Rechnernetze II

SoSe 2025

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

Stand: 1. April 2025

Rechnernetze II

SoSe 2025

8 Netzwerkprogrammierung

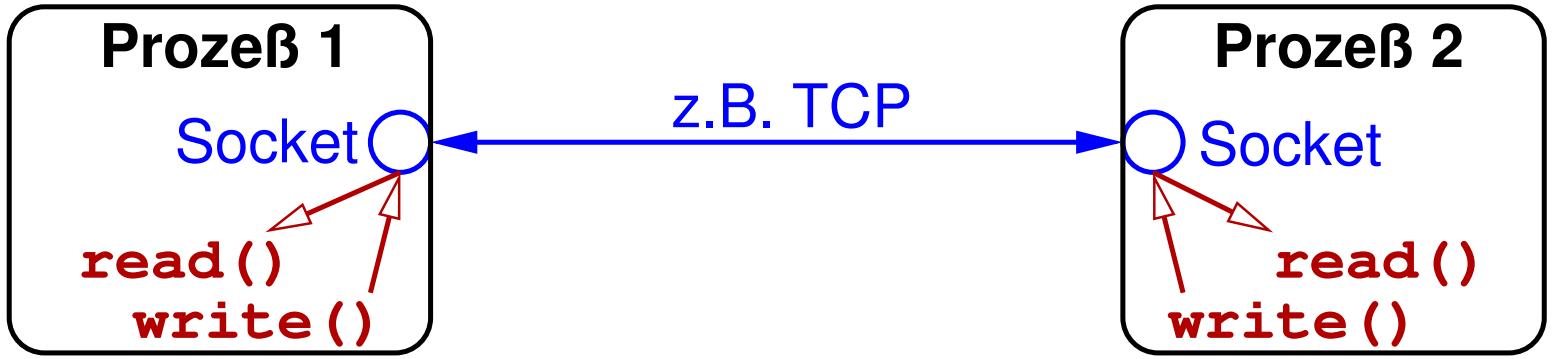
Inhalt

- 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

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`
