

Zeitschrift: bulletin.ch / Electrosuisse

Herausgeber: Electrosuisse

Band: 99 (2008)

Heft: 21

Artikel: LTE : der nächste Mobilfunkstandard : Teil 2 : die Luftschnittstelle

Autor: Tanner, Rudolf / Hofstetter, Rolf

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-855904>

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: 08.02.2026

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

LTE, der nächste Mobilfunkstandard

Teil 2: Die Luftschnittstelle

LTE soll UMTS ersetzen – mit noch einmal schnelleren Datenraten für Mobiltelefone. Dies ist der 2. Teil einer 3-teiligen Serie über LTE und befasst sich mit der Luftschnittstelle sowie der neuen Basisstation eNode B. Wegen der Komplexität der Luftschnittstelle konzentriert sich der Artikel auf ein paar ausgewählte Aspekte, wo neue Technologien genutzt werden.

Der mobile Mensch erwartet den gleichen Komfort wie zu Hause, wenn er mit seinem Laptop im Freien im Internet surft oder wenn er mit seinem Telefon unterwegs googelt. Das Marketing der Hersteller verspricht Datenraten von mehr als 100 Mbit/s für die mobilen Nutzer (Outdoor) und 1 Gbit/s für kleine Zellen (Indoor) [1]. Diese Erwartungen muss LTE erfüllen, will es sich einen Platz im hart umkämpften Markt sichern. Diese Datenraten können aber nur

Rudolf Tanner, Rolf Hofstetter

mit einer neuen Technologie für die Luftschnittstelle erreicht werden sowie mit einem neuen Konzept für die Basisstationen, der eNode B [2]. Dabei ist eine Node B ein logischer Knoten und kann, im Unterschied zu einer Base Transceiver Station (BTS), mehrere Zellen bedienen, kann also mit mehreren Antennen verbunden sein, beispielsweise verteilt auf mehrere Etagen.

Im LTE-Standard werden die Luftschnittstelle und die Basisstationen zum sogenannten Radio Access Network (RAN) zusammengefasst. Die Arbeitsteilung zwischen RAN und Core Network (CN) wurde so ausgelegt, dass das CN vom RAN weder technologie- noch netzwerkspezifische Informationen benötigt, man also auch andere RAN-Technologien verwenden könnte.

Das RAN hat verschiedene Funktionen: Erst ist es für die Sicherheit zuständig – es verschlüsselt die Daten und authentifiziert die Benutzer. Dann schaut es, dass das Frequenzspektrum optimal ausgenutzt wird (Radio Resource Management) und über gibt die Teilnehmer an die nächste Zelle, wenn sich diese bewegen (Handover). Auf der Verbindungsebene werden automati-

sche Nachfragen nach verlorenen Paketen beantwortet (Automatic Repeat Request), und der Header wird komprimiert. Die physikalische Schicht wiederum führt die Kanalkodierung durch, ordnet die Daten um (Interleaving) und moduliert das Signal.

Bild 2 zeigt die Schichten einer eNode B. Da LTE nur Paketdaten verarbeitet, werden der eNode B nur IP-Pakete zugeführt. Diese werden, ähnlich wie bei WCDMA [3], weiter verarbeitet und schliesslich über die Luftschnittstelle dem Empfänger zugestellt. Die PDCP-Schicht komprimiert den IP-Header und verschlüsselt die Daten. Pro Funkträger (Radio Bearer) existiert eine PDCP-Einheit. Die nächste Schicht, die den logischen Funkkanal kontrolliert (Radio Link Control), ist bei LTE nun Teil der eNode B, und nicht des RNC wie bei WCDMA, wie es bei UMTS eingesetzt wird. Die RLC-Schicht

wiederholt ein gesendetes Paket, sollte dies verloren gehen (Retransmission), und ordnet die Pakete, damit diese in der richtigen Reihenfolge an die höheren Schichten weitergegeben werden. Die RLC-Schicht bildet die Daten vom Funkträger auf die logischen Kanäle ab. Es existiert eine RLC-Einheit pro konfigurierten Funkträgern.

Die MAC-Schicht (Medium Access Control) ist ebenfalls Teil der eNode B, denn es gibt bei LTE kein RNC. Die physikalische Schicht (PHY) wurde bei LTE weitgehend überarbeitet, um den grossen Datenraten gerecht zu werden – und um gleichzeitig die Kosten der Endgeräte tief zu halten.

Luftschnittstelle

Die maximale Datenübertragungsrate an einem beliebigen Zeitpunkt hängt vom Signal-zu-Rausch-Verhältnis beim Empfänger ab. In einem WCDMA-Mobilfunksystem ändert sich der Rauschpegel relativ langsam, da der Hauptanteil des Rauschens durch Interferenzen von den anderen Teilnehmern im System verursacht wird. Dies trifft bei LTE nicht mehr zu, womit dem Adjacent Channel Leakage Ratio (ACLR) eine grössere Bedeutung zukommt. Deshalb ist die Qualität des Funkkanals von besonderer Bedeutung.

Bild 3 zeigt das Frequenzspektrum von LTE. Zurzeit sind 14 Frequenzbänder für Frequency Division Duplex (FDD) im Be-

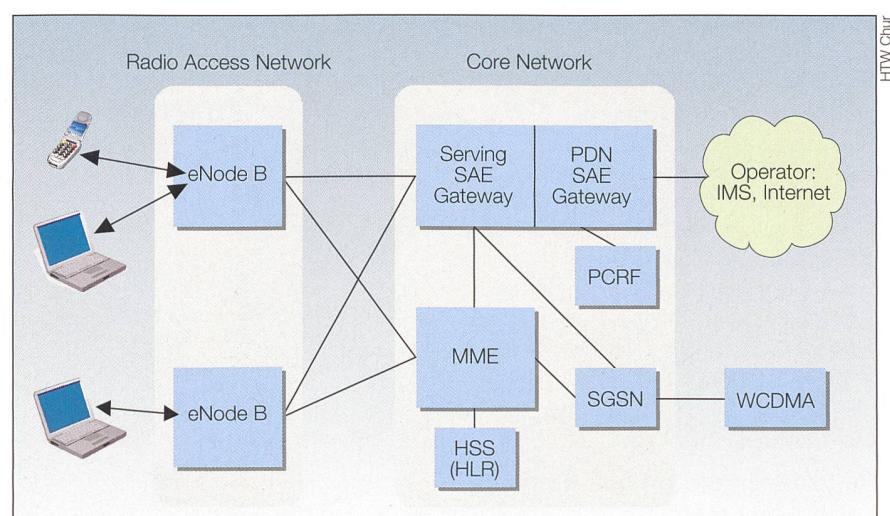


Bild 1 Kontextdiagramm eines LTE-Netzwerks.

