

## 9 Praktische WLAN-Umsetzung

Bei der Umsetzung eines WLANs ist eine solide und fachlich kompetente Planung das A und O: Ein WLAN, das wild vor sich hinwuchert, bei dem ein weiterer Access Point einfach dazugestöpselt wird, wird in der Praxis nie die optimale Performance und Zuverlässigkeit bieten. Was bei einem Heimnetzwerk mit einem Access Point noch problemlos funktionieren mag, bereitet bei der Umsetzung eines großflächigen WLANs sicherlich Probleme. Werden hierbei die Grundsätze der Nachrichtentechnik nicht eingehalten und die physikalischen Einflüsse, die die elektromagnetischen Wellen bei ihrer Ausbreitung erfahren, nicht berücksichtigt, sind Fehler und sogar massive Datenverluste nicht auszuschließen. Aber selbst ein erfahrener Netzwerker tut sich schon mal schwer, wenn es darum geht, die vorhandenen und jahrelang aufgebauten Betrachtungsweisen auf die drahtlose Datenübertragung anzupassen. Ein Umdenken in Bezug auf die erzielbare Reichweite und den Datendurchsatz sind im WLAN-Bereich vornehmlich gefordert. Das folgende Kapitel soll Licht ins Dunkel bringen und aufzeigen, was ein WLAN wirklich leisten kann. In diesem Zusammenhang geht dieses Kapitel schwerpunktmäßig auf Reichweitenbetrachtung, Funkausleuchtung, Performance-Betrachtung und die richtige Standortbestimmung von Access Points ein. Des Weiteren werden Einstellparameter von WLAN-Komponenten betrachtet.

### 9.1 Reichweitenbetrachtungen

Im WLAN-Bereich ist die erzielbare Distanz entscheidend, die zwischen den kommunizierenden Stationen vorhanden sein darf, damit noch eine fehlerfreie Datenübertragung gewährleistet werden kann. Die maximale Reichweite erzielt man bei einer Quasi-Sichtverbindung, die vorliegt, wenn keine Hindernisse zwischen den Verbindungspartnern stehen. Um die Reichweiten in Abhängigkeit von der Umgebung

*Reichweitenabschätzung*

in etwa abschätzen zu können, hat man bestimmte Richtwerte veröffentlicht. Es gibt Richtwerte, mit denen man die Hindernisse zwischen den Stationen bezüglich ihrer Dämpfung beurteilen kann. So hat beispielsweise Stahl eine sehr hohe Dämpfung, während Holz eine geringe Dämpfung aufweist. Außerdem gibt es Klassifizierungen für die Umgebung. Je nachdem, welche Materialien sich zwischen den Stationen befinden, werden die Umgebungen zwischen flach und offen, halb offen und geschlossen klassifiziert. Befindet sich kein Hindernis zwischen dem Sender und dem Empfänger, so liegt eine flache und offene Umgebung vor. Das sind zum Beispiel Freigelände, größere Hallen in Flughäfen oder Messehallen. Befinden sich hingegen Materialien mit geringer oder mittlerer Dämpfung zwischen Sender und Empfänger, wobei die Möglichkeit besteht, dass in direkte Ausbreitungswege für die elektromagnetischen Wellen über Reflexionen entstehen, so spricht man von einer halb offenen Umgebung. Dazu gehören Großraumbüros, Korridore oder Räume mit Trennwänden. Befinden sich Hindernisse mit hoher Dämpfung zwischen dem Sender und dem Empfänger, so liegt eine geschlossene Umgebung vor. Ein Gewerbegebäude mit massiven Wänden oder ein Privathaus sind Beispiele für eine geschlossene Umgebung.

Die Tabelle 9–1 zeigt Richtwerte für die erzielbaren Reichweiten in Abhängigkeit von der Datenrate im Bereich von 1 bis 11 MBit/s auf.

**Tab. 9–1**  
Erzielbare Reichweiten  
ohne spezielle  
Zusatzantenne

Datenrate	Reichweite in Abhängigkeit von der Umgebung		
	Flach und offen	Halb offen	Geschlossen
11 MBit/s	160 m	50 m	25 m
5,5 MBit/s	270 m	70 m	35 m
2 MBit/s	400 m	90 m	40 m
1 MBit/s	550 m	115 m	50 m

Wie anhand der Tabelle 9–1 ersichtlich wird, ist die erzielbare Distanz einerseits von der Datenrate und andererseits von der Umgebung abhängig, wobei die Umgebung jedoch einen größeren Einfluss hat. Demnach ist es bei der Planung wichtig, die Umgebung zu berücksichtigen. Sie lässt sich durch eine Aufstellung der Hindernisse und eine Analyse der verwendeten Materialien bestimmen. In der Tabelle 9–2 sind typische Dämpfungseigenschaften aufgeführt.

Material	Dämpfung	Beispiel
Gips	Gering	Zwischenwände
Holz	Gering	Möbel, Decken in alten Gebäuden, Zwischenwände
Glas	Gering	Fensterscheiben
Mauersteine	Mittel	Wände
Wasser	Mittel	Aquarien, feuchte Materialien
Beton	Hoch	Außenwände
Metall	Sehr hoch	Stahlbetonkonstruktionen, Aufzugschächte

**Tab. 9-2**

Dämpfungseigenschaften  
verschiedener Materialien

### 9.1.1 Detaillierte Reichweitenbetrachtung

Für die detaillierte Reichweitenbetrachtung im Freigelände ist die Datenrate maßgeblich. Je höher die Datenrate, desto geringer ist die erzielbare Reichweite. Dies liegt in der Tatsache begründet, dass mit steigender Datenrate das Signal am Empfänger größer sein muss, damit es vom Empfänger noch fehlerfrei interpretiert werden kann. Ursache hierfür ist die Empfängerempfindlichkeit, die durch die verwendeten Modulations- und Kodierungsverfahren mit zunehmender Datenrate sinkt. Die maximal erzielbare Reichweite ist überschritten, sobald das Signal am Empfänger die zur Datenrate gehörende Empfängerempfindlichkeit unterschreitet. Der 802.11-Standard empfiehlt bestimmte Werte für die Empfängerempfindlichkeit, wie sie in Kapitel 3 und 5 dargestellt wurden. Tabelle 9-3 zeigt hingegen typische Empfängerempfindlichkeiten, wie sie in heutigen WLAN-Komponenten, abhängig von der Datenrate (MCS), der verwendeten Trägerfrequenz und Kanalbandbreite, vorzufinden sind.

