



Vorlesung Informatik
Dr. Harald Sack
Institut für Informatik
Friedrich Schiller Universität Jena

Sommersemester 2007

<http://www.informatik.uni-jena.de/~sack/>

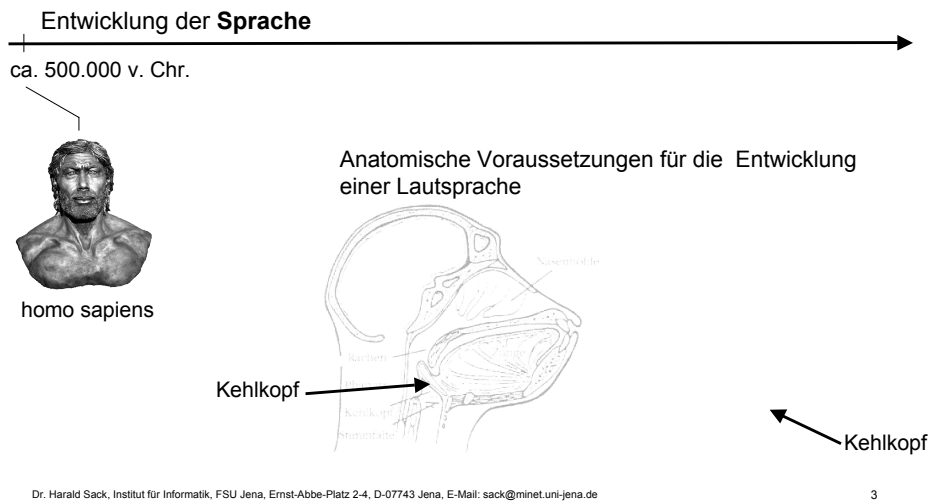
Technische Grundlagen des Internet

ein chronologischer Abriss über

- historische Grundlagen
- Netzwerktechnologie
- Kommunikationsprotokolle
- Internetworking
- Internetanwendungen
- World Wide Web
- Internetorganisationen
- ...

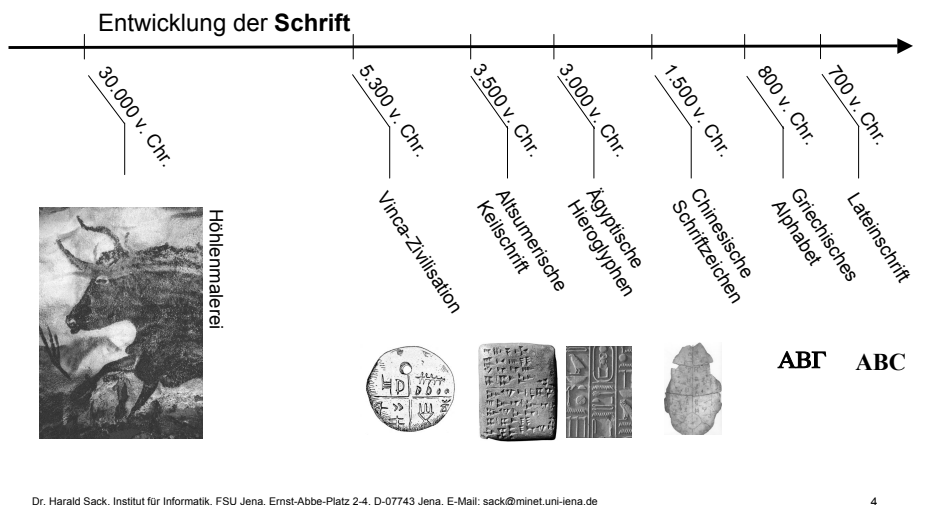
Technische Grundlagen des Internet

Prä-Internet Timeline



Technische Grundlagen des Internet

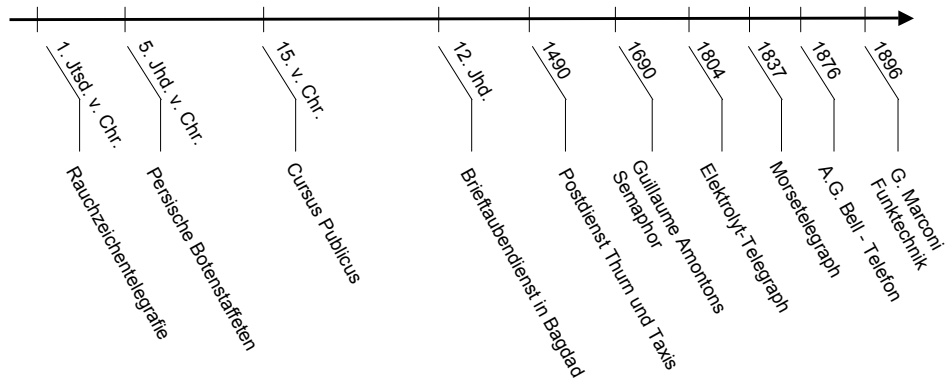
Prä-Internet Timeline



Technische Grundlagen des Internet

Prä-Internet Timeline

Entwicklung der **Telekommunikation**



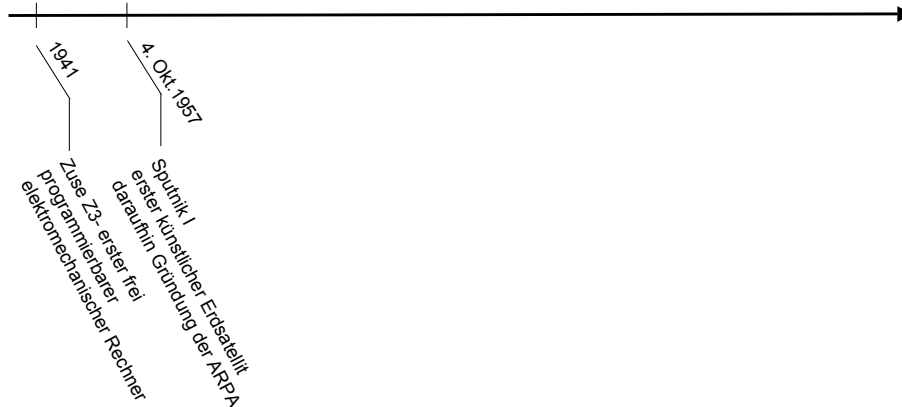
Dr. Harald Sack, Institut für Informatik, FSU Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07743 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

5

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

Entwicklung der **Rechnerkommunikation**



Dr. Harald Sack, Institut für Informatik, FSU Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07743 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

6

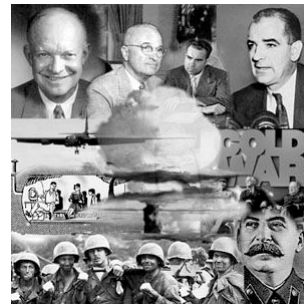
Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- **4. Oktober 1957** - der „Sputnik Schock“



...und der kalte Krieg“



Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- **1958** – Gründung der ARPA
- **Advanced Research Projects Agency**
 - finanziert Forschungseinrichtungen
 - soll technologische Vormachtstellung der USA sichern (...zurückgewinnen)
 - 1972 in DARPA umbenannt

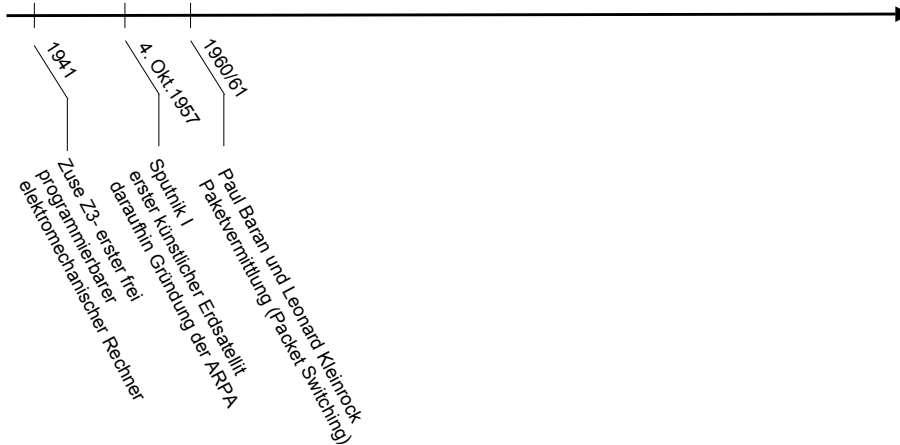


➡ Gewährleistung ausfallsicherer Kommunikation

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

Entwicklung der **Rechnerkommunikation**



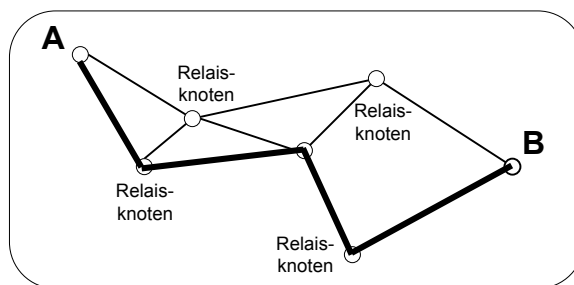
Dr. Harald Sack, Institut für Informatik, FSU Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07743 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

9

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- 1960 - Leitungsvermittlung



Circuit Switching

z.B. Telefonnetz

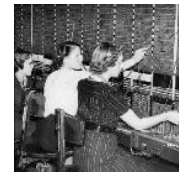
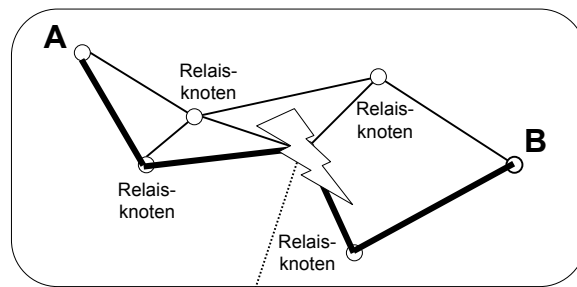
Dr. Harald Sack, Institut für Informatik, FSU Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07743 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

10

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- 1960 - Leitungsvermittlung

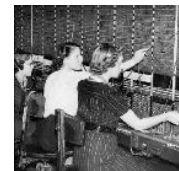
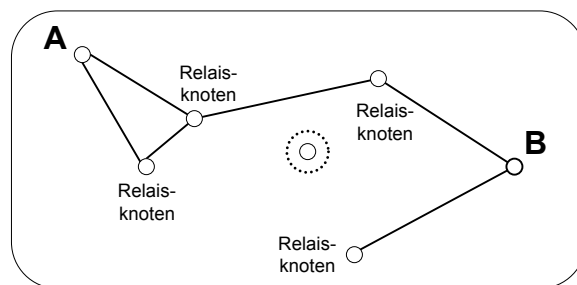


Ausfall eines Relaisknoten

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- 1960 - Leitungsvermittlung



Verbindung bricht zusammen

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

○ 1960 / 1961 - Paketvermittlung

● **Idee:**

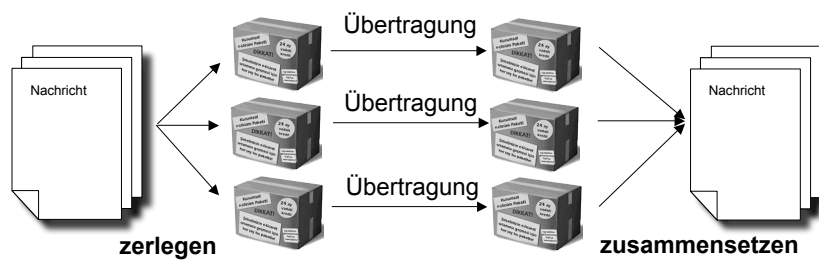
- nutze das **gesamte Netzwerk** (alle Wege...)
- zerlege die Nachricht zum Senden in **einzelne Pakete**
- **setze** die Nachricht beim Empfänger **wieder zusammen**



Paul Baran
(1960)



