

Was ist MIMO?

Drahtlose Kommunikation findet immer mehr Verbreitung. Angesichts eines steigenden Datenaufkommens sind besonders bandbreiteneffiziente und robuste Verbindungsverfahren gefragt.



Hier ist an erster Stelle MIMO zu nennen (Multiple-Input Multiple-Output) das mehrere Sende- und Empfangsantennen sowie digitale Signalverarbeitung verwendet, um eine sichere und schnelle Datenübertragung mit geringem Energieverbrauch zu gewährleisten. Spezielle Codierungsverfahren ermöglichen es, nicht nur die zeitliche, sondern

auch die räumliche Dimension zur Informationsübertragung zunutzen. Man spricht daher von Space-Time Coding.

Space-Time Coding

Mit diesem Codierungsverfahren lässt sich bei geringer Bitfehlerhäufigkeit die Datenrate in einer gegebenen Bandbreite

deutlich erhöhen. Mit anderen Worten: MIMO-Systeme haben eine höhere spektrale Effizienz als konventionelle Mehrantennensysteme. Die Zuverlässigkeit einer Verbindung wird zudem deutlich erhöht, nicht aber die mittlere Kanalkapazität.

MIMO-Kanäle können zur selben Zeit mit derselben Frequenz

genutzt werden, die Sendeleistung wird auf die Antennen aufgeteilt. Mit drei Sende- und drei Empfangsantennen (Bild 1) beispielsweise kann ein Bitstrom in drei separate Ströme aufgeteilt werden, die parallel übertragen werden. Auf der Empfängerseite empfängt jede Antenne dann ein Summensignal der Sendeantennen.

Nun kommt die digitale Signalverarbeitung (DSP) ins Spiel, um den Bitstrom zu decodieren und wieder zusammzusetzen. Dazu müssen die Charakteristiken der einzelnen Kanäle sehr unterschiedlich sein. In Umgebungen mit starker Mehrwegeausbreitung ist das der Fall. Dann kann das System innerhalb der gleichen Zeit die dreifache Menge Daten übertragen, ohne zusätzliche Bandbreite zu benötigen!

In Bild 2 und 3 wird beispielhaft ein einfaches 2 x 2-Antennensystem mit einem MIMO-2x2-

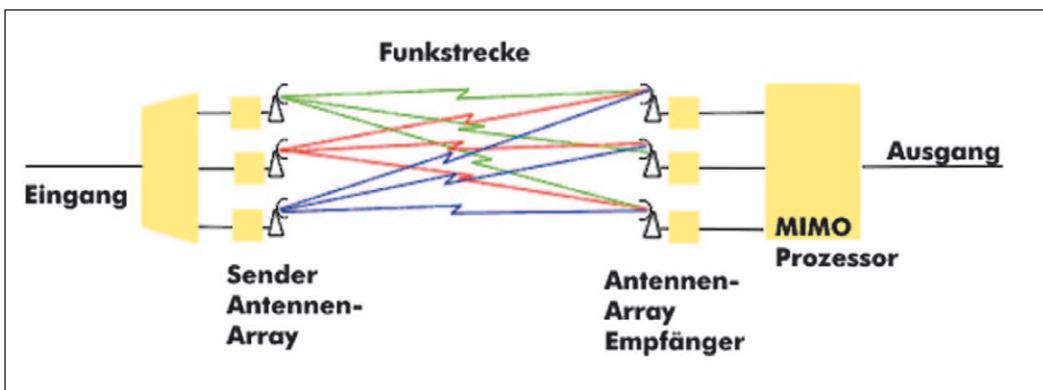


Bild 1: Prinzip eines 3x3-MIMO-Systems (Quelle: it wissen)

Antennensystem verglichen. In den beiden Fällen des Bildes 2 ist MIMO aktiv, wobei jeder Empfänger einen guten Datenstrom (durchgehender Pfeil) und einen schlechten Datenstrom (gestrichelter Pfeil) empfängt. Dabei kommt es lediglich darauf an, dass jeder Empfänger einen eigenen, guten Datenstrom hat. In Bild 3 hingegen empfängt immer nur ein Empfänger beide Datenströme gut; MIMO ist nicht aktiv, da sich beide Datenströme quasi überlagern (gleicher Pegel) und von den Empfängern somit nicht unterschieden werden können. Eine Verdoppelung der Datenrate, wie bei aktivem MIMO, ist so natürlich nicht möglich. Diese Situation entsteht, wenn die Empfangsantennen identisch ausgerichtet sind.

