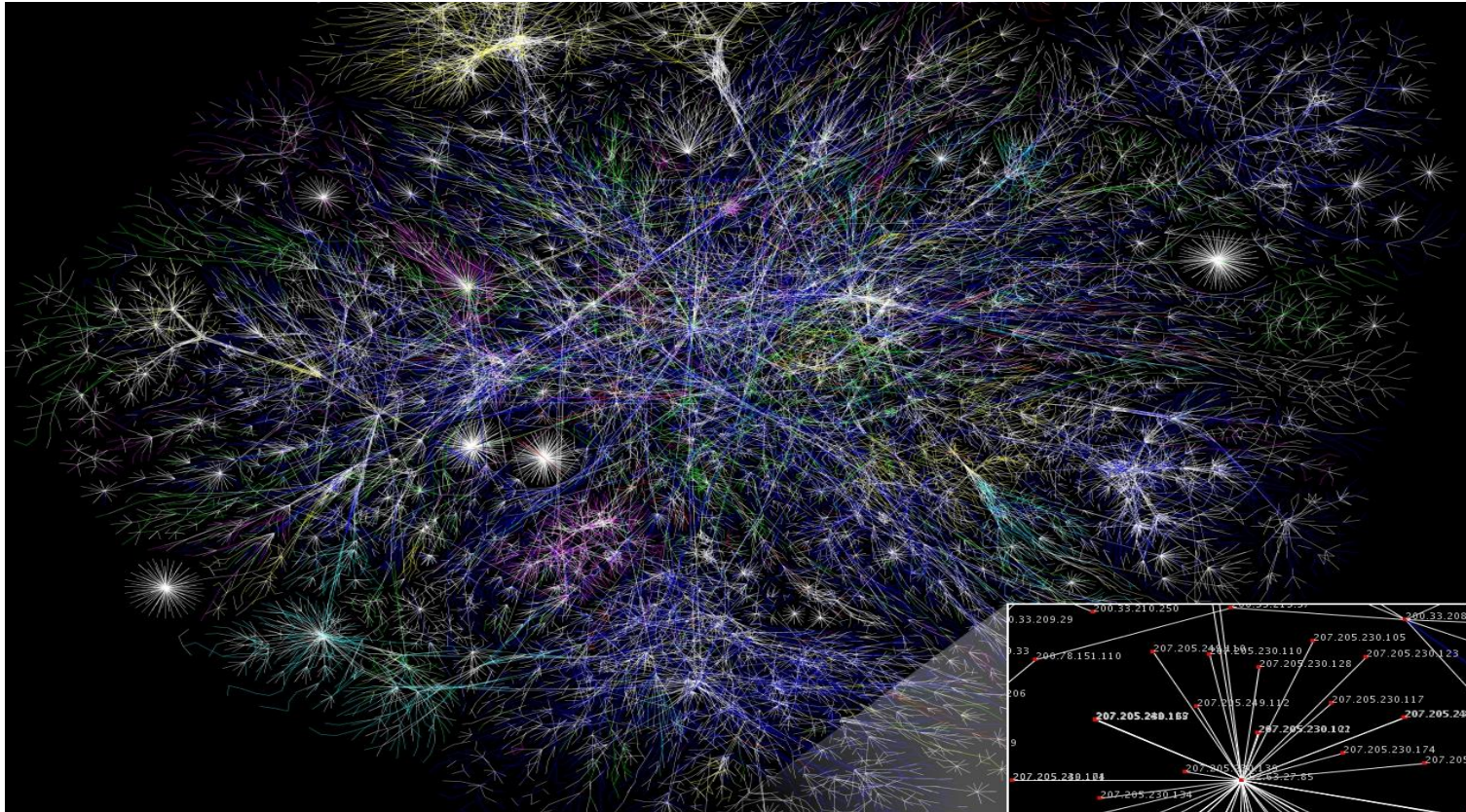


openHPI-Kurs Wie funktioniert das Internet?
Kursvorstellung „Internetworking 2016“

Prof. Dr. Christoph Meinel
Hasso-Plattner-Institut
Universität Potsdam

Jeden Tag benutzen wir es. Aber wie funktioniert es eigentlich?
Was passiert alles im Hintergrund?



Das Internet...

... ist ein weltweiter Zusammenschluss von verschiedenartigen lokalen Computer-Netzwerke zu einem **virtuellem Netzwerk**

- Dank der Internet-Technologie erscheint dieser Zusammenschluss, das virtuelle Netz, als ein einheitliches Netz
- Sogenannte Kommunikationsprotokolle regeln Datenaustausch – **Internetworking** – über die Grenzen der einzelnen physikalischen Netzwerke hinweg

Das geglückte Design der Internet-Technik hat explosionsartiges Wachstum ermöglicht. Explosionsartig wuchs es von

- 1969: Start mit 4 Rechnern
- Heute: Etwa 1 Milliarde Rechner und mehr als 3,5 Milliarden Internet-Nutzer

Einladung ...

Willkommen zum Kurs sind alle, die verstehen wollen, wie das Internet funktioniert

- Es gibt keine Zugangsvoraussetzungen, Teilnahme am Kurs ist kostenfrei
- Lehrstoff wird präsentiert in Form von Lernvideos, Selbsttests und ergänzendem Lesematerial
- Kursteilnehmer sind eingeladen,
 - die angebotenen Lernmaterialien ernsthaft zu studieren
 - den eigenen Lernfortschritt vermittelt der bereitgestellten Selbsttests ständig zu überprüfen und
 - aktiv an den Diskussionsforen teilzunehmen

- wenn mindestens 50% der Kursinhalte angesehen wurden

(2) Benotete Teilnahmebestätigung

- wenn mindestens 50% der möglichen Punkte aller Hausaufgaben und der Abschlussklausur erreicht wurden

(3) Qualifiziertes Zertifikat

- verifiziertes Zertifikat mit Foto
- ECTS-Punkte möglich
- bei Prüfungsleistungen zuverlässige
Beaufsichtigung der Teilnehmer
über die Webcam
- Anmeldung muss spätestens
vor 2. Hausaufgabe erfolgen
- Kosten: 50 €



Kurswochenübersicht (1)

1. Woche: „Einführung“ – Start am 5.09.2016

- *Internet ist schon toll. Aber ist es wirklich so komplex?*

2. Woche: „Netzwerktechniken“

- *Wie können Nachrichten von einem Computer mit Hilfe elektrischer oder optischer Signale zu einem anderen Computer im Nachbarhaus oder am anderen Ende der Welt übertragen werden?*

3. Woche: „Internetworking mit IPv4“

- *Wie findet ein Datenpaket seinen Weg in einem Internet, das doch aus verschiedenen miteinander verknüpften Einzelnetzwerken ganz unterschiedlicher Technologien besteht?*

Kurswochenübersicht (2)

4. Woche: „Internet heute“

- *Wie ist es möglich, dass auch Smartphones, Haushaltsgeräte, Autos, u.a. über das Internet miteinander kommunizieren können?*

5. Woche: „Transportprotokolle TCP und UDP“

- *Wer garantiert, dass meine Daten bei Ihrer langen Reise durch das Internet über verschiedene Netzwerke hinweg ihr Ziel erreichen?*

6. Woche: „Internetanwendungen“

- *Was fehlt nun noch, um im Web zu surfen, E-Mails oder Filme über das Internet senden und empfangen zu können?*

Weitere Infos

Welchen Zeit- und Arbeitsaufwand muss man einplanen:

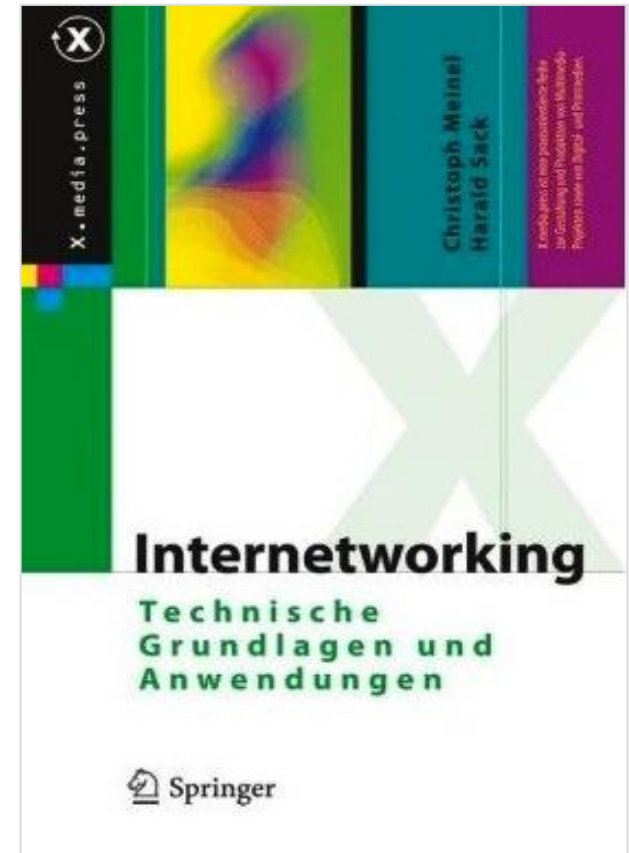
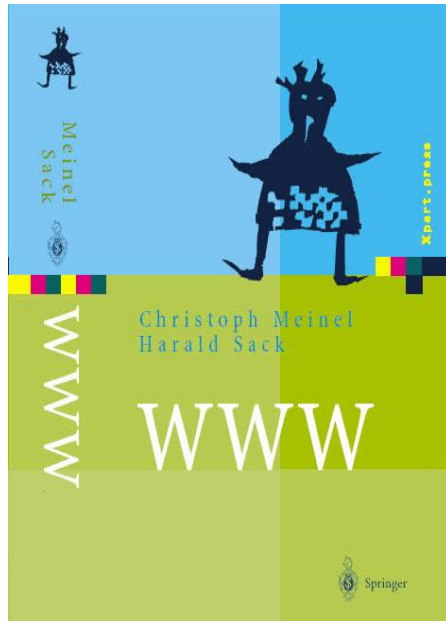
- Beschäftigung mit den in jeder Woche bereitgestellten Lernmaterialien und Selbsttests kostet, je nach Vorwissen etwa 3-6 Stunden
- Hausaufgaben sind auf 60 Minuten angesetzt
- Lernerlebnis und Lernerfolg lassen sich steigern durch den intensiven Austausch in den Diskussionsforen mit anderen Kursteilnehmer und -Betreuern
- Sicher macht es einen Unterschied, ob man sich durch den Kurs nur informieren lassen will, oder aktiv ein Zertifikat anstrebt

Termine:

- Start: 05.09.2016
- Prüfungswoche: 17.-23.10.2016

Literatur zum Nachlesen

Autoren: Christoph Meinel, Harald Sack:



Unser Teaching-Team wünscht viel Spaß,
viele neue Erkenntnisse und Lernerfolge!