Detaillierte

Reichweitenbetrachtung

Datenrate	Übertragungsverfahren	Typ. 2,4-GHz-Empfängerempfindlichkeit	Typ. Empfängerempfindlichkeit in den 5-GHz-Bereichen		
			Kein HT 802.11a	HT-20 802.11n	HT-40 802.11n
		<b>2,4 GHz 802.11b/g/HT-20 802.11n</b>			
1 MBit/s	DSSS	-101 dBm	-	-	-
2 MBit/s	DSSS	-98 dBm	-	-	-
5,5 MBit/s	DSSS/CCK	-92 dBm	-	-	-
11 MBit/s	DSSS/CCK	-89 dBm	-	-	-
6 MBit/s	OFDM	-91 dBm	-90 dBm	-	-
9 MBit/s	OFDM	-91 dBm	-90 dBm	-	- →

**Tab. 9-3**

Typische Empfängerempfindlichkeiten in Abhängigkeit von der Datenrate (MCS), Trägerfrequenz und Kanalbandbreite (Quelle: Cisco)

Datenrate	Übertragungsverfahren	Typ. 2,4-GHz-Empfängerempfindlichkeit	Typ. Empfängerempfindlichkeit in den 5-GHz-Bereichen		
			Kein HT 802.11a	HT-20 802.11n	HT-40 802.11n
		<b>2,4 GHz 802.11b/g/HT-20 802.11n</b>			
12 MBit/s	OFDM	-91 dBm	-90 dBm	-	-
18 MBit/s	OFDM	-90 dBm	-89 dBm	-	-
24 MBit/s	OFDM	-87 dBm	-86 dBm	-	-
36 MBit/s	OFDM	-85 dBm	-83 dBm	-	-
48 MBit/s	OFDM	-80 dBm	-78 dBm	-	-
54 MBit/s	OFDM	-79 dBm	-77 dBm	-	-
6,5/15 MBit/s <sup>a</sup>	OFDM, MCS 0	-90 dBm	-	-91 dBm	-88 dBm
65/150 MBit/s <sup>a</sup>	OFDM, MCS 7	-77 dBm	-	-75 dBm	-72 dBm
130/300 MBit/s <sup>a</sup>	OFDM, MCS 15	-75 dBm	-	-73 dBm	-70 dBm
195/450 MBit/s <sup>a</sup>	OFDM, MCS 23	-74 dBm	-	-72 dBm	-68 dBm

- a Erster Wert bezieht sich auf HT-20 mit langem Guard-Intervall (800 ns) und zweiter Wert bezieht sich auf HT-40 mit kurzem Guard-Intervall (400 ns).

Die in Tabelle 9–3 dargestellten Werte sind größtenteils etwas besser als die im 802.11-Standard geforderten Mindestwerte, da die WLAN-Chipsätze stetig weiterentwickelt und optimiert wurden. Für die Reichweitenermittlung kann man die jeweiligen Empfängerempfindlichkeiten der Sendeleistung gegenüberstellen. Daraus ergibt sich ein gewisses Leistungsbudget. Ist das vorhandene Leistungsbudget größer als die Dämpfung, die die elektromagnetischen Wellen während ihrer Ausbreitung erfahren, kann man davon ausgehen, dass die Distanz überbrückt werden kann und eine fehlerfreie Datenübertragung möglich ist. Natürlich ist nicht nur die Dämpfung für die Reichweitenbestimmung entscheidend. Auch andere Einflüsse, wie beispielsweise das Multipath-Problem, können ebenfalls die erzielbare Distanz beeinflussen. Jedoch kann man in der Praxis anhand des Leistungsbudgets eine grobe Kalkulation für die erzielbare Reichweite durchführen. Hierdurch ergeben sich maximal erzielbare Reichweiten bei idealen Bedingungen, die somit einen ersten Überblick vermitteln, was in der Praxis realisierbar ist.

Wenn es um die Reichweitenbetrachtung geht, wird im WLAN-Bereich zur Zeit die 2,4-GHz- versus 5-GHz-Lösung heftigst diskutiert und in ihrer Leistungsfähigkeit gegenübergestellt. Dies ist auch berechtigt, denn ein Grundsatz aus der Nachrichtentechnik besagt, dass je höher die genutzte Frequenz ist, desto höher ist die Dämpfung, die elektromagnetischen Wellen erfahren und, daraus resultierend, umso geringer die erzielbare Distanz. Berücksichtigt man diesen Grundsatz, könnte man allerdings zum Trugschluss kommen, dass 2,4 GHz in etwa die Hälfte von 5 GHz ist und somit bei der Reichweitenbetrachtung einfach der Faktor 1/2 berücksichtigt werden muss. In Abschnitt 7.4.4 wurde dargestellt, dass im 5-GHz-Frequenzband 7 dB mehr Sendeleistung benötigt wird als im 2,4-GHz-Band, um im Freiraum dieselbe Distanz zu erzielen. 7 dB entspricht einem Leistungsfaktor von 5. Daran sieht man bereits, dass der Faktor 1/2 bei der Reichweitenbetrachtung zwischen dem 2,4-GHz- und 5-GHz-Band generell nicht angewendet werden kann. Die Abweichung wird umso dramatischer, wenn zwischen den kommunizierenden Komponenten noch Hindernisse vorhanden sind, die eine zusätzliche Dämpfung hervorrufen, da die Dämpfung der Hindernisse von der Frequenz abhängig ist, jedoch nicht mit der Frequenz linear ansteigt.

*2,4 GHz versus 5 GHz*

### 9.1.2 Reichweitenberechnung

Die einfachste Reichweitenbetrachtung kann durchgeführt werden, wenn zwischen den kommunizierenden WLAN-Komponenten keine Hindernisse vorhanden sind und man deshalb die Freiraumdämpfung zugrunde legen kann. Wie in Abschnitt 7.5.4 dargestellt, errechnet sich die Freiraumdämpfung aus der Formel  $A_F = 20 \log(4 \pi d / \lambda)$  [dB], wobei  $\lambda$  die Wellenlänge entspricht, die sich über die Formel  $\lambda = c/f$  errechnen lässt. Im ersten Schritt muss das Leistungsbudget abhängig von der Datenrate ermittelt werden, wozu von der jeweiligen Sendeleistung die jeweilige Empfängerempfindlichkeit einfach abgezogen wird. Hierbei berücksichtigt man in der Praxis noch eine Leistungsreserve von 10 dB, die ebenfalls vom ermittelten Leistungsbudget abgezogen wird. Für die WLAN-Komponenten im 2,4-GHz- und 5-GHz-Frequenzband gibt es typische Sendeleistungen, die an die gesetzlichen Grenzwerte (EIRP) angelehnt sind. Dabei muss im 5-GHz-Band noch berücksichtigt werden, ob von den Komponenten TPC und DFS unterstützt werden. Tabelle 9-4 fasst die unterschiedlichen Sendeleistungen zusammen.

*Reichweitenberechnung*

Tab. 9-4

Sendeleistungen im  
2,4-GHz- und 5-GHz-Band

Frequenzband	Zulässige Sendeleistung	Typische Sendeleistung
2,4 GHz	20 dBm	14 bis 15 dBm
5,15 bis 5,25 GHz	14,7 dBm ohne TPC/DFS	14,7 dBm
5,15 bis 5,25 GHz	17,7 dBm mit TPC ohne DFS	17,7 dBm
5,15 bis 5,25 GHz	23 dBm mit TPC/DFS	17 dBm <sup>a</sup>
5,25 bis 5,35 GHz	23 dBm mit TPC/DFS	17 dBm <sup>a</sup>
5,47 bis 5,725 GHz	30 dBm mit TPC/DFS	24 dBm <sup>a</sup>

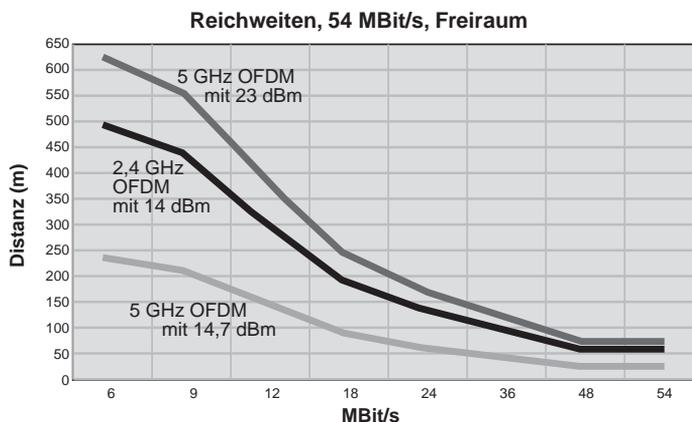
a. Wegen der 6-dB-Dynamik von TPC Reduzierung um 6 dB

