

LANCOM™ Techpaper

IEEE 802.11n Outdoor-Performance

Einleitung

Die im Standard IEEE 802.11n beschriebene MIMO-Technologie (Multiple Input, Multiple Output) wandelt die Nachteile der Mehrwegeausbreitung bei der WLAN-Übertragung in einen Vorteil, der eine enorme Steigerung der Datenraten ermöglicht. MIMO nutzt Mehrwegeausbreitung von elektromagnetischen Wellen, um mittels mehrerer separater Sende- und Empfangszüge sowie geeigneter Signalverarbeitung durch Überlagerung eine verbesserte Signalqualität zu erhalten.

Die WLAN-Chipsätze der aktuellen 300 Mbit/s-Generation sind jeweils mit zwei oder drei unabhängigen Sende- und Empfangswegen ausgestattet; bei einem 3x3 MIMO-System beispielsweise mit je drei Sendern und drei Empfängern. Die eigentliche interne Signalverarbeitung findet dabei jedoch nur mit zwei sogenannten „Spatial Streams“ statt. Diesen Sachverhalt können sich insbesondere Outdoor WLAN-Installationen zu Nutze machen, um selbst auf völlig reflexionsfreien Richtfunkstrecken volle MIMO-Performance zu erreichen.

802.11n für Outdoor-Anwendungen

Die Anwendung von 802.11n im Outdoor-Bereich bedarf einer gesonderten Betrachtung. MIMO nutzt als Unterscheidungskriterium der Datenströme die räumliche Charakteristik, die im Wesentlichen durch Reflexionen erzeugt werden. Bei Punkt-zu-Punkt-Verbindungen im Außenbereich besteht zwischen Sender und Empfänger jedoch eine direkte Sichtbeziehung (Line of Sight – LOS), außerdem muss die Fresnelzone frei von Hindernissen sein. Bei dieser Anwendung treten also keine Reflexionen auf, die für die Unterscheidung der Spatial Streams genutzt werden könnten.

Für Outdoor-Anwendungen mit 802.11n wird daher eine Kombination aus der bekannten Polarisations-Diversity und der MIMO-Technik verwendet: MIMO

liefert die Möglichkeit, mehrere parallele Datenströme zu erzeugen, als charakteristisches Merkmal der Streams wird die Polarisation verwendet. Diese Kombination wird in sogenannten Dual-Slant-Antennen realisiert. Dabei handelt es sich um Antennen mit zwei separaten Anschlüssen, die in einem Gehäuse zwei um 90° gedrehte Polarisations-Antennen vereinigen:

- Über die beiden Anschlüsse können die separaten Datenströme aus dem Access Point empfangen werden.
- Die unterschiedlichen Polarisationen ermöglichen die parallele Übertragung der Streams über das Medium „Luft“.

Mit diesem Ansatz ergeben sich auch für P2P-Strecken im Outdoor-Bereich völlig neue Dimensionen für Datendurchsatz und Reichweite. Bisherige Verfahren erreichen unter Berücksichtigung aller verfügbaren Performance-Funktionen (Turbo-Modus, Bursting, Kompression) einen maximalen Netto-Datendurchsatz von ca. 40 bis 50 Mbit/s. P2P-Verbindungen mit 802.11n erzielen bei Verwendung von normalen Antennen und **einem** Datenstrom bis zu 80 Mbit/s netto. Dual-Slant-Antennen übertragen **zwei** getrennte Datenströme und damit in der Praxis bis zu 160 Mbit/s netto. Abhängig von dem verwendeten Protokoll, dem Overhead und der Paketgröße liegt der Datendurchsatz in der Regel deutlich unter diesen Maximalwerten.

Dieses Techpaper befasst sich gezielt mit den Durchsatzleistungen von 802.11n-Systemen für Outdoor-Anwendungen.

