

Die nächste Enterprise- WLAN-Generation mit IEEE 802.11n

von Dr. Simon Hoff



Mit IEEE 802.11n soll dieses Jahr ein WLAN-Standard verabschiedet werden, der mit einer neuen Übertragungstechnik Datenraten auf der physikalischen Ebene von bis zu 600 MBit/s brutto erreichen wird. Im Betrieb dieser Systeme wird mit einer tatsächlichen Datenrate von meist 200 MBit/s bis 300 MBit/s zu rechnen sein. Netto (d.h. oberhalb des MAC Lay-

er) ergibt dies eine Datenrate von mehr als 100 MBit/s. Nur zum Vergleich: Systeme nach den Standards IEEE 802.11a bzw. IEEE 802.11g schaffen brutto maximal 54 MBit/s und netto ca. 25 MBit/s.

Aktuell sind diverse Vorstandardprodukte auf dem Markt verfügbar und erste Enterprise-taugliche Geräte werden angeboten.

Da die Wi-Fi Alliance inzwischen ein eigenes Zertifizierungsprogramm basierend auf Draft 2.0 von IEEE 802.11n im Programm hat, sind diese Vorstandardprodukte durchaus ernster zu bewerten.

Zweitthema

Die nächste Enterprise-WLAN-Generation mit IEEE 802.11n



Dr. Simon Hoff ist technischer Direktor der ComConsult Beratung und Planung GmbH und blickt auf jahrelange Projekterfahrung in Forschung, Standardisierung, Entwicklung und Betrieb im Bereich lokaler Netze, mobiler Kommunikationssysteme und deren Anwendungen zurück.

In diesem Artikel wird die Technik hinter IEEE 802.11n vorgestellt, die Marktsituation der Vorstandardprodukte analysiert sowie Planungs- und Migrationsaspekte betrachtet.

1. Technische Konzepte

Wesentliche Rahmenbedingung bei der Gestaltung von IEEE 802.11n ist die Forderung der Abwärtskompatibilität zu den aktuell verwendeten Übertragungstechniken IEEE 802.11a und IEEE 802.11g.

Damit die hohe Datenrate erreicht werden kann, spezifiziert IEEE 802.11n eine neue physikalische Übertragung. Dabei wird eine Erweiterung des aus IEEE 802.11a/g bekannten Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) vorgenommen und mehrere dieser Systeme trickreich mit einem als Multiple Input Multiple Output (MIMO) bezeichneten Verfahren gebündelt, wie in Abbildung 1 illustriert. Im Folgenden werden die wesentlichen technischen Aspekte von IEEE 802.11n beschrieben.

1.1 High Throughput OFDM

IEEE 802.11n verwendet eine erweiterte OFDM-Übertragung, die als High Throughput OFDM (HT-OFDM) bezeichnet wird. Die

Datenrate für einen OFDM-Kanal berechnet sich allgemein durch die Formel $\text{Datenrate} = \text{BS} * \text{SR} * \text{AU} * \text{CR}$, wobei BS die vom Modulationsverfahren abhängige Anzahl der pro Symbol dargestellten Bits ist, SR die Symbolrate, AU die Anzahl der Unterträger und CR die Code-Rate (d.h. das Verhältnis von Nutzdatenbits zu tatsächlich übertragenen mit zusätzlichen Fehlerkorrekturinformationen versehenen Bits) bezeichnet. Die verwendeten Modulationsverfahren entsprechen denen von IEEE 802.11a/g. Die Symbolrate beträgt für ein OFDM-System, wie es bei IEEE 802.11a/g verwendet wird, 0,25 Mega-Symbole pro Sekunde bei 800 ns Abstand zwischen den Symbolen (Guard Intervall, GI). HT-OFDM sieht auch die optionale Verwendung eines GI von 400 ns vor, was die Datenrate entsprechend erhöht. Bei einer Kanalbandbreite von 20 MHz werden (statt 48 Unterträger wie bei IEEE 802.11a/g) 52 Unterträger für die Übertragung von Daten bei IEEE 802.11n verwendet. Bei einer optionalen Kanalbandbreite von 40 MHz sind dies 108 Unterträger. Bei den verwendeten Code-Raten kommt in HT-OFDM zu denen von IEEE 802.11a/g die Rate 5/6 hinzu, was den geringsten Codierungs-Overhead hinzufügt und daher nur bei sehr guten Empfangsbedingungen sinnvoll nutzbar ist.

Tabelle 1 zeigt die sich für HT-OFDM zunächst ergebenden Datenraten im Überblick.

