

# Wireless LANs

802.11-WLAN-Technologie und praktische Umsetzung im Detail

von  
Jörg Rech

4., akt. u. erw. Aufl.

## Wireless LANs – Rech

schnell und portofrei erhältlich bei [beck-shop.de](http://beck-shop.de) DIE FACHBUCHHANDLUNG

Thematische Gliederung:

### [Mobilfunk- und Drahtlosnetzwerke & Anwendungen](#)

Heise Zeitschriften 2012

Verlag C.H. Beck im Internet:

[www.beck.de](http://www.beck.de)

ISBN 978 3 936931 75 4

# 6 VHT-Erweiterungen

IEEE 802.11n hat sich mittlerweile als 4. WLAN-Generation im Markt etabliert, neue WLAN-Produkte unterstützen heute in der Regel 802.11n mit einer Datenrate von 130 MBit/s oder mehr. Doch dies soll längst nicht das Ende der WLAN-Ära bedeuten – das IEEE arbeitet bereits an neuen Lösungen, die als Very-High-Throughput-Erweiterungen in den WLAN-Standard einfließen sollen. Hatte 802.11n den Meilenstein der drahtgebundenen 100-MBit/s-Grenze überschritten, so streben die neuen WLAN-Lösungen die Überschreitung der 1-GBit/s-Grenze an und versprechen Datenraten bis annähernd 7 GBit/s. Das folgende Kapitel liefert einen Einblick in die beiden zukünftigen WLAN-Lösungen.

*Very High Throughput*

## 6.1 IEEE 802.11ac

Das IEEE arbeitet bereits zielführend an der 5. WLAN-Generation, die 2013 als IEEE-802.11ac-Standard verabschiedet werden soll. Die Ziele sind wieder einmal hoch gesteckt, denn die angestrebte Datenrate von 802.11ac soll zwischen 433 MBit/s und 6,9333 GBit/s liegen. Das entspricht im Vergleich zu den heutigen n-Lösungen einer 3- bis 10-fachen Steigerung der Datenrate. Bei der neuen WLAN-Generation möchte man der Problematik des 2,4-GHz-Frequenzbandes, die durch die Kanalüberlappung und der Nutzung verschiedenster Technologien hervorgerufen wird, gänzlich aus dem Weg gehen. Demnach arbeitet 802.11ac ausschließlich im 5-GHz-Frequenzband. Hier stehen mehrere überlappungsfreie Kanäle zur Verfügung, sodass sich zwecks Erhöhung der Datenrate mehrere Kanäle problemlos bündeln lassen. Zudem meidet man im 5-GHz-Band, die konkurrierenden 2,4-GHz-Technologien, wie beispielsweise Bluetooth, die analogen Videoüberwachungsfunkstrecken und die Mikrowelle. Dies führt letztendlich zu einer besseren Stabilität in der Datenübertragung und somit zu einer

*IEEE 802.11ac*

höheren Nettodatenrate. Auch wenn 802.11ac das 2,4-GHz-Frequenzband außen vor lässt, wird dennoch eine Abwärtskompatibilität zu den 5-GHz-Lösungen nach 802.11a/n vorhanden sein. Die Funkzellen mit der hohen Datenratenunterstützung werden laut 802.11ac als VHT-BSS bezeichnet.

802.11ac zielt primär auf den Consumer-Markt ab und soll vornehmlich Anwendung finden für Videostreaming, Datensynchronisation und Backup-Prozesse. PDAs, Tablet-PCs und Mobiltelefone sind heute schon mit WLAN-Interfaces ausgestattet und treten immer mehr in den Mittelpunkt des Multimediazeitalters. Gerade die kompakten Geräte sollen von der 5. WLAN-Generation profitieren, da die notwendige Zeit zum Übertragen einer bestimmten Datenmenge durch die höhere Datenrate verkürzt wird. Dadurch soll der Leistungsverbrauch reduziert und die Akkulaufzeit erhöht werden.

### 6.1.1 802.11ac-Very-High-Throughput-PHY

*802.11ac-VHT-PHY* 802.11ac definiert im Wesentlichen einen neuen PHY, der als Very High Throughput (VHT-PHY) bezeichnet wird. Die höheren Datenraten werden durch mehrere Maßnahmen und Funktionen umgesetzt. 802.11n verwendet entweder eine Kanalbandbreite von 20 MHz oder optional von 40 MHz. 802.11ac sieht hingegen eine Bandbreitennutzung von 20 MHz, 40 MHz und 80 MHz vor, später sogar optional von 160 MHz. Entsprechende Mechanismen für die Koexistenz von 20-, 40-, 80- und 160-MHz-Kanäle sind vorgesehen.