```

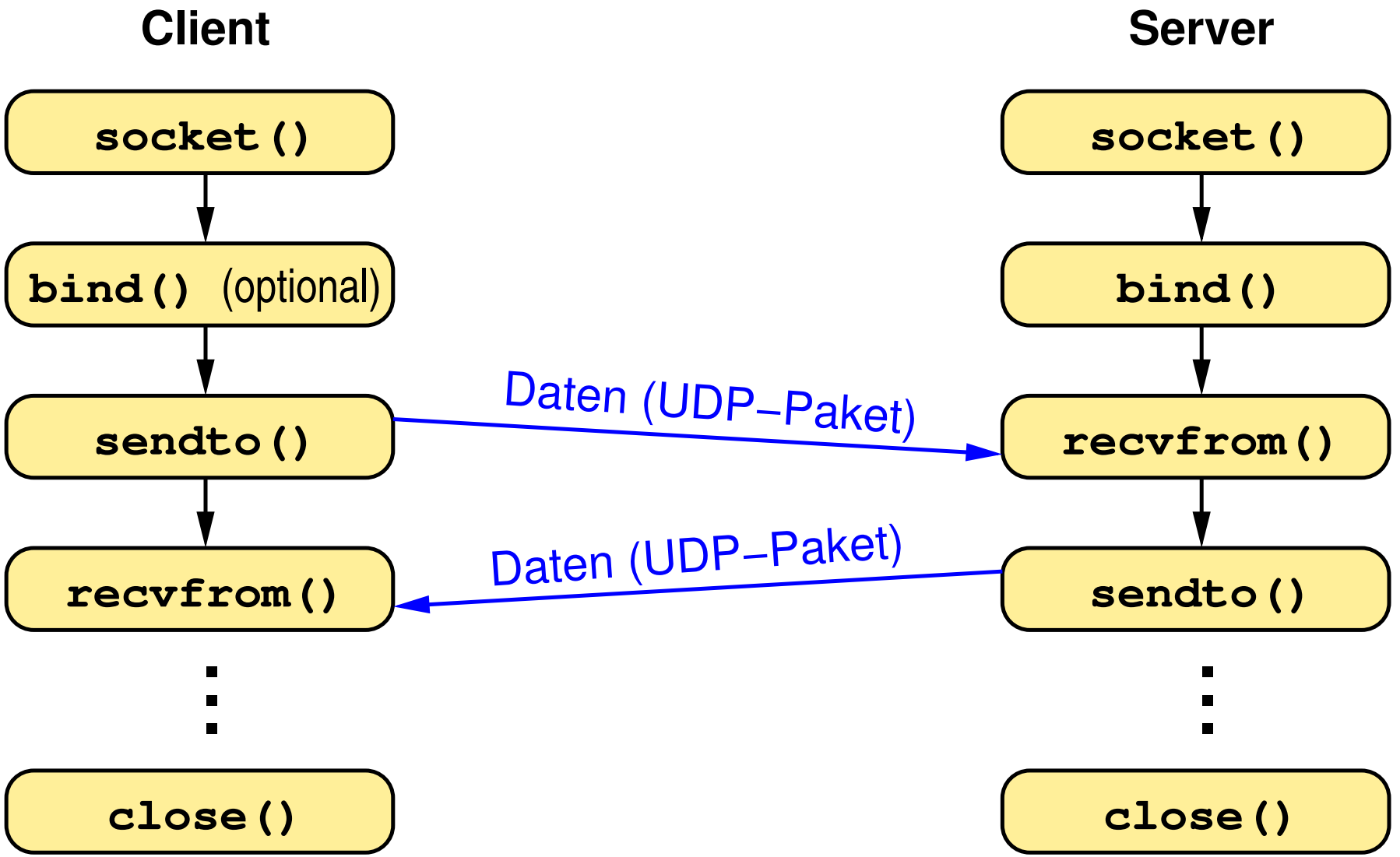
Binden an eine Adresse, Anmerkungen

- `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

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

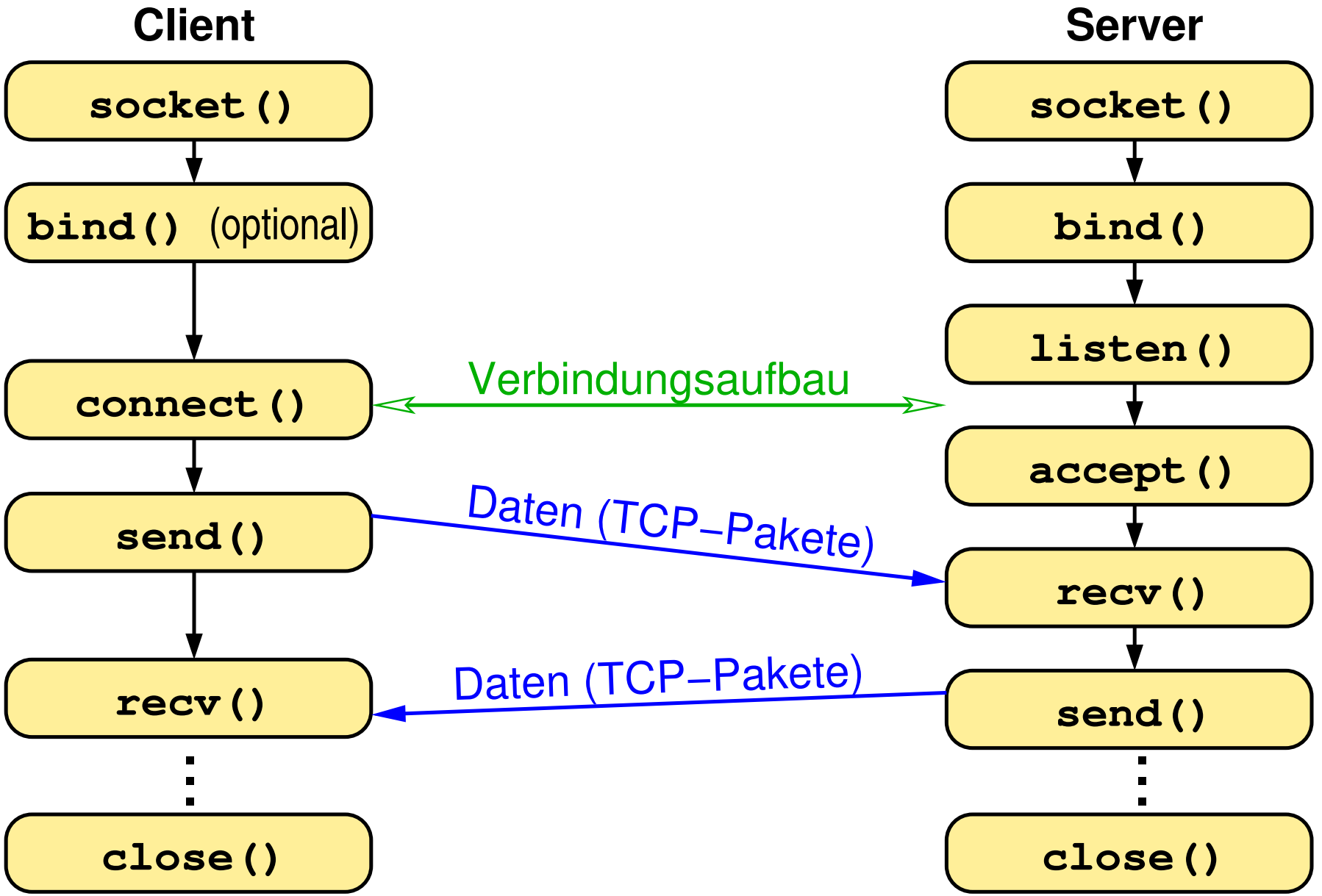
Datagramm-Sockets in Java ...

- 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

