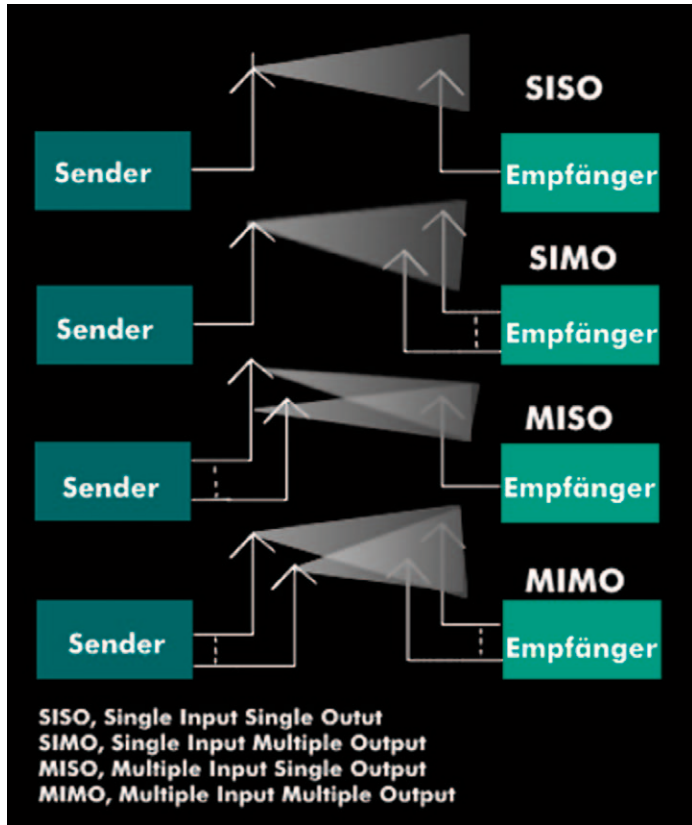


# Mehrantennen-Systeme und Raumdiversitäts-Verfahren im Überblick



Bildquelle: IT Wissen

**Die Verwendung von mehreren Antennen bei Sender und/oder Empfänger hat in der modernen Funkkommunikation große Verbreitung gefunden.**

Es sind drei Verfahren möglich: SIMO (Single Input Multiple Output), MISO (Multiple Input Single Output) und MIMO (Multiple Input Multiple Output). Mehrantennen-Systeme nutzen Raumdiversitäts-Techniken wie SC (Switches bzw. Selection Combining), STC (Space Time Coding), EGC (Equal Gain Combining) und MRC (Maximum Ratio Combining). Unser Beitrag verschafft Transparenz und stellt dazu die Systeme und Verfahren etwas näher vor.

Ein Mehrantennenkonzept verspricht zwei grundsätzliche Vorteile: Erstens nehmen mehrere Antennen mehr Energie aus dem elektromagnetischen Feld auf (Gruppengewinn). Dann ist bei stark verschiedener Mehrwegeausbreitung das Fading an den einzelnen Antennen statistisch unabhängig und somit die Wahrscheinlichkeit, dass alle Anten-

nen gleichzeitig von Fading betroffen sind, sehr gering (Diversitätsgewinn). Weiter kann man eventuell noch eine bessere Störerunterdrückung (Interferenz-Unterdrückungsgewinn) und höhere Übertragungsraten (Multiplexgewinn) erlangen.

## SIMO

Eine Erhöhung der Empfangsfeldstärke kann durch zwei oder mehr Empfangsantennen erfolgen. Man spricht dann von Single Input Multiple Output (SIMO). Das ist auch als Empfangsdiversität (Receive Diversity) bekannt. Man nutzt das Verfahren schon lange beim Kurzwellenempfang, um die störenden Effekte von ionosphärischem Fading und Interferenzen zu mindern. SIMO hat den Vorteil, dass es relativ einfach zu implementieren ist, weist aber auch einige Nachteile bezüglich der Verarbeitung der Signale auf. Dennoch ist die Nutzung von SIMO in vielen Anwendungen akzeptabel, wenn aber der Empfänger

mobil ist, setzen in aller Regel Größe, Kosten und Batteriebeanspruchung enge Grenzen.