1.2 Multiple Input Multiple Output

Die erhebliche Steigerung der physikalischen Datenrate bei IEEE 802.11n wird durch den Einsatz der Übertragungstechnik Multiple Input Multiple Output (MIMO) erreicht.

Bei einem MIMO-System wird die Übertragung parallel durch mehrere Sendeeinrichtungen mit jeweils eigener Antenne auf der gleichen Frequenz durchgeführt. Zu übertragende Daten werden auf diese (ähnlich zu einer parallelen Schnittstelle an einem PC) aufgeteilt und auf der Empfängerseite durch mehrere Empfangseinrichtungen mit je einer eigenen Antenne parallel empfangen. An jeder dieser Empfangseinrichtungen kommt nun eine eigene Variante der sich überlagernden Signale an. Ein moderner Signalprozessor verarbeitet die Varianten und ermöglicht eine Trennung der überlagerten Signale. Dabei wird die Information genutzt, dass die Signale über verschiedene räumlich getrennte Sende- und Empfangsantennen übertragen werden. Letztendlich wird bei MIMO die Mehrwege-Ausbreitung einer Funkübertragung gezielt

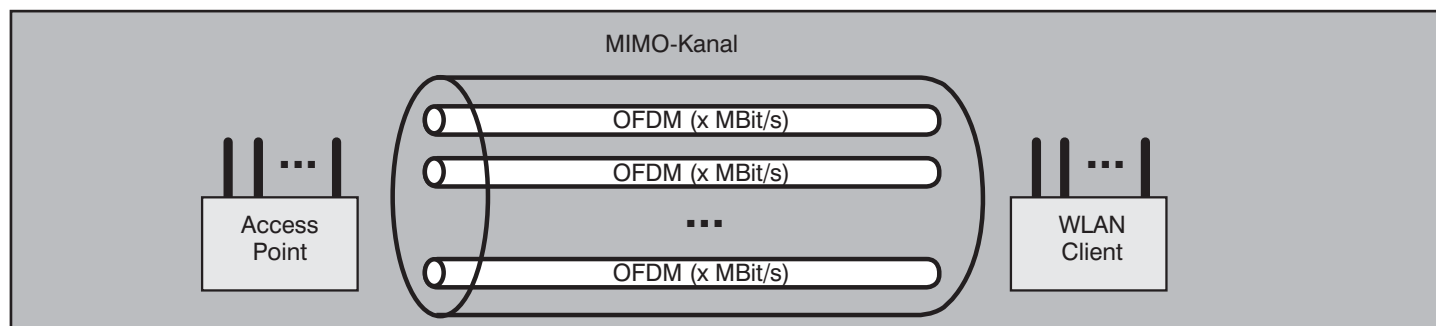


Abbildung 1: Bündelung von OFDM-Kanälen zu einem MIMO-Kanal

Die nächste Enterprise-WLAN-Generation mit IEEE 802.11n

Modulation	Coderate	Datenrate [Mbits/s]				
		OFDM	HT-OFDM			
		48 Unterträger, 800 ns GI, 20 MHz Kanalbreite	52 Unterträger, 800 ns GI, 20 MHz Kanalbreite	52 Unterträger, 400 ns GI, 20 MHz Kanalbreite	108 Unterträger, 800 ns GI, 40 MHz Kanalbreite	108 Unterträger, 400 ns GI, 40 MHz Kanalbreite
BPSK	1/2	6	6,5	7,2	13,5	15
QPSK	1/2	12	13	14,4	27	30
QPSK	3/4	18	19,5	21,7	40,5	45
16QAM	1/2	24	26	28,9	54	60
16QAM	3/4	36	39	43,3	81	90
64QAM	2/3	48	52	57,8	108	120
64QAM	3/4	54	58,5	65	121,5	135
64QAM	5/6		65	72,2	135	150

Tabelle 1: Datenraten für OFDM und HT-OFDM

für die Erhöhung der Übertragungsleistung genutzt (Abb. 2).

Eine MIMO-Komponente bestehend aus Übertragungs-/Empfangsteil und Antenne wird als Zug (Spatial Stream) bezeichnet. Für MIMO-Systeme im WLAN-Bereich wird

von zwei bis vier Sender- und Empfängerzügen ausgegangen. Grundsätzlich sind aber auch mehr als vier Züge nicht ausgeschlossen.

Damit ergeben sich die erreichbaren Datenraten eines MIMO-Systems einfach

durch Multiplikation der Datenrate des zugrundeliegenden HT-OFDM-Systems mit der Anzahl der Züge, wie in Tabelle 2 gezeigt. Bei der höchsten Code-Rate 5/6, mit 4 Zügen, 400 ns GI und einer Kanalbandbreite von 40 MHz schafft man schließlich 600 MBit/s.

