



Die Weiterentwicklung und die Zukunft des Internets hin zum Internet of Everything gehen einher mit neuen Anforderungen und großen Herausforderungen an Netze. Wie diesen gerecht zu werden ist, erörtert diese Grand Challenge.

Das Internet ist längst Teil unseres alltäglichen Lebens und ermöglicht Innovationen in unterschiedlichsten Bereichen der Gesellschaft. Durch die Vernetzung von Menschen, Maschinen, Dingen, Daten, Prozessen und Diensten sowie die Verschmelzung der physischen und virtuellen Welten wird die Bedeutung des Internets in der Zukunft gesellschaftlich und wirtschaftlich weiter zunehmen. Die Grundlage dafür sind globale Kommunikationsnetze. Sie stellen zum einen Konnektivität zur Verfügung und übertragen die gigantischen Datenmengen schnell, nahezu in Echtzeit, sind aber dennoch effizient, zuverlässig und sicher. Dadurch sind die Anwendungen und Dienste in hoher Qualität nutzbar.

Die Weiterentwicklung und die Zukunft des Internets hin zum Internet of Everything gehen einher mit neuartigen Anforderungen und großen Herausforderungen an die Netze. Denn das Internet of Everything umfasst die Idee, dass nicht nur physische Objekte (Internet of Things) und Menschen, sondern auch sensorische Erfahrungen (Internet of Senses), virtuelle Realitäten – und praktisch alles – verbunden und in ein größeres digitales Ökosystem integriert werden können. Menschen können sich physisch und virtuell als Avatare in erweiterten Realitätsumgebungen und in virtuellen Welten bewegen, kommunizieren und immersiv interagieren. Reale und virtuelle Welten verschmelzen, insbesondere durch digitale Zwillinge. Die Fusion von Kommunikations- und Compute-Infrastrukturen stellen herausfordernde Aufgaben für die Informatik dar: etwa zur nativen Integration von Künstlicher Intelligenz in die Netze oder auch der Integration von Technologien zur Erfassung von Sensordaten und Technologien in Kommunikationsnetze. Um Anwendungen in Bereichen wie Industrie 4.0, Smart Cities, Smart Grid, virtuelle Realitäten, vernetztes Fahren und Telemedizin erfolgreich umzusetzen sowie große Datenmengen effektiv zu erheben, zu übertragen und zu verarbeiten, ist eine leistungsfähige Kommunikationsinfrastruktur unerlässlich. Die Weiterentwicklung der Kommunikationsnetze und die Vernetzung der Welten sind ein Innovationsmotor für die Zukunft.

Was genau steckt hinter dieser Challenge?

Die Verschmelzung von physischen und virtuellen Welten ist ein visionäres Konzept, bei dem Technologien die menschlichen Sinneserfahrungen verbessern und erweitern, indem sie digitale Informationen und Empfindungen in unser tägliches Leben integrieren. Menschliche Individuen und Maschinen, insbesondere Computer, künstliche Intelligenz und digitale Zwillinge, werden zukünftig im Alltag oder im beruflichen Umfeld zusammenarbeiten, um gemeinsame Ziele zu erreichen oder Aufgaben zu bewältigen.

Dazu werden hochleistungsfähige High-Speed-Netze zum Transport der Daten benötigt, wobei die Verarbeitung der Daten näher an der Quelle oder innerhalb der Netze stattfinden muss, um schnell genug und nahezu in Echtzeit zu agieren. Die gleichzeitige Nutzung von Kommunikations-, Compute- und Sensorik-Funktionen in einem integrierten Kommunikations-Sensorik-Compute-System ermöglicht eine optimierte und effiziente

Nutzung von Ressourcen und Daten, da Sensoren die benötigten Informationen erfassen und gleichzeitig die Kommunikation ermöglichen, um diese Informationen an die relevanten Stellen zu übertragen. Dies ist besonders in Anwendungen wichtig, in denen Echtzeitdaten und -aktionen erforderlich sind. In vernetzten Fahrzeugen werden Sensoren zur Erfassung von Umgebungsdaten wie Verkehrsbedingungen und Abstandsüberwachung eingesetzt. Gleichzeitig kommunizieren diese Fahrzeuge über drahtlose Netze miteinander, um Daten auszutauschen und die Verkehrssicherheit zu erhöhen.

Die globale Abdeckung der Netze benötigt die Integration von neuen Technologien in das heutige Internet, etwa durch nichtterrestrische Netze, aber auch durch spezialisierte Netze, zum Beispiel industrielle Netze oder Smart-City-Netze. Insbesondere die Entwicklung und Implementierung der sechsten Generation des Mobilfunksystems (6G) versucht die Konvergenz der Netze und Technologien anzunehmen.