#### Leistungsbudget

Das Leistungsbudget lässt sich nun ermitteln, wenn man die Sendeleistung aus Tabelle 9-4 und die Empfängerempfindlichkeit aus Tabelle 9-3 entnimmt. So ergibt sich beispielsweise bei den heutigen 5-GHz-Komponenten, die kein TPC und DFS unterstützen, bei der Datenrate von 54 MBit/s ein Leistungsbudget von 76,7 dB (14,7 dBm - (-72 dBm) - 10 dB). Nachdem das Leistungsbudget ermittelt ist, muss die Formel für die Freiraumdämpfung auf die Distanz umgestellt werden, um die erzielbare Distanz ermitteln zu können. Für die Beispielbetrachtung ergibt sich daraus eine maximal erzielbare Distanz von 30 m ( $10^{76,7/20} \times 5,51 \text{ cm}/4 \times \pi$ ). Demnach kann also, wenn keine Hindernisse zwischen den heutigen 5-GHz-Komponenten vorhanden sind, eine maximale Distanz von zirka 30 m erzielt werden. Als Vergleich sind in Abbildung 9-1 erzielbare Distanzen dargestellt, die bei der Datenrate von 6 bis 54 MBit/s mit 2,4-GHz-Komponenten, 5-GHz-Komponenten ohne TPC/DFS und 5-GHz-Komponenten mit TPC/DFS erzielt werden können.

Abb. 9-1

Erzielbare Reichweiten bei  
Freiraumdämpfung



Aus dem Diagramm geht hervor, dass die 5-GHz-Komponenten ohne TPC/DFS etwa 30 m, 5-GHz-Komponenten mit TPC/DFS etwa 75 m und 2,4-GHz-Komponenten zirka 60 m im Freigelände erzielen können, falls keine speziellen Antennen verwendet werden. Diese Aussagen sind natürlich für die Praxis nicht unbedingt geeignet, da man ja nicht nur außerhalb geschlossener Räume, sondern auch innerhalb geschlossener Räume, ein WLAN betreiben möchte. Hierbei müssen die Dämpfungen mit in das Leistungsbudget eingerechnet werden, die durch die Hindernisse, wie beispielsweise Wände, hervorgerufen werden. Tabelle 9–5 zeigt typische Dämpfungswerte für verschiedene Baumaterialien, in Abhängigkeit der Frequenz.

Material	2,4-GHz-Dämpfung	5-GHz-Dämpfung
Hochlochziegel 11,5 cm	≈ 7 dB	≈ 10 dB
Leichtbeton 11,5 cm	≈ 12 dB	≈ 19 dB
Lehmstein 11,5 cm	≈ 22 dB	≈ 36 dB
Kalksandstein 24 cm	≈ 9,5 dB	≈ 23 dB
Leichtbeton 30 cm	≈ 26 dB	≈ 35 dB
Stahlbeton 16 cm	≈ 20 dB	≈ 32 dB
Hochlochziegel 36 cm	≈ 26 dB	≈ 50 dB
Tondachziegel 1,3 cm	≈ 3 dB	≈ 8 dB
2-fache Wärmeschutzverglasung	≈ 33 dB	≈ 27 dB

**Tab. 9–5**

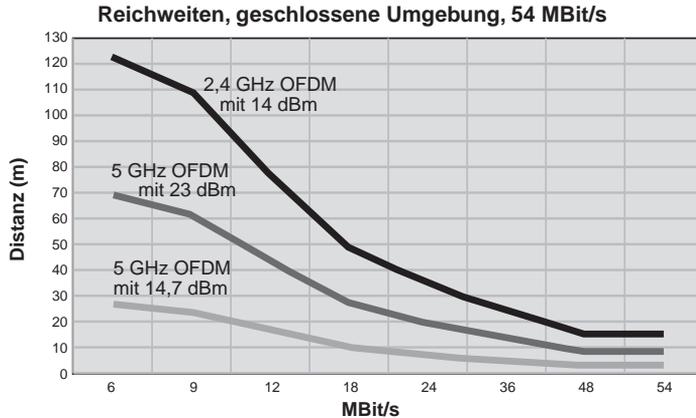
Typische  
Dämpfungswerte  
von Baumaterialien

Die Tabelle 9–5 zeigt deutlich, dass es keinen linearen Zusammenhang zwischen der auftretenden Materialdämpfung und der Frequenz gibt. Betrachtet man beispielsweise Hochlochziegel, so ergibt sich zwar zwischen 2,4 GHz und 5 GHz ein Unterschied von 3 dB, was dem Faktor 2 entspricht, aber bei Stahlbeton mit 16 cm Dicke liegt der Unterschied bereits bei 12 dB, was dem 16-fachen Dämpfungswert entspricht. Bei den dargestellten Dämpfungswerten muss man zudem berücksichtigen, dass beispielsweise Feuchtigkeit die Werte drastisch nach oben verändern kann. Zudem muss Glas sehr unterschiedlich betrachtet werden. Normales Glas ruft in der Regel geringe Dämpfungen von etwa 0,5 dB hervor, wohingegen Sicherheitsglas mit Metallgeflecht oder Glas mit einer metallisierten Sonnenschutzfolie hohe Dämpfungswerte von über 30 dB hervorrufen können.

Rechnet man das zuvor dargestellte Beispiel nochmals durch und berücksichtigt hierbei eine Leichtbetonwand mit einer Dicke von 11,5 cm, die bei 2,4 GHz eine Dämpfung von 12 dB und bei 5 GHz eine Dämpfung von 19 dB hervorruft, so ergeben sich die maximalen Distanzen wie in Abbildung 9–2 dargestellt.

Abb. 9-2

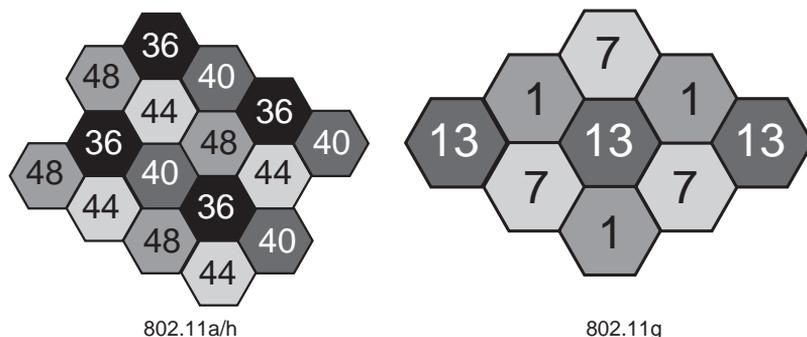
Erzielbare Distanz  
innerhalb einer  
geschlossenen Umgebung



