthält die entsprechenden berechneten Werte.

SS	Mess SNR (dBm)	Rechn SNR
120		-68
100	-57	-57
86	-47	-49
60	-37	-34
33	-17	-19
0		0

Tabelle 3.1:
Konkordanz der Skalen „Signal Strength“ und
Signal-to Noise-Ratio (SNR)

Die Abb. 3-1 zeigt die Konkordanz der Skalen in graphischer Form.

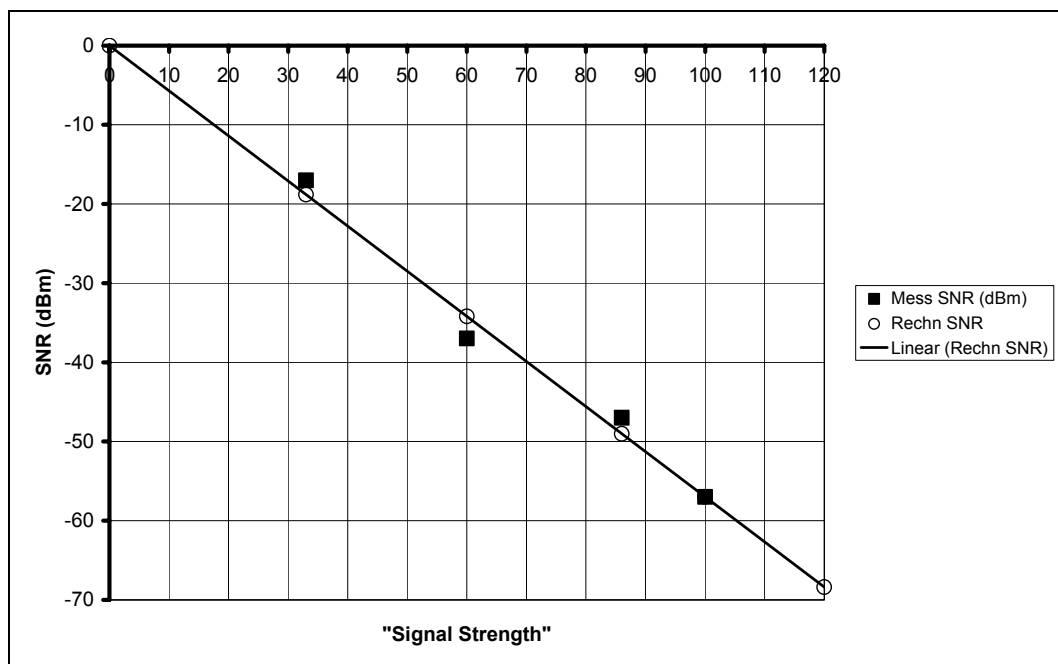


Abb. 3.1:
Konkordanz der Skalen „Signal Strength“ und
Signal-to Noise-Ratio (SNR)

In den weiteren Darstellungen wird aus Gründen der Übersichtlichkeit der Absolutwert von [SNR] (ohne negatives Vorzeichen) verwendet.

3.2 Grenzwerte der zuverlässigen Datenübertragung

Nach den technischen Empfehlungen der Hersteller ist für eine Datenübertragung mit maximaler Übertragungsrate (802.11b: 11 MBit/s) ein Signal-Rausch-Abstand

SNR besser als 10 - 20 dBm

erforderlich.

Der Zusammenhang von Übertragungsrate und SNR wurde durch eine Messreihe mit systematischer Variation der SNR durch Abschirmung mit folgendem Ergebnis überprüft:

Gemessen wurde mit dem Tool WAVEline Utility:

- „Signal Strength“ (SS),
- die Qualifizierung der Signalqualität:
 - good
 - fair
 - poor
- die Übertragungsrate (802.11b)
 - 11 / 5,5 / 2 / 1 MBit/s

Anmerkung zur automatischen Anpassung der Übertragungsrate in einem WLAN:

- Wird der Empfang eines Frames nicht bestätigt, so wird dieser mit einer niedrigeren Datenrate erneut gesendet.
- Können mehrere Frames bei niedriger Datenrate fehlerfrei übertragen werden, wird die Datenrate wieder schrittweise erhöht.
- Wird ein Frame mit der niedrigsten Datenrate nicht übertragen, so gilt er als verloren.

In der folgenden Tabelle wurde der Messwert SS mit der Formel aus Kap. 3.1 in SNR (dBm) umgerechnet.

SS	SNR (dBm)	Qualifikation	MBit/s
66	38	good	11
60	34	good	11
53	30	fair	11
40	23	fair	11
33	19	fair	11
26	15	poor	5,5
20	11	poor	5,5
13	7	poor	2
6	3	poor	2

Tabelle 3.2: Signalstärke und Übertragungsrate (802.11b)

Ergebnis:

- Ab einer SNR > 30 dBm gilt die Signalstärke als „good“, Daten können sicher mit 11 MBit/s übertragen werden.
- Bei einer SNR zwischen 30 - 20 dBm gilt die Signalstärke als „fair“, die Übertragung erfolgt mit 11 MBit/s.
- Ab einer SNR < 20 dBm gilt die Signalstärke als „poor“, es werden Frames mit 11 MBit/s nicht mehr zuverlässig empfangen, die Übertragungsrate wird auf 5,5 MBit/s gesenkt.
- Ab einer SNR < ca. 10 dBm werden auch Frames mit 5,5 MBit/s nicht mehr zuverlässig empfangen, die Übertragungsrate wird auf 2 MBit/s gesenkt. Es muss mit Übertragungsproblemen durch den dauerhaften Verlust von Frames gerechnet werden.
- Ab einer SNR < ca. 5 dBm werden Frames nur noch mit 2 MBit/s übertragen. Es muss mit Übertragungsproblemen durch den dauerhaften Verlust von Frames gerechnet werden.

Die Messungen können die Herstellerangaben nur zum Teil bestätigen:

- Grenzwert für eine zuverlässige Datenübertragung mit maximaler Übertragungsrate (802.11b: 11 MBit/s) ist eine Signalstärke von
SNR > 20 dBm
- Bei Signalstärken SNR zwischen 10 - 20 dBm kann nur noch mit einer verringerten Übertragungsrate von 5,5 MBit/s gerechnet werden.

- Bei Signalstärken $\text{SNR} < 10 \text{ dBm}$ wird die Übertragung unzuverlässig mit Übertragungsraten von 2 MBit/s und der Gefahr von Frameverlusten.

3.3 Abstrahlungseigenschaften der AP-Antenne

Die Abstrahlungseigenschaften des Access Point mit seiner eingebauten Antenne wurden experimentell überprüft:

Der Access Point hat bei senkrechter Aufstellung in 2 m Höhe eine horizontal nahezu kreisförmige Abstrahl-Charakteristik mit einem leichten Maximum an der Front- und der Rückseite.

Die Abstrahlung in der vertikalen Achse ist deutlich reduziert.

In einem Bereich von unter 50 Grad zwischen horizontaler und vertikaler Aufstellungs-Achse und Abständen von über 10 m waren Unterschiede in der Sendeleistung mit den verfügbaren Mess-Tools nicht feststellbar.

Die Ausrichtung der Antenne des WAVEline Wireless Mini USB-Adapters wurde bei jeder Messung auf maximalen Empfangspegel eingestellt, die Auswirkungen waren geringfügig.

3.4 Messungen in offenem Gelände

Es wurden zunächst Messungen in offenem Gelände mit Sichtverbindung zwischen dem Access Point und dem Notebook ohne Hindernisse durchgeführt. Die folgende Tabelle zeigt die Messergebnisse.

