

**Zeitschrift:** Comtec : Informations- und Telekommunikationstechnologie = information and telecommunication technology

**Herausgeber:** Swisscom

**Band:** 83 (2005)

**Heft:** 3

**Artikel:** Bessere Performance in WLANs dank MIMO

**Autor:** Sellin, Rüdiger

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-877118>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 04.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Bessere Performance in WLANs dank MIMO

RÜDIGER SELLIN Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zu **Multiple Input Multiple Output (MIMO)** haben zu deutlichen Verbesserungen bei den Übertragungssystemen geführt. Nachdem bereits im Herbst 2003 erste Versuchssysteme der Öffentlichkeit vorgestellt wurden, ist die Erwartungshaltung heute entsprechend höher. Ob diese erfüllt werden, zeigen Umfragen bei Herstellern und Forschungsinstituten in Deutschland und in den USA.

MIMO-Systeme gehören zur Gruppe der intelligenten Antennensysteme und werden auch «Mehrantennen-Systeme» genannt. Dabei übertragen mehrere Antennen gleichzeitig unterschiedliche Datenströme in demselben Funkkanal und Frequenzband. Diese Übertragung ist vergleichbar mit der Situation in einem Raum, in dem sich mehrere Gesprächsgruppen gebildet haben, die sich gleichzeitig parallel miteinander unterhalten können, ohne sich gegenseitig zu stören. Im Vergleich zu konventionellen Einzelantennen, die jeweils auf einer separaten Frequenz senden, lässt sich durch das MIMO-Verfahren die Datenrate vervielfachen, indem das Frequenzspektrum wesentlich effizienter genutzt wird. Eine Vorstufe dieses Grundprinzips wird bereits bei der Verarbeitung von UMTS-Signalen angewendet. Hier wird das Endgerät oft durch mehrere Zellen gleichzeitig versorgt (Soft-Handover). Dies hat eine bessere Funkversorgung, aber auch die Belegung zusätzlicher Transportkapazitäten zur Folge. Die Intelligenz im UMTS-Endgerät setzt die für sich bestimmten Signale und dessen Reflexionen wieder zu einem Gesamtsignal zusammen. Dieses Signal ist deutlich stärker als der grösste Einzel-Peak, womit mehr Empfangsenergie zur Verfügung steht und eine höhere Abdeckung erreicht wird.

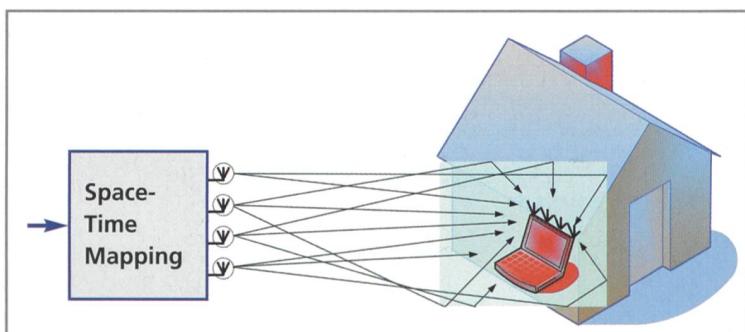
Das technische Grundprinzip von MIMO (Bild 1) kommt bereits heute bei den Wireless LANs (WLANs) zum Einsatz, und das in zunehmendem Masse. Zudem ist das US-ameri-

kanische Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) zurzeit dabei, die entsprechende Erweiterung des Standards 802.11 zu entwickeln. Ziel ist es, die bekannten IEEE-Standards 802.11a/b (max. Datenübertragungsrate heute bei 11 bzw. 54 Mbit/s) bis Herbst 2006 so zu verbessern, dass ein noch höherer Durchsatz möglich wird. Hier werden im Gegensatz zu UMTS aber nicht ein Datenstrom, sondern mehrere Datenströme über mehrere Antennen parallel auf die Reise geschickt. Auch bei MIMO werden sie im Empfangsgerät – hier allerdings von mehreren Antennen – eingefangen und aus dem stärkeren Empfangssignal das Nutzsignal gewonnen. Das IEEE wählte die Bezeichnung 802.11n für diesen Multiantennenmodus-Standard.