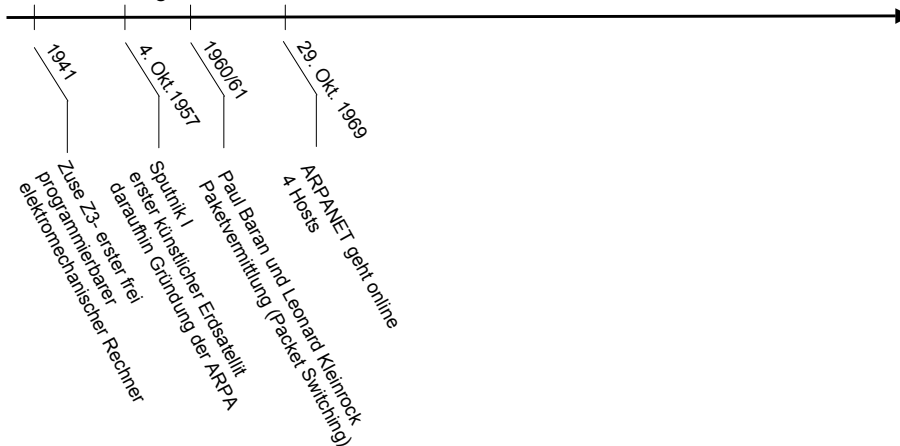
Leonard
Kleinrock
(1961)



Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

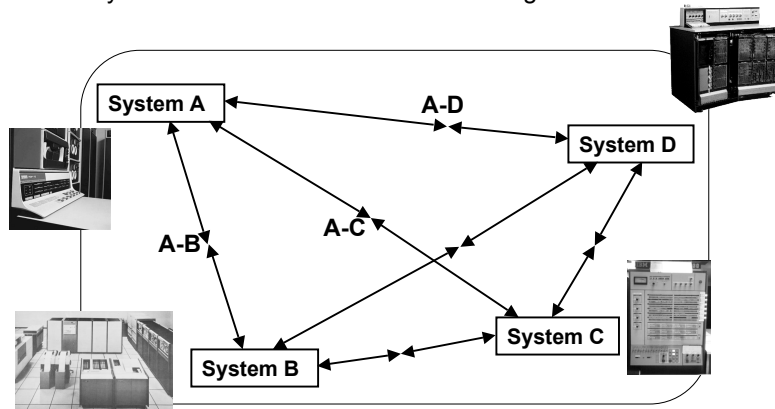
Entwicklung der **Rechnerkommunikation**



Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- 1969 – Rechnerkommunikation
Babylonische Vielfalt und einfache Lösung



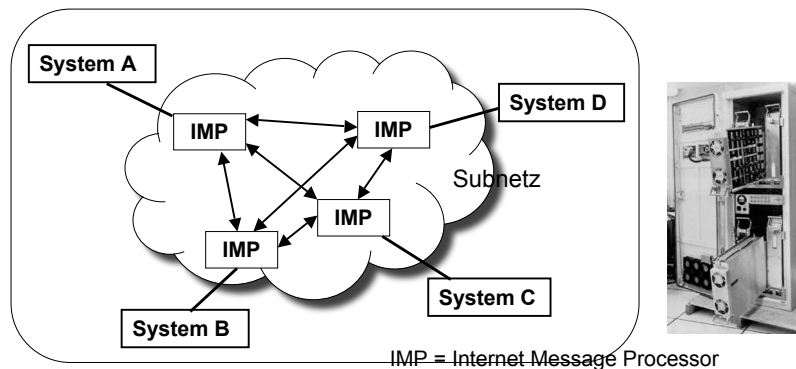
Dr. Harald Sack, Institut für Informatik, FSU Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07743 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

15

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- 1969 – Rechnerkommunikation
Babylonische Vielfalt und einfache Lösung



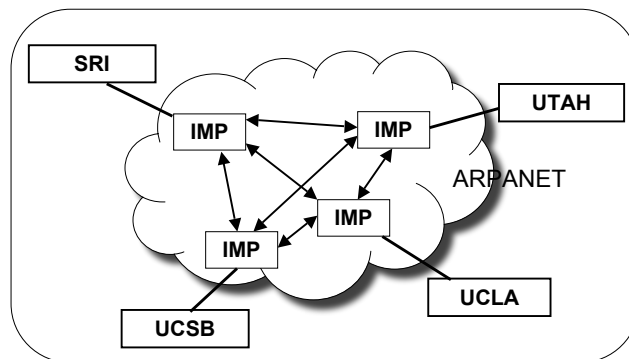
Dr. Harald Sack, Institut für Informatik, FSU Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07743 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

16

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- 29. Oktober 1969 22:30 PCT – ARPANET
das erste Login....



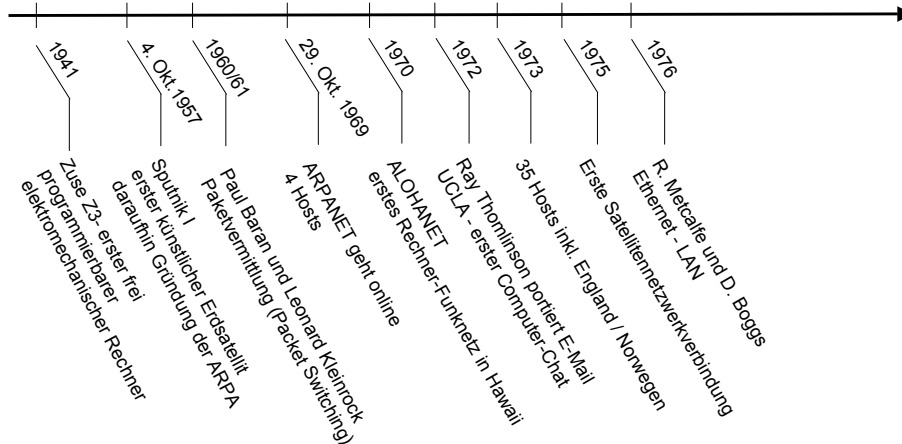
Dr. Harald Sack, Institut für Informatik, FSU Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07743 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

17

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

Entwicklung der **Rechnerkommunikation**



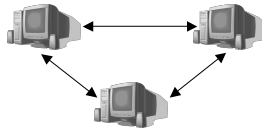
Dr. Harald Sack, Institut für Informatik, FSU Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07743 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

18

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- 1976 – Grundprinzipien der Rechnernetzung
 - Einfachste Variante: **Punkt-zu-Punkt Verbindung**



- **Problem:** quadratisches Wachstum der benötigten Verbindungen

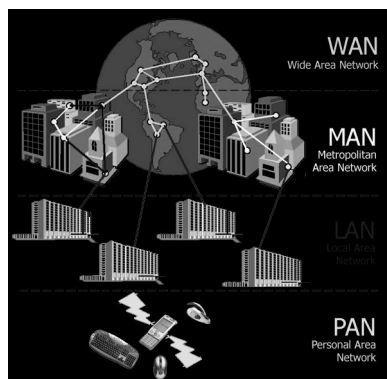
$$n \text{ Rechner} \rightarrow \frac{n \cdot (n-1)}{2} \text{ Verbindungen}$$

- **Idee:**
 - **gemeinsame** Nutzung des Netzwerks.
 - Computer senden **abwechselnd** Datenpakete über **ein gemeinsames** Kommunikationsmedium

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- 1976 – Grundprinzipien der Rechnernetzung



WAN - Wide Area Network

Vernetzung von mehreren Städten, Ländern, Kontinenten (skalierbar)

MAN - Metropolitan Area Network

Vernetzung einer Stadt

LAN - Local Area Network

Vernetzung von Gebäuden

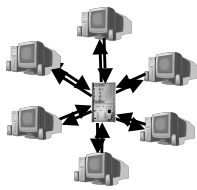
PAN – Personal Area Network

Mini-Vernetzung im persönlichen Umfeld

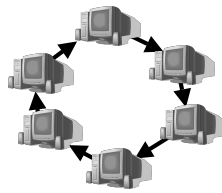
Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

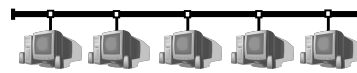
- 1976 – Grundprinzipien der Rechnernetzung
 - Lokale Netze (LANs) lassen sich nach ihrer Topologie klassifizieren



Sterntopologie



Ringtopologie



Bustopologie

Technische Grundlagen des Internet

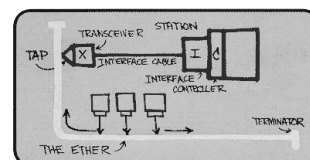
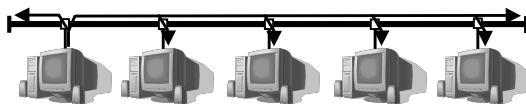
Internet Timeline

- 1976 – Ethernet
 - 1973 von Robert Metcalfe am PARC entwickelt
 - 1976 publiziert
 - entwickelt sich zum LAN-Standard



Robert Metcalfe

Ethernet Prinzip



Original Entwurfskizze (1973)

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

○ 1976 - Ethernet



- **Ethernet-LAN** besteht ursprünglich aus einem einzigen Koaxialkabel – das so genannte **Ether** - an das mehrere Computer angeschlossen sind
- heute existieren **viele verschiedene Ethernet Standards**
- unterscheiden sich alle in
 - Geschwindigkeit
 - Gesamtlänge und
 - im Abstand der Computer untereinander
- Bsp.
 - **10Base2** (1988): Bandbreite 10 Mbps, max. Kabellänge: 185m
 - **10GBaseX** (2002): Bandbreite 10.000 Mbps, max. Kabellänge: 40 km

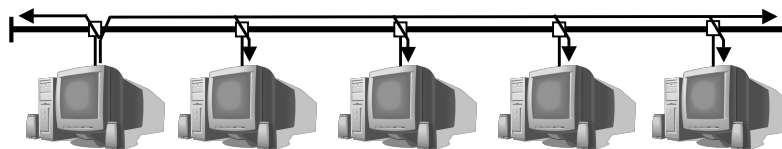
Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

○ 1976 - Ethernet

● Das Ethernet-Prinzip

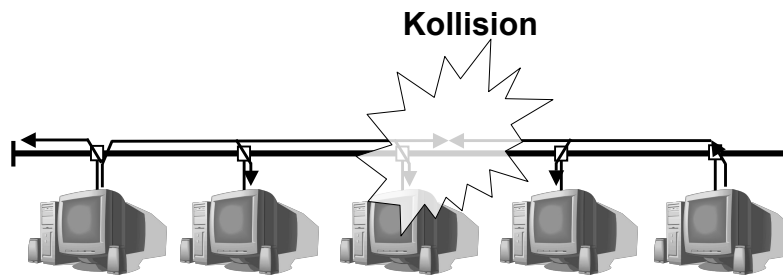
- zur **Kommunikation** sendet der Computer ein Signal an **beide Enden des Kabels**.
- Während Übertragung darf **nur der sendende** Computer das gesamte Kabel nutzen - alle **anderen** müssen **warten**
- nach der Übertragung kann der **nächste** senden



Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- 1976 - Ethernet
 - **Problem:**
Was passiert, wenn zwei Rechner **annähernd gleichzeitig** mit dem Senden beginnen?



Dr. Harald Sack, Institut für Informatik, FSU Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07743 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

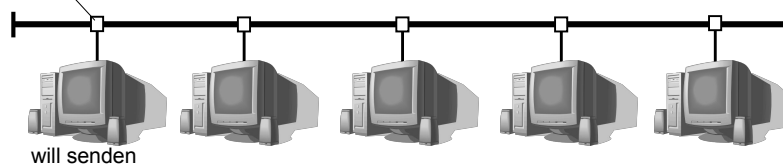
25

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- 1976 - Ethernet
 - **Lösung:**
Netzwerkadapter kann auf den Bus hinaus „**lauschen**“, ob
 - gerade eine Kommunikation stattfindet
 - gerade eine Kollision stattgefunden hat
 - die Leitung frei ist

Netzwerkadapter lauscht



Dr. Harald Sack, Institut für Informatik, FSU Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07743 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

26

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- 1976 – Ethernet
- **Problem:** Wer entscheidet, welcher Rechner senden darf?