Abstand (m)	SNR (dBm)
0	
50	49
100	38
150	38
200	34
250	26
300	26
350	23
400	11

Tabelle 3.4: Signalstärken abhängig vom Abstand

Die Graphik zeigt die Abhängigkeit SNR vom Abstand mit einer linearen Trendlinie sowie den Grenzwert von 20 dBm

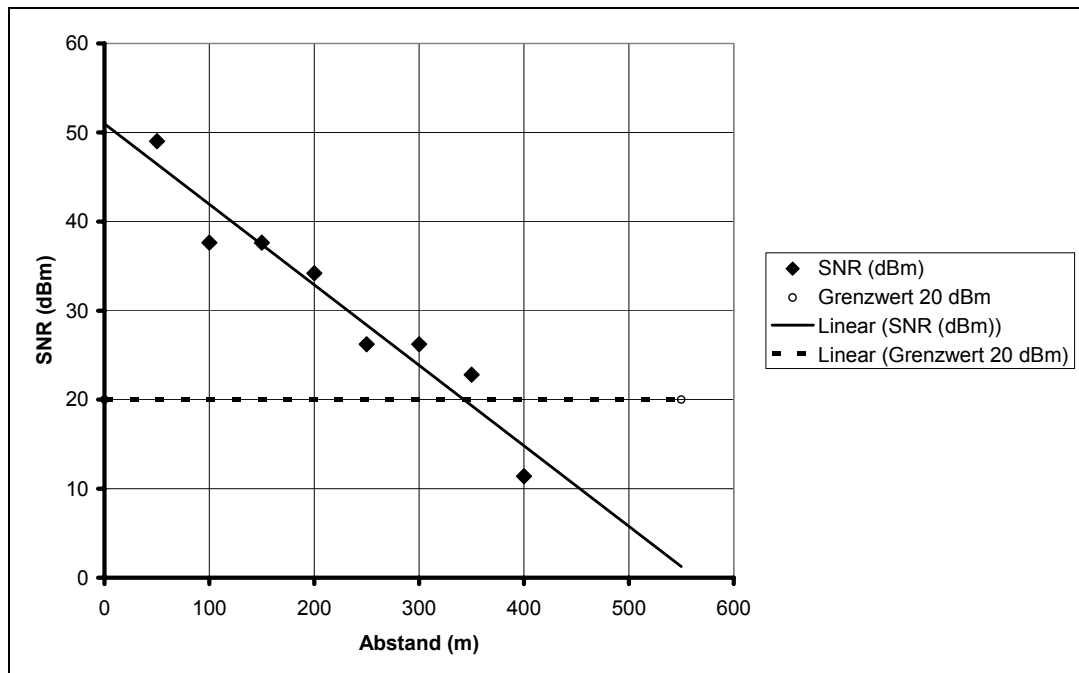


Abb. 3.4: Signalstärken abhängig vom Abstand

Ergebnis:

1. In offenem Gelände mit Sichtverbindung zwischen den Stationen und ohne Hindernisse kann mit einer zuverlässigen Übertragung (SNR > 20 dBm) bis zu

Abständen von 350 m

gerechnet werden.

2. Im Notfall, bei Absenkung der Mindest-SNR auf 10 dBm, und störungsbedingter Reduktion der mittleren Übertragungsrate auf 5,5 MBit/s (802.11b) sind Abstände bis 450 m möglich.
3. Eine zuverlässige Verbindung über 550m ist technisch mit den verwendeten Gerätetypen nicht möglich.

3.5 Auswirkungen von SNR-Veränderungen auf den Abstand

Die gemessenen Daten für offenes Gelände ergeben einen Zusammenhang von Signal-to-Noise-Ratio (SNR) und Abstand in der Trendlinie entsprechend der Formel

$$\text{SNR} = 52 - \text{Abstand} * (52 / 570)$$

Hieraus kann abgeleitet werden, welche Auswirkungen eine Veränderung der SNR - Verringerung durch Dämpfung oder Erhöhung durch Richtantennen - auf den Abstand bei gleicher Übertragungsqualität hat:

$$\text{veränderter Abstand} = \frac{\text{SNR-Differenz} * (570 / 52)}{\text{SNR-Differenz} * 11}$$

SNR-Differenz (dBm)	veränderter Abstand (m)
1	11
2	22
3	33
4	44
5	55
10	110
15	164
20	219
30	329

Tabelle 3.5: Zusammenhang von SNR-Differenz und verändertem Abstand

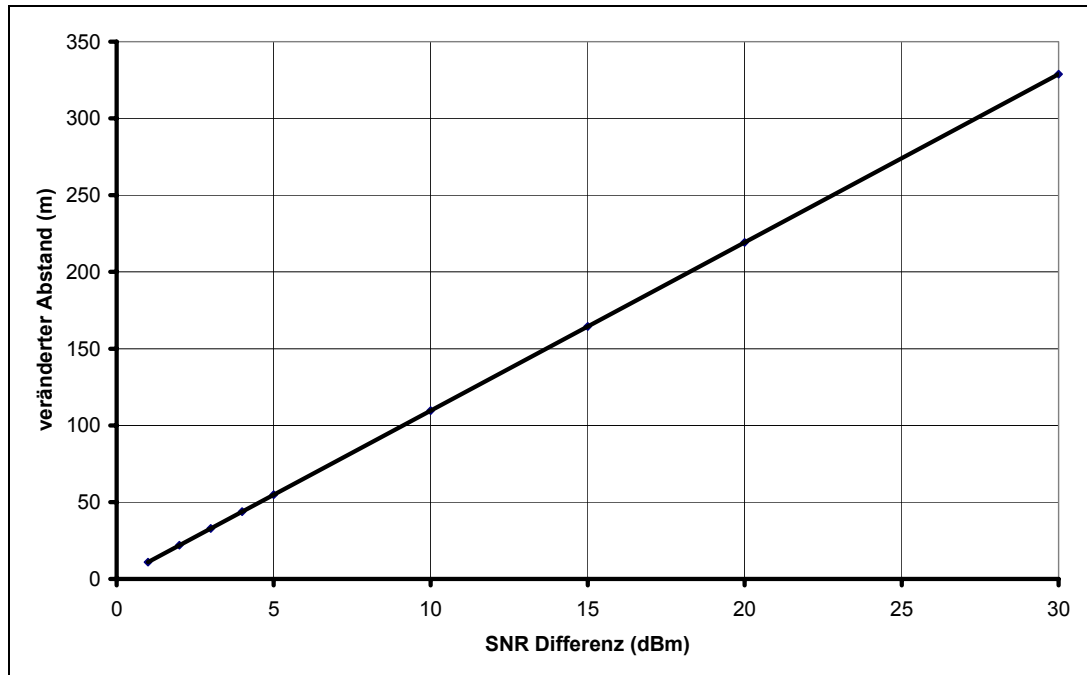


Abb. 3.5: Zusammenhang von SNR-Differenz und verändertem Abstand

Ergebnis:

- Die Dämpfung durch ein Hindernis von z.B. SNR = 10 dBm verringert die zulässige Distanz bei vorgegebener Übertragungsqualität (von z.B. 20 dBm) gegenüber einer freien Strecke um ca. 110 m.
- Die Erhöhung des Wirkungsgrades einer Strecke durch eine Richtantenne um z.B. SNR = 5 dBm vergrößert die Übertragungsstrecke (bei gleicher Übertragungsqualität) um ca. 55 m.
Die Maximalentfernung (für SNR = 20 dBm) von rund 350 m wird dadurch auf rund 400 m verlängert, ein Gewinn um ca. 15 %.

3.6 Dämpfungswerte spezieller Hindernisse

Es wurden drei Hindernis-Arten messtechnisch untersucht:

- Betondecken in einem mehrstöckigen Gebäude,
- Ziegelwände in Gebäuden,
- dichte Gebüschgruppen in offenem Gelände.

3.6.1 Betondecken

Der AP wurde flach liegend in der Mitte eines großen Kellerraumes positioniert, die Messungen erfolgten senkrecht über dieser Position in den darüber liegenden Stockwerken.

Die Tabelle zeigt die gemessenen Signalstärken abhängig von der Anzahl der zwischen den Stationen befindlichen Betondecken.

Anzahl Betondecken	SNR (dBm)
0	
1	49
2	34
3	19

Tabelle 3.6.1: Hindernis: Betondecken

Die folgende Graphik mit einer Trendlinie verdeutlicht die Dämpfung durch Beton. Hierbei kann der Einfluss des Abstandes zwischen den Stationen vernachlässigt werden.