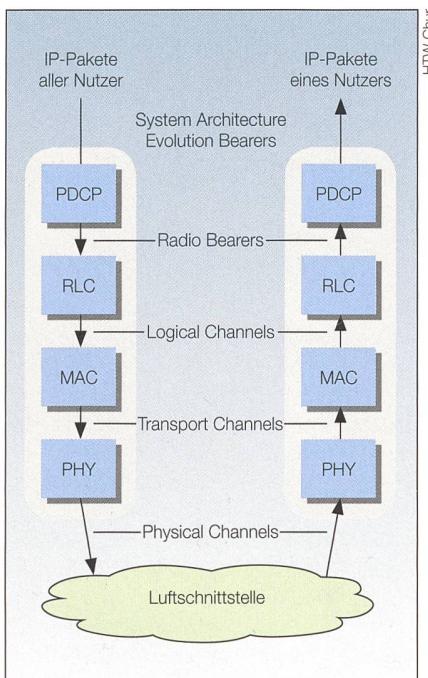


Bild 2 Der Datenfluss durch die verschiedenen Schichten im Downlink, von der eNode B (links) zum Handy (rechts), und die Bezeichnung der Kanäle zwischen den Schichten.

reich von 698 bis 2690 MHz definiert und 8 Bänder für Time Division Duplex (TDD) [4]. Die gesamte Bandbreite von LTE kann in sogenannte Übertragungsbandbreiten unterteilt werden. Diese wiederum bestehen aus einer Vielzahl von Resource-Blöcken à 180 kHz, abhängig von der Kanalbandbreite. So kann beispielsweise der 1,4-MHz-Kanal in 6 oder der 20-MHz-Kanal in 100 Resource-Blöcke aufgeteilt werden. Jedem Handy kann so ein Block zugewiesen werden, und man erreicht einen Mehrfachzugriff. LTE bietet damit viel Flexibilität in der Kapazitätszuweisung bzw. der Datenratenadaption.

Die Referenzabtastfrequenz von LTE ist ein 8-Faches der UMTS-Grundfrequenz von 3,84 MHz, um die Kompatibilität mit UMTS-Geräten (Multi-Mode-Geräten) zu vereinfachen. Wie aus Tabelle I ersichtlich, sind die Übertragungsbandbreiten von LTE proportional zur UMTS-Abstrakte.

Neben dem Spektrum definiert der Standard auch den Aufbau der Datenpakete. Bild 4 zeigt, wie die Daten über die Luftschnittstelle gesendet werden: in 10 ms langen Radioframes, die wiederum in 10 Subframes zu je 2 Slots unterteilt sind. Jeder Slot besteht aus 7 OFDM-Symbolen, und jedem Symbol ist ein Cyclic Prefix (CP) vorangestellt.

Reflexionen stören den Empfang

Der Mobilfunk stellt besondere Anforderungen an die Luftschnittstelle. In Bild 5

empfängt das Handy zusätzlich zum Signal direkt von der Basisstation zwei weitere Signale, die von Reflexionen an Gebäuden und dem Gelände herrühren. Im Gegensatz zum direkten Pfad erreicht ein reflektiertes Signal (Symbol) das Handy zeitverzögert. Wenn diese Zeitverzögerung grösser ist als die Symbolperiode der CP, überlagern sich die Symbole beim Empfänger und produzieren Inter-Symbol Interference (ISI). Der Funkkanal bzw. dessen Reflexionen und die daraus resultierenden Laufzeitverzögerungen wirken wie ein Kurzzeitspeicher und sind verantwortlich dafür, dass die Symbole «verschmieren» bzw. überlappen, wie Bild 6 illustriert.

Ein weiteres Detektionsproblem beim Empfänger ergibt sich durch die Mobilität der Nutzer und die daraus resultierenden Trägerfrequenzänderungen wegen des Dopplereffekts. Die Frequenzänderung kann bei einer Trägerfrequenz von 2,1 GHz bis zu 300 Hz betragen, wenn der Nutzer in einem TGV-Zug fährt.

Um die Effekte zu kompensieren, werden Entzerrer (Time-Domain Equalizers) einge-

setzt. Deren Komplexität verteilt aber die etablierten Systeme wie UMTS, wenn die Datenraten ansteigen. LTE nutzt deshalb andere Tricks, um die Effekte zu kompensieren. Die erste Komponente, welche die grossen Datenraten ermöglicht, ist das Übertragungsverfahren mit Mehrfachträgern OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex), das auch in WLAN-Systemen verwendet wird. Bild 7 zeigt die verschiedenen Elemente des Übertragungsverfahrens am Beispiel eines einfachen OFDM-Senders. Die Bits werden gruppiert und einem komplexen Symbol s_i des QAM-Alphabets zugeordnet. Danach werden sie über einen Seriell-zu-Parallel-Multiplexer einem Inverse-FFT-Block zugeführt. Dem resultierenden IFFT-Symbolblock wird ein Cyclic Prefix (CP), eine fixe Anzahl von Symbolen, vorangestellt. Der CP separiert die Symbolblöcke voneinander und verhindert Inter-Symbol Interference (ISI). Der resultierende, längere Symbolblock wird dann in der RF-Stufe in ein analoges Signal umgewandelt, einem Träger aufmoduliert und schliesslich über die Antenne abgestrahlt.

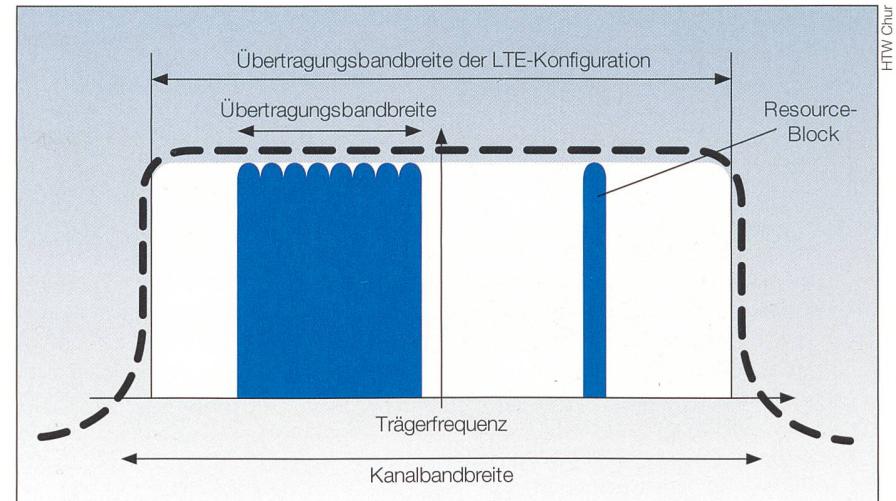


Bild 3 Überblick über die verschiedenen Kanal-Begriffe.