CSMA/CD-Algorithmus

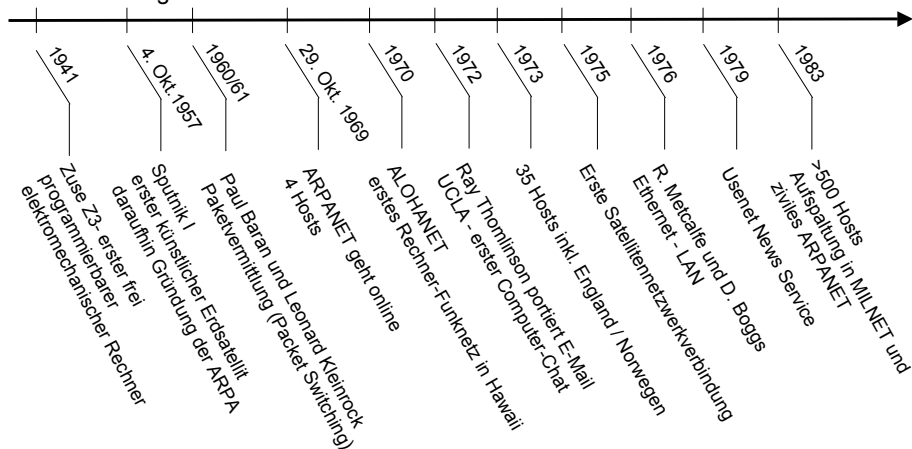
Carrier **S**ense with **M**ultiple **A**ccess / **C**ollision **D**etect and **B**ackoff

- lausche auf Kabel und **warte bis das Kabel frei** ist
- senden zwei Computer **gleichzeitig**, entsteht eine **Kollision**
- wird Kollision erkannt, wird **Übertragung abgebrochen**
- und **exponentieller Backoff** gestartet:
 - wähle zufälliges **Zeitintervall** bis zum nächsten Übertragungsversuch. wenn weitere Kollision, verdopple die Wartezeit

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

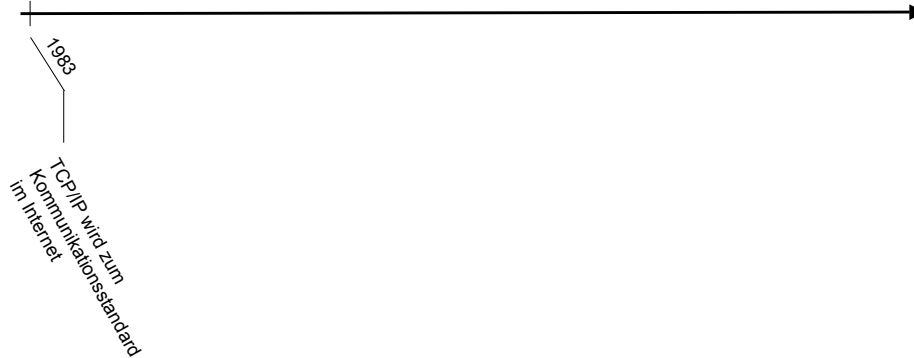
Entwicklung der **Rechnerkommunikation**



Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

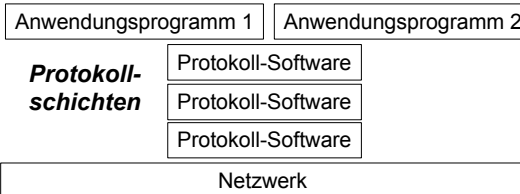
Entwicklung der **Internetkommunikation**



Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

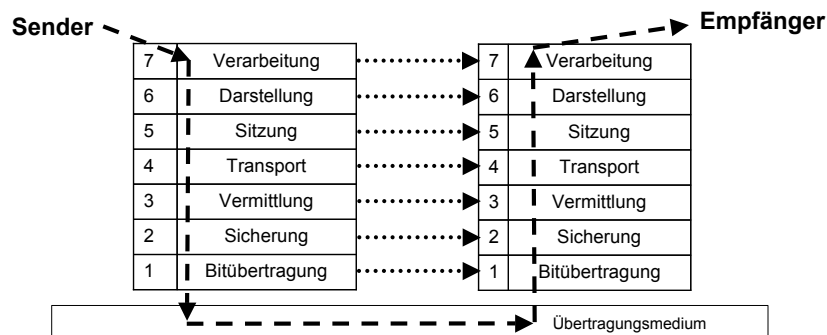
- **1983** – TCP/IP Protokoll
 - **Netzprotokoll** oder **Kommunikationsprotokoll**
 - Sammlung von **Vereinbarungen und Regeln**
 - Spezifiziert **Nachrichtenformate** und erforderliche **Aktionen** zur Nachrichtenübermittlung
 - **Protokoll-Software**
 - implementiert Netzprotokoll
 - komfortable und anspruchsvolle **Schnittstelle** zum Netzwerk



Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline


- 1983 – TCP/IP Protokoll
- das **ISO/OSI-Referenzmodell** war historisch das erste Schichtenmodell der Rechnerkommunikation



Technische Grundlagen des Internet

- Rechnernetzung – ein kleiner Exkurs
- **Schichtenmodell der Kommunikation – eine Analogie...**

Tanti Auguri!




italiano

➔

Problem

????

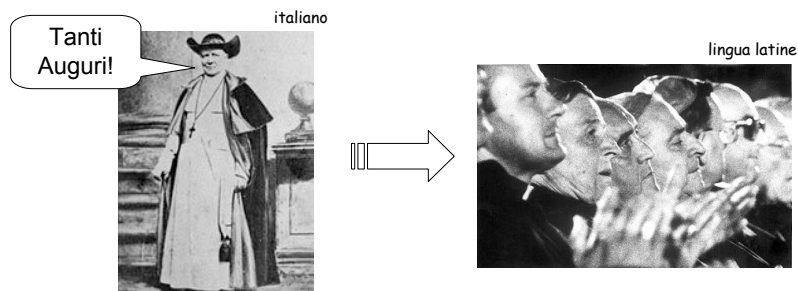


hindi

1874: Papst Pius IX. möchte dem Maharadscha von Pannah zum Geburtstag gratulieren

Technische Grundlagen des Internet

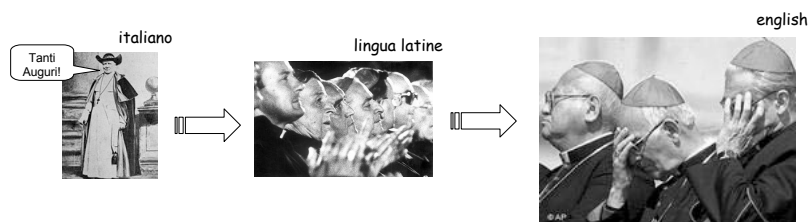
- Rechnernetzung – ein kleiner Exkurs
 - Schichtenmodell der Kommunikation – eine Analogie...



das Kardinalskollegium findet die Idee toll und lässt die vom Papst diktierte Botschaft **ins Lateinische** übersetzen

Technische Grundlagen des Internet

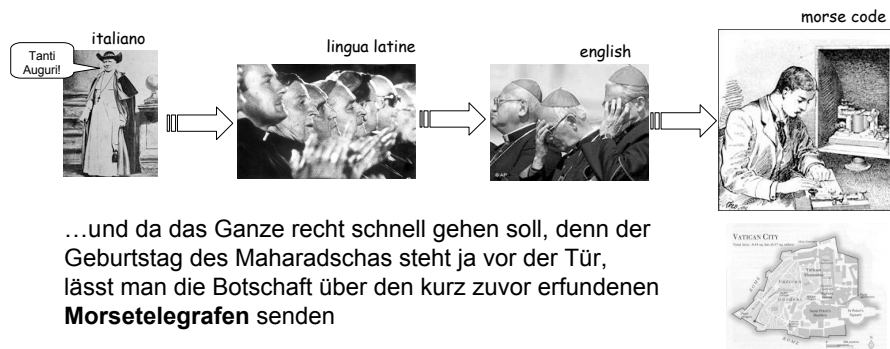
- Rechnernetzung – ein kleiner Exkurs
 - Schichtenmodell der Kommunikation – eine Analogie...



allerdings gibt man zu bedenken, dass der Maharadscha sicherlich kein Latein sprechen kann....und man gibt den Auftrag, die Botschaft weiter **ins Englische** zu übersetzen

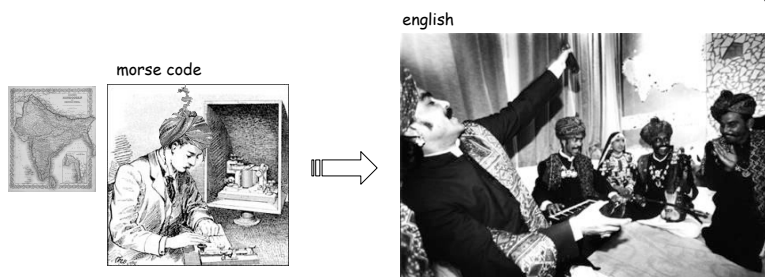
Technische Grundlagen des Internet

- Rechnernetzung – ein kleiner Exkurs
 - Schichtenmodell der Kommunikation – eine Analogie...



Technische Grundlagen des Internet

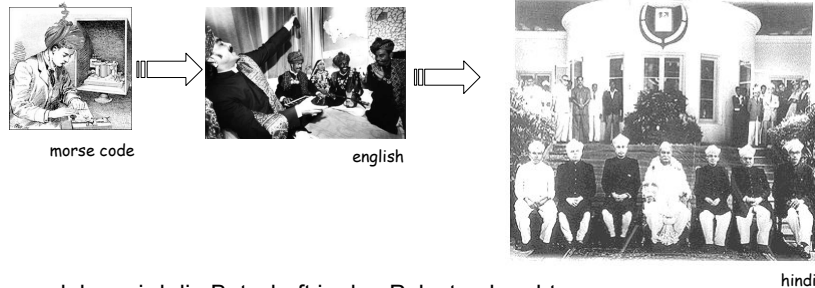
- Rechnernetzung – ein kleiner Exkurs
 - Schichtenmodell der Kommunikation – eine Analogie...



in **Indien** erhält der dort ansässige Telegrafendienst die Botschaft des Papstes. Die übertragenen Morsezeichen erweisen sich als eine **in Englisch** abgefasste Botschaft, die an den Maharadscha von Pannah adressiert ist

Technische Grundlagen des Internet

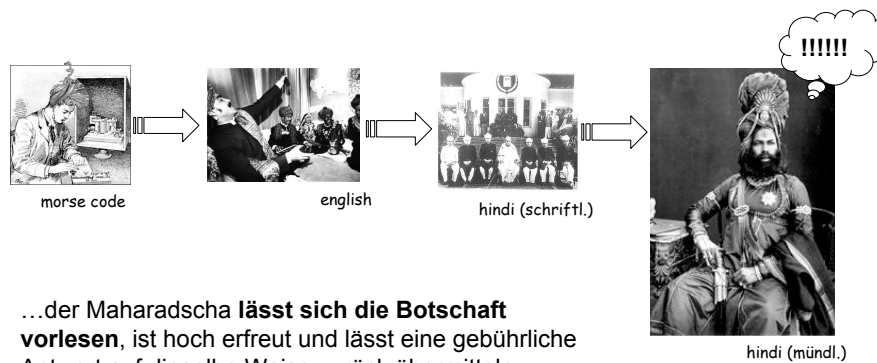
- Rechnernetzung – ein kleiner Exkurs
 - Schichtenmodell der Kommunikation – eine Analogie...



...daher wird die Botschaft in den Palast gebracht.
Allerdings schreibt es das Protokoll vor, dass die
Nachricht zunächst **in Hindi übersetzt** werden muss,
bevor Sie dem Maharadscha eröffnet werden kann

Technische Grundlagen des Internet

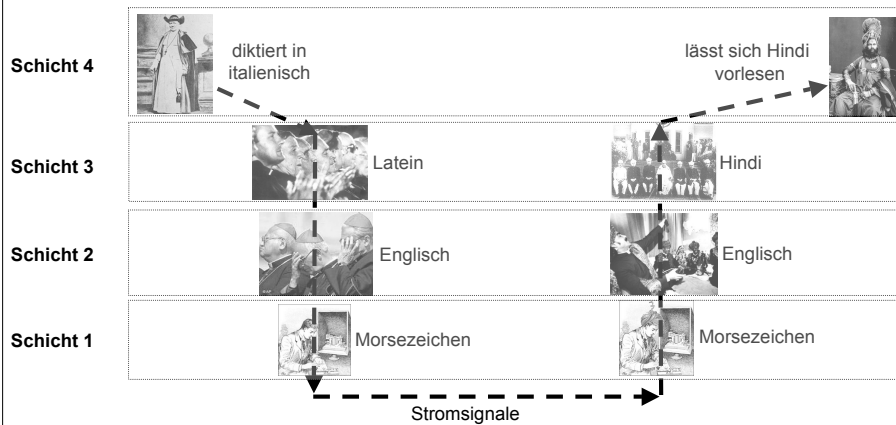
- Rechnernetzung – ein kleiner Exkurs
 - Schichtenmodell der Kommunikation – eine Analogie...



