Rechnernetze II

SoSe 2020

Roland Wismüller
Betriebssysteme / verteilte Systeme
roland.wismueller@uni-siegen.de
Tel.: 0271/740-4050, Büro: H-B 8404

Stand: 14. Juli 2020

Rechnernetze II

SoSe 2020

8 Netzwerkprogrammierung

Inhalt

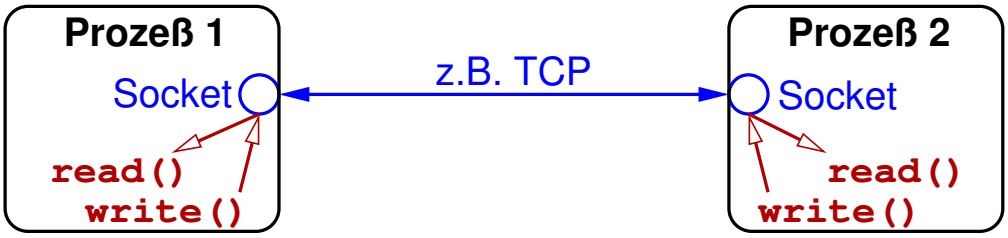
- Sockets
- Datagramm-Kommunikation (UDP)
- Strom-Kommunikation (TCP)
- Design von Server-Programmen

- W.R. Stevens: Programmieren von UNIX-Netzen, Hanser/Prentice Hall, 1992. Kap. 6 und 18.3
- T. Langner: Verteilte Anwendungen mit Java, Markt + Technik, 2002. Kap. 3

8.1 Sockets

Socket-Schnittstelle

- API (*Application Programming Interface*) für die Interprozeß-Kommunikation
  - Prozesse auf demselben oder verschiedenen Rechnern
  - unabhängig vom Netzwerkprotokoll
  - eingeführt mit BSD 4.2 Unix (1981, *Berkeley Sockets*)
  - auch in Windows-Betriebssystemen verfügbar
- **Socket**: Abstraktion für Kommunikationsendpunkt



Erzeugung eines Sockets

- Systemaufruf `socket`
- `int fd = socket(int domain, int type, int protocol);`
  - `domain`: Kommunikations-Bereich
    - lokal, Internet, ...
  - `type`: Socket-Typ
    - Datenstrom, Datagramme, ...
  - `protocol`: zu verwendendes Protokoll
    - nötig, wenn Socket-Typ mehrere Protokolle unterstützt
    - in der Regel mit 0 besetzt
  - `fd`: Dateideskriptor des Sockets
    - bzw. -1 bei Fehler

Kommunikations-Bereiche

- Legen fest:
  - Kommunikation lokal oder über Netzwerk
  - verwendbare Kommunikationsprotokolle
    - genauere Auswahl über `type` und `protocol` Parameter
  - Aufbau von Namen bzw. Adressen
- Unterstützte Kommunikations-Bereiche:
  - `PF_UNIX`: *UNIX Domain*, rechnerlokale Kommunikation
  - `PF_INET`: *Internet Domain*, TCP, UDP, IP
  - etliche andere (IPv6, Novell, X.25, Appletalk, ...)

Die wichtigsten Socket-Typen

- `SOCK_STREAM`: *Stream Socket*
  - verbindungsorientierte, strombasierte Kommunikation
  - in *Internet Domain*: TCP
    ```
    int fd = socket(PF_INET, SOCK_STREAM, 0);
    ```
- `SOCK_DGRAM`: *Datagram Socket*
  - verbindungslose Datagramm-Kommunikation
  - in *Internet Domain*: UDP
    ```
    int fd = socket(PF_INET, SOCK_DGRAM, 0);
    ```
- `SOCK_RAW`: *Raw Socket*
  - verwendet Basisprotokoll des Kommunikations-Bereichs
  - in *Internet Domain*: IP

Binden an eine Adresse

- Systemaufruf `bind`
- ```
  int rv = bind(int sockfd, struct sockaddr *addr,
                int addrlen);
  ```
  - `sockfd`: Dateideskriptor des Sockets
  - `addr`: lokale Adresse
    - z.B. IP-Adresse und Port
  - `addrlen`: Länge der Adreß-Datenstruktur
  - `rv`: Rückgabewert, 0 = OK, -1 = Fehler
- **Hinweis:** Ab sofort werden nur noch *Internet Domain* Sockets betrachtet
  ```

Adreß-Datenstruktur für *Internet Domain* Sockets

- `struct in_addr { unsigned long s_addr; };`
  `struct sockaddr_in { short sin_family;`
  `u_short sin_port;`
  `struct in_addr sin_addr; }`
- Beispiel: binde Socket an Port 80