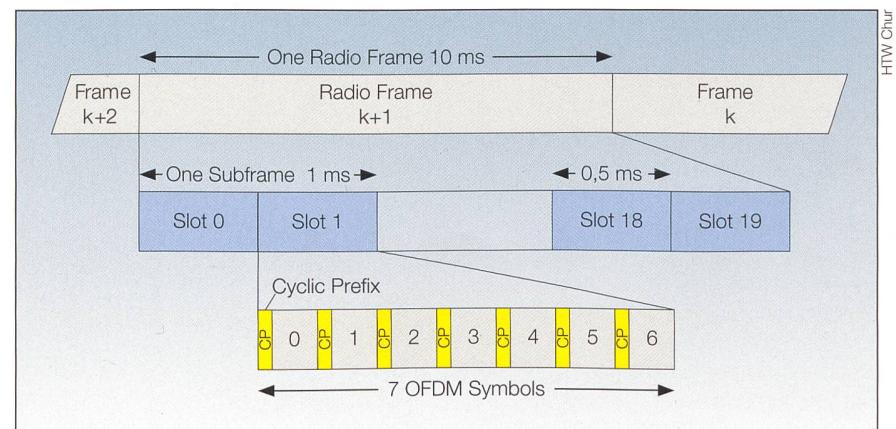


Bild 4 Die Paketstruktur der Luftschnittstelle.

Bild 8 illustriert die Signale des einfachen OFDM-Senders. Die Systembandbreite ist im Abstand von 15 kHz in Unterträger (Sub-Carriers) unterteilt. Jeder Sub-Carrier überträgt eine gewisse Anzahl Bits, was vom gewählten QAM-Alphabet abhängt. Deren Abstand ist so gewählt, dass die Signale orthogonal zueinander stehen. Dadurch tritt keine Interferenz auf. Die gesendeten Symbole selbst sind durch Guard-Intervalle von einander gegen ISI geschützt.

OFDM ist relativ störfest, Inter-Carrier Interference (ICI) wird mit der Subträger-Frequenzdistanz und ISI mit dem CP (Guard Interval) unterbunden. Die Nachteile von OFDM sind, dass die Unterträger nur orthogonal untereinander sind, wenn die Taktung präzise ist. Ferner verursacht das OFDM-Prinzip ein hohes Amplitudenverhältnis zwischen Spitzen- und Mittelwert (Crest-Faktor), was für die RF-Endstufe ein Problem ist. Je nach Bandbreite, also von 1,4 bis zu 20 MHz, hat es bei LTE zwischen 73 und 1201 Unterträgerfrequenzen, die typischerweise 15 kHz voneinander separiert sind [5]. Dies ergibt genügend Reserve bezüglich der Dopplerfrequenz, auch im schlimmsten Fall. Zur effizienten Implementation bedient man sich der Fast-Fourier-Transformation (FFT) [6]. Jeder einzelne OFDM-Sub-Carrier kann entweder mit QPSK, 16-QAM oder 64-QAM moduliert werden.

Wegen des hohen Crest-Faktors hat man sich entschieden, beim Uplink, also der Strecke vom Handy zur eNode B, ein anderes Modulationsverfahren anzuwenden, nämlich SC-FDMA. Vom Prinzip her ist SC-FDMA ähnlich wie OFDM. Die Daten werden jedoch auf eine andere Art auf den Träger aufmoduliert. Dadurch ergeben sich ähnliche Crest-Werte wie bei WCDMA – der Technologie, die man inzwischen ziemlich im Griff hat in Bezug auf Endverstärkerkosten, was beim Handy stärker ins Gewicht fällt.

Flexible Datenraten

Die etablierten Mobilfunksysteme haben für die Dauer einer Verbindung immer die gleiche Modulation, z.B. GMSK bei GSM. Der Funkkanal ist jedoch nicht statisch, und seine Dämpfung ändert sich mit der Zeit. Bild 9 zeigt dies schematisch. Die dicke Linie stellt den Langzeitschwund dar, die dünne das Kurzzeitverhalten (Fast Fading).

Der Langzeitschwund ändert langsam. Dessen Änderung kann mit einer log-normalen Verteilung beschrieben werden und hängt u.a. vom Umfeld in der Ferne ab. Das Kurzzeitverhalten hängt auch von der Umgebung ab und beispielsweise von der Mobilität des Nutzers. Ob die dünne Kurve

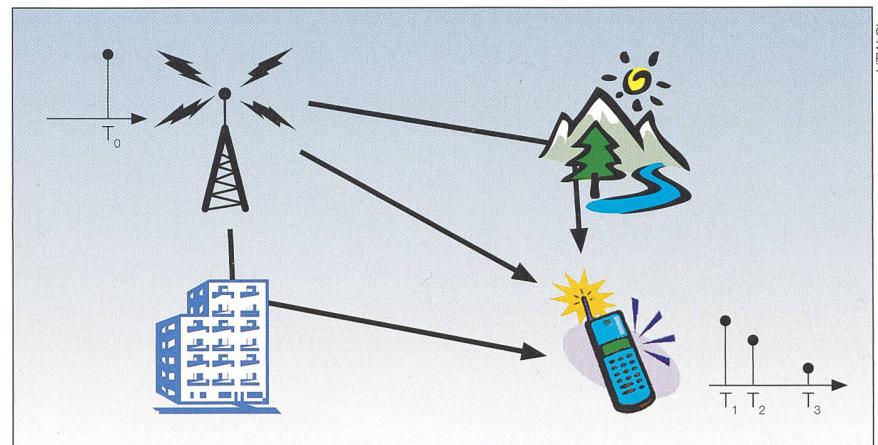


Bild 5 Das empfangene Signal setzt sich aus verschiedenen Teilsignalen zusammen, die von Reflexionen aus der Umgebung herrühren und zur Dispersion des Kanals führen.

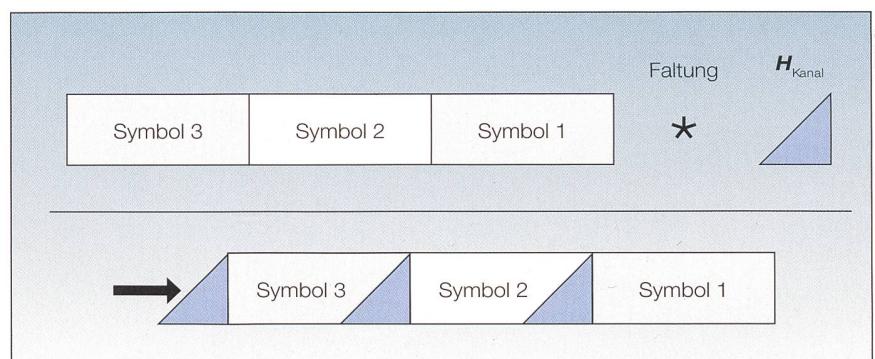


Bild 6 Die 3 gesendeten Symbole werden gefaltet mit der Impulsantwort des Funkkanals, dessen Dispersion durch ein Dreieck dargestellt ist, was zu ISI bei den Symbolen führt.