Die Komplexität der Netze steigt, was durch Milliarden vernetzter Menschen und Geräte, die hohen Anforderungen, aber auch durch die Heterogenität der involvierten Komponenten bedingt ist. Daher ist Interoperabilität für globale Netze essenziell. Zur Beherrschbarkeit und Optimierung der Netze werden Monitoring- und Management-Ansätze benötigt, die auf erklärbare Modelle und Methoden der Künstlichen Intelligenz zurückgreifen. Auch virtualisierte Netze und Slices für spezifische Anwendungsfälle unterstützen die Beherrschbarkeit. Dabei sind die Resilienz und Ausfallsicherheit der Netzinfrastruktur sowie der gesamten Kommunikations-Sensorik-Compute-Infrastruktur ein zentraler Punkt. Diese kritische Infrastruktur ist entscheidend für das reibungslose Funktionieren einer Gesellschaft und Wirtschaft.

Die Kommunikationsnetze der Zukunft sollen menschenzentriert sein und die Menschen und ihre Bedürfnisse in den Mittelpunkt stellen. Dazu muss die Entwicklung und Implementierung der Netze darauf abzielen, menschliche Erfahrungen nativ zu berücksichtigen und zu verbessern. Dies kann die Verbesserung von Konnektivität, Geschwindigkeit, Kapazität, Sicherheit und Benutzerfreundlichkeit einschließen, um die Lebensqualität der Menschen zu steigern und neue Anwendungsfelder zu ermöglichen.

Die Förderung der Nachhaltigkeit in Kommunikationsnetzen trägt nicht nur zur Reduzierung von Umweltauswirkungen bei, sondern kann auch langfristig wirtschaftliche Vorteile bieten und die Gesellschaft insgesamt stärken. Dies ist besonders wichtig in einer Zeit, in der die Digitalisierung eine immer größere Rolle in unserem Leben spielt. Neben Energieeffizienz und Reduzierung des Energieverbrauches zur Verringerung des ökologischen Fußabdruckes spielen die Integration erneuerbarer Energiequellen oder Zero-Energy-Devices eine wichtige Rolle. Aber auch neuartige Ansätze bei der Herstellung und dem Betrieb der Netze unter Berücksichtigung von Ressourcenknappheit müssen erforscht und implementiert werden.

Diese Herausforderungen erfordern konzertierte Anstrengungen, um die Kommunikationsnetze voranzubringen und den sich wandelnden Bedürfnissen unserer vernetzten Welt gerecht zu werden.

Warum ist es wichtig, das Problem anzugehen?

Viele der Anforderungen stehen im direkten Gegensatz zueinander, sodass in der Praxis geeignete Trade-offs gefunden werden müssen. Die gewünschte Netz- und Technologie-Konvergenz sowie skalierbare, flexible Lösungen erhöhen die Komplexität. Vernetzte Welten können enorme Mengen an Daten generieren und verarbeiten. Diese Komplexität erfordert eine Automatisierung im Monitoring und Management der Netze, die allerdings nachvollziehbare und erklärbare Entscheidungen treffen muss.

- Die von Menschen wahrgenommene Qualität der Dienste und Anwendungen sowie die Ausfallsicherheit und Verfügbarkeit der Systeme müssen gewährleistet sein. Die Optimierung von Netzen, die Wahrung der Privatsphäre sowie der Schutz personenbezogener Informationen können miteinander in Konflikt geraten.
- Der massive Energieverbrauch und die Ressourcenbeanspruchung vernetzter Systeme können ökologische Herausforderungen darstellen. Die Entwicklung umweltfreundlicher Technologien und Praktiken ist daher von großer Bedeutung. Nachhaltigkeit und Energieeffizienz benötigen einen Paradigmenwechsel in den Netzen, können aber im direkten Widerspruch zur Qualität und Verfügbarkeit stehen.
- Die Integration verschiedener Technologien und Plattformen ist kompliziert. Es erfordert die Entwicklung interoperabler Standards, Protokolle und Infrastrukturen, um eine nahtlose Kommunikation und Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Systemen zu ermöglichen, insbesondere für integrierte Kommunikations-Sensorik-Compute-Systeme.
- Die vernetzten Welten können auch neue ethische, rechtliche und soziale Fragen aufwerfen. Die verantwortungsvolle Entwicklung und Nutzung dieser Technologien sind entscheidend, um die Vorteile zu maximieren und mögliche Risiken zu minimieren.
- Kommunikationsnetze sind eine kritische Infrastruktur der modernen digitalen Gesellschaft, deren Hochverfügbarkeit, nachvollziehbares Verhalten und Einhaltung von Qualitätsstandards essenziell sind. Das erfordert jedoch einen Trade-off zwischen Regulierung und Standardisierung einerseits und freier technologischer Entwicklung andererseits.