Datendurchsatz: brutto versus netto

WLAN-Datenraten werden üblicherweise als Bruttowerte angegeben. Diese ergeben sich aus der Signalgüte und dem verwendeten WLAN-Standard bzw. dessen Modulationsverfahren. Aufgrund der

LANCOM™ Techpaper

IEEE 802.11n Outdoor-Performance

aufwendigen Sicherungsverfahren und Kollisionsvermeidung ergibt sich ein bedeutend größerer Overhead als auf kabelgebundenen Medien. Üblicherweise kann mit einem brutto – netto Verhältnis von knapp unter 2:1 gerechnet werden. 802.11g/a WLANs erzielen bei einer Bruttoreate von 54 Mbit/s eine maximale Netto- rate von ca. 24 Mbit/s. WLANs nach dem aktuellen 802.11n Standard erreichen bei 300 Mbit/s brutto einen maximalen Nettowert je nach Protokoll von bis zu 160 Mbit/s. Entsprechend der aktuellen Signalgüte können WLAN-Systeme ihre Durchsatzleistung stufen- weise reduzieren, um Verschlechterungen im Funkum- feld entgegenzutreten. Dies führt zusammen mit Pak- etwiederholungen bei kurzzeitigen Funkstörungen zu einer Reduktion des Nettodurchsatzes. Auf Entfernun- gen von mehreren Kilometern sind zusätzlich Laufzeit- effekte zu berücksichtigen, die einen zeitlich weniger aggressiven Zugriff auf das Funkmedium erfordern.

Frequenzbereiche und Sendeleistungs- vorgaben

WLAN ist für die Verwendung in zwei Frequenzberei- chen, 2,4 und 5 GHz, allgemein freigegeben. Diese unterscheiden sich insbesondere in der Störbeeinflus- sung, der Anzahl überlappungsfreier Kanäle und den vom Gesetzgeber erlaubten Sendeleistungen. Für den Outdoor-Betrieb sind in Europa die folgenden Frequen- zenvorgesehen. Die konkreten Zulassungsbedingungen und erlaubten Frequenzen variieren landesspezifisch.

Übersicht über die Bestimmungen für verschiedene Frequenzbereiche

Frequenz GHz	Überlappungs- freie Kanäle*	Sendeleistung (EIRP)	Besonderheiten*	Störbeeinflussung durch andere Nutzer
2,400 – 2,483	3 (insgesamt 13)	100 mW	–	Hoch
5,470 – 5,725	14	1000 mW	DFS/TPC	Gering, Koexistenz mit Radar
5,775 – 5,875*	4	4000 mW	BFWA, DFS/TPC, gewerbliche Verteilernetze, meldepflichtig	Sehr gering, Koexistenz mit Radar

* Die Anzahl der nutzbaren Kanäle sowie die weiteren Vorgaben variieren landesspezifisch.

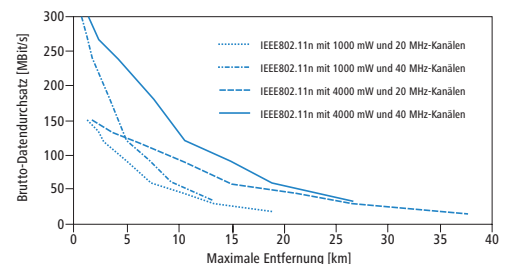
2,4 GHz oder 5 GHz?

Prinzipiell können beide Frequenzbereiche für Outdoor-Anwendungen genutzt werden. Dabei bietet sich das 2,4 GHz-Band an, wenn eher kurze Entfernungen überbrückt werden sollen und nur geringe Störungen zu erwarten sind.

Das 5 GHz-Band ermöglicht mit einer höheren Signalstärke die Überbrückung größerer Distanzen bei geringerer Anfälligkeit für Störungen. Deutlich mehr überlappungsfreie Kanäle können mit der Kanalbündelung zur Steigerung der Durchsatzleistung genutzt werden. Zur Nutzung dieser höheren Leistungsbereiche müssen allerdings technische Auflagen wie TPC und DFS eingehalten werden.

Die weiteren Ausführungen in diesem Dokument beziehen sich auf das häufiger für Outdoor-Anwendungen eingesetzte 5 GHz-Band. Die folgende Grafik zeigt z. B. einen Vergleich der maximalen Entfernungen und Durchsatzleistungen von 802.11a und 802.11n, jeweils mit 20 MHz bzw. 40 MHz breiten Kanälen.

