

3.10 MIMO und MU-MIMO

MIMO und MU-MIMO sind Verfahren in modernen WLAN-Systemen.

Sie sollen die Datenübertragung über Funk leistungsfähiger machen.

Die Grundidee ist:

Mehrere Antennen können mehrere Datenströme übertragen.

Dadurch kann WLAN schneller und effizienter arbeiten.

Wichtig:

MIMO und MU-MIMO betreffen vor allem WLAN-Funktechnik und damit die unteren Schichten des Netzwerks.

Begriff: MIMO

MIMO steht für:

Multiple Input Multiple Output

Auf Deutsch sinngemäß:

mehrere Eingänge und mehrere Ausgänge

Gemeint ist:

Ein Gerät verwendet mehrere Antennen, um mehrere Funkdatenströme zu senden oder zu empfangen.

Vereinfacht gesagt:

Statt nur über eine Antenne zu senden, werden mehrere Antennen genutzt.

Merksatz:

MIMO = mehrere Antennen für mehrere Datenströme.

Warum gibt es MIMO?

WLAN ist ein Funkmedium.

Funk ist abhängig von:

- Entfernung
- Hindernissen
- Reflexionen
- Störungen
- Signalqualität
- Anzahl der Clients
- genutztem Frequenzband

MIMO nutzt mehrere Antennen, um die Funkübertragung zu verbessern.

Ziele von MIMO:

- höhere Datenrate
- bessere Funkabdeckung
- stabilere Verbindung
- bessere Nutzung von Reflexionen
- effizientere Übertragung

Merksatz:

MIMO verbessert die Funkübertragung durch mehrere Antennen.

Begriff: Antenne

Eine Antenne sendet oder empfängt elektromagnetische Wellen.

Bei WLAN bedeutet das:

Die Antenne überträgt oder empfängt Funksignale.

Ein Access Point kann mehrere Antennen besitzen.

Auch viele Notebooks, Smartphones oder Tablets besitzen mehrere interne Antennen.

Merksatz:

Antenne = Bauteil zum Senden und Empfangen von Funkwellen.

Begriff: Datenstrom

Ein Datenstrom ist ein Strom von Daten, der übertragen wird.

Bei MIMO spricht man häufig von räumlichen Datenströmen.

Fachlich wird auch der Begriff verwendet:

Spatial Stream

Ein Spatial Stream ist ein räumlich getrennter Datenstrom über Funk.

Merksatz:

Spatial Stream = räumlicher Datenstrom bei MIMO.

Einfaches Beispiel für MIMO

Ein Access Point hat 4 Antennen.

Ein Notebook hat 2 Antennen.

Dann kann das Notebook maximal so viele Datenströme nutzen, wie beide Seiten gemeinsam unterstützen.

Vereinfacht:

Access Point: 4 Antennen

Notebook: 2 Antennen

Dann kann die Verbindung zum Notebook zum Beispiel mit 2 Datenströmen arbeiten.

Wichtig:

Nicht nur der Access Point ist entscheidend.
Auch der Client muss MIMO unterstützen.

Merksatz:

Die schwächere Seite begrenzt die Verbindung.

MIMO als Alltagsvergleich

Man kann MIMO vereinfacht mit mehreren Fahrspuren vergleichen.

Eine Fahrspur:

Weniger gleichzeitiger Verkehr möglich.

Mehrere Fahrspuren:

Mehr Verkehr kann parallel fließen.

Übertragen auf WLAN:

Eine Antenne / ein Datenstrom = weniger parallele Übertragung.
Mehrere Antennen / Datenströme = mehr parallele Übertragung möglich.

Wichtig:

Der Vergleich ist vereinfacht.
Funktechnik ist technisch komplexer.

Merksatz:

MIMO nutzt mehrere „Funkwege“ gleichzeitig.

MIMO und Reflexionen

In Innenräumen werden Funksignale oft reflektiert.

Reflexionen entstehen zum Beispiel an:

- Wänden
- Decken
- Möbeln
- Metallflächen
- Türen
- Menschen

Früher waren Reflexionen vor allem ein Problem.

MIMO kann Reflexionen teilweise nutzen, um mehrere räumliche Signalwege zu verwenden.

Vereinfacht:

Funkwellen kommen über mehrere Wege beim Empfänger an.
MIMO kann daraus zusätzliche Übertragungsmöglichkeiten gewinnen.