## Zuerst mehr Speed für Wireless LANs

Selten hat ein IEEE-Dokument lange vor seiner Veröffentlichung, in diesem Fall sogar lange vor Bereitstellung eines ersten Entwurfs, ein so grosses Interesse ausgelöst. Die WiFi-Allianz ([www.wi-fi.org](http://www.wi-fi.org)) fühlte sich sogar gedrängt, im Herbst 2004 eine Pressemeldung zu verbreiten, in der sie sich klar von der Zertifizierung erster «Pre-Standard 802.11n Features» distanzierte. Es hatte böses Blut gegeben, weil einige Hersteller nach Meinung der WiFi-Allianz deren guten Ruf insofern gefährden, als dass diese bereits seit November 2004 Wi-Fi-zertifizierte Geräte mit ersten 802.11n-Features auf dem Markt bringen. Dabei handelt es sich aber nur um vermutete und noch lange nicht vom IEEE abgesegnete 802.11n-Eigenschaften. Von diesem Standard existierte bei Redaktionsschluss noch nicht einmal ein erster Entwurf (Draft). 802.11n hat aus diesem Grund mit Wi-Fi heute noch rein gar nichts zu tun. Das Wi-Fi-Siegel bezieht sich nur auf verabschiedete IEEE-Standards wie 802.11a/b/g. Damit wiederholt sich das gleiche Prozedere wie bei der Einführung von IEEE 802.11b und g. Auch damals tauchten «Pre-Features» vor der Verabschiedung des Standards in WLAN-Installationen auf und sorgten für Inkompatibilitäten und Unmut. Daher sieht sich die WiFi-Allianz diesmal gezwungen, kräftig mit der grossen Keule zu schwingen. Zitat: «Due to the potential for customer confusion, the Wi-Fi Alliance strongly discourages use of the term «IEEE 802.11n» in association with any Wi-Fi certified product». Es wurde gar die Widerrufung einmal erteilter Wi-Fi-Zertifikate angedroht, sollte eines der bereits Wi-Fi-zertifizierten Produkte mit 802.11n-Features angereichert werden. Besonders auf dem nordamerikanischen Markt ist das Wi-Fi-Zertifikat von grosser Bedeutung, weil dort praktisch ausschliesslich von Wi-Fi und kaum mehr von WLANs gesprochen wird. Wi-Fi ist «in». Es ist eine Art Vertriebs-Label und Qualitätssiegel zugleich geworden.

Bild 1. Technisches Prinzip von MIMO.



Einer der Verfechter von «802.11n-Vorlösungen» ist die Firma Smartvue, die ihre Pressemitteilung so geschickt formuliert hat, dass die Wi-Fi-Allianz kaum etwas daran auszusetzen haben dürfte. Die Firma stellt Videoüberwachungssysteme für Geschäfts- und Privatkunden her. Sie verbesserte nach eigenen Angaben die Auflösung der übermittelten Bilder und die Reichweite der drahtlosen Überwachung erheblich. Smartvue spricht von neuen Anwendungen wie «Streaming Multimedia», die dank MIMO-Technologie «weit über die Performance heutiger Wi-Fi-Applikationen hinausgeht» ([www.smartvue.com](http://www.smartvue.com)).

Ein bekannter Hersteller von Wi-Fi-Equipment ist die Firma Belkin, die sich auf den Heimmarkt und somit auf Produkte mit den Standards IEEE 802.11 b/g (lizenzfreie Bänder) konzentriert. Belkin vertreibt in den USA «MIMO-basierte Wi-Fi-Produkte», so einen «Pre-N Wireless Router» für 179 US-\$ und eine Laptop-Karte für 129 US-\$. Nach Angaben des PC-Magazins «USA», Ausgabe vom 6. Januar 2005, sei die Verbesserung der Abdeckung und der Geschwindigkeit im Vergleich zu reinen 802.11b/g-Installations auch in funktchnisch schwierigen Räumen markant. Belkin spricht gar von 800% mehr Abdeckung und 600% mehr Speed – eine optimistische Angabe, die eher unter optimalen Bedingungen ermittelt wurde. Gleichwohl waren die Tester des PC-Magazins begeistert und sprechen immerhin von einer Geschwindigkeitsverdopplung im Vergleich zu bisherigen Installationen. Und selbst wenn das Belkin-Equipment nach Verabschiedung von IEEE 802.11n veraltet sei, könne man von einer preiswerten Investition sprechen ([www.belkin.com](http://www.belkin.com)). Zur Realisierung von MIMO im WLAN operieren sowohl Smartvue als auch Belkin mit jeweils drei Sende- und Empfangsantennen.

