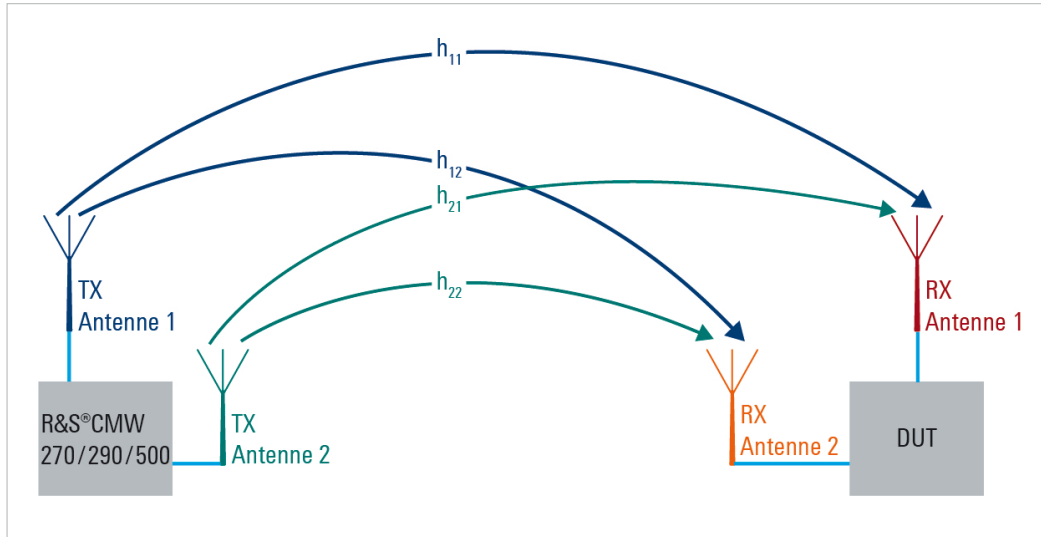


Auf den Zahn gefühlt:

## Test von WLAN-Funkmodulen mit 2×2-MIMO



**Die Funkmessplätze R&S CMW ermöglichen auch den Test von WLAN-Funkmodulen mit 2×2-MIMO unter realitätsnahen Bedingungen.**

MIMO (Multiple Input Multiple Output) ist eine Mehrantennentechnik, die zusammen mit weiteren Maßnahmen die Datenrate in der Funkkommunikation steigert und die Signalqualität verbessert. Die Implementierung dieser Technologie kann im Labor nur unter realitätsnahen Bedingungen zuverlässig überprüft werden. Die Funkmessplätze R&S CMW sind dafür gerüstet.

haben Mehrantennensysteme gegenüber denen mit einer Antenne einen höheren Energieverbrauch und folglich kürzere Akkulaufzeiten. Ganz zu schweigen von den Hitze Problemen, die sich mit zunehmender Anzahl von Antennen und ihren HF-Verstärkern einstellen. Zur Steigerung des MIMO-Datendurchsatzes und Verbesserung der Signalqualität werden unterschiedliche Verfahren eingesetzt.

### Methodenbündel steigert Datenrate und Signalqualität

Bei MIMO werden Signale über mehrere Sendeantennen ausgestrahlt und mit mehreren Antennen empfangen. Auf dem Weg zum Empfänger entsteht durch Reflexionen die für MIMO notwendige Mehrwegeausbreitung. Eine der Voraussetzungen für diese Mehrwegeausbreitung und eine erfolgreiche Decodierung beim Empfänger ist ein Antennenmindestabstand auf Sende- und Empfangsseite von einer halben Wellenlänge. Da diese beispielsweise im 2,4-GHz-Frequenzband 12,5 cm beträgt, bleibt in kompakten Endgeräten wie Smartphones nur Platz für zwei MIMO-Antennen. Auch andere Faktoren begrenzen die Anzahl möglicher Antennen. So