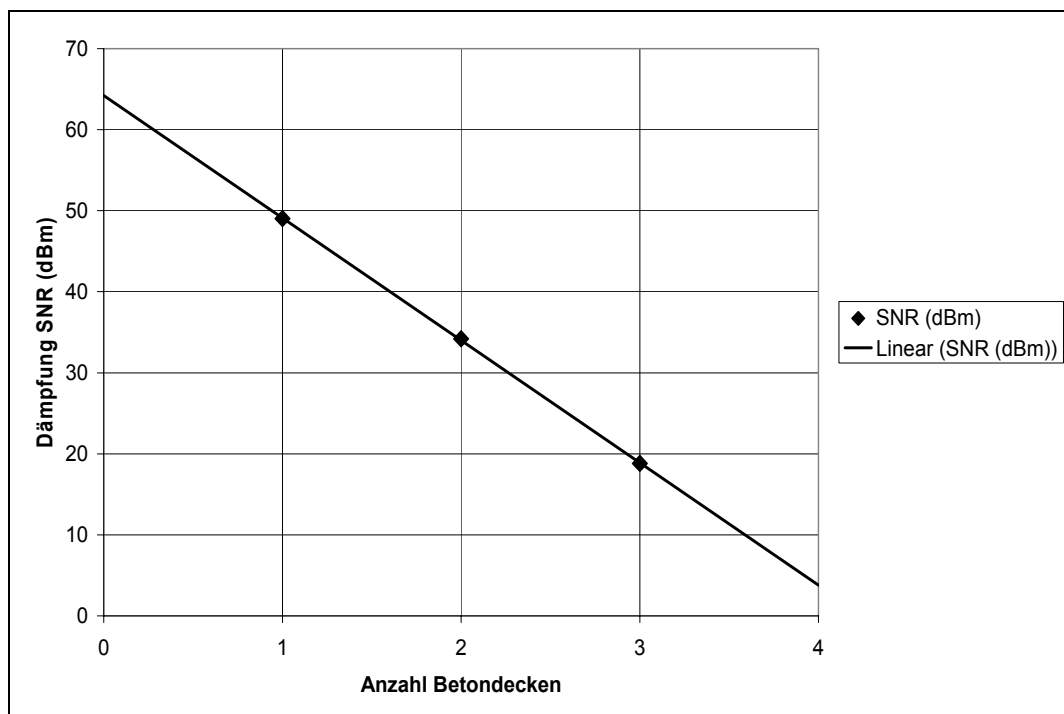


Abb. 3.6.1: Hindernis: Betondecken

Ergebnis:

- Betondecken in Standardbauweise erzeugen eine Dämpfung von **rund 15 dBm / Betondecke**.
- Bei einer Mindest-Signalstärke von $\text{SNR} > 20 \text{ dBm}$ ist in einem Gebäude eine zuverlässige WLAN-Verbindung über 2 Stockwerke (maximal über 3 Stockwerke) möglich.
- Die Messungen wurden in Gebäuden mit festen tragenden Wänden innerhalb des Baukörpers (Wohnbauweise) durchgeführt. In Gebäuden mit weitgespannten Decken und flexiblen Wänden muss mit einer erheblich stärkeren Armierung der Decken gerechnet werden und damit auch mit deutlich höheren Dämpfungen.

3.6.2 Ziegelwände

Es wurde in einer geeigneten Indoor-Umgebung die Dämpfung der Signale beim Durchgang durch 1 und 2 Ziegelwände von 24 cm Dicke gemessen.

Die folgende Tabelle und die Graphik zeigen das Ergebnis:

Anzahl Ziegelwände	SNR (dBm)
0	
1	57
2	49

Tabelle 3.6.2: Hindernis: Ziegelwände 24 cm

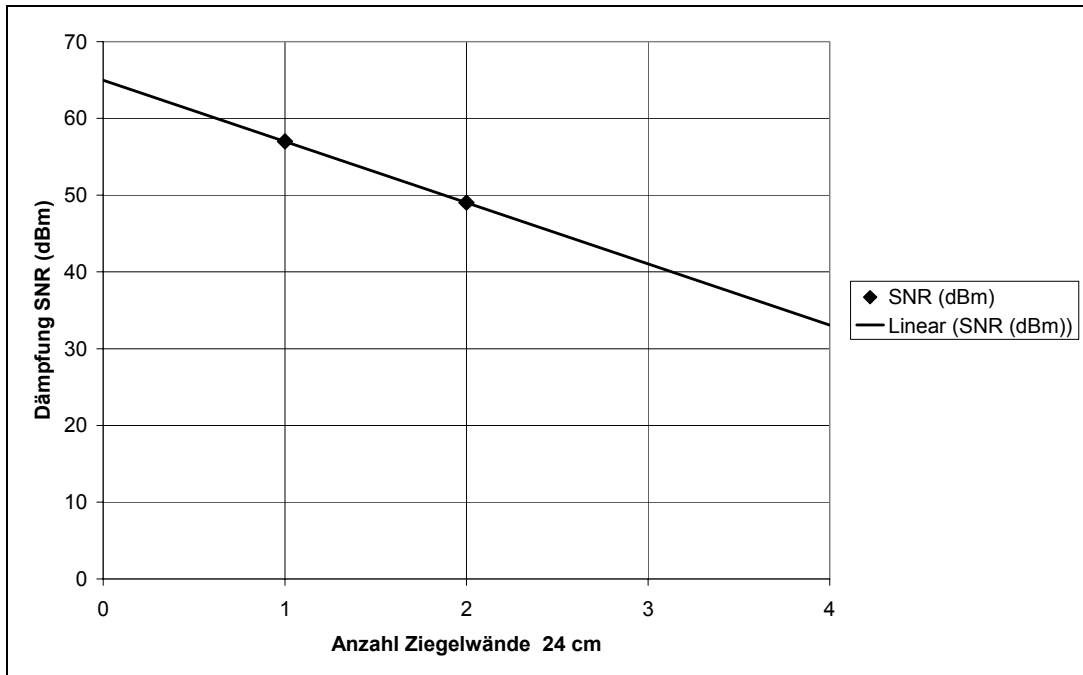


Abb. 3.6.2: Hindernis: Ziegelwände 24 cm

Ergebnis:

- Ziegelwände von 24 cm Dicke erzeugen eine Dämpfung von **rund 8 dBm / Ziegelwand 24 cm.** und damit rund die Hälfte der Dämpfung von Betondecken.
- Innerhalb eines Stockwerkes kann auch über 3-4 gemauerte Trennwände hinweg mit einer ausreichenden WLAN-Verbindung gerechnet werden.

3.6.3 Gebüsch

Im Rahmen der Messungen in offenem Gelände wurde bei Abständen von 150 m und 200 m der Einfluss eines optischen Hindernisses zwischen Access Point und Notebook bestehend aus einem dichten Gebüsch (Durchmesser ca. 10 m, feucht) gemessen:

Die Tabelle und die Graphik zeigen im Vergleich das Ergebnis der Trendlinie für offenes Gelände (s. Kap. 3.4) und die Dämpfung durch das Gebüsch.

Abstand	SNR (dBm) Trendlinie frei	SNR (dBm) Hindernis	SNR (dBm) Dämpfung
150	38	26	12
200	33	19	14