Es gibt zwei Formen, in denen man SIMO nutzen kann:

- Switched Diversity SIMO

Hier schaut der Empfänger gewissermaßen auf das stärkste Signal und schaltet auf die entsprechende Antenne.

- Maximum Ratio Combining SIMO

Hier nutzt SIMO alle Signale und kombiniert sie auf intelligenteste Weise.

Obwohl schon seit langem bekannt und angewandt, bewährt sich SIMO doch auch in fortschrittlichen Konzepten, etwa beim Cognitive Radio [1].

## MISO

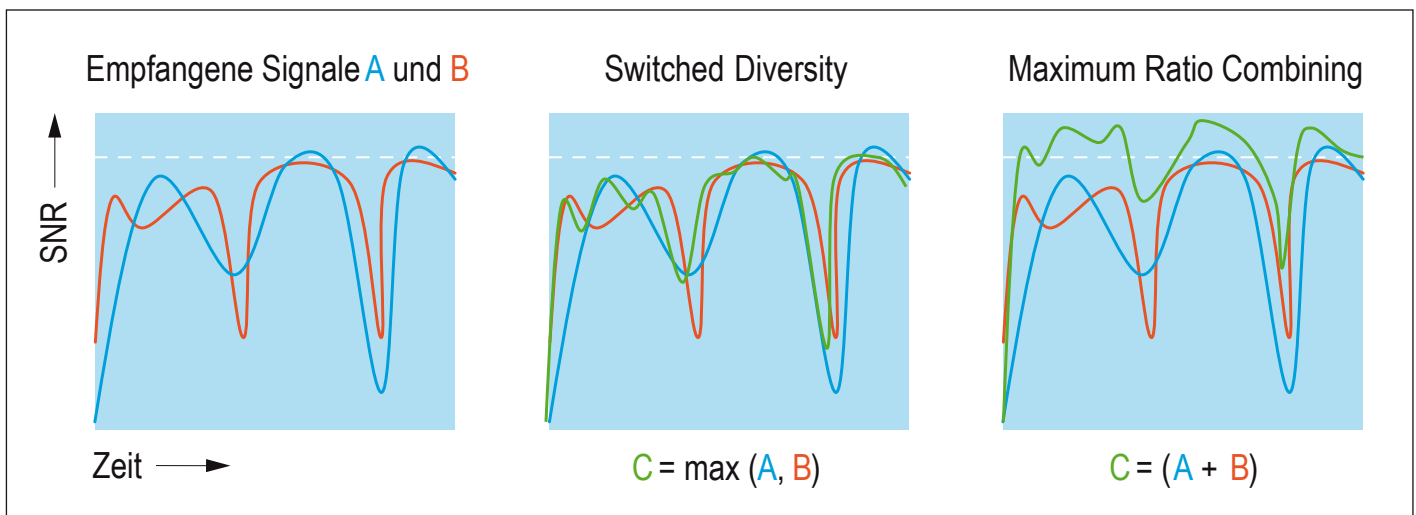
Werden anstelle einer mehrere Sendeantennen zur Abstrahlung des HF-Signals eingesetzt, heißen die Antennensysteme Multiple Input Single Output (MISO). MISO ist auch als Sendediversi-

## Gruppengewinn- und Diversitätsgewinn

Der Gruppengewinn steigt mit der Anzahl von Empfangsantennen. Mit einer Verdopplung der Antennen erreicht man maximal 3 dB. Bedingung ist immer: Die empfangenen Funksignale müssen phasenrichtig addiert werden, man spricht von Spatial Combining. Dazu muss man meist mindestens ein Verzögerungselement in die Signalverarbeitung einbauen.