Neben Smartvue und Belkin drängt auch die Cisco-Tochter Linksys, Marktführer in im Wi-Fi-Bereich, auf den Markt. Die MIMO-basierten WLAN-Produkte werden hier unter der Bezeichnung SRX vertrieben – SRX für Speed and Range EXtension. Der Wireless-G Router SRX WRT54GX wird in den USA für rund 200 US-\$ angeboten, der Wireless-G SRX Notebook-Adapter für rund 130 US-\$. Alle drei Hersteller (Smartvue, Belkin und Linksys) setzen Mikrochips des Herstellers Airgo ein, der seit seiner Gründung im Januar 2001 als Pionier der MIMO-Technologie angesehen werden kann. Airgo hat die zugrunde liegende Modulations-technik, genannt Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM), zur Anwendungsreife gebracht. OFDM wird auch als Basis für die Entwicklung von IEEE 802.11n verwendet. Airgo kann für sich in Anspruch nehmen, den ersten

Chipsatz und die entsprechende Software dazu entwickelt zu haben, der die bekannten IEEE-802.11-a/b/g-Standards implementiert und deren Übertragungsgeschwindigkeit mit MIMO beschleunigt ([www.airgonetworks.com](http://www.airgonetworks.com)).

### MIMO für UMTS?

Dass MIMO seine Feuertaufe bei den Wireless LANs bestanden hat, ist offensichtlich. Ob MIMO aber auch für das ungleich komplexere UMTS taugt, muss sich erst noch erweisen. Nach Auskunft von Dr. Armin Dekorsy, Lucent Technologies, Bell Labs Europe, Nürnberg, befinden sich die MIMO-Konzepte für UMTS zurzeit noch in der Entwicklung (Bild 2). Die UMTS-Betreiber hätten sich zunächst auf den Aufbau des Netzes und eines vernünftigen Serviceangebots konzentriert. Nun steigt aber der Druck auf die Entwickler, MIMO auch bei UMTS anzuwenden. Allerdings seien die Verhältnisse bei WLANs ungleich einfacher, weil hier meist nur eine Indoor-Versorgung sichergestellt werden müsse, so Armin Dekorsy. Für zellulare Systeme mit Makrozellen im Outdoor-Bereich laufe die Entwicklung jetzt richtig an. Seiner Meinung nach ist das Problem weniger die rechenleistungsintensive Signalverarbeitung im UMTS-Endgerät, dessen Prozessorleistung sich laufend verbessert, sondern die Unterbringung mehrerer Antennen in einem kompakten Endgerät. Qualcomm bietet bereits ein neues Endgerät mit zwei Antennen an.

Laut Armin Dekorsy ist es eine Frage der Zeit, bis vier Antennen auf einem Chip untergebracht werden können. Darüber hinaus werde es aber eng, ebenso wie mit der Erstellung eines entsprechenden MIMO-Standards für zellulare Netze wie UMTS. Besonders reizvoll ist die Anwendung von MIMO zur Realisierung von HSPDA (High Speed Downlink Packet Access), einer neuen Übertragungstechnik für UMTS. Prinzipiell bewirken MIMO-Technologien eine deutliche Datenratenerhöhung für UMTS-HSDPA. Zudem zeigen weitergehende HSDPA-Analysen, so Armin Dekorsy, dass mittels MIMO höhere Datenraten bei gleichzeitig besserer Funkabdeckung möglich sind. Somit lassen sich hohe Datenraten in der Fläche verbreiten, sodass MIMO auch zur Reduktion von Netzinfrastrukturkosten eingesetzt werden kann. Armin Dekorsy bestätigte, dass einfache Ausführungen der MIMO-Technologien für UMTS bereits heute auf dem Markt eingeführt sind. Mit der Festlegung des 3GPP-Standards Release 7 Ende 2005 sei mit einer Einführung der deutlich erweiterten MIMO-Technologien aber kaum vor 2007 zu rechnen.