...der Maharadscha **lässt sich die Botschaft vorlesen**, ist hoch erfreut und lässt eine gebührende
Antwort auf dieselbe Weise zurück übermitteln

Technische Grundlagen des Internet

- Rechnernetzwerk – ein kleiner Exkurs
 - Schichtenmodell der Kommunikation – eine Analogie...



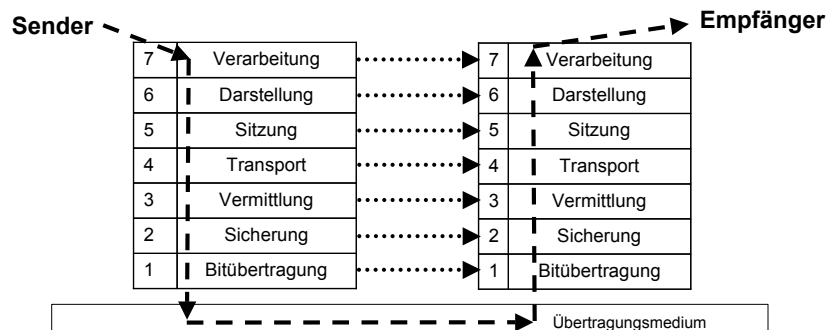
Dr. Harald Sack, Institut für Informatik, FSU Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07743 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

39

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- 1983 – TCP/IP Protokoll
 - das ISO/OSI-Referenzmodell war historisch das erste Schichtenmodell der Rechnerkommunikation



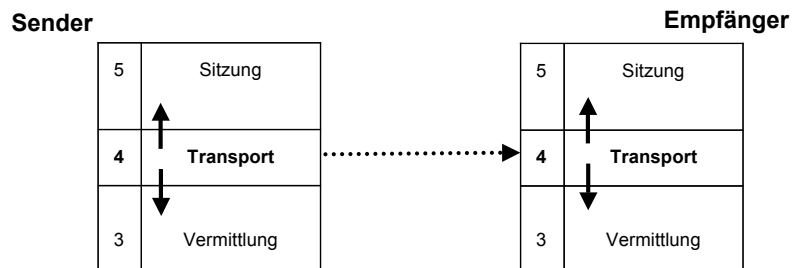
Dr. Harald Sack, Institut für Informatik, FSU Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07743 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

40

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- 1983 – TCP/IP Protokoll
- der **modulare Aufbau** des Protokollstapels erleichtert
 - die Implementierung
 - die Umstellung auf technologische Weiterentwicklungen und
 - die Wartung



Dr. Harald Sack, Institut für Informatik, FSU Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07743 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

41

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- 1983 – TCP/IP Protokoll
- ISO/OSI Schichtenmodell
- **Schicht 1: Bitübertragung (Physical)**
 - Übertragung einzelner Bits
 - Umwandlung Bits / elektrische (optische) Signale



- **Schicht 2: Sicherung (Data Link)**
 - Organisation von Daten in Paketen
 - Übertragung von Paketen
 - (Paketformate, Bitstopfen, Prüfsummen, ...)



| | |
|---|----------------|
| 7 | Verarbeitung |
| 6 | Darstellung |
| 5 | Sitzung |
| 4 | Transport |
| 3 | Vermittlung |
| 2 | Sicherung |
| 1 | Bitübertragung |

Dr. Harald Sack, Institut für Informatik, FSU Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07743 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

42

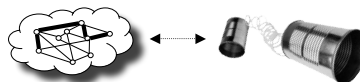
Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- 1983 – TCP/IP Protokoll
- ISO/OSI Schichtenmodell
- **Schicht 3: Vermittlung (Network)**
 - Zuweisung von **Adressen**
 - **Weiterleitung** von Paketen im Netz
 - (Adressierung, Routing,...)



- **Schicht 4: Transport (Transport)**
 - **zuverlässigen Übertragung**



| | |
|---|----------------|
| 7 | Verarbeitung |
| 6 | Darstellung |
| 5 | Sitzung |
| 4 | Transport |
| 3 | Vermittlung |
| 2 | Sicherung |
| 1 | Bitübertragung |

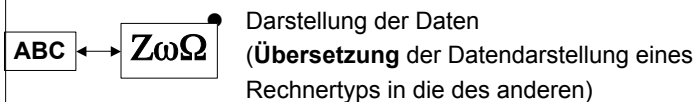
Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- 1983 – TCP/IP Protokoll
- ISO/OSI Schichtenmodell
- **Schicht 5: Sitzung (Session)**
 - Aufbau einer **Übertragungssitzung** zu entfernten System
 - Spezifikation von **Sicherheitstechniken** (z.B. Passwörter)

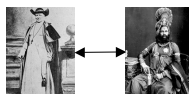


- **Schicht 6: Darstellung (Presentation)**



- Darstellung der Daten
(**Übersetzung** der Datendarstellung eines Rechnertyps in die des anderen)

- **Schicht 7: Verarbeitung (Application)**



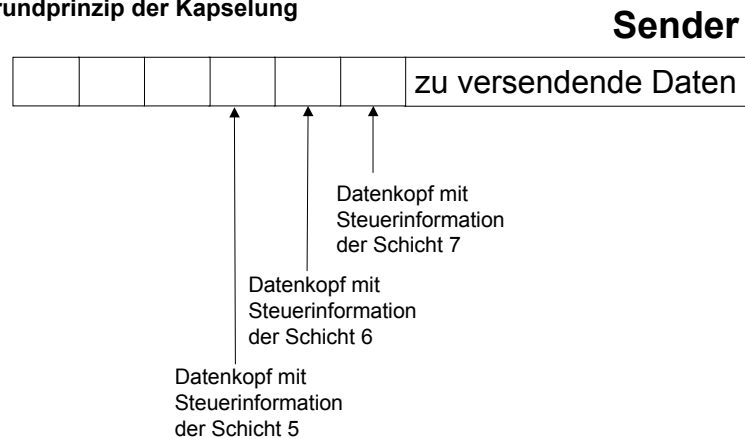
- Benutzung des Netzes durch eine Anwendung

| | |
|---|----------------|
| 7 | Verarbeitung |
| 6 | Darstellung |
| 5 | Sitzung |
| 4 | Transport |
| 3 | Vermittlung |
| 2 | Sicherung |
| 1 | Bitübertragung |

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- 1983 – TCP/IP Protokoll
- Grundprinzip der Kapselung



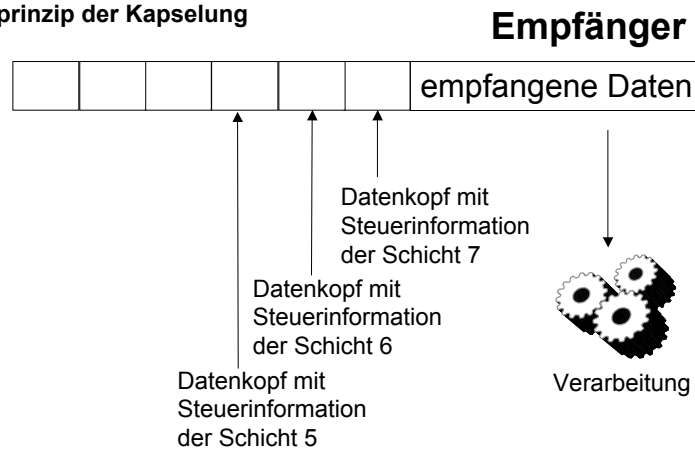
Dr. Harald Sack, Institut für Informatik, FSU Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07743 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

45

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- 1983 – TCP/IP Protokoll
- Grundprinzip der Kapselung



Dr. Harald Sack, Institut für Informatik, FSU Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07743 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

46

Technische Grundlagen des Internet

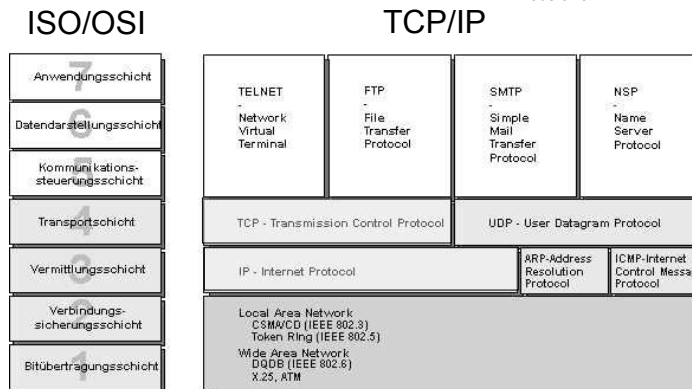
Internet Timeline

- 1983 – TCP/IP Protokoll



Robert Kahn

Vinton Cerf



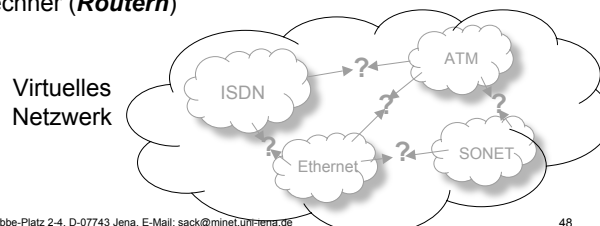
Dr. Harald Sack, Institut für Informatik, FSU Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07743 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

47

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- 1983 – TCP/IP Protokoll
- **Internetworking**
 - Zahlreiche unterschiedliche Technologien müssen im **Internet** zu einem **homogen wirkenden Netzwerk** zusammengeschlossen werden
- **Internet:**
 - Zusammenschluss einzelner physischer Netze
 - die Verbindung zwischen verschiedenen Netzen erfolgt über spezielle Rechner (**Routern**)



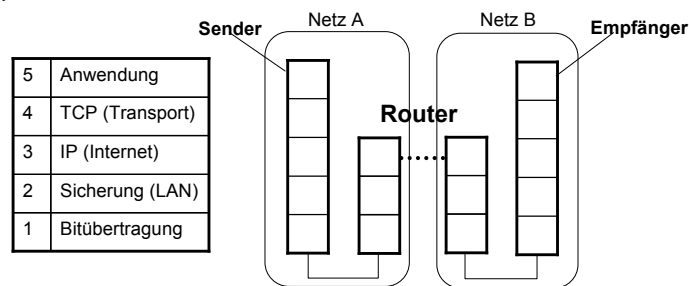
Dr. Harald Sack, Institut für Informatik, FSU Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07743 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

48

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- **1983** – TCP/IP Protokoll
- **Router**
 - verbindet zwei autarke Netze zu einem **Internet**
 - Subnetze werden logisch auf Schicht 3 getrennt
 - Netzwerktechnologie muss dem Router bekannt sein, um effizient Datenpakete weiterleiten zu können



Dr. Harald Sack, Institut für Informatik, FSU Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07743 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

49

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- **1983** – TCP/IP Protokoll

| | |
|---|---|
| 5 | Verarbeitung (Application Layer) |
| 4 | Transport (Transport Layer) |
| 3 | Vermittlung (Internet Layer) |
| 2 | Sicherung (Network Interface Layer) |
| 1 | Bitübertragung (Physical Layer) |

IP – Internet Protocol

- Datenkommunikation zwischen zwei Endsystemen
→ **einheitliches Adressierungs-Schema**
- Wahl eines Verbindungsweges zwischen zwei Endsystemen
→ **Routing**
- Anpassung der Systemparameter zwischen unterschiedlichen Netzwerke
→ **Fragmentierung / Defragmentierung**
- Erkennen von Übertragungsfehlern
→ **fehlererkennende Kodierung**
- Erkennung und Behebung von Überlast- und Stausituationen im Netzwerk
→ **Flusskontrolle**