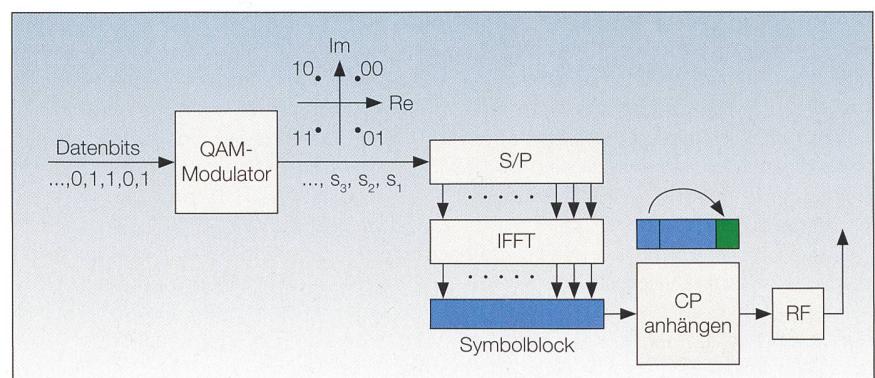


Bild 7 Die konzeptionellen OFDM-Sende-Elemente im Downlink.

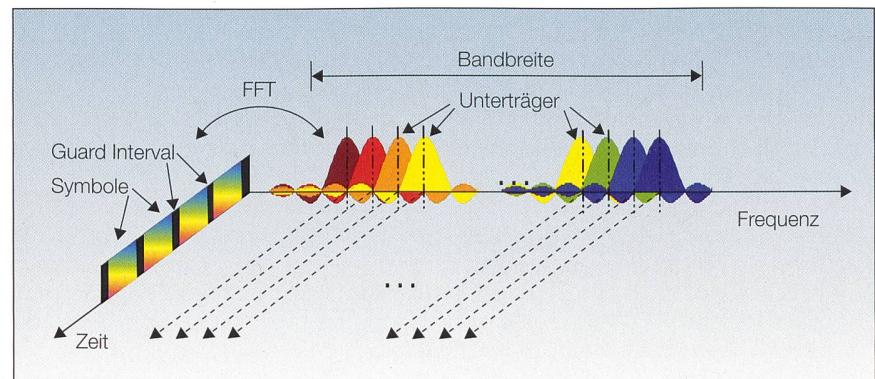


Bild 8 Darstellung des Zeit-Frequenz-Verhältnisses bei OFDM [8].

Kennwert	Downlink	Uplink
Definierte Bandbreiten in MHz	1,4, 3, 5, 10, 15, 20	
Übertragungsbandbreite in MHz	1,92, 3,84, 7,68, 15,36, 23,04, 30,72	
180 kHz (pro Bandbreite)	6 (1,4), 15 (3), 25 (5), 50 (10), 75 (15), 100 (20)	
Sendeleistung	nicht spezifiziert	23 dBm
Empfänger-Empfindlichkeit	noch nicht spezifiziert	-101,6 dBm (5–10 MHz)
Funkkanalraster		100 kHz
Übertragungsverfahren	OFDM	SC-FDMA
Trägermodulation	QPSK, 16-QAM, 64-QAM	QPSK, 16-QAM
Error Vector Magnitude (EVM) für QPSK, 16-QAM, 64-QAM	17,5%, 12,5%, na	17,5%, 12,5%, 8%
Erlaubte Trägerfrequenzabweichung	± 0,05 ppm	± 0,1 ppm
Antennenkonfigurationen (Senden × Empfang)	4×2, 2×2, 2×1, 1×1	1×2, 1×1
Datenraten	< 100 Mbit/s (B = 20 MHz)	< 50 Mbit/s (B = 20 MHz)
Paketlänge (Radioframe)		10 ms (20 slots à 0,5 ms)
Anzahl physikalischer Kanäle	6	3
Anzahl OFDM-Symbole/Slot	7,6,3	7,6
Anzahl Resource-Blöcke	12, 24	12
Bandbreite eines Resource-Blocks		180 kHz (=1 Slot)
Frequenz zwischen Sub-Carriers	15 kHz, 7,5 kHz	15 kHz
Anzahl Sub-Carriers per Bandbreite	72, 180, 300, 600, 900, 1200	
IFFT Länge per Bandbreite	128, 256, 512, 1024, 1536, 2048 (bei 15 kHz)	
Anzahl Sub-Carriers für Pilotsignal	12, 25, 50, 100, 150, 200	na

Tabelle I Zusammenstellung ausgewählter LTE-Kennwerte für FDD. Bei der Sendeleistung (Uplink) ist zurzeit nur eine Klasse definiert, die Class 3.

über (Verstärkung) oder unter (Dämpfung) der 0-dB-Linie liegt, also der normierten Leistung, hängt davon ab, ob sich die verschiedenen reflektierenden Signale an der Empfängerantenne konstruktiv oder destruktiv aufsummieren (Bild 5).

Falls ein Einheitssignal (mit der Leistung 1) durch den Kanal des obigen Beispiels gesendet wird, folgt das Signal am Empfänger der dünnen Linie, welche die Dämpfung darstellt, und ist demzufolge proportional zur SNR beim Empfänger. Die Kanalkapazität und demzufolge auch die Fähigkeit, das gesendete Signal korrekt zu detektieren, können mit der Shannon-Formel geschätzt werden. Wenn das gesendete Symbol mehr Bits hat als die ermittelte Kanalkapazität, dann kann man die gesendeten Bits nicht fehlerfrei beim Empfänger eruieren. Durch Kanalkodierung und Diversity-Techniken oder indem man mit mehr Leistung sendet, um die Dämpfung auszugleichen (mit Power Control), kann die Kanalkapazität erhöht werden.

Doch anstatt das Problem zu bekämpfen, kann man es auch ausnutzen. Gemäß Bild 9 gibt es Perioden, wo die Kanalkapazität über längere Zeit gut ist, bevor man

wieder in einen kurzen «fade» eintaucht. Der LTE-Empfänger misst die Kanalqualität und teilt dem Sender regelmäßig mit, wie gut der Kanal ist. Dafür verwendet man eine kleine Tabelle, denn es genügt, wenn man die Kanaldynamik in 16 Bereiche einteilt. Der Sender wählt nun anhand dieser Information die Trägermodulation. Angenommen, es müssen viele Daten übertragen werden und der Kanal ist gut, dann kann der Sender 16-QAM oder 64-QAM wählen. Damit übermittelt er 4 bzw. 6 Bit pro Träger statt nur 2 Bit wie bei QPSK. Wenn nur wenige Daten zu übertragen sind, dann wählt man eine Modulation, bei der die SNR am Empfänger niedrig sein kann. Dadurch reduziert man den Interferenzpegel in einer Zelle, maximiert die mögliche Zellenkapazität und schont die Batterie. Die roten Blöcke in Bild 9 illustrieren diesen Sachverhalt. Die rote Fläche ist proportional zur Anzahl übertragener Bits in einem gesendeten Datenpaket. Diesen Prozess nennt man Water-Filling. Die Technologie dazu nennt man Adaptive Modulation and Coding (AMC) und hat zum Ziel, nahe am Shannon-Limit zu senden, um die Kapazität (Datenrate) zu maximieren.