Die Kanalkapazität gibt an, wie viel Bit/s/Hz maximal über einen gestörten Kanal mit beliebig kleiner Fehlerwahrscheinlichkeit übertragen werden können. Theoretisch besteht die Möglichkeit, die Kanalkapazität über die Antennenanzahl beliebig zu erhöhen. Der Zuwachs erfolgt jedoch nicht linear und erreicht bei je acht Antennen praktisch eine Grenze.

Die Technik näher betrachtet

MIMO nutzt also ein Konzept mit verschiedenen Antennen und einer entsprechenden Anzahl von Signalpfaden. Für gewöhnlich wird beim Empfang das stärkste Signal bevorzugt, und die anderen Signale werden unterdrückt. Dies ist der Unterschied zum Antennen-Diversity, wo verschiedene Antennen gleichzeitig ein Signal aufnehmen, das aber infolge von Reflexionen über verschiedene Wege verteilt ankommt. Die aufgenommenen Teilsignale werden dabei zu einem optimalen Gesamtsignal kombiniert.

Im Basiskonzept von MIMO für den Standard 11n WiFi werden die zu übertragenden Daten verwürfelt (scrambled), codiert und überlappend (interleaved) als parallele Datenströme zu

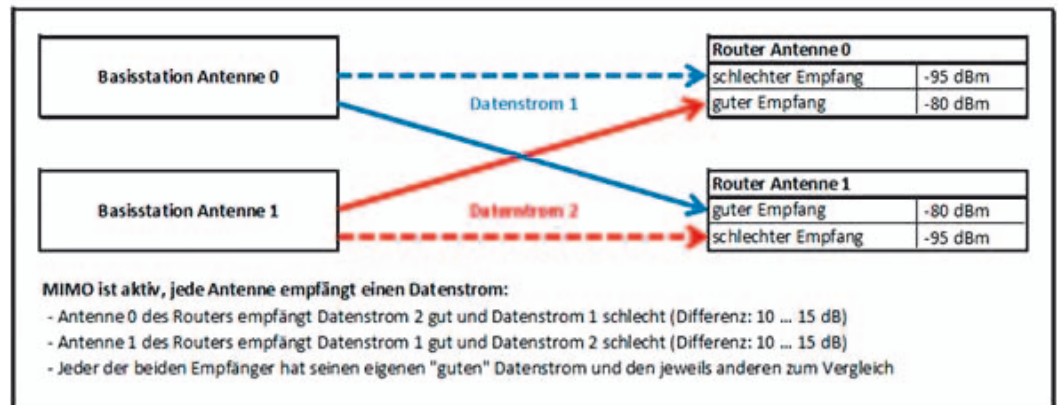
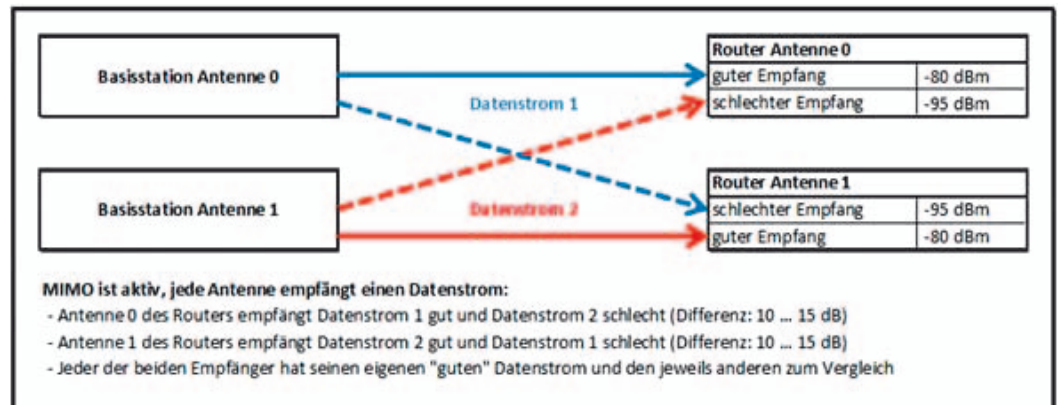