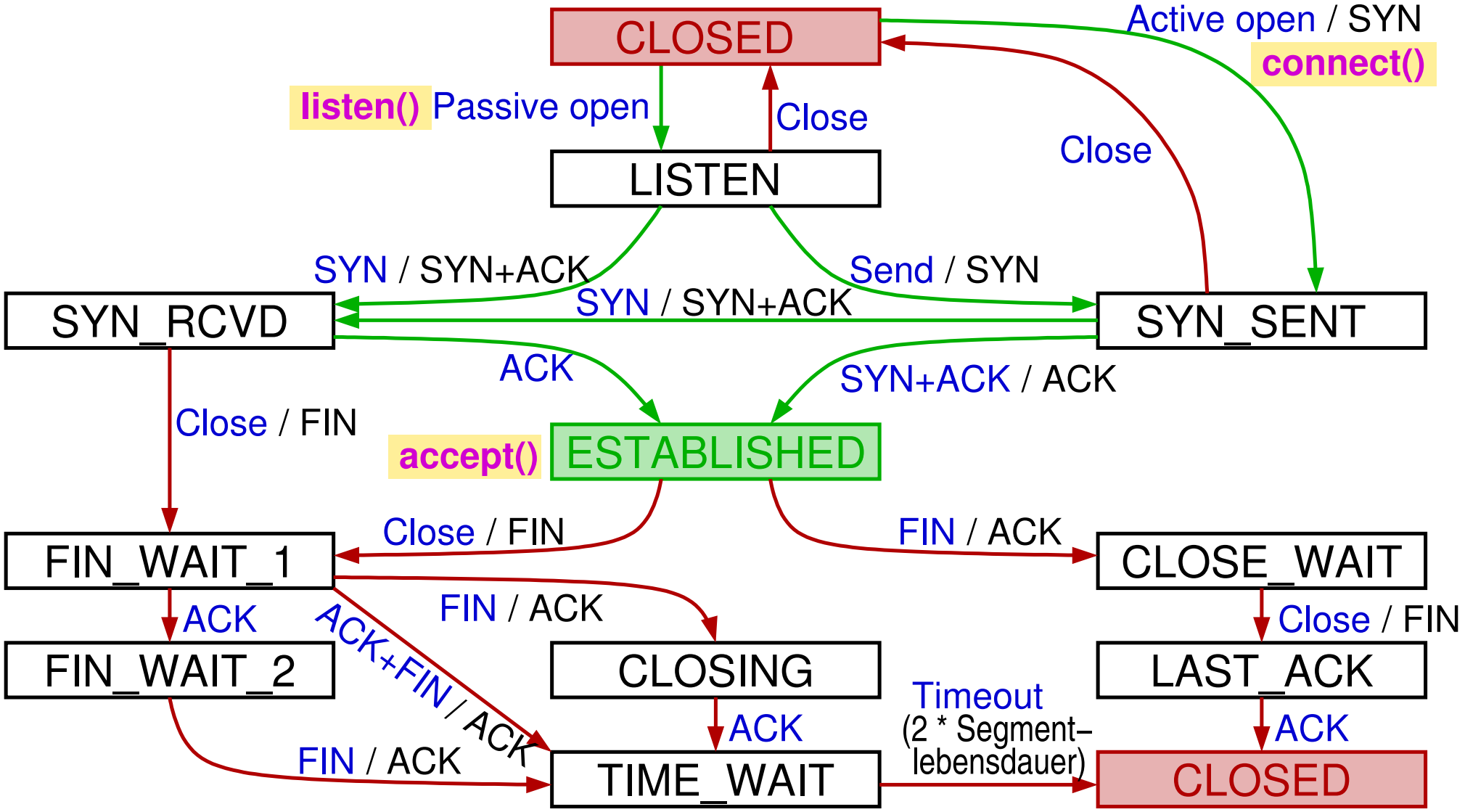
Datagramm-Sockets in Java ...

- 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

8.3 Strom-Kommunikation (TCP)



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

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)`)
  ```