LTE nutzt noch eine andere Technologie: MIMO (Multiple Input Multiple Output). Dies erlaubt verschiedene Antennenkonfigurationen (Tabelle I). Bild 10 zeigt das theoretische Potenzial, das MIMO gegenüber der traditionellen Antennenanordnung hat, mit nur einer Sende- und einer Empfängerantenne (1:1). Bei einem SNR von 10 dB hat ein 2:2-Antennensystem eine rund 5-fach höhere Kanalkapazität gegenüber der 1:1-Anordnung – bei gleicher Sendeleistung.

eNode B

Bei LTE beinhaltet die eNode B, im Gegensatz zu WCDMA, neu die Einheiten MAC, RLC und PDCP, die man vorher im Radio Network Controller (RNC) untergebracht hatte. Somit erhält die Basisstation eine höhere Autonomie, mit dem Ziel, die Verzögerungen zu reduzieren. Das Core Network, das mit den anderen Netzwerken verbunden ist, befasst sich mit der Gebührenfassung, der Abonnementsverwaltung, dem Roaming und dem QoS-Management. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Arbeitsaufteilung zwischen RAN und CN ähnlich ist wie bei WCDMA [7]. LTE hat aber nur einen Knotentypen, die eNode B, die durch die S1-Schnittstelle an das CN gekoppelt ist. Die eNode Bs (d.h. Zellen) sind mit den benachbarten eNode Bs via einer X2-Schnittstelle verbunden, um beispielsweise das Handover zu koordinieren. Die erweiterten Aufgaben der eNode B beinhalten neu das zellenseitige Radio Resource Management (RRM), das Handover und das Scheduling.

Genau genommen wäre es schon früher, vor LTE, möglich gewesen, RNC-Funktionen in den Node B zu transferieren. Verschiedene Aspekte hätten dabei beachtet werden müssen: Die Iu-Schnittstelle zwischen CN und RNC kann bei WCDMA nur 4096 RNCs ansprechen. Bei der LTE-Architektur musste der Adressbereich vergrößert werden, um alle eNode B ansprechen zu können. Zudem unterstützt WCDMA Macro-Diversity, d.h. Soft-Handover, wo die Signale eines Terminals von mehreren Node Bs empfangen und im RNC vereint werden. Dies führt zu einem typischen 3-dB-Gewinn bzw. einer attraktiven Kapazitätserhöhung, die man nicht missen möchte. Dies trotz der zusätzlichen Komplexität der Funktionalität. LTE unterstützt Macro-Diversity nicht – somit ist dies kein Thema mehr. Drittens ist der RNC für die Verschlüsselung zuständig und deshalb in einem geschützten Ort untergebracht. Die Node Bs sind üblicherweise im Felde verteilt, und es ist weder ökonomisch noch praktikabel, alle Standorte abzusichern, um Eingriffen vorzubeugen. Es genügt auch nicht, die Verbindung mit Protokollen wie

3GPP	3G Partnership Project	IPsec	Internet Protocol Security
AAA	Access, Authentication and Authorisation	ISI	Inter-Symbol Interference
ACLR	Adjacent Channel Leakage Ratio	LTE	Long Term Evolution
AF	Application Function	MAC	Medium Access Control
AMBR	Aggregate Maximum Bit Rate	MBR	Maximum Bit Rate
AuC	Authentication Centre	MIMO	Multiple Input Multiple Output
AMC	Adaptive Modulation and Coding	MME	Mobility Management Entity
APN	Access Point Name	Node B	3GPP term for base station
ARQ	Automatic Repeat Request	OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplex
BTS	Base Transceiver Station	OSI	Open Systems Interconnection
CN	Core Network	PCRF	Policy and Charging Rule Function
CP	Cyclic Prefix	PDCP	Packet Data Convergence Protocol
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol	PDN	Public Data Network
DiffServ	Differentiated Services	PHY	Physical Layer
DL	Down Link (Forward Link)	QAM	Quadrature Amplitude Modulation
EPC	Evolved Packet Core	QoS	Quality of Service
EPS	Evolved Packet System	QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
ePDG	Evolved Packet Data Gateway	RAN	Radio Access Network
EVM	Error Vector Magnitude	RFC	Request for Comments
FDD	Frequency Division Duplex	RLC	Radio Link Control
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying	RNC	Radio Network Controller
GPRS	General Packet Radio Service	SAE	System Architecture Evolution
GSM	Global System for Mobile Communications	SC-FDMA	Single Carrier-Frequency Division Multiple Access
GW	Gateway	SDF	Service Data Flow
HARQ	Hybrid – ARQ	SGSN	Serving GPRS Support Node
HLR	Home Location Register	SNR	Signal-to-Noise Ratio
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access	TCP	Transport Control Protocol
HSPA	High Speed Packet Access	TDD	Time Division Duplex
HSS	Home Subscriber Server	UL	Uplink (Reverse Link)
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access	UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
I/FFT	Inverse/Fast Fourier Transform	WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
ICI	Inter-Carrier Interference	WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
IMS	IP Multimedia Subsystem	WLAN	Wireless Local Area Network
IP	Internet Protocol		

Tabelle II Abkürzungen.

IPsec zu sichern. Somit muss der Netzwerkbetreiber bzw. der Hersteller dafür sorgen, dass das System abhörsicher ist.

Handover

Mit der Einführung des eNode B wurde das Konzept der Controlling und Drift Node B überflüssig. Jede eNode B ist nun eine Serving eNode B, und jedes Terminal, z.B. Handy, ist mit nur einer eNode B verbunden, die das Terminal bedient und steuert. Soft-Handover, wo die an die Node B empfangenen Signale eines Handys in einem RNC kombiniert wurden, gibt es nicht mehr. Alle Handover sind Hard-Handover wie bei GSM. Dafür müssen die benachbarten eNode B sich gegenseitig koordinieren. Das

erhöht den Aufwand der Netzwerkbetreiber, die eNode Bs im Felde zu vernetzen.

MAC und Scheduling

Die MAC-Funktionen wurden vom RNC in die eNode B verschoben – zum Nutzen der zeitkritischen Dienste. Von den verschiedenen Funktionen, die in TS 36.321 beschrieben sind, seien hier nur zwei erwähnt: Das Spektrum bzw. die Sub-Carriers müssen unter den Nutzern in einer Zelle geteilt werden. Im Intervall von 1 ms werden Resource-Blocks den Nutzern zugewiesen. Zudem bestimmt der Scheduler die Trägermodulation, die Antennenkonfiguration und die Grösse des Transportformats. Diese Definitionen haben auch einen

Einfluss auf andere Funktionen innerhalb des RLC (Data Segmentation) und des MAC (Multiplexing, HARQ).