#### Infrastrukturkosten

Aus dem Diagramm lässt sich entnehmen, dass die 5-GHz-Komponenten ohne TPC/DFS 3 bis 4 m, 5-GHz-Komponenten mit TPC/DFS etwa 10 m und 2,4-GHz-Komponenten etwa 16 m innerhalb geschlossener Umgebungen erzielen können. Dieses Beispiel zeigt deutlich, dass innerhalb geschlossener Gebäude die 2,4-GHz-Lösung vorteilhafter ist, während bei den 5-GHz-Komponenten die 802.11h-Erweiterung notwendig ist, um überhaupt brauchbare Distanzen erzielen zu können. Die erzielbaren Distanzen machen sich natürlich auch bei den Infrastrukturkosten bemerkbar. Je geringer die Distanz, desto kleiner ist die Ausdehnung der Funkzellen und umso mehr Funkzellen werden für die Versorgung einer bestimmten Fläche benötigt. Da die Anzahl der Funkzellen gleichbedeutend mit der Anzahl von Access Points ist, schlägt sich dies direkt in den Infrastrukturkosten nieder. Werden zwischen einer 802.11b- und 802.11g-Lösung etwa doppelt so viele Access Points benötigt, so liegt zwischen der 802.11g- und 802.11a/h-Lösungen nochmals der Faktor 2 bis 4. Der Vorteil ist im 5-GHz-Band die Tatsache, dass mehr Kanäle zur Verfügung stehen als im 2,4-GHz-Band. Deshalb erweist sich im 5-GHz-Band die Kanalwahl als weitaus unkritischer im Gegensatz zum 2,4-GHz-Band – das Problem der gegenseitigen Beeinflussung von Funkzellen, die auf denselben Kanälen arbeiten, liegt quasi nicht vor. Abbildung 9-3 zeigt als Vergleich die flächendeckende Versorgung über eine 802.11g- und 802.11a/h-Lösung.

Im 5-GHz-Frequenzband hat man natürlich einen Performance-Vorteil, wenn man von einer bestimmten Dichte von WLAN-Stationen ausgeht. Da die 5-GHz-Funkzellen in der räumlichen Ausdehnung kleiner sind befinden sich weniger WLAN-Stationen in einer Funkzelle. Eine Funkzelle stellt immer ein Shared-Media dar, wobei sich die vorhandene Bandbreite auf die Anzahl der WLAN-Stationen aufteilt.

**Abb. 9-3**

Flächendeckende

Versorgung über 802.11g-  
und 802.11a/h-Lösungen

Befinden sich in der 5-GHz-Funkzelle weniger WLAN-Stationen als in der 2,4-GHz-Funkzelle, steht jeder WLAN-Station auch mehr Bandbreite zur Verfügung.

Bedingt durch die höheren Infrastrukturkosten, waren in der Vergangenheit jedoch in Deutschland die 5-GHz-Lösungen weniger verbreitet. Dies ändert sich zunehmend durch die Einführung von 802.11n, denn eine Nutzung von 40-MHz-Kanälen ist nur im 5-GHz-Frequenzband sinnvoll anwendbar. Dies wird deutlich, wenn man die Anzahl der verfügbaren 40-MHz-Kanäle vergleicht, die im 5-GHz-Bereich bei neun Kanälen liegen und im 2,4-GHz-Band lediglich bei nur einem Kanal.

Bei 802.11a/b/g-Clients ist oft nicht klar, in welchem Frequenzband diese in einer gemischten 2,4-/5-GHz-Umgebung tatsächlich arbeiten. Dies hängt davon ab, in welchem Frequenzband sie nach der Initialisierung mit dem Scannen der Access Points beginnen. Dieses Verhalten ist oft vom verwendeten Betriebssystem oder vom Treiber abhängig.

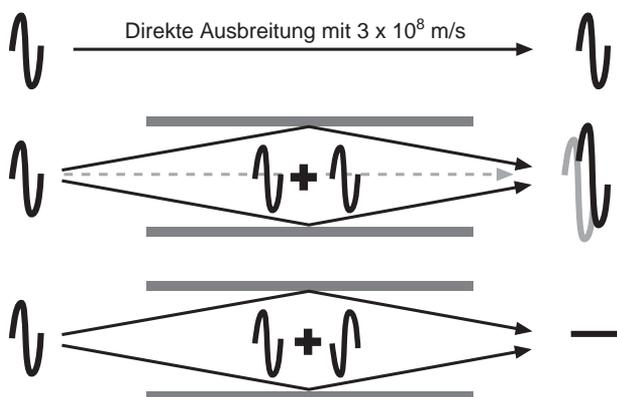
### 9.1.3 Reichweitenreduzierung durch Signalreflexionen

Natürlich kann man die erzielbare Reichweite nicht nur anhand der Dämpfung festmachen, denn reflektierte Signale können zu Interferenzen und zum Multipath-Problem führen, wodurch Störungen und Reichweitenreduzierungen verursacht werden können. Interferenzen treten auf, wenn sich zwei zeitlich versetzte Funkwellen überlagern. Die Überlagerung kann durch ein reflektiertes Signal auftreten, wenn sich das reflektierte Signal mit dem direkten Signal des Senders überlagert. Zudem sind Interferenzen durch andere Funkzellen möglich, die auf demselben Kanal arbeiten. Je nach Lage der Wellenberge oder -täler kann es durch die Überlagerung (Interferenz) zu einer Auslöschung oder Addition der Signale kommen. Bei  $0^\circ$  Phasenverschiebung addie-

*Signalreflexionen*

ren sich die Wellen, bei  $180^\circ$  löschen sie sich aus. Dazwischen ist jeder andere Wert möglich. Abbildung 9-4 zeigt die Auswirkung von Interferenzen.

**Abb. 9-4**  
Signalbeeinflussung  
durch Interferenzen



*Multipath-Problem*

Für die Entstehung des Multipath-Problems (siehe Abschnitt 3.4) ist eine Umgebung umso unkritischer, je geringer die Varianz der Verzögerungszeiten (engl.: Delay Spread) ist, die die elektromagnetischen Wellen auf den unterschiedlich langen Übertragungswegen erfahren. Wie aus der folgenden Tabelle hervorgeht, kann eine WLAN-Komponente abhängig von der jeweiligen Datenrate Verzögerungszeiten von bis zu 350 ns verkraften.

**Tab. 9-6**  
Typische zulässige  
Signalverzögerungszeiten  
(Quelle: Cisco)

Datenrate	Maximal zulässige Varianz der Signalverzögerungszeiten
1 MBit/s	350 ns
2 MBit/s	300 ns
5,5 MBit/s	200 ns
6 MBit/s	400 ns
9 MBit/s	250 ns
11 MBit/s	130 ns
12 MBit/s	250 ns
18 MBit/s	220 ns
24 MBit/s	160 ns
36 MBit/s	100 ns
48 MBit/s	90 ns
54 MBit/s	70 ns

Aus der vorherigen Tabelle geht hervor, dass die auftretenden Verzögerungszeiten umso geringer sein dürfen, je höher die Datenrate ist. Tabelle 9–6 zeigt typische Signalverzögerungszeiten, die durch Reflexionen in den unterschiedlichen Umgebungen hervorgerufen werden können.