```
struct sockaddr_in addr;
memset(&addr, 0, sizeof(addr)); // alles auf 0
addr.sin_family = AF_INET;
addr.sin_port = htons(80);      // Port 80
addr.sin_addr.s_addr = htonl(INADDR_ANY);
if (bind(sockfd, (struct sockaddr *) &addr,
         sizeof(addr)) < 0) ...
```

- Hinweis: `sockaddr_in` ist quasi Unterklasse von `sockaddr`

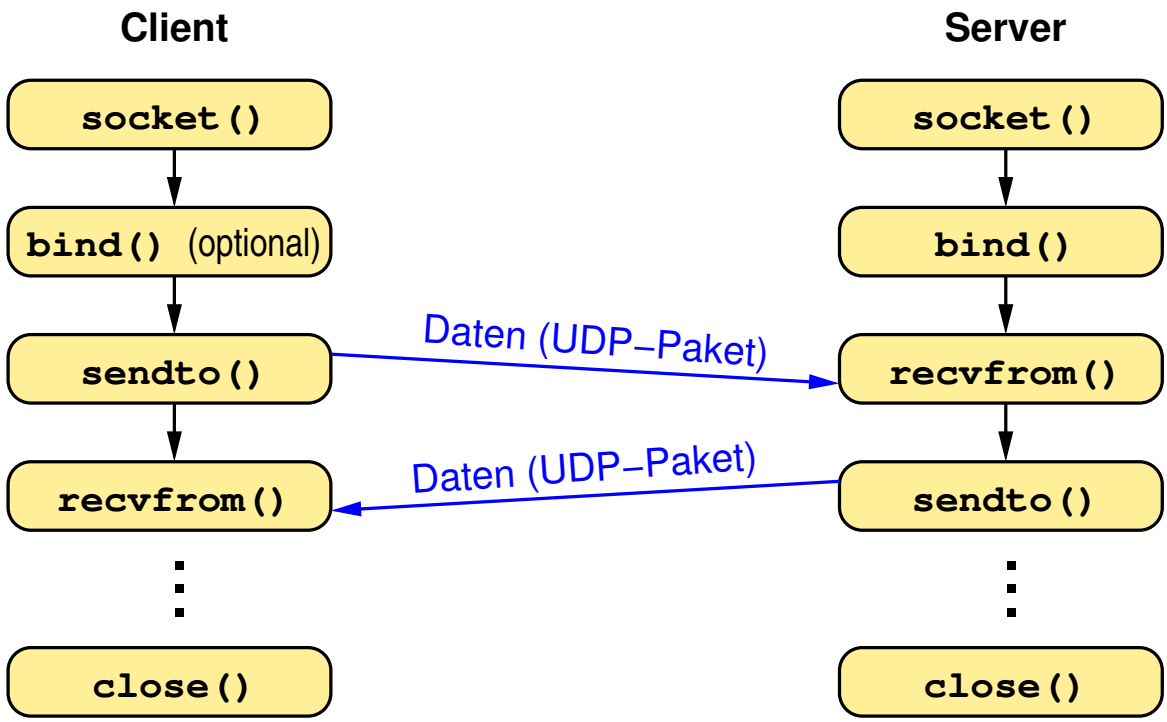
Binden an eine Adresse, Anmerkungen

- `bind` ist nur für Server-Sockets erforderlich
  - Client-Sockets wird automatisch ein Port zugewiesen
- `INADDR_ANY` bezeichnet beliebiges lokales Netzwerk-Interface
- Verwendung einer vorgegebenen IP-Adresse, z.B.:
  - `addr.sin_addr.s_addr = inet_addr("127.0.0.1");`
- DNS-*Lookup* ist bei Bedarf über die Bibliotheksfunktion `gethostbyname` möglich
- Die Funktionen `htons` bzw. `htonl` konvertieren vom Host- in das Netzwerk-Datenformat
  - entsprechend gibt es auch `ntohs` etc.

Schließen eines Sockets

- Systemaufruf `close`
- `close(int sockfd);`
  - `sockfd`: Dateideskriptor des Sockets
- Bei TCP-Sockets: Verbindungsabbau

8.2 Datagramm-Kommunikation (UDP)



Datagramm-Transfer

- Senden eines Datagramms:
  - `int sendto(int sockfd, char *msg, int len, int flags, struct sockaddr *addr, int addrlen);`
    - `msg`: zu sendende Nachricht (Länge: `len`)
    - `flags`: Optionen, normalerweise 0
    - `addr`, `addrlen`: Zieladresse
- Empfangen eines Datagramms:
  - `int recvfrom(int sockfd, char *msg, int len, int flags, struct sockaddr *addr, int *addrlenptr);`
    - `msg`: Empfangspuffer (Länge: `len`)
    - `addr`, `addrlenptr`: Rückgabe der Senderadresse

Anmerkungen zu Folie 277:

Über die Flags bei `sendto` und `recvfrom` kann z.B. angegeben werden, daß das Senden/Empfangen nichtblockierend erfolgen soll.

Der Empfangspuffer bei `recvfrom` muß vom Aufrufer allokiert werden. Der Parameter `len` gibt die Länge dieses Puffers an. Der Rückgabewert gibt die Länge des empfangenen Datagramms an.

Beispiel-Code

- Siehe `http://www.bs.informatik.uni-siegen.de/web/wismueller/vl/gen/rn2/code/udp-c.zip`

Datagramm-Sockets in Java

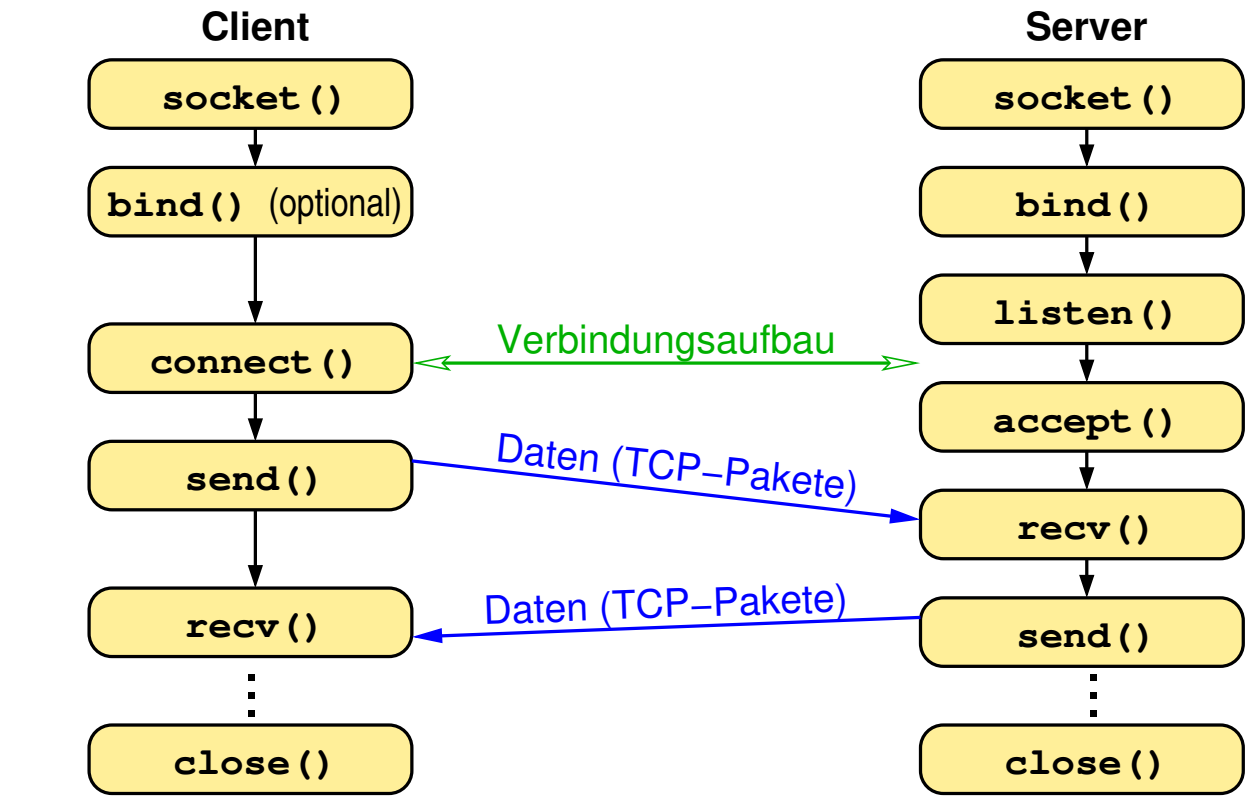
- Klasse `DatagramSocket`
  - Konstruktoren:
    - `DatagramSocket()`
    - `DatagramSocket(int port)`
      - bindet Socket an `port` auf lokalem Rechner, für Server
  - Methoden:
    - `void send(DatagramPacket p)`
      - Senden eines Datagramms
    - `void receive(DatagramPacket p)`
      - Empfang eines Datagramms

Datagramm-Sockets in Java ...

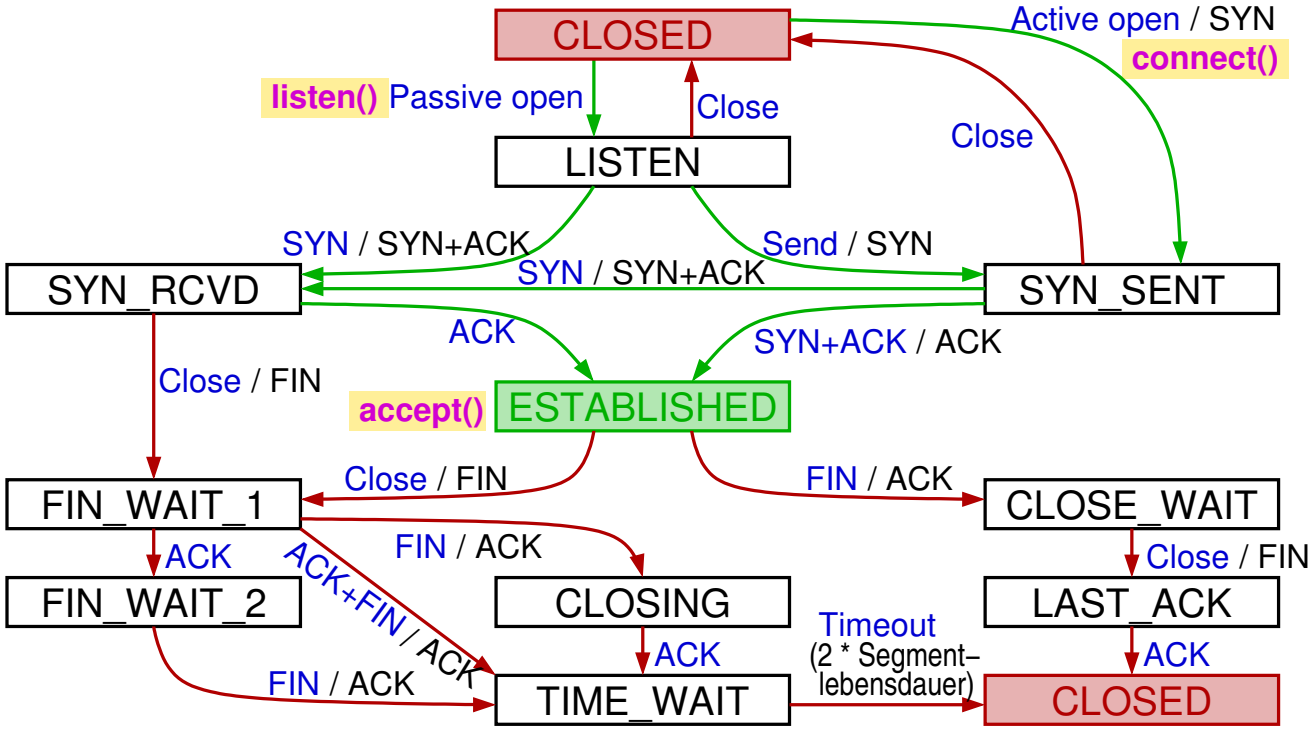
- Klasse `DatagramPacket`: Abstraktion eines UDP-Pakets
  - Konstruktoren:
    - `DatagramPacket(byte[] buf, int len, InetAddress addr, int port)`
      - für zu sendende Pakete
    - `DatagramPacket(byte[] buf, int len)`
      - für zu empfangende Pakete
  - Methoden:
    - `InetAddress getAddress()`: IP-Adresse des Pakets
    - `int getPort()`: Port-Nummer des Pakets

Datagramm-Sockets in Java ...

- Klasse `InetAddress`: IP-Adressen
  - statische Methoden:
    - `InetAddress getLocalHost()`
      - liefert `InetAddress`-Objekt für lokale IP-Adresse
    - `InetAddress getByName(String host)`
      - liefert `InetAddress`-Objekt für gegebenen Rechnernamen (oder IP-Adresse in String-Form)
    - `InetAddress getByAddress(byte[] addr)`
      - liefert `InetAddress`-Objekt für gegebene IP-Adresse



Erinnerung: Zustände einer TCP-Verbindung



Aktives Öffnen einer Verbindung (Client)

- Systemaufruf `connect`
- `int rv = connect(int sockfd, struct sockaddr *addr, int addrlen);`
  - `addr`, `addrlen`: legt IP-Adresse und Port des Servers fest
  - `rv`: Rückgabewert, 0 = OK, -1 = Fehler
- Stellt Verbindung mit Socket des Servers her
  - blockiert, bis Verbindung zustandekommt

Passives Öffnen einer Verbindung (Server)

- Systemaufruf `listen`
- `int rv = listen(int sockfd, int backlog);`
  - `backlog`: legt fest, wieviele Verbindungswünsche gepuffert werden können
  - `rv`: Rückgabewert, 0 = OK, -1 = Fehler
- Teilt dem Betriebssystem mit, daß es Verbindungswünsche für diesen Socket entgegennehmen soll

Anmerkungen zu Folie 285:

Wenn der Serverprozeß nicht in `accept()` wartet, wenn ein TCP-Verbindungswunsch eingeht, speichert das Betriebssystem den Verbindungswunsch in einer Warteschlange, solange diese nicht länger ist als `backlog`. Anderenfalls kann die Verbindung mit Fehler abgebrochen werden, oder der Server lässt den Client einfach „hängen“ und vertraut auf die spätere Neuübertragung.