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`, ...

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();
```

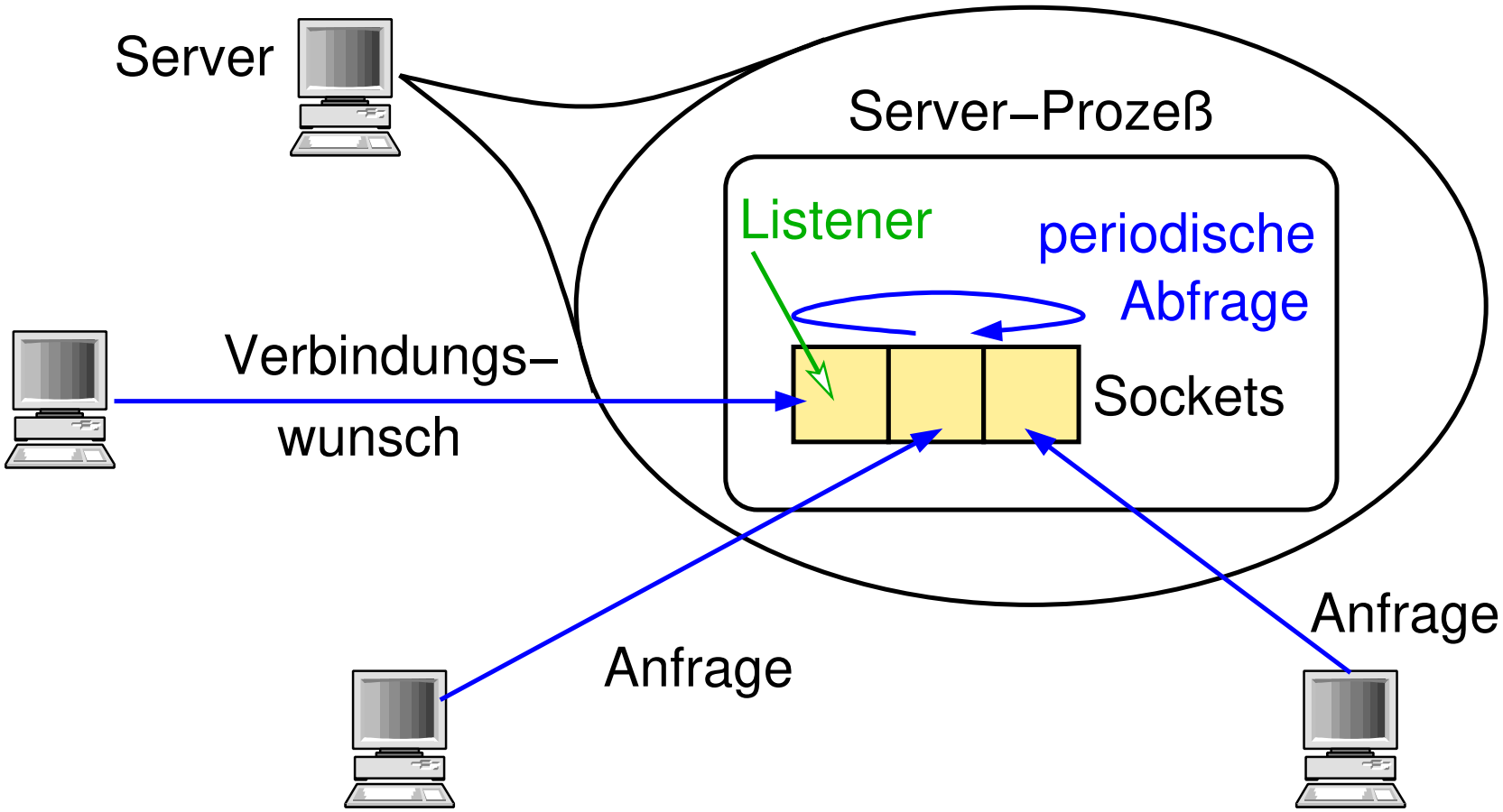
- Schreiben auf einen Socket (typisch):