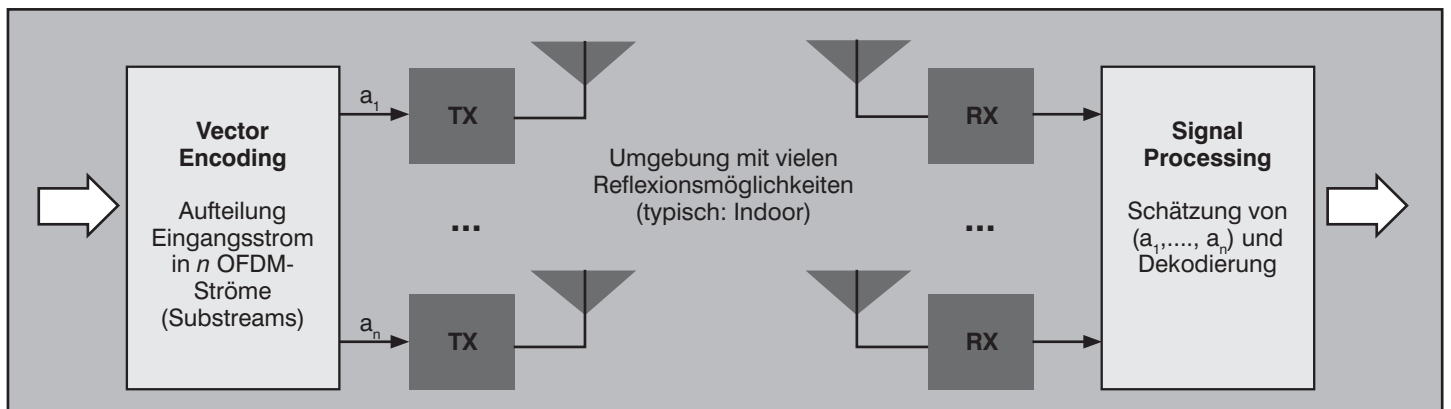


Abbildung 2: Funktionsweise eines MIMO-Systems

Modulation	Coderate	Datenrate [Mbits/s]							
		52 Unterträger, 400 ns GI							
		20 MHz Kanalbreite				40 MHz Kanalbreite			
		1 Zug	2 Züge	3 Züge	4 Züge	1 Zug	2 Züge	3 Züge	4 Züge
BPSK	1/2	7,2	14,4	21,7	28,9	15	30	45	60
QPSK	1/2	14,4	28,9	43,3	57,8	30	60	90	120
QPSK	3/4	21,7	43,3	65	86,7	45	90	135	180
16QAM	1/2	28,9	57,8	86,7	115,6	60	120	180	240
16QAM	3/4	43,3	86,7	130	173,3	90	180	270	360
64QAM	2/3	57,8	115,6	173,3	231,1	120	240	360	480
64QAM	3/4	65	130	195	260	135	270	405	540
64QAM	5/6	72,2	144,4	216,7	288,9	150	300	450	600

Tabelle 2: Datenraten eines MIMO-Systems

Die nächste Enterprise-WLAN-Generation mit IEEE 802.11n

Bei dem parallelen Empfang über mehrere Antennen ergibt sich ein genereller Vorteil, der als Maximal-Ratio Combining (MRC) bezeichnet wird. Dabei wird das Signal, das von mehreren Antennen empfangen wird, im Prinzip addiert. Durch diese spezielle Form der Diversity erhält man einen Verstärkungseffekt (als Gewinn bezeichnet), der mit der Anzahl der Antennen wächst. Ein MIMO-System kann also beispielsweise nur mit zwei Zügen (Spatial Streams) aber mit drei Antennen arbeiten. Die Datenrate ergibt sich aus den zwei Zügen, die dritte Antenne verbessert die Empfangsqualität.

1.3 Beamforming

Als optionales Element spezifiziert IEEE 802.11n die Verwendung von sogenannten Array-Antennen, die ihre Hauptstrahlrichtung automatisch in die Richtung des Kommunikationspartners lenken. Dieser Mechanismus wird auch als Beamforming bezeichnet. Die Ausrichtung in unterschiedliche Raumrichtungen wird dabei durch eine dynamische Anpassung der Phasenlage der Einzelantennen erreicht, wie in Abbildung 3 gezeigt.