8.3 Strom-Kommunikation (TCP) ...

Akzeptieren einer Verbindung (Server)

- Systemaufruf `accept`
- `int fd = accept(int sockfd, struct sockaddr *addr, int *addrlenptr);`
  - `addr`, `addrlenptr`: Rückgabe der Clientadresse
  - `fd`: **neuer** Socketdeskriptor zur Kommunikation mit diesem Client
- Bearbeitet ersten Verbindungswunsch aus Puffer
  - blockiert, wenn kein Verbindungswunsch vorliegt
- Server kann Verbindung erst nach `accept` zurückweisen (durch `close(fd)`)

Anmerkungen zu Folie 286:

Der Server erhält für jede Client-Verbindung einen eigenen Socket. Das hat den Vorteil, daß der Server die einzelnen Clients sehr leicht auseinanderhalten kann. Alle Verbindungen gehen aber über denselben TCP-Port (nämlich den, an den der `listen()`-Socket gebunden ist). Das Demultiplexing eingehender TCP-Segmente, also das Weiterreichen der Segmente an den richtigen Socket, realisiert die Socket-Bibliothek. Sie verwendet dabei Quell-IP-Adresse und Quell-Port als Demultiplex-Schlüssel.

8.3 Strom-Kommunikation (TCP) ...

Datentransfer

- Senden (Schreiben)
  - `int send(int sockfd, char *msg, int len, int flags);`
  - `int write(int sockfd, char *msg, int len);`
- Empfangen (Lesen)
  - `int recv(int sockfd, char *msg, int len, int flags);`
  - `int read(int sockfd, char *msg, int len);`
- `write` / `read` ist äquivalent zu `send` / `recv` mit `flags = 0`
- Ergebnis: geschriebene / gelesene Bytes bzw. -1 bei Fehler
  - Lesen blockiert, bis mindestens 1 Byte empfangen wurde
  - Ergebnis 0 bei `read`/`recv`: Verbindung v. Partner geschlossen
- Datendarstellung muß ggf. selbst konvertiert werden!
  - Funktionen `htons`, `ntohs`, `htonl`, ...

Anmerkungen zu Folie 287:

Mit Hilfe der `flags` in `send` und `recv` können z.B. *Out-of-band* Daten oder ein nicht-blockierendes Verhalten der Aufrufe spezifiziert werden.

8.3 Strom-Kommunikation (TCP) ...

Datentransfer ...

- `send` / `recv` (und `write` / `read`) können zurückkehren, bevor die Daten komplett gesendet / empfangen wurden
- Daher: immer Verwendung in einer Schleife, z.B.:

```
char *msg = "HELO cs.tum.edu\n";
int len = strlen(msg);
int written = 0, res;
while (written < len) {
   res = write(fd, &msg[written], len-written);
   if ((res < 0) && (errno != EINTR)) {
      perror("write"); exit(1);
   }
   if (res >= 0) written += res;
}
```

Adreß-Information

- `int getsockname(int sockfd, struct sockaddr *addr, int *addrlenptr)`
  - lokale IP-Adresse und Port des Sockets
- `int getpeername(int sockfd, struct sockaddr *addr, int *addrlenptr)`
  - IP-Adresse und Port des Kommunikationspartners

Beispiel-Code

- Siehe `http://www.bs.informatik.uni-siegen.de/web/wismueller/vl/gen/rn2/code/tcp-c.zip`

Stream Sockets in Java

- Klasse `Socket`
  - Konstruktur: `Socket sock = new Socket();`
    - zur Erzeugung eines Client-Sockets
  - auch serverseitig verwendet (nach `accept()`)
- Serverseitig: Klasse `ServerSocket`
  - Konstrukturen:
    - `ServerSocket sock = new ServerSocket(int port);`
    - oder `new ServerSocket(int port, int backlog);`
    - Konstruktoren führen auch `bind()` und `listen()` aus
  - Methode `Socket accept()`
    - Client-Adresse durch `Socket`-Methoden zu erfragen

Stream Sockets in Java ...

- Verbinden eines Sockets (clientseitig)
  - über Methode `connect` der Klasse `Socket`:
    - ```
      byte[] b = { (byte)217, 72, (byte)195, 42 };
      InetAddress addr = InetAddress.getByAddress(b);
      sock.connect(new InetSocketAddress(addr, port));
      ```
    - bzw. mit DNS-Lookup, z.B.:
      ```
      sock.connect(new InetSocketAddress("www.web.de",
                                         80));
      ```
  - oder direkt über Konstruktor der Klasse `Socket`:
    - `Socket sock = new Socket(addr, port);`
    - `Socket sock = new Socket("www.web.de", 80);`

Stream Sockets in Java ...

- Weitere wichtige Methoden von `Socket`:
  - `void close()`
    - Schließen des Sockets (TCP-Verbindungsabbau)
  - `InetAddress getLocalAddress()` u. `int getLocalPort()`
    - liefern lokale IP-Adresse / Port
  - `InetAddress getInetAddress()` und `int getPort()`
    - liefern IP-Adresse / Port des Kommunikationspartners
  - `InputStream getInputStream()`
    - liefert Eingabestrom zum Lesen vom Socket
  - `OutputStream getOutputStream()`
    - liefert Ausgabestrom zum Schreiben auf den Socket
      ```

Stream Sockets in Java ...

- Lesen vom Socket (typisch):