Die Implementation der Scheduler ist nicht vorgeschrieben, doch alle nutzen die Kanalfluktuationen aus. Das heisst, die Sub-Carriers, die der Kanal weniger dämpft, senden viele Bits, und die andern dementsprechend weniger, je nach Bedarf. Dazu kann der Scheduler vom Frequenz- und Zeitmultiplex Gebrauch machen. Die Steuerung der Terminals im Uplink ist natürlich erschwert, denn alle Handys müssen koordiniert werden, um sicherzustellen, dass deren Signale im korrekten Zeitschlitz bei der eNode B ankommen.

Ein wichtiger Aspekt für die Netzwerkbetreiber ist die Koordination bzw. das Ma-

nagement der Interferenz an den Randzonen der Zellen, da diese nicht durch Spreizkodes wie bei WCDMA separiert sind. Eine Strategie ist, ein Frequenzband für diese Regionen zu reservieren, dies geht jedoch auf Kosten der Zellenkapazität.

Paketwiederholung

Hybrid Automatic Repeat Request (HARQ) erlaubt das rasche wiederholte Senden von Paketen. AMC erlaubt es, so viele Bits in ein Datenpaket zu verpacken, wie es die Kanalkapazität zulässt. Da trotzdem immer noch Übertragungsfehler auftreten können, braucht es einen Mechanismus, der sicherstellt, dass fehlerhaft empfangene Pakete nochmals übertragen werden. Dies ist umso wichtiger, wenn der Kanal, wie bei LTE, unter den Nutzern geteilt wird. Solche Wiederübertragungsmechanismen gibt es im Prinzip schon, wie zum Beispiel bei TCP, doch diese folgen spät in der Signalflosskette, was zu Verzögerungen führt. Um die Verzögerungen (Latency) in den Bereich von ms statt mehreren 100 ms zu bringen, muss man die Fehler, die von der Übertragung herrühren, frühzeitig erkennen und eine Datenwiederübertragung rasch initiieren. Hier kommt zugute, dass die LTE-Subframes nur 1 ms lang sind und man somit rasch reagieren kann.

LTE reizt Shannon aus

Die LTE-Luftschnittstelle, in Zusammenarbeit mit den eNode B-Mechanismen, soll die nach Shannon theoretisch vorhandene Kapazität des Übertragungskanals optimal ausnutzen. Feldversuche haben gezeigt, dass die mittlere Datenrate bei den etablierten Standards, also UMTS/HSDPA und WiMAX, pro Mobilnutzer im Bereich von 1 bis 2 Mbit/s ist. Die Tatsache, dass WiMAX eine theoretische Spitzendatenrate von 70 Mbit/s hat gegenüber 14 Mbit/s bei HSDPA, hat offenbar wenig Einfluss. Man darf wohl sagen, dass heute der Kanal die Datenrate des mobilen Nutzers diktiert und nicht mehr die Technologie wie bis anhin. Die Technik konzentriert sich folglich auf Aspekte wie den Surf-Komfort, Quality of Services (QoS), Quality of Experience (QoE), Zellenkapazitäts-Management, Zellenkapazität, Zellendurchmesser und Umweltfaktoren.

LTE arbeitet nahe am Shannon-Limit. Deshalb darf man ähnliche Ergebnisse erwarten wie bei der HSPA/WiMAX-Nutzerdatenrate. Die höhere Zellenkapazität reduziert aber die Kosten für die Datenübertragung. Neben den hohen Datenraten an der Luftschnittstelle, 50–1000 Mbit/s pro eNode B (Femtozellen), darf man aber auch

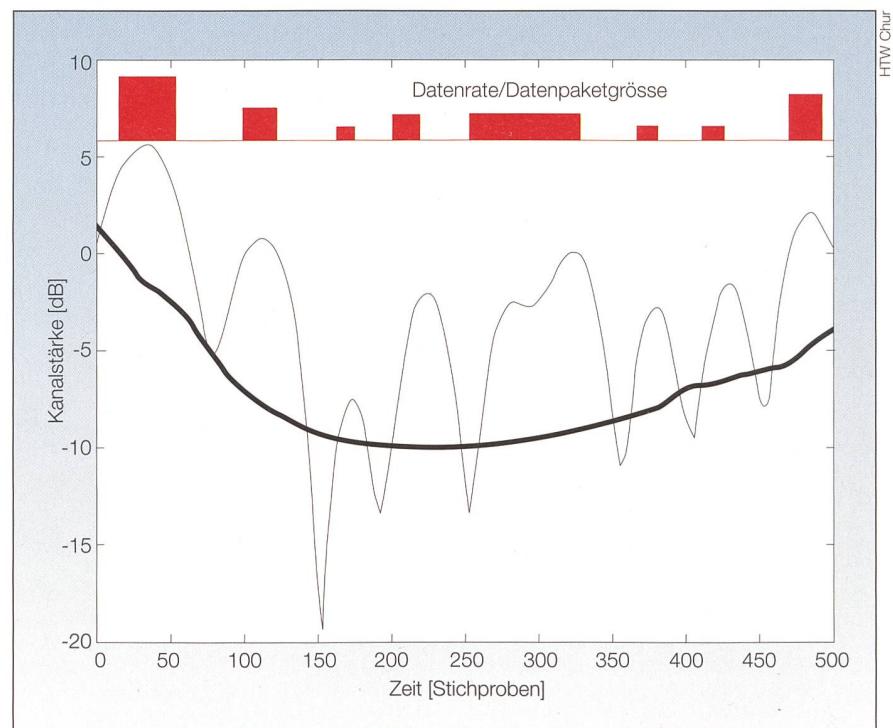


Bild 9 Ein simulierter Mobilfunkkanal zur Verdeutlichung der Kanalstärkefluktuationen.

nicht übersehen, dass diese Bitflüsse sich aufsummieren. Man ist vom Konzept eines Konzentrators weggekommen, der mit 10–100 Basisstationen verbunden ist, und hat eine verteilte Architektur gewählt, die den hohen Datenmengen entgegenkommt.

