

# LANCOM Whitepaper

## MU-MIMO mit IEEE 802.11ac

Mit der Einführung des WLAN-Standards IEEE 802.11n wurde die MIMO-Technologie (Multiple Input and Multiple Output) etabliert. MIMO beschreibt die Möglichkeit der simultanen Datenübertragung für Wireless-Geräte über mehrere Streams. Dadurch wird die Verbindungsgeschwindigkeit zwischen Sendee- und Empfangsgerät deutlich erhöht – allerdings nur für jeweils ein Empfangsgerät gleichzeitig.

Nachdem der Standard IEEE 802.11ac bereits weitere Performanceverbesserungen mit sich brachte, wurde mit IEEE 802.11ac Wave 2 MU-MIMO (Multi-User Multiple Input and Multiple Output) für eine effizientere Nutzung der verfügbaren Bandbreite realisiert.

Dieses Whitepaper beschreibt, wie MU-MIMO die immensen Vorteile durch MIMO für mehrere Clients gleichzeitig nutzbar macht und zudem die Gesamtleistung des WLANs auf eine neue Stufe hebt.

### MIMO

MIMO nutzt unterschiedliche Sender und Empfänger, um mehrere parallele Datenströme (Spatial Streams) zu realisieren. Dadurch, dass sich die Laufzeiten der Signale zwischen den einzelnen Sendern und Empfängern durch Reflexionen und unterschiedliche Distanz zwischen den beteiligten Antennen unterscheiden, sind diese Signale sicher identifizierbar. So können die verschiedenen Datenströme genutzt werden, um mehr Daten zu transportieren. Ein von einem Sender A ausgestrahltes und vom Empfänger 1 empfangenes Signal legt einen anderen Weg zurück als ein Signal von Sender B zu Empfänger 2 – beide Signale

erfahren auf dem Weg andere Reflexionen und Polarisationsänderungen, haben also einen charakteristischen Weg hinter sich (Abb. 1).

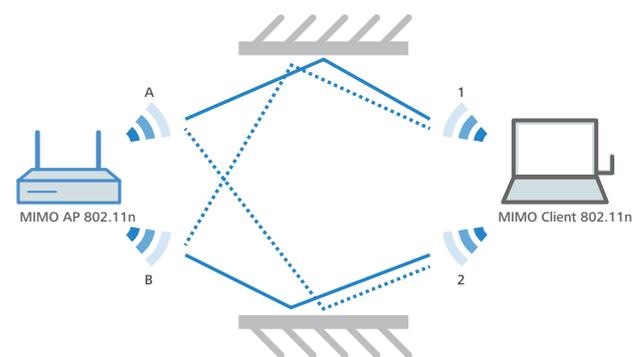


Abb. 1: 2x2 MIMO

Die Daten werden z. B. beim Access Point in zwei Gruppen aufgeteilt, die jeweils über separate Antennen, aber gleichzeitig zum WLAN-Client gesendet werden. Mit dem Einsatz zweier Sendee- und Empfangsantennen kann der Datendurchsatz theoretisch verdoppelt werden. Die Kurzbezeichnung "Sender x Empfänger" gibt die Anzahl der Sendee- und Empfangsantennen wieder. Ein 3x3-MIMO beschreibt also drei Sendee- und drei Empfangsantennen.

Die größte Einschränkung bei der Verwendung von MIMO besteht darin, dass ein IEEE 802.11n Access Point stets nur mit einem Client gleichzeitig kommunizieren kann, weshalb häufig auch von Single-User MIMO (SU-MIMO) gesprochen wird. Dies bedeutet, dass den verbundenen Clients nur nacheinander eine Übertragungsmöglichkeit eingeräumt wird, wodurch in vielen Fällen nicht alle verfügbaren Spatial Streams genutzt werden können. Überträgt ein 4x4 Access Point per SU-MIMO Daten

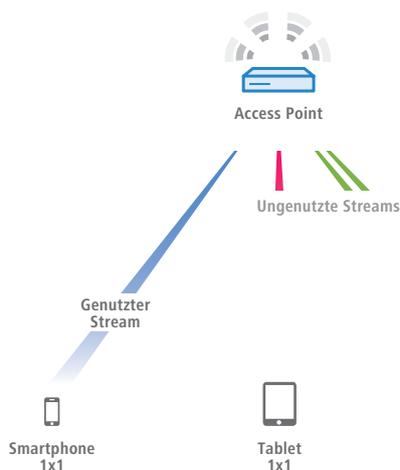


Abb. 2: Single-User MIMO

an einen 1x1 Client (Smartphone oder Tablet), ist für die Dauer dieser Übertragung keine Kommunikation mit anderen verbundenen Clients möglich, obwohl nur einer von vier möglichen Streams genutzt wird (Abb. 2).

Diese Einschränkungen werden durch MU-MIMO als Bestandteil von IEEE 802.11ac Wave 2 aufgehoben. Voraussetzung dafür ist, dass sowohl Clients als auch Access Points diesen Standard unterstützen.