1.4 Abwärtskompatibilität

Für einen Adapter nach IEEE 802.11n werden drei Betriebsmodi vorgesehen: Legacy Mode, Mixed Mode und Green Field.

Im Legacy Mode werden alle Pakete gemäß IEEE 802.11a/g übertragen. In diesem Modus wirkt lediglich MRC als Diversity und verbessert im Vergleich zu einem konventionellen WLAN-System die Empfangseigenschaften.

Im Mixed Mode werden die Pakete mit einer Präambel, die kompatibel zu IEEE 802.11a/g ist, übertragen. Die Präambel wird also immer mit einer niedrigeren Datenrate (maximal 54 MBit/s) gesendet, auch wenn der Rest des Pakets mit einer hohen Datenrate (z.B. 300 MBit/s) übertragen wird. Auf diese Weise kann eine Station, die IEEE 802.11n nicht unterstützt, feststellen, dass eine andere Station sendet und einen eigenen Sendeveruch zurückstellen. Umgekehrt muss ein Empfänger im Mixed Mode sowohl Mixed-Mode-Pakete als auch Legacy-Pakete dekodieren können. So werden auf eine einfache Weise Kollisionen vermieden und eine Koexistenz mit IEEE 802.11a/g ermöglicht. Bei Verwendung des Mixed Mode ist die Leistung allgemein durch die abwärtskompatible Präambel, die stets mit einer niedrigeren Datenrate übertragen wird, reduziert. Außerdem muss berücksichtigt werden, dass jede Übertragung nach IEEE 802.11a/g das System ausbremst, da für die Dauer der langsameren Übertragung keine

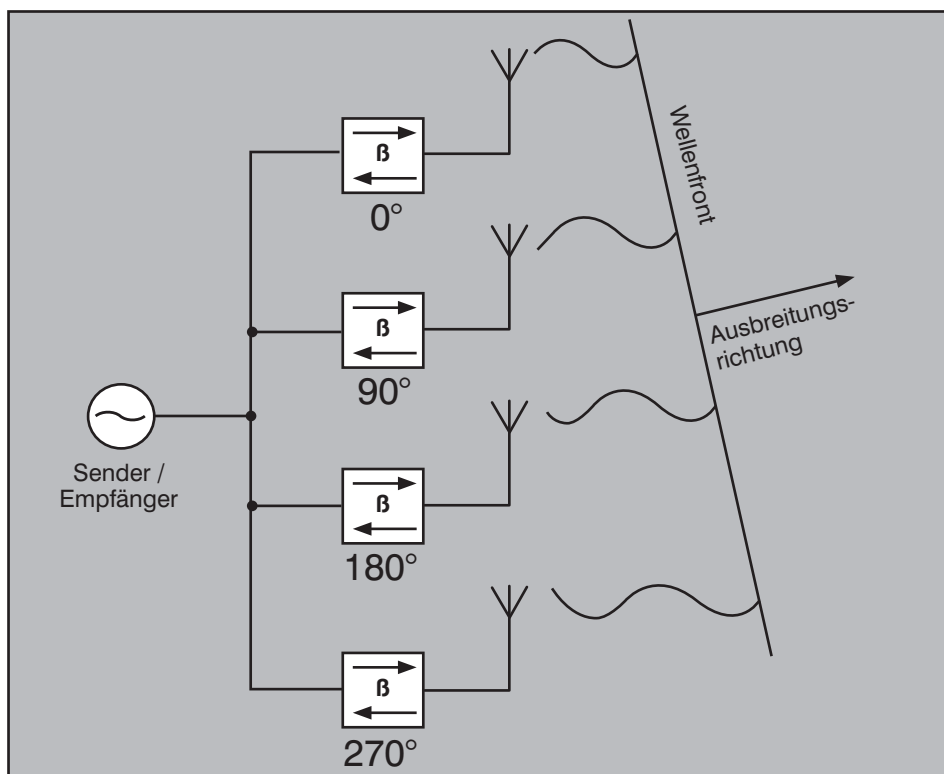


Abbildung 3: Steuerung der Ausrichtung einer Array-Antenne durch unterschiedliche Phasenlagen der Einzelantennen

schnellere IEEE-802.11n-Station das Medium verwenden kann.

Im Betriebsmodus Green Field wird ein reines 802.11n-Format übertragen, d.h. es ist keine Abwärtskompatibilität gegeben. Dieser Modus ist für Installationen gedacht, die keine Altgeräte mit IEEE 802.11a/g unterstützen müssen.