Tabelle 3.6.3: Dämpfung durch Gebüsch

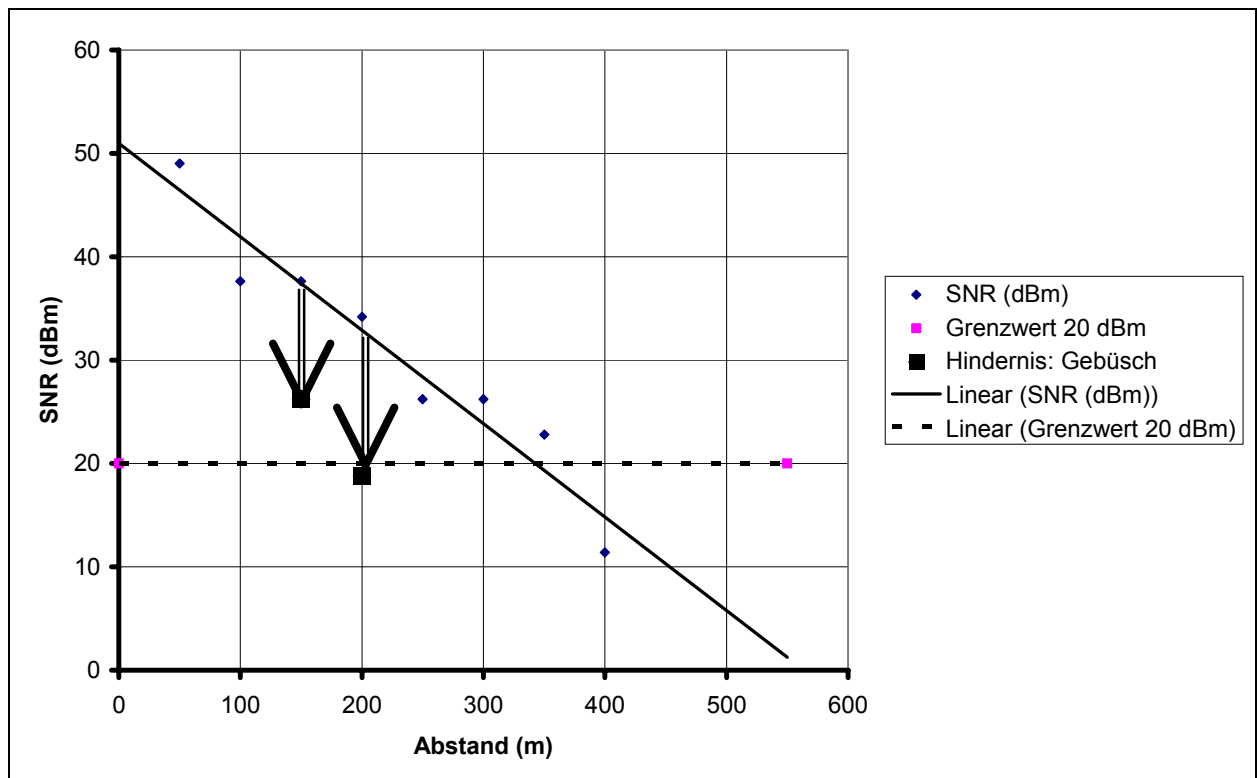


Abb. 3.6.3: Dämpfung durch Gebüsch

Ergebnis:

- Die Dämpfung des WLAN-Signals durch (feuchte) Gebüschgruppen oder dichte Baumkronen in offenem Gelände ist erheblich und muss - je nach Durchmesser, Dichte und Witterung - mit **ca. 10 - 15 dBm** veranschlagt werden.
- Die Dämpfung von umfangreichem Bewuchs liegt damit deutlich über der Dämpfung von z.B. Ziegelwänden (rund 8 dBm) und kann - unter ungünstigen Bedingungen - die Dämpfungswerte von Beton (rund 15 dBm) erreichen.

- Durch dichtes Gebüsch kann (s. Kap. 3.5) der Abstand (bei gleicher Übertragungsqualität)
um ca. 100 - 150 m
 verringert werden, auf Maximalwerte (für SNR = 20 dBm) von ca. 200 - 250 m.

3.6.4 Vergleichsmessung 802.11b / 802.11g

Ergänzend zu den Messungen mit den WAVEline-Geräten (802.11b, 11 MBit/s) wurden Vergleichsmessungen mit einem Access-Point von Belkin (802.11g / b) sowie WLAN-Adaptern von D-Link (802.11b / g) und WAVEline (802.11b) durchgeführt.

Die folgende Graphik zeigt als Beispiel die Dämpfungsmessungen durch bis zu drei Betondecken (in Standardbauweise).

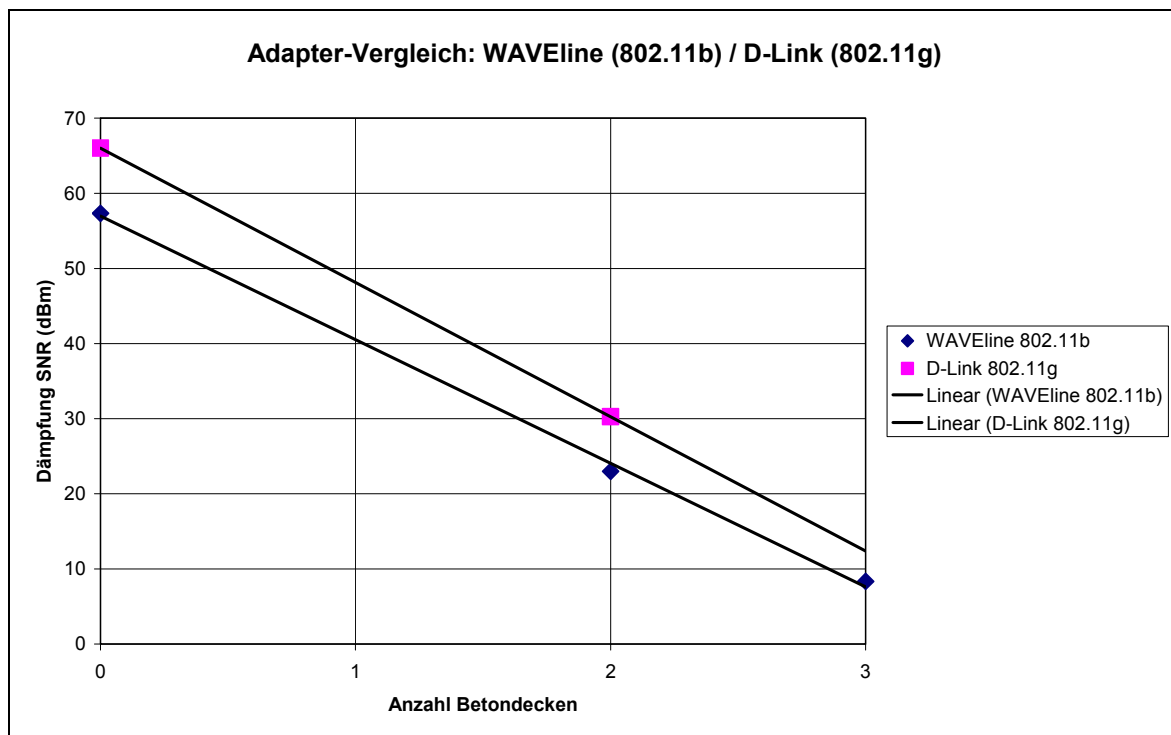


Abb. 3.6.4: Vergleichsmessung 802.11 g / b: Dämpfung durch Beton

Ergebnis:

- Die Dämpfung des WLAN-Signals pro Betondecke ist bei beiden Protokollarten (Übertragungsraten) - wie nicht anders zu erwarten - praktisch identisch.

- Im Vergleich zu den Messungen mit einem WAVEline Access-Point in Kap. 3.6.1 hatte der Belkin Access-Point bei dieser Messreihe eine um rund 10 dBm schwächere Antennenleistung.
- Der D-Link WLAN-Adapter hatte bei dieser Messung im Vergleich zu dem WAVEline Mini USB-Adapter eine um rund 8 dBm bessere Empfangsleistung.

4 Rechnerischer Einfluss von Richtantennen

Die Empfangs-Signalstärke von Funktechnik im Gigahertz-Bereich hängt naturgemäß erheblich von der Abstrahl-Charakteristik der Antennen - bei WLAN insbesondere der Access Point Antennen - ab.

Hinweise:

- Der Gewinn durch eine Richtantenne wird in **dBi** gemessen:
dBi ist das logarithmische Verhältnis (in Dezibel) der Antennenleistung in der Vorzugsrichtung zu der Leistung eines idealen Kugelstrahlers.
- Der Abstrahlungs-Grenzwert von 20 dBm muss (gesetzlich vorgeschrieben) eingehalten werden:
Sendeeinheiten haben i.d.R. eine Ausgangsleistung von 14-16 dBm, bei einem Antennengewinn von z.B. über 6 - 4 dBi muss ein Dämpfungsglied zwischengeschaltet werden, welches die tatsächlich abgestrahlte Leistung auf 20 dBm reduziert.
Als Dämpfungsglieder werden Antennenkabel, Blitzschutzleitungen oder Stecker verwendet.
Dämpfung eines Antennenkabels (je nach Querschnitt): ca. 0,5 - 0,7 dB/m.
- Die Wirkung einer Richtantenne liegt auch in ihrer höheren Empfangsempfindlichkeit, wodurch zusätzlich der SNR-Wert verbessert wird.

Die folgenden Daten und Bilder stammen aus Produktinformationen und Schulungsunterlagen der Firma CompuShack zu Goldline WAVEline Produkten aus den Jahren 2002 und 2003.

