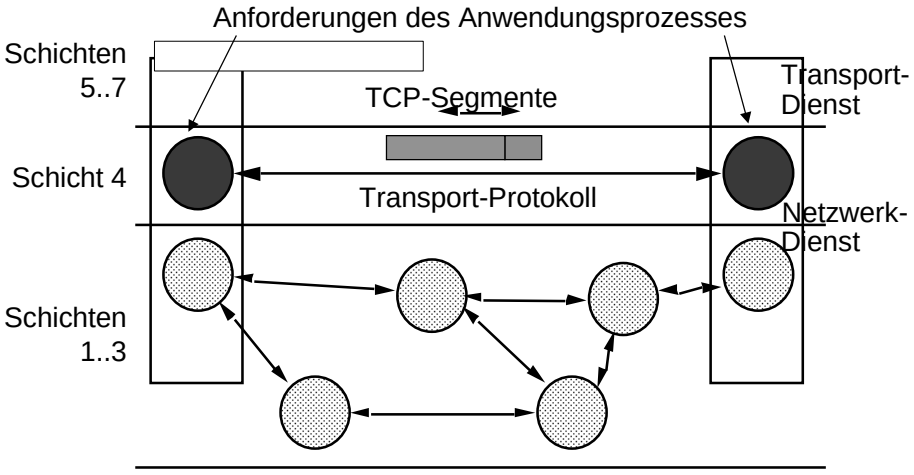
Die Transportprotokolle:

Transmission Control Protocol (TCP) User Datagram Protocol (UDP)
Die Socket-Schnittstelle

1

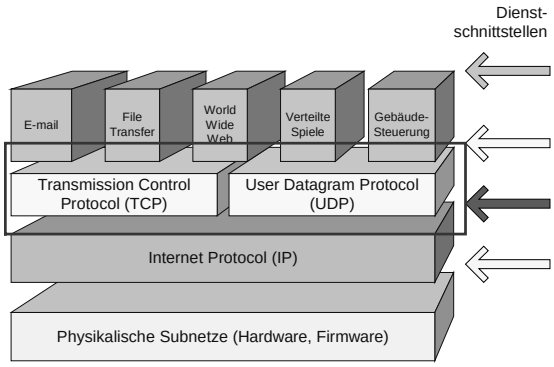
Rolle der Transportschicht im OSI-Referenzmodell



2

Einführung in TCP

- **TCP implementiert ein verbindungsorientiertes, zuverlässiges Transport- Protokoll, aufbauend auf dem IP-Dienst.**



