

# Die Zukunft des Internets

Höhere Datenraten allein werden nicht ausreichen, um unsere künftigen Kommunikationsbedürfnisse zu befriedigen.

Von Lars Eggert, Jürgen Quittek und Heinrich Stüttgen

Das »Netz der Netze« hat sich zu einem der wichtigsten Kommunikationsmittel entwickelt. Wurde es Anfang der 1990er Jahre nur von wenigen Spezialisten verwendet, so nutzen es inzwischen Privatleute wie Firmen mit aller Selbstverständlichkeit. Wer Informationen sucht, bedient sich dazu heute eines Web-Browsers, der Pizzaservice in der Nachbarschaft nimmt Bestellungen per E-Mail entgegen, und die persönlichen Ansichten zum Weltgeschehen finden ihren Niederschlag in Online-Tagebüchern, den so genannten Blogs.

Die Grundprinzipien des Internets stammen aus den frühen 1970er Jahren, als das amerikanische Verteidigungsministerium die Entwicklung eines ausfallsicheren Computernetzes vorantrieb. Daraus resultierten die »Interconnected Networks«, kurz Internet. Auf der Basis standardisierter Protokolle konnten Rechnernetzwerke nun kommunizieren. Die TCP/IP genannte Protokollfamilie sieht vor, dass Daten von Endsystemen wie PC oder Laptop zu Paketen geschnürt und mit den Netzwerkadressen von Absender und Adressat versehen werden. Jedes Paket geht dann für sich allein auf die Reise, wird an Verzweigungen des Netzwerks von Knotenrechnern beziehungsweise Routern weitergereicht und am Ende beim Empfänger wieder mit seinesgleichen zu den ursprünglichen Daten zusammengesetzt.

Obwohl das zunächst komplizierter klingt als etwa eine direkte Verbindung

zwischen zwei Kommunikationsteilnehmern, über die Informationen exklusiv ausgetauscht werden, hat sich dieses Vorgehen für die Kopplung von Rechnernetzwerken als äußerst robust erwiesen. Auf der doch relativ einfachen Infrastruktur des Internets können verschiedene Dienste aufsetzen. Zu den ältesten zählt die E-Mail, zu den populärsten gehört das World Wide Web, das einen interaktiven, grafischen Zugang zu vielen Informationsquellen bietet. Die flexiblen Protokolle unterstützen darüber hinaus noch diverse andere Dienste.

## Eines für alles

Zur Überraschung vieler Experten ist diese Technologie inzwischen auch in die Telefonwelt eingedrungen und hat begonnen, verbindungsorientierte Verfahren wie ISDN und ATM zu verdrängen. Lässt ein Unternehmen heute ein neues firmeninternes Telefonnetz installieren, ist eine internetbasierte Lösung meist die erste Wahl. Aus Sprache – und zunehmend auch Videobildern – werden dann Bits und Bytes, die mittels der TCP/IP-Protokolle zum Gesprächspartner eilen. In naher Zukunft dürften die meisten terrestrischen Kommunikationsnetze darauf aufbauen.

Diese Entwicklung ist alles andere als selbstverständlich. Man sollte doch meinen, dass etablierte, eigens für die jeweilige Anwendung ersonnene und optimierte Verfahren im Vorteil wären. Doch das Internet punktet mit einer einfachen und einheitlichen Infrastruktur, die viele verschiedene Kommunikationsdienste unterstützen kann. Ob Telefonieren, Online-Banking oder E-Mails – letz-

lich sind das alles nur Daten, die päckchenweise zu verschicken sind. Auf Grund der universell einsetzbaren Protokolle lassen sich neuartige Dienste einfach einbinden, was in den spezialisierten Telefonnetzen der Vergangenheit nur schwer möglich war. Erst das Internet macht auch den Computer zum universellen Arbeitsmittel. Die Verknüpfung verschiedener Kommunikationsdienste wie Online-Bestellungen, Dokumentenverarbeitung, Ablaufsteuerung und dergleichen vereinfacht Geschäftsvorgänge und steigert damit ihre Effizienz.

Allein schon dank der vereinheitlichten Infrastruktur sollten Kommunikationskosten in Unternehmen wie in Privathaushalten langfristig sinken. Darüber hinaus ist die benötigte Technologie zunächst vergleichsweise einfach, also auch günstiger herzustellen. Dringen universell einsetzbare Komponenten immer wieder in neue Bereiche vor, erschließt sich ihnen ein Massenmarkt, was ihre Kosten senkt. Allerdings gibt es inzwischen auch einen gegenläufigen Trend: Mit jeder neuen Anwendung wachsen die Anforderungen an die Komponenten und damit an deren Komplexität.

