



Kommunikationsnetze 1

Kapitel 1: Einführung

Sommersemester 2024

Björn Scheuermann

Kommunikationssystem
Rechnernetzwerk
Netzwerk
Computernetz
Netz
Network
Net

Zusammenschaltung von Rechnern für den Datenaustausch
und zur gemeinsamen Nutzung von Ressourcen

In dieser Vorlesung vor allem (aber nicht nur): das Internet



■ LAN – Local Area Network

- ▣ Lokales Netzwerk, in der Verantwortung eines Betreibers (Firma, Privathaushalt,...)
- ▣ Ausdehnung bis max. wenige Kilometer
- ▣ häufigste Technologie: Ethernet

■ WAN – Wide Area Network

- ▣ Netzwerk über größere Strecken
- ▣ bis hin zum globalen Internet

■ Außerdem viele weitere Klassen (da werden gerne immer mal wieder neue erfunden):

- ▣ GAN – Global Area Network
- ▣ MAN – Metropolitan Area Network
- ▣ FAN – Field Area Network
- ▣ PAN – Personal Area Network

- Klassisches Altertum: Gerätschaften meist basierend auf optischer Information: Feuer-, Rauch- und Flaggenzeichen
 - ▣ Problem: Wetter, Tageszeit, Übermittlungsfehler
- 1794 optischer Telegraph von Claude Chappe für eine Nachrichtenstrecke von Paris nach Lille
 - ▣ ein Zeichen über 212 km (23 Poststationen) in 2 Minuten
 - ▣ Sichtverbindung der Stationen notwendig, nur bei guten Witterungsverhältnissen verwendbar
- Zügiger Aufbau eines von Paris sternförmig ausgehenden Telegraphennetzes



- 1833 Nadeltelegraph von Carl Friedrich Gauss und Wilhelm Weber
- Ab 1860 Fernschreibmaschinen (bis 1990 im Einsatz)
- Ab der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts: kontinentale Telegraphennetze über staatliche Grenzen hinweg in Europa und Amerika
- 1869 erstes transatlantisches Kabel zwischen Europa und Amerika



- Ab 1876 Individualkommunikation mit Patentanmeldung des Fernsprechers durch Alexander Graham Bell
- Wegbereiter:
 - ▣ Page (1837)
 - ▣ Manzetti (1844)
 - ▣ Boursoul (1854)
 - ▣ Meucci (1860)
 - ▣ Reis (1861)
- Ab 1877 zivile Nutzung des Telefons in Deutschland
- Ab 1878 Telefonnetze mit Vermittlungsstellen
 - ▣ „Fräulein vom Amt“

- 1892 erstes Selbstwahl-Vermittlungsamt in La Porte, Indiana
- Ab 1896 Wählscheibe von Ericsson



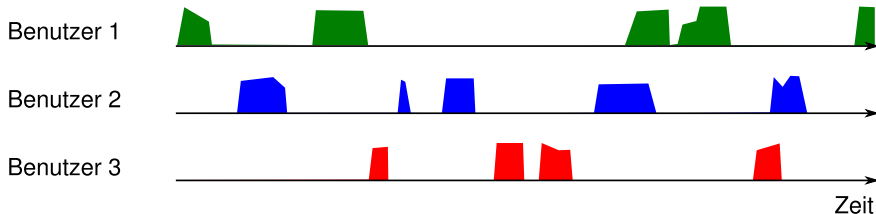


- Die ursprünglichen Telefonnetze waren sogenannte *leitungsvermittelte Netze* (engl. circuit switched networks)
- Beim Verbindungsaufbau („Wählen“) wird ein physikalischer Pfad zwischen Teilnehmern eingerichtet
- Die Kommunikationspartner (und alle Zwischenstationen im übertragenden Netzwerk) einigen sich also auf die Organisation einer Verbindung
 - *verbindungsorientiertes* Netzwerk
- Ursprünglich wirkliches „Durchschalten“ von Leitungen
 - ▣ in späteren Systemen abgebildet auf eine Reservierung von Übertragungskapazität entlang der gesamten Übertragungsstrecke



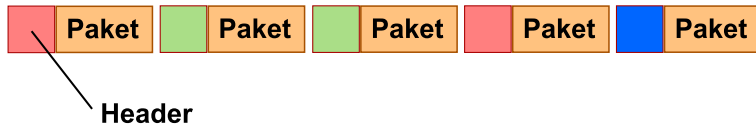
- In den frühen 1960er Jahren kamen immer mehr Computer in Gebrauch, die von mehreren Anwendern gleichzeitig genutzt werden sollten
- Es wurden Fernzugriffsmöglichkeiten auf die (teuren und seltenen) Computer entwickelt, z. B. über Analog-Modems und die bestehenden Telekommunikationsnetze
- Typisches Nutzungsmuster dabei war:
 - ▣ Absenden eines Kommandos durch den entfernten Nutzer über ein Ein-Ausgabegerät (Terminal)
 - ▣ Verarbeitung des Kommandos durch den Computer und Übertragung des Ergebnisses
 - ▣ Verarbeitung des Ergebnisses und Vorbereitung des nächsten Befehls durch den Nutzer

- Diskontinuierliches Übertragungsmuster: Die Leitung ist oft ungenutzt
- Dazwischen kurze, intensive Aktivitätsphasen („Bursts“)



- Idee in den 1960ern: Mehrere Benutzer teilen sich eine Übertragungsstrecke entsprechend ihrem *kurzfristigen* Bedarf und lasten sie damit besser aus

- Umgesetzt durch *Paketvermittlung*: Daten werden in kleine Einheiten – *Pakete* – zerlegt
- Die Pakete werden mit Steuerinformationen (vor allem: Adressinformationen) versehen
- Diese Steuerinformationen werden in aller Regel vor den eigentlichen Nutzdaten in einem *Header* übertragen