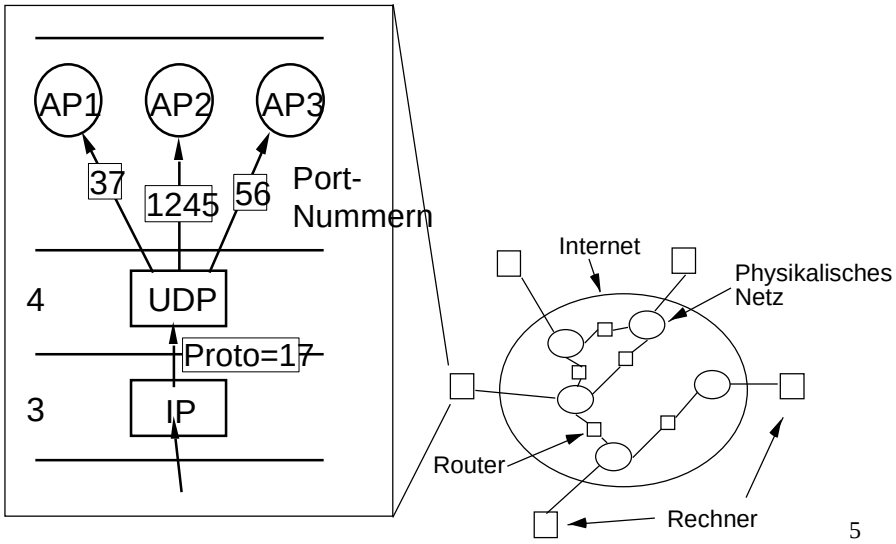
3

Funktionen eines Transportdienstes

- Verbindungsaufbau (falls verbindungsorientiert)
- Datentransfer
  - normale Daten / Daten mit Priorität, Unterbrechungssignale
  - strom- oder paketorientiert
  - Fehlerbehandlung, Flusssteuerung
- Verbindungsabbruch
  - durch den Benutzer
  - durch den Diensterbringer, d.h. die Transportschicht
- Adressierung des "Benutzers" der Transportschicht, d.h. des Anwendungsprozesses
- Managementfunktionen
- Programmierschnittstelle (API)

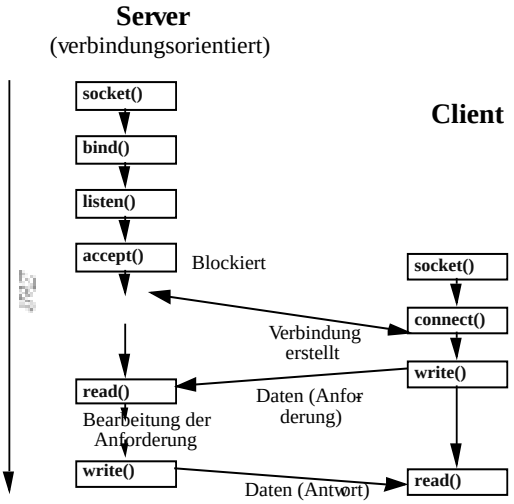
4

Adressierung von Anwendungsprozessen: Beispiel TCP/IP - Portnummern



5

Verbindungserstellung (socket-Schnittstelle)



6

Zuweisung von Portnummern

- Passive Seite: Server bindet sich an einen bestimmten Port (*bind()*)
- Aktive Seite: Client sendet Anfrage oder erstellt eine Verbindung zum Port des Servers (*connect()*).
- Portnummern können Anwendungsdiensten *statisch* zugeordnet sein: Eintrag in einer Datenbank, die den durch Server erbrachten Diensten bestimmte Ports zuordnet *(/etc/services*)
- Dynamische Zuordnung via Verzeichnisdienst, Nameserver (lokal oder verteilt) möglich.

7

Koordination der global zugeordneten Ports

- Internet Assigned Numbers Authority (IANA): Zuständig für Vergabe von Konstanten in TCP/ IP- Protokollen (port numbers, protocol numbers, ...)
- Bereich 0.. 1023: Für globale "well known" ports, kontrolliert von der IANA
- Bereich 1024 .. 65535: Frei für dynamische Allozierung durch Prozesse oder für statische Allozierung mit lokaler Bedeutung
  - Registrierung durch IANA ist optional
- Aktuelle globale / statische Zuordnungen: ftp://ftp.isi.edu/in-notes/iana/assignments

8

Well-known port numbers: /etc/services (Auszug)

```
# Note that it is presently the policy of IANA to assign a single well-known
# port number for both TCP and UDP; hence, most entries here have two entries
# even if the protocol doesn't support UDP operations.
# Updated from RFC 1700, “Assigned Numbers”

echo            7/tcp
echo            7/udp
discard         9/tcp           sink null
discard         9/udp           sink null
ftp-data        20/tcp
ftp             21/tcp
telnet          23/tcp
smtp            25/tcp          mail
time            37/tcp          timserver
time            37/udp          timserver
nameserver      42/tcp          name            # IEN 116
whois           43/tcp          nicname
domain          53/tcp          nameserver      # name-domain server
domain          53/udp          nameserver
```

9

Typischer Ablauf bei dynamisch zugeteilten Ports

1. Server-Prozess signalisiert Bereitschaft, eine Kommunikationsbeziehung entgegenzunehmen; erhält mit *bind()* seinen Port zugeteilt.
2. Server-Prozess trägt sich mit seinem Namen und dem Port in das Verzeichnis ein.
3. Client sucht im Verzeichnis nach dem Namen des Server-Prozesses und erhält dessen Port.
4. Client erstellt eine Verbindung (TCP) oder sendet ein Anfrage-Paket (UDP) zum Server-Prozess (*connect()*).
5. Server nimmt Verbindung an (TCP) oder sendet ein Antwortpaket (UDP).