Das Internetworking Teaching-Team



Prof. Dr. Christoph Meinel



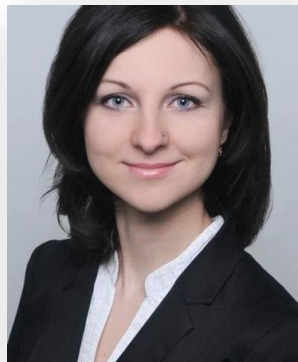
Christian Willems



Matthias Bauer



Martin Malchow



Tatiana Gayvoronskaya



Pawel Böning



Marcus Konrad

Wir freuen uns auf jeden Teilnehmer am Online-Kurs „Internetworking“



openHPI-Kurs Wie funktioniert das Internet?
Internet – Treiber der digitalen Revolution

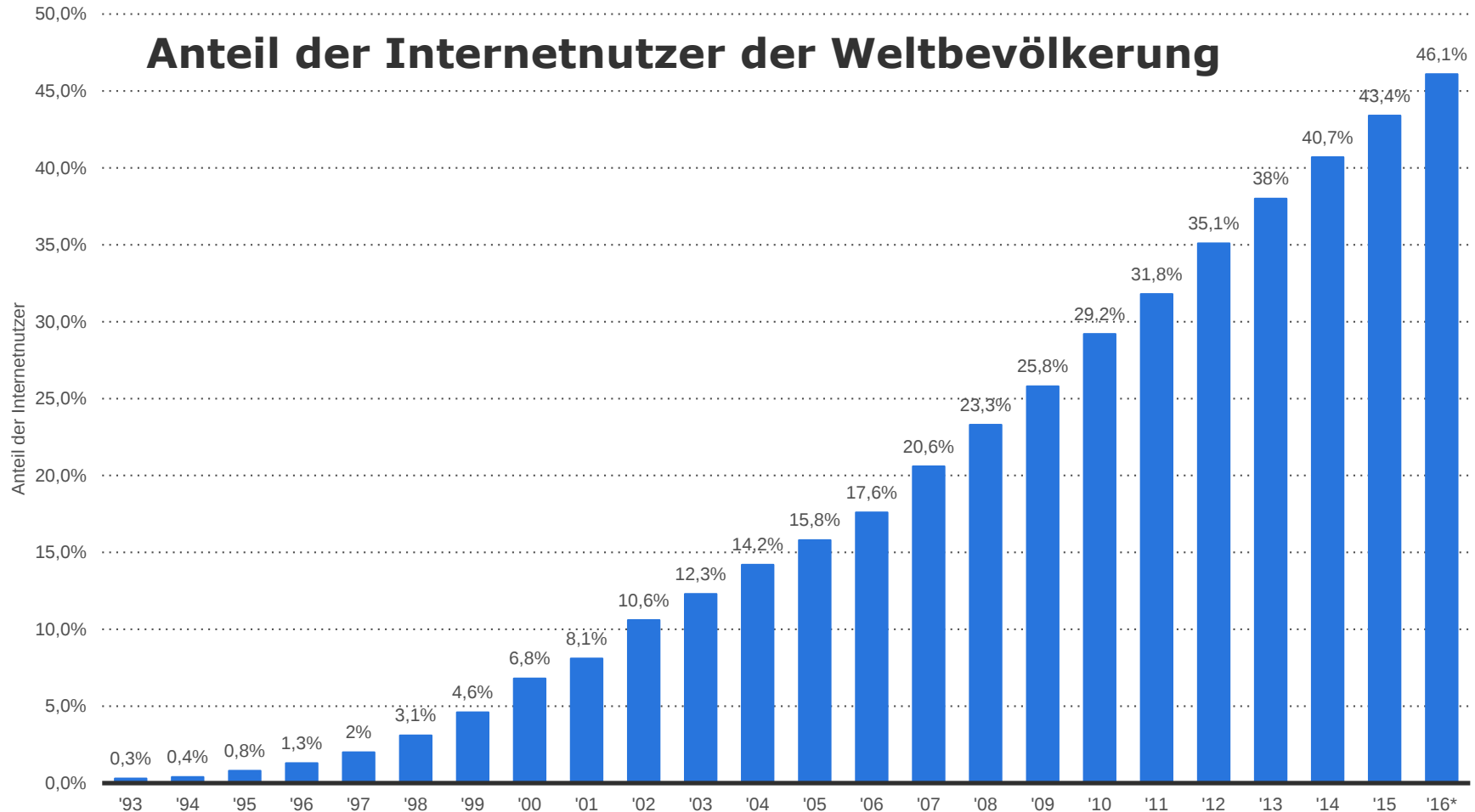
Prof. Dr. Christoph Meinel
Hasso-Plattner-Institut
Universität Potsdam

Was passiert heute in 60 Sekunden im Internet?



Quelle: go-globe.com

Internet – Verbreitung (1/3)



Quelle: Internet Live Stats

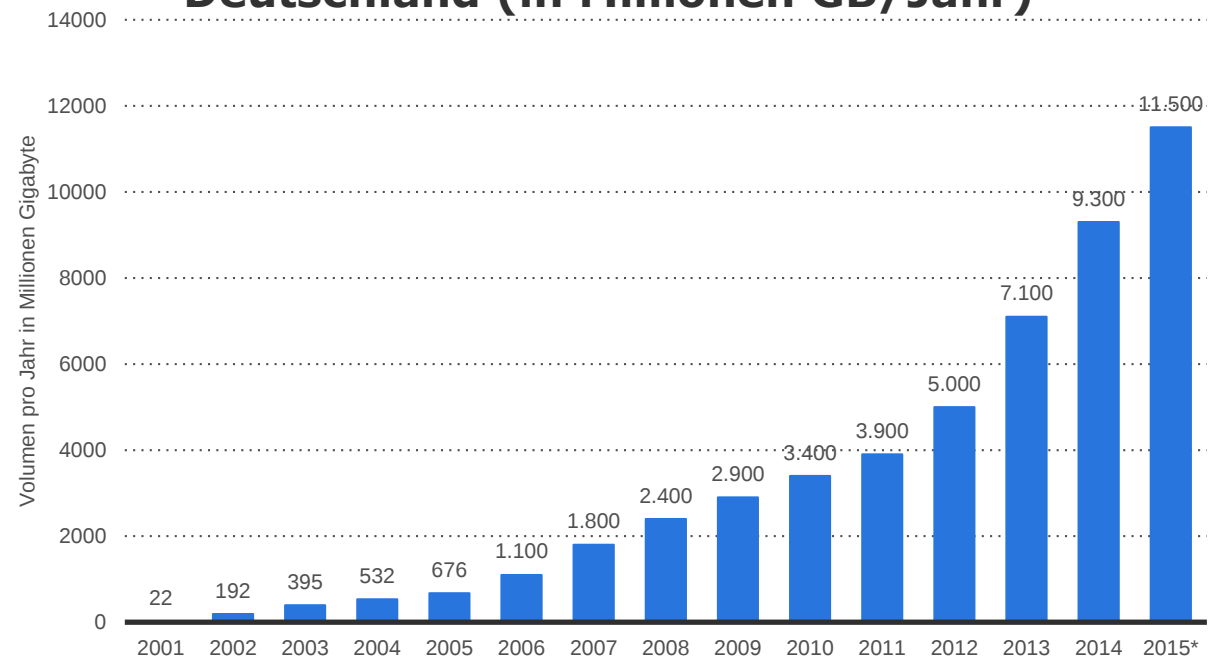
<http://de.statista.com/statistik/daten/studie/172508/umfrage/internetnutzung-weltweit-zeitreihe>

Internet – Verbreitung (2/3)

Haushalte mit Internetzugang

- Welt 52%
- Europa 76%
- Deutschland 85%
- Island 95%

Datenvolumen im Breitband-Traffic in Deutschland (in Millionen GB/Jahr)



Quelle: VATM

<http://de.statista.com/statistik/daten/studie/3565/umfrage/datenvolumen-des-breitband-internetverkehrs-in-deutschland-seit-dem-jahr-2001>

Internet – Verbreitung (1/3)

Erste Internetnutzung durch akademische Organisationen (seit 1980)

- Kommunikation innerhalb von Forschungsprojekten
- Hauptsächlich Veröffentlichung / Austausch Forschungsergebnisse (z.B. ARPANET, CERN)

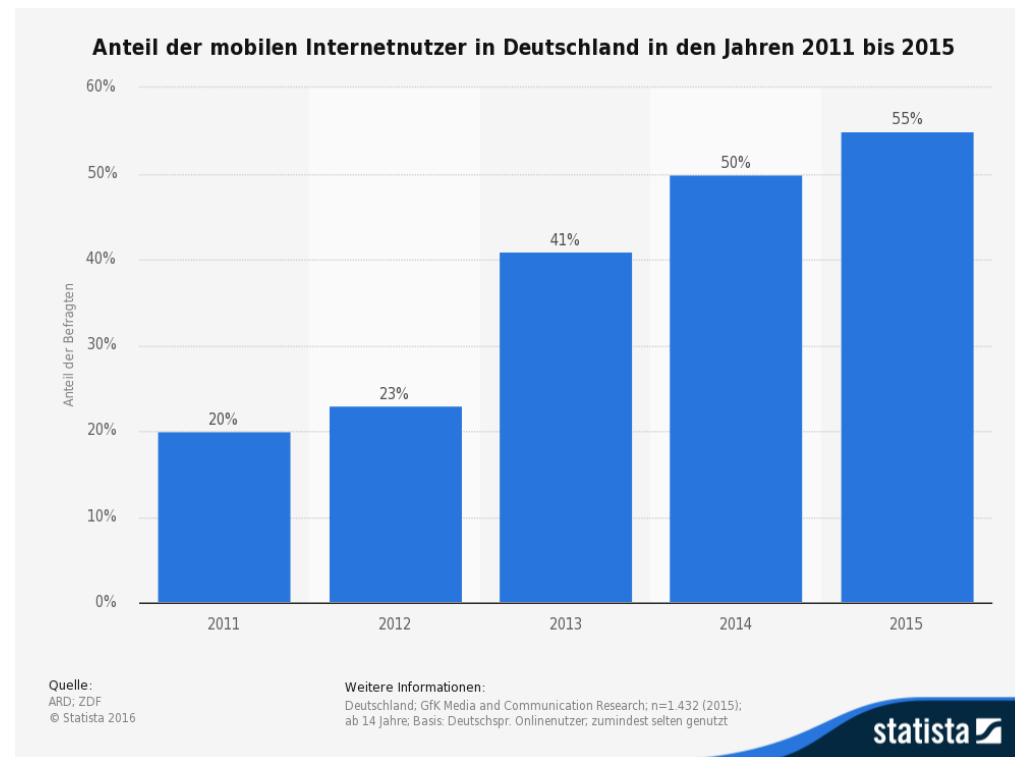
Ende der 1990er Jahre wurde das Internet auch in der Wirtschaft und Gesellschaft populär und verbreitete sich rasant