Bilder 2a, b und c. Laptop und PDA mit MIMO-Technologie in einer Versuchsanordnung von Lucent Technologies.

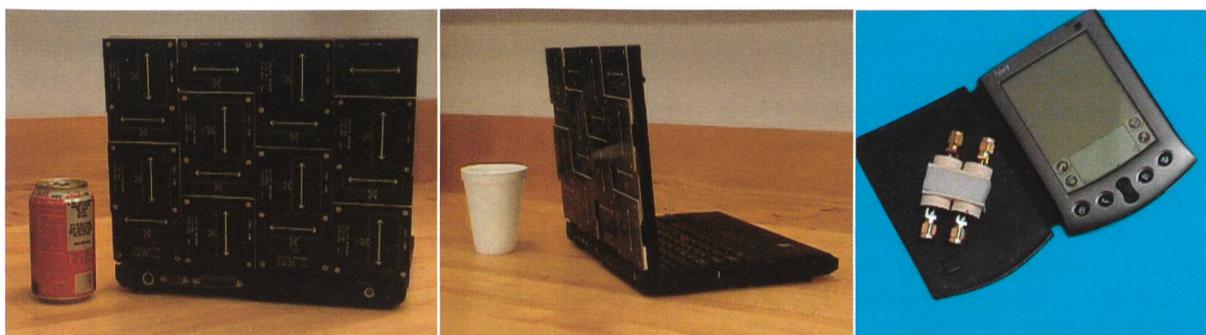




Bild 3. MIMO-Versuchsanordnung von Siemens.

Neben Lucent arbeiten auch Ericsson, Nokia, Alcatel, Nortel und Siemens an MIMO. So vermeldete der deutsche Elektro- und Telekom-Konzern am 7. Dezember letzten Jahres einen Geschwindigkeitsrekord der drahtlosen Datenübertragung (Bild 3). Dabei wurden erstmals in Echtzeit Daten mit einer Geschwindigkeit von einem Gbit/s per Mobilfunk übertragen (entspricht 1000 Mbit/s). Zum Vergleich: Die schnellste Funkverbindung zu einem mobilen Endgerät schaffen derzeit WLAN-Netze mit rund 50 Mbit/s. Um die hohe Geschwindigkeit zu erreichen, kombinierte Siemens ein «intelligentes Antennensystem» aus drei Sende- und vier Empfangsantennen mit OFDM. Diese Technologien, die das Frequenzspektrum besonders effizient nutzen, gelten in der Forschung als viel versprechende Bausteine der Mobilfunkgeneration nach W-CDMA/UMTS. «Zukünftige Mobilfunksysteme müssen das Frequenzspektrum bei möglichst niedriger Sendeleistung so effizient wie möglich nutzen», so Christoph Caselitz, Leiter des Geschäftsgebiets Mobile Networks bei Siemens Communications. «Mit unserem Experimentalsystem konnten wir nachweisen, wie leistungsfähig intelligente Antennen in Kombination mit dem OFDM-Verfahren sind. Damit haben wir einen wichtigen Baustein für zukünftige Mobilfunksysteme geschaffen.»

Der Grund, warum Mehrantennensysteme heute noch nicht die Regel sind, liegt nach Meinung von Christoph Caselitz unter anderem darin, dass eine sehr hohe Rechenleistung auf der Empfangsseite benötigt wird. Denn die von mehreren Antennen gleichzeitig gesendeten Informationen kommen auch auf mehreren Empfangsantennen an und müssen für das Empfangsgerät in Echtzeit rekonstruiert werden. Das überfordere die gängigen Chips der Mobilfunkindustrie. Siemens entwickelte daher neue optimierte Signalverarbeitungs-Algorithmen, die auf den heute verfügbaren Hardware-Bausteinen effizient implementiert werden können. Das Experimentalsetup wird im 5-GHz-Band betrieben und hat eine Bandbreite von 100 MHz. Das