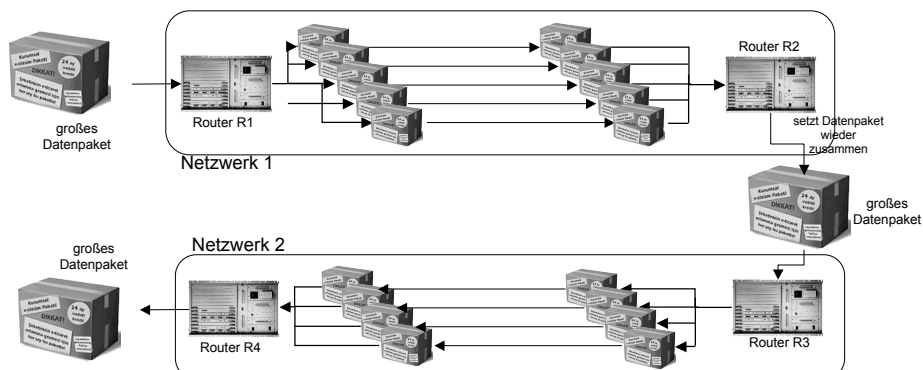
Dr. Harald Sack, Institut für Informatik, FSU Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07743 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

50

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- 1983 – TCP/IP Protokoll
- Transparente Fragmentierung



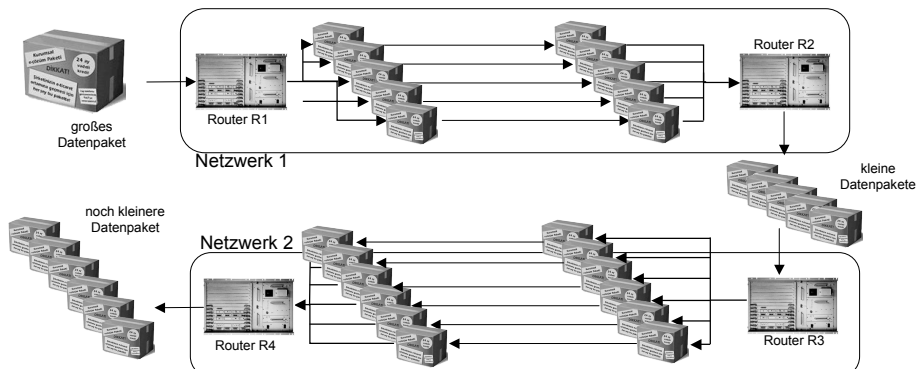
Dr. Harald Sack, Institut für Informatik, FSU Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07743 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

51

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- 1983 – TCP/IP Protokoll
- Nicht-transparente Fragmentierung



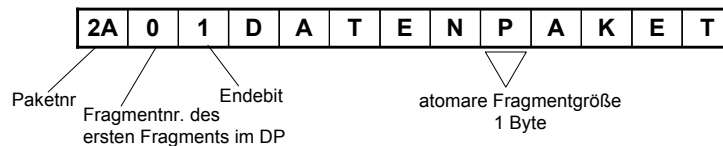
Dr. Harald Sack, Institut für Informatik, FSU Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07743 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

52

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- 1983 – TCP/IP Protokoll
- IP-Fragmentierung
 - Festlegung einer **atomaren Fragmentgröße** (kleiner kann das Fragment nicht geteilt werden)
 - **Zusätzliche Information** im Header des Datenpakets:
 - Paketnummer
 - Nummer des ersten im IP-Datenpaket enthaltenen Fragments
 - Steuerungsbit, das angibt, ob es sich um das letzte Fragment eines Datenpakets handelt (=1) oder ob noch weitere Fragmente folgen (=0)



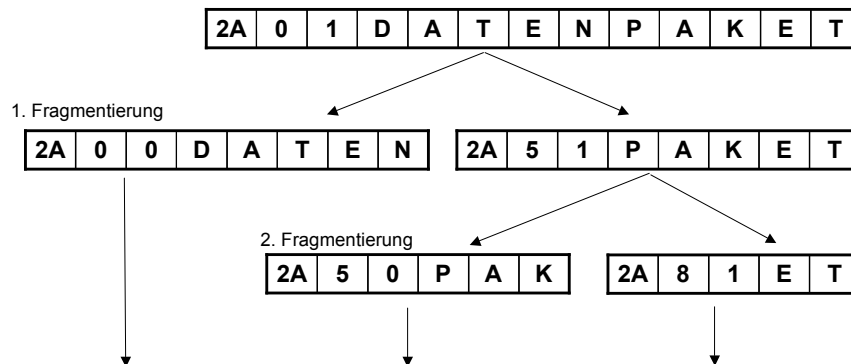
Dr. Harald Sack, Institut für Informatik, FSU Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07743 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

53

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- 1983 – TCP/IP Protokoll
- IP-Fragmentierung



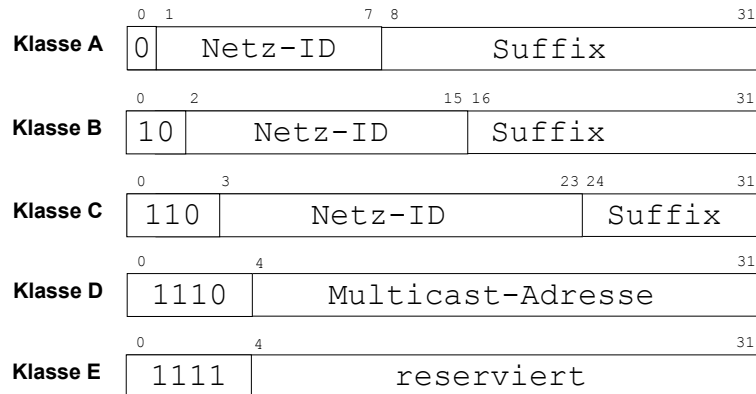
Dr. Harald Sack, Institut für Informatik, FSU Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07743 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

54

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- 1983 – TCP/IP Protokoll
- IPv4 Adressierung



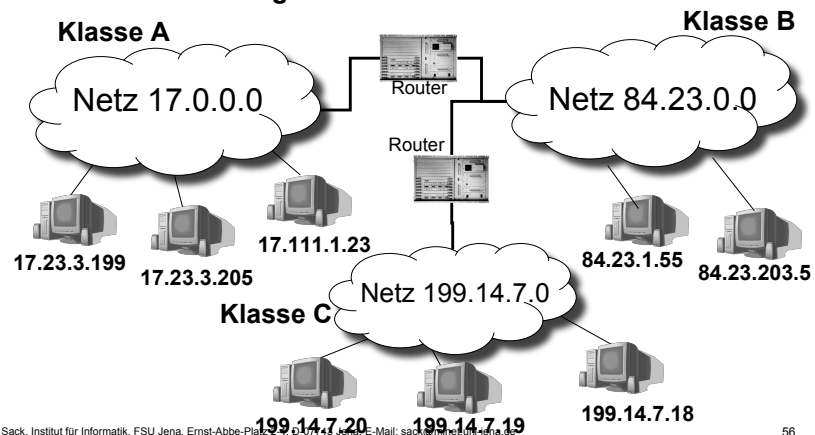
Dr. Harald Sack, Institut für Informatik, FSU Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07743 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

55

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- 1983 – TCP/IP Protokoll
- IPv4 Adressierung



Dr. Harald Sack, Institut für Informatik, FSU Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07743 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

56

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- 1983 – TCP/IP Protokoll
- **Routing-Protokolle**
 - **Routing** = Wegstreckenwahl bei der Nachrichtenvermittlung im Netzwerk
 - Jeder **Router** verfügt über eine interne Routingtabelle, die angibt,
 - über welchen **Ausgang** ein ankommendes Datenpaket weitergeleitet werden soll
 - (entspricht jeweils dem **Next Hop**)
 - alle Rechner eines bestimmten **Subnetzes** sind jeweils über denselben Ausgang erreichbar
 - Speichere nur Adresse des **zugehörigen Routers**
 - Hierarchische Adressierung

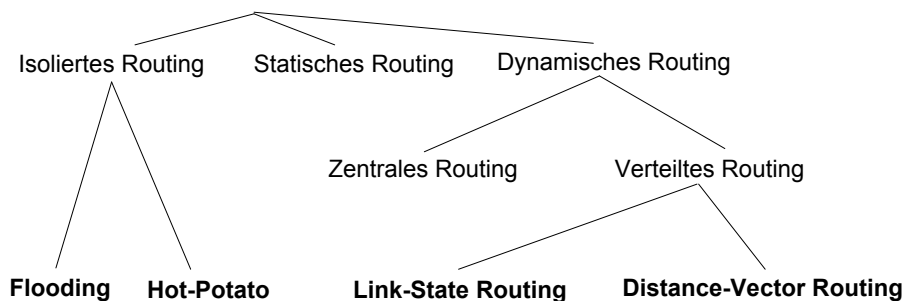
Dr. Harald Sack, Institut für Informatik, FSU Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07743 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

57

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- 1983 – TCP/IP Protokoll
- **Routingverfahren**



Dr. Harald Sack, Institut für Informatik, FSU Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07743 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

58

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- **1983** – TCP/IP Protokoll
- **Distance-Vector Routing**
 - dezentrales, verteiltes Routingverfahren
 - **Dynamisch**: passt sich an die aktuellen Gegebenheiten des Netzwerks an
 - **Prinzipieller Ablauf**: Router **berechnet seine eigene Routing-Tabelle lokal** und **gibt diese an seine direkten Nachbarn weiter**
 - Routing-Information wird periodisch an Nachbar-Router versendet
 - Routing-Tabellen werden ständig aktualisiert
 - Änderungen (z.B. Ausfall eines Routers) können erkannt werden

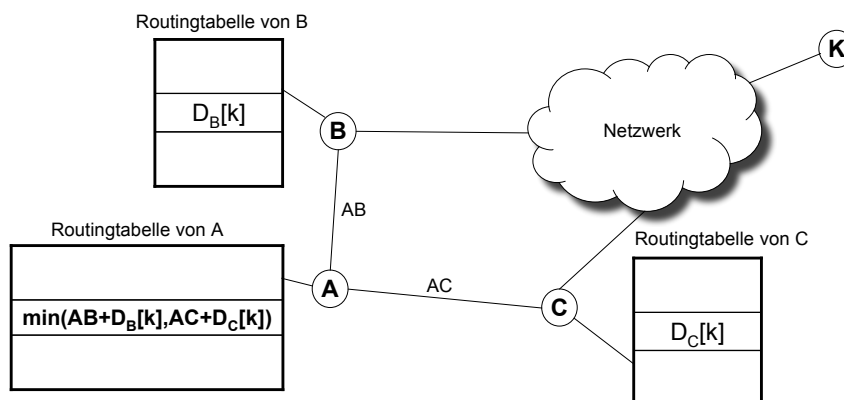
Dr. Harald Sack, Institut für Informatik, FSU Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07743 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

59

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- **1983** – TCP/IP Protokoll
- **Distance-Vector Routing**



Dr. Harald Sack, Institut für Informatik, FSU Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07743 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

60

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- **1983** – TCP/IP Protokoll
- **Link-State Routing**
 - Internet-Standard
 - auch als SPF (Shortest-Path-First) / OSPF bezeichnet
 - Suche alle **direkten Nachbarn** im Netzwerk
 - **Messe die Distanz** zu jedem direkten Nachbarn
 - Bilde ein **Link-State-Paket** mit den ermittelten Distanzinformationen
 - Versende das Link-State-Paket via Broadcast **an alle Router** im Netzwerk

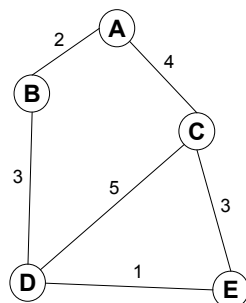


Schnelle Anpassung an Veränderungen der Netzwerktopologie

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- **1983** – TCP/IP Protokoll
- **Link-State Routing**