	2005	2010	2015
Bevölkerung	6,5 Mrd.	6,9 Mrd.	7,35 Mrd.
Internet-Nutzer	16%	30%	44%
Nutzer in Entwicklungsländern	8%	21%	34%
Nutzer in Industrieländern	51%	67%	80%

Internet – Mobile Nutzung

Mobiler Zugriff auf das Internet

- Rasanter Anstieg in den letzten Jahren
- Vielfalt mobiler Geräte wird immer größer, Nutzung wird immer einfacher
- In Deutschland vermehrte mobile Internetnutzung
- In Entwicklungsländern, z.B. Nigeria, Indien, Indonesien, ... sind Smartphones oft die einzige Zugangs-Möglichkeit zum Internet



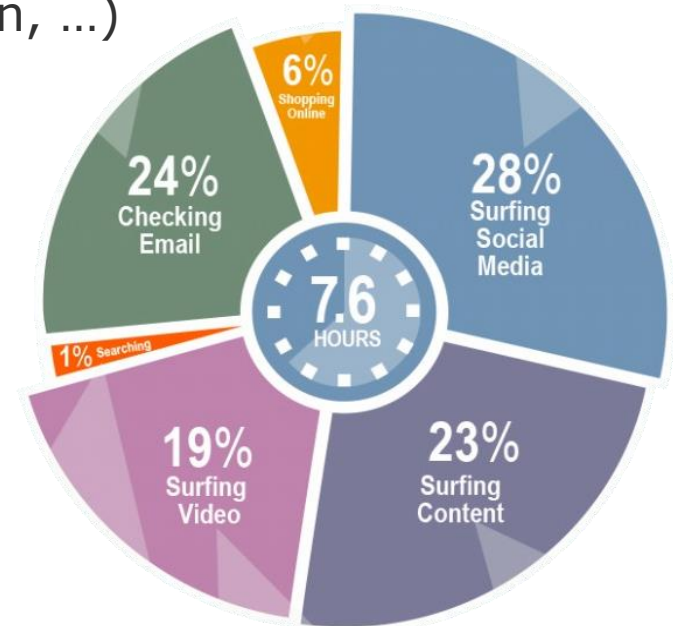
Internet – Medienkonsum

Selbst technisch unerfahrene Nutzer verbringen immer mehr Zeit im Internet

- Kommunikation (E-Mail, Chats, Skype, Messenger, Foren, Blogs, Soziale Medien, ...)
- Shopping
- Internetsuche und -konsum (Nachrichten, Forschung, ...)

Internet verändert Medienkonsum

- Video: Videokassette → DVD → Streaming
- Musik: Radio / Kassette → CD → Streaming
- Printmedien: Zeitung → Nachrichten-Webseiten → Nachrichten-Apps / Zeitungs-App



Quelle: multiview.com

Internet – Videostreaming und Bezahlungssysteme

Video-Inhalte nehmen rapide zu und sorgen für stark wachsenden Traffic

- > 400h/min Video-Upload zu YouTube
- **YouTube**, Vimeo, Netflix, Maxdome, openSAP, openHPI, ...

Nutzung von Online-Bezahlungssystemen steigt

- **PayPal**, Apple Pay, Ali Pay, Google Wallet, Bitcoin, ...



Internet – Kurze Geschichte (1/3)

Geschichte von WWW und Internet sind untrennbar verbunden

- 1969 – Start des Internets: ARPANET startet mit 4 Rechnern an den Universitäten Los Angeles, Santa Barbara, Stanford und Utah
- 1971 – im ARPANET sind 23 Hosts über 15 Knotenpunkte verbunden
- 1973 – erste internationale Knoten in England und Norwegen
- 1983 – bereits über 500 Hosts verbunden
 - Umstellung der Kommunikationssoftware auf TCP/IP, entwickelt unter Leitung von Vincent Cerf und Robert E. Kahn (Geburtsstunde des Internets)
 - Aufspaltung des ARPANETs in zivilen und militärisch genutzten Bereich
- ...

Internet – Kurze Geschichte (2/3)

- 1986 – NSFNET-Programm fördert Anbindung aller Universitäten in den USA ans Internet
- 1988 – erster Internetwurm, 10% der 60.000 Hosts sind betroffen
- 1989 – 150.000 Hosts sind mit Internet verbunden, ARPANET wird stillgelegt
- 1990 – Entwicklung des ersten WWW-Browsers und WWW-Servers durch Robert Cailliau und Tim Berners-Lee am CERN (Geburtsstunde des WWW)
- ...

Internet – Kurze Geschichte (3/3)

- 1993 – erster Browser - NCSA Mosaic - mit grafischer Benutzeroberfläche
- 1994 – Gründung des W3C, Gründung von Netscape
- 1995 – MS liefert Windows 95 zusammen mit Browser – Internet Explorer – aus
- 1995 – Handel und Wirtschaft entdecken WWW, viele „dot-coms“ entstehen
- 2001 – Platzen der „dot-com-Blase“ (überhitzter Boom junger Internet-Firmen)
- 2005 – „Web 3.0“ – Forschungsanstrengungen in den Bereichen Semantic Web, Social Web und Service Web
- ab 2005 – Soziale Netzwerke, Musik- und Videostreaming, ... verleihen Internet neue Anwendungsgebiete, die inzwischen feste Bestandteile des täglichen Lebens sind

WWW – Killer Applikation im Internet

Meilensteine der Entwicklung des WWW

Web of Content (Web 1.0)

- Statische Webseiten
- Einfaches Design mit Grafiken geringer Auflösung

Web of Communication (Web 2.0)

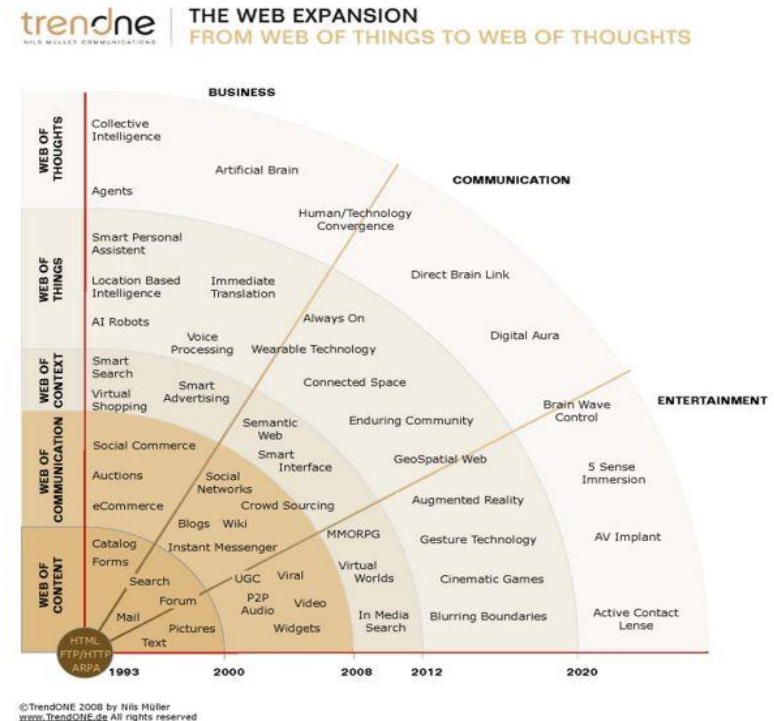
- Multimedia-Inhalte, Interaktives Web
- Social-Media-Plattformen

Web of Context (Web 3.0)

- Semantische, personalisierte Webseiten (z.B. Suchergebnisse)

Web of Things (Web 4.0)

- Optimierung für mobile Geräte – Responsive Design
- Internet of Things (z.B. Hausautomatisierung)



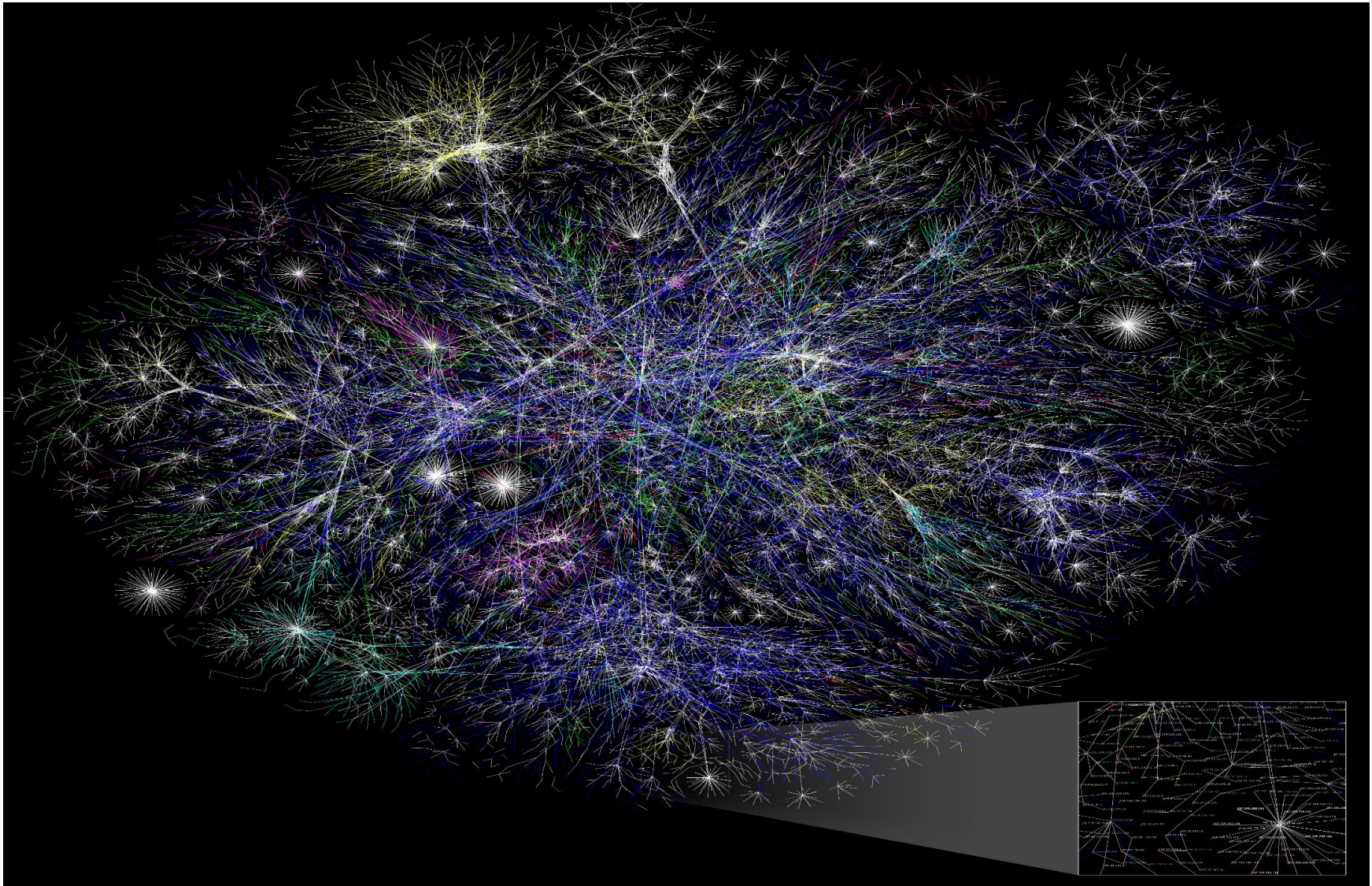


openHPI-Kurs Wie funktioniert das Internet?