Merksatz:

MIMO kann mehrere Funkwege besser ausnutzen.

Begriff: SU-MIMO

SU-MIMO steht für:

Single User MIMO

Das bedeutet:

MIMO für einen einzelnen Client zur gleichen Zeit.

Bei SU-MIMO kann ein Access Point mehrere Antennen für die Verbindung zu einem Client verwenden.

Wenn mehrere Clients vorhanden sind, bedient der Access Point sie nacheinander.

Merksatz:

SU-MIMO = mehrere Antennen für einen Client zur gleichen Zeit.

Begriff: MU-MIMO

MU-MIMO steht für:

Multi User MIMO

Das bedeutet:

MIMO für mehrere Clients.

Bei MU-MIMO kann ein Access Point mehrere Clients gleichzeitig mit getrennten Datenströmen bedienen.

Vereinfacht gesagt:

Der Access Point kann seine Antennen besser auf mehrere Geräte aufteilen.

Merksatz:

MU-MIMO = mehrere Clients gleichzeitig über mehrere Datenströme.

MIMO und MU-MIMO im Vergleich

Begriff	Bedeutung	Grundidee
MIMO	Multiple Input Multiple Output	mehrere Antennen und Datenströme
SU-MIMO	Single User MIMO	mehrere Datenströme für einen Client
MU-MIMO	Multi User MIMO	mehrere Clients gleichzeitig bedienen

Wichtig:

MIMO ist der Oberbegriff.

MU-MIMO ist eine Weiterentwicklung für mehrere Nutzer.

Beispiel: MIMO ohne MU-MIMO

Ein Access Point hat 4 Antennen.

Zwei Notebooks haben jeweils 2 Antennen.

Ohne MU-MIMO kann der Access Point die Clients vereinfacht nacheinander bedienen.

Ablauf vereinfacht:

Access Point kommuniziert mit Notebook A.
Danach kommuniziert er mit Notebook B.
Danach wieder mit Notebook A.

Die Clients teilen sich die verfügbare Funkzeit.

Merksatz:

Ohne MU-MIMO werden mehrere Clients eher nacheinander bedient.

Beispiel: MU-MIMO

Ein Access Point hat 4 Antennen.

Zwei Notebooks haben jeweils 2 Antennen.

Mit MU-MIMO kann der Access Point vereinfacht beide Notebooks gleichzeitig bedienen.

Beispiel:

2 Datenströme zu Notebook A
2 Datenströme zu Notebook B

Dadurch kann die verfügbare Funkkapazität besser genutzt werden.

Merksatz:

MU-MIMO kann mehrere Clients gleichzeitig versorgen.

Warum ist MU-MIMO sinnvoll?

In modernen Netzwerken gibt es oft viele WLAN-Geräte.

Beispiele:

- Notebooks
- Smartphones
- Tablets
- Drucker
- Kameras
- IoT-Geräte
- Smart-TVs
- VoIP-Geräte

Wenn viele Geräte gleichzeitig aktiv sind, wird WLAN stärker belastet.

MU-MIMO kann helfen, die verfügbare Funkkapazität effizienter zu nutzen.

Merksatz:

MU-MIMO ist besonders bei mehreren Clients sinnvoll.

Wichtig: MU-MIMO erhöht nicht automatisch alles

MU-MIMO bedeutet nicht automatisch, dass jedes Gerät immer schneller wird.

Die Wirkung hängt ab von:

- Access Point
- WLAN-Standard
- Client-Unterstützung
- Anzahl der Antennen
- Signalqualität
- Entfernung
- Kanalbreite
- Frequenzband
- Anzahl der aktiven Clients
- Umgebung

Wichtig:

Access Point und Client müssen die Technik unterstützen.

Merksatz:

MU-MIMO funktioniert nur sinnvoll,
wenn Geräte und Funkumgebung passen.

Begriff: Client

Ein Client ist ein Endgerät, das einen Dienst nutzt.

Im WLAN ist ein Client zum Beispiel:

- Notebook
- Smartphone
- Tablet
- Drucker
- IP-Kamera

Der Client verbindet sich mit einem Access Point.

Merksatz:

WLAN-Client = Endgerät im WLAN.

Begriff: Access Point

Ein Access Point ist ein WLAN-Zugangspunkt.