- Über eine Leitung können dann abwechselnd Pakete unterschiedlicher Verbindungen und Kommunikationspartner übertragen werden
- Im einfachsten Fall werden Pakete in der Reihenfolge weitergeleitet, in der sie ankamen
 - ▣ Folge: „stochastisches Multiplexing“



- Paketvermittlung kann *verbindungsorientiert* oder *verbindungslos* umgesetzt werden
- Verbindungsorientierte Paketvermittlung findet man z. B. in ATM-Netzwerken (Asynchronous Transfer Mode) in den Netzen von Telekommunikationsfirmen
- Verbindungslose Paketvermittlung ist das Kernkonzept des Internet
 - ▣ Idee: Jedes Paket enthält vollständige Adressinformationen
 - ▣ Pakete können unabhängig voneinander transportiert werden – ohne, dass jede Zwischenstation über jede existierende Verbindung Bescheid wissen muss (deshalb auch als „zustandslos“ bezeichnet)
 - ▣ der Absender kann ohne vorherige Ankündigung Pakete an beliebige Empfänger übertragen



- Paketvermittelnde Netzwerke können Übertragungskapazitäten effektiver ausnutzen
 - ▣ kommunizierende Rechner können die Übertragungsstrecke nach ihren Bedürfnissen verwenden, solange andere nicht gestört werden (Fairness)
- Die Vermittlungstechnik („Paket-Switch“, „Intermediate System“, „Router“) vereinfacht sich drastisch, wenn sie zustandslos sein darf
 - ▣ es ist nicht notwendig, in jeder Zwischenstation über jede einzelne aktive Verbindungen Buch zu führen

Welche (möglichen) Nachteile der zustandslosen Paketvermittlung sehen Sie?

- Nicht vorhersehbare Übertragungsraten:
 - ▢ nicht genau vorhersehbar, wie viele Daten in einem bestimmten Zeitraum übertragen werden können
 - ▢ Leitungsvermittlung ist hingegen immer deterministisch

- Nicht vorhersehbare Verzögerungszeiten:
 - ▢ Daten können wegen der gemeinsamen Nutzung der Übertragungsstrecke nicht zu beliebigen Zeitpunkten übertragen werden
 - ▢ Pakete werden in Warteschlangen eingereiht, bis die ausgehende Übertragungsstrecke frei wird
 - ▢ deswegen treten Verzögerungen (Latenzen) auf, die von Paket zu Paket unterschiedlich sein können und nur unter statistischen Annahmen vorhersagbar sind

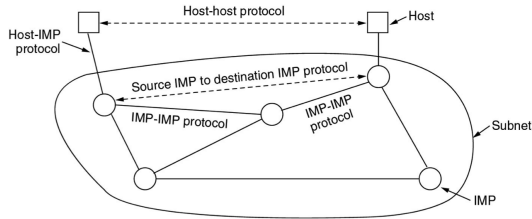
- Es kann zu Überlastsituationen in Routern kommen, wenn bei ihnen mehr Pakete ankommen als sie weiterleiten können



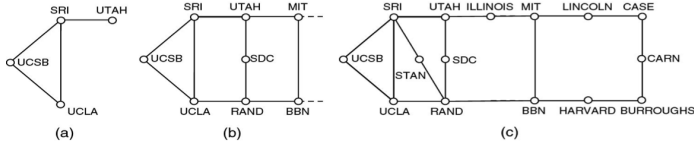
- Im Internet sind alle diese möglichen Nachteile tatsächlich vorhanden
- Es gibt keinerlei Garantien
 - ▣ wann und wie schnell ein Paket zugestellt wird
 - ▣ dass Pakete in derselben Reihenfolge ankommen, in der sie abgeschickt wurden
 - ▣ ob sie überhaupt zugestellt werden
- Das Netz „bemüht“ sich nur, die Daten zu ihrem Ziel zu transportieren (und das geht oft schief!)
- Das nennt man *Best-Effort-Dienst*
- Wird zuverlässige, reihenfolgeerhaltende Kommunikation benötigt, müssen sich die kommunizierenden Endgeräte darum selbst kümmern

- Trotz dieser Nachteile ist das Internet ein extrem erfolgreiches Netz
- Warum? Weil die Vorteile der Paketvermittlung die Nachteile in aller Regel mehr als aufwiegen
- Der Hauptgrund: Die Technik ist billiger *und* flexibler!
- Mit einem gegebenen finanziellen Aufwand kann im Vergleich zur Leitungsvermittlung ein (zu den meisten Zeitpunkten) leistungsfähigeres paketvermittelndes Netzwerk aufgebaut werden
- Mit ausreichend Überkapazitäten wirken sich die Nachteile der Paketvermittlung weniger aus
- Das bewusste Überdimensionieren eines Netzwerks, um z. B. Überlasteffekte zu vermeiden, wird *Overprovisioning* genannt

- Das ARPANET (Advanced Research Project Agency NET) war in den 1960ern das erste paketvermittelte Netzwerk
- 1967 paketvermitteltes Netzwerk
 - ▣ IMP – Internet(work) Message Processor
 - ▣ 56 kbit/s Standleitungen
- 1969 erste Protokolle von Studenten entwickelt, erster Betrieb, vier Netzwerkteilnehmer