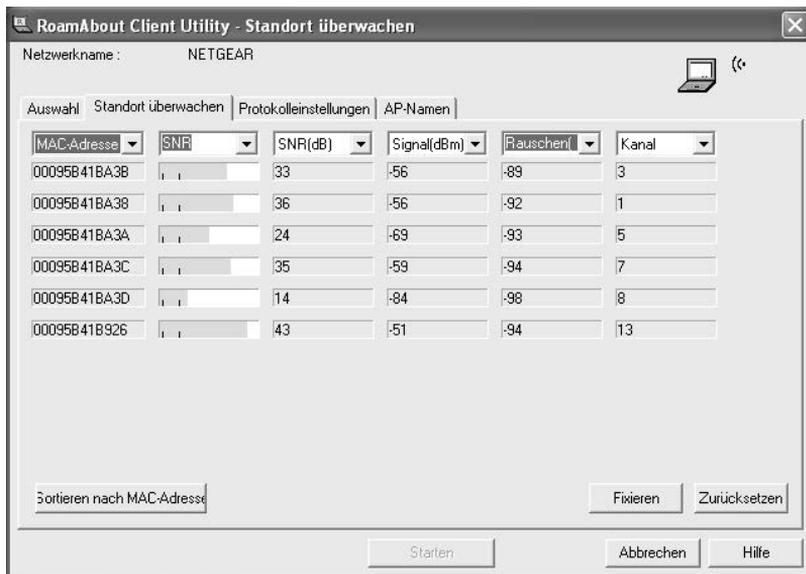
Man sollte sich bei der Projektierung eines WLANs niemals auf eine theoretische Planung stützen, da sonst die Gefahr zu groß ist, dass die ermittelten Infrastrukturkosten von den realen Bedingungen zu stark abweichen, was zur Unzufriedenheit des Kunden führt. Für ein Angebot oder Kostenbedarfsermittlung sollte auf jeden Fall immer eine Funkausleuchtung zugrunde gelegt werden.

## 9.2 Funkausleuchtung

Möchte man ein WLAN umsetzen, so stellt sich neben der richtigen Parametrierung der Access Points vornehmlich die Frage, wie viele Access Points benötigt werden und an welchem Standort diese installiert werden müssen, um eine flächendeckende Versorgung im gewünschten Bereich zu gewährleisten. Eine pauschale Antwort auf diese Frage gibt es generell nicht. Zudem wird man in der Praxis auf das Problem stoßen, dass man ein WLAN nie theoretisch planen kann. Zwar helfen bei der Planung eines WLANs sicherlich Erfahrungswerte, die bei vorangegangenen WLAN-Projekten gesammelt werden konnten, jedoch können diese Erfahrungen eine Standortüberprüfung nicht ersetzen, sondern höchstens schneller zum Erfolg führen. Für die Standortüberprüfung wird eine sogenannte Funkausleuchtung (engl.: Site Survey) durchgeführt. Hierzu können beispielsweise Utilities verwendet werden, die in der Regel zum Lieferumfang der WLAN-Adapter gehören. Die Utilities bieten dazu eine Anzeige der empfangenen Signalstärke und der Verbindungsqualität (siehe Abb. 9–5). Zudem lassen sich mit ihrer Hilfe Qualitätstests durchführen, indem testweise Frames übertragen und ihre Fehlerstatistiken angezeigt werden. Auch lässt sich die jeweils aktuelle Datenrate mit in die Qualitätsbeurteilung einbeziehen. Da die WLAN-Stationen ihre Datenrate bei einer Anhäufung von Übertragungsfehlern automatisch reduzieren, kann man davon ausgehen, dass die Empfangsqualität schlecht ist, wenn eine Station grundsätzlich mit geringer Datenrate arbeitet.

*Funkausleuchtung*

**Abb. 9-5**  
Utility für die  
Standortüberprüfung und  
Funkausleuchtung



*Praktische  
Funkausleuchtung*

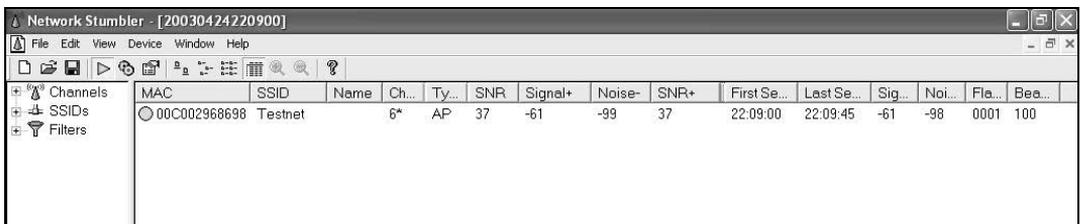
Für die Funkausleuchtung wird ein Access Point innerhalb des Gebäudes temporär platziert und danach geht man alle markanten Punkte innerhalb des Gebäudes ab. An den jeweiligen Punkten wird ein Verbindungstest zum Access Point durchgeführt und dokumentiert, wie die empfangene Signalstärke, die Verbindungsqualität, ob der Datenaustausch von dieser Stelle aus möglich war, mit welcher Datenrate die Daten übertragen wurden und wie die Fehlerstatistik ausgefallen ist. Gegebenenfalls muss während der Funkausleuchtung die Position des Access Points verändert werden, falls man bei den Verbindungstests feststellt, dass der gewählte Standort ungeeignet ist. Dasselbe gilt für größere Gebäude, da hierbei in der Regel mehrere Access Points benötigt werden. In diesem Fall kann es auch sinnvoll sein, direkt mehrere Access Points für die Funkausleuchtung zu platzieren, denn dann hat man auch gleich die Möglichkeit, während der Funkausleuchtung die Überlappung der Funkzellen zu betrachten und zu kontrollieren, ob sie sich gegenseitig beeinflussen, wenn sie auf demselben Kanal arbeiten.

*NetStumbler*

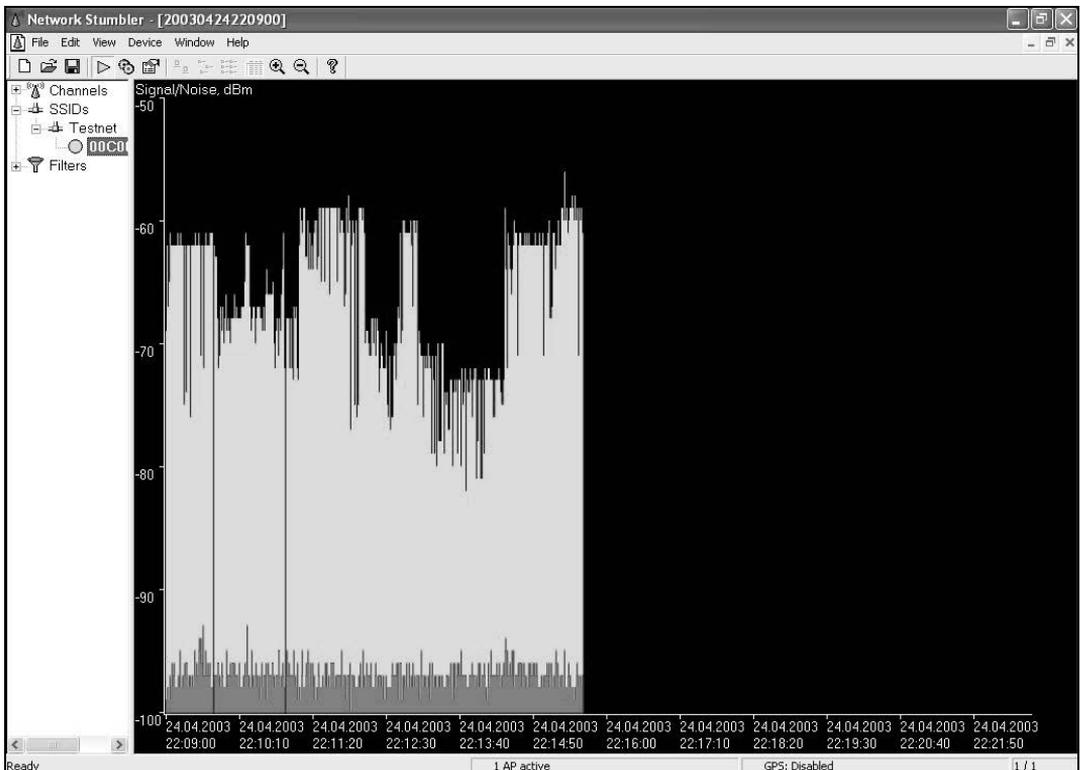
Für die Funkausleuchtung bietet sich auch der Einsatz von NetStumbler an. NetStumbler ist eine WIN32-Applikation, die im Internet als Download unter <http://www.netstumbler.com> frei verfügbar ist. Dieses Utility ist eigentlich zum Aufsuchen von WLANs gedacht (siehe Abschnitt 10.1.2), jedoch bietet sie auch die Möglichkeit, mehrere Funkzellen in einer tabellarischen Übersicht anzuzeigen. Angezeigt werden die genutzten Kanäle, die Signalstärke in dBm, die Stärke des Rauschsignals in dBm und der Signal-Rausch-Abstand in dB. Diese Darstellung bietet bei der Funkausleuchtung eine ideale Über-