1.5 Sendeleistung und Regulierung

Die bestehenden Festlegungen für die Frequenzbereiche bei 2,4 GHz und bei 5 GHz gelten weiterhin und werden sinngemäß auf die neue Übertragungstechnik angewandt. Dabei ist der Verstärkungseffekt durch die parallele Übertragung über mehrere Antennen genauso zu beachten wie die mögliche größere Kanalbandbreite von 40 MHz:

- Die Summe über die von den Einzelantennen eines IEEE-802.11n-Systems abgestrahlten Leistungen darf die für ein traditionelles IEEE-802.11a/g-Gerät festgelegten Grenzwerte nicht überschreiten
- Die über einen 40-MHz-Kanal abgestrahlte Leistung darf nicht größer sein, als die Leistung eines entsprechenden Senders in einem 20-MHz-Kanal.

1.6 Folgen für das Design der WLAN-Komponenten

Die Implementierung von IEEE 802.11n erzwingt letztendlich eine komplett neue WLAN-Produktgeneration.

Access Points müssen Gigabit Ethernet unterstützen, damit eine Nettodatenrate jenseits von 100 MBit auf der Luftschnittstelle ohne Verlust in das kabelbasierte LAN abgeführt werden kann. Außerdem benötigen Access Points auch eine höhere Prozessorleistung, um die Luftschnittstelle bedienen zu können. Dabei ist natürlich ein Controller-basiertes Design vorteilhaft, da hier die Access Points von zusätzlichem Ballast befreit sind und sich ihre Funktion auf den reinen Datentransport konzentriert. Weiterhin ist der Aufbau von Access Points mit externen Antennen aufwändig. Man stelle sich nur den Installationsaufwand (und die optische Erscheinung) für einen Access Point mit vier Zügen vor, der mit vier externen Antennen versorgt wird.

Besonders kritisch ist die Stromversorgung der Access Points. Moderne WLAN-Installationen verwenden hier Power over Ethernet nach IEEE 802.3af. Access Points nach IEEE 802.11n werden aber oft einen Strombedarf jenseits von 15 Watt haben, sofern zwei Radioteile (jeweils ein Radioteil für 2,4 GHz und eines für 5 GHz) parallel betrieben werden sollen. Jetzt könnte man

Die nächste Enterprise-WLAN-Generation mit IEEE 802.11n

argumentieren, dass IEEE 802.11n bevorzugt bei 5 GHz eingesetzt würde und man daher auf den Parallelbetrieb eines zweiten Radioteils verzichten könnte. Andererseits sind Szenarien attraktiv, in denen ein Access Point bei 2,4 GHz im Legacy Mode arbeitet und im 5-GHz-Bereich im Mixed Mode oder sogar im Green-Field-Modus operiert.

Für die Stromversorgung von Geräten mit einer höheren Leistungsaufnahme ist der Standard IEEE 802.3at „Power over Ethernet Plus“ in Arbeit. Dabei soll ein System spezifiziert werden, dass auf den vorhandenen Verkabelungen mindestens doppelt soviel an Leistung zum Gerät bringt wie heute mit IEEE 802.3af möglich. Eine Verabschiedung ist noch für 2008 geplant, allerdings sind noch einige technische Probleme zu klären. Kritische Bereiche sind dabei die Stromfestigkeit des RJ45-Systems und temperaturabhängige Dämpfungseigenschaften der Datenkabel, was zu Längenrestriktionen führen kann.

Der hohe Strombedarf für Systeme nach IEEE 802.11n hat natürlich auch Auswirkungen auf den Endgerätebereich. IEEE 802.11n wird zunächst eine Domäne für Notebooks, Desktop PCs, Drucker. Für batteriebetriebene Kleingeräte wird es vorerst keine Unterstützung geben. Generell ist damit zu rechnen, dass Einsatz von IEEE 802.11n langfristig einen Mischbetrieb mit IEEE 802.11a/g erfordern wird.

Beim Aufbau eines Overlay-Netzes mit einem Controller-basierten Design muss berücksichtigt werden, dass der gesamte Client-Verkehr zu den WLAN Controllern über einen Tunnel übertragen wird. Die WLAN Controller müssen also die kumulierte Kommunikationslast der Access Points bewältigen können. Bei IEEE 802.11n muss hier eine im Vergleich zu 802.11a/g ca. 10-fache Kommunikationslast verkraftet werden können. Manche Hersteller empfehlen für die Unterstützung von IEEE 802.11n den Client-Verkehr am Access Point in das LAN auszukoppeln und nicht zum WLAN Controller zu tunneln, um den WLAN Controller zu entlasten. Dabei geht allerdings der Overlay-Charakter und damit der entscheidende Vorteil des Controller-basierten Designs verloren. WLAN Controller müssen also einfach leistungsfähiger werden, um IEEE 802.11n sinnvoll unterstützen zu können.