Dennoch muss das Core Network die Datenströme aufnehmen und zeitgerecht verarbeiten, ohne die Geduld der Nutzer zu strapazieren. Sonst besteht wenig Anreiz bei den Nutzern, vom Serviceangebot Gebrauch zu machen. Für die Netzwerkbetrei-

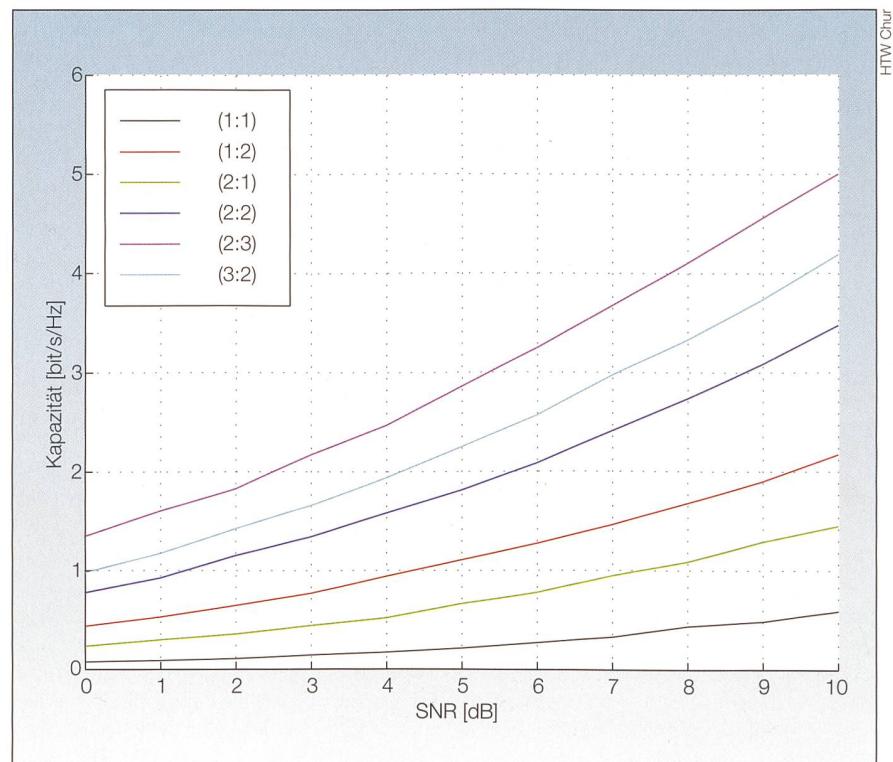


Bild 10 Die simulierte Kanalkapazität bit/s/Hz für verschiedene Antennenkonfigurationen.

ber wird die Frage des Mehrwerts von LTE im Zentrum stehen, denn LTE wird sich in einem komplexen Umfeld etablieren müssen, wo bereits kostengünstige Lösungen vorhanden sind, wie HSPA, WiFi und WiMAX.

Referenzen

- [1] http://www.ericsson.com/ericsson/press_facts_figures/doc/hspa_lte.pdf (gelesen 18.6.2008).
- [2] <http://www.3gpp.org/Highlights/LTE/lte.htm> (gelesen 18.6.2008).
- [3] R. Tanner, J. Woodard: WCDMA – Requirements and Practical Design. Wiley Verlag, 2004.
- [4] 3GPP: E-UTRA: Base station radio transmission and reception. TS 36.104, V8.2.0, Mai 2008.
- [5] 3GPP: E-UTRA: Physical Channels and Modulation. TS 36.211, V8.2.0, March 2008.
- [6] E. Dahlman, S. Parkvall, J. Sköld, P. Beming: 3G Evolution. AP, 2007.
- [7] 3GPP: Network Architecture (Release 8). TS 23.002, V8.2.0, December 2008.
- [8] 3GPP: Feasibility Study for OFDM for UTRAN enhancement. TR 25.892, V8.2.0, June 2004.

Weiterführende Literatur

H. Holma, A. Toskala: WCDMA for UMTS. Wiley Verlag, 4. Auflage 2007.
<http://www.3gpp.org/ftp/Specs/>

Angaben zu den Autoren

Dr. **Rudolf Tanner** ist Engineering Manager bei Abilis Systems von der Kudelski-Gruppe. Er war bis vor Kurzem Dozent an der HTW Chur. Von 1998 bis 2001 arbeitete er bei Nortel Networks (UK)

an Space-Time-Coding- und MIMO-Technologien. Von 2001 bis 2006 arbeitete er bei UbiNetics Ltd. in der WCDMA-Testgeräte-Division und leitete zuletzt die F&E-Abteilung.

Abilis Systems SA, 1228 Plan-Les-Ouates, rudolf.tanner@ieee.org

Prof. Dr. **Rolf Hofstetter** ist seit 1995 Dozent an der Hochschule für Technik und Wirtschaft HTW Chur, wo er von Mai 2000 bis Ende 2005 den Studiengang Telekommunikation und Informatik leitete. Vorher war er Entwicklungsingenieur im Forschungszentrum von Alcatel SEL in Stuttgart. HTW Chur, 7000 Chur, rolf.hofstetter@fh-htwchur.ch

Résumé

LTE, prochaine norme de téléphonie mobile

2^e partie: L'interface air. LTE est appelée à remplacer UMTS – avec des taux de données encore accélérés pour les téléphones mobiles. La deuxième partie d'une série de trois articles sur LTE traite de l'interface air et de la nouvelle station de base eNode B. Étant donné la complexité de l'interface air, l'article se concentre sur quelques aspects sélectionnés utilisant de nouvelles technologies.



BETAsolution® – Die Lösung zur Industrialisierung ihrer Prozesse.
 Möchten Sie mehr erfahren? Kontaktieren Sie uns.