## MU-MIMO

Als Bestandteil des Standards IEEE 802.11ac Wave 2 arbeitet Multi-User MIMO (kurz MU-MIMO) ausschließlich im 5-GHz-Band und ermöglicht die Aufteilung der verschiedenen Spatial Streams eines Access Points auf unterschiedliche Clients. So können mehrere Clients gleichzeitig mit Daten versorgt und alle verfügbaren Spatial Streams effizient genutzt werden. Damit wird die gesamte Bandbreite, über die parallel Daten übertragen werden können, erhöht. Beispielsweise kann mit MU-MIMO ein Access Point mit 4x4 MIMO vier Spatial Streams nutzen, um Daten parallel an einen 2x2 Client (Laptop) und zwei 1x1 Clients (z. B. Tablet und Smartphone) zu übertragen (Abb. 3).

Das Wireless-Netzwerk ist dadurch außerdem in der Lage, weitere Clients in der Warteschlange schneller zu bedienen. Damit ist eine effizientere Datenversorgung möglich, obwohl die Geschwindigkeit der Datenüber-

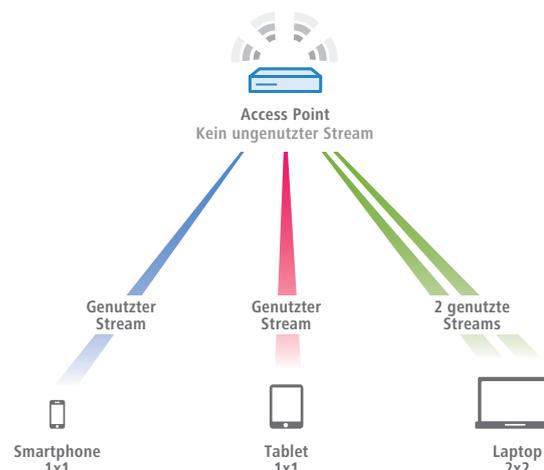


Abb. 3: Multi-User MIMO

tragung für einzelne Clients nicht höher ist. Die Folge ist ein besseres WLAN-Erlebnis für alle Clients. Dies wirkt sich besonders in Szenarien mit vielen Benutzern aus, z. B. bei öffentlichen Wireless-Hotspots. Selbst Wireless-Clients, die kein MU-MIMO unterstützen, können indirekt von dieser Technologie profitieren. Dadurch, dass MU-MIMO-fähige Clients schneller mit Daten versorgt werden können, steht für die Kommunikation mit dem Access Point mehr Zeit für alle Clients zur Verfügung.

## Beamforming

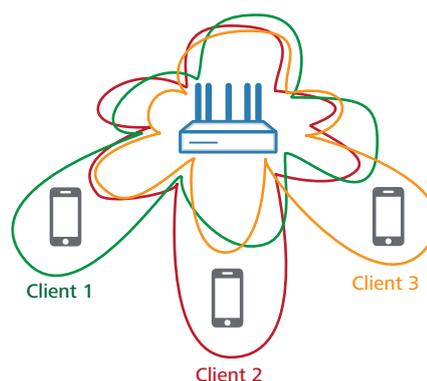


Abb. 4: Beamforming

Beamforming ist essentiell für die Funktionalität von MU-MIMO. Mit Beamforming kann ein Access Point steuern, wie stark das Signal in verschiedene Richtungen abgestrahlt wird, um bestimmten Clients eine besonders gute Verbindung zu ermöglichen oder auch um andere Clients möglichst

nicht mit den Signalen zu stören. In Zusammenarbeit mit MU-MIMO können somit die verschiedenen Clients, die für sie bestimmten Spatial Streams mit minimalen Interferenzen empfangen, was sich positiv auf die verfügbaren Bruttodatenraten der einzelnen Clients auswirkt (Abb. 4). Beamforming war bereits mit IEEE 802.11n möglich, aber nicht genau spezifiziert. Dies hat zu proprietären Implementierungen geführt, die nur mit spezifischer Hardware genutzt werden konnten. In IEEE 802.11ac ist Beamforming ein definierter Bestandteil des Standards, womit Hardware-übergreifende Kompatibilität gewährleistet ist.

### Zusätzliche Erweiterungen in IEEE 802.11ac Wave 2

Neben MU-MIMO bringt die zweite Generation des Standards IEEE 802.11ac zwei zusätzliche Erweiterungen, die auf eine Erhöhung der Bandbreite abzielen.

#### 4x4 MIMO

4x4 MIMO mit bis zu vier Spatial Streams wurde bereits in IEEE 802.11ac Wave 1 implementiert, ist aber erst mit 802.11ac Wave 2 sinnvoll nutzbar. Die Kompatibilität zwischen den unterschiedlichen Verfahren ist dabei in beiden Richtungen gewährleistet, wobei die maximal erzielbare Bandbreite stets durch das Gerät mit der niedrigsten Anzahl von Sendern bzw. Empfängern vorgegeben ist.

Insbesondere in Kombination mit MU-MIMO entfaltet ein 4x4 MIMO Access Point seine Stärke: Seine maximale Datenrate von 1733 MBit/s kann auf mehrere Clients aufgeteilt und somit das Funkfeld mit höchster Effizienz ausgenutzt werden.