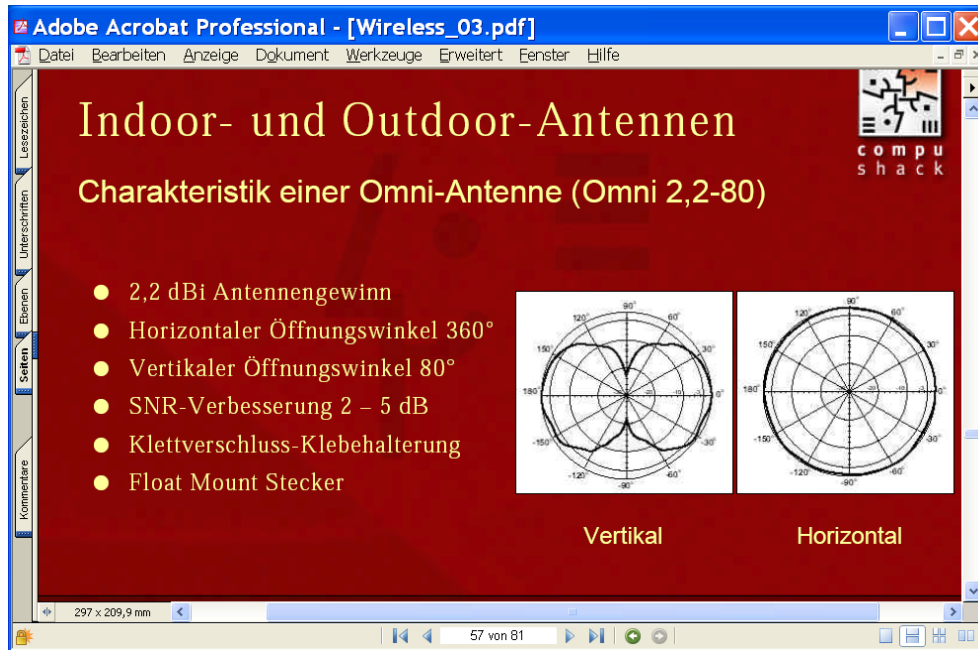


Abb. 4.1: „Omni-Antenne“ 360°

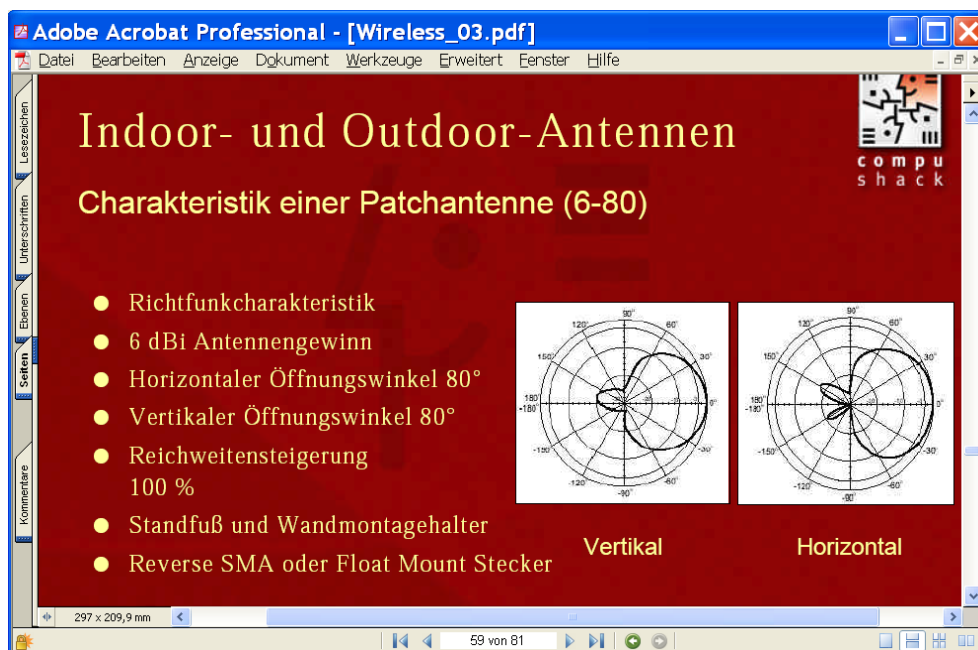


Abb. 4.2: „Patch-Antenne“ 80°

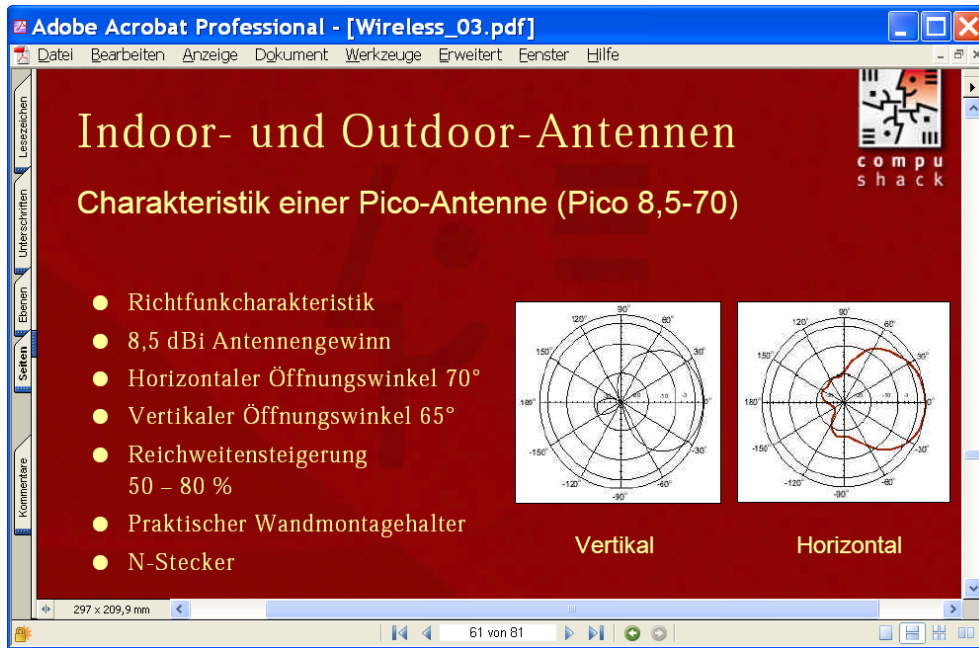


Abb. 4.3: „Pico-Antenne“ 70°

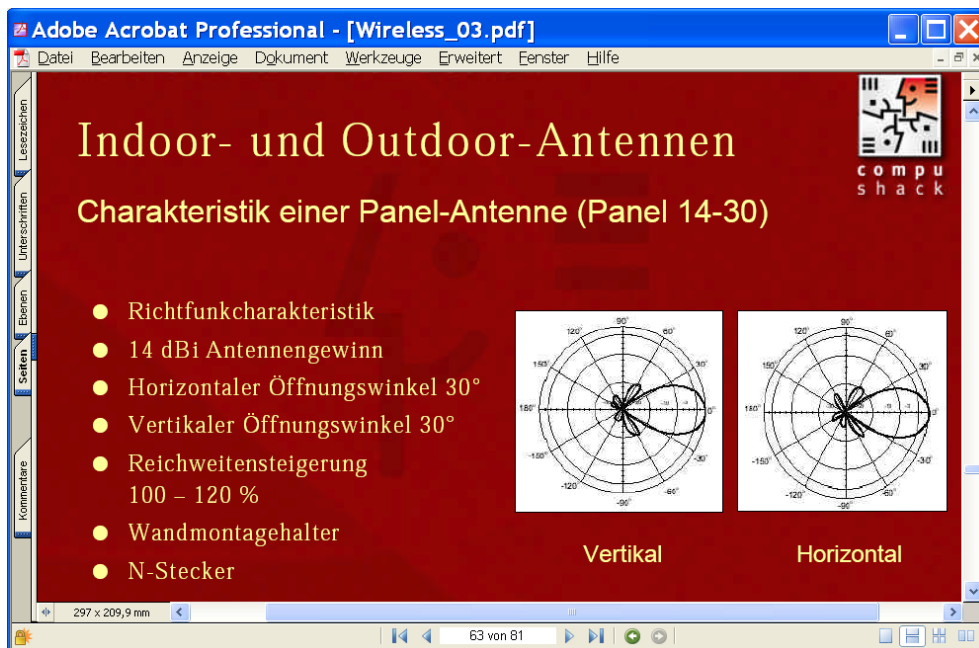


Abb. 4.4: „Panel-Antenne“ 30°

Die folgende Tabelle fasst die Kenndaten der unterschiedlichen beispielhaften Antennentypen zusammen. Sofern in den Produktinformationen Reichweitensteigerungen angegeben sind, werden diese auf der Basis einer angenomme-

nen Bezugs-Reichweite von 300 m (in offenem Gelände) und der Formel aus Kap. 3.5 in SNR-Werte umgerechnet:

$$\text{SNR-Verbesserung} = \text{Reichweitensteigerung} * 300 / 11$$

Bezeichnung	horizontaler Öffnungswinkel (Grad)	Antennengewinn (dBi)	verbesserte Reichweite (%)	verbesserte SNR (dBm)
„Omni-Antenne“	360	2,2	7 - 18	2 - 5
„Patch-Antenne“	80	6	100	27
„Pico-Antenne“	70	8,5	50 - 80	14 - 22
„Panel-Antenne“	30	14	100 - 120	27 - 33

Tabelle 4.1: Kenndaten von Richtantennen

Hinweis:

Die in der Tabelle zusammengestellten SNR-Daten zur Signalverbesserung durch Antennen basieren auf Umrechnungen von Herstellerinformationen zur Steigerung der Reichweite. Diese Zahlen konnten nicht experimentell überprüft werden und sind deshalb mit Vorsicht zu verwenden.