In welchem Zeithorizont ist eine Lösung zu erwarten?

In einem Zeitraum von fünf bis 15 Jahren werden Teillösungen entstehen und eine schrittweise Transformation des bestehenden Internets wird stattfinden.

Welche Anstrengungen wurden bereits in die Lösung investiert?

Es existieren zahlreiche Lösungsansätze für ausgewählte Probleme, jedoch fehlt bisher eine koordinierte Aktion und eine gemeinsame Grand Challenge innerhalb der gesamten Informatik.

Welche Disziplinen müssen an dieser Challenge zusammenarbeiten?

Ein Zusammenspiel verschiedener Disziplinen der Informatik ist notwendig, um vernetzte Welten der Zukunft zu realisieren: Kommunikationsnetze und verteilte Systeme; Datenbankmanagement zur Speicherung und Verwaltung großer Datenbanken; Sicherheit und Datenschutz; Künstliche Intelligenz etwa zur Automatisierung; Softwareentwicklung von softwarisierten, programmierbaren und virtualisierten Netzen; IoT-Technologien, Sensorik,

eingebettete Systeme und Integration von physischen Geräten in digitale Welten; Human-Computer Interaction für Benutzerfreundlichkeit und menschliche Interaktion in vernetzten Systemen und erweiterten Realitäten.

Welche Zielszenarien und -kriterien lassen sich aufstellen?

Das reibungslose Zusammenspiel von verschiedenen Geräten, Plattformen, Technologien und Systemen in vernetzten Welten ist entscheidend. Wenn unterschiedliche Komponenten miteinander kompatibel sind und reibungslos interagieren können, zeigt dies, dass das Ziel der Vernetzung erreicht wurde. Zu Bewertung der Güte der vernetzten Welten können Key-Value-Indikatoren definiert und erfasst werden, etwa hinsichtlich der ökologischen und ökonomischen Nachhaltigkeit der Kommunikationsnetze oder der Lebensqualität der Menschen.

Welche sozialen, gesellschaftlichen oder ökonomischen Probleme lassen sich mit der Grand Challenge adressieren?

Vernetzte Welten haben das Potenzial, ganz unterschiedliche soziale, gesellschaftliche und wirtschaftliche Probleme durch Lösungen auf der Anwendungsebene zu adressieren. Hierzu zählen Telemedizin, Online-Bildung, Umweltschutztechnologien, effiziente Mobilität, soziale Interaktion, flexibles Arbeiten, Sicherheitssysteme oder auch Katastrophenschutz. Dies trägt zur Verbesserung der Lebensqualität und zur Bewältigung globaler Herausforderungen bei.

Die Digitalisierung und Vernetzung ermöglichen flexibles Arbeiten und den Zugang zu Arbeitsmöglichkeiten überall auf der Welt. Automatisierung und Robotik in der Industrie verbessern die Sicherheit, Effizienz und Produktivität. Sensornetze und IoT-Technologien ermöglichen die Überwachung von Umweltparametern und tragen zur Früherkennung von Umweltproblemen bei. Vernetzte Überwachungssysteme und Sensornetze können die öffentliche Sicherheit und die Reaktion auf Naturkatastrophen verbessern. Frühwarnsysteme ermöglichen es, rechtzeitig auf potenzielle Gefahren zu reagieren. Fernüberwachung und Telemedizin ermöglichen eine bessere Versorgung von Patienten. Gesundheitsdaten können in Echtzeit analysiert werden, um Krankheitsausbrüche zu verfolgen und die Prävention zu verbessern. Virtuelle Klassenzimmer und Fernunterricht können Bildungschancen für benachteiligte Bevölkerungsgruppen eröffnen.

Über die Autor*innen

Tobias Hoßfeld und Wolfgang Kellerer sind im GI-Fachbereich Betriebssysteme, Kommunikationssysteme und Verteilte Systeme, Fachgruppe „Kommunikation und Verteilte Systeme“ (KuVS) tätig.

Weiterführende Literatur

VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V.: Information Technology Vision 2035, VDE Impulse Paper, Offenbach am Main, November 2024.

<https://www.vde.com/de/itg/publikationen/studien/vde-impulse-paper-information-technology-vision-2035>