```
BufferedReader in = new BufferedReader(
                        new InputStreamReader(
                            socket.getInputStream()
                    ));
String request = in.readLine();
```

- Schreiben auf einen Socket (typisch):

```
PrintWriter out = new PrintWriter (
                      socket.getOutputStream()
                  );
out.println("This is the reply!");
out.flush();
```


Anmerkungen zu Folie 293:

- Sie können auch alle anderen Filterströme für die Ein-/Ausgabe verwenden, z.B.
  - `DataInputStream`/`DataOutputStream` um einfache Datentypen in Binärform zu übertragen
  - `ObjectInputStream`/`ObjectOutputStream` um serialisierte Objekte zu übertragen
- Die zu `PrintWriter` sehr ähnliche Klasse `PrintStream` unterscheidet sich zum einen in der Codierung der Zeichen und im Pufferverhalten:
  - `PrintWriter` puffert normalerweise die Daten solange, bis explizit `flush()` aufgerufen wird. Man kann beim Aufruf des Konstruktors allerdings ein Flag `autoFlush` setzen; dann wird nach jedem `println()` der Puffer automatisch geleert.
  - `PrintStream` leert den Puffer prinzipiell vor jedem `'\n'`-Zeichen und nach jedem `println()`-Aufruf (d.h., bei `println("Hallo")` zweimal, einmal vor und einmal nach dem `'\n'`, auch wenn die Java-Dokumentation dies anders beschreibt (per Default sollte der *auto-flush* Modus ausgeschaltet sein).

- Bei jedem Leeren des Puffers wird TCP mit der Option `Push` aufgerufen, was (in der Regel) zum sofortigen Absenden eines TCP-Segments mit gesetztem `PSH`-Flag führt. Eine Ausnahme von dieser Regel ist der Nagle-Algorithmus (RFC 896), der das Versenden vieler kleiner TCP-Segmente verhindern soll. Der Algorithmus verzögert das Absenden eines neuen, nicht maximal großen TCP-Segments so lange, bis alle vorherigen Segmente bestätigt wurden. Dadurch passt sich die Rate, mit der Segmente versendet werden, an die Geschwindigkeit des Netzes und des Empängers an.