Wachstum des ARPANET



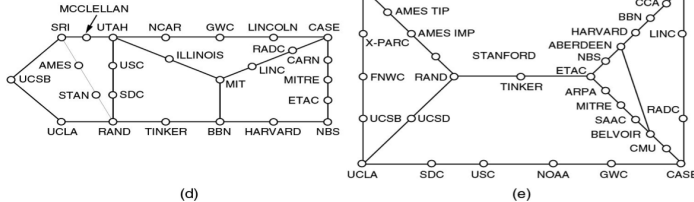
(a) Dezember 1969

(b) Juli 1970

(c) März 1971

(d) April 1972

(e) September 1972





- Das ARPANET war das erste paketvermittelte Netz – aber während der 1970er kamen immer mehr andere dazu
- Alle mit unterschiedlicher Technik
- Daher zunehmend die Frage, wie man sie verbinden kann
- Vinton Cerf und Robert Kahn entwickelten das (frühe) Transmission Control Protocol (TCP)
- Später Aufteilung in Internet Protocol (IP) und Transmission Control Protocol (TCP) – zusammen TCP/IP genannt
- Ermöglichte die Kommunikation zwischen Netzwerken („inter net“) und damit ein „Netz der Netzwerke“



- Ende der 1970er: ca. 200 ARPANET-Hosts
- 1983 wechselt das ARPANET zu TCP/IP
- Ende der 1980er ca. 100 000 Internet-Hosts
- Großteil des Wachstums durch Aufbau von Netzen, um Universitäten und Forschungseinrichtungen zu verbinden
- Anfang 1990er Abschaltung des ARPANET; wichtigstes Rückgrat im (nicht-militärischen) Internet dann: NSFNET
- Ab 1991 erlaubte NSFNET auch kommerzielle Nutzung
- 1995 Stilllegung des NSFNET, danach übernahmen kommerzielle ISPs (Internet Service Provider) die zentrale Rolle der Anbindung von Endgeräten und der Datenübertragung

- Das Internet in seiner heutigen Form entwickelte sich aus dem Zusammenschluss von immer mehr Netzwerken, die TCP/IP als Grundlage verwendeten
- Damit gewann TCP/IP als Grundlage für Netzwerke globale Bedeutung
- Ein wichtiger Grund für den Erfolg des Internets: flexibel und unabhängig von spezifischen Anwendungen
 - ▣ neue Anwendungen können implementiert und genutzt werden, ohne dass das Netz geändert werden muss
 - ▣ also ohne dass alle Netzteilnehmer sich neue Soft- oder Hardware besorgen müssen!



■ Ursprüngliche Haupt-Einsatzzwecke des Internet:

- ▣ E-Mail
- ▣ News (Newsgroups)
- ▣ Rechnerfernsteuerung (Remote Login, TELNET)
- ▣ Dateitransfer (FTP)

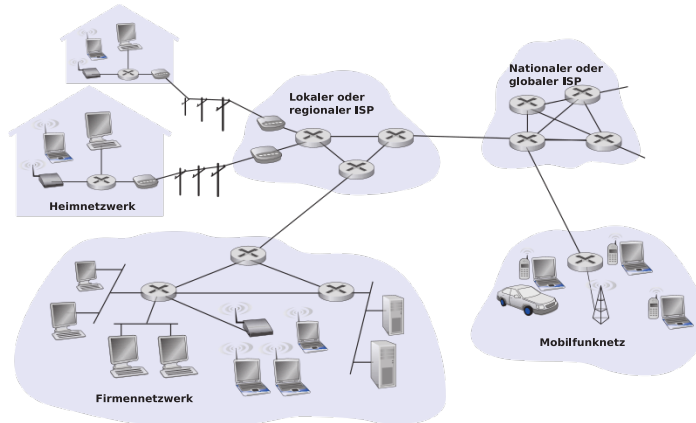
■ Umständliche Nutzung

■ Hauptanwender bis in die frühen 90er: Regierung, Forschungseinrichtungen, Industrie, Militär

- Vielleicht das wichtigste Ereignis der 1990er: Die Herausbildung einer neuen Anwendung des Internets, des *World Wide Web*
- Um 1990 von Tim Berners-Lee am CERN zur Informationsbereitstellung entwickelt
- 1993 erster Browser „Mosaic“ für Unix (X11) von Marc Andreessen entwickelt
- Ab den späten 90ern immer mehr kommerzielle Angebote
- Achtung: Das WWW ist *eine von vielen* Anwendungen des Internet!

Also: WWW \neq Internet!

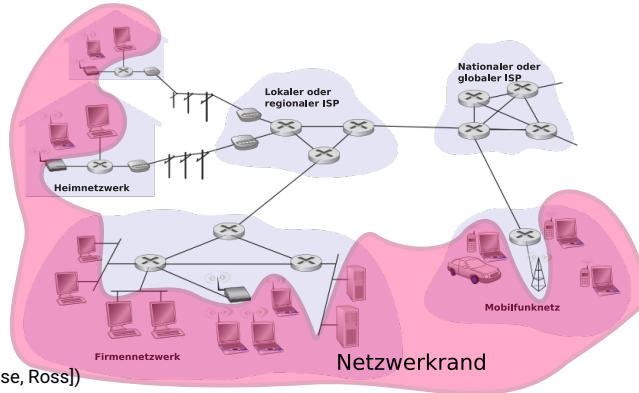
Das Internet heute: Überblick



(Abbildung: [Kurose, Ross])

Der Endgerätebereich: Hosts

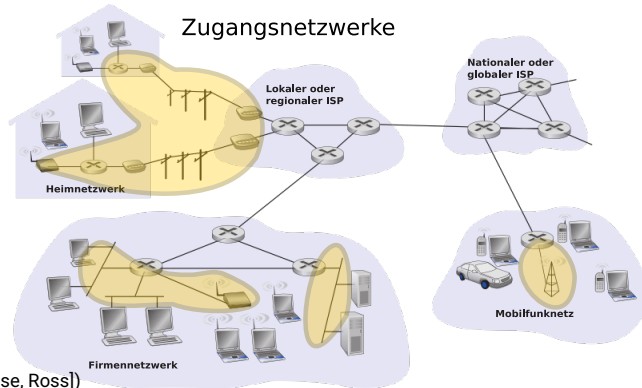
Der *Netzwerkrand* umfasst die Endgeräte (*Hosts*), die das Netz zur Kommunikation nutzen