Internet – Das Netz der Rechnernetze

Prof. Dr. Christoph Meinel
Hasso-Plattner-Institut
Universität Potsdam

Das Internet...



Das Internet – Netz der Rechnernetze

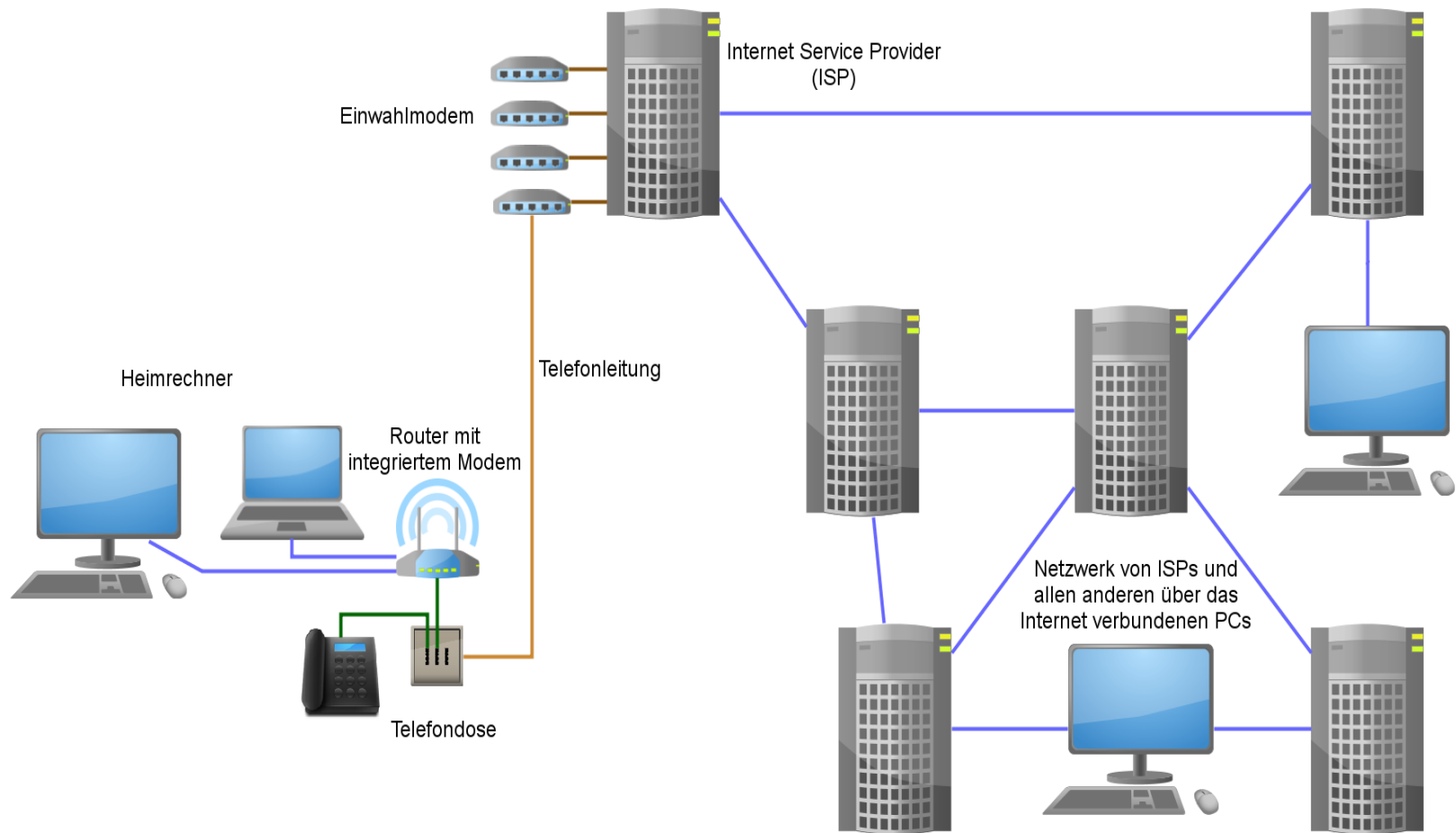
Internet - Weltweiter Zusammenschluss verschiedenartigster Computer-Netzwerke zu einem **virtuellem Netz**

- Erscheint dank Internet-Technologie als einheitliches Netz – **Internetworking**
- Kommunikationsprotokolle regeln Datenaustausch über die Grenzen der einzelnen physikalischen Netzwerke hinweg
- Offene Systemarchitektur

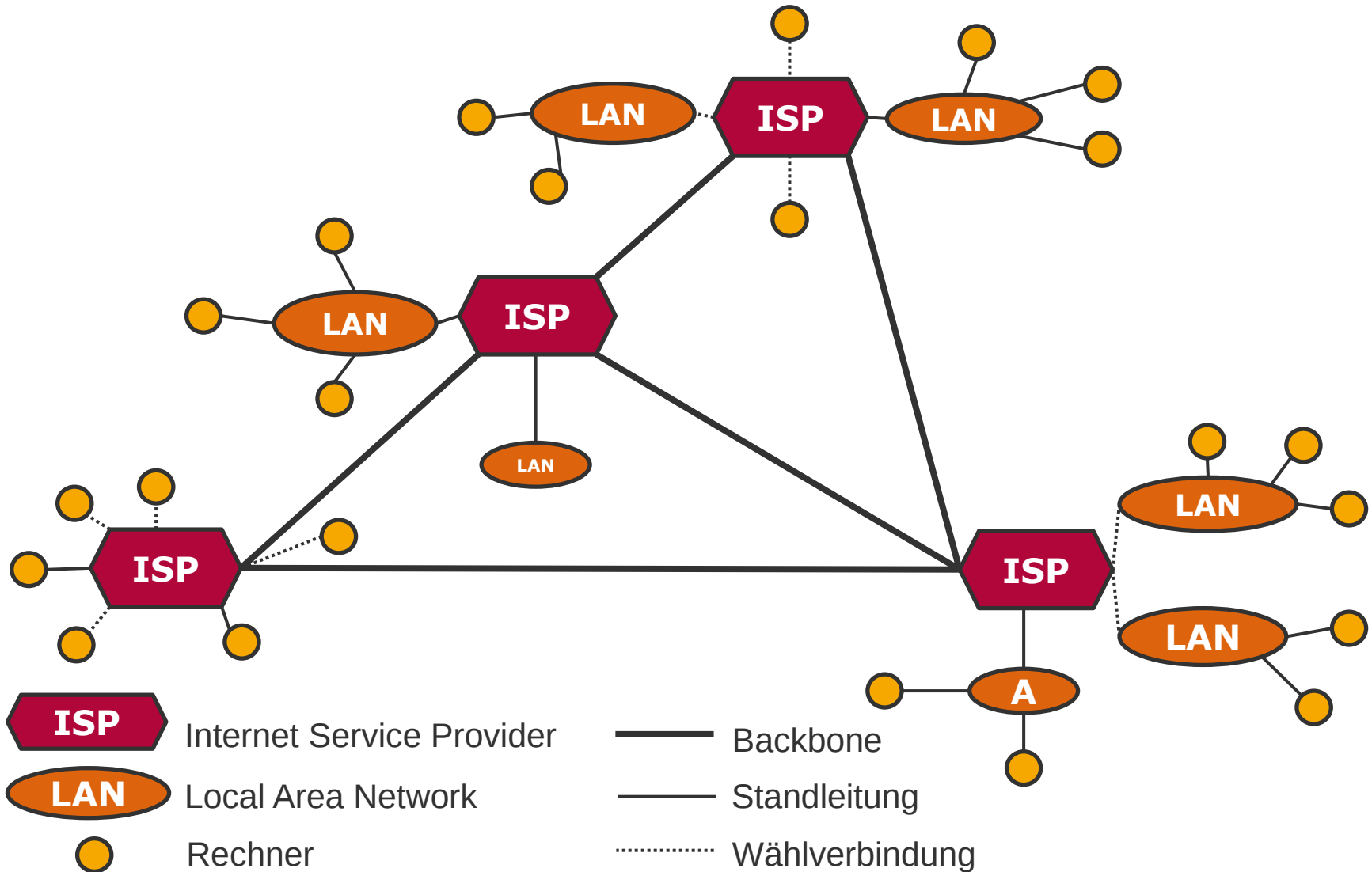
Explosionsartiges Wachstum:

- 1969: 4 Rechner
- Heute
 - Schätzung: 20 Milliarden Websites
 - etwa 1 Milliarde Internet-Hosts im DNS
 - weltweit etwa 3,5 Milliarden Internetnutzer