verwendete OFDM-Übertragungsverfahren schützt die Signale weitgehend vor Störungen wie Echos, die durch Reflexionen an Gebäuden entstehen. OFDM gilt als viel versprechende Übertragungstechnologie für den zukünftigen Mobilfunk und wird bereits heute bei Wireless LAN sowie dem digitalen Fernsehen (DVB) und Rundfunk (DAB) angewandt. Als nächsten Schritt will Siemens die Datenrate weiter steigern und die Mobilität von Endgeräten mit mehreren Antennen erhöhen. Das Experimentalsetup zur Gigabit-Übertragung, das auf dem 3GSM World Congress 2005 in Cannes zum ersten Mal der Öffentlichkeit präsentierte, hat Siemens in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer Institut für Nachrichtentechnik (Heinrich-Hertz Institut) und dem Institut für angewandte Funksystemtechnik GmbH (IAF) entwickelt.

Das Heinrich-Hertz-Institut ([www.hhi.fraunhofer.de](http://www.hhi.fraunhofer.de)) ist eines der führenden Institute auf dem Gebiet der Nachrichtentechnik und führt Forschungsarbeiten in den Bereichen mobile Breitbandsysteme, elektronische Bildtechniken für Multimedia und photonische Telekommunikationsnetze durch. Ende letzten Jahres wurde das Fraunhofer German-Sino Lab for Mobile Communications, MCI, vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und dem chinesischen Ministerium MOST gegründet. Schwerpunkte im Forschungsbereich Mobilkommunikation sind die Weiterentwicklung von zellulären Systemen UMTS, WLAN sowie von Ad-hoc- und Sensor-Netzwerken. Ein weiteres Ziel ist die Entwicklung von Techniken zur Erhöhung der spektralen Effizienz: Mehrantennensysteme, Mehrträgersysteme und Mehrnutzerempfänger. Für HSUPA/HSDPA wurden Cross-Layer-Optimierungsansätze erarbeitet. Zur effizienten Kopplung der Funkzugangstechniken werden heterogene Access-Management-Techniken entwickelt.

### Fazit

Dass MIMO für WLANs taugt, scheint zumindest in Amerika bewiesen worden zu sein. Zu zahlreich sind dort die Herstel-

ler, als dass es sich um eine reine Eintagsfliege handeln könnte. Allerdings ist die Fertigstellung des IEEE-Standards 802.11n erst für den Herbst 2006 geplant. Dessen Feuerprobe steht also noch bevor. Immerhin scheint das «Pre-n»-Equipment, das bereits im Verkauf ist, heute praxistauglich zu sein. Bei MIMO für UMTS steht dieser Beweis noch aus. Zudem zeigten die eher verhaltenen Reaktionen beim Thema HSDPA oder UMTS 3.5G, dass die Betreiber mit

UMTS erst einmal Geld verdienen wollen, bevor weiter in diese neue Netztechnik investiert wird. Gegenwind könnte ausserdem wegen des neuen Antennenwalds entstehen: Für MIMO werden neue Antennen und damit neue Baubewilligungen nötig sein. Ob dieser Umstand am Ende vielleicht die Einführung von MIMO für UMTS vereiteln wird? ■

Rüdiger Sellin, freier Autor und PR-Manager, Swisscom Mobile

## Ersteigerte Frequenzen effektiver nutzen

**Fünf Fragen an Prof. Dr. Holger Boche, Professor an der TU Berlin, Leiter des Fraunhofer German-Sino Lab for Mobile Communications, Leiter der Abteilung Breitband-Mobilfunknetze am Heinrich-Hertz-Institut, dem Fraunhofer-Institut für Nachrichtentechnik.**

*Herr Boche, in welchem Forschungs- und Entwicklungsbereich von MIMO wurden im letzten Jahr die meisten Fortschritte erzielt?*

MIMO-Systeme ermöglichen bislang unerreichte Datenraten, weil sie die räumlich statistischen Eigenschaften des Funkkanals geschickt ausnutzen: Der Raummultiplex nutzt die wertvolle Frequenzressource mehrfach aus. Das geht prinzipiell aber auch, ohne die Gesamtsendeleistung erhöhen zu müssen. Jedoch muss man die Übertragung ständig neu an die Eigenschaften des Kanals anpassen. Die Anpassung erfordert ein zunehmendes Mass an Flexibilität. Diese Forderung zieht sich durch alle Schichten des Kommunikationssystems.