Die Tabelle beschreibt stichwortartig die Eigenschaften und Einsatzgebiete der Antennentypen:

Bezeichnung	Eigenschaften und Einsatzgebiet
„Omni-Antenne“	Rundum-Ausleuchtung, Verbesserung der Reichweite gegenüber einer Einbauantenne, Aufstellung in der Mitte einer Fläche
„Patch-Antenne“	Ausleuchtung nur in eine Richtung, Öffnungsbereich über 160 Grad, bei einem AP mit 16 dBm geeignet für ein Antennenkabel von ca. 4 m, ca. doppelte Reichweite, Aufstellung in der Ecke oder an der Seite einer Fläche
„Pico-Antenne“	gemäßigte Richtwirkung, Öffnungsbereich ca. 120 Grad, bei einem AP mit 16 dBm geeignet für ein Antennenkabel von ca. 9 m,

	ca. 60 % gesteigerte Reichweite, Aufstellung am Rand eines Sektors
„Panel-Antenne“	starke Richtwirkung, Öffnungsbereich in Hauptrichtung 30 Grad, dadurch „Richtfunk“-Charakteristik und verringerte Beeinflussung benachbarter Antennen, bei einem AP mit 16 dBm geeignet für ein Antennenkabel von ca. 20 m, ca. doppelte Reichweite, Nutzung zur gezielten Verbindung mit entfernten Stationen und für Bridging-Verbindungen zu zentralen Access Points

Tabelle 4.2: Eigenschaften und Einsatzgebiete von Richtantennen

Ergebnis:

- Durch Nutzung einer geeigneten Antenne kann die Abstrahlung (und der Empfang) auf einen bestimmten „Ausleuchtungs-Sektor“ konzentriert werden.
- Innerhalb des „Ausleuchtungs-Sektors“ kann die Signal-to-Noise-Ratio (SNR) und damit die Reichweite erheblich verbessert werden.
- Richtantennen mit geringem Öffnungswinkel und hohem SNR-Gewinn in diesem Sektor eignen sich besonders für den Aufbau von zuverlässigen Bridging-Verbindungen innerhalb eines Backbone-Netzes.

5 Bridging, Router, Wireless Distribution System

Unter „Bridging“ oder „Building-to-Building“ versteht man die standardisierte Fähigkeit von Access Points, Daten einer Sendestation, deren Empfänger nicht zum eigenen Funksektor gehört, drahtlos per WLAN-Protokoll an einen benachbarten Access Point weiterzugeben, der die Daten dann an den Empfänger im eigenen Funksektor zustellt oder an den nächsten Access Point weiterleitet.

„Wireless Distribution System“ (WDS) ist ein spezielles, standardisiertes Bridging-Protokoll, mit dem ein Access Point parallel sowohl als „Hotspot“ für die WLAN-Clients in seiner Umgebung arbeitet, als auch mit anderen Access Points in seiner Reichweite automatisch einen Backbone für den Datentransfer zwischen den verschiedenen Funkzellen aufbaut. Alle Access Points

eines „WDS-Clusters“ senden und empfangen dabei typischerweise auf dem gleichen Channel, so dass sie „nach außen“ wie ein einziger leistungsfähiger Access Point funktionieren.

Neben der drahtlosen Verbindung können Access Points auch als Router zu kabelgebundenen LANS (in der Regel Ethernet) fungieren.

Eine Sonderform sind WLAN-DSL-Router, die ein WLAN über ein DSL-Modem mit dem Internet-Zugang eines Providers verbinden.

Die flexiblere Alternative zu einem kompakten WLAN-DSL-Router ist ein Gateway (z.B. ein als Router konfigurierter PC mit 2 Netzwerk-Adaptern), der „auf der einen Seite“ über einen WLAN-Adapter in ein Funksegment eingebunden ist, „auf der anderen Seite“ z.B. mit einem Ethernet-Adapter oder einem ISDN/DSL-Adapter die Verbindung zum Internet herstellt.

WLAN-Bridges verständigen sich automatisch gegenseitig und mit den benachbarten Routern darüber, welche Stationen in ihren Funksektoren oder in ihren LAN-Segmenten erreichbar sind und über welche Kette von Access Points und Routern eine Verbindung zwischen zwei Stationen geleitet werden soll.

Technische Einschränkung:

Es sind **maximal 6 WLAN-Bridges** in einer Übertragungskette zulässig.

Mit Hilfe von Bridging können Backbones sowohl für benachbarte als auch für weit auseinander liegende Funksektoren aufgebaut werden,

So kann z.B. mit Hilfe von 6 WLAN-Bridges in offenem Gelände, geeigneten Richtantennen und einem Abstand der Bridges von 600 m eine Distanz von 3000 m zuzüglich eines Abstrahlradius von z.B. 300 m an beiden Enden der Strecke überbrückt werden.

6 Empfehlungen und Beispiele zur WLAN-Planung

Aus den Messergebnissen (s. Kap. 3) wurden eine Anzahl empirischer Zusammenhänge, Formeln und Kennwerte abgeleitet, die sich sehr gut dazu eignen, eine ingenieurmäßige Rahmenplanung für ein WLAN-Projekt durchzuführen.

Wichtiger Hinweis:

Die Planungsergebnisse sind nur erste Hinweise auf voraussichtlich zweckmäßige Konfigurations-Optionen. Vor einer konkreten Installation müssen die Gegebenheiten vor Ort, z.B. die Ausbreitungsbedingungen der für den Einsatz geplanten Geräte und Antennen oder die tatsächlichen Dämpfungen der realen Hindernisse, z.B. Bewuchs oder Hauswände gemessen werden.

6.1 Planungsmethode

Es wird empfohlen, für die Planung von WLAN-Konfigurationen eine Bilanz der SNR-Daten zu verwenden und das Ergebnis entsprechend den Ergebnissen aus Kap. 3.4 und 3.5 in Reichweiten umzurechnen.

Der Vorteil der Verwendung von SNR (in dBm) besteht u.a. darin, dass es sich hierbei um die Logarithmen von Leistungsdaten handelt, so dass nach den Regeln der Mathematik der Einfluss von Hindernissen durch die Subtraktion der Dämpfungen in dBm und die Wirkung von Richtantennen durch die Addition der realen Antennengewinne in dBm ermittelt werden kann.

Der linearisierte Ansatz für den Zusammenhang von SNR (dBm) und Abstand der Systeme (m) lautet:

$$\text{SNR} = \text{SNR}_0 - \text{DA} * \text{Abstand}$$

SNR (dBm)	nutzbare Signalqualität
SNR ₀ (dBm)	dämpfungsabhängiger Parameter
DA	Dämpfung durch Abstand
Abstand (m)	Abstand der WLAN-Systeme

Der dämpfungsabhängige Parameter SNR₀ (dBm) wird dabei als die Summe aus einem geräteabhängigen Basiswert abzüglich der Summe der Dämpfungen der Hindernisse im Übertragungsweg, zuzüglich dem Gewinn aus Richtantennen berechnet:

$$\text{SNR}_0 \text{ (dBm)} = \text{SNR}_{00} - \text{Sum}(\text{SNR}_{\text{Dämpfungen}}) + \text{Sum}(\text{SNR}_{\text{Antennengewinn}})$$

Aus den Messungen wurden folgende „Konstanten“ bestimmt:

SNR ₀₀ (dBm)	Basiswert ohne Dämpfung etc. Messwert: 52 dBm empfohlener Rechenwert: 50 dBm
DA	Messwert: 52/570 empfohlener Rechenwert: 1/11

Die konkreten Werte für die Dämpfung $SNR_{Dämpfungen}$ (dBm) bestimmter Hindernisse und die Gewinne $SNR_{Antennengewinn}$ (dBm) bestimmter Antennentypen wurden gemessen oder aus Hersteller-Spezifikationen abgeleitet (s. Kap. 3.6 und 4).