(Abbildung: [angelehnt an Kurose, Ross])

Der Zugangsbereich

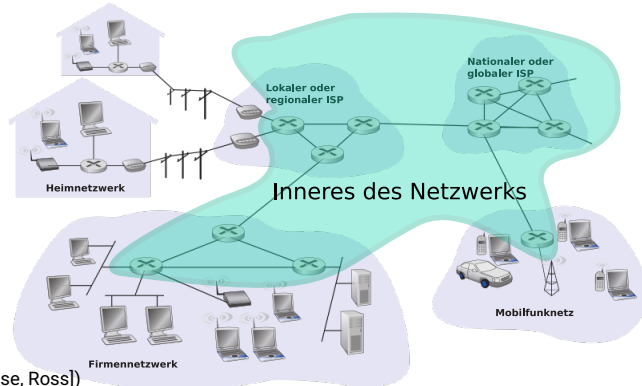
Hosts sind über *Zugangsnetzwerke* an die Übertragungsnetzwerke angeschlossen (DSL, Mobilfunk,...)



(Abbildung: [angelehnt an Kurose, Ross])

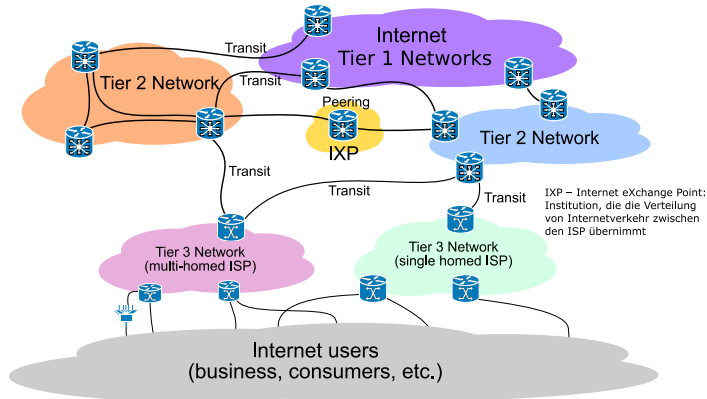
Der Übertragungsbereich

Der *Übertragungsbereich* besteht aus Links und Routern, die hauptsächlich von Providern (ISPs) bereitgestellt werden



(Abbildung: [angelehnt an Kurose, Ross])

- Eine Gruppe von ca. 10 Internet Service Providern (ISPs)
 - ▣ ist global aktiv
 - ▣ hat direkte Verbindungen zu jedem anderen
 - ▣ muss keinen anderen ISP dafür bezahlen, dass ihr Datenverkehr weitergeleitet wird (solche Verbindungen nennt man *Peering*)
 - ▣ Beispiele: AT&T, Sprint, NTT, Level 3, Deutsche Telekom
- Werden *Tier-1-ISPs* genannt (ist *kein* offizieller Status!)
- *Tier-2-ISPs* haben Verbindungen zu einem oder mehreren Tier-1-ISPs
 - ▣ nutzen dessen Netz, um Teile des Internet zu erreichen
 - ▣ müssen für diesen *Transit-Datenverkehr* bezahlen, sie sind also Kunden des Tier-1-ISP
 - ▣ sind außerdem mit einigen anderen Tier-2-ISPs direkt verbunden (*Peering*)
- Tier-3-ISPs kaufen Transit von Tier-2- und/oder Tier-1-ISPs



(Abbildung: [abgewandelt aus Wikipedia])

- Wir werden hier sehr viel über *Protokolle* sprechen
- Ein Protokoll ist eine „Sprache“, die zwischen Rechnern gesprochen wird
- Legt beispielsweise fest
 - ▣ welche Nachrichten(arten) existieren
 - ▣ welche Informationen diese in welcher Form und an welcher Stelle enthalten
 - ▣ wie sie dargestellt werden
 - ▣ wann welche Nachrichten verschickt werden dürfen/müssen
 - ▣ usw.
- Tatsächlich bedeutet das Verstehen von Computernetzwerken im Wesentlichen das Verstehen von Protokollen

Dies ist eine Vorlesung über Protokolle, ihre Funktionsweise,
ihre Eigenschaften und ihr Zusammenspiel!



- In praktischen Netzwerkarchitekturen bauen in aller Regel mehrere Protokolle aufeinander auf: *Schichtenstruktur* für Hard- und Software
- Ein Protokoll auf einer Schicht n realisiert eine bestimmte Funktionalität (seinen *Dienst*), die dann von einem anderen Protokoll auf Schicht $n + 1$ benutzt werden kann
- Schicht n kommuniziert mit Schicht n des Kommunikationspartners und „spricht“ dabei ein Schicht- n -Protokoll
- Das Protokoll auf Schicht n nutzt dabei den Dienstes von Schicht $n - 1$ und realisiert auf Schicht n einen anderen, „höherwertigeren“ Dienst
- Diesen Dienst bietet sie wiederum der darüberliegenden Schicht $n + 1$ an