2. Standardisierung oder Pre-N-Zertifizierung

Ursprünglich hatte die Arbeitsgruppe für IEEE 802.11n geplant, bis zum Sommer 2005 einen tragfähigen Kompromiss zu schaffen mit dem Ziel einer baldigen Fer-

tigstellung des Standards. Dieses Ziel wird die IEEE erst mit knapp drei Jahren Verspätung erreichen. Die Verabschiedung von IEEE 802.11n ist jetzt für Ende 2008 geplant. Die aktuelle Vorversion für IEEE 802.11n ist Draft 3.00 vom September 2007.

Auf dem Weg zur Verabschiedung des Standards wurde im Herbst 2007 noch an einer weiteren Front gekämpft. Die australische Forschungseinrichtung CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization) besitzt ein US-Patent zum Thema WLAN aus dem Jahr 1996. CSIRO behauptet, dass dieses Patent die eigentlichen technischen Grundlagen für den Leistungsschub in IEEE 802.11n und den aktuell verfügbaren Vorstandardprodukten gelegt habe. Laut einem Gerichtsentscheid in den USA (in einem Rechtsstreit CSIRO gegen den Chip-Hersteller Buffalo Technology) ist das Patent gültig und bietet die Grundlage für die Forderung von Lizenzgebühren. Es gab darauf bereits Andeutungen, dass wegen der unklaren Sachlage die Zustimmung zur Ratifizierung von IEEE 802.11n Ende 2008 durch das IEEE Standards Board verweigert werden könnte. Dies hat natürlich die WLAN-Gemeinde verunsichert, auch wenn es aktuell so aussieht, dass sich die Gemüter wieder beruhigt haben.

Je länger sich die Verabschiedung von IEEE 802.11n hinzieht, desto größer wird die Rolle der Vorstandardprodukte (als Pre-N- oder als Wireless-N-Produkte bezeichnet). Mit den ersten Pre-N-Produkten wur-

de ausschließlich der Consumer-Bereich abgedeckt und anfänglich lag die Leistung der Systeme teilweise erheblich unter den Erwartungen. Weiterhin bestanden deutliche Probleme in der Interoperabilität. Daher hat die Wi-Fi Alliance im Frühjahr 2007 beschlossen, von der ursprünglich geplanten Vorgehensweise, bei der erst die Verabschiedung von IEEE 802.11n abgewartet und dann ein Zertifizierungsprogramm gestartet werden sollte, abzuweichen. Die Wi-Fi Alliance geht jetzt zweistufig vor und hat zunächst im Juni 2007 ein Zertifizierungsprogramm für Pre-N gestartet, das auf dem Draft 2.00 für IEEE 802.11n basiert. Sobald der Standard verabschiedet ist, wird die Wi-Fi Alliance in die zweite Phase eintreten und Produkte nach dem Standard zertifizieren. Stand Ende Februar 2008 sind bereits 222 Produkte zertifiziert (Abbildung 4).

3. Produktsituation

Inzwischen gibt es eine ganze Palette an Pre-N-Chipsätzen. Zu nennen sind beispielsweise Broadcom Intensi-fi, Marvell TopDog, Atheros XSPAN, Airgo Gen 3 und Intel Next-Gen Wireless-N. Dabei werden IEEE 802.11a/b/g und Pre-N nach Draft 2.0 sowie typischerweise 40 MHz Kanalbreite bei 5 GHz unterstützt. Angeboten werden meist zwei MIMO-Züge (Spatial Streams) mit drei Antennen für MRC. Diese Konfiguration wird auch als „2x3 Draft N“ bezeichnet. Damit ist eine maximale Bruttodatenrate von 300 MBit/s möglich (siehe Tabelle 2).

Nachdem Cisco im Herbst 2007 mit dem Aironet 1250 Access Point das erste Pro-

Jetzt Leser werden

Der Netzwerk Insider

Der Netzwerk Insider erscheint 12 Mal im Jahr im PDF-Format und informiert Sie per eMail über die Hintergründe aktueller Netzwerk-Technologien. Jeden Monat werden zwei Themen gewählt, über die in ausführlicher Form topaktuelle Insider-Informationen gegeben werden. Der Netzwerk-Insider vertritt die Sichtweise von Technologie-Anwendern und bewertet Produkte und Technologien im Sinne der wirtschaftlichen und erfolgreichen Umsetzbarkeit in der täglichen Praxis. Durch seine strenge wirtschaftliche Unabhängigkeit (keine Hersteller-Anzeigen) kann er es sich leisten, Schwachstellen und Nachteile offen anzusprechen. Der Netzwerk-Insider ist bekannt für seine kritische, herstellerneutrale und fundierte Technologie-Bewertung.