Als höchstwertige Modulation wird 256-QAM mit einer Coderate von 3/4 und 5/6 (anstelle von 64-QAM mit 5/6) verwendet. Wie beim n-Standard wird entweder ein Guard-Intervall von 800 ns oder die gekürzte Variante von 400 ns benutzt. Die maximale Anzahl der Antennen wird verdoppelt, sodass optional bis zu 8 Antennen zum Einsatz kommen sollen. Die Anzahl der Spatial Streams wird somit ebenfalls auf 8 erhöht.

Funktionell betrachtet, setzt 802.11ac im Wesentlichen auf der 802.11n-Erweiterung auf. Deshalb ist die 802.11ac-Standerweiterung relativ kurz.

### 6.1.2 802.11ac-Beamforming

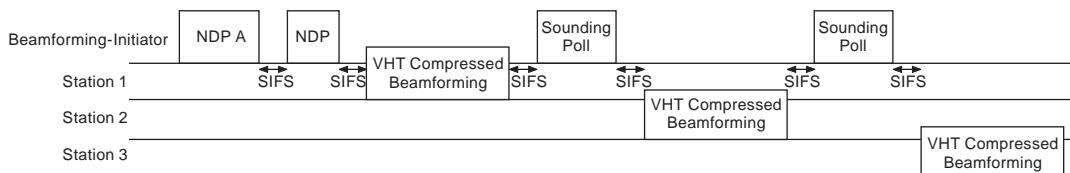
*802.11ac-Beamforming*

Das in 802.11n optionale Beamforming basiert auf einem 1:1-Informationaustausch, dem sogenannten Single Sounding und Feedback. Hierzu werden regelmäßig Beamforming-Frames zum Empfänger geschickt, deren Empfangscharakteristik ausgewertet und die Ergeb-

nisse an den Sender als Beamforming-Response zurückgeschickt werden. Über die Rückmeldung kann das Feintuning für das Beamforming erfolgen und damit die Abstrahlcharakteristik des Senders dynamisch an die Umgebung angepasst werden. Neu bei 802.11ac wird das sogenannte Multi-Sounding und Feedback-Beamforming sein. Dies sieht den Informationsaustausch zu mehreren Empfängern vor, was die optimierte Anpassung des auszusendenden Signals zu mehreren Empfängern ermöglicht. Alles in allem lässt sich dadurch die Reichweite und die lückenlose WLAN-Abdeckung erhöhen.

Für das Beamforming muss ein Sender Kenntnisse über den Kanalstatus gewinnen, damit dieser eine Steuerungsmatrix berechnen kann. Diese Matrix nutzt der Sender für die Anpassung der auszusendenden Signale, sodass diese beim Empfänger in optimierter Form ankommen. Für das Beamforming wird eine Sounding-Feedback-Sequenz initiiert, indem ein NDPA-Frame ausgesendet wird. Innerhalb dieses Frames sind alle Stationen aufgelistet, von denen der Initiator erwartet, dass sie ein VHT-Compressed-Beamforming-Response-Frame vorbereiten. Nach dem Empfang eines Null-Data-Packet-Frames (NDP) und eines SIFS sendet die erste Empfängerstation der Stationsliste ein Compressed-Beamforming-Response-Frame. Alle weiteren Stationen senden ihr Beamforming-Response-Frame aus, nachdem diese ein Sounding-Poll-Frame empfangen haben, in dem jeweils ihre Adresse aufgelistet ist (siehe Abb. 6–1).

**Abb. 6–1**  
Sounding-Feedback-Sequenz mit mehreren Stationen



Des Weiteren sieht 802.11ac neue Übertragungsmodi vor, die als Multi-User-MIMO (MU-MIMO) bezeichnet werden und besonders für Multimedia-Anwendungen interessant sind. Hierfür ist vorgesehen, dass mehrere Stationen, mit einer oder mehreren Antennen, simultan Daten senden und empfangen. Die Trennung der Daten erfolgt in diesem Fall über eine Raum-Zeit-Block-Codierung, engl. Space Time Block Coding, kurz STBC (siehe Abschnitt 5.1.3). Optional ist auch ein sogenanntes Downstream-MU-MIMO vorgesehen, bei dem eine zentrale Instanz zeitgleich an mehrere Stationen Daten aussendet.