Doch allmählich werden auch Grenzen sichtbar. So schützen Protokolle nach TCP/IP-Standard die Daten oft nicht ausreichend gegen Angriffe oder unberechtigten Zugriff, und einige Kon-

Die Welt spricht TCP/IP: Das Protokoll, das den Datenaustausch zwischen Internetadressen regelt, setzt sich mittlerweile sogar in der Telefonie durch.

209.68.6.253

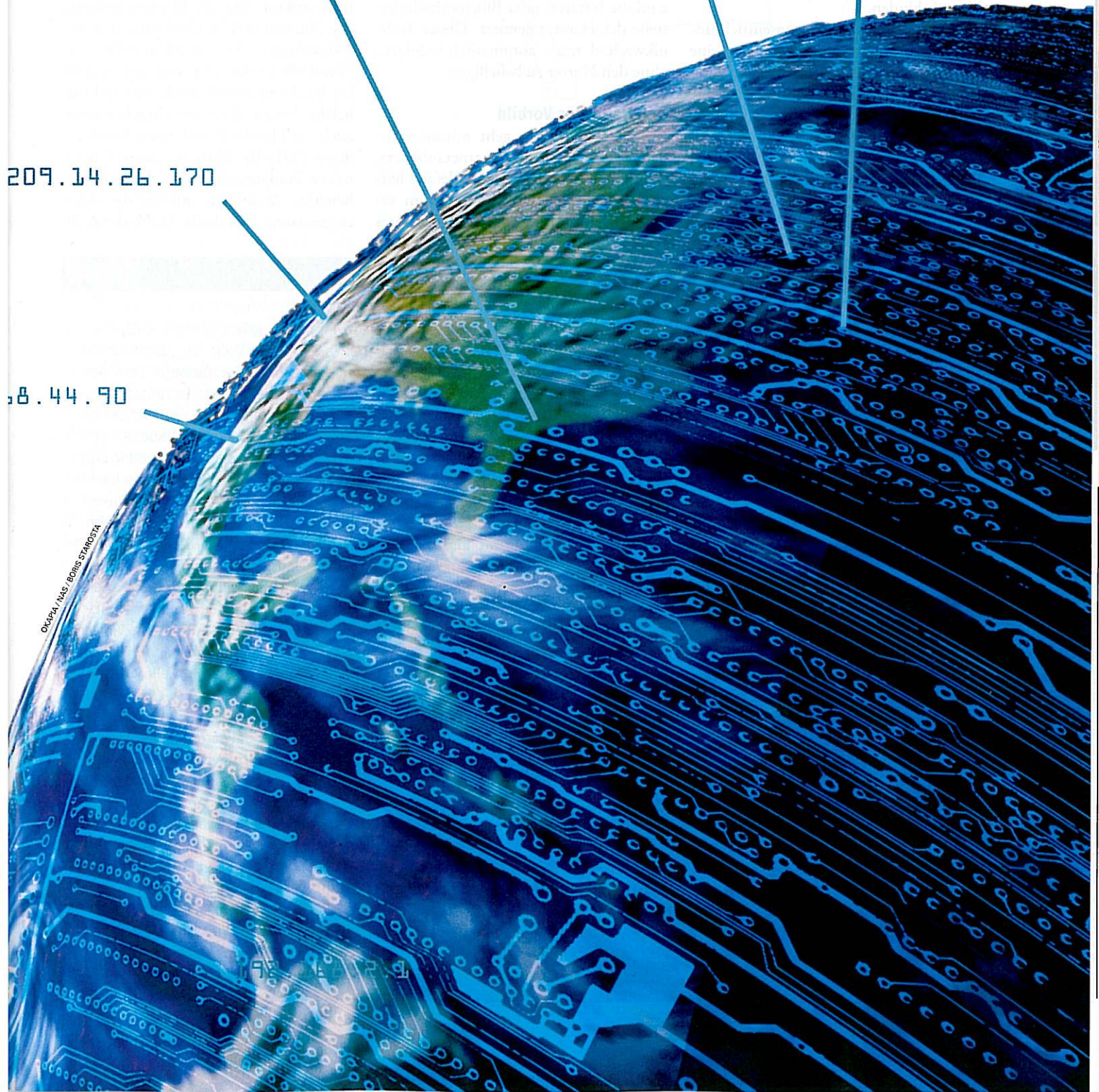
206.23.14.130

206.27.248.240

209.14.26.170

8.44.90

OLYMPIA / MAX / BORIS STAROSTA



▷ zepte, die für die Großrechnerlandschaft der 1970er Jahre optimal waren, erweisen sich heute als problematisch. Das Internetprotokoll wurde deshalb bereits erweitert, doch diese Ergänzungen weisen immer noch Schwächen auf. Ein Beispiel ist die ursprüngliche Annahme, dass Computer über lange Zeit an derselben Internetadresse zu erreichen sind. Heutige mobile Computer wechseln aber als Laptops oder moderne Mobiltelefone häufig ihre Internetadresse, wenn sie sich über unterschiedliche Zugänge in das Netz einbinden.

Europäische Forschungseinrichtungen leisten wichtige Beiträge, um seine Zukunft zu sichern. Wichtige, von der Europäischen Union geförderte Projekte im Problemfeld »Internet und Mobilität« sind zum Beispiel Daidalos und Ambient Networks, in denen die meisten Hersteller von Kommunikationstechnologien, Netzbetreiber sowie führende Forschungsinstitute und Universitäten

kooperieren. Wer mit seinem Notebook auf eine Geschäftsreise geht, möchte jederzeit wichtige Informationen abrufen können, ob im Büro des Kunden, unterwegs in der Bahn oder im Auto. Zwangsläufig wechselt er dabei den Netzzugang. Ein solcher »Handover« bedeutet oft auch einen Wechsel der die Verbindung herstellenden Hardware. Der Schreibtisch-PC verwendet vielleicht einen Anschluss via Ethernet-Kabel, im Konferenzraum erfolgt die Einwahl drahtlos über einen WLAN-Router, auf der Reise wird die Infrarot- oder Bluetoothschnittstelle des Handys genutzt. Dieser Technikwechsel muss automatisch erfolgen, ohne den Nutzer zu behelligen.