Maximale Brutto-Datendurchsätze von 5 GHz-WLAN Richtfunkstrecken



Die maximal erreichbaren Entfernungen sind durch interne Timings der WLAN-Module begrenzt und betragen je nach Betriebsmodus bis zu 30 km.

Performance-Messung im Test

Aber welcher Datendurchsatz kann mit dem Einsatz von 802.11n tatsächlich erzielt werden? Dieses Techpaper beschreibt die praktische Messung bei der WLAN-Übertragung mit Access Points von LANCOM Systems.

LANCOM™ Techpaper

IEEE 802.11n Outdoor-Performance

Die Datenübertragung zwischen einem Server und einem Client, die jeweils über eine 802.11n-Strecke verbunden sind, wird mit Hilfe von iPerf gemessen. iPerf ist ein frei verfügbares Tool, mit dem der TCP- und UDP-Durchsatz zwischen zwei Netzwerk-Komponenten gemessen wird. iPerf ist das Standard-Tool für Benchmark-Tests von Netzwerkgeräten in den Redaktionen von zahlreichen renommierten IT-Fachzeitschriften. Es läuft unter Windows, Linux und Mac OS X und ermöglicht so auch einen Vergleich über verschiedene Betriebssysteme hinweg.

Der Messaufbau

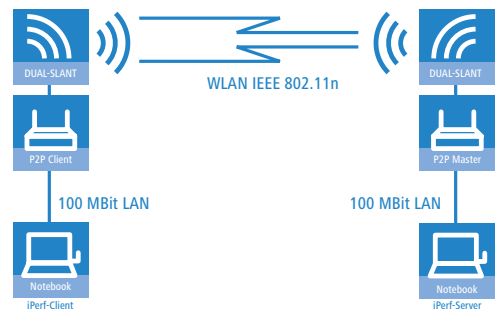
Um den tatsächlichen Datendurchsatz zwischen zwei LANCOM Access Points im Point-to-Point-Modus zu messen, wird ein Versuchsaufbau gewählt, der mit drei verschiedenen Entfernungen einen Vergleich der Ergebnisse für verschiedene Anwendungen erlaubt. Der Messaufbau im Überblick:

- Der iPerf-Server ist auf einem Notebook installiert, der über eine Fast-Ethernet-LAN-Verbindung mit dem P2P-Master verbunden ist.
- Als P2P-Master kommt ein LANCOM OAP-310agn mit AirLancer O-D9a-Antenne zum Einsatz.
- An diesen Master ist über eine P2P-Strecke nach IEEE 802.11n ein P2P-Client angebunden. Auch hier wird ein LANCOM OAP-310agn mit AirLancer O-D9a-Antenne verwendet.
- An den P2P-Slave ist über eine 100 MBit-LAN-Verbindung ein Notebook mit dem iPerf-Client angeschlossen.

Weitere Details zum verwendeten Equipment:

- iPerf Server:
 - Linux
 - iPerf 1.7.0
 - iPerf TCP: -s -w 256k
 - iPerf UDP: -s -w 256k -u -l 1470

- iPerf Client:
 - iPerf 2.0.2
 - iPerf TCP: -c [Server-IP] -w 256k -i 2 -t 60
 - iPerf UDP: -c [Server-IP] -w 256k -i 2 -t 60 -u -l 1470 -b [Bandbreite]
- Access Point:
 - LANCOM OAP-310agn Wireless
 - (LCOS 7.60.0160)
 - P2P-Modus
 - Antennenkonfiguration 1+2
 - Kurzes Guardinterval
 - 2 Spatial Streams
 - 40 MHz Kanäle zugelassen im 5 GHz Band



So messen Sie richtig

Die Messungen der Durchsatzraten sind nur dann aussagekräftig, wenn die Rahmenbedingungen richtig gewählt werden. Folgende Aspekte sind für die richtige Messung der Performance-Werte auf einer WLAN-Strecke wichtig:

- Die WLAN-Strecke muss der "langsamste" Teil der gemessenen Verbindung sein. Wenn die WLAN-Strecke durch ein geeignetes Kabel ersetzt wird, muss der Datendurchsatz deutlich über den Messwerten auf der WLAN-Strecke liegen. So wird sicher gestellt, dass nicht z.B. eine Netzwerkkarte der beteiligten Rechner aufgrund einer Fehlkonfiguration die Ergebnisse verfälscht.
- Die TCP Window Size muss auf den verwendeten Rechnern passend zu den iPerf-Parametern eingestellt werden. Die TCP Window Size stellt

LANCOM™ Techpaper

IEEE 802.11n Outdoor-Performance

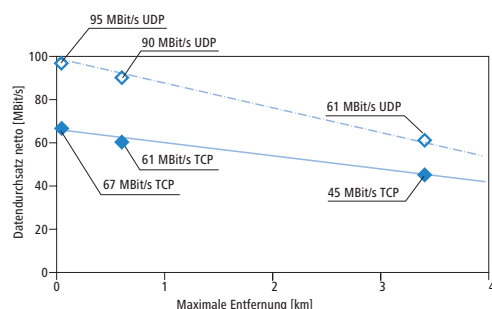
einen Empfangspuffer für Datenpakete dar. Wenn dieser Puffer voll ist, muss der Sender vor der Übertragung weiterer Pakete auf eine Bestätigung des Empfängers warten. Wenn die TCP Window Size auf den beteiligten Rechnern nicht passend eingestellt ist, kann die maximale Durchsatzrate der Verbindung nicht ausgenutzt werden.

Das Standard-Maximum für die TCP Window Size in Windows XP und Windows Server 2003 liegt bei 65.535 Byte, was im Normalfall nicht ausreicht. Viele Applikationen fordern selbstständig eine höhere TCP Window Size an. iPerf arbeitet standardmäßig mit dem Maximum von 65.535 Byte, was zu einer starken Verzerrung der Messergebnisse gegenüber anderen Applikationen führt. Um ein realistisches Messergebnis zu erhalten, wurde für die Messungen die maximale TCP Window Size über die Systemkonfiguration der iPerf-Clients gezielt auf 256 KB angehoben. Mit Tools wie dem kostenlosen improveTCP kann die TCP Window Size geeignet eingestellt werden.

Ergebnisse der Messungen

Um die maximal möglichen Werte der P2P-Übertragung zu ermitteln, wurde zunächst eine Referenz-Messung mit einer Entfernung von ca. 7 m vorgenommen. Über diese kurze Distanz wurden für die TCP-Übertragung 67 Mbit/s gemessen, für die UDP-Übertragung 95 Mbit/s bei 0% Verlust.

P2P-Netto-Datenraten bei 1000 mW EIRP und 40 MHz Kanalbreite (LANCOM OAP-310agn Wireless mit AirLancer Extender O-D9a)



Der UDP-Messwert von 95 Mbit/s ist dabei durch die 100 Mbit/s LAN-Schnittstelle des LANCOM OAP-310agn Wireless limitiert.

Die erste der beiden Outdoor-Messungen der beiden P2P-Strecken wurden zwischen dem Bürogebäude von LANCOM Systems und einem in der Nähe gelegenen Flugplatz durchgeführt. Über die Entfernung von 3,4 km wurden für die TCP-Übertragung 45 Mbit/s gemessen, für die UDP-Übertragung 60 Mbit/s bei 0% Verlust.

Die zweite Messung wurde auf einer kürzeren Distanz zwischen dem Tower des Flugplatzes und einer Halle vorgenommen. Über die Entfernung von ca. 400 m wurden für die TCP-Übertragung 61 Mbit/s gemessen, für die UDP-Übertragung 94 Mbit/s bei 0% Verlust.

Bedeutung der TCP- bzw. UDP-Messung

Die Messung der TCP-Übertragung gibt Auskunft über den möglichen Datendurchsatz für TCP-basierte, verbindungsorientierte Datendienste wie zum Beispiel FTP.

Bei Datenverbindungen, die TCP als Transportprotokoll verwenden, werden auf der Übertragungsstrecke verloren gegangene Pakete wiederholt. Bei Echtzeitanwendungen wie Voice over IP (VoIP) würden die erneuten Paketanfragen z.B. jedoch zu einem Stocken des Gespräches führen – diese Anwendungen nutzen daher häufig das verbindungslose UDP, das nicht über einen Steuerungsmechanismus wie TCP verfügt.