Bild 2: Zwei Mehrantennensysteme mit typischen praktischen Daten im Vergleich, MIMO aktiv

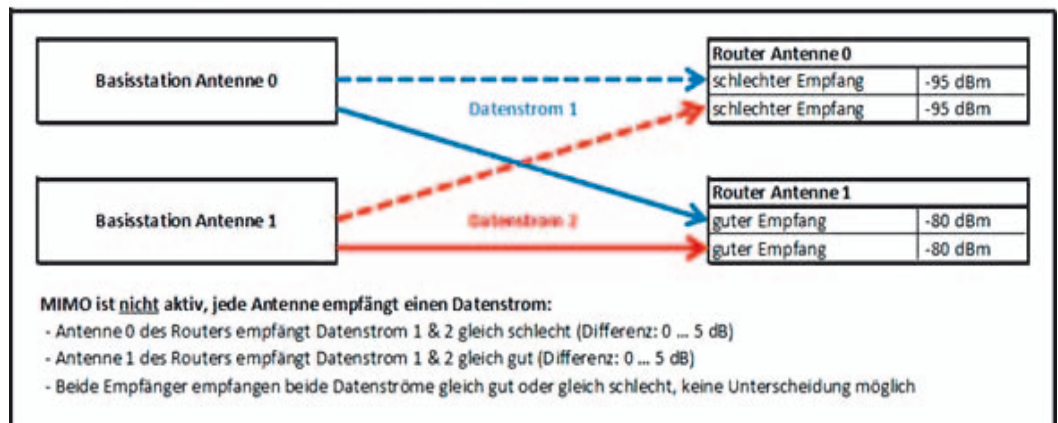
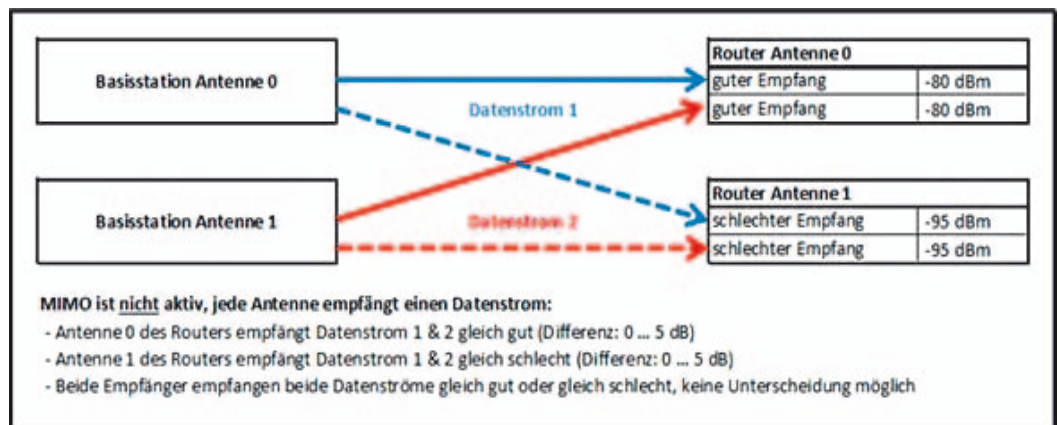


Bild 3: Zwei Mehrantennensysteme mit typischen praktischen Daten im Vergleich, MIMO inaktiv