#### Das Handy als Vorbild

Mit dem Handover geht mitunter zudem ein Wechsel des Internetanbieters, des Providers, einher. Mobiltelefone hätten niemals den bekannten Boom erlebt, wären Anrufe auf ein bestimmtes

Gebiet beschränkt gewesen. Doch ohne dass es der Telefonierende bemerkt, machen Handys jeden Ortswechsel mit und suchen sich selbstständig einen neuen Zugangsknoten zum Mobilfunknetz, gegebenenfalls auch einen neuen Netzanbieter.

Das zukünftige, universelle Internet muss in gleicher Weise eine Vielfalt von Zugangstechnologien in eine gemeinsame Infrastruktur integrieren, die von allen Netzbetreibern unterstützt wird. Wichtige Komponenten einer solchen Infrastruktur sind die Identitätsprüfung von Nutzern und im Gegenzug auch von Netzanbietern. Des Weiteren sollten die Protokolle in der Lage sein, mit schnellen Wechsels zwischen sehr unterschiedlichen Netzwerken zurechtzukommen; auch ein Handover von einem breitbandigen DSL-Anschluss zu einem langsameren Funknetz darf keinerlei Probleme bereiten. Außerdem müssen die dabei eingesetzten Protokolle Verbindungsab-

## Problem Sicherheit

### Kritiker erwägen, das Internet durch ein a priori sicheres Netz abzulösen.

**Wo Licht ist, ist auch Schatten.** In dem offenen Medium Internet werden Milliarden mit halblegalen und kriminellen Geschäften verdient. Spammer verschicken mittlerweile mehr E-Mails als reguläre Benutzer, um Kunden für ihre Auftraggeber einzufangen. Trojaner und Phishing-E-Mails spähen Kreditkartennummern, Passwörter und ähnliche schützenswerte Kundeninformationen aus. Darüber hinaus gibt es eine »sportlich anarchische Szene«, die mit großem Ehrgeiz und ohne Rücksicht schädliche Software entwickelt und verteilt. Im schlimmsten Fall legen diese Viren und Würmer die Kommunikationsnetze und den Handel ganzer Erdteile lahm. An dergleichen dachten die Entwickler nicht, als sie das Internet zu Beginn der 1970er Jahre als ein Kommunikationsmedium für einen kontrollierten Personenkreis von »freundlichen Benutzern« konzipierten.