sicht über die vorhandene Umgebung, wobei mehrere Access Points gleichzeitig betrachtet werden können (siehe Abb. 9–6). So kann auch die Überlappung der Funkzellen betrachtet werden und eine eventuell falsche Kanalnutzung erkannt werden. Zudem kann man benachbarte WLANs ausfindig machen, sodass man deren spätere Einflüsse bei der Funkausleuchtung berücksichtigen kann. Dies ist gerade in städtischen, eng bebauten Gebieten und in Gewerbebezonen wichtig, da hier die Wahrscheinlichkeit sehr groß ist. Neben der tabellarischen Darstellung liefert NetStumbler auch eine grafische Darstellung, bei der die Signalstärke und das Rauschsignal über einen Zeitstrahl angezeigt werden (siehe Abb. 9–7). Alle gemessenen Werte können abgespeichert werden, sodass die gesammelten Informationen auch protokolliert werden können.

**Abb. 9–6**  
Tabellarische  
Umgebungsdarstellung  
von NetStumbler



MAC	SSID	Name	Ch...	Ty...	SNR	Signal+	Noise-	SNR+	First Se...	Last Se...	Sig...	Noi...	Fla...	Bea...
00C002968698	Testnet		6*	AP	37	-61	-99	37	22:09:00	22:09:45	-61	-98	0001	100



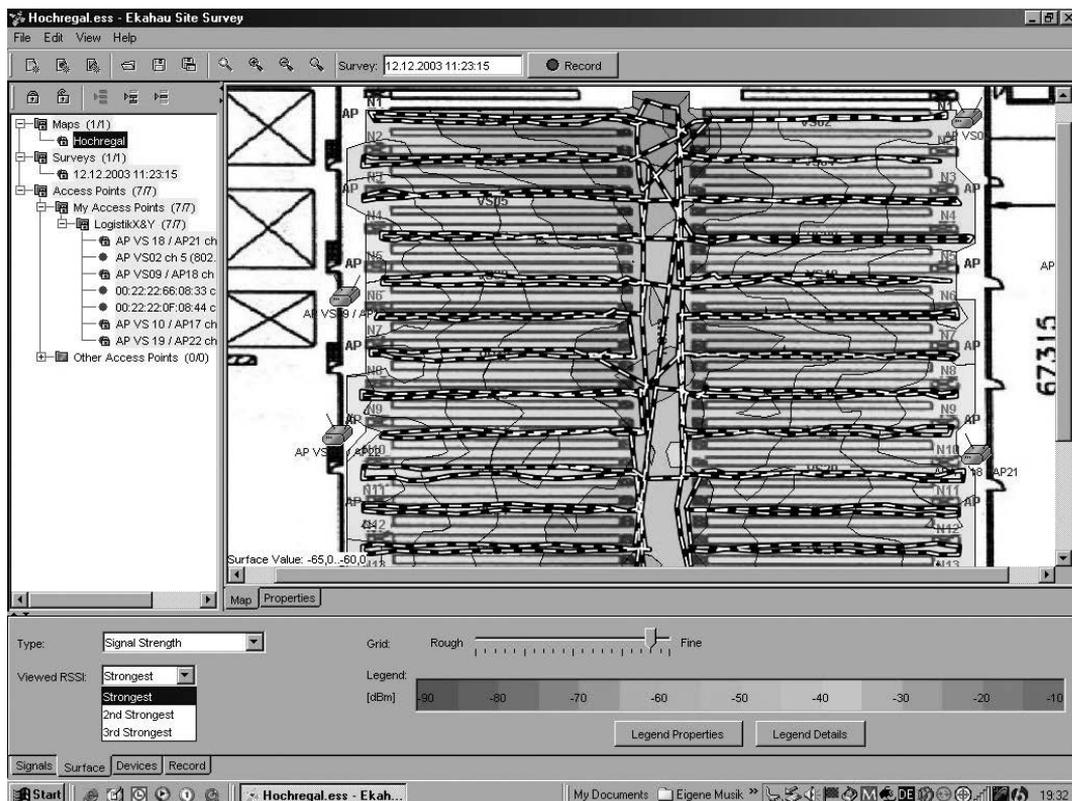
**Abb. 9–7** Grafische Umgebungsdarstellung von NetStumbler

### 9.3 Professionelle Site Survey Utilities

*Professionelle Site  
Survey Utilities*

Die zuvor dargestellte Methode der Funkausleuchtung hat den Nachteil, dass man bei größeren WLAN-Projekten schnell den Überblick verliert, denn sie bietet keine Möglichkeit für eine automatische und übersichtliche Dokumentation der Messergebnisse. Man ist letztendlich gezwungen, alle Messergebnisse von Hand in eine Tabelle oder einen Grundrissplan einzutragen. Abhilfe hierbei bieten sogenannte Site Survey Utilities, wie sie beispielsweise von Ekahau oder AirMagnet angeboten werden. Diese Utilities bieten eine solide Grundlage für eine Funkausleuchtung, da sie eine grafische Darstellung von Signalstärke, Signal-Rausch-Abstand, erzielbaren Datenraten und Interferenzen bieten. Die Darstellung erfolgt bei diesen Utilities in einer Art Wetterkarte, in der die ermittelten Messwerte in unterschiedlichen Farben dargestellt werden. Dies ist besonders bei größeren WLAN-Projekten hilfreich, bei denen eine Vielzahl von Access Points benötigt wird. Die Site Survey Utilities lassen sich für die Funkausleuchtung, also WLAN-Planung und -Abnahmemessung, einsetzen und eignen sich ebenfalls für die Fehlersuche. Gerade bei der Fehlersuche erweisen sie sich auch als nützliche Hilfe, dasich eventuell auftretende Probleme sehr oft auf der untersten Ebene, also dem PHY-Layer, ansiedeln. Für einen fehlerfreien WLAN-Betrieb ist erst einmal eine gute und interferenzfreie Signalqualität Voraussetzung, was sich durch die Site Survey Utilities am besten überprüfen lässt.