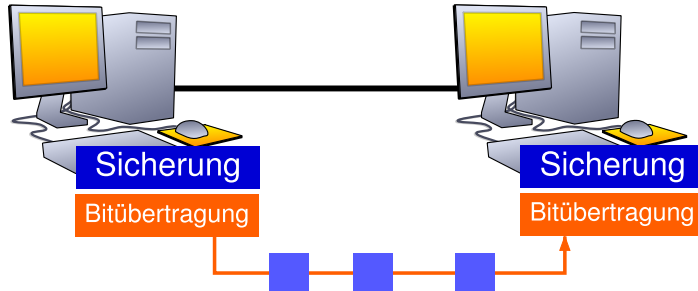
- Die in einem konkreten Fall „aufeinandergeschichteten“ Protokolle nennt man den *Protokollstapel*
- Hier interessiert uns ab sofort vor allem der Internetprotokollstapel
- Auch genannt TCP/IP-Protokollstapel, nach den beiden wichtigsten Protokollen
- Wir arbeiten uns jetzt einmal schnell von unten nach oben durch diesen Protokollstapel und schauen uns die Aufgaben und Dienste der einzelnen Schichten an
- Ziel: erster Überblick
- Der Rest des Semesters: noch ein Durchgang, aber langsamer, genauer und von oben nach unten



- Dienstmodell des *Netzwerkzugangs*: Übertragung von Paketen von einem Rechner zu einem direkt verbundenen anderen Rechner (über einen einzelnen *Link*)
- „Ganz unten“ wird zunächst angenommen, dass irgendein Übertragungskanal für eine Folge von Bits existiert
- Hinzu kommt Funktionalität, die auf dieser Basis die Übertragung einzelner Pakete ermöglicht und mögliche Übertragungsfehler erkennt
- Der Netzwerkzugang ist in TCP/IP-Netzwerken nicht näher spezifiziert, liegt gewissermaßen „unterhalb“ der dort definierten Funktionalität

In der Literatur oft weitere (aber nicht immer scharfe) Unterteilung in

- *Bitübertragungsschicht (Schicht 1)* (engl. *physical layer*)
- *Sicherungsschicht (Schicht 2)* (engl. *link layer*)



- Es wurden verschiedenste Hard-/Software-Komponenten entwickelt, die einen Dienst zur Übertragung zwischen direkt benachtbarten (d. h., miteinander verbundenen) Rechnern realisieren, z. B.
 - ▣ Verwendung von Telekommunikations-Netzwerken (z. B. DSL, ISDN, Modem-Verbindungen)
 - ▣ Punkt-zu-Punkt-Strecken zur direkten Verbindung von Geräten (z. B. RS-232, FireWire, HDMI, MIDI)
 - ▣ LANs zur Anbindung vieler Endgeräte wie Workstations oder Server (z. B. Ethernet, WiFi)
- Es gibt deshalb in TCP/IP-Netzwerken nicht „den“ Netzwerkzugang oder „die“ Sicherungsschicht, sondern es gibt viele verschiedene
- Alle mit demselben Dienstmodell: (unzuverlässige) Übertragung von Paketen an direkte Nachbarrechner



Einige typische Herausforderungen beim Entwickeln von Technologien auf den Schichten 1 und 2:

- Umgang mit Störungen/Bitfehlern auf der Übertragungsstrecke
- Medienzugriffsverfahren (wer darf wann senden)
- Beherrschung höchster (Terabit/s!) Datenraten bei Lichtleiterübertragung
- Probleme drahtloser Übertragungstechniken
- auftretende Übertragungsverzögerungen

- Für die Übertragung muss die Sicherungsschicht Informationen zum Datenpaket hinzufügen
- Je nach Technologie unterschiedlich, typische Felder sind aber Absender/Empfänger, Kontrollinformationen, Daten für die Fehlererkennung/-korrektur, usw.
- Dafür wird ein Header hinzugefügt
 - ▣ speziell auf der Sicherungsschicht verwenden viele Protokolle zusätzlich auch noch einen *Trailer* am Paketende

Header

Nutzdaten

Trailer

- Das übertragene Paket wird also in ein Sicherungsschicht-Paket „verpackt“

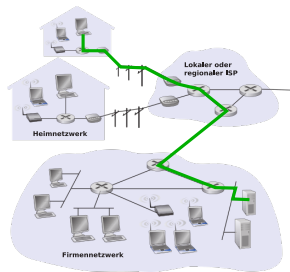


- Bei vielen Sicherungsschicht-Technologien werden die so entstehenden Pakete *Rahmen* (engl. *frame*) genannt
- Der Empfänger am anderen Ende der Leitung packt das Paket wieder aus, entfernt also Header und ggf. Trailer



- Im wahren Leben möchten wir die Pakete nicht nur über einzelne Links übertragen
- Stattdessen laufen sie typischerweise über längere Pfade mit mehreren Zwischenstationen (*Router*)
- Diese *Ende-zu-Ende-Übertragung* wird von der *Netzwerkschicht* implementiert
- Alle Rechner im Internet verwenden auf der Netzwerkschicht das Protokoll *IP (Internet Protocol)*
- Datenpakete, die in einem Host erzeugt werden, werden für die Übertragung um einen *IP-Header* ergänzt
- Enthält u.a. die Information, von welchem Host die Daten stammen und wohin sie übertragen werden sollen
- Dafür hat jeder Rechner im Internet eine weltweit eindeutige Adresse, die *IP-Adresse*
- Ein Paket mit einem IP-Header nennt man *IP-Paket* oder auch *Datagramm*

- Der IP-Header wird also einmal am Quell-Host an das Paket angefügt und erst am Ziel-Host wieder entfernt
- Unterwegs entscheidet jeder Router anhand der Zieladresse im IP-Header, über welchen seiner Links das Paket als nächstes übertragen werden soll
- Diesen Vorgang nennt man *Weiterleitung (Forwarding)*
- Das Bestimmen der kürzesten Wege zu jedem Ziel nennt man *Routing*
- Der Weg, den ein Datagramm im Netzwerk nimmt, heisst *Route*



-
- Das Diagramm zeigt die Interaktion zwischen drei Computer-Systemen, die jeweils in drei Ebenen unterteilt sind: Netzwerk (grün), Sicherung (blau) und Bitübertragung (orange). Die Ebenen sind durch Pfeile verbunden, die die Datenflussrichtung anzeigen. Ein zentraler Computer ist mit zwei anderen Computern verbunden. Die Ebenen sind durch Pfeile verbunden, die die Datenflussrichtung anzeigen. Ein zentraler Computer ist mit zwei anderen Computern verbunden.