Einige angesehene Experten haben Bedenken gegenüber der heutigen Praxis, die Mängel des Internets auf Dauer durch sukzessive Änderungen bestehender Protokolle zu beheben. Sie sehen

das Netz bereits heute als ein großes Flickwerk an, dem seit dreißig Jahren fehlende Funktionen notdürftig hinzugefügt werden. Eine schlüssige Lösung etwa der Sicherheitsprobleme habe sich dadurch nicht ergeben. Vielmehr sei die Gesamtstruktur inzwischen derart instabil, dass mit einem baldigen Zusammenbruch gerechnet werden müsse. Deshalb gibt es an vielen Forschungseinrichtungen Projekte zur grundsätzlichen Überarbeitung oder gar Ablösung der Internetarchitektur. So möchten einige Wissenschaftler ein neues Netz schaffen, das den Sicherheitsaspekt von vornherein einbindet.

**Doch welche Chancen** haben solche revolutionären Ansätze im Vergleich zu einer evolutionären Weiterentwicklung des Netzes? Allein die mit einem Übergang für Unternehmen, Behörden und Privatleute verbundenen Kosten wären exorbitant. Milliardenschwere Investitionen wären auf einen Schlag vernichtet. Zudem müsste das neue Netz auf längere Zeit kompatibel zum alten bleiben, um die Kommunikation der Anwender weiterhin aufrechtzuerhalten.

Schrittweise Verbesserungen, die vielleicht nicht alle, aber doch die dringends-

ten Probleme lösen können, stellen einen alternativen Weg dar, das Internet Stück für Stück zu verbessern. Zum Beispiel ist es seit Langem technisch möglich, E-Mails digital zu unterschreiben und auch zu verschlüsseln, sodass sich der Empfänger über den Absender und den Inhalt einer E-Mail sicher sein kann. Für viele andere Probleme existieren ebenfalls schon technische Lösungen. Wie bei der sicheren E-Mail werden diese Verbesserungen aber viel zu selten eingesetzt. Das Problem ist nicht die technische Machbarkeit von Sicherheit.

Einer der »Väter des Internets«, Vinton Cerf, sieht die Schwachstellen weniger bei den Netzkomponenten als vielmehr in den Betriebssystemen der angeschlossenen Rechner. Der überwiegende Teil der gravierenden Störungen gehe nämlich nicht von den Netzwerkprotokollen selbst aus. Vielmehr würden diese Protokolle von den mit dem Internet verbundenen Betriebssystemen und Anwendungen unzulänglich implementiert. Es gibt also noch viele Möglichkeiten, das Netz der Netze schrittweise sicherer zu machen. Letztendlich könnten die Befürworter eines radikalen Wechsels auch noch keinen ernsthaften Gegenkandidaten präsentieren.

brüche oder Pausen besser verkraften können als heute.

Und noch eine Barriere sollte fallen – die klassische Aufteilung in Server und Endgeräte. In so genannten Ad-hoc-Netzen kommunizieren Computer direkt miteinander, jeder übernimmt Teile der Übertragungsaufgaben, die üblicherweise ausgewiesene Knotenrechner und Server erledigen. Ein Wohngebiet ohne allgemeine Breitbandversorgung könnte auf diese Weise von einem einzelnen Anschluss an das Internet profitieren: In das Ad-hoc-Netzwerk eingebunden, diene ein Rechner mit Internetzugang als Relaisstation, die diesen Anschluss von Nachbar zu Nachbar weiterreicht. In gleicher Weise lässt sich ein einzelner Netzzugang von einer Gruppe Geschäftsreisender gemeinsam nutzen.

Kombiniert man diese Technik mit Mobilität, landet man bei Visionen der Fahrzeugkommunikation. Drahtlos sollen Kraftfahrzeuge unablässig Daten austauschen. Eine wichtige Anwendung wäre die Warnung vor Gefahrenstellen innerhalb des relevanten Gebiets, eine andere ist die Versorgung jedes Fahrzeugs mit einem Internetzugang. Wer unterwegs ist, möchte vielleicht erfahren, wo die nächste Tankstelle ist oder welche Sehenswürdigkeiten die gerade durchfahrene Region zu bieten hat. Jedes entsprechend ausgestattete Automobil wäre dann ein Knoten, der solche Daten weiterleiten kann. Dazu muss sich das Netz spontan selbst organisieren. Die Wegewahl für Datenpakete folgt nicht mehr wie im Internet üblich auf vorbestimmten Routen, sondern wird anhand der Positionen der Rechner immer wieder neu bestimmt. In den vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Projekten »FleetNet – Internet on the Road« und »NoW – Networks on Wheels« arbeiten Automobilhersteller und Kommunikationsfirmen an der Entwicklung solcher Systeme. Allerdings ist mit einer Markteinführung nicht vor 2010 zu rechnen.