10

Eigenschaften des Transmission Control Protocol (TCP)

- verbindungsorientiert
- Vollduplex-Verbindung
- stellt eine “byte pipe” zur Verfügung - unstrukturierter Datenstrom
- Sliding Window-Protokoll
- Folgenummern sind Bytenummern
- Maximale Fenstergrösse 2^{16} Bytes
- Variable Grösse des Sendefensters bestimmt durch das Maximum von:
  - Angabe des Empfängers (receiver window size)
  - Congestion window size, abhängig von einer lokalen Schätzung der Netzbelastung -> “Slow Start” Algorithmus

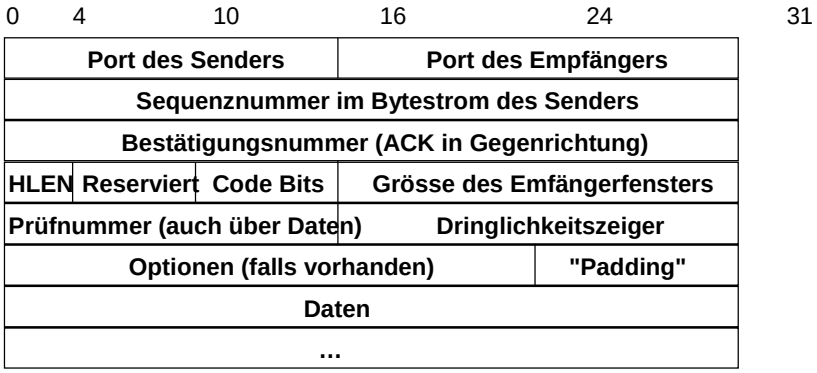
11

Basismechanismen von TCP

- Segmente variable Länger; maximale Segmentgrösse bei der Verbindungserstellung festgelegt.
- Jedes Segment hat eine Folgenummer, die seine Position im Datenstrom in Bytes spezifiziert.
- Abgesendete Segmente müssen innerhalb einer bestimmten Zeit bestätigt werden (adaptiv geschätzte Round Trip Time).
- Bestätigungen werden verzögert gesendet (ca. 200 ms)
- Jedes Segment hat eine Ende-zu-Ende-Prüfsumme; fehlerhaft empfangene Segmente werden ignoriert.
- Der Empfänger ordnet empfangene Segmente entsprechend ihrer Folgenummer; Duplikate werden ignoriert.

12

TCP-Segmentformat

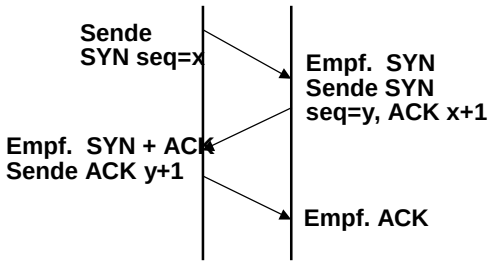


- Code Bits: URG, ACK, PSH, RST, SYN, FIN
- Dringlichkeitszeiger: zeigt auf das Ende der dringenden Daten im TCP-Datenfeld.