Link State Pakete

| A | B | C | D | E |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| B 2 | A 2 | A 4 | B 3 | C 3 |
| C 4 | D 3 | D 5 | C 5 | D 1 |
| | | E 3 | E 1 | |

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- **1983** – TCP/IP Protokoll
- **Services des IP-Protokolls**
 - **Verbindungslos**
Jedes Datenpaket kann auf unterschiedlichem Weg zum Ziel gelangen
 - **Best Effort**
Es wird nicht garantiert, dass ein gesendetes Datenpaket tatsächlich am Ziel ankommt bzw. wann es dort eintrifft

 - Bestimmte Aufgaben erfordern aber **Dienstgarantien**
 - Sichere Übertragung
 - Einhaltung von Zeitschranken

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- **1983** – TCP/IP Protokoll

| | |
|---|--|
| 5 | Verarbeitung (Application Layer) |
| 4 | Transport (Transport Layer) |
| 3 | Vermittlung (Internet Layer) |
| 2 | Sicherung (Network Interface Layer) |
| 1 | Bitübertragung (Physical Layer) |

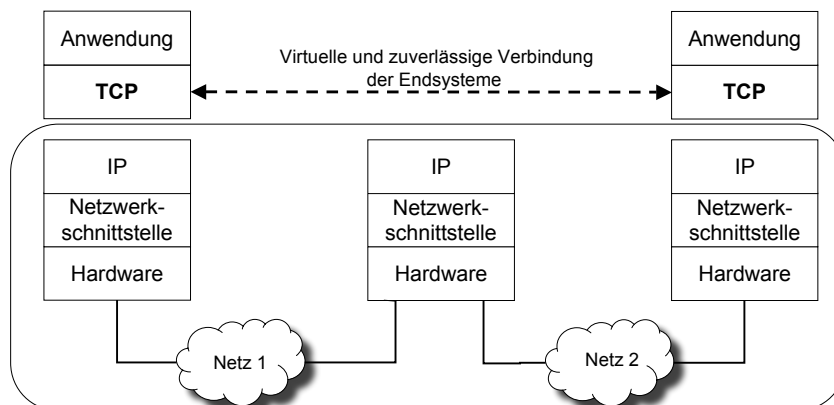
TCP – Transport Control Protocol

- Kommunikationsverbindung zwischen zwei Anwendungsprogrammen
→ **verbindungsorientiert**
- sichere Datenübertragung
→ **sicheres Verbindungsmanagement**
→ **fehlerfreie Datenübertragung**
→ **Flusssteuerung**

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- 1983 – TCP/IP Protokoll
- Transmission Control Protocol



Dr. Harald Sack, Institut für Informatik, FSU Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07743 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

65

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- 1983 – TCP/IP Protokoll
- Transmission Control Protocol
 - Verbindungsorientierte Datenübertragung
 1. Verbindungsaufbau
 2. Datenübertragung
 3. Verbindungsabbau
 - Verbindung kommt rein **software-technisch** (virtuell) zu Stande
 - TCP-Nachricht wird zur Übertragung in **IP-Datagramm gekapselt** (als Nutzdaten)
 - TCP-Implementierung daher auf Zwischensystemen nicht erforderlich
 - Zuverlässige Übertragung durch **Quittierungsmechanismus**

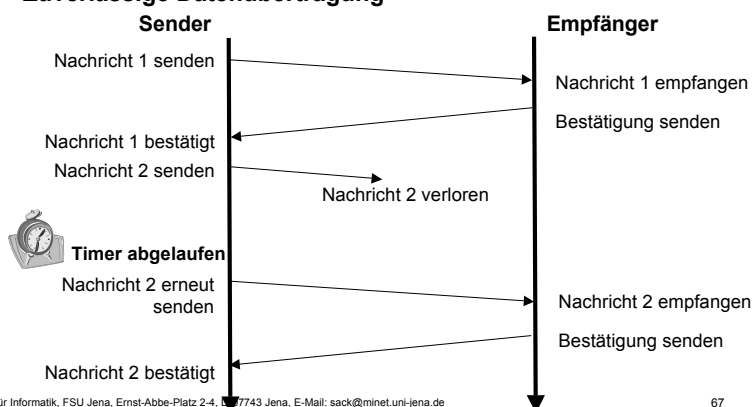
Dr. Harald Sack, Institut für Informatik, FSU Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07743 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

66

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- 1983 – TCP/IP Protokoll
- Transmission Control Protocol
 - Zuverlässige Datenübertragung



Dr. Harald Sack, Institut für Informatik, FSU Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07743 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

67

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- 1983 – TCP/IP Protokoll
- Transmission Control Protocol
 - Zuverlässige Verbindungsaufbau (3-Wege Handshake)
 - IP-Datenpakete aus früheren Verbindungen müssen ignoriert werden können
 - 3-Wege Handshake
 1. Signalisiere Verbindungsaufbau-Wunsch mit Synchronisations-Segment und sendet Sequenznr x zur Identifikation (SYN+Sequenznr x)
 2. Empfänger bestätigt Empfang des Synchronisations-Segments (SYN ACK+ Sequenznr x) und sendet eigene Sequenznr y zur Identifikation
 3. Sender bestätigt Empfang von SYN ACK und der Sequenznr y

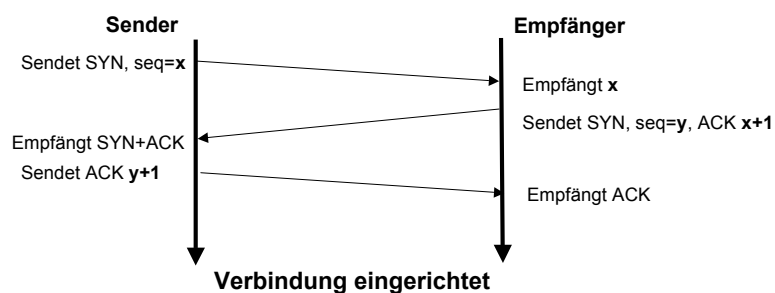
Dr. Harald Sack, Institut für Informatik, FSU Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07743 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

68

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- 1983 – TCP/IP Protokoll
- Transmission Control Protocol
 - Zuverlässige Verbindungsaufbau (3-Wege Handshake)



Dr. Harald Sack, Institut für Informatik, FSU Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07743 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

69

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- 1983 – TCP/IP Protokoll
- Transmission Control Protocol
 - Zuverlässige Verbindungsabbau (mod. 3-Wege Handshake)
 - Partei möchte Verbindung beenden, muss aber darauf achten, dass **alle abgesendeten Daten auch zugestellt werden**, bevor die Verbindung beendet wird
 1. Anwendung sendet ENDE-Segment (FIN) mit Sequenznr. X
 2. Gegenseite bestätigt Empfang von FIN, nimmt keine weiteren Segmente mehr entgegen und benachrichtigt zuständiges Anwendungsprogramm
Verbindung in Richtung Sender → Empfänger ist abgeschlossen
 3. Anwendung auf Gegenseite beendet Verbindung und sendet eigenes FIN mit Sequenznr. y
 4. Bestätigung des Empfangs des FIN-Segments
Sobald Gegenseite die Bestätigung erhält, gilt die Verbindung als beendet

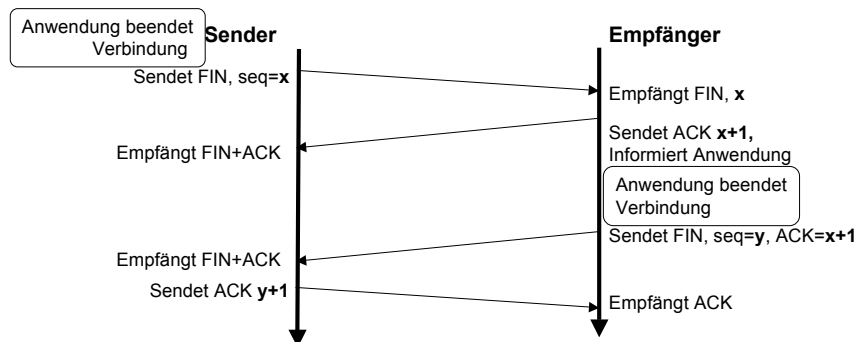
Dr. Harald Sack, Institut für Informatik, FSU Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07743 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

70

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- 1983 – TCP/IP Protokoll
- Transmission Control Protocol
- Zuverlässige Verbindungsabbau (mod. 3-Wege Handshake)



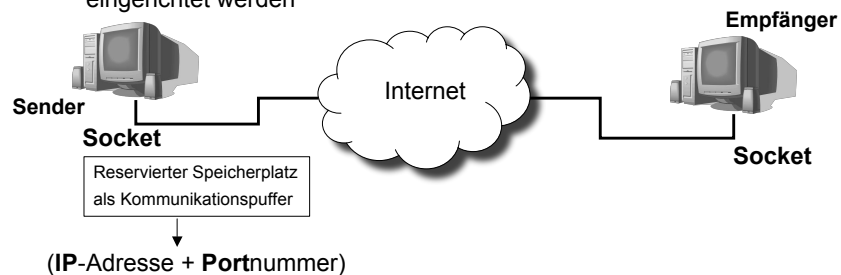
Dr. Harald Sack, Institut für Informatik, FSU Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07743 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

71

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- 1983 – TCP/IP Protokoll
- Transmission Control Protocol
- TCP Ports
 - Um **Verbindung zwischen zwei Endsystemen** einzurichten und aufrecht zu erhalten, müssen auf Sender und Empfänger eindeutig identifizierbare Endpunkte der Kommunikation (**Sockets**) eingerichtet werden

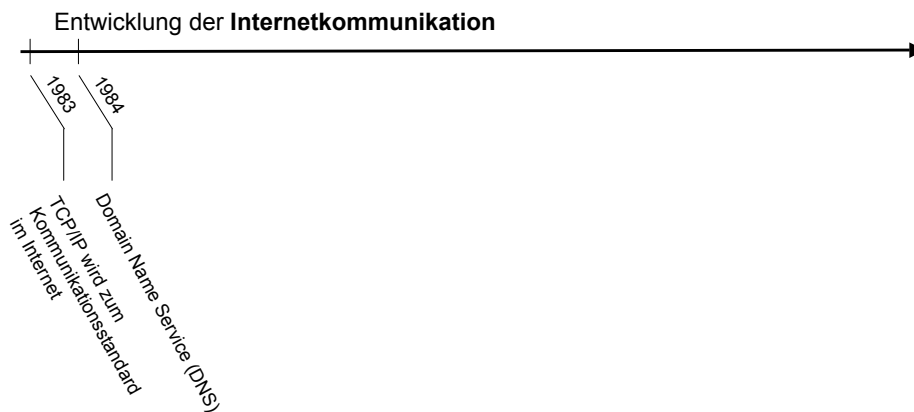


Dr. Harald Sack, Institut für Informatik, FSU Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07743 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

72

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline



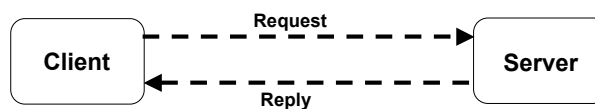
Dr. Harald Sack, Institut für Informatik, FSU Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07743 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

73

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- **1984** – Domain Name Service (DNS)
- **Client-/Server-Prinzip**
 - Internetanwendungen sind Hauptakteure, die über das Internet miteinander kommunizieren
 - Internetanwendungen basieren auf dem Client-/Server-Prinzip



- aktive Komponente
- stellt Anfrage an gleichartige Anwendung, die auf einem anderen Rechner läuft (**Request**)

- passive Komponente
- antwortet auf Anfrage mit der gewünschten Information (**Reply**)

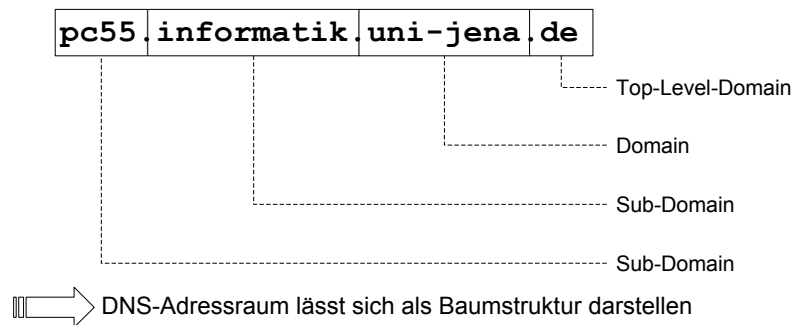
Dr. Harald Sack, Institut für Informatik, FSU Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07743 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