Der zu einem Grenzwert SNR_{Grenz} gehörende (maximale) Abstand ist dann:

$$\text{Abstand} = (SNR_0 - SNR_{Grenz}) / DA$$

SNR_{Grenz} Mindest-Signalqualität,
empfohlener Rechenwert: **20 dBm**

Das ergibt mit den empfohlenen Zahlen:

$$\text{Abstand} = (SNR_0 - 20) * 11$$

Für die SNR-Bilanz und die Abstandberechnung kann nach folgendem Schema vorgegangen werden:

Schritt	Beschreibung	Wert (dBm)	Ergebnis
1.	Basiswert SNR_{00} (abhängig von den Geräteeigenschaften)	50	
2.	Summe der Dämpfungen subtrahieren, z.B.: 1 Betonwand 2 Ziegelwände (je 24 cm)	- 15 - 16	
3.	Summe der Antennenwirkung addieren, z.B.: 1 „Panel-Antenne“	+ 27	
4.	Bilanz: $SNR_0 =$	46	
5.	Abstand = $(SNR_0 - 20) * 11$		286 m

6.2 Beispiel 1: Freigelände mit Bungalows

Aufgabe:

Ein parkähnliches Gelände, 800 x 500 m, besetzt mit Fertigbau-Bungalows (Betonwände), soll flächendeckend mit WLAN versorgt werden.

Von einem Verwaltungsgebäude in der unteren rechten Ecke des Geländes aus soll per Gateway das WLAN verwaltet und der Übergang in das Internet geschaltet werden.

Lösungsansatz:

Access Points mit Patch-Antennen werden auf Masten so positioniert, dass einerseits alle Bungalows unter Berücksichtigung der Dämpfung durch Hindernisse versorgt werden, andererseits die Access Points im Bridging-Modus einen Backbone bilden. Der Gateway wird als Station in einem Funksektor konfiguriert, er übernimmt auch die Adressvergabe (DHCP) und den Name-service (DNS).

Berechnung der maximalen Abstände:

1. Abstand Access Point - Endgerät

Schritt	Beschreibung	Wert (dBm)	Ergebnis
1.	Basiswert SNR ₀₀	50	
2.	Summe der Dämpfungen subtrahieren: 1 Betonwand 1 Baumkronen, Gebüsch	- 15 - 15	
3.	Summe der Antennenwirkung addieren: 1 „Panel-Antenne“	+ 27	
4.	Bilanz: SNR ₀ =	47	
5.	Abstand = (SNR ₀ - 20) * 11		297 m

2. Abstand Access Point - Access Point

Schritt	Beschreibung	Wert (dBm)	Ergebnis
1.	Basiswert SNR ₀₀	50	
2.	Summe der Dämpfungen subtrahieren,	0	
3.	Summe der Antennenwirkung addieren, z.B.: 1 „Panel-Antenne“	+ 27	
4.	Bilanz: SNR ₀ =	77	
5.	Abstand = (SNR ₀ - 20) * 11		627 m

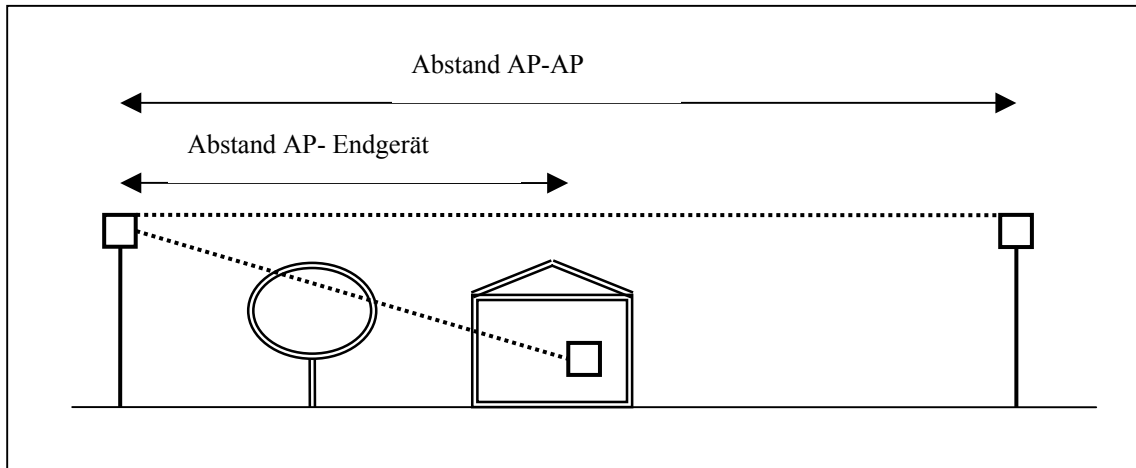
Ergebnis:

- Unter der Voraussetzung, dass der Signalweg zwischen Access Points und Endgeräten durch nicht mehr als eine Hauswand und eine Baumkronen behindert wird, kann bei Verwendung von Patch-Antennen an

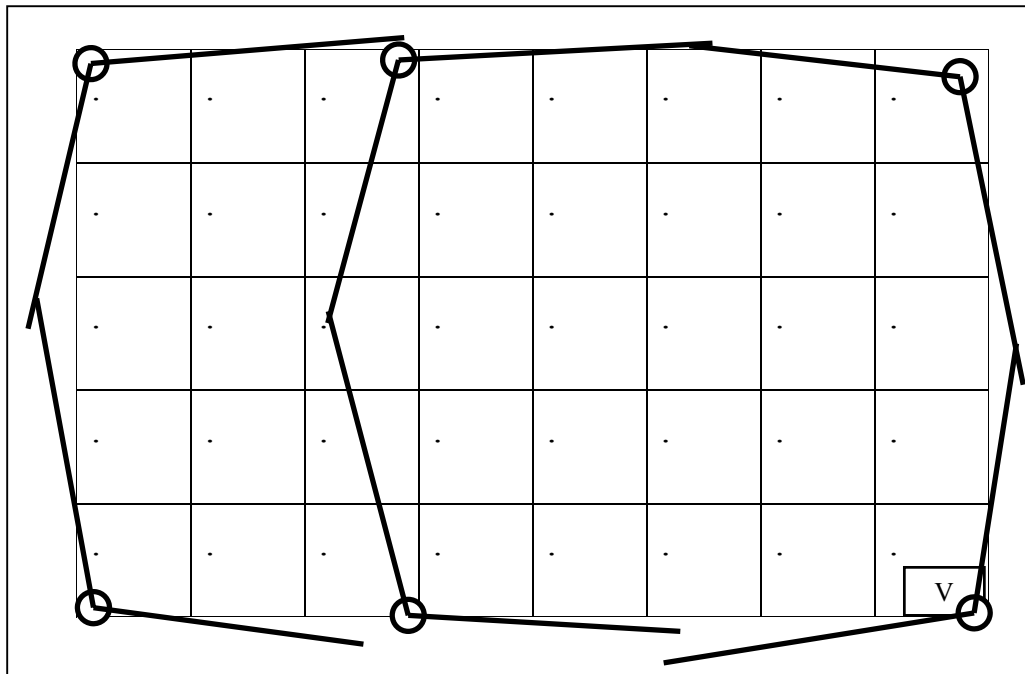
den Access Points mit einem Radius der Funksektoren von ca. 250 - 300 m gerechnet werden.

- Unter der Voraussetzung, dass die Access Points freie Sichtverbindung untereinander haben und bei Verwendung von Patch-Antennen, ist zur Sicherstellung der Bridging-Kommunikation zwischen den Access Points ein Abstand ca. 600 m zulässig.

Skizze 1:



Skizze 2:



Die Skizze 2 zeigt eine Lösung mit 6 Access Points und Patch-Antennen (Ausleuchtungswinkel ca. 120°), die in den Ecken des Geländes (davon einer auf dem Verwaltungsgebäude) und an der Längsseite aufgestellt werden.

Unter Berücksichtigung der maximalen Reichweite in der Vorzugsrichtung der Antennen wäre das Gelände damit voraussichtlich zufriedenstellend ausgeleuchtet. Die Abstände der Access Points untereinander reichen aus, um ein zuverlässiges Bridging sicherzustellen.