Die Funkstationen dürfen nicht zu dicht beieinander stehen. Die Grenze liegt in der Breite der Hauptkeule im Richtdiagramm.

Zum Diversitätsgewinn: Funklöcher entstehen meist dadurch, dass sich die elektromagnetischen Wellen des ursprünglichen Signals und die des reflektierten Signals gegenseitig auslöschen. Die Entstehung von Funklöchern ist nicht nur von der Umgebung, sondern auch von deren Veränderung abhängig. Um zu vermeiden, dass ein Funksystem durch Funklöcher Empfangsprobleme bekommt, arbeitet man mit mehreren Sende- und Empfangsantennen. Es genügen schon zwei Antennen, um einen Diversitätsgewinn von mehreren Dezibel zu erreichen.



Vergleich zwischen Switched Diversity und Maximum Ratio Combining bei einem Empfänger mit zwei Antennen (Quelle: [2])

tät (Transmit Diversity) bekannt. Das selbe Signal wird zeitgleich von zwei oder mehr Sendern abgestrahlt. Der Empfänger ist in der Lage, aus diesen Signalen ein besseres Signal herzustellen, und zwar besser als das beste Einzelsignal. Falls dieses jedoch den Qualitätsanforderungen auf der Empfangsseite entspricht, wird nur dieses empfangen.

Der Vorteil bei der Anwendung des MISO-Verfahrens ist die Redundanz des ausgegebenen Signals. Diese wird allerdings nur dann erreicht, wenn sich die Ausbreitungswege deutlich unterscheiden. Denn nur dann ist davon auszugehen, dass eine Störung nur bei einem dieser Wege auftritt. Das MISO-Prinzip schöpft seine Berechtigung daraus, dass es umso sinnvoller ist, je mehr Empfänger zu bedienen sind. Die Investitionen für den besseren Empfang müssen nur einmal auf der Senderseite erfolgen, während die vielen Empfänger mit einfacheren Strukturen auskommen und dennoch eine hohe Datensicherheit erreicht wird. Das zählt sich besonders aus, wenn der Empfänger mobil ist, denn dann sind Größe, Kosten und Batteriebeanspruchung besonders kritische Faktoren.

### MIMO = Space Time Coding

Werden sowohl für die senderseitige Abstrahlung als auch

für die Empfangsseite mehrere Antennen eingesetzt geht es um Multiple Input Multiple Output (MIMO). MIMO schöpft seine Vorteile aber nicht allein daraus, sondern erhöht durch eine intelligente Empfangssignalverarbeitung auch den Datendurchsatz. MIMO wurde entwickelt seit dem Ausbau der Mobilfunknetze zu Breitbandnetzen und stellt ein Verfahren dar, welches die Funktechnik grundlegend verbessert.

Im Modulationsschema wird der bis dahin üblichen Frequenz-Zeit-Matrix eine dritte Dimension, der Raum, hinzugefügt. Man spricht von Space Time Coding. Dabei sendet man das Datensignal über mehrere Antennen. Gleichzeitig werden auch mehrere Empfangsantennen verwendet. Die signalverarbeitende Empfangseinheit bekommt durch mehrere Funksignale eine räumliche Information. Denn bei zwei Antennen trifft das selbe Funksignal aus zwei verschiedenen Richtungen beim Empfänger ein. Jedes eingehende Funksignal besitzt in der Regel seinen „räumlichen Fingerabdruck“ (Spatial Signature). Der Empfänger setzt die Signale wieder passend zusammen. Dadurch verbessert sich die Leistung des ganzen Funksystems erheblich: Das Space Time Coding erhöht bei geringer Bitfehlerhäufigkeit die Datenrate in einer gegebenen Bandbreite deutlich. Gegenüber anderen Mehrantennenverfahren

wird die Zuverlässigkeit einer Verbindung deutlich erhöht, nicht aber die mittlere Kanal Kapazität. MIMO-Systeme passen die Übertragung an die Eigenschaften des Funkkanals

an. Sie besitzen dazu komplexe Sende- und Empfangssysteme und benötigen eine hohe Rechenleistung. Zwecks optimaler Leistungsfähigkeit werden Antennen immer paarweise ein-