74

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

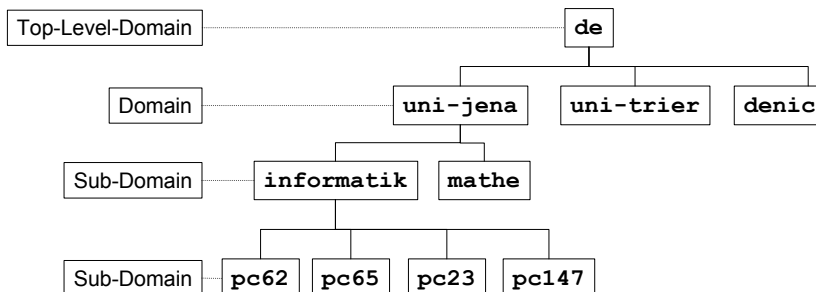
- 1984 – Domain Name Service (DNS)
- DNS Adressraum



Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- 1984 – Domain Name Service (DNS)
- Ausschnitt au dem DNS Adressraum



Technische Grundlagen des Internet

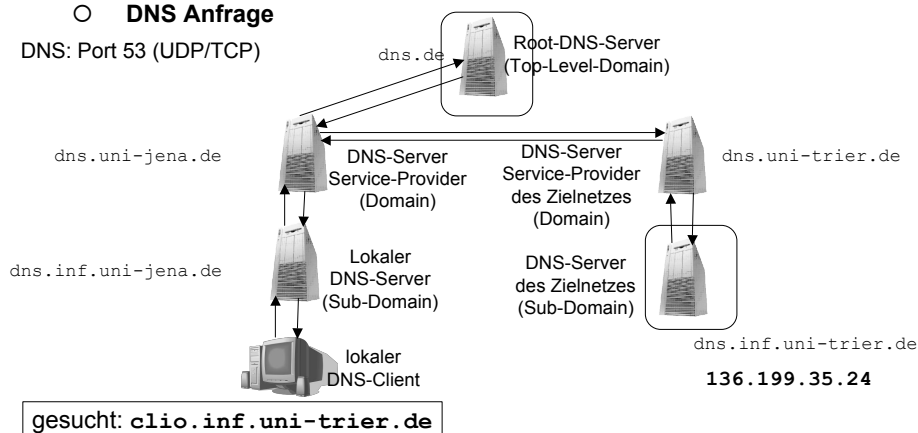
Internet Timeline

- 1984 – Domain Name Service (DNS)
 - **DNS Server**
 - Macht es Sinn, wenn es einen **einzigsten, zentralen Server** gibt, der alle IP-Adressen und die ihnen zugeordneten DNS-Namen verwaltet ?
 - Problem: $> 433 * 10^6$ Internet-Hosts
 - permanente Überlastung!
- ⇒
- DNS-Adressraum wird in nicht überlappende **Zonen** hierarchisch aufgeteilt
 - **DNS-Server** kennt jeweils
 - **alle** Server/Hosts auf der **direkt unter** ihm liegenden Hierarchiestufe
 - den Server, der **direkt über** diesem in der Hierarchie steht

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

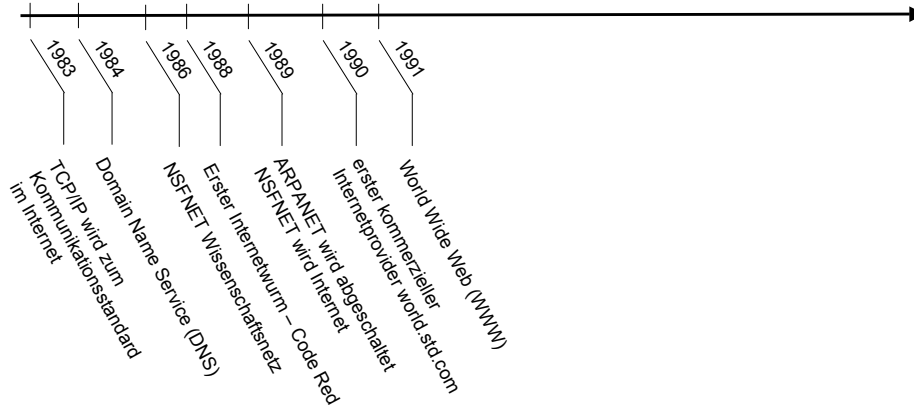
- 1984 – Domain Name Service (DNS)
 - **DNS Anfrage**
- DNS: Port 53 (UDP/TCP)



Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

Entwicklung der Internetkommunikation



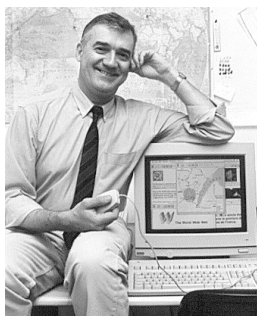
Dr. Harald Sack, Institut für Informatik, FSU Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07743 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

79

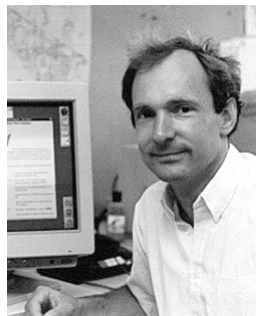
Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

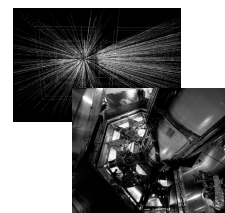
- 1991 – World Wide Web



Robert Cailliau



Sir Tim Berners-Lee



1991 am CERN zur Dokumentenverwaltung entwickelt

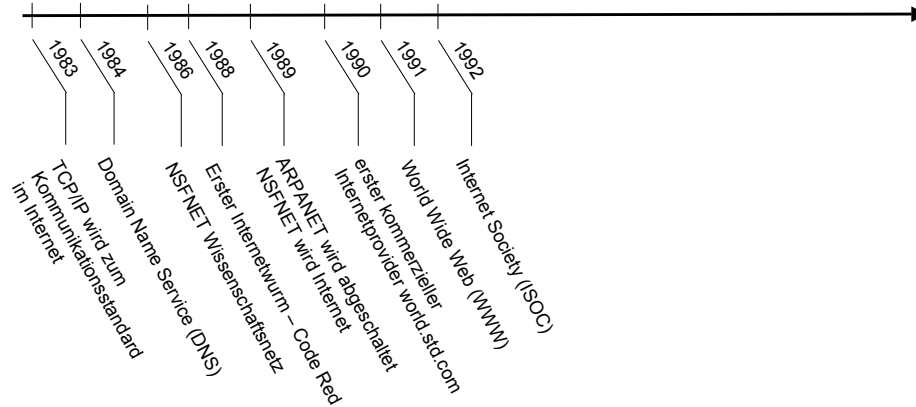
Dr. Harald Sack, Institut für Informatik, FSU Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07743 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

80

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

Entwicklung der **Internetkommunikation**



Dr. Harald Sack, Institut für Informatik, FSU Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07743 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

81

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- **1992** – Internet Society (ISOC)
 - Internet besitzt **keine** Leitstelle oder **zentrale Administration (kein einheitliches internationales Recht)**
 - es existieren jedoch **Organisationen**, die sich mit
 - der Entwicklung,
 - dem Betrieb und der
 - Standardisierung des Internets beschäftigen
 - **Internet Society (ISOC)** und deren Unterorganisationen
 - **World Wide Web Consortium (W3C)**
 - **Internet Corporation for Assigned Names and Numbers (ICANN)**

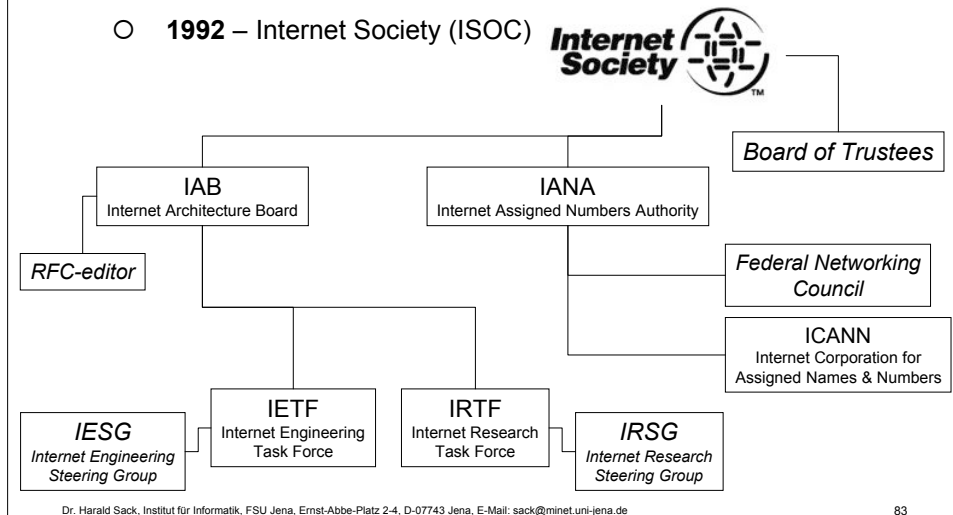
Dr. Harald Sack, Institut für Informatik, FSU Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07743 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

82

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- 1992 – Internet Society (ISOC)



Dr. Harald Sack, Institut für Informatik, FSU Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07743 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

83

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- 1992 – Internet Society (ISOC)
- Request for Comments (RFC)
 - RFC = Vorschlag für einen neuen Standard
 - Autor reicht einen Vorschlag beim **IAB** ein
 - RFC wird darauf hin von **IAB** oder **IETF** als **RFC** veröffentlicht
 - bis RFC als Standard verabschiedet werden kann, muss dieser den **Internet-Standardisierungsprozess** durchlaufen
 - RFCs werden fortlaufend durchnummeriert
 - RFCs sind über Internet/WWW **frei verfügbar** und
 - RFCs können **öffentlich diskutiert** werden
 - RFCs enthalten nur technische Informationen / Spezifikationen

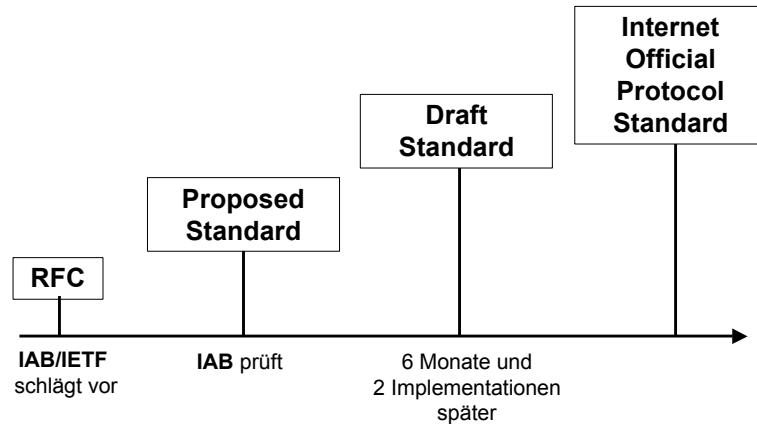
Dr. Harald Sack, Institut für Informatik, FSU Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07743 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

84

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- 1992 – Internet Society (ISOC)



Dr. Harald Sack, Institut für Informatik, FSU Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07743 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

85

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- 1992 – Internet Society (ISOC)
 - Einige wichtige RFCs
 - **RFC 1160**: Internet Architecture Board
 - **RFC 821**: E-Mail
 - **RFC 822**: SMTP
 - **RFC 791**: Internet Protokoll – IP
 - **RFC 793**: TCP Protokoll
 - **RFC 1034/1035**: Domain Name Service – DNS
 - **RFC 1630**: URIs für World Wide Web
 - **RFC 1866**: HTML
 - **RFC 1945/2068**: HTTP