13

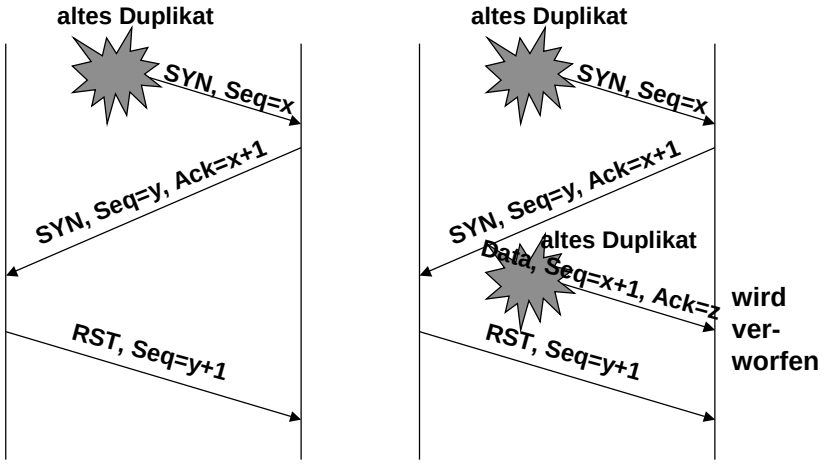
Verbindungsaufbau

- Aktives Öffnen einer Verbindung (SYN)
- Passive Seite nimmt eine Verbindung auf einer bestimmten Port-Nummer entgegen
- Die initialen Sequenznummern werden auf jeder Seite zufällig gewählt und bestätigt.
- 3-fach-Handshake (nötig wegen des unzuverlässigen Dienstes von IP):



14

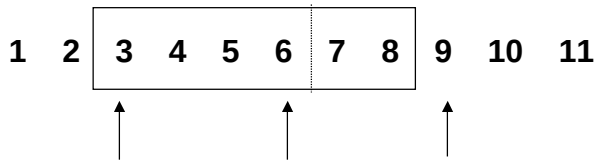
Verbindungsaufbau, zwei Fehlerszenarien



15

Segmente, Datenströme und Sequenznummern

- TCP betrachtet einen Datenstrom als Sequenz von Bytes, die für die Übertragung in TCP-Segmente eingeteilt werden. Jedes Segment wird dann in der Regel auf ein IP-Paket abgebildet. (Grösse eines Segmentes bei lokaler Übertragung gemäss physikalischem Netz, sonst 536 Bytes)
- TCP verwendet ein "sliding window" Protokoll, um möglichst effizient Daten zu übertragen, und Flusskontrolle zu ermöglichen. Bei einer Vollduplex-Verbindung müssen insgesamt 4 Fenster verwaltet werden.



16

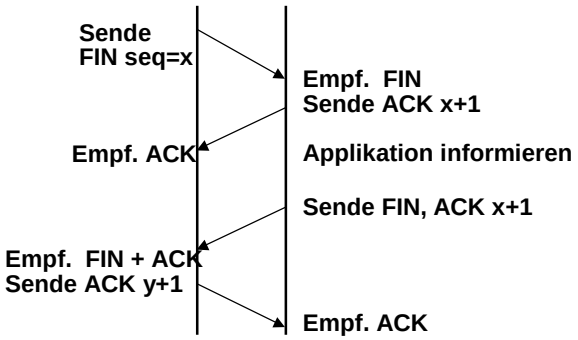
Variable Fenstergrössen

- Die Fenstergrösse im TCP "sliding window" Protokoll kann variiert, d.h. an den "Füllstand" des Netzes bzw. des Empfängers angepasst, werden.
- Flusssteuerung
  - Jedes Bestätigungspaket enthält einen "window advertisement" Wert, in dem der Empfänger angibt, für wieviele weitere Pakete er noch freie Kapazität hat (das Fenster kann also grösser oder kleiner werden).
- Verkehrssteuerung
  - Jacobsen's "slow start" Algorithmus variiert die Grösse des Sendefensters, um die Senderate an die Netzbelastung anzupassen (s. Folie 18).