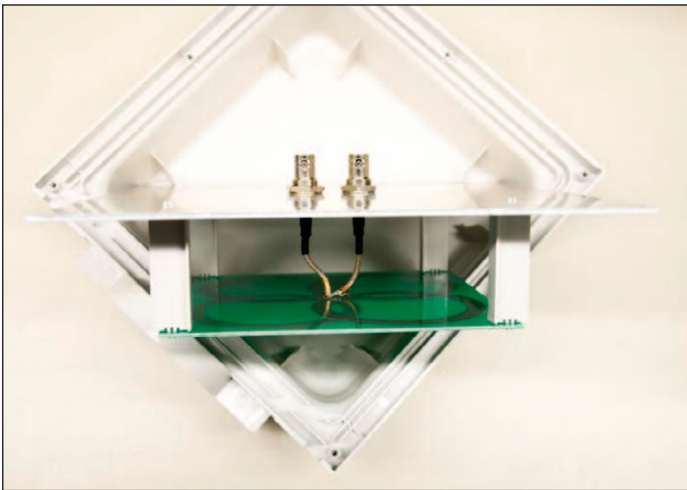


Bild 4: Blick in eine duale Antenne

separaten Modulatoren in separaten Sendern geleitet. Mehrere Antennen empfangen dann die Datenströme, welche sich durch leicht verschiedene Phasenlagen auszeichnen, da sie verschiedene Wege genommen haben. Im Empfänger erfolgt die Zusammenfassung zu einem optimalen Signal.

Jeder dieser Teilübertragungswege kann physikalisch als separater Kanal aufgefasst werden, da er über eine eigene Sende- wie auch Empfangsantenne verfügt. Somit ist ein uneingeschränkter Datendurchsatz möglich. Jede Empfangsantenne besitzt eine

Messeinrichtung für jeden gesendeten Datenstrom.

Die höchstmögliche Datenrate pro Kanal ist proportional zur Anzahl der verschiedenen Datenströme. Das alles bedeutet eine hohe Flexibilität und Skalierbarkeit des Systems. Die Verbindung lässt sich sehr wirksam und robust gestalten, wobei der Leistungsverbrauch gering bleibt.

Das Aufmacherbild zeigt eine LTE-MIMO-Antenne von B.A.Z. mit zwei Anschlüssen. Die internen beiden Antennenelemente sind um 45° versetzt und nutzen sowohl MIMO als

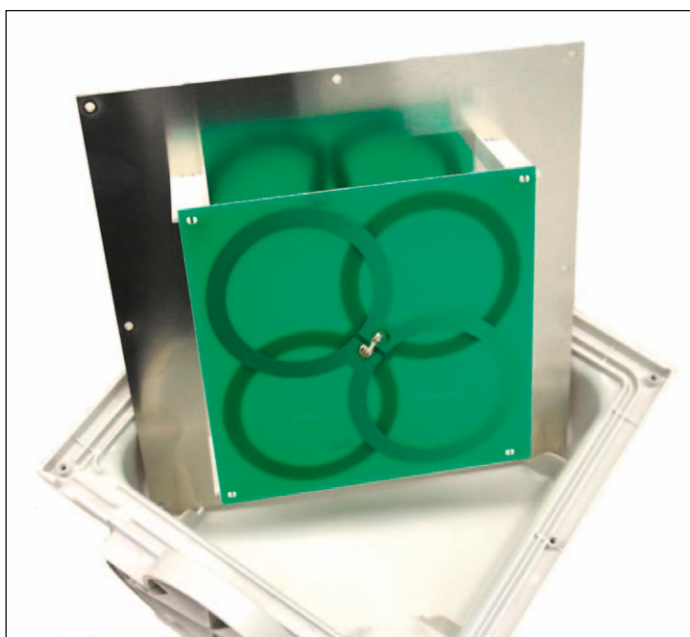


Bild 5: Ansicht der internen Antennen (Quelle Bild 2 bis 5: www.lte-anbieter.info/technik/mimo.php)

auch Antennen-Diversity. Bild 4 und 5 zeigen das Innenleben einer ähnlichen Antenne von Funkwerk.

Beispiel WiFi

Bei WiFi nutzt man, je nach Datenrate, verschiedene Modulationsarten, wie das Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM), das Binary Phase-Shift Keying (BPSK), das Quadrature Phase-Shift Keying (QPSK) und die 16- oder 64-Phase Quadrature Amplitude Modulation (16QAM oder 64QAM). Es ist dabei möglich, verschiedene Datenströme im selben 20 MHz breiten Bereich etwa im 2,4-GHz-Band zu übertragen. Das bedeutet einen hohen möglichen Datendurchsatz, der linear mit der Anzahl der Sender zunimmt.