### Interferenz-Unterdrückungsgewinn und Multiplexgewinn

Typisch für Funkwellen ist die Mehrwegeausbreitung infolge von Reflektionen etwa am Erdboden oder an leitenden Gebäudeflächen und/oder infolge von Abschattungen an Wänden (z.B. WiFi) und Gebäuden (z.B. Mobilfunk). Dabei trifft das Funksignal aus verschiedenen Richtungen mit unterschiedlichen Laufzeiten beim Empfänger ein. Störend sind besonders die unterschiedlichen Laufzeiten und somit Phasenlagen. Je höher die Signalfrequenz ist, umso kleiner ist ein Funkloch, denn die Entfernung zwischen Minimum des Gesamtsignals (Zentrum des Funklochs) und bestmöglichem Empfang (Maximum) wird durch die Wellenlänge des Signals bestimmt. Beim UKW-Radio beträgt die Wellenlänge etwa 3 m, beim 2,4-GHz-WLAN etwa 12,5 cm. Typische Funklöcher haben in etwa diese Durchmesser. Intelligente Signalaufbereitungen von

mehreren Antennen können Funksignale aus bestimmten Richtungen ausblenden und so die gesamte Signalqualität erhöhen.

Der Multiplexgewinn begründet die Effizienz des MIMO-Verfahrens vor allem in einer Umgebung mit erhöhter Mehrwege-Ausbreitung. MIMO ist immer dann von Vorteil, wenn Sender und Empfänger keine direkte Sichtverbindung haben und die Übertragung auch über Reflektionen erfolgt. Während bei einem herkömmlichen Einantennensystem, wie etwa einem einfachen WLAN nach IEEE 802.11g, bei guter Verbindung auf Anwendungsebene 3 MByte/s übertragen werden, erreicht man bei einem MIMO-System mit nur zwei Antennen schon rund 4 MByte/s. Und bei drei Antennen auf Empfänger- und Senderseite kann man mit einer möglichen Verdoppelung der Datenrate rechnen.

gesetzt. Dadurch vereinfachen sich die MIMO-Signalverarbeitungs-Algorithmen, und der Rauschabstand wird minimal. Die Übertragungsrates lässt sich mit der Anzahl der Sendeantennen linear erhöhen. Das Trennen der einzelnen Signale ist eine einfache lineare Matrizenrechnung, die von leistungsfähigen Prozessoren ausgeführt wird. Rein theoretisch ließe sich die Übertragungskapazität ins Unendliche steigern. Praktisch sind bis zu je vier Antennen üblich, je acht Antennen gelten als sinnvolles Maximum.

## Raumdiversität (Space Diversity)

Diversity heißt u.a. Vielfalt. Antennensysteme mit mehreren Empfangsantennen setzen Raumdiversität voraus, sprich verschiedene Techniken, bei denen das gleiche Funksignal über unterschiedliche Funkwege zur Empfangseinheit übertragen wird. Dabei geht es darum, die von den verschiedenen Antennen empfangenen Signale so zu kombinieren, dass dem Receiver ein optimales Empfangssignal zur Verfügung steht. Da die Funksignale mit unterschiedlichen Phasenlagen und Empfangssignalsstärken an den Antennen anliegen, muss dies berücksichtigt bzw. ausgenutzt werden.

Das relativ einfache Switched Combining (SC, besser SwC) arbeitet solange mit einer Antenne, bis die Eingangsfeldstärke unter einen Grenzwert sinkt. Danach schaltet das System auf eine andere Antenne mit höherer Feldstärke um. Wenn ein solches System mit drei Antennen arbeitet, verbessert sich der Antennengewinn um 2,6 dB.