In der Theorie haben wir in den letzten Jahren herausgefunden, wie die optimalen Sende- und Empfangsstrategien für solche Mehrantennensysteme aussehen, wobei der Schwerpunkt auf der Optimierung eines Übertragungslinks bestand. Das volle Potenzial von Mehrantennensystemen kann aber erst dann umfassend ausgenutzt werden, wenn man in der Lage sein wird, ein Gesamtsystem mit mehreren Teilnehmern zu optimieren. Der Schlüssel dazu ist eine intelligente Ressourcenvergabe, die es ermöglicht, die Gesamtsystemkapazität wesentlich zu vergrössern. Hier sind in jüngster Zeit erste Fortschritte erzielt worden.

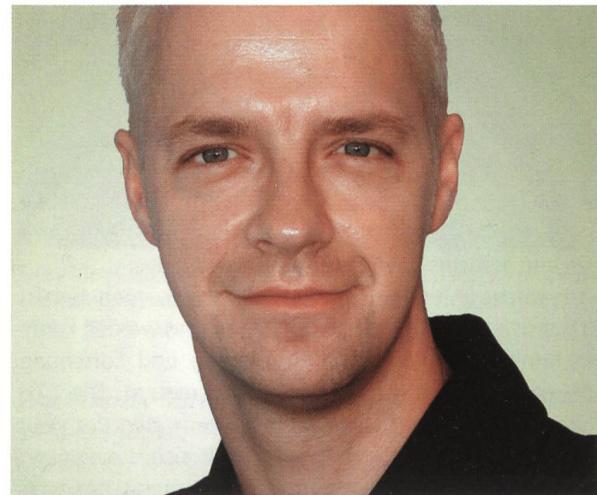
Eine weitere grosse Herausforderung bestand darin, die komplexen Sende- und Empfangssysteme für Mehrantennensysteme so auf die verfügbare Hardware zu implementieren, dass diese unter Echtzeitbedingung zum Laufe gebracht werden können. Dies gelang uns kürzlich in Zusammenarbeit mit Siemens.

**Wo hat Ihr Institut konkrete Beiträge geleistet?**

Wir haben auf dem Gebiet Algorithmenentwurf von der Theorie bis zur Implementierung gearbeitet und die Techniken so entwickelt, dass man die Komplexitäten managen kann. So konnte das System schliesslich der Öffentlichkeit in Cannes vorgestellt werden.

**Wirken sich diese Verbesserungen bereits in käuflichen Systemen aus?**

Es gibt im Bereich WLAN die ersten Produkte, die auf MIMO-Techniken basieren. Dies ist der Einstieg. Ausserdem kündigten einige Infrastrukturanbieter an, 2006 für UMTS Pro-



Professor Dr.-Ing., Dr. rer. nat. Holger Boche

dukte anzubieten, die von den Operatoren bereits nachgefragt wurden. MIMO-Techniken werden für die Standardisierung sowohl von zellularen Systemen, als auch für WLAN-Systeme heftig diskutiert.

*Wann rechnen Sie mit den ersten kommerziell anwendbaren MIMO-Systemen für Europa?*

Wie bereits erwähnt, werden die ersten MIMO-Produkte in WLAN-Systemen eingesetzt. Neue Anwendungen, beispielsweise im Bereich Fahrzeug-zu-Fahrzeug, werden auch durch MIMO angewendet und ersetzt.

*Sind alle Systeme voraussichtlich lizenzzfrei einsetzbar oder rechnen Sie mit ähnlichen aufwändigen Versteigerungen wie bei UMTS?*

MIMO-Techniken können in unterschiedlichsten Systemen eingesetzt werden, diese können beispielsweise zellulare Systeme oder WLAN-Systeme sein. Die Idee bei Mehrantennensystemen besteht darin, mehrere Signale zur gleichen Zeit zu senden und dann damit bereits ersteigerte Frequenzen effektiver zu nutzen. A priori müssen keine neuen Frequenzen ersteigert werden. Für neue Anwendungsfelder müssen natürlich neue Frequenzen vergeben werden. Für diese Anwendungen könnte MIMO die richtige Technik sein, um die notwendige Performance zu garantieren. ■