6.3 Beispiel 2: Gebäude mit mehreren Stockwerken

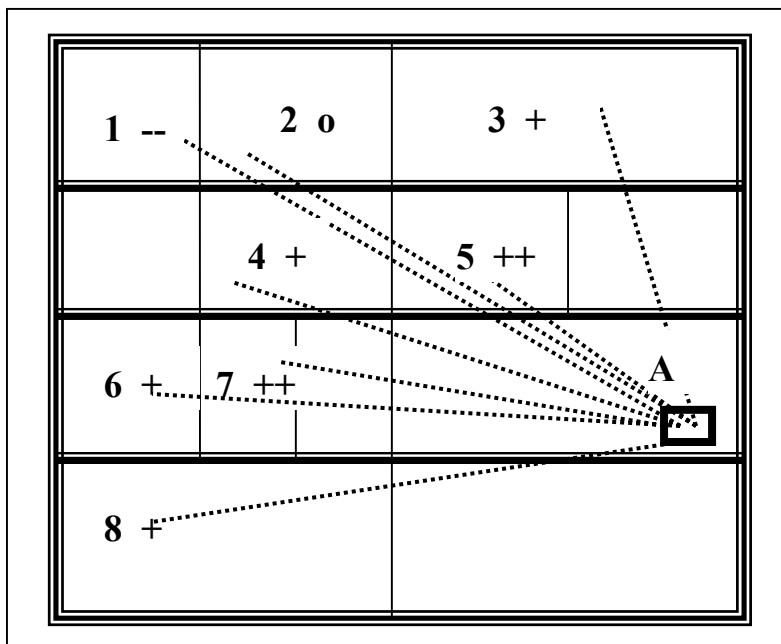
Aufgabe:

In einen mehrstöckigen Gebäude (s. Skizze 3, Decken aus Beton, Trennwände aus Ziegelmauern) soll überprüft werden, welche Räume (1 - 8) bei Aufstellung eines Access Points in einem bestimmten Raum (AP) ohne zusätzliche Richtantennen ausreichend ausgeleuchtet werden.

Lösungsansatz:

Die Dämpfungs-Summen für die einzelnen Räume werden tabellarisch erfasst.

Skizze 3:



Dämpfungswerte:

Betondecke: - 15 dBm / Decke

Ziegelwand: - 8 dBm / Wand

Bewertung der Signalstärke (Ergebnis):

> 30 dBm sehr gut ++

20 - 30 dBm gut +

10 - 20 dBm ausreichend o

5 - 10 dBm sehr schwach -

< 5 dBm unzureichend --

Dämpfungs-Summen der einzelnen Räume

Schritt	Beschreibung	Wert (dBm)	Ergebnis (dBm)	Bewertung
1.	Basiswert SNR ₀₀	50		
2.	Summe der Dämpfungen:			
	Raum 1: 2 Betondecken 2 Ziegelwände	- 30 - 16	4	unzureichend --
	Raum 2: 2 Betondecken 1 Ziegelwand	- 30 - 8	12	ausreichend o
	Raum 3: 2 Betondecken	- 30	20	gut +
	Raum 4: 1 Betondecke 1 Ziegelwand	- 15 - 8	27	gut +
	Raum 5: 1 Betondecke	- 15	35	sehr gut ++
	Raum 6: 3 Ziegelwände	- 24	26	gut +
	Raum 7: 2 Ziegelwände	- 16	34	sehr gut ++
	Raum 8: 1 Betondecke 1 Ziegelwand	- 15 - 8	27	gut +

Ergebnis:

- Die Bewertungen wurden in Skizze 3 hinter den Raumnummern eingetragen und zeigen - wie nicht anders zu erwarten - die Problematik

diagonaler Signalausbreitung in mehrstöckigen Gebäuden über viele Wände und Decken.

- Der Einfluss der Luftlinien-Distanzen zwischen den Stationen in einem Gebäude (s. Kap. 3.5, rund 1 dBm pro 10 m) sind gegenüber den Dämpfungen durch Wände etc. in der Regel vernachlässigbar.

7 Zusammenfassung

In der vorliegenden Studie wird auf der Grundlage umfangreicher Messungen ein vereinfachendes Verfahren zur Planung von WLAN-Konfigurationen vorgeschlagen.

Die Messungen mit handelsüblichen WLAN-Produkten (802.11b/g, 2,4 GHz, 11 MBit/s / 54 MBit/s) ergaben einen (für Planungszwecke ausreichend exakten) linearen Zusammenhang zwischen der Nutzsignal-Stärke - gemessen in Signal-to-Noise-Ratio SNR (dBm) - und dem Abstand zwischen den Systemen.

Für die Planung von WLAN-Konfigurationen kann folgende, aus den Messergebnissen abgeleitete Formel verwendet werden:

$$\text{SNR} = \text{SNR}_0 - \text{Abstand} / 11$$

SNR (dBm)	nutzbare Signalqualität
SNR ₀ (dBm)	dämpfungsabhängiger Parameter
Abstand (m)	Abstand der WLAN-Systeme

Der Parameter SNR₀ (dBm) ist dabei die Summe aus einem gemessenen Basiswert, den Dämpfungswerten der Hindernisse im Übertragungsweg und den Verstärkungswerten von Antennen.

Für einige typische Übertragungshindernisse im Innen- und Außenbereich (Betondecken, Ziegelwände, Gebüsch und Baumkronen) wurden die Dämpfungswerte gemessen und tabellarisch erfasst.

Die Verstärkungswerte unterschiedlicher Antennentypen wurden aus Hersteller-Spezifikationen abgeleitet und berechnet, konnten aber noch nicht experimentell überprüft werden.

Ebenfalls gemessen wurden die Grenzwerte zuverlässiger Datenübertragung, insbesondere die Mindest-Signalqualität für eine sichere Übertragung des Standards 802.11b mit 11 Mbit/s. Es wird empfohlen, hierfür bei Planungen den Wert

$$\text{SNR}_{\text{Grenz}} = 20 \text{ dBm}$$

anzusetzen.

Mit den vorgelegten Messwerten und Verfahrensvorschlägen lassen sich auch für komplexe Situationen Empfehlungen zu WLAN-Konfigurationen entwickeln, die allerdings (selbstverständlich) unter den konkreten lokalen Gegebenheiten messtechnisch überprüft werden müssen.

8 Haftungsausschluss und Kontakt

Irren ist menschlich, daher muss folgendes gesagt werden:

Die in dieser Studie vorgelegten Messwerte und Ableitungen wurden mit größter Sorgfalt erhoben, analysiert und ausgewertet. Dennoch ist es möglich, dass bei den Messungen, den Berechnungen oder den theoretischen Überlegungen Fehler gemacht worden sind.

Der Autor weist ausdrücklich darauf hin, dass insbesondere Messungen erheblich von den Randbedingungen und der Gerätetechnik abhängen. Er hofft dennoch, mit den vorgelegten Messreihen und den daraus abgeleiteten Verfahrensvorschlägen einen nützlichen Beitrag zur vereinfachten Planung und Beurteilung von WLAN-Konfigurationen leisten zu können, erwartet aber von möglichen Nutzern dieser Unterlagen, dass die konkreten Ergebnisse vor Ort messtechnisch überprüft werden.

Der Autor übernimmt die volle inhaltliche Verantwortung für diese Studie, muss aber jeden Haftungsanspruch aus Schäden, die möglicherweise durch die Verwendung von Daten oder Vorschlägen aus dieser Studie entstehen, ablehnen.

Sollten Leser bei der Reproduktion der Messungen oder der Überprüfung der Ableitungen zu abweichenden Ergebnissen kommen, so wäre der Autor für eine Rückmeldung sehr dankbar, um ggf. gemeinsam nach den Ursachen von Differenzen suchen zu können.

Ebenfalls stark interessiert ist der Autor an Informationen über zusätzliche Daten und Messungen, u.a. zu Dämpfungswerten diverser Hindernisse, der Wirkung von Antennen sowie zusätzliche Erkenntnisse über Unterschiede bei den Ausbreitungsbedingungen der Standards 802.11g / b.

Falls der geneigte Leser Hinweise oder Fragen zum Inhalt dieser Studie hat, oder wenn er Rat zu einem eigenen WLAN-Projekt benötigt, bitten wir um formlose Kontaktaufnahme (Adresse siehe Impressum).