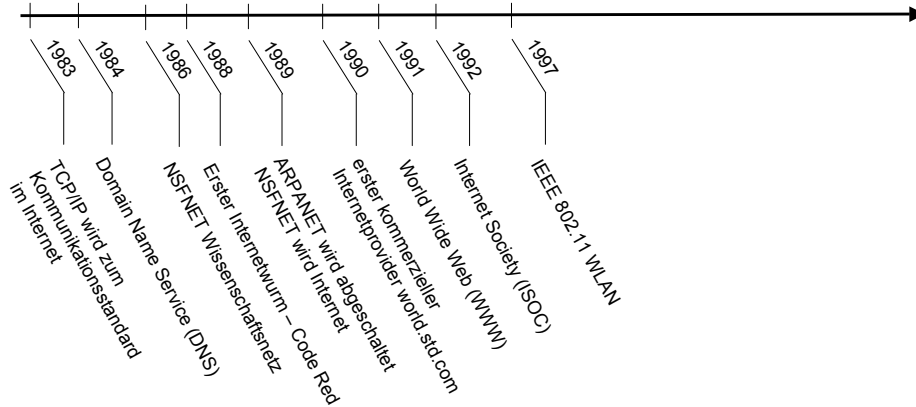
Dr. Harald Sack, Institut für Informatik, FSU Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07743 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

86

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

Entwicklung der **Internetkommunikation**



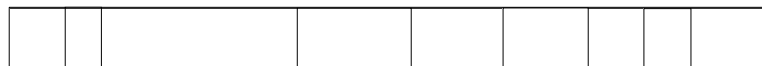
Dr. Harald Sack, Institut für Informatik, FSU Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07743 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

87

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- **1997** – IEEE 802.11 WLAN
- 1971 **ALOHA-Net**, erstes Funk-Datennetz auf Hawaii
- 1985 Festlegung der **ISM-Frequenzbänder**
 - (Industrial, **S**cientific, **M**edical), lizenzfreie Nutzung



Frequenz
MHz

- 1988 IEEE Arbeitsgruppe 802 – lokale Netzwerke
- 1997 IEEE **802.11** – Wireless LAN
- 2003 IEEE 802.11g/i
 - Bandbreiten bis 108 Mbps

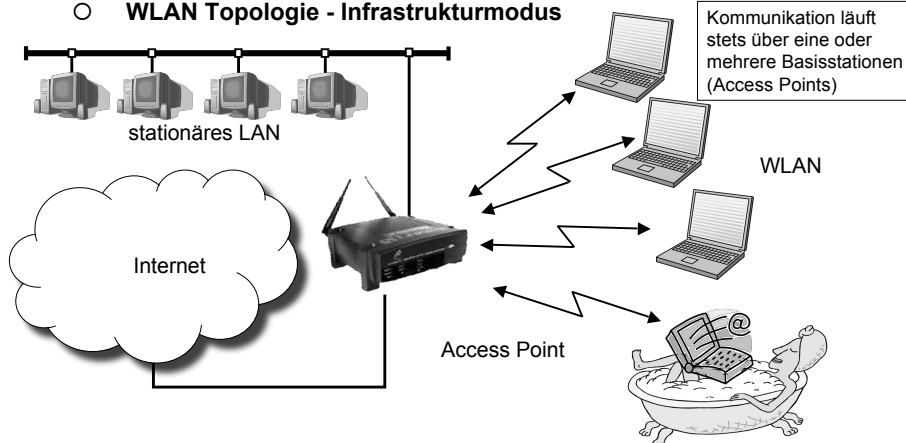
Dr. Harald Sack, Institut für Informatik, FSU Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07743 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

88

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- 1997 – IEEE 802.11 WLAN
- WLAN Topologie - Infrastrukturmodus



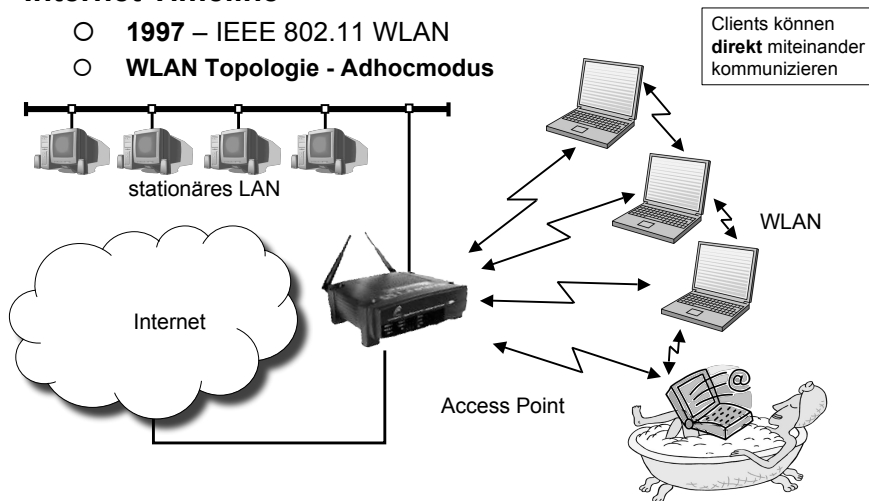
Dr. Harald Sack, Institut für Informatik, FSU Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07743 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

89

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- 1997 – IEEE 802.11 WLAN
- WLAN Topologie - Adhocmodus



Dr. Harald Sack, Institut für Informatik, FSU Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07743 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

90

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- 1997 – IEEE 802.11 WLAN

| Standard | 802.11 | 802.11a | 802.11b | 802.11g |
|------------------|---------|---------|---------|---------|
| Frequenz | 2,4 GHz | 5 GHz | 2,4 GHz | 2,4 GHz |
| Kanäle | | 14 | 3 | 3 |
| Reichweite | | 800m | 400m | 1000m |
| Übertragungsrate | 2Mbit | 54 Mbit | 22 Mbit | 54 Mbit |

- dazu
 - 802.11e (WiFi-Multimedia, Verbesserung Übertragungskapazität, Sicherheit für zeitkritische Anwendungen, z.B. VoIP)
 - 802.11h (europäische Variante zu 802.11a)
 - 802.11i (Verbesserung der Sicherheit, WPA, TKIP)
 - 802.11n (Standard erst 2006/7 → 108 - 540 Mbps)

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- 1997 – IEEE 802.11 WLAN
- 802.11 Protokollstack

| | | |
|--------------|------------|----------------------|
| Transport | TCP / UDP | |
| Internet | IP | |
| Sicherung | 802.2 | Logical Link Control |
| | 802.11 MAC | Media Access Control |
| Physikalisch | 802.11 PHY | Physical |

Physical: Funk Layer mit Modulation, Kodierung, etc.
Media Access: Regeln für konkurrierenden gemeinsamen Zugriff

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- 1997 – IEEE 802.11 WLAN
- **802.11 Protokollstack Physical Layer**
 - **Modulationsverfahren:**
 - **F**requency **H**opping **S**pread **S**pectrum (**FHSS**)
 - **D**irect **S**equene **S**pread **S**pectrum (**DSSS**)
 - **O**rthogonal **F**requency **D**ivision **M**ultiplexing (**OFDM**)
 - **Operationsfrequenzen:**
 - 2.4 GHz und 5 GHz im ISM-Band
 - **Sendestärke:**
 - 100 mW bei 2.4 GHz
 - 50 mW – 1 W bei 5 GHz

Technische Grundlagen des Internet

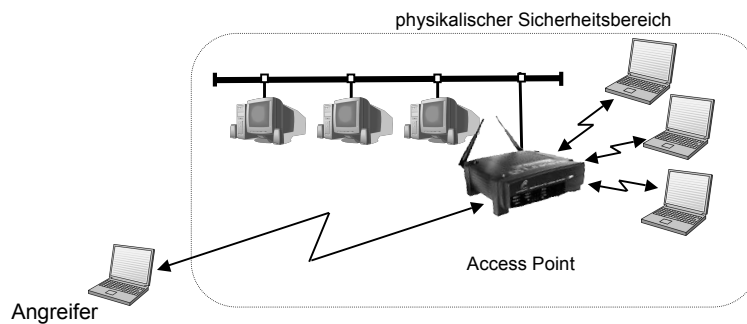
Internet Timeline

- 1997 – IEEE 802.11 WLAN
- **802.11 Protokollstack Medium Access Layer (MAC)**
 - regelt konkurrierenden Zugriff auf das Funknetz über
 - **C**arrier **S**ense **M**ultiple **A**cces with **C**ollision **A**voidance (**CSMA/CA**)
 - ähnlich Ethernet CSMA/CD-Algorithmus
 - Sendeerlaubnis, sobald Kanal für bestimmte Zeitspanne frei
 - Empfänger bestätigt stets Empfang einer vollständig empfangenen Nachricht
 - Kollisionen werden vermieden (**MACA**-Algorithmus)
 - Weitere Aufgaben:
 - Authentifikation
 - Verschlüsselung
 - Power Management

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- 1997 – IEEE 802.11 WLAN
- 802.11 Sicherheit
 - im Gegensatz zu kabelgebundenen Netzen kann (potenziell) jeder mithören → Datenverkehr im WLAN muss eigentlich stets verschlüsselt werden



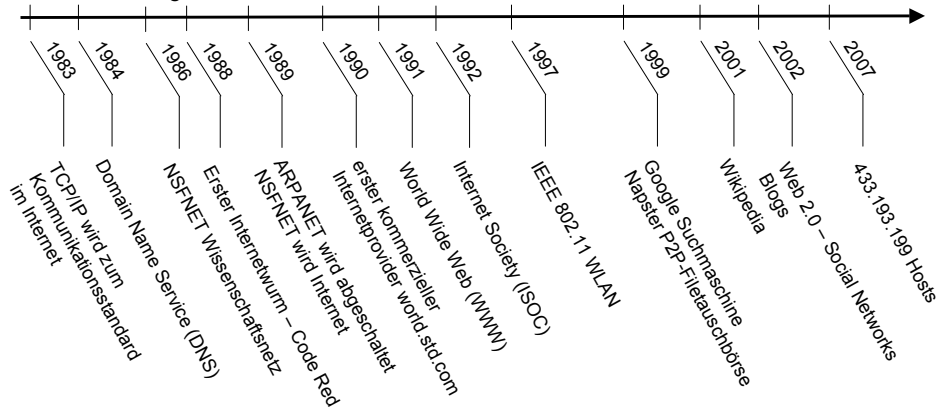
Dr. Harald Sack, Institut für Informatik, FSU Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07743 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

95

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

Entwicklung der Internetkommunikation



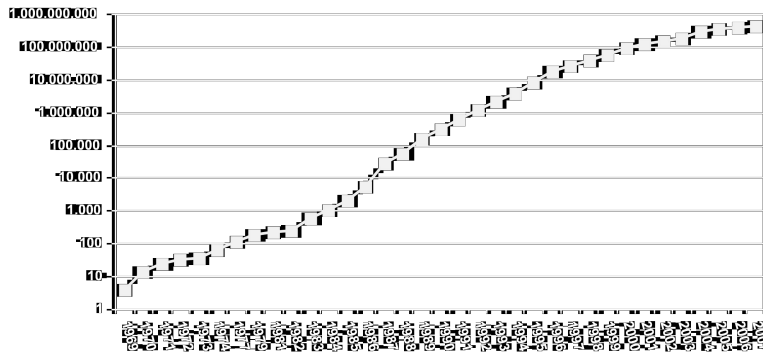
Dr. Harald Sack, Institut für Informatik, FSU Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07743 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

96

Technische Grundlagen des Internet

Internet Timeline

- **Internet Wachstum** – 433.193.199 Hosts (Stand 02/2007)



Hosts (neue Zeilung)

Dr. Harald Sack, Institut für Informatik, FSU Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07743 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

97

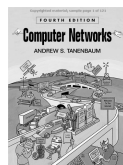
Webtechnologien

Technische Grundlagen des Internet

○ Literatur



- Ch. Meinel, H. Sack:
WWW – Kommunikation, Internetworking, Web Technologien, Springer, 2004.



- A. Tanenbaum:
Computer Networks, 4th ed., Pearson, 2003.

Dr. Harald Sack, Institut für Informatik, FSU Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07743 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

98