MIMO	80 MHz	160 MHz
1x1	433	866
2x2	866	1733
3x3	1300	2600
4x4	1733	3466

Maximale vom Standard vorgesehene Bruttodatenraten in MBit/s abhängig von MIMO und Kanalbreite

### Unterstützung von Kanalbreiten bis 160 MHz

Einer der größten Vorteile im 5-GHz-Frequenzband liegt in der Anzahl der überlappungsfreien Kanäle, die jeweils eine Breite von 20 MHz haben. Ein WLAN Access Point ist in der Lage, Kanäle zu bündeln, um so die zu übertragende Datenmenge zu steigern. IEEE 802.11ac Wave 2 Access Points benutzen diese Technologie, um Kanäle mit 160 MHz Breite zu erzeugen. Die Erhöhung der Kanalbreite auf 160 MHz bringt im Vergleich zu IEEE 802.11ac Wave 1 und dessen maximaler Kanalbreite von 80 MHz theoretisch eine Verdoppelung der Performance. Allerdings wird durch die Kanalbündelung auf 160 MHz die Anzahl der verfügbaren Kanäle deutlich reduziert. Hinzu kommt, dass bestimmte Kanäle für Wetterradar-Dienste reserviert sind und somit grundsätzlich nicht zur Verfügung stehen. Daher spielt der Nutzen in der Praxis eine eher untergeordnete Rolle (Abb. 6).

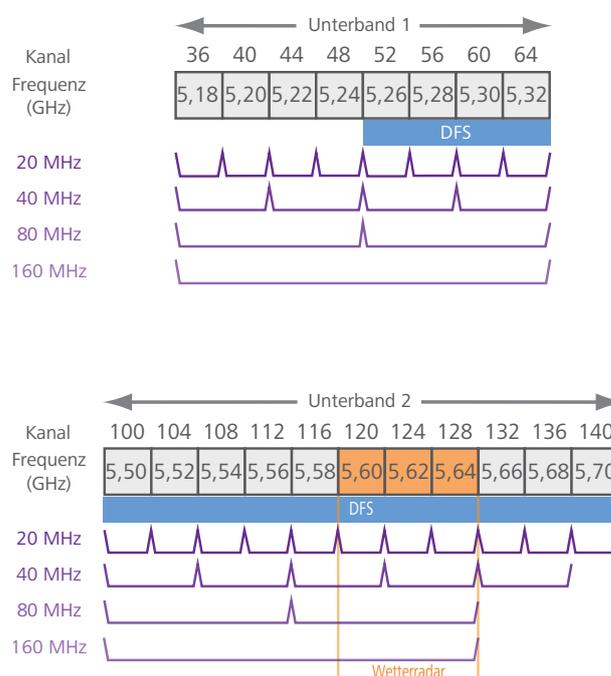


Abb. 6: Kanäle im 5-GHz-Frequenzband

### Anforderungen an die Infrastruktur

Um die Geschwindigkeit von IEEE 802.11ac Wave 2 voll ausnutzen zu können, muss die Infrastruktur einige Anforderungen erfüllen:

- › IEEE 802.11ac Wave 2 Clients werden benötigt, um die Vorteile des neuen Standards nutzen zu können.
- › Gigabit Switches mit mindestens 1 GBit/s, besser 10 GBit/s Uplink Ports, um sicherzustellen, dass die hohen Übertragungsraten erreicht werden können.
- › Unterstützung des LACP-Protokolls durch Switches und Access Points, um die Gigabit-Grenze einer Ethernet-Verkabelung durch die Bündelung mehrerer Ports zu durchbrechen.
- › Ab 3x3 MIMO Dual Radio Access Points wird für volle Leistung IEEE 802.3at (PoE+) benötigt.
- › Dual Radio Access Points, die IEEE 802.11ac Wave 2 in 5 GHz für maximale Performance anbieten und auf 2,4 GHz allen älteren Clients den WLAN-Zugang ermöglichen.

### Fazit

Der WLAN-Standard IEEE 802.11ac Wave 2 bietet eine erhebliche Performance- und Effizienzsteigerung für drahtlose Netzwerke, da Multi-User MIMO die Nutzung aller verfügbaren Streams auf mehrere Clients gleichzeitig ermöglicht, statt, wie bei Single-User MIMO, diese nacheinander zu bedienen. Die verfügbare Bandbreite wird effizienter ausgenutzt und Verzögerungen im Funknetz werden deutlich reduziert.

Dank Beamforming werden Clients zudem gezielter und damit effektiver angesteuert, um andere Clients möglichst nicht mit Funksignalen zu stören. In Zusammenarbeit mit MU-MIMO können Clients die für sie bestimmten Spatial Streams mit minimalen Interferenzen empfangen, was sich positiv auf den Durchsatz aller Clients auswirkt.

Im Vergleich zum bisherigen SU-MIMO bringt MU-MIMO in Kombination mit den zusätzlichen Erweiterungen von IEEE 802.11ac Wave 2 ein massiv gesteigertes WLAN-Erlebnis.