- Der Dienst, den die Netzwerkschicht anbietet, ist also die Ende-zu-Ende-Übertragung von Paketen durch das Internet
- Damit können wir Datenpakete an den gewünschten Ziel-Host zustellen lassen
- Was uns die Netzwerkschicht *nicht* bietet ist
 - ▣ zuverlässige Datenübertragung
 - ▣ Reihenfolgeerhaltung
 - ▣ ...
- Außerdem laufen auf einem Host typischerweise *mehrere* kommunizierende Programme
- Wir haben noch keine Möglichkeit, Daten gezielt an eine *Anwendung* zuzustellen



- Diese Lücke zu schließen ist die zentrale Aufgabe der Transportschicht
- Die Transportschicht nutzt den Dienst der Netzwerkschicht für den Transport von Daten zwischen den Anwendungsprogrammen
- Deshalb muss sie es ermöglichen, einzelne Anwendungen zu adressieren
- Dafür werden sogenannte *Portnummern* verwendet – jeder Anwendung wird nach Bedarf (mindestens) eine Portnummer zugewiesen
- Die Absender- und Empfängerportnummer wird (mit anderen Steuerdaten) im Transportschicht-Header vermerkt

- Das Internet unterstützt beliebige Transportprotokolle
- Die mit Abstand am häufigsten eingesetzten sind TCP und UDP
- Das *User Datagram Protocol (UDP)* bietet einen unzuverlässigen Datagramm-Dienst von Anwendung zu Anwendung
- Keine Zuverlässigkeit, keine Reihenfolgeerhaltung, keine ... – aber einfach und schnell

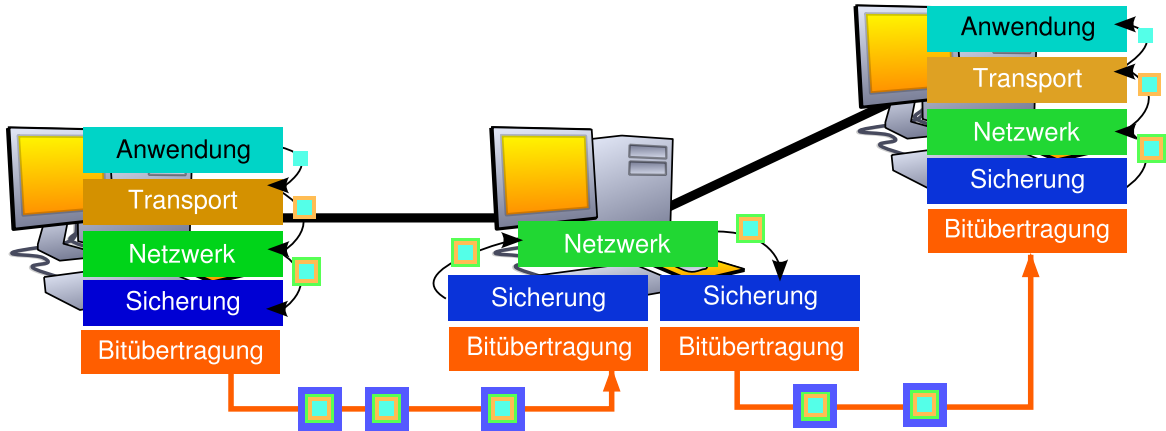
Welche Informationen würden Sie erwarten,
in einem UDP-Header zu finden?



- Das *Transmission Control Protocol (TCP)* ermöglicht die zuverlässige, reihenfolgeerhaltende Übertragung von Byteströmen von Anwendung zu Anwendung
 - ▣ „Bytestrom“ heißt, die Anwendung muss sich nicht darum kümmern, größere Datenmengen in einzelne Pakete zu zerlegen – das erledigt TCP
- Realisiert außerdem Funktionen zur Vermeidung von Überlast im Internet
- Sehr komplexes Protokoll, zu dem später noch einiges mehr folgt

-

- Anwendungsprogramme nutzen zur Kommunikation – über eine Programmierschnittstelle wie z. B. die Socket-API – direkt die Dienste der Transportschicht
- Ein Anwendungsentwickler muss sich deshalb für ein Transportschichtprotokoll entscheiden
- ...und auf Basis von dessen Dienstmodell sein eigenes Anwendungsprotokoll implementieren
- Beispiele für Anwendungsprotokolle:
 - ▣ das HyperText Transfer Protocol (HTTP) des WWW
 - ▣ das Simple Mail Transfer Protocol (SMTP) zur Übertragung von E-Mails
 - ▣ das BitTorrent-Protokoll für den kooperativen Datei-Download
 - ▣ das Session Initiation Protocol (SIP) für Internet-Telefonie
 - ▣ und viele mehr...