17

Abbau einer TCP-Verbindung

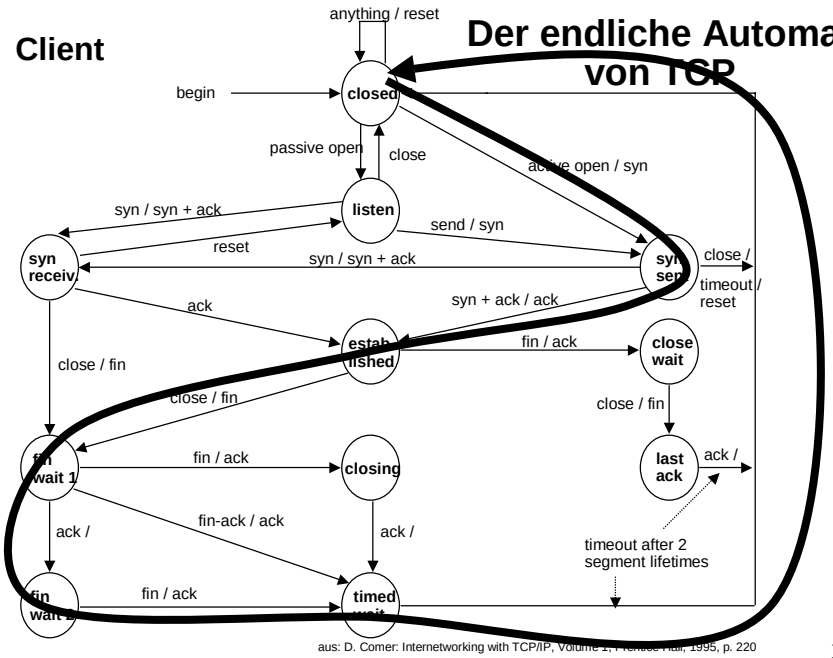
- Aktive Seite (links) schliesst Verbindung mit FIN-Flag
- Neue Daten werden nicht mehr übertragen, von rechts ankommende Daten werden jedoch noch bestätigt.
- 4-fach-Handshake; jede Seite wird separat beendet (TCP half close)



18

Client

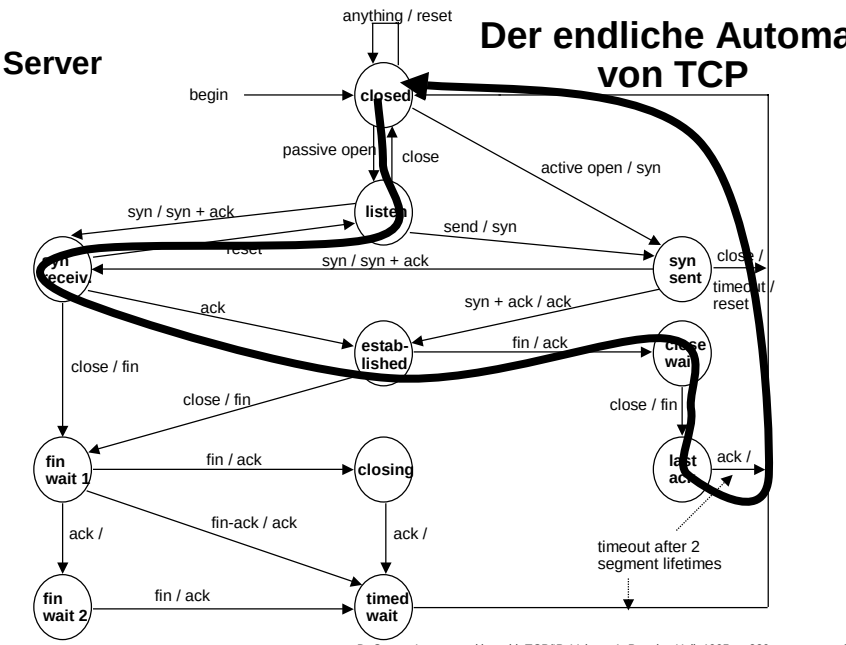
Der endliche Automat von TCP



aus: D. Comer: Internetworking with TCP/IP, Volume 1, Prentice Hall, 1995, p. 220