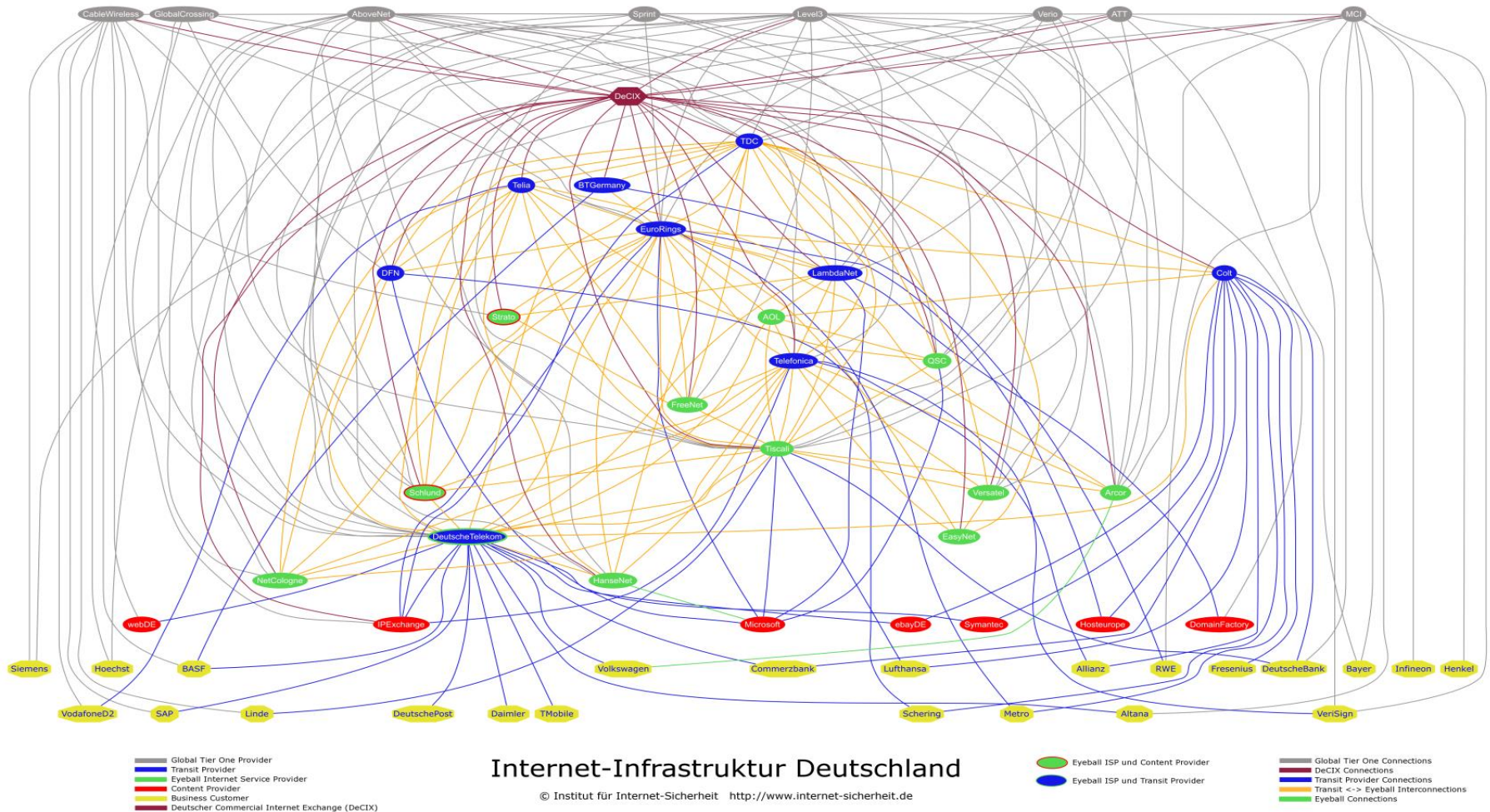
Das Internet – Netz der Rechnetetze (1/4)



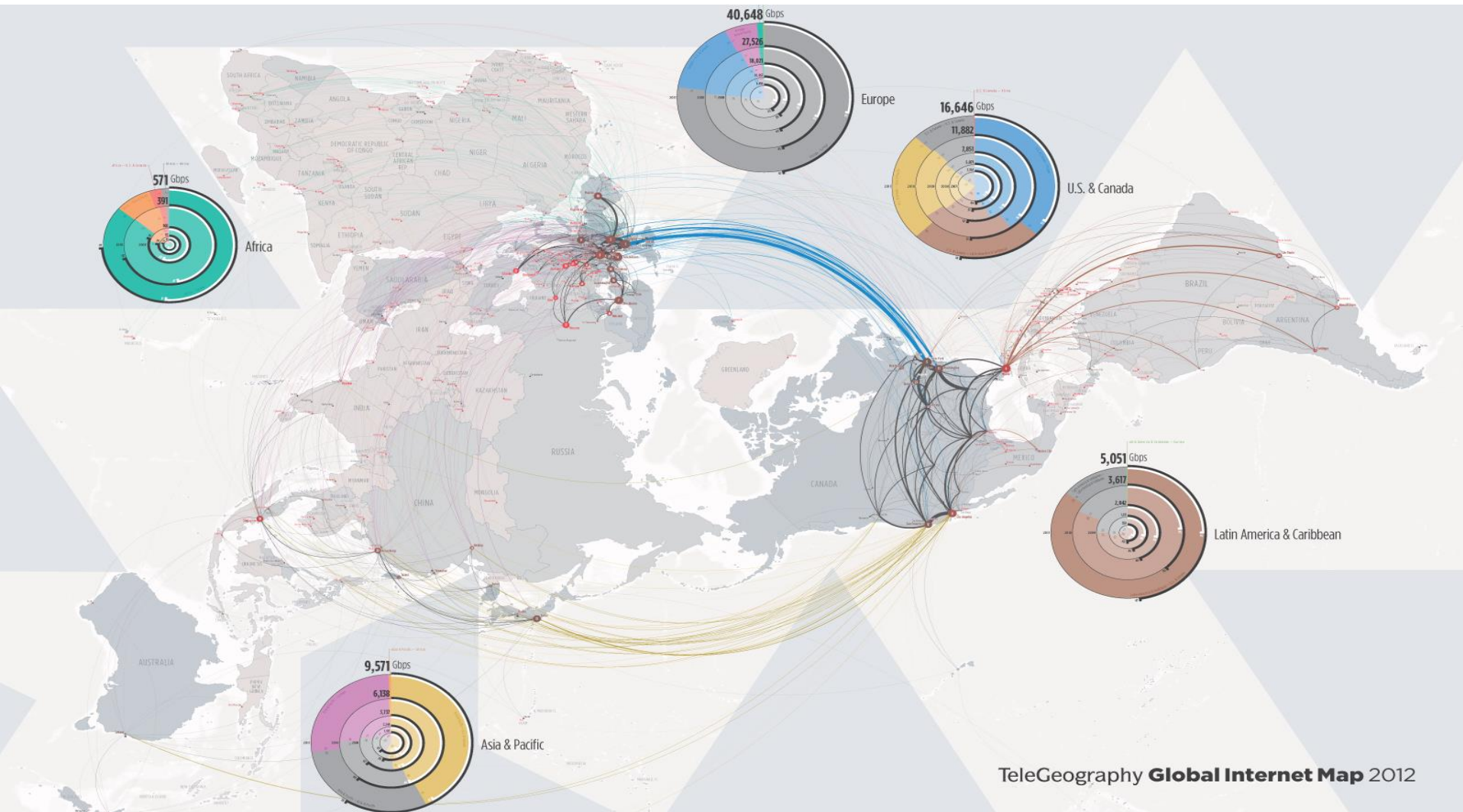
Das Internet – Netz der Rechneternetze (2/4)



Das Internet – Netz der Rechnernetze (3/4)



Das Internet – Netz der Rechnernetze (4/4)



Komponenten von Rechnernetzen (1/4)

Rechnernetze bestehen aus drei Komponenten:

- Endgeräte (Basiskomponenten)
 - auch Hosts genannt, z.B.
 - Rechner, Smartphone, Tablet, ...
- Zwischensysteme (Infrastrukturkomponenten)
 - zum Anschluss und zur Kopplung der Clients
- Physikalische Verbindung
 - Verkabelung, Funkverbindungen, ...

Komponenten von Rechnernetzen (2/4)

Bei Hosts unterscheidet man „**Server**“ und „**Clients**“

- Server – bieten ihre Ressourcen anderen Clients an
- Clients – sind Leistungsnehmer

Vorherrschendes Verarbeitungsprinzip: **Client/Server-Paradigma**

- Client übernimmt Initiative und fordert vom Server angebotene Dienstleistung an (Website, Suchergebnis, Datenbankabfrage, ...)
- Clients können verschiedene Server kontaktieren, Server verschiedene Clients bedienen
- Bevor Server die Anforderung eines Clients erfüllt, überprüft er dessen Authentizität und Autorisation zur Inanspruchnahme des Dienstes

Komponenten von Rechnernetzen (3/4)

Hosts benötigen **Netzwerkadapter** zum Anschluss an ein Rechnernetz

- übersetzen auszutauschende Nachrichten in ein netzwerkkonformes Format
- setzen Daten in physikalische Signalfolgen um

Verschiedene **Zwischensysteme** machen Datenübertragung auch über größere Distanzen möglich

- sind in Netzknoten installiert
- üben Relais- und Verstärkerfunktion aus
- entscheiden über den weiteren Transport eines Datenstroms

Komponenten von Rechnernetzen (4/4)

Rechner und Zwischensysteme sind physikalisch über ein **Trägermedium** verbunden, über das die Daten kodiert in physikalischen Signalfolgen transportiert werden, z.B.

- Kupferkabel, Glasfaserkabel, Funkwellen, Infrarot, ...

Physikalische Übertragungsmedien arbeiten nie fehlerfrei – zusätzliche Mechanismen zur **Fehlererkennung** bzw. **Fehlerkorrektur** sind erforderlich

openHPI-Kurs Wie funktioniert das Internet?
Rechnernetze

Prof. Dr. Christoph Meinel
Hasso-Plattner-Institut
Universität Potsdam

Datentransport im Rechnernetz

- Damit in einem Rechnernetz Nachrichten ausgetauscht werden können, braucht jeder Teilnehmer eine im Netzwerk eindeutige **Netzwerkadresse**
- Um allen Teilnehmern einen fairen Zugriff auf gemeinsame Netzwerkinfrastruktur zu bieten, sind Rechnernetze nach dem Prinzip der **Paketvermittlung** organisiert
- Bei Paketvermittlung werden die Nachrichten in kurze Datenpakete zerlegt (**Fragmentierung**), die dann im Netzwerk einzeln und unabhängig voneinander übertragen und beim Empfänger wieder zur eigentlichen Nachricht zusammengesetzt (**Defragmentierung**) werden
- Datenpakete werden mit einem **Paketheader** ausgestattet, der alle zum Transport nötigen Informationen enthält, z.B. die Netzwerkadresse des Adressaten des Datenpakets

Kommunikationsprotokolle

Wie zur Steuerung und Nutzung eines Rechners braucht es auch komplexe Softwaresysteme, um Rechnernetze zu betreiben und bequem benutzen zu können

- Hierarchische Natur der hoch komplexen Kommunikationsaufgabe erlaubt **hierarchische Aufteilung** in verschiedene Schichten modularer Teilaufgaben, z.B.
 - auf der untersten Schicht ist der Austausch der physikalischen Signalfolgen sicherzustellen, die die Datenpakete kodieren
 - auf darüber liegenden Schicht werden Binärdaten in die physikalischen Signalfolgen umgesetzt. Binärdaten müssen dazu mit Adressinformationen versehen und bzgl. ihrer Zusammengehörigkeit markiert werden, usw.
- Für die Lösung der modularen Teilaufgaben auf den einzelnen Schichten sind **Kommunikationsprotokolle** zuständig

Protokollstapel

Ein **Netzwerktriebssystem** besteht aus einem Bündel von hierarchisch miteinander interagierenden **Kommunikationsprotokollen**

- Protokolle einer höheren Schicht nutzen (nur) Dienste, die von den Kommunikationsprotokollen der unmittelbar darunterliegenden Schicht bereitgestellt werden → **Protokollstapel**

Es gibt viele verschiedene Kommunikationsprotokolle und Protokollstapel für unterschiedliche Typen von Rechnernetzen, wie z.B.