- Das Grundprinzip ist also immer dasselbe: Die n -te Schicht bietet der $n + 1$ -ten Schicht Dienste an und nutzt dafür die Dienste der $n - 1$ -ten Schicht

- Wenn also mit HTTP eine Webseite übertragen wird, dann wird diese Webseite
 1. in eine HTTP-Nachricht (mit HTTP-Header) verpackt und an TCP übergeben
 2. von TCP in Segmente zerlegt, die jeweils einen TCP-Header erhalten und so an die Netzwerkschicht übergeben werden
 3. dort erhalten sie einen IP-Header und werden an die Sicherungsschicht weitergereicht
 4. dort werden sie dann in Rahmen verpackt und an den nächsten Router übertragen



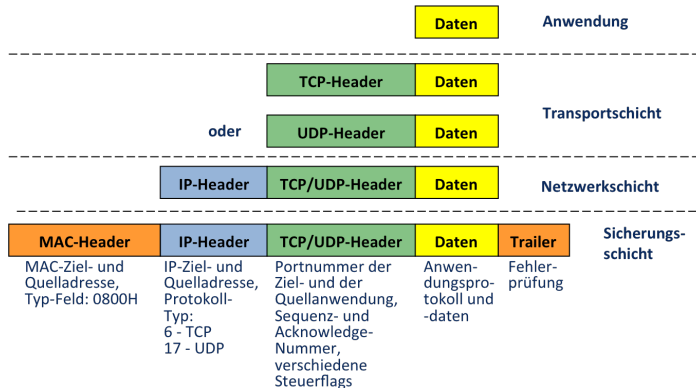
- Die IP-Pakete werden unabhängig voneinander über eine Folge von Links und Routern weitergeleitet

- Wenn sie am Ziel-Host ankommen, werden dort
 1. die IP-Header entfernt und die Pakete an die Transportschicht hochgereicht
 2. die Segmente ausgepackt und von TCP wieder richtig zu einem Bytestrom zusammengesetzt
 3. dieser Bytestrom an die Empfänger-Anwendung weitergegeben

Protokollheader-Schachtelung im TCP/IP-Stack



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



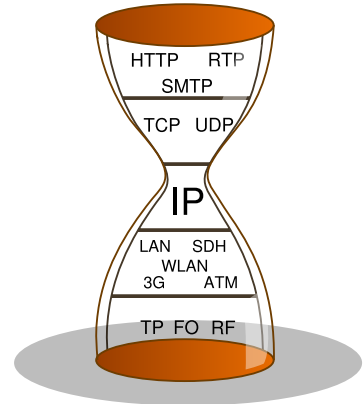
Welche Schichten müssen auf einem Router
im Inneren des Internet implementiert werden?

- Nur der Netzwerkzugang (Sicherheitsschicht und „darunter“) und die Netzwerkschicht!
- Transport- und Anwendungsschichtdaten weitergeleiteter Pakete sind für den Router vollkommen irrelevant
- Diese Schichten müssen deshalb nur auf den Endgeräten am Rand des Netzwerks vorhanden sein
- Dass so viel Funktionalität und Komplexität wie möglich an den Rand des Netzwerks verlagert wird, ist ein wesentliches Element der „Entwurfsphilosophie“ des Internet

Man nennt das das *Ende-zu-Ende-Prinzip*

Die enge Taille des Internet

- Das Internet unterstützt beliebige Anwendungs-Protokolle, mehrere Transportprotokolle und verschiedenste Netzwerkzugänge
- Allen Geräten im Internet ist jedoch die Verwendung des Netzwerkschicht-Protokolls IP gemeinsam
- Man spricht deshalb von der „engen Taille“ („narrow waist“) des Internet oder auch von einer Sanduhr-Architektur



(Abbildung: [abgewandelt nach Wikipedia])

- Als *Referenzmodelle* bezeichnet man „Muster-Schichtenarchitekturen“
- Legen fest, welche Protokollschichten existieren, welche Dienste sie anbieten, und teils auch, wie sie das realisieren
- OSI-Modell der ISO
 - ▣ ISO – International Standards Organization
 - ▣ OSI – Open Systems Interconnection
 - ▣ kaum implementiert, taucht aber immer wieder als *das* Referenzmodell auf
 - ▣ „Ordnung, die keiner will“
- TCP/IP-Protokollstapel
 - ▣ als Modell relativ unbrauchbar, aber in der Praxis heute allgegenwärtig
 - ▣ „Chaos, das funktioniert“

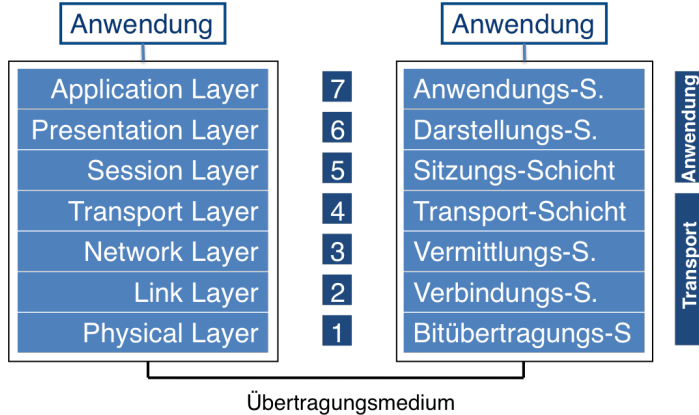


- Situation Ende der 70er Jahre:
 - ▣ herstellerspezifische Eigenschaften unterbinden Interoperabilität zwischen Rechnernetzen
 - ▣ Wunsch nach der Entwicklung einer standardisierten Plattform für rechnerbasierte Kommunikationsnetze

- Dadurch motiviert: bis 1983 ISO-Aktivitäten
 - ▣ ISO/OSI-Basisreferenzmodell (OSI-ISO-Standard 7498)
 - ▣ Entwicklung von Standards für offene Kommunikationssysteme
 - ▣ keine Implementierungsspezifikation