Die verschiedenen Signale laufen an den Empfängern mit verschiedenen Phasenlagen zueinander ein, entsprechend der verschiedenen Signalpfade. Sowohl der direkte Weg als auch ein Weg mit mehreren Reflexionen ist vorstellbar. Jedes einzelne Signal ist also durch seinen Ausbreitungsweg gekennzeichnet. Dies macht es möglich, im Empfänger mit Algorithmen auf der Basis digitaler Signalverarbeitung (DSP) die Signale zu sortieren und zu bewerten. Gleichen sich zwei Signale von verschie-

denen Antennen, werden sie beispielsweise direkt addiert. Diese nachträgliche Kombination der Teilsignale verbessert den Rauschabstand und daher auch die Zuverlässigkeit der Übertragung. Eine robustere, zuverlässigere Verbindung bedeutet aber auch immer eine größere mögliche Reichweite. Diese ist der eigentliche praktische Vorteil von MIMO gegenüber anderen Multistream-Verfahrenen.

MIMO-Varianten

Man darf MIMO nicht mit einem Smart-Antennensystem verwechseln, wie es etwa in zellularen Netzwerken genutzt wird. Denn dieses nutzt Beam-Forming, um das HF-Signal auf die Empfangsantenne zu konzentrieren. Ein Problem dabei sind gegenüber der Basisstation verdeckte angeordnete Knoten. Insgesamt ist die Anzahl der erreichbaren Knoten recht beschränkt, sie müssen mehr oder weniger auf einer Linie liegen. MIMO kann jedoch auch mit Beam-Forming-Systemen betrieben werden.

MIMO wird bereits mit nur zwei Sendern und Empfängern praktiziert. Es existieren jedoch verschiedene Standards, die deutlich mehr Sender und Empfänger erlauben. Dabei kann es auch einen Empfänger mehr oder weniger als die Senderanzahl

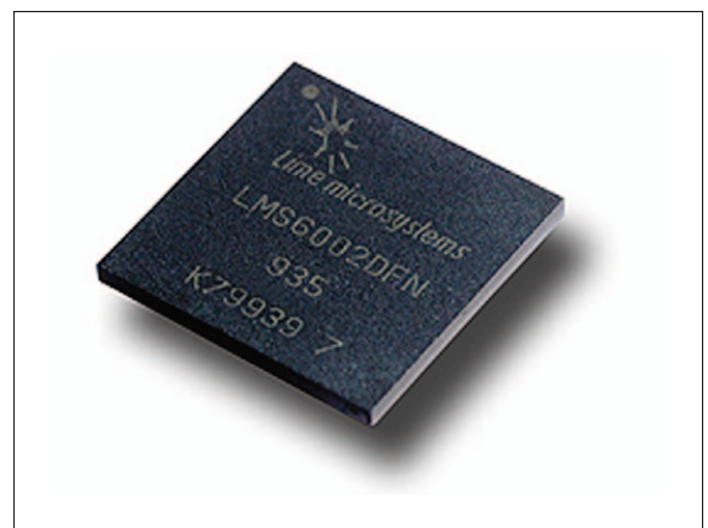


Bild 6: Ansicht des LMS6002D, des weltweit ersten feldprogrammierbaren MIMO-Chips

Happy Birthday: 10 Jahre MIMO

Die ersten MIMO-Geräte kamen Anfang 2005 auf den Markt und versprachen wesentlich höhere Funkabdeckungen im Vergleich zum normalen 802.11g-Standard, zum Teil bis zu zehnmal mehr. Diese Technik ist unter verschiedenen Produktnamen noch aktuell. Ende 2005 kam eine neue Router-Generation auf den Markt, deren Chipsatz die MIMO-Technik nutzt. Sie ermöglichte erstmals Geschwindigkeiten wie im LAN via Kupferkabel, nämlich bis zu 240 Mbit/s durch Nutzung von zwei Funkkanälen. Dabei hat auch das WLAN eine Full-Duplex-Verbindung durch Nutzung von zwei Funkkanälen gleichzeitig. Der WLAN-Standard 802.11n sichert u.a. die Kompatibilität verschiedenster Produkte sicher-

stellen. 2006 wurden zum ersten Mal solche WLAN-Komponenten vorgestellt.