### Spatial Multiplexing

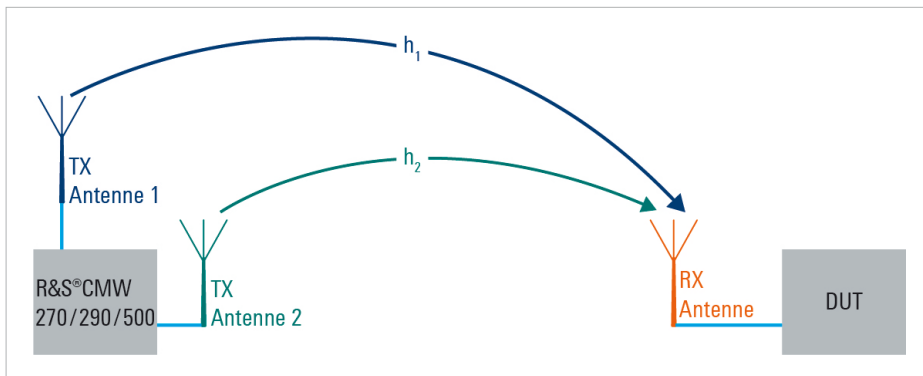
Spatial Multiplexing (Raum-Multiplex) erhöht die Datenrate im Vergleich zu Einantennensystemen deutlich. Dabei wird der zu übertragende Datenstrom auf mehrere sogenannte Spatial-Streams aufgeteilt, die auf gleicher Frequenz zeitgleich über verschiedene Antennen an den Empfänger gesendet werden.

Zur erfolgreichen Decodierung bei 2×2 MIMO müssen auf der Empfangsseite zwei Gleichungen mit zwei Unbekannten gelöst werden. Dies ist nur möglich, wenn diese Gleichungen linear unabhängig sind. Die physikalische Voraussetzung dafür ist eine Mehrwegeausbreitung auf möglichst separaten, nicht-korrelierten Übertragungspfaden. Zur Decodierung der Übertragungsmatrix  $H$  müssen deren Elemente bekannt sein. Diese ermittelt der Empfänger eigenständig durch eine Kanalabschätzung per Open-Loop-Methode auf Basis bekannter Bit-Folgen in den übertragenen Datenpaketen. 2×2 MIMO mit Spatial Multiplexing erreicht im

### Realitätsnahe Tests im Labor

HF-Messungen der MIMO-Sender- und Empfängereigenschaften im sogenannten Non Signaling Mode unterstützt die Plattform R&S CMW schon seit geraumer Zeit in unterschiedlicher Ausprägung [2]. Im Signaling Mode beschränkte sich der WLAN-Test bislang auf den Einantennenbetrieb (SISO, Single Input Single Output) [3]. Doch mittlerweile hat das Normierungsgremium IEEE die Mehrantennentechnik MIMO für die Standards 802.11n/ac/ax spezifiziert. Zeitnah wurden nun die bestehenden WLAN-SISO-Signaling-Lösungen auf Basis des Wideband Radio

Communication Testers R&S CMW270/290/500 um 2×2-MIMO erweitert, einschließlich der MIMO-Techniken Spatial Multiplexing, Space Time Block Coding und Cyclic Shift Diversity. Basierend auf realitätsnahen Simulationen können dabei die HF-Sendereigenschaften gemessen, die Empfängersensibilität analysiert und vor allem der Datendurchsatz in Sende- und Empfangsrichtung ermittelt werden – dessen Maximierung letztendlich das Ziel der verschiedenen Methoden ist. Der R&S@CMW270/290/500 wird damit zu einem unverzichtbaren Werkzeug für WLAN-MIMO-Entwickler.



Vergleich zu Einantennensystemen unter Idealbedingungen eine Verdoppelung der Datenrate (Aufmacherbild links).