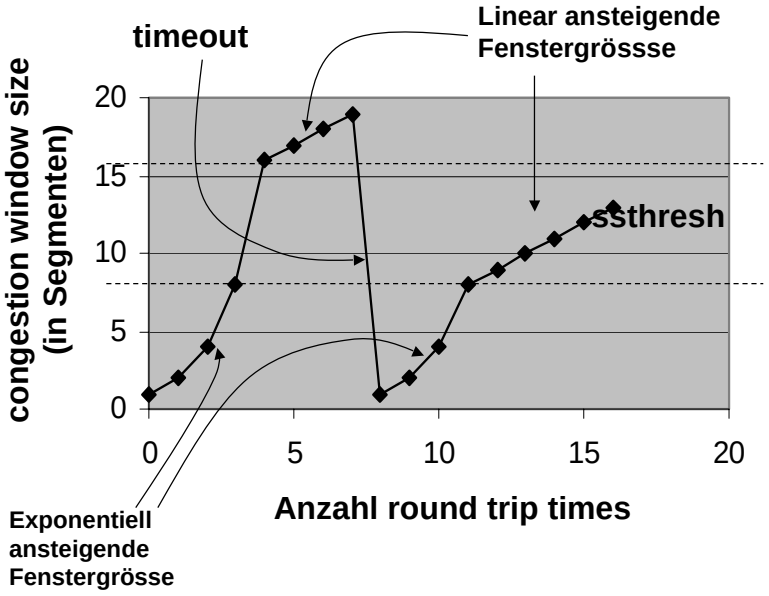
Server

Der endliche Automat von TCP



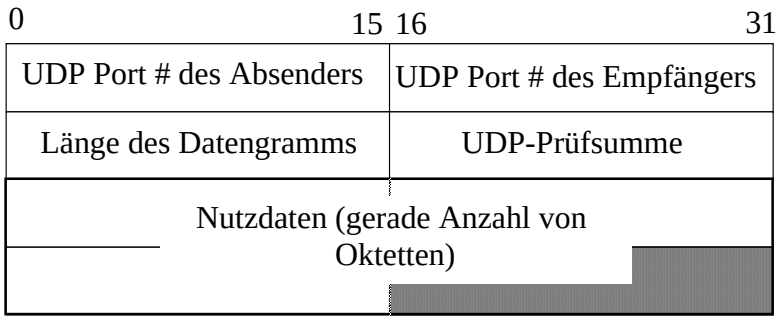
aus: D. Comer: Internetworking with TCP/IP, Volume 1, Prentice Hall, 1995, p. 220

Slow Start Algorithmus



21

User Datagram Protocol (UDP)



Prüfsummenberechnung schliesst Pseudo-Header mit ein (gilt für UDP und TCP).

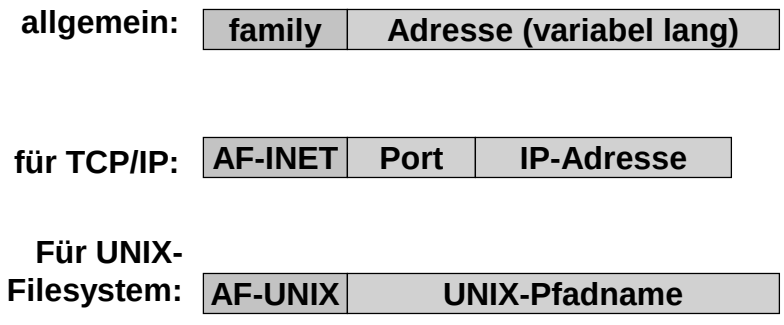
22

Die Socket-Schnittstelle

- De-facto-Standard für TCP/IP Programmierschnittstelle
- Zugang zu TCP, UDP und (eingeschränkt) IP
- Unterstützung verschiedener Protokolle
  - Protocol familiy
  - Address familiy
- Abstraktion für Kommunikationsendpunkte
  - sockets
- … mit verschiedenen Kommunikationseigenschaften
  - socket types (stream socket, datagram socket)
- Benennung/Adressierung von Kommunikationsendpunkten
  - name binding