*Multi-User-MIMO*

Die Steigerung der erzielbaren Datenrate basiert größtenteils auf der gebündelten Nutzung mehrerer Kanäle und der dadurch resultie-

*Kanalbündelung*

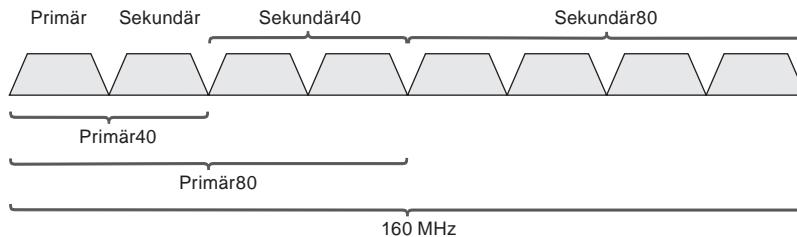
renden höheren Anzahl der Unterträger, die für die Datenübertragung verwendet werden kann. Um die Anzahl der Unterträger für die Daten zu erhalten, müssen von der Gesamtanzahl der Unterträger die Träger für die Pilotkanäle und der Center-Frequenz abgezogen werden. Wie bei 802.11n werden die breiteren Kanäle durch unmittelbar benachbarte 20-MHz-Kanäle gebildet, wodurch diese übergangslos genutzt werden können. Daraus ergibt sich der Vorteil, dass bei der Verdopplung der Bandbreite mehr als die doppelte Anzahl von Unterträgern für die Datenübertragung zur Verfügung stehen.

Wesentlicher Vorteil des 5-GHz-Frequenzbandes ist, dass bis zu 19 überlappungsfreie Kanäle vorhanden sind. Eine Kanalbündelung ist deshalb weitaus praktikabler als im 2,4-GHz-Band. Betrachtet man jedoch die höheren ac-Datenraten, die auf Nutzung von bis zu acht 20-MHz-Kanälen beruhen, so kann es in einer dicht besiedelten Umgebung auch im 5-GHz-Bereich schnell problematisch werden, die benötigte Anzahl von freien benachbarten Kanälen zu finden. Deshalb sieht 802.11ac bei der übergangslosen Nutzung der 20-MHz-Kanäle eine Ausnahme für die Bildung eines 160-MHz-Kanals vor, indem zwei nicht benachbarte 80-MHz-Kanalgruppen verwendet werden können. Tabelle 6-1 zeigt die jeweilige Aufteilung der genutzten Kanalbandbreite.

**Tab. 6-1**  
*Nutzung der Kanalbandbreite*

Bandbreite	Unterträger	Pilotträger	Träger für Center-Frequenz	Verbleibende Unterträger für Daten
20 MHz	57	4	1	52
40 MHz	115	6	1	108
80 MHz	243	8	1	234
80 MHz + 80 MHz	243 + 243	8 + 8	1 + 1	234 + 234
160 MHz	485	16	1	468

Für die Statusbetrachtung der verwendeten Bandbreite werden die Frequenzbereiche in einer Kanalliste als Elemente verwaltet. Das Element Primär beschreibt, dass die primären 20 MHz belegt sind. Über das Element Sekundär wird angegeben, dass die sekundären 20 MHz belegt sind. Mit Hilfe des Elementes Sekundär 40 wird angezeigt, dass mindestens einer der beiden 20-MHz-Bereiche belegt ist. Das Element Sekundär 80 weist darauf hin, dass mindestens ein 20-MHz-Bereich im sekundären 80-MHz-Bereich belegt ist. Abbildung 6-2 zeigt die Zusammenhänge zwischen den Kanallistenelementen und dem genutzten Frequenzband.



**Abb. 6–2**  
Zusammenhänge  
zwischen den  
Kanallistenelementen  
und dem Frequenzband

Für den Medienzugriff prüft eine Station immer die Kanalliste. Ist diese leer, so kann sie von einem freien Übertragungsmedium ausgehen und auf das Medium zugreifen. Andernfalls werden über die jeweiligen Kanallistenelemente die Bereiche angezeigt, die teilweise oder ganz belegt sind. Die NAV-Werte werden jeweils über das Duration/ID-Feld aktualisiert, das in der PPDU enthalten ist, die von einer Station auf dem primären Kanal empfangen wurde. Dies entspricht beispielsweise bei einer 20-MHz-PPDU dem primären 20-MHz-Kanal und bei einer 80-MHz-PPDU dem primären 80-MHz-Kanal.