Hier können Sie sich zum Netzwerk Insider kostenlos und ohne jede Verpflichtung registrieren lassen:

<http://www.comconsult-akademie.de/de/Registrierung.php>

Die nächste Enterprise-WLAN-Generation mit IEEE 802.11n

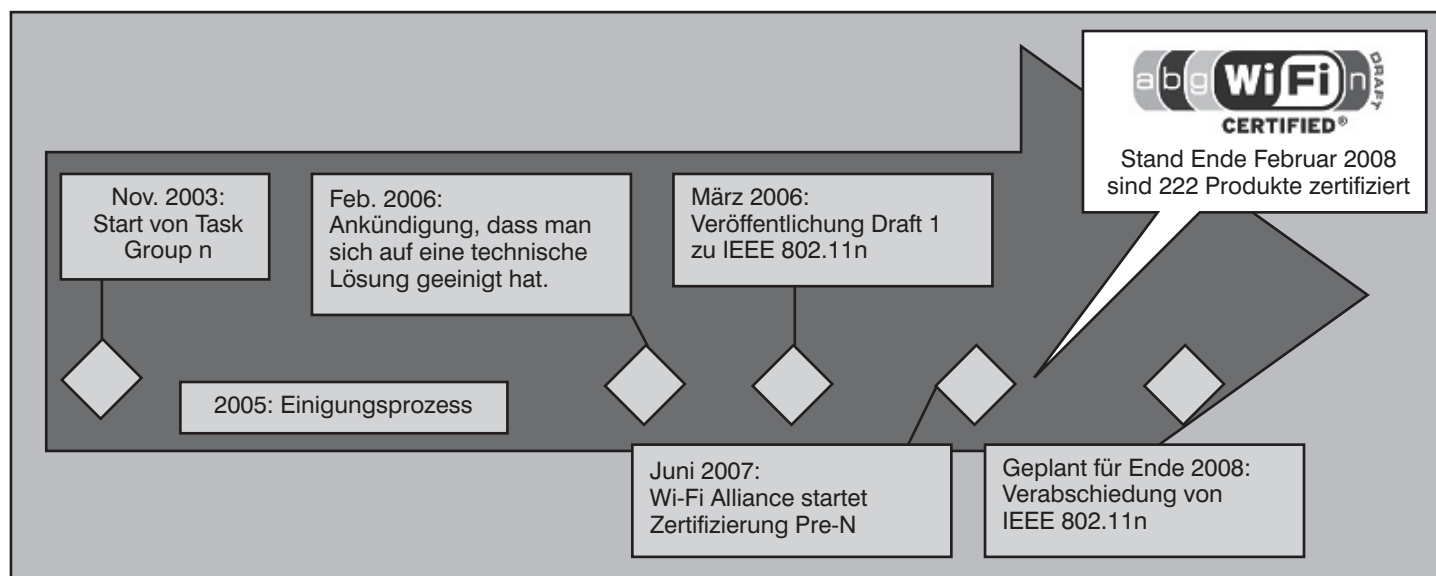


Abbildung 4: Prozess der Standardisierung von IEEE 802.11n

dukt im Enterprise-Bereich auf den Markt gebracht hat, haben andere Hersteller nachgezogen. Beispielsweise hat Siemens für März 2008 die Access Points Hipath Wireless AP3610 und AP3620 angekündigt. Diese Geräte sollen sich insbesondere durch einen vergleichsweise moderaten Stromverbrauch auszeichnen und noch konventionell mit IEEE 802.3af versorgt werden können. Aruba hat die Access Points AP-124 und AP-125 neu im Programm. Der AP-125 bietet eine 3x3 MIMO Konfiguration (d.h. drei MIMO-Züge) und kann damit theoretisch sogar eine Datenrate bis zu 450 MBit/s unterstützen. Weiterhin hat Trapeze für dieses Jahr mit dem MP-432 Access Point auch eine Pre-N-Variante angekündigt.

Es ist also davon auszugehen, dass im Laufe dieses Jahres die meisten Hersteller für den Enterprise-Bereich eine Pre-N-Lösung im Angebot haben werden.