- Modell mit sieben Schichten

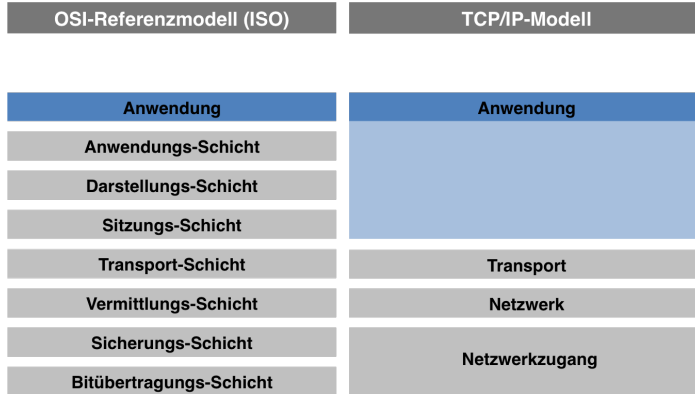
Das ISO/OSI-Referenzmodell



Im Vergleich zum TCP/IP-Protokollstapel fällt vor allem die feinere Unterteilung im Bereich der oberen Schichten auf:

- *Sitzungsschicht*: Eröffnung, Durchführung und Beendigung einer Kommunikation
- *Darstellungsschicht*: Bereitstellung von Mitteln zur eindeutigen Benennung und Darstellung von Informationen
- *Anwendungsschicht*: Bereitstellung der *kommunikationsrelevanten* Teile eines Anwendungsprogramms

Vergleich der Modelle



- Viele Gemeinsamkeiten zwischen ISO/OSI und TCP/IP
- Größter Beitrag des OSI-Modells:
 - ▣ Unterscheidung von Dienst, Interface, Protokoll
- TCP/IP-Modell liefert keine vollständige Trennung der Schichten
 - ▣ z.B. werden dort Adresse der Netzwerkschicht (IP-Adressen) für einzelne Netzwerk-Interfaces (Hardware) vergeben
- Da das OSI-Modell vor den Protokollen entwickelt wurde, ergab sich im nachhinein Änderungsbedarf
 - ▣ z.B. nachträgliche Trennung der Schicht 2 in LLC- und MAC-Schicht (Broadcast-Netze waren nicht berücksichtigt worden)
- Das TCP/IP-Modell entwickelte sich aus existierenden Netzwerken und war deshalb von vorn herein „komplett“ – in das Modell passte jedoch kein anderer Protokollstack

- Im Bereich der Netzwerke sind (sauber definierte) Standards besonders wichtig: Oft müssen Geräte und Implementierungen vieler verschiedener Hersteller nahtlos zusammenspielen
- Einerseits existieren „De-facto“-Standards durch Herausbildung einer entsprechenden Marktdominanz:
 - ▣ IBM-PC
 - ▣ UNIX
 - ▣ Ethernet (ursprünglich)
- Andererseits gibt es Gremien, die Standards entwickeln und definieren:
 - ▣ Telekommunikation – ITU
 - ▣ allgemeine Standardisierungsgremien – ISO, IEEE, NIST, ETSI
 - ▣ Internet-Standards – IETF

LAN-Standards (IEEE-Standardfamilie 802)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Nummer	Thema
802.1	Übersicht / Architektur von LANs
802.2	Logical Link Control
802.3	Ethernet
802.4	Token Bus
802.5	Token Ring
802.6	Dual Queue Dual Bus (frühe MAN-Technik)
802.7	Tech advisory group Breitbandtechnologien
802.8	Tech advisory group Glasfasertechnologien
802.9	Isochrones LAN (für Echtzeitanwendungen)
802.10	Virtual LANs und Sicherheit
802.11	Wireless LANs
802.12	Demand Priority (HP AnyLan)
802.13	(Unglückszahl, wollte keiner haben)
802.14	Kabelmodems (nutzt keiner, Industriekonsortium war schneller)
802.15	Personal Area Networks (Bluetooth)
802.16	Breitband-Wireless (WiMax)
802.17	Resilient Packet Ring

- Mit dem ARPANET entstand das IAB (Internet Activities Board, später Internet Architecture Board)
- Aufgabe: Koordinierung der Forscher und Entwickler (Studenten)
- Kommunikation über Veröffentlichung von technischen Dokumenten, RFCs (Request For Comments)
- RFCs = Standards des Internet
- RFCs sind öffentlich (www.ietf.org/rfc), chronologisch durchnummeriert (2012: > 6000)
- Seit 1989 Aufspaltung in IRTF (Internet Research Task Force, zukünftige Entwicklungen) und IETF (Internet Engineering Task Force, kurzfristige technische Aufgaben)

- RFCs (Requests for Comments) sind die Dokumente – unter anderem Standards – der IETF
- Weg eines RFC
 1. „Vorgeschlagener Standard“ (Proposed Standard):
 - vollständige Beschreibung der Grundidee in Form eines RFC
 - Internet-Gemeinschaft hat ein ausreichendes Interesse
 2. „Entwurf eines Standards“ (Draft Standard):
 - funktionsfähige Implementierung
 - ausgiebige Tests von unabhängigen Gruppen über mindestens vier Monate
 3. RFC wird zum Standard erklärt

- Im Weiteren betrachten wir wesentliche Schichten moderner Netzwerke detaillierter

- Als Beispiele dienen uns Protokolle und Technologien aus der Welt des Internet

- Wir arbeiten uns von oben nach unten durch den Protokollstapel:
 - ▣ einige Anwendungs-Protokolle aus der TCP/IP-Welt
 - ▣ die Transportschicht mit TCP und UDP als Beispiel
 - ▣ die Netzwerkschicht mit IP und anderen, unterstützenden Protokollen
 - ▣ Sicherung und Bitübertragung, v. a. Rahmenbildung und Medienzugriffsverfahren