Die verschiedenen Anwendungen nutzen je nach Anforderung an die Datenübertragung unterschiedliche Paketgrößen im UDP: Voice-Applikationen nutzen zum Beispiel sehr kleine Datenframes, um die Latenzen gering zu halten, Video wird mit deutlich größeren Frames verschickt, um einen höheren Durchsatz erzielen zu können. Ebenso werden andere Applikationen an den jeweiligen Verwendungszweck angepasst.

LANCOM™ Techpaper

IEEE 802.11n Outdoor-Performance

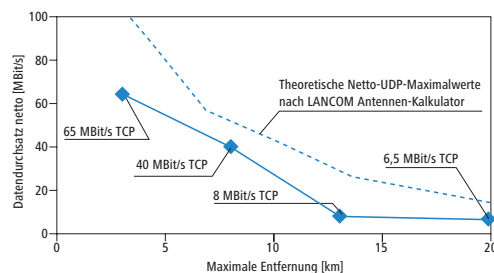
Für den Testaufbau wurde eine Paketgröße von 1470 Byte verwendet. Um den maximalen Durchsatz bei einer gegebenen Paketgröße zu ermitteln, wurde bei der Messung der Datendurchsatz so lange erhöht, bis ein Grenzwert des Paketverlustes erreicht war (<0,1%).

! Der Datendurchsatz über UDP ist generell höher als der TCP-Durchsatz, da der Protokoll-Overhead für die Verbindungssteuerung entfällt.

Performance in realen Anwendungen

Die bisher dargestellten Ergebnisse wurden in zwei verschiedenen Testszenarien erzielt. Einen guten Vergleich zu "realen" Anwendungen geben die folgenden Messergebnisse, die Kunden der LANCOM Systems in praktischen WLAN-Applikationen erzielt haben. Bei allen Beispielen wurden Access Points der Typen LANCOM L-310agn oder LANCOM OAP-310agn eingesetzt. Als Brutto- zu Netto-Verhältnis wurde 2:1 angenommen. Die Praxiswerte für echte TCP-Anwendungen liegen erwartungsgemäß etwas unterhalb der theoretischen Grenze.

Messung der TCP-Netto-Datenraten von LANCOM-Kunden bei 1000 mW EIRP



Troubleshooting

Liegen die Datenraten in einer Anwendung deutlich unter den erwarteten Werten, so sollten im ersten Schritt die folgenden Randbedingungen der Installation geprüft werden:

- Entfernungseinstellungen

Für ein einwandfreies Funktionieren längerer Funkstrecken muss die Entfernung zwischen den beiden

Antennen angegeben sein (gerundet auf den nächsten vollen Kilometer), damit interne Timing-Werte entsprechend angepasst werden können.

- Verschlüsselung

Um die höchste Sicherheit für die übertragenen Daten zu erzielen, stellen Sie die Verschlüsselung der WLANs idealerweise auf WPA2 ein. Nutzen Sie dabei als Sitzungsschlüssel-Typ ausschließlich "AES". Der alternativ mögliche Typ "TKIP" wird von IEEE 802.11n nicht vollständig bzw. nicht bei voller Rate unterstützt, daher können in TKIP-verschlüsselten WLANs nicht die hohen Datenraten von 802.11n erzielt werden.

- Anschluss der Antennen und Konfiguration

Aktuelle LANCOM Access Point nach IEEE 802.11n sind in der Regel mit drei Antennenanschlüssen ausgestattet. Die Antennen für die P2P-Übertragung verfügen über zwei Anschlüsse, um zwei separate Datenströme (Spatial Streams) übertragen zu können.