  Da der Nagle-Algorithmus ungünstig mit TCP-*Delayed-ACKs* interagiert, kann er abgeschaltet werden. In Java erfolgt dies über die Methode `setTcpNoDelay()` der Klasse `Socket`.

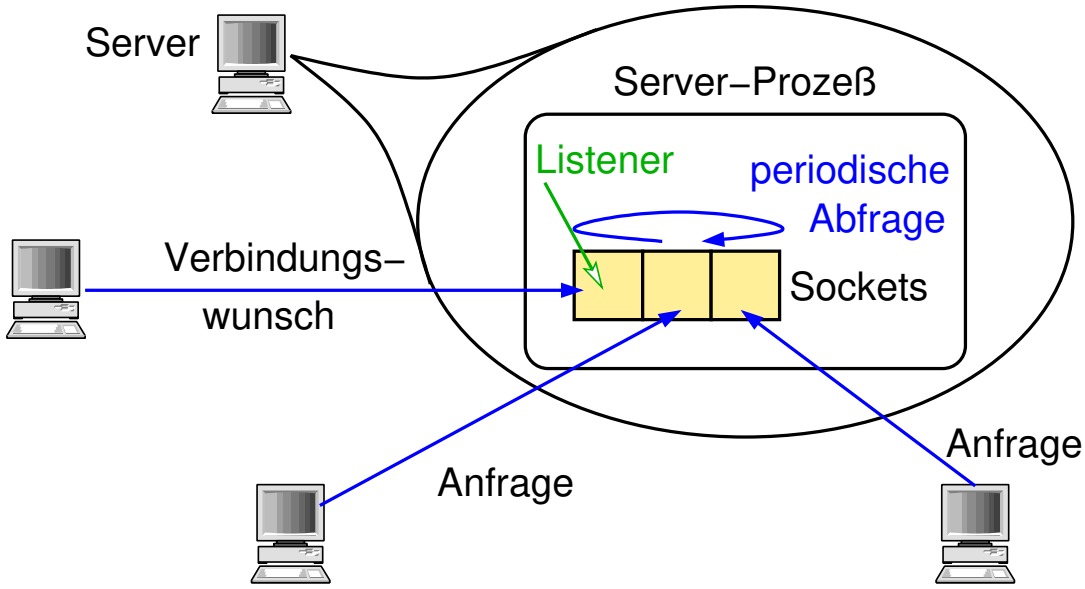
  Hinter *Delayed-ACK* steht die Idee, daß ein TCP-Empfänger das Versenden eines ACKs etwas verzögern darf, um die Bestätigung mit einem möglicherweise bald in Gegenrichtung übertragenen TCP-Segment huckepack senden zu können.

  Beide Mechanismen sind im RFC 1122, Kap. 4.2.3 näher beschrieben (`http://www.faqs.org/rfcs/rfc1122.html`).

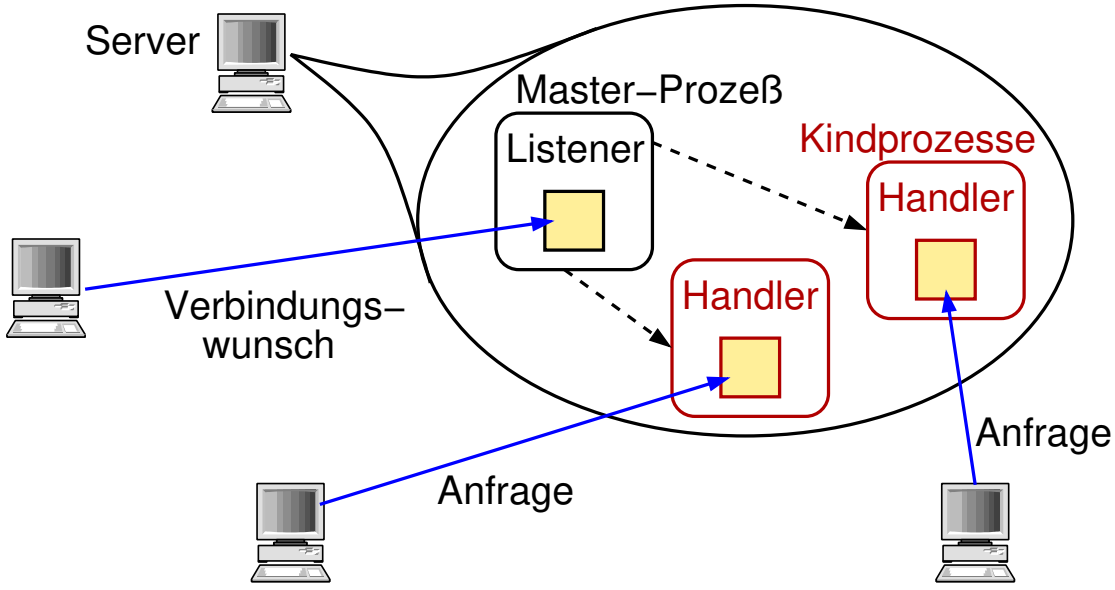
8.4 Design von Server-Programmen

- Server sollte mehrere Clients gleichzeitig bedienen können
  - d.h. Server muß gleichzeitig mehrere Sockets auf eingehende Nachrichten abfragen können
- Alternativen:
  - *Polling*: Sockets nacheinander nichtblockierend abfragen
    - durch Optionen des Sockets bzw. von `recv()`
  - für jeden Client einen neuen Prozeß erzeugen
    - UNIX: Systemaufruf `fork()` erzeugt Prozeßkopie
  - für jeden Client einen neuen Thread erzeugen
    - z.B. in Java
  - blockierendes Warten an einer Menge von Sockets
    - UNIX: Systemaufruf `select()` erlaubt Warten an einer Menge von Dateideskriptoren

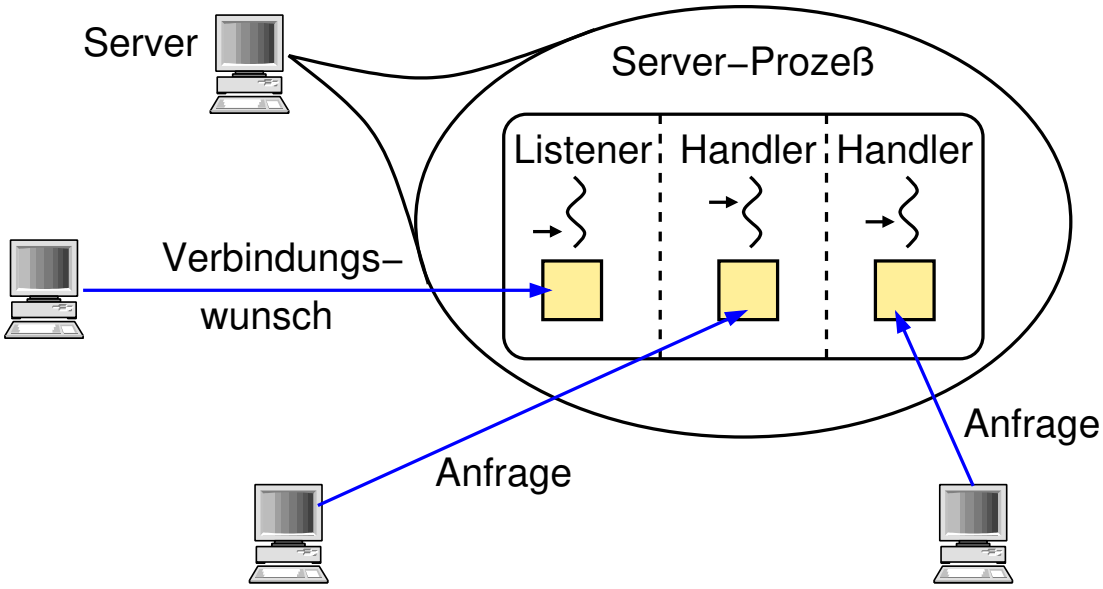
Polling Server



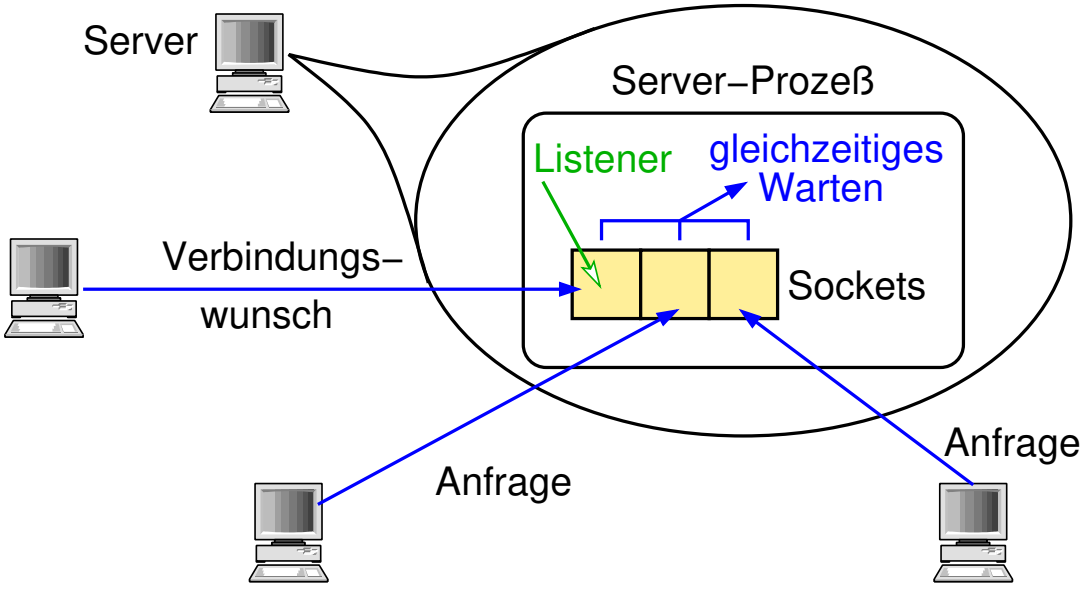
Prozeß pro Client



Thread pro Client



Select-basierter Server



Anmerkungen zu Folie 298:

In Java gibt es eine Klasse `java.nio.channels.Selector`, mit deren Hilfe auch in Java select-basierte Server realisierbar sind.