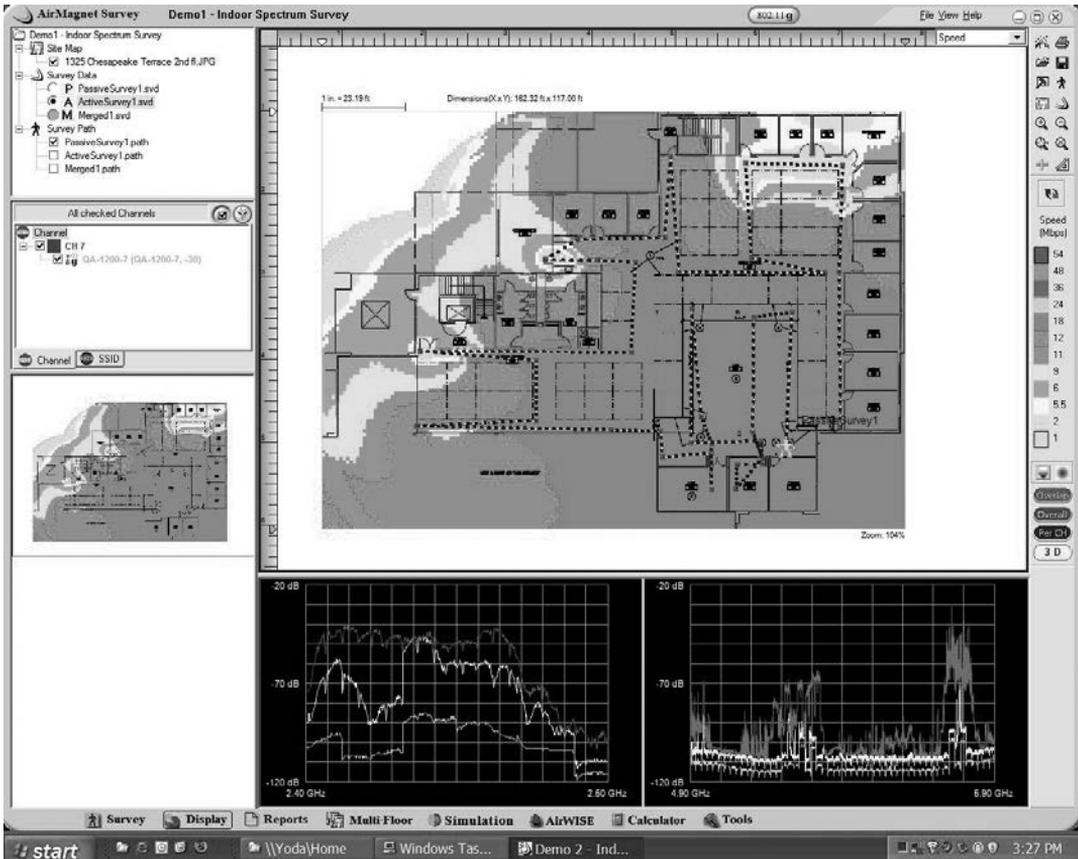
Bei den Site Survey Utilities lassen sich Grundrisspläne des zu versorgenden Gebäudes oder Fläche hinterlegen. Sie scannen für die Messung fortlaufend alle Kanäle nach Beacon-Frames ab. Auf diese Weise erfassen sie die BSSIDs der Access Points und die jeweilige Signalstärke, mit denen die Beacons empfangen wurden. Während der Messung muss man in den hinterlegten Plan ortsabhängige Messpunkte setzen. Unterstützend kann im Außenbereich ein optionales GPS-Modem genutzt werden, das die jeweiligen Koordinaten an das Site Survey Utility übermittelt, sodass die Messpunkte automatisch erfasst werden. Mit Hilfe der jeweiligen Koordinaten können die Site Survey Utilities die Messergebnisse ortsabhängig erfassen und darstellen (siehe Abbildung 9-8 und 9-9).



**Abb. 9-8**  
Grafische Darstellung der  
Signalstärke mit Ekahau

Planerische  
Funkausleuchtung

Für die planerische Funkausleuchtung bieten die Site Survey Utilities eine Funktion, mit denen sich die Messergebnisse eines Access Points einfrieren lassen. Das Einfrieren ist notwendig, damit jeweils die Messergebnisse eines temporär platzierten Access Points festgehalten werden können, bevor seine Position verändert wird. Die jeweilige Ausprägung der Funkzelle, in Abhängigkeit von der Access-Point-Position, lässt sich somit messtechnisch erfassen und grafisch darstellen. Die einzelnen Messergebnisse können per Mausklick in den Grundrissplan ein- oder ausgeblendet werden, sodass sich im Nachhinein ein Gesamtergebnis mehrerer Access Points darstellen lässt. Hierbei besteht sogar die Möglichkeit, nachträglich die verwendeten Kanäle zu verändern, sodass sich die Interferenzen abhängig von den Access-Point-Kanaleinstellungen simulieren lassen und auf dieser Basis ein optimaler Kanalplan erstellt werden kann. Bei der Simulation kann sogar die Interferenzbeeinflussung abhängig von der Netzwerkauslastung betrachtet werden. So lassen sich sukzessive die Funkzellen verschiedener Access-Point-Positionen erarbeiten und deren Idealpositionen ermitteln.



**Abb. 9-9**  
Grafische Darstellung der  
erzielbaren Datenrate mit  
AirMagnet

WLAN-Planungs-Utilities

Des Weiteren arbeiten die heutigen Site Survey Utilities dreidimensional, d.h., man kann eine Funkausleuchtung oder Planung auf mehreren Etagen durchführen und die Beeinflussung der Funkzellen über mehrere Ebenen darstellen.

Des Weiteren bieten die Site Survey Utilities optionale Erweiterungen, mit denen sogar theoretische Planungen von WLANs möglich sind. Hierzu lassen sich beispielsweise charakteristische Dämpfungswerte von Wänden, Decken und sonstigen Hindernissen hinterlegen und ihre Positionen in die Grundrisspläne einfügen, damit sie bei der Reichweitenbetrachtung berücksichtigt werden können. Die Funkzellenausdehnungen von Access Points können somit ohne vorherige Funkausleuchtung betrachtet werden. Auch wenn diese Ansätze viel versprechend sind und sich einige Universitäten mit der Entwicklung geeigneter Rechenmodelle beschäftigen, kann eine theoretische Planung niemals eine praktische Funkausleuchtung ersetzen. Es wird immer ein Hauptkriterium sein, dass man Probleme hat, ein Hindernis

realistisch in Bezug auf die elektromagnetische Dämpfung zu charakterisieren. Auch wenn man die Daten einer Wand, wie beispielsweise Wanddicke, Materialdichte und Stahlanteil, vorliegen hat, so lassen sich anhand dieser Informationen noch lange nicht die Dämpfungswerte der Wand festlegen. Kritischer verhält sich dies noch bei Hindernissen wie beispielsweise unterschiedlich beladenen Regalen. Meine Erfahrungen haben gezeigt, dass die Planungs-Utilities heute lediglich bei einfachen Umgebungsbedingungen eine ausreichende Planungssicherheit bieten können. Die letzten Jahre haben gezeigt, dass die Planungstools in der theoretischen Planung stets Verbesserungen mit sich bringen.