Er verbindet WLAN-Clients mit dem lokalen Netzwerk.

Typischer Aufbau:

WLAN-Client
→ Funkverbindung
→ Access Point
→ Switch
→ Router / Server / Internet

Merksatz:

Access Point = Zugangspunkt vom WLAN ins LAN.

Begriff: Spatial Stream

Spatial Stream bedeutet:

räumlicher Datenstrom

Ein Spatial Stream ist ein eigener Datenstrom innerhalb einer MIMO-Verbindung.

Beispiel:

2x2 MIMO kann bis zu zwei räumliche Datenströme verwenden.

Wichtig:

Mehr Spatial Streams können höhere Datenraten ermöglichen, wenn beide Seiten und die Funkumgebung es unterstützen.

Merksatz:

Spatial Streams sind parallele Datenströme bei MIMO.

MIMO-Bezeichnungen wie 2x2 oder 4x4

Bei WLAN-Geräten sieht man manchmal Angaben wie:

2x2 MIMO

3x3 MIMO

4x4 MIMO

Vereinfacht bedeutet das:

Anzahl der Sende- und Empfangsantennen beziehungsweise Datenströme.

Beispiel:

Bezeichnung	vereinfachte Bedeutung
1x1	ein Datenstrom
2x2	bis zu zwei Datenströme
3x3	bis zu drei Datenströme
4x4	bis zu vier Datenströme

Wichtig:

Die tatsächliche Leistung hängt auch vom Client ab.

Merksatz:

4x4 bringt wenig,
wenn der Client nur 1x1 unterstützt.

MIMO und Datenrate

Mehr räumliche Datenströme können die theoretische Datenrate erhöhen.

Beispiel vereinfacht:

1 Datenstrom = bestimmte Grunddatenrate
 2 Datenströme = höhere mögliche Datenrate
 4 Datenströme = noch höhere mögliche Datenrate

Aber:

Das ist eine theoretische Betrachtung.

In der Praxis wirken zusätzlich:

- Signalqualität
- Entfernung
- Störungen
- Kanalbreite
- WLAN-Standard
- Endgerät

- Access Point
- Anzahl der Clients

Merksatz:

Mehr Datenströme können schneller sein,
garantieren aber nicht automatisch hohen Durchsatz.

MIMO und Durchsatz

Durchsatz bedeutet:

tatsächlich erreichte Datenmenge pro Zeit

Der Durchsatz ist meist niedriger als die theoretische Bruttodatenrate.

Gründe:

- Protokoll-Overhead
- geteiltes Funkmedium
- Störungen
- Wiederholungen
- schwaches Signal
- viele Clients
- geringere Client-Fähigkeiten

Merksatz:

Bruttodatenrate ist nicht gleich echter Durchsatz.

MIMO und WLAN-Standards

MIMO ist besonders mit modernen WLAN-Standards wichtig geworden.

Typische Einordnung:

Standard	Bezug zu MIMO
IEEE 802.11n / Wi-Fi 4	MIMO wurde wichtig

Standard	Bezug zu MIMO
IEEE 802.11ac / Wi-Fi 5	MU-MIMO wurde stärker relevant
IEEE 802.11ax / Wi-Fi 6	effizientere Mehrbenutzer-Techniken
IEEE 802.11be / Wi-Fi 7	weitere Verbesserungen bei hoher WLAN-Leistung

Wichtig:

Die genaue Unterstützung hängt vom Gerät ab,
nicht nur vom Namen des Standards.

Merksatz:

Moderne WLAN-Standards nutzen MIMO-Techniken zur Leistungssteigerung.

MU-MIMO und OFDMA

Bei Wi-Fi 6 kommt zusätzlich häufig OFDMA vor.

OFDMA steht für:

Orthogonal Frequency Division Multiple Access

OFDMA ist ein Verfahren, um Funkressourcen effizient auf mehrere Clients aufzuteilen.

Wichtig:

MU-MIMO und OFDMA sind nicht dasselbe.

Vereinfacht:

MU-MIMO nutzt räumliche Trennung über mehrere Antennen.
OFDMA teilt den Funkkanal in kleinere Ressourceneinheiten auf.

Merksatz:

MU-MIMO = mehrere räumliche Datenströme.
OFDMA = bessere Aufteilung des Funkkanals.