298-1

8.4 Design von Server-Programmen ...

Diskussion

- *Polling*: verschwendet CPU-Zeit
- Prozeß pro Client:
  - Problem: Ressourcenverbrauch bei vielen Clients
  - Schutz der einzelnen Server-Prozesse gegeneinander
- Thread pro Client:
  - weniger ressourcenintensiv als Prozeß pro Client
  - einfache Nutzung gemeinsamer Daten zw. den Threads
- Select-basierter Server:
  - benötigt keine zusätlichen Ressourcen
  - Aufträge werden rein sequentiell verarbeitet (keine Synchronisation, aber langer Auftrag blockiert alle folgenden)

8.5 Zusammenfassung / Wiederholung

Socket-Programmierung

- Socket: Abstraktion für Kommunikationsendpunkt
- Socket-API unabhängig von Netzwerk und Protokollen
- Datagramm- und *Stream* Sockets (mit IP: UDP / TCP)
- Datagramm-Kommunikation
  - `socket()`: Erzeugen eines Sockets
  - `bind()`: binden an IP-Adresse / Port (für Server)
  - `sendto()`: Senden eines Datagramms
  - `recvfrom()`: Empfang eines Datagramms
- Java-Schnittstelle für Datagramm-Sockets
  - Klasse `DatagramSocket`
  - Methoden `send()` und `receive()`

8.5 Zusammenfassung / Wiederholung ...

Socket-Programmierung ...

- *Stream-Sockets*
  - `listen()`: passives Öffnen des TCP-Ports durch Server
  - `connect()`: TCP-Verbindungsaufbau durch Client
  - `accept()`: Server erhält neuen Socket für akzeptierte TCP-Verbindung
  - `send()` oder `write()` zum Senden von Daten
  - `recv()` oder `read()` zum Empfangen
- Java-Schnittstelle für *Stream-Sockets*
  - Klasse `Socket`
    - Methoden `getInputStream()` und `getOutputStream()`
  - Klasse `ServerSocket`
    - Konstruktur erledigt `bind()` und `listen()`

Server-Design

- (Polling), Prozeß pro Client, Thread pro Client, Select-basiert
- Optimales Design abhängig vom Anwendungsfall