### 6.1.3 802.11ac-VHT-PHY-Parameter

Die Sendeleistung richtet sich nach den lokalen Vorgaben der Regulierungsbehörden und ist im 5-GHz-Bereich von dem genutzten Frequenzbereich abhängig (siehe Abschnitt 1.4). Demnach gelten im europäischen Raum für den unteren Frequenzbereich des 5-GHz-Bandes als Summe der Sendeleistung, die über die verwendeten Antennen abgestrahlt wird, 23 dBm (200 mW) und für den oberen Bereich 30 dBm (1 W).

*Sendeleistung*

Die Empfängerempfindlichkeit ist laut 802.11ac von dem verwendeten Modulationsverfahren, der Coderate und der Kanalbandbreite abhängig. Die Tabelle 6–2 zeigt die Mindestanforderungen der Empfängerempfindlichkeiten nach 802.11ac.

*Empfänger-  
empfindlichkeit*

Modulation	Coderate	Empfindlichkeit 20 MHz [dBm]	Empfindlichkeit 40 MHz [dBm]	Empfindlichkeit 80 MHz [dBm]	Empfindlichkeit 160 MHz [dBm]
BPSK	1/2	-82	-79	-76	-73
QPSK	1/2	-79	-76	-73	-70
QPSK	3/4	-77	-74	-71	-68
16-QAM	1/2	-74	-71	-68	-65
16-QAM	3/4	-70	-67	-64	-61 →

**Tab. 6–2**  
Mindestempfänger-  
empfindlichkeiten  
laut 802.11ac

Modulation	Coderate	Empfindlichkeit 20 MHz [dBm]	Empfindlichkeit 40 MHz [dBm]	Empfindlichkeit 80 MHz [dBm]	Empfindlichkeit 160 MHz [dBm]
64-QAM	2/3	-66	-63	-60	-57
64-QAM	3/4	-65	-62	-59	-56
64-QAM	5/6	-64	-61	-58	-55
256-QAM	3/4	-59	-56	-53	-50
256-QAM	5/6	-57	-54	-51	-48

Die in der Tabelle dargestellten Werte der minimalen Empfängerempfindlichkeit beziehen sich jeweils auf eine PER (packet error rate) von weniger als 10%, bezogen auf eine PSDU-Länge von 4096 Bytes.

#### CCA-Empfindlichkeit

Die CCA-Empfindlichkeit entspricht der einer HT-Station, wie sie in Abschnitt 5.2.9 beschrieben ist. Demnach gilt ein Kanal als belegt, wenn auf dem primären 20-MHz-Kanal irgendwann ein Signal mit der Größe von -62 dBm oder mehr erkannt wird. Des Weiteren gilt der Kanal als belegt, wenn eine Nicht-HT- oder VHT-PDDU mit der Signalstärke von -82 dBm oder höher erkannt wird. Letztere Konstellation gilt bei dem 40-MHz-Kanal bei einer Mindestsignalstärke von -79 dBm, bei 80 MHz von -76 dBm und 160 MHz von -73 dBm.

#### 6.1.4 802.11ac-MCS

##### 802.11ac-MCS

Die unterstützten Datenraten basieren auf unterschiedlichen Codierungsverfahren und Bandbreiten, die für die Datenübertragung genutzt werden. 802.11ac sieht eine Vielzahl von Kombinationen vor, die jeweils in MCS 0 bis 9 beschrieben sind. VHT-Stationen müssen 20 MHz, 40 MHz und 80 MHz mit einem Spatial Stream unterstützen, die Unterstützung mehrerer Spatial Streams (Sende- und Empfängerzüge) und die 160-MHz-Bandbreitennutzung sind optional, ebenso die eines kurzen Guard-Intervalls. Des Weiteren sind MCS 8 und 9 jeweils optional. Es muss das Binary Convolutional Coding (BCC) mit einer Coderate von 1/2 unterstützt werden. Außerdem ist optional die Nutzung von LDPC mit Coderaten von 1/2, 2/3, 3/4 und 5/6 vorgesehen. Die folgende Tabelle zeigt die MCS mit der Nutzung von 20 MHz Bandbreite und einem Sende- und Empfängerzug.