MIMO und Antennenanzahl

Mehr Antennen können mehr Möglichkeiten bieten.

Aber:

Mehr Antennen bedeuten nicht automatisch bessere Verbindung für jedes Gerät.

Entscheidend ist:

- wie viele Antennen der Access Point hat
- wie viele Antennen der Client hat
- wie viele Spatial Streams unterstützt werden
- wie gut die Funkbedingungen sind

Beispiel:

Access Point: 4x4 MIMO

Smartphone: 2x2 MIMO

Dann kann das Smartphone nicht automatisch alle 4 Streams nutzen.

Merksatz:

Client-Fähigkeiten begrenzen die nutzbare MIMO-Leistung.

MIMO und Reichweite

MIMO kann die Verbindung stabiler machen.

Aber:

MIMO ersetzt keine gute WLAN-Planung.

Für gute WLAN-Abdeckung bleiben wichtig:

- passende Access-Point-Position
- geeignete Kanalplanung

- ausreichend Signalstärke
- nicht zu viele Clients pro Access Point
- passende Frequenzbänder
- wenig Störungen

Merksatz:

MIMO hilft,
aber ersetzt keine saubere WLAN-Planung.

MIMO und Beamforming

Beamforming ist ein Verfahren, bei dem die Funkübertragung gezielter in Richtung eines Clients ausgerichtet wird.

Vereinfacht:

Der Access Point versucht,
das Signal besser zum Client zu lenken.

Beamforming wird oft zusammen mit modernen MIMO-Techniken eingesetzt.

Wichtig:

Beamforming ist nicht dasselbe wie MIMO,
kann aber mit MIMO zusammenarbeiten.

Merksatz:

Beamforming = gezieltere Funkabstrahlung zum Client.

MIMO und geteiltes Medium

Auch mit MIMO bleibt WLAN ein geteiltes Funkmedium.

Das bedeutet:

Mehrere Clients teilen sich die verfügbare Funkkapazität.

MIMO und MU-MIMO können die Nutzung verbessern.

Aber:

Sie machen WLAN nicht zu einer festen Vollduplex-Kabelverbindung.

Merksatz:

WLAN bleibt ein geteiltes Medium,
auch mit MIMO.

Einordnung in das Schichtenmodell

MIMO und MU-MIMO gehören zur WLAN-Funktechnik.

Thema	Einordnung
Funkwellen	OSI-Schicht 1
Antennen	OSI-Schicht 1
MIMO	OSI-Schicht 1 / WLAN-Technik
MU-MIMO	OSI-Schicht 1 / WLAN-Technik
WLAN-Zugriff	OSI-Schicht 2
MAC-Adresse	OSI-Schicht 2
IP-Adresse	OSI-Schicht 3
TCP / UDP	OSI-Schicht 4

Wichtig:

MIMO verändert nicht die IP-Adresse.
MIMO verändert nicht TCP oder UDP.
MIMO verbessert die Funkübertragung.

Merksatz:

MIMO gehört zur Funktechnik,
nicht zu IP oder TCP.

Typische Fehler oder Missverständnisse

Häufige Missverständnisse:

- Mehr Antennen bedeuten automatisch mehr Internetgeschwindigkeit.
- MU-MIMO hilft jedem Client immer gleich stark.
- Ein 4x4-Access-Point macht jedes Smartphone zu 4x4.
- WLAN-Bruttodatenrate entspricht dem echten Durchsatz.
- MIMO ersetzt gute Access-Point-Planung.
- MU-MIMO löst alle Probleme bei vielen Clients.

Fachlich richtig:

Die tatsächliche Leistung hängt immer von Access Point,
Client,
Funkumgebung
und Netzwerkauslastung ab.

Merksatz:

WLAN-Leistung ist immer eine Kombination aus Technik und Umgebung.

Fehlersuche bei MIMO/MU-MIMO-WLAN

Wenn WLAN trotz moderner Technik schlecht funktioniert, prüft man:

- Unterstützt der Client den Standard?
- Unterstützt der Client MIMO oder MU-MIMO?
- Wie viele Spatial Streams unterstützt der Client?
- Ist das Signal stark genug?
- Ist der Access Point passend positioniert?
- Gibt es Kanalstörungen?
- Sind zu viele Clients verbunden?
- Wird das passende Frequenzband genutzt?
- Ist die Firmware aktuell?
- Sind Access Points richtig geplant?