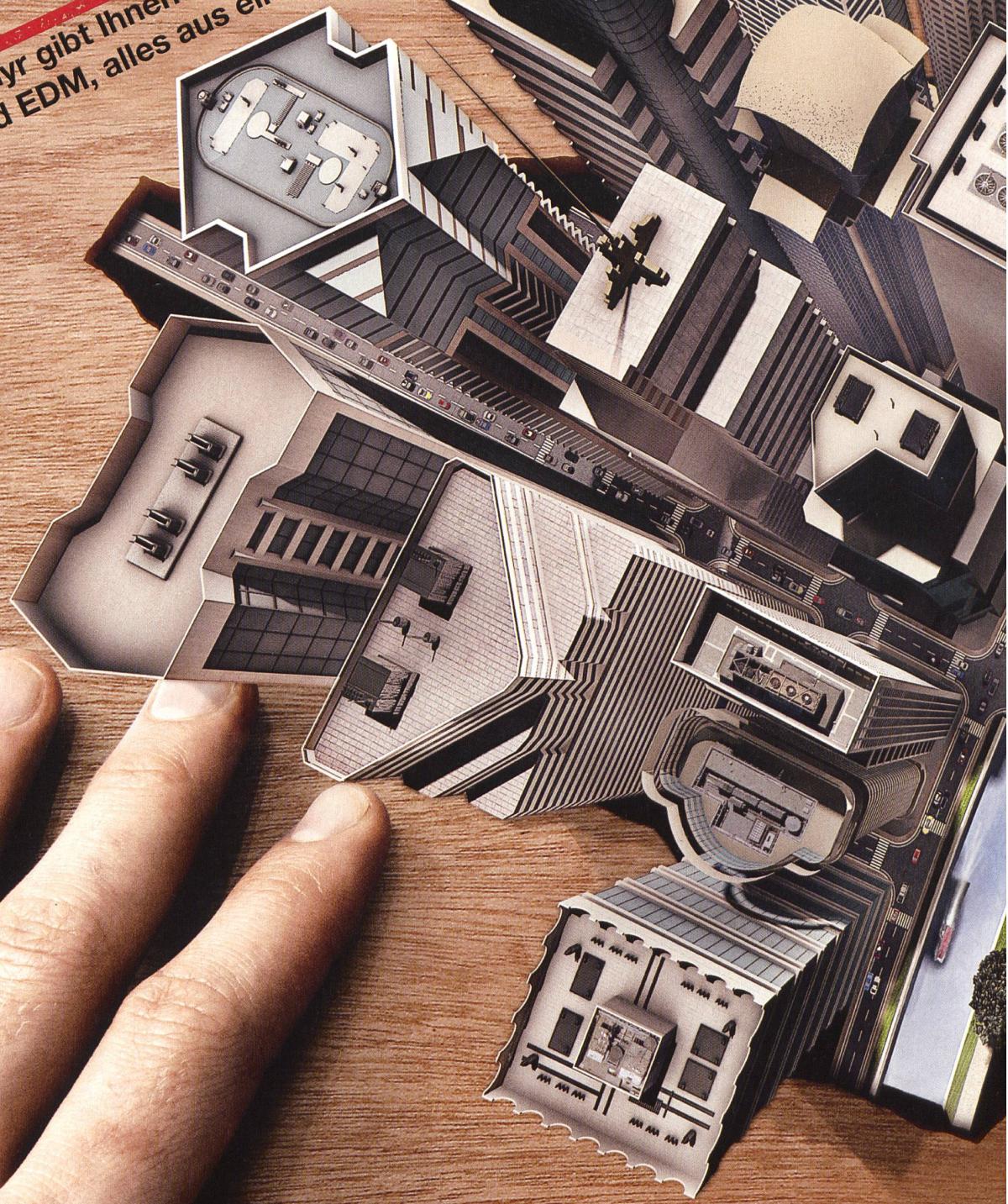
The Quality Connection

LEONI Studer AG · Herrenmattstrasse 20 · CH - 4658 Däniken · Telefon +41 (0)62 288 82 82 · Fax +41 (0)62 288 83 83 · www.leoni-power-utilities.com

LEONI
 **STUDER CABLES**

Der Markt ist offen!
Haben Sie noch Fragen?

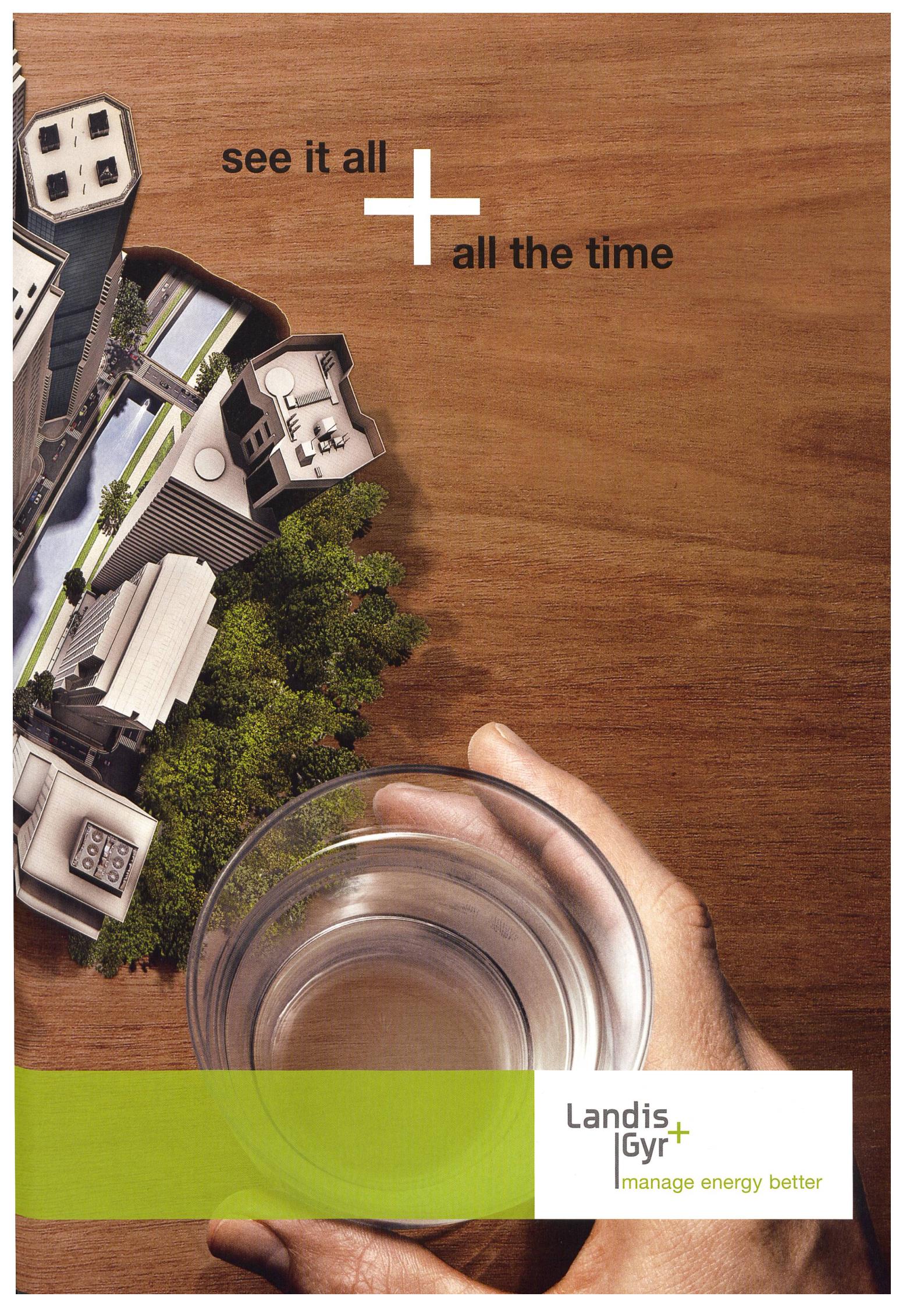
Landis+Gyr gibt Ihnen die Antworten,
ZFA und EDM, alles aus einer Hand!



Verschaffen Sie sich den Überblick!

Mit dem integrierten Energie-Management von Landis+Gyr erhalten Sie einen detaillierten Einblick in das Energieverbrauchsverhalten Ihrer Kunden und in die Auslastung Ihres Netzwerks.

Dank dieser Lösung erhalten Ihre Kunden genaue, verbrauchsorientierte Rechnungen, die ihre Zufriedenheit erhöhen. Außerdem wird der Verbrauch antizipiert, um Spitzen auszugleichen und so nicht nur Kosten zu senken, sondern auch einen aktiven Beitrag an den Umweltschutz zu leisten. Vertrauen Sie auf die massgeschneiderte Lösung von Landis+Gyr. www.landisgyr.ch



see it all +
all the time

Landis
Gyr+
manage energy better