- lokale Netze, sogenannte LANs,
- kabellose Netze, sogenannt WLANs oder
- Weitverkehrsnetze, sogenannte MANs

→ Werden uns das in Woche 2 genauer ansehen ...

Typen von Rechnernetzen (1/2)

Rechnernetze lassen sich nach verschiedenen Aspekten klassifizieren, z.B. in Bezug auf

- räumliche Ausdehnung, Einsatzcharakteristika, Verbindungstyp, ...

Klassifikation nach räumlicher Ausdehnung:

- | | | |
|---------------|-----------------|---------------------------------|
| ■ 0,1 m | Platine | Multiprozessorsystem |
| ■ 1 m | System | Multiprozessor-Cluster |
| ■ 10 m | Raum | PAN - Personal Area Network |
| ■ 1 km | Gebäude, Campus | LAN – Local Area Network |
| ■ 10 km | Stadt | MAN – Metropolitan Area Network |
| ■ 100-1000 km | Land, Kontinent | WAN – Wide Area Network |
| ■ 10.000 km | Planet | Internet |

Typen von Rechnernetzen (2/2)

Funktionsverbund

- verbindet Spezialrechner oder Rechner mit Spezialperipherieausstattung oder Spezialdatenbeständen

Lastverbund

- zwischen verbundenen Rechnern findet Lastausgleich statt

Sicherheitsverbund

- bei Ausfall eines Systems übernimmt anderes System dessen Funktion

Homogenes / inhomogenes Rechnernetz

- alle Rechner sind vom gleichen / verschiedenen Typ

Öffentliches / privates Rechnernetz

- öffentlicher Zugang / Zugang nur für begrenzten Nutzerkreis

VPN – Virtual Private Network

- internetbasiertes, dem Verhalten nach privates Netzwerk

openHPI-Kurs Wie funktioniert das Internet?
Internetworking

Prof. Dr. Christoph Meinel
Hasso-Plattner-Institut
Universität Potsdam

Internet – Netz von Rechnernetzen (1/2)

Erinnerung: Internet ist ein Zusammenschluss vieler verschiedener Rechnernetze mit unterschiedlichen Netzwerksbetriebssystemen und Paketformaten

- Die einzelnen Netztechnologien unterscheiden sich grundlegend und sind untereinander vollkommen unverträglich
- Jede Netztechnologie besitzt ihre eigenen spezifischen Medien, Adressschemata, Paketformate und hat ihre Vor- und Nachteile

Internet – Netz von Rechnernetzen (2/2)

Wie lassen sich die unterschiedlichen Rechnernetze zu einem Internet verknüpfen?

- Wie wird zwischen den verschiedenen Netztechnologien vermittelt?
- Brauchen einheitliches Paketformat und Adress-Schema...
- Wie finden Datenpakete in einem komplexen heterogenen Netzwerkverbund ihr Ziel?
- Wie werden die Paketrouten berechnet?
- Wie werden Staus und Überlastsituationen vermieden?
- Wie werden Übertragungsfehler vermieden/überwunden?
- ...

 **Internetworking**

Internetworking (1/4)

Internetworking

- Konzept zum Zusammenschluss **heterogener** Computernetze zu einem einheitlichen Kommunikationssystem

Internet

- Zusammenschluss mehrerer heterogener physikalischer Netze mit unterschiedlichen Netzwerktechnologien zu einem Netzwerk → **virtuelles Netz**

Wichtigstes Beispiel

- Das weltweite Internet

Internetworking (2/4)

Nachrichtenaustausch im Internet erfordert (1/3)

- Eindeutige Festlegung des Adressaten der Nachricht
 - jeder Teilnehmer des Internets braucht Internetadresse
 - Internetadressen sind weltweit eindeutig
 - Internetadressen sind hierarchisch aufgebaut
- Ermittlung des Übertragungsweges im Netzwerk
 - Nachricht wird über verschiedene Zwischenstationen zum Adressaten gesendet
 - Weg wird nicht beim Sender festgelegt, sondern von den beteiligten Zwischensystemen entschieden

Internetworking (3/4)

Nachrichtenaustausch im Internet erfordert (2/3)

- Übermittlung vollständiger Nachrichten
 - Internet basiert auf Übertragungsprinzip der Paketvermittlung:
 - Nachricht wird in kleine Datenpakete zerlegt, die jeweils mit allen Transportinformationen ausgestattet werden
 - Datenpakete werden dann einzeln und unabhängig über das Netzwerk versendet
 - Dabei muss sichergestellt werden, dass Empfänger die Datenpakete wieder in richtiger Reihenfolge zur vollständigen Nachricht zusammensetzen kann

Nachrichtenaustausch im Internet erfordert (3/3)

- Fehlerfreie Nachrichtenübermittlung
 - Durch Übertragungsfehler und Störungen können einzelne Datenpakete beschädigt werden oder ganz verloren gehen
 - Darum werden Mechanismen gebraucht, die Fehler erkennen und eventuell sogar automatisch korrigieren, z.B. durch erneute Anforderung eines verlorenen/beschädigten Pakets

Grundidee des Internetworking

Um in einem Internet die Kommunikation über verschiedene inkompatible physikalische Netzwerke hinweg mit jeweils eigenen Kommunikationsprotokollen und Formaten zu organisieren, wird eine

- **Internet-Protokollsoftware** oberhalb der technologiegebundenen Ebene eingeführt, die den Netzwerkverbund als nahtloses Kommunikationssystem – **virtuelles Netz** – erscheinen lässt
- Alle angeschlossenen Clients und Router müssen über diese Internet-Protokollsoftware verfügen
- Zusammenschluss der verschiedenen Rechnernetzwerke erfolgt mit Hilfe von Spezialrechnern – **Router** –, die an den einzelnen Netzwerkgrenzen
 - das Nachbarnetzwerk ermitteln, über das ein Datenpaket zu seinem Empfänger am besten transportiert wird und
 - es in das dort gültige Format überführen

TCP/IP Protokollstapel

Im weltweiten Internet eingesetzte **Internet-Protokollsoftware:**

- **TCP/IP-Protokollsuite** auch **TCP/IP-Protokollstapel** oder kurz **TCP/IP-Stack** genannt

Kommunikationsprotokolle der TCP/IP Protokollsuite gehören jeweils zu verschiedenen Schichten des **TCP/IP-Schichtenmodells:**

4	Application Layer
3	Transport Layer
2	Internet Layer
1	Link Layer

0	Hardware Layer
---	----------------



openHPI-Kurs Wie funktioniert das Internet?

Der TCP/IP Protokollstapel

Prof. Dr. Christoph Meinel
Hasso-Plattner-Institut
Universität Potsdam

TCP/IP-Protokollstapel (1/7)

Das der Kommunikation im Internet zugrundeliegende Schichtenmodell ist das TCP/IP-Schichtenmodell, auch **TCP/IP-Protokollstapel** oder **TCP/IP Stack** genannt mit den Layern

- (Hardware Layer)
- Link Layer
- Internet Layer
- Transport Layer
- Application Layer

Die Protokolle der einzelnen Schichten sind für die Lösung ganz bestimmter Aufgaben verantwortlich und fügen dazu den eigentlichen Nutzdaten eigene Fluss- und Verwaltungsinformationen hinzu → Overhead...

TCP/IP-Protokollstapel (2/7)

Hardware Layer

- Schicht unterhalb des TCP/IP-Referenzmodells
- Hier findet der Datentransport über das physikalische Übertragungsmedium statt
- Festlegung der zur Übertragung notwendigen elektrischen, mechanischen, funktionalen, ... Parameter ist Aufgabe der nächsthöheren Schicht

TCP/IP-Protokollstapel (3/7)

Link Layer (1/2)

... auch **Network Interface** oder **Physical Layer** sorgt für

- Verbindungsaufbau und Übereinkommen über logische Interpretation der übertragenen physikalischen Signale
- Gruppierung der Bitströme in größere logische Einheiten (Datenpakete)
- Datenpakete können Mechanismen zur Fehlererkennung/-korrektur enthalten
- ...

TCP/IP-Protokollstapel (4/7)

Link Layer (2/2)

Funktionale Trennung in die Aufgabenbereiche:

■ **Media Access Control – MAC**

- Steuerung des Zugriffs auf Übertragungsmedium
- bekannte MAC-Protokolle: Ethernet, Token Ring, FDDI, ...

■ **Logical Link Control – LLC**

- Verwaltung der logischen Verbindung einschließlich Fehleranalyse und Flusskontrolle

TCP/IP-Protokollstapel (5/7)

Internet Layer / Internetschicht

Stellt Transportdienst für Datenpakete bereit

- Ausgehend von dem für diese Schicht festgelegten Adressierungsschema wird hier für jedes Datenpaket der Weg vom Sender zum Empfänger durch das Netzwerk festgelegt
→ **Routing**
- Routing folgt unterschiedlichen Kriterien, z.B. maximaler Durchsatz, geringe Kosten, gleichmäßige Lastverteilung, bestmögliche Sicherheit, ...

TCP/IP-Protokollstapel (6/7)

Transport Layer / Transportschicht

Bereitstellung eines universellen Transportdienstes mit

- explizit geschalteten Verbindungen mit Auf- und Abbaumodalitäten
- gesicherten Qualitätskriterien
 - Fehlerkorrekturmethoden
 - korrekte Anordnung der übertragenen Datenpakete
- Datenflusskontrolle
 - zur gleichmäßigen Auslastung der Netzinfrastruktur
 - Drosselung des Übertragungsvolumens bei Überlast

TCP/IP-Protokollstapel (7/7)

Application Layer / Anwendungsschicht

Bereitstellung von Funktionen für Anwendungsprogramme, z.B. ermöglichen die folgenden Protokolle jeweils anderen Anwendungen die Nutzung des Internet

- FTP (File Transfer Protocol) – Datei Transfer
- HTTP (Hypertext Transfer Protocol) – WWW
- SMTP (Simple Mail Transfer Protocol) – Email
- ...