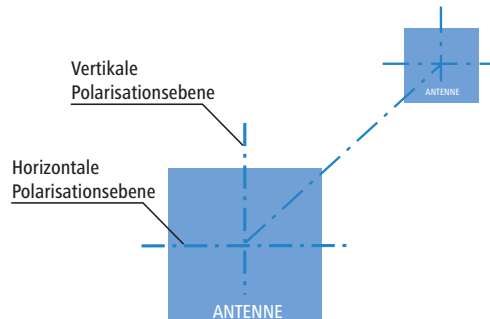
Achten Sie darauf, welche Antennen-Anschlüsse in der Konfiguration des Access Point aktiviert sind (für Dual-Slant-Antennen entweder 1+2 oder 1+3). Wählen Sie die entsprechenden Antennenanschlüsse am Access Point aus, um die Antenne anzuschließen – z.B. beim LANCOM OAP-310agn die beiden auf der Oberseite des Gehäuses (1+2).

- Ausrichten der Antennen für den P2P-Betrieb

Die Antennen für die WLAN-Übertragung nutzen je nach Modell dedizierte Ausbreitungsrichtungen der elektromagnetischen Wellen (Polarisation). Bei Punkt-zu-Punkt-Verbindungen (Point-to-Point) muss die Polarisation der Antennen zwischen den beiden Endpunkten der Funkstrecke genau aufeinander ausgerichtet sein (entweder genau parallel oder genau senkrecht). Zwischen den beiden Antennen muss dabei eine direkte Sichtbeziehung bestehen (Line of Sight).

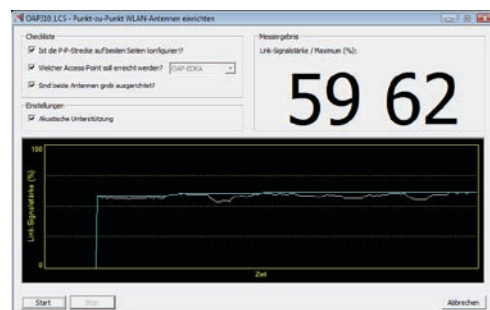
LANCOM™ Techpaper

IEEE 802.11n Outdoor-Performance



Die Polarisierungsebenen zwischen Send- und Empfangsantenne dürfen nicht gegeneinander verdreht sein. Prüfen Sie daher bei der Installation des WLAN-Outdoor-Systems die korrekte Ausrichtung und Polarisierung der Antennen, um den Datendurchsatz zu optimieren.

Um die Antennen optimal auszurichten, kann die aktuelle Signalqualität von P2P-Verbindungen über die LEDs des Gerätes oder im LANmonitor angezeigt werden.



■ Background Scanning

Auf P2P-Strecken sollte in der Regel das Background Scanning deaktiviert werden. Auf einer Richtverbindung ist eher nicht mit Rogue APs zu rechnen und der im 5 GHz-Band notwendige "Passiv Scan" erfordert Off Channel-Zeiten von 0,5s pro gescanntem Kanal. Insbesondere kurze Scan-Intervalle führen zu einer merklichen Performancereduktion.

■ Einfluss der Frame-Aggregation bei IEEE 802.11n
Jedes Datenpaket enthält neben den eigentlichen Nutzdaten auch Verwaltungsinformationen, die für den reibungslosen Datenaustausch wichtig sind. Mit

der Frame-Aggregation werden mehrere Datenpakete (Frames) zu einem größeren Paket zusammengefasst (16 kB). Als Folge davon müssen die Verwaltungsinformationen nur einmal für das gesammelte Paket angegeben werden, der Anteil der Nutzdaten am gesamten Datenvolumen steigt. Mit der Frame-Aggregation optimieren 802.11n-Netzwerke den Netto-Durchsatz, also den Durchsatz für die tatsächlichen Nutzdaten.

Bei einer P2P-Verbindung werden Pakete, die nicht vom Empfänger bestätigt wurden, erneut übertragen - standardmäßig bis zu 10 Mal (Standardwert für die „Hard-Retries“). Verantwortlich dafür ist die Sicherungsschicht des WLANs, in dem für Unicast-Pakete eine Bestätigung erwartet wird – unabhängig vom verwendeten Protokoll. Die Sendegeschwindigkeit auf 802.11n-Verbindungen beträgt im schlechtesten Falle 6,5 Mbit/s. In sehr ungünstigen Situationen kann es bei Verwendung der Frame-Aggregation daher zu einer Sendeverzögerung (Jitter) von 200 ms kommen (16kB x 10 Retries x 1024 x 8 / 6.500.000 Bit/s). Bei diesem Wert handelt es sich um eine "Worst-Case"-Betrachtung, die in der Praxis nur in den seltensten Fällen auftritt.