Eine praktische Funkausleuchtung auf der Basis professioneller Site Survey Utilities sollte auf jeden Fall für die WLAN-Planung und Abnahmemessung größerer WLAN-Projekte durchgeführt werden, denn nur sie ermöglichen eine solide Planung und abschließende Überprüfung des errichteten WLANs. Jedoch muss man berücksichtigen, dass ein Site Survey alleine auch keine 100%ige Aussagekraft bietet, sondern zusätzlich sollten mit den jeweils später verwendeten WLAN-Clients Verbindungstests durchgeführt und die Anzahl der auftretenden Paketfehler (CRC-Fehler) geprüft werden, da diese beispielsweise durch Interferenzen verursacht werden können. Zudem bieten die zusätzlichen Kontrollen ein endgültiges Ergebnis, bei denen auch alle Unterschiede der WLAN-Komponenten berücksichtigt werden, wie zum Beispiel die Empfängerempfindlichkeit. Interessant ist in diesem Zusammenhang beispielsweise eine neue Implementierung von Ekahau, die auf einem zweiten WLAN-Adapter basiert. Der erste WLAN-Adapter wird für die herkömmliche Messung verwendet, während der zweite Adapter im Hintergrund ein Assoziierungstest mit dem Access Point durchführt und damit der Protokollierung eine aktive Messung hinzufügt.

## 9.4 Vorbereitung der Funkausleuchtung

Vor der eigentlichen Funkausleuchtung sollte man auf jeden Fall die Gebäudepläne studieren, die verschiedenen Hindernisse charakterisieren und sich einen Überblick über die vorhandenen Distanzen verschaffen. Ist eine Sichtverbindung zwischen dem Access Point und den möglichen Stellen für die WLAN-Stationen vorhanden und liegen die Distanzen innerhalb der bekannten Grenzen, so ist eine Verbindung gewährleistet. Liegt dagegen ein Hindernis zwischen dem Access Point und den WLAN-Stationen, so kommt es auf die Dämpfungseigenschaften an. Ist die Dämpfung gering, so kann eine zuverlässige Daten-

*Vorbereitung der  
Funkausleuchtung*

übertragung möglich sein, falls die Distanz nicht so groß ist. Bei höherer Dämpfung sollte man jedoch davon ausgehen, dass hinter dem Hindernis ein weiterer Access Point platziert werden muss, um eine Datenübertragung bei hoher Datenrate zu ermöglichen. Massive tragende Trennwände, Stahlbetondecken, Aufzugsschächte sind beispielsweise für elektromagnetischen Wellen Hindernisse mit großer Dämpfung, die sich schlecht durchdringen lassen und zu einer merklichen Reichweitenreduzierung beitragen können. Können dämpfende Hindernisse im Vorfeld ausgemacht werden, so lassen sich diese bei der Auswahl der geeigneten Installation sorten für die Access Points berücksichtigen. Dies kann auch bei der Funkausleuchtung hilfreich sein, wenn es darum geht, die temporären Standorte der Access Points zu bestimmen. Werden für die Funkausleuchtung bereits geeignete Standorte für die Access Points gewählt, kommt man in der Regel bei der Funkausleuchtung schneller an ein brauchbares Ergebnis. Des Weiteren sollte vor der Funkausleuchtung festgelegt werden, welche Bereiche des Gebäudes über das WLAN versorgt werden sollen. Hierbei muss auch die Dichte der WLAN-Stationen berücksichtigt werden. Ist die Dichte der WLAN-Stationen besonders hoch, muss gegebenenfalls ein weiterer Access Point platziert werden, obwohl eine Versorgung durch einen anderen Access Point bereits gewährleistet ist. So kann wieder, für die einzelnen WLAN-Stationen, eine höhere Bandbreite zur Verfügung gestellt werden. Auf jeden Fall müssen alle Standorte des zu versorgenden Bereiches auch geprüft werden, um über die Funkausleuchtung eine zuverlässige Aussage zu erhalten. Es sollte im Vorfeld auch geklärt werden, ob zum Zeitpunkt der Funkausleuchtung auch alle Bereiche zugänglich sind. Hierbei sollte auch daran gedacht werden, dass in Gebäuden mit hoher Deckenhöhe, wie zum Beispiel Lager- oder Produktionshallen, eventuell hohe Leitern oder Hebebühnen benötigt werden, um die Access Points an den bevorzugten Stellen überhaupt platzieren zu können.

#### 9.4.1 Wichtige Voraussetzungen für die Funkausleuchtung

##### *Voraussetzungen für die Funkausleuchtung*

Bei der Funkausleuchtung müssen auf jeden Fall dieselben Betriebsbedingungen vorliegen wie beim endgültigen Betrieb des WLANs. Dies gilt besonders für die WLAN-Komponenten, das heißt, es sollten bei der Ausleuchtung dieselben Komponenten und Antennen verwendet werden, wie sie später installiert werden. Werden unterschiedliche WLAN-Komponenten verwendet, besteht die Gefahr, dass diese mit verschiedenen Sendeleistungen oder Abstrahleigenschaften arbeiten, sodass die gewonnenen Messparameter nicht der Realität entsprechen.

Außer Frage steht natürlich in diesem Zusammenhang, dass zwischen der 2,4-GHz- und 5-GHz-Lösung massive Unterschiede vorliegen, da die unterschiedlichen Trägerfrequenzen die Ausbreitungscharakteristik wesentlich beeinflussen. Eine Funkausleuchtung für ein 2,4-GHz-WLAN muss deshalb mit 2,4-GHz-Komponenten und ein 5-GHz-WLAN mit 5-GHz-Komponenten durchgeführt werden. Dasselbe gilt für 802.11b- und 802.11g-Komponenten, da die erzielbare Reichweite immer von der Datenrate abhängig ist. Ebenfalls ist es wichtig, dass bei der Funkausleuchtung dieselben Beeinflussungen vorliegen wie bei dem endgültigen WLAN-Betrieb. In einem Büro sind zum Beispiel außerhalb der Bürozeiten weniger Störquellen aktiv, als wenn alle Mitarbeiter arbeiten. Hier können beispielsweise Monitore oder Bluetooth-Geräte Störungen hervorrufen, die bei einer Funkausleuchtung, die außerhalb der Bürozeiten durchgeführt wird, unerkannt bleiben und später für böse Überraschungen sorgen. Sehr oft wird auch der Fehler gemacht, dass eine Funkausleuchtung in einem Rohbau durchgeführt wird. In diesem Fall werden eventuell Dämmmaterialie für Wärme- und Schallschutz, Elektroinstallationen, Wasser- oder Gasrohre und Möbelstücke nicht berücksichtigt. Dies kann ebenfalls das Testergebnis verfälschen, was bei dem späteren Betrieb des WLANs zu unbefriedigenden Resultaten führen kann.

### 9.4.2 Störquellenermittlung

Des Weiteren bieten die meisten Utilities, die mit den WLAN-Adaptern bereitgestellt werden, eine zusätzliche Anzeigemöglichkeit von Störquellen. Hiermit kann man im Vorfeld die einzelnen Kanäle betrachten und prüfen, ob sich bereits Träger auf den einzelnen Kanälen befinden oder nicht. Diese Information kann bei der richtigen Kanalauswahl hilfreich sein. Man muss hierbei allerdings berücksichtigen, dass diese Utilities nur funktionieren, wenn keine WLANs in der unmittelbaren Umgebung installiert und in Betrieb sind, da diese Utilities keine Differenzierung zwischen einem Trägersignal eines WLANs und einem Störsignal durchführen können. Abbildung 9–10 zeigt ein Utility, mit dem die einzelnen Kanäle betrachtet werden können.

*Störquellenermittlung*