Anwendungen selbst (File Transfer, WWW, Email, ...) gehören nicht zur Anwendungsschicht, sondern stehen außerhalb des Protokollstapels

openHPI-Kurs Wie funktioniert das Internet?
Paketvermittlung

Prof. Dr. Christoph Meinel
Hasso-Plattner-Institut
Universität Potsdam

Paketvermittlung (1/6)

Telekommunikationsnetze sind traditionell leitungsvermittelt

Leitungsvermittelte Netze – Switching Networks,
z.B. ursprüngliches Telefonnetzwerk

- Kommunikationspartnern wird stehende Verbindung zur Verfügung gestellt, die nicht von anderen Kommunikationsteilnehmern mitgenutzt oder unterbrochen werden kann
- Verbindung wird über viele verschiedene Vermittlungsstationen geschaltet
- Beim Verbindungsaufbau entsteht Wartezeit
- Übertragung selbst erfolgt mit minimaler konstanter Verzögerung
- Kommunikationsteilnehmern wird feste Datenübertragungsrate geboten
- Kommunikationskosten sind proportional zur Verbindungsdauer
- Bereits Ausfall nur einer Vermittlungsstation zerstört Verbindung

Paketvermittlung (2/6)

- Bei Computerkommunikation beobachtet man im Datenaufkommen sehr starke Schwankungen – es treten Zeitintervalle – „**Bursts**“ – mit maximaler Aktivität auf
- Um ausfallsicheren und fairen Zugriff für alle Kommunikations Teilnehmer auf die gemeinsame Netzwerkinfrastruktur zu gewährleisten, werden Rechnernetze **nicht** nach dem Prinzip der Leitungsvermittlung organisiert, sondern nach dem Prinzip der **Paketvermittlung**
- Paketvermittlung ist auch das Grundprinzip der Kommunikation im Internet

Paketvermittlung (3/6)

- Bei **Paketvermittlung** werden Nachrichten in kurze Datenpakete oder Pakete zerlegt → „**Fragmentierung**“
- Pakete werden einzeln und unabhängig voneinander übertragen und beim Empfänger wieder zur eigentlichen Nachricht zusammengesetzt → „**Defragmentierung**“
- Transportweg „**Route**“ der einzelnen Pakete durch ein Internet ist nicht von vornherein festgelegt, Absender muss nur den Wegabschnitt zur nächsten Vermittlungsstation kennen
- Optimale Wege durch ein Internet werden durch spezielle → **Routing-Algorithmen** bestimmt

Paketvermittlung (4/6)

Vorteile der Paketvermittlung:

- Hohe Netzauslastung – einzelne Pakete sind sehr klein, Wartezeiten bleiben für alle Teilnehmer gering
- Faire Ressourcenzuteilung – Netz bietet Teilnehmern gleichberechtigte Nutzung, Teilnehmer versenden abwechselnd nach Zeitmultiplexingverfahren jeweils ein Paket
- Schnelle Fehlererkennung – aufgrund der geringen Paketgröße können Übertragungsfehler schnell erkannt und behoben werden, lediglich fehlerhafte Pakete müssen erneut übertragen werden
- Hohe Ausfallsicherheit – fällt Vermittlungsstation aus, wird Verkehr einfach über andere Vermittlungsstationen geleitet

Paketvermittlung (5/6)

Damit Paketvermittlung funktioniert, müssen Datenpakete mit zusätzlichen Verwaltungsinformationen ausgestattet werden:
Im Internet wird jedem Datenpaket (Datagram) ein **Paketheader** vorangestellt mit

- Adressinformation – Internetadresse von Sender und Empfänger
- Paketnummer – zur Rekonstruktion der eigentlichen Nachricht werden Pakete fortlaufend nummeriert
- Fülldaten – eventuelle Auffüllung der einzelnen Paketfelder zur vorgeschriebenen Größe
- Fehlererkennungsmechanismen – Zusatzdaten zur Erkennung von Übertragungsfehlern, z.B. Paritätsbits, Prüfsummen, ...

Paketvermittlung (6/6)

Nachteile der Paketvermittlung:

- Überlast (Congestion) – da Übertragungsrouten nicht festliegen, kann es zur Überlastung bei einzelnen Vermittlungsstationen kommen – vorhandener Zwischenspeicher läuft über, Pakete gehen verloren
- Komplexes Kommunikationsprotokoll – Datenübertragung bei Leitungsvermittlung ist vollkommen transparent, Teilnehmer können kommunizieren, wie sie wollen. Bei Paketvermittlung müssen alle Netzteilnehmer gleichem Netzwerkprotokoll folgen
- Keine Dienstgütegarantie – keine konstante Bandbreite für die Übertragung garantiert, Verzögerung kann relativ groß werden

Im paketvermittelten Internet können neben verbindungslosen Netzwerkdiensten auch verbindungsorientierte Dienste angeboten werden:

- **Verbindungsloser Dienst** – die einzelnen Pakete einer Nachricht werden unabhängig voneinander auf eigenen Wegen durch das Internet transportiert
- **Verbindungsorientierter Dienst** – Sender und Empfänger gewinnen Eindruck einer stehenden Verbindung: vor Übertragung der Pakete einer Nachricht wird virtuelle Verbindung aufgebaut, sodass Sender und Empfänger einander „kennen“ und die Kommunikation eindeutig identifiziert ist
 - **Vorteile:** Evtl. Vertauschung der Pakete wird automatisch korrigiert, weitere Sicherungsmechanismen können angewendet werden, da Kommunikation eindeutig identifiziert ist
 - **Nachteile:** Übertragungs-Overhead für einfache Dienste zu aufwändig

Fehlererkennung und -korrektur (1/2)

Zur zuverlässigen Datenübertragung über störungsanfällige Übertragungsmedien werden Mechanismen zur **automatischen Fehlererkennung** und **Fehlerkorrektur** eingesetzt

Grundidee:

Ausstattung der Pakete mit Zusatzinformationen die helfen, Fehler zu erkennen und evtl. korrekten Inhalt des Pakets zu rekonstruieren, z.B.

- Prüfsumme – Summe über alle Datenbits eines Pakets:
 - Sender berechnet Prüfsumme eines Pakets und hängt diese an das Paket an
 - Empfänger berechnet Prüfsumme des empfangenen Pakets und vergleicht diese mit der übertragenen Prüfsumme
 - Bei Nichtübereinstimmung fordert Empfänger Paket neu an

Fehlererkennung und -korrektur (2/2)

Maß für Übertragungsfehler ist **Bitfehlerrate**

- über festen Zeitraum gemessenes Verhältnis zwischen Zahl der fehlerhaft übertragenen Bits und Gesamtzahl der übertragenen Bits

Zwei Ansätze zum Umgang mit Fehlern:

- **fehlererkennende Codes** dienen der Veranlassung einer Übertragungswiederholung
- **fehlerkorrigierende Codes** ermöglichen automatische Rekonstruktion im Fehlerfall

Fügen den zu übertragenden Paketen **Redundanz** hinzu

Wichtige Verfahren:

- Paritätsbits, Hamming-Code, Matrix-Paritätsprüfung, Prüfsummenverfahren, Blockcodes, Faltungscodes, ...

openHPI-Kurs: Wie funktioniert das Internet?
Internetdienste und -anwendungen

Prof. Dr. Christoph Meinel
Hasso-Plattner-Institut
Universität Potsdam

Internetdienste und -anwendungen (1/5)

- Sinn und Zweck des Internet ist es, Dienst und Anwendungen über das Internet verfügbar zu machen bzw. die über das Internet miteinander interagieren zu lassen
- Popularität des Internet ist Resultat der Popularität der Internetanwendungen, wie z.B.
 - Datei Transfer
 - Email – elektronische Post
 - WWW
 - P2P-Netzwerke,
 - Soziale Netze ...
- Anwendungen können über das Internet genutzt werden dank der Internetprotokolle auf der Anwendungsschicht des TCP/IP-Protokollstapels

Internetdienste und -anwendungen (2/5)

Zu jeder Internetanwendung gehören wenigstens

- zwei kommunizierende Rechner, genauer
- zwei kommunizierende Anwendungen, noch genauer
- zwei kommunizierende Prozesse, die Instanzen dieser Anwendung

Kommunikation folgt dem **Client/Server-Prinzip**:

- Client fordert beim Server Dienstleistungen an, die dieser leistet oder mit einer Fehlermeldung quittiert

Internetdienste und -anwendungen (3/5)

Wichtige Gruppen von Dienstangeboten im Internet:

- **Verzeichnisdienste**

- geben Informationen zu technischen Ressourcen oder Personen, die im Internet erreichbar sind, z.B.
- DNS, X.500, LDAP, ...

- ...

Nachrichtenaustausch- und Informationsdienste

Erste Killerapplikation im Internet: **Email**

■ **Email** – elektronische Post

- Email-Client – stellt Nutzer Interface zur Verfügung, Nachrichten zu lesen, zu erstellen, zu versenden, ...
- Email-Server – übernimmt Kommunikation mit entlegenem Email-Server am Ort des Adressaten der Nachricht
- **SMTP** Standardprotokoll für Email-Anwendungen
- **POP3** und **IMAP** Internetprotokolle zum Abruf von Emails
- mit Hilfe des **MIME**-Standards können neben Text auch andere Datenformate, z.B. Fotos übertragen werden
- Emails können abgesichert übertragen werden mit **PGP**

Internetdienste und -anwendungen (5/5)

Datentransferdienste

Wichtigstes Beispiel:

- **WWW** - World Wide Web
 - WWW ist heute die Killerapplikation im Internet
 - WWW-Client „(WWW-)**Browser**“ bieten heute intuitiv zu bedienende, integrative graphische Nutzeroberfläche – **GUI – Graphical User Interface** – zum Zugriff auch auf andere Internet-Dienste
 - WWW-Server halten Websites bereit und organisieren Zugriff auf komplexe Anwendungen



Screenshot Microsoft Edge mit geöffneter openHPI-Webseite

Web-Anwendungen (1/3)

Weitere populäre Anwendungen im WWW

Viele WWW-Anwendungen sind Teil des alltäglichen Lebens geworden

- Suchmaschinen
 - Google, Bing, ...
- Soziale Netzwerke
 - Facebook, Instagram, ...
- Video-Plattformen
 - YouTube, Netflix, ...
- Online-Shopping
 - Amazon, Apotheke, Supermarkt,...



Web-Anwendungen (2/3)

Was passiert beim Aufruf von Google, Facebook, ... über den **Browser**?

Ablauf

- Aufruf des **Web-Browsers**, z.B. `http://www.google.de`
- **HTTP**-Anfrage an Google-Webserver
- **Server** nimmt Anfrage über **HTTP** entgegen und übergibt diese via **CGI**-Schnittstelle (oder andere Technologie) an ein anderes Programm. Dieses generiert Antwort in Abhängigkeit von:
 - der Anfrage und z.B. Cookies, URL-Pfad und -Query
 - seiner Datenbasis, z.B. Datenbank, Dateisystem
 - weiteren Parametern, z.B. Uhrzeit, Sprache, StandortUnd übergibt die Antwort via CGI an den Webserver
- Server sendet Antwort mittels **HTTP** an den Web-Browser
- Web-Browser stellt Antwort dar

Web-Anwendungen (3/3)

Was passiert beim Aufruf von Google, Facebook, ... oder andere Cloud-Dienste über eine entsprechende („native“) **App**?