Das Selection Combining (SC, besser SeC) benutzt den Kanal mit dem besten Signal-Rausch-Verhältnis.

Beim oben näher erläuterten Space Time Coding (STC), das beispielsweise in Mobile WiMAX zum Einsatz kommt, wird die Störbeeinflussung reduziert.

Eine schwierigere Space-Diversity-Technik ist das Equal Gain Combining (EGC). Hierbei werden die diversen Empfangssignale in eine einheitliche Phasenlage verschoben, und dann werden sie addiert, sodass sich ein Maximum für die Summe ergibt.

Das Maximum Ratio Combining (MRC) ist die Technik mit den besten Ergebnissen, allerdings auch die aufwendigste. Die von den einzelnen Antennen eines Antennen-Arrays empfangenen Funksignale werden separat nach einem bestimmten Algorithmus verarbeitet, der dabei das Signal/Rausch-Verhältnis berücksichtigt. Und neben der Phasengleichung und der Symbolkorrektur wie beim EGC-Verfahren gibt es hier noch eine Gewichtung der einzelnen Signale. So werden Signale mit hohem Störspannungsabstand höher gewichtet als solche mit niedrigerem. Das verarbeitete Signal ist eine konsequent optimierte Kombination aus allen Einzelsignalen. Mit dem MRC-Verfahren wird sowohl das Signal/Rausch-Verhältnis verbessert als auch die Fehlerrate verringert. Es lässt sich mathematisch nachweisen, dass MRC das Signal bis zu seinem Originalzustand wieder herstellen kann.

Generell ist festzustellen, dass die Raumdiversität in erster Linie von der Anzahl der Antennen abhängt und dass mit den Antennen-Selektionstechniken eine merkbare Verbesserung erreicht werden kann.

## Last not least: Beamforming

Strahlungsformung wird bei Mehrantennen-Systemen immer wichtiger, da die Störproblematik immer brisanter wird. Im Grunde versucht man, mithilfe eines sogenannten Beamforming Networks das Strahlungsprofil einer Antenne einer beliebig gestalteten geometrischen Kontur anzupassen. Zuvor muss der Winkel bestimmt werden, in dem sich der Empfänger befindet. Dazu wird das Funksignal in verschiedene Richtungen gesendet.

Da in WLANs nach IEEE 802.11 jedes Datenpaket vom Empfänger bestätigt werden muss, erkennt hier der Sender, wie stark seine Gegenstelle ihn empfangen kann. Die entsprechende Information wird als RSSI (Received Signal Strength Indication) übertragen. Natürlich erkennt der Sender so auch, in welcher Richtung sich der Empfänger befindet, nämlich in Richtung des am besten ankommenden Signals. Auch beim Beamforming gilt es, die Vorschriften für die maximal erlaubte Sendeleistung (äquivalente isotrope Sendeleistung, EIRP) einzuhalten. Deshalb muss die Sendeleistung auf alle Antennen aufgeteilt werden.

Sind die Antennen in einem Abstand von einer halben Wellenlänge angeordnet, dann eignet sich diese Antennengruppe für das Beamforming. Ist der Abstand zwischen den Antennen größer, dann eignet sich die Gruppe (auch) für Raumdiversitäts-Verfahren. Nutzt man zwei Gruppen, eine für Strahlformung und eine für Diversity, dann kann man beide Techniken miteinander kombinieren. In diesem Fall profitiert man praktisch von Situationen, in denen eine Sichtverbindung zwischen den Stationen besteht und gleichzeitig aber auch eine Mehrwegeausbreitung (Multipath Propagation) durch ungünstig platzierte Stationen erfolgt.

FS

## Quellen:

[1] Iqbal Hasan Haider, MD. Fazla Rabby: Performance Analysis of Cognitive Radio Network over SIMO System

[2] Josef Kiermaier: Von SISO bis MIMO – alles nutzen, was die Luftschnittstelle bietet (Rhode & Schwarz)