Dieser Jitter ist je nach Anwendung mehr oder weniger relevant: bei FTP-Übertragungen ist die Sendeverzögerung in der Regel nicht von Bedeutung, bei VoIP-Anwendungen sind schon kurze Verzögerungen unangenehm. Um das Übertragungsverhalten in solchen Fällen zu verbessern, kann z.B. die Anzahl der Retries reduziert werden, z.B. in WEBconfig unter folgendem Pfad:

LCOS-Menübaum > Setup > Schnittstellen > WLAN > Uebertragung > Hard-Retries

■ Antennenkabel

Für optimale Performance sollten möglichst kurze Antennenkabel mit geringer Signaldämpfung verwendet werden.

■ DFS-Kanalwahl

LANCOM™ Techpaper

IEEE 802.11n Outdoor-Performance

Prüfen Sie, ob freie WLAN-Kanäle vom Access-Point erkannt wurden:

LCOS-Menübaum > Status > WLAN > Channel-Scan-Results

- 40 MHz-Modus

Für optimale Performance bei 802.11n Access Points muss ein freier benachbarter Kanal für die Kanalbündelung verfügbar sein. Unter „Status > WLAN > Radios“ wird im LCOS-Menübaum angezeigt, ob ein „Extension Channel“ dafür zur Verfügung steht.

- Diagnose allgemein

Unter Status > WLAN > Packets und Status > WLAN > Errors finden Sie Paketübertragungsstatistiken. Ein gewisses Maß an Übertragungsfehlern (insbesondere Paketwiederholungen) ist bei WLANs normal.

Sehr hohe Werte können auf eine gestörte Funkumgebung hindeuten.

Zur Kontrolle des Rauschteppichs und zur Erkennung von Fremd-APs prüfen Sie die Werte unter:

Status > WLAN > Channel-Scan-Results

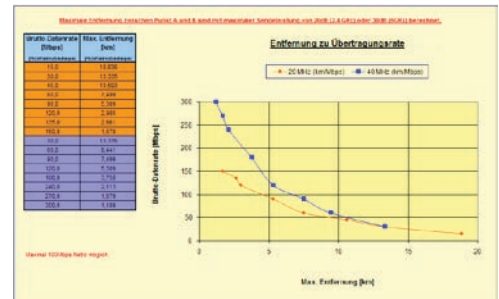
Status > WLAN > WLAN-Parameter

Status > WLAN > Competing-Networks.

Bei 100% Fehlerrate liegt in der Regel eine zu kurz konfigurierte Entfernung vor (siehe Abschnitt oben).

- Der LANCOM Antennen-Kalkulator

Nach Auswahl der verwendeten Komponenten (Access Points, Antennen, Blitzschutz und Kabel) berechnet der LANCOM Antennen-Kalkulator (als Download von www.lancom.de) die Datenraten, die bei bestimmten Distanzen erzielt werden können. Der LANCOM Antennen-Kalkulator enthält außerdem eine Masthöhenberechnung für eine ungestörte Fresnel-Zone.



Fazit

Auch bei 802.11n Outdoor-Funkstrecken können MIMO-Techniken durch Antennen mit unterschiedlicher Polarisation genutzt werden, so dass sich Nettodatenraten von 100 Mbit/s und mehr erreichen lassen.

In Verbindung mit den hohen Sendeleistungen von 1000 mW (in bestimmten Fällen bis zu bis 4000 mW) können Entfernungen von mehr als 20 km erzielt werden.

Damit erschließen sich für kostengünstige WLAN-Infrastrukturen neue Anwendungsbereiche, die bislang ausschließlich aufwendigen und teuren Richtfunkssystemen vorbehalten waren.

! Informationen über die Nutzung von 4000 mW Sendeleistung bei der kommerziellen Nutzung finden Sie im LANCOM Techpaper „Broadband Fixed Wireless Access“ (BFWA) im Downloadbereich auf www.lancom.de.