## TX Diversity

Sind mehr Sende- als Empfangsantennen im Einsatz, so liegt TX Diversity (Sendediversität) vor. Durch geeignete Methoden lässt sich damit der Signal/Rausch-Abstand des Funksignals vergrößern. Dieses Verfahren macht die Übertragung robuster gegenüber Störeinflüssen, vergrößert die Reichweite und ermöglicht u.U. den Einsatz von Modulationsarten höherer Ordnung (diverse QAM). Ein größerer Signal/Rausch-Abstand kann mit mehreren Verfahren erreicht werden:

- Cyclic Shift Diversity (CSD) bzw. Cyclic Delay Diversity (CDD)

CSD, oder häufig auch als CDD bezeichnet, ist eines davon. Die Mehrwegeausbreitung führt zu unterschiedlich langen Übertragungspfaden und damit Pfadlaufzeiten, sodass ein und dasselbe Signal, ohne Korrekturmaßnahmen, den Empfänger zeitlich versetzt mehrfach erreichen würde. CSD/CDD gleicht diese Zeitdifferenz aber aus, indem es die Aussendung über die einzelnen Sendantennen passend verzögert. Das führt bei der Empfangsantenne zu einer Überlagerung der verschiedenen Mehrwegesignale und idealerweise zu einem stärkeren Empfangssignal. Bedingt durch dieses virtuelle Echo auf der Sendeseite, erhöht sich aus Frequenzbereichssicht die Frequenzselektivität beim Empfänger.

- Space Time Block Coding (STBC)

Beim STBC wird der zu übertragende Datenstrom redundant über zwei Sendantennen übertragen (Aufmacherbild rechts), aber nur von einer Antenne empfangen. Das Signal wird dabei gegenüber dem Originaldatenstrom zeitlich vertauscht und komplex konjugiert. Dieser Space Time Block Code wurde erstmalig von Siavash Alamouti für zwei Antennen entwickelt und nach ihm benannt (Alamouti-Code). Voraussetzung für eine erfolgreiche Decodierung der beiden Datenströme sind ebenso wie beim

Spatial Multiplexing separate, unabhängige Übertragungskanäle. Unter Idealbedingungen erreicht man mit zwei Sendantennen einen um 3 dB verbesserten Signal/Rausch-Abstand.

- Beamforming

Beamforming ist eine TX-Diversity-Technik, die ohne Mehrwegeausbreitung auskommt. Dabei wird das Sendesignal zeitlich bzw. phasenversetzt über mehrere Antennen (arrays) gesendet. Je nach geometrischer Anordnung und Abstand der einzelnen Sendantennen ergibt sich eine Verstärkung oder Abschwächung, bis hin zur Auslöschung des Sendesignals in den verschiedenen Richtungen. Damit können Datenströme gezielt an einzelne WLAN-Stationen gerichtet und an andere unterdrückt werden – eine Technik, die u.a. für Multiuser-MIMO (MU-MIMO) zum Einsatz kommt, bei dem ein Access Point die verschiedenen MIMO-Streams mehreren WLAN-Stationen zuweist.

## Kombination verschiedener Techniken

Generell lassen sich die aufgeführten Methoden beliebig kombinieren. So kann beispielsweise der Signal/Rausch-Abstand eines Spatial-Diversity-Datenstroms mit STBC verbessert werden. Dabei wird aus einem „normalen“ 2×2-MIMO-Stream eine 4×2-MIMO-Übertragung – mit vier Sendee- und zwei Empfangsantennen. Beim Einsatz von Beamforming können in einem MU-MIMO-System sogar mehrere Nutzer adressiert werden, deren Endgeräte nur jeweils eine Empfangsantenne haben [1].

*Thomas A. Kneidel*

## Referenzen

- [1] Kleines Massive-MIMO-Kompendium, „Neues...“ Nr. 221, S. 14...19
- [2] MIMO-Messungen an WLAN-Funkprodukten, „Neues...“ Nr. 220, S. 9...11
- [3] Signaling-Tests an WLAN-802.11ax-Geräten, „Neues...“ Nr. 220, S. 12...13