Sie erreichten mit neuen Chipsätzen Datenraten von bis zu 300 Mbit/s. Mit Hilfe der MIMO-Technik sollen beim 802.11n-WLAN-Standard bis zu 600 Mbit/s möglich werden. Die MIMO-Technik erlaubt Datenraten von bis zu 3 Gbit/s im 5-GHz-ISM-Band. Der Standard IEEE 802.11ad definiert das Verfahren. MIMO-Techniken werden auch im zukünftigen WiMax-Standard IEEE 802.16 enthalten sein und finden schon heute in Mobilfunknetzen Anwendung. Denn auch hier geht es den Anbietern darum, hohe Datengeschwindigkeiten bei geringer Fehlerrate anzubieten.

geben. Kombinationen mit mehr als vier Sendern und Empfängern (4x4 MIMO) sind die Grenze des Vernünftigen. Darüber hinaus erreicht man kaum noch eine nennenswerte Verbesserung. 8x8-MIMO wird wohl LTE vorbehalten bleiben und nicht vor 2020 kommen. Am verbreitetsten ist die Nutzung von zwei Sendern und drei Empfängern, obwohl Chipsets für 4x4 MIMO mit höchsten Datenraten gut verfügbar sind.

Bei MIMO nach Standard 11n ist es auch möglich, zwei 20-MHz-Kanäle zu einem 40-MHz-Kanal zu verbinden, um höhere Datenraten zu praktizieren, wobei bis zu 600 Mbit/s erreichbar sind. Kein Wunder also, dass alle neueren Drahtlos-Standards MIMO unterstützen. MIMO ist drauf und dran, ein Standard-Feature in Drahtlos-Chipsets und für drahtloses Equipment zu werden.

Implementation von MIMO

Die Fortschritte bei der Herstellung analoger wie digitaler Chips haben MIMO die Tür zu vielerlei Applikationen geöffnet. Der Hardwareaufwand ist gegenüber anderen komplexeren Verfahren kaum höher. MIMO ist als Singlechip-Lösung verfügbar.

Ein sensibler Bereich ist DSP. Die digitale Signalverarbeitung ist bei MIMO vergleichsweise komplex. Damit geht ein gewisser Leistungsverbrauch einher. Längere Zeit setzte man auf feldprogrammierte Hardware (FPGAs, Field Programmable Arrays). Mit den modernsten digitalen CMOS-Prozess-Technologien ist es nun möglich geworden, den Signalprozessor on-chip zu realisieren, sodass eine hohe System-Performance mit geringer Leistungsaufnahme verknüpft wird.

Dies wird noch durch hochqualifizierte Software unterstützt. Sie übernimmt Funktionen, die früher hardwareimplementiert waren. Somit ist es nun auch möglich, die MIMO-Algorithmen kontinuierlich zu verbessern, um die Stromkosten noch weiter zu senken. Zwar lässt sich die Antennenanzahl nicht beeinflussen, aber dennoch sind kontinuierliche Performance-Verbesserungen möglich.

Diese Entwicklung geht ganz in Richtung Software Defined Radio. SDR verbindet ein flexibles Breitband-Frontend mit hochentwickelter DSP, um verschiedene Protokolle zu decodieren. Die wachsende Popularität von MIMO ist nicht unerheblich der SDR-Technik zu verdanken. Eines der SDR-Schlüsselemente ist der Field-Programmable RF Transceiver (FPRF), und genau dieser erlaubt es auch, verschiedene HF-Bänder und verschiedene Standards in MIMO-Netzwerken zu managen.

Bild 6 zeigt den Chip LMS6002D von Lime Microsystems. Dieser flexible Low-Power-Chip ist seit 2014 am Markt und ermöglicht auf einfache Weise die Implementation von MIMO-Systemen. Er kombiniert vier PRF-Transceiver mit einem FPGA, um ein 4x4-MIMO-Produkt zu erstellen, das z.B. in LTE/HSPA+ Cellular-Systemen eingesetzt werden kann. Die wichtigsten Eigenschaften: Frequenzbereich 375 MHz bis 4 GHz, programmierbare Modulationsbandbreiten von 1,5 bis 28 MHz und Unterstützung von TDD (Time Division Duplex) sowie FDD (Frequency Division Duplex). Zur Programmierung dient ein standardisiertes Serial Port Interface (SPI). **FS**