Wichtig:

Ein moderner Access Point allein garantiert kein gutes WLAN.

Merksatz:

Bei WLAN immer Access Point, Client und Funkumgebung gemeinsam betrachten.

Typische IHK-Fragen

In AP1 und AP2 kann zum Beispiel gefragt werden:

- Was bedeutet MIMO?
- Was bedeutet MU-MIMO?
- Warum verwenden moderne WLAN-Systeme mehrere Antennen?
- Was ist ein Spatial Stream?
- Was ist der Unterschied zwischen SU-MIMO und MU-MIMO?
- Warum erhöht MIMO nicht automatisch den echten Durchsatz?
- Warum müssen Access Point und Client die Technik unterstützen?
- Warum bleibt WLAN trotz MIMO ein geteiltes Medium?
- Was ist der Unterschied zwischen MIMO und OFDMA?
- Warum ist WLAN-Planung trotz MIMO wichtig?

Typische Prüfungsfallen

MIMO bedeutet Multiple Input Multiple Output.

MU-MIMO bedeutet Multi User MIMO.

MIMO ist nicht dasselbe wie MU-MIMO.

MU-MIMO bedient mehrere Clients effizienter.

MIMO erhöht nicht automatisch den echten Durchsatz.

Access Point und Client müssen die Technik unterstützen.

Ein 4x4-Access-Point bringt einem 1x1-Client keine 4 Datenströme.

WLAN bleibt ein geteiltes Medium.

Bruttodatenrate ist nicht gleich tatsächlicher Durchsatz.

MIMO gehört zur WLAN-Funktechnik,
nicht zu IP oder TCP.

Wichtige Begriffe kurz erklärt

Begriff	Kurze Erklärung
MIMO	Multiple Input Multiple Output, mehrere Antennen und Datenströme
MU-MIMO	Multi User MIMO, mehrere Clients gleichzeitig bedienen
SU-MIMO	Single User MIMO, mehrere Datenströme für einen Client
Antenne	Bauteil zum Senden und Empfangen von Funkwellen
Datenstrom	übertragener Datenfluss
Spatial Stream	räumlicher Datenstrom bei MIMO
Client	Endgerät im Netzwerk
Access Point	WLAN-Zugangspunkt
Beamforming	gezieltere Funkabstrahlung zum Client
OFDMA	Verfahren zur effizienteren Aufteilung des Funkkanals
Durchsatz	tatsächlich erreichte Datenrate
Bruttodatenrate	theoretische maximale Datenrate
Funkmedium	drahtloser Übertragungsbereich
Signalqualität	Güte des empfangenen Funksignals

IHK-sichere Kurzformulierung

MIMO steht für Multiple Input Multiple Output und bezeichnet ein Verfahren, bei dem mehrere Antennen und räumliche Datenströme zur WLAN-Übertragung genutzt werden. Dadurch können Datenrate und Stabilität einer Funkverbindung verbessert werden. MU-MIMO steht für Multi User MIMO und ermöglicht es einem Access Point, mehrere Clients gleichzeitig effizienter zu bedienen. Die tatsächliche Leistung hängt jedoch von Access Point, Client, Anzahl der Antennen, unterstützten Spatial Streams, WLAN-Standard und Funkumgebung ab.

Merksätze

MIMO = Multiple Input Multiple Output.

MIMO nutzt mehrere Antennen.

Spatial Stream = räumlicher Datenstrom.

SU-MIMO = ein Client zur gleichen Zeit.

MU-MIMO = mehrere Clients gleichzeitig.

MU-MIMO ist besonders bei mehreren Clients sinnvoll.

Access Point und Client müssen die Technik unterstützen.

Die schwächere Seite begrenzt die Verbindung.

Mehr Antennen bedeuten nicht automatisch mehr Durchsatz.

Bruttodatenrate ist nicht gleich echter Durchsatz.

WLAN bleibt ein geteiltes Medium.

MIMO verbessert Funktechnik,
aber ersetzt keine WLAN-Planung.

MU-MIMO ist nicht dasselbe wie OFDMA.

Beamforming kann MIMO ergänzen.

MIMO gehört zur WLAN-Funktechnik,
nicht zu IP oder TCP.