Ablauf

- **App** wird auf Gerät (z.B. Smartphone) gestartet oder aus dem Hintergrundmodus („suspend“) aufgeweckt
- Benutzer fordert Daten an, z.B. öffnet Newsstream
- **REST**-Anfrage der App an den Server
- **Server** nimmt Anfrage entgegen und lässt über **CGI**-Schnittstelle eine Antwort generieren in Abhängigkeit von:
 - den REST-Ressourcen, z.B. Nutzer-Account, Nachrichten, ...
 - seiner Datenbasis, z.B. Datenbank, Dateisystem, ...
- Antwort wird über Server mittels **REST** an die App übertragen
- App generiert Darstellung der Antwort

openHPI-Kurs: Wie funktioniert das Internet?
Sicherheit im Internet?

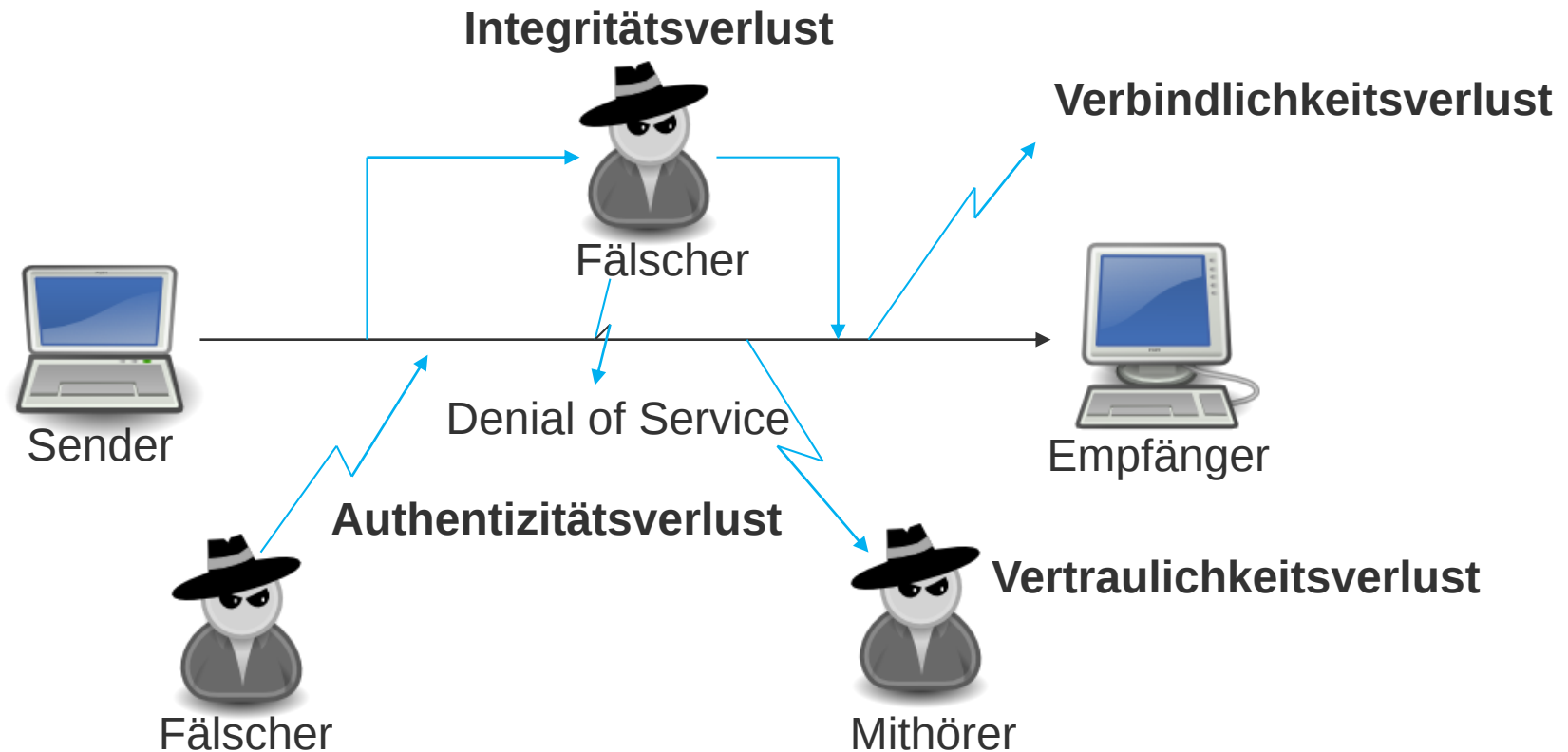
Prof. Dr. Christoph Meinel
Hasso-Plattner-Institut
Universität Potsdam

Sicherheit im Internet (1/7)

Verschiedene Aspekte der Sicherheit spielen wesentliche bzw. entscheidende Rolle für die Nutzung von Rechnernetzen

- **Geschlossene Netze** bilden eigenständige Inselnetzwerke, auf die von außen ohne physikalischen Zugang nicht zugegriffen werden kann
- **Offene Netze** verfügen über Anschluss an weltweites Internet und bieten so Zugriff von außerhalb
 - Offene Netze sind einer Vielzahl von Bedrohungen ausgesetzt

Unterschiedliche Arten der Bedrohung in Kommunikationsnetzen und im Internet:



Sicherheit im Internet (3/7)

Analyse der Bedrohungsarten führt zur Formulierung von **Sicherheitszielen**:

- **Vertraulichkeit / Privacy**

- ☐ Bedrohung z.B. durch Abhören („Eavesdropping“)

- **Authentizität / Authenticity**

- ☐ Bedrohung z.B. durch Vortäuschung eines falschen Absenders („Spoofing“)

- **Integrität / Integrity**

- ☐ Bedrohung z.B. durch Datenverfälschung bei Übertragung

- **Verbindlichkeit / Non-Repudiation**

- ☐ nicht abstreitbare, rechtsverbindliche Datenübertragung

- **Verfügbarkeit / Availability**

- ☐ Bedrohung z.B. durch gezielte Überlastung („Denial of Service“)

Sicherheit im Internet (4/7)

Man unterscheidet

- **aktive Angriffe**

- Angreifer verfälscht Inhalte, manipuliert Authentizität, überbeansprucht Netzdienste, usw.

- **passive Angriffe**

- Angreifer hört Kommunikation ab, spioniert Netzwerk aus, zeichnet Kommunikation auf, ...

Aktive Angriffe sind leichter zu erkennen als passive...

Sicherheit im Internet (5/7)

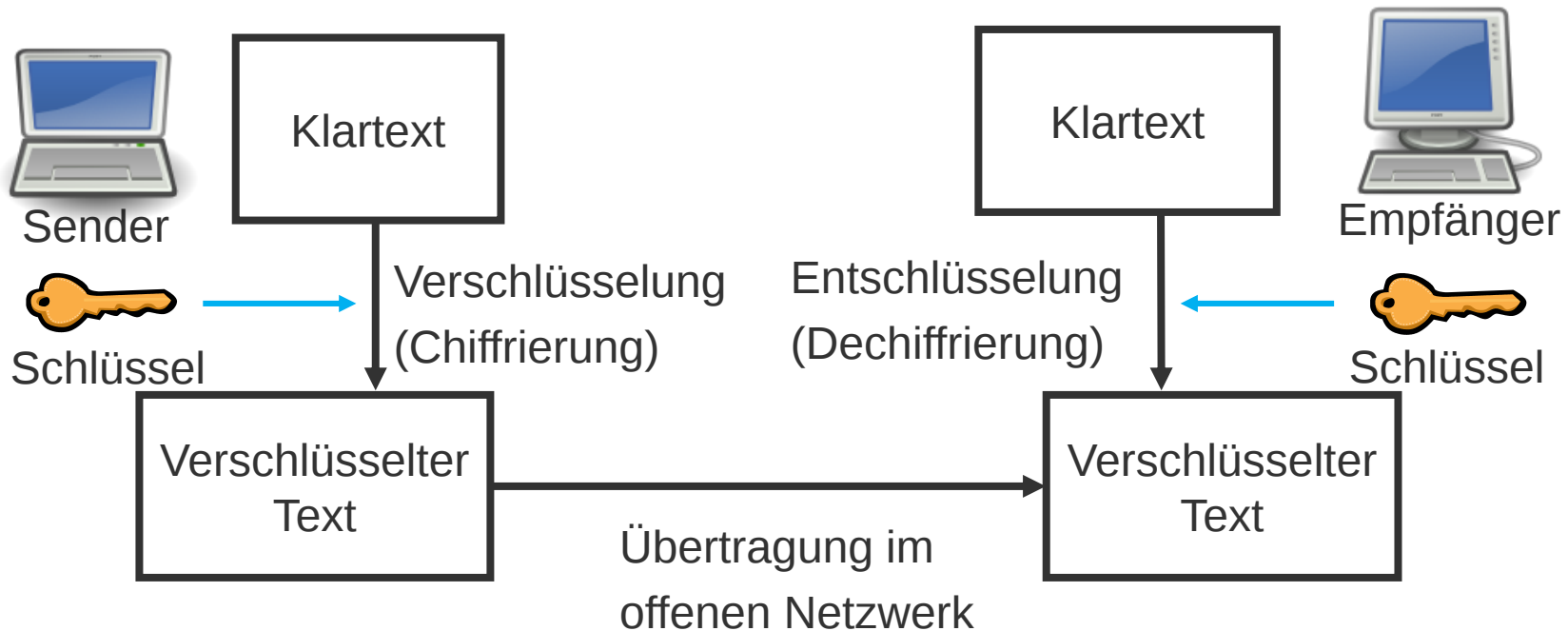
Kryptographie bietet Werkzeuge zur Absicherung der Kommunikation in offenen Netzen und Internet

Kryptographie ist mathematische Wissenschaft zur

- Verschlüsselung von Klartext („Plain Text“)
 - Umwandlung („chiffrieren“) in Schlüsseltext („Chiffretext“)
- Entschlüsselung von Schlüsseltext in Klartext

Verschlüsselungsverfahren/Chiffre ist Abbildungsvorschrift, die zusammen mit einer Geheiminformation, dem „Schlüssel“ – auswählbar aus einer astronomischen Menge ähnlicher Informationen –, angewandt wird

Sichere Kommunikation durch Kryptografie:



Sicherheit im Internet (7/7)

- System zur Ver- und Entschlüsselung „**Kryptosystem**“ besteht aus
 - einer Chiffre (Verschlüsselungsverfahren)
 - dem geheim zu haltenden Schlüssel „Secret Key“
 - einem Dechiffrierverfahren
- **Kryptokomplexität** - notwendiger Aufwand zur Ver- und Entschlüsselung
- Bei traditionellen **symmetrischen** oder **Secret-Key-Kryptosystemen** nutzen Sender und Empfänger den gleichen geheimen Schlüssel
- Bei modernen **asymmetrischen** oder **Public-Key-Kryptosystemen** werden zum Verschlüsseln und Entschlüsseln verschiedene Schlüssel benutzt