4. Planung und Migration

Ein wesentlicher Aspekt bei der Planung eines WLAN für IEEE 802.11n oder Pre-N ist die Frage der möglichen Reichweiten. Die Hersteller versprechen eine Verdoppelung der Reichweite im Vergleich zu einem traditionellen System nach IEEE 802.11a/g. MIMO-Systeme haben, wie bereits erwähnt, ähnlich zu Richtantennen beim Empfang einen Verstärkungseffekt (MRC), der proportional zur Anzahl der Empfangsteile ist. Für Datenraten im Bereich von 100 MBit kann man von einem System nach IEEE 802.11n tatsächlich die Reichweite eines 11ag-Systems (ggf. sogar noch besser) erwarten. Bei einer Datenrate von 300 MBit/s und höher liegt die Reichweite aber typischerweise unter der eines konventionellen Systems nach IEEE 802.11a/g.

Die Daumenregel „Je höher die Datenrate, desto niedriger die Reichweite.“ gilt also trotz MIMO und MRC immer noch.

Dies hat einen positiven Effekt auf die Migration zu IEEE 802.11n bzw. Pre-N, denn beim Umrüsten bestehender Access Points auf neue Access Points ist in den meisten Fällen nicht mit Funklöchern zu rechnen. Eine bestehende Ausleuchtung nach IEEE 802.11a/g kann also quasi für IEEE 802.11n durchaus wieder verwendet werden. Zusätzliche Anschlüsse für Access Points sind wahrscheinlich erst dann erforderlich, wenn eine höhere Leistung von mehr als 100 MBit/s flächendeckend verfügbar sein soll. Da die Access Points einen Mischbetrieb unterstützen, kann eine Migration schrittweise erfolgen, indem beispielsweise zunächst punktuell die Bereiche umgerüstet werden, in denen besonders hohe Anforderungen an die WLAN-Leistung bestehen. Ein Client, der IEEE 802.11n bzw. Pre-N unterstützt, würde in diesen Bereichen dann in den Genuss einer hohen Datenrate kommen und bei Verlassen dieser Bereiche einfach wieder automatisch auf IEEE 802.11a/g zurückfallen.

Bei der optionalen Kanalbandbreite von 40 MHz belegt ein HT-OFDM-System natürlich doppelt soviel Frequenzspektrum, wie ein System nach IEEE 802.11a/g, das ja nur 20 MHz in Anspruch nimmt. Für 2,4 GHz ist das zur Verfügung stehende Spektrum knapp und bei 20 MHz Kanalbandbreite reicht das Spektrum nur für drei überschneidungsfreie Kanäle, d.h. es können in unmittelbarer Nachbarschaft nur drei Systeme störungsfrei parallel betrieben werden. Das reicht kaum für eine flächendeckende WLAN-Installation aus. Eine Kanalbandbreite von 40 MHz macht

(außer vielleicht im Consumer-Bereich) also nur bei 5 GHz Sinn. Hier sind immerhin 9 überschneidungsfreie Kanäle für 40-MHz-Systeme möglich, was für flächendeckende WLAN allemal ausreicht. Die Rahmenbedingung ist dabei allerdings, dass im 5-GHz-Bereich mit Dynamic Frequency Selection (DFS) gearbeitet wird, denn sonst darf nicht das gesamte zur Verfügung stehende Spektrum genutzt werden, sondern nur 100 MHz.

Auch wenn die Enterprise-Hersteller mit ihren Pre-N-Produkten jetzt langsam auf den Markt gehen, wird empfohlen, einen produktiven Einsatz von Pre-N vorsichtig anzugehen und insbesondere die Praxis-tauglichkeit der Produkte in Labor- und Feldtests zunächst zu erproben. Für Pre-N-Produkte besteht keine Gewährleistung, dass sich das Produkt später durch einen Firmware-Update auf IEEE 802.11n aufrüsten lässt. Sofern sich keine weiteren signifikanten Verzögerungen in der Standardisierung einstellen und man keinen zwingenden aktuellen Bedarf hat, sollten möglichst die Verabschiedung von IEEE 802.11n und die ersten Produkte mit einer 11n-Zertifizierung der Wi-Fi Alliance abgewartet werden.

Mit IEEE 802.11n kommt ohne Zweifel die nächste WLAN-Generation. Welche Rolle Pre-N dabei letztendlich spielen wird, hängt von den weiteren Verzögerungen der Standardisierung und der Produktverfügbarkeit im Enterprise-Bereich ab. Es wäre außerdem nicht das erste Mal, dass die Wi-Fi Alliance mit einem Vorstandard den entscheidenden Erfolg hat. Man erinnere sich nur an Wi-Fi Protected Access (WPA), WPA2 und Wi-Fi Multimedia (WMM).