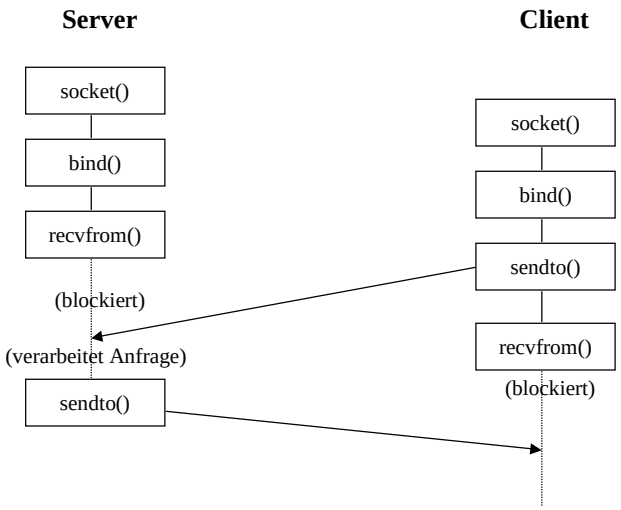
23

Socket-Datenstrukturen für die Adressierung



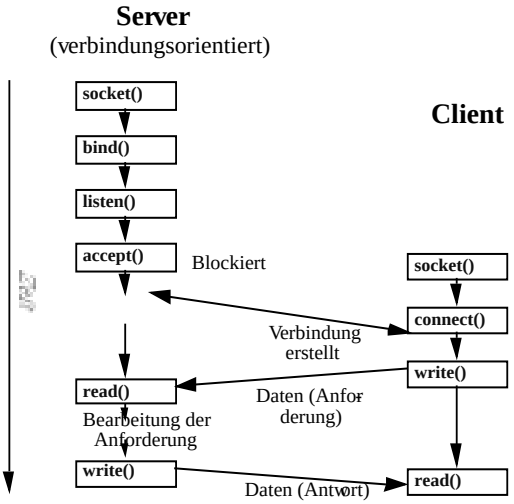
24

Verbindungslose Kommunikation über Sockets



25

Verbindungserstellung



26

Verbindungen und Verbindungsendpunkte

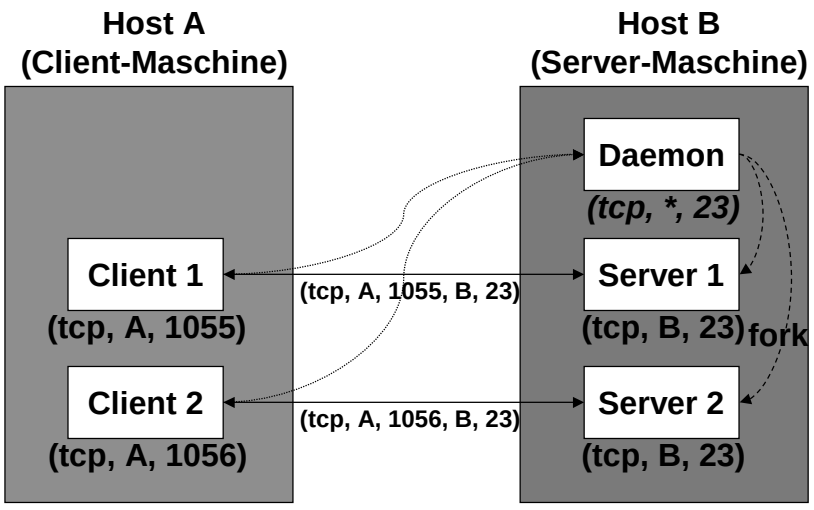
Eine TCP-Verbindung wird durch ein Paar von Adressen und Port-Nummern identifiziert (Verbindungsendpunkte):

- IP-Adresse und Port-Nummer Host A
- IP-Adresse und Port-Nummer Host B

Jede Verbindung wird durch ein Paar von Verbindungsendpunkten eindeutig identifiziert -> mehrere Verbindung zwischen den gleichen Hosts sind dadurch gleichzeitig möglich.

27

Identifikation von Verbindungen



28

Weiterführende Literatur

- **Postel, Jon, "Transmission Control Protocol - DARPA Internet Program Protocol Specification", RFC 793, Network Information Center, SRI International, Menlo Park, Calif., September 1981**
- **W. Richard Stevens, "UNIX Network Programming", Prentice Hall, Engelwood Cliffs, NJ, 1990, ISBN 0-13-949876-1**
- **"man 4 tcp"**

29