### Sonderfall Sensornetze

Apropos Automobil: Um sicherheitsrelevante Daten in Fahrzeugen zu erfassen, werden zunehmend auch Sensornetze verwendet. Diese bestehen aus sehr kleinen und verteilten Sensoren, deren einzige Aufgabe es ist, permanent Daten zu sammeln und bei Bedarf dem Steuerrechner zu übermitteln. Solche Netze

können wichtige Aufgaben übernehmen, wie die Überwachung des Straßenzustands oder Warnungen vor Regen- und Eisglätte. Andere kontrollieren, dass im Fahrzeuginnenraum überall angenehme Temperaturen herrschen. Im Sinn einer durchgängigen Infrastruktur müssten solche Netze in das Internet eingebunden werden. Allerdings sind dessen Protokolle für eine so einfache Kommunikation schon zu umfangreich. Andererseits wären um die entsprechenden Funktionen aufgerüstete Sensoren unnötig teuer. Änderungen der Internetprotokolle wären eine Möglichkeit, das Problem zu lösen.

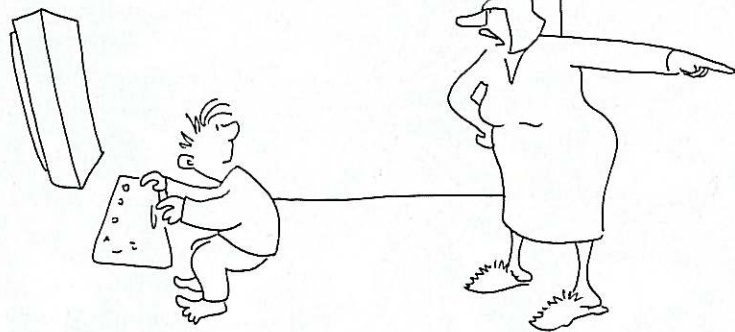
Noch ein Wort zum Netzmanagement. Wer zu Hause einen PC mit Internetzugang betreibt, hat ihn wahrscheinlich selbst eingerichtet und weiß, dass dies selten ohne Probleme abgeht. Schon das DSL- oder ISDN-Modem in Betrieb zu nehmen, Windows und eine Firewall zu konfigurieren, erfordern Geduld und Frustrationstoleranz. Professionelle Systemadministratoren müssen sich mit inkompatiblen Gerätetreibern und Softwareversionen herumschlagen, um ein Netzwerk endlich in Gang zu setzen und in Betrieb zu halten – bis zum nächsten Update. Das allgegenwärtige Internet der Zukunft aber wird um ein Vielfaches komplexer werden, denn es bindet sehr heterogene Endgeräte und Dienste ein – vom Notebook über Heimkino und Telefon bis zur Fernwartung der Heizungsanlage, von der Videokonferenz über die Verwaltung von Lagerbeständen bis zu Radio-Frequency-

Identification (RFID)-Etiketten. Manche dieser Geräte bieten nur eine Basisfunktionalität für die Internetkommunikation, andere sind so leistungsstark wie ein Server. Damit wachsen die Anforderungen an die Administratoren.

Mit anderen Worten: Konfiguration und Wartung der Netze müssen weitgehend automatisiert ablaufen. Davon profitieren zuerst einmal die Anwender, aber auch die Netzanbieter, deren Betriebs- und Supportkosten sinken.

Wohin wird diese Entwicklung letztlich führen? Durch die Integration immer neuer Anwendungen und Technologien scheint die ursprüngliche Stärke des Internets bedroht: seine Einfachheit und universelle Einsetzbarkeit. Hinzu kommen massive Probleme mit der Datensicherheit (siehe Kasten links). Daher stellen sich einige Forscher inzwischen die Fragen: Wohin entwickelt sich das Internet? Wird es eines Tages sogar durch ein neues Netz abgelöst? Schlüssige Antwort darauf sind allerdings noch nicht in Sicht. <

LOS, SCHICK DEINE E-MAIL  
MIT DEM NACHTGEBET  
ENDLICH AB,  
UND DANN MARSCH INS BETT



**Lars Eggert, Jürgen Quittek, Heinrich Stüttgen** (von links) forschen bei NEC Network Laboratories in Heidelberg.

Weblinks zu diesem Thema finden Sie bei [www.spektrum.de](http://www.spektrum.de) unter »Inhaltsverzeichnis«.

AUTOREN