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

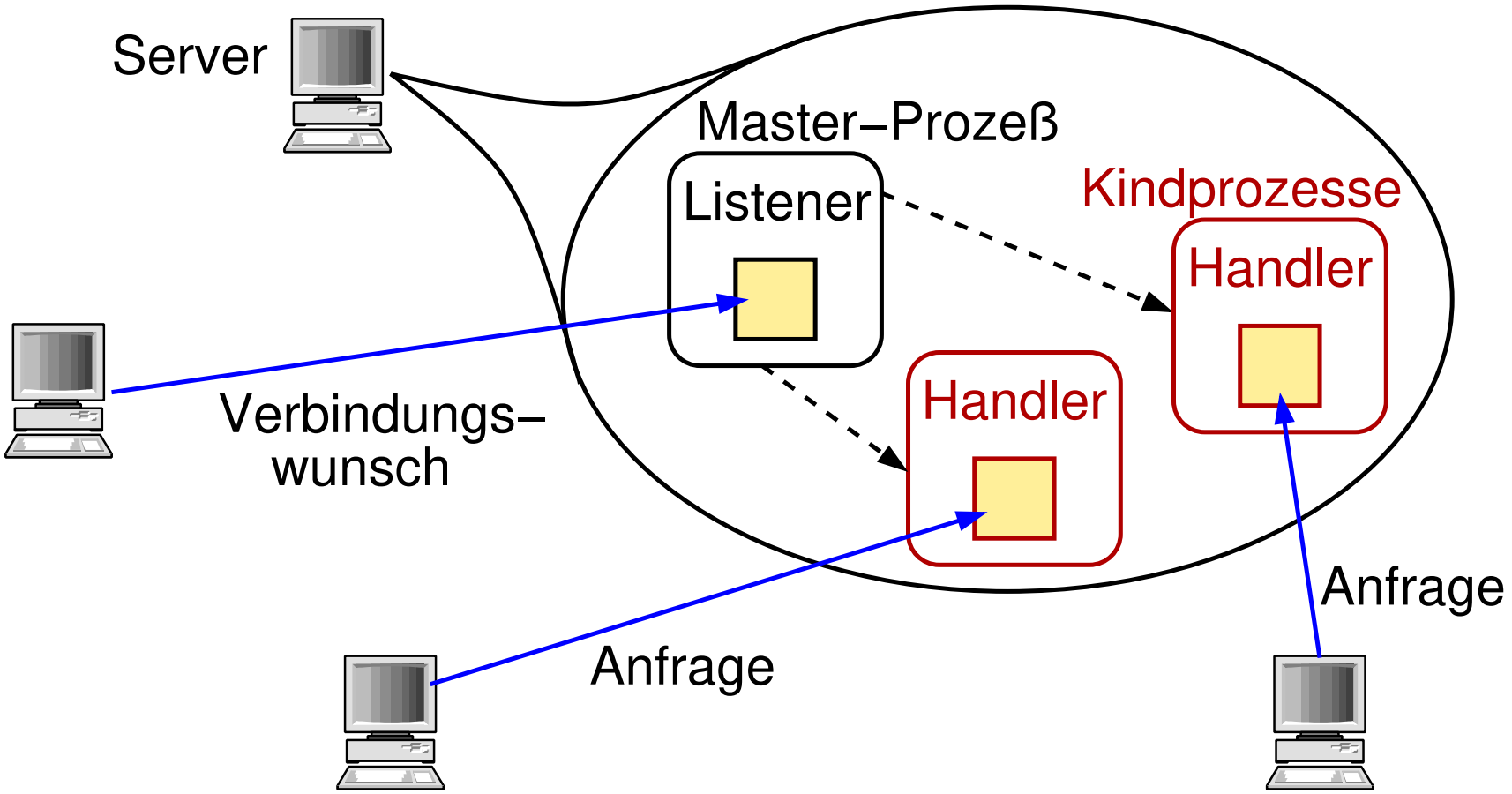
8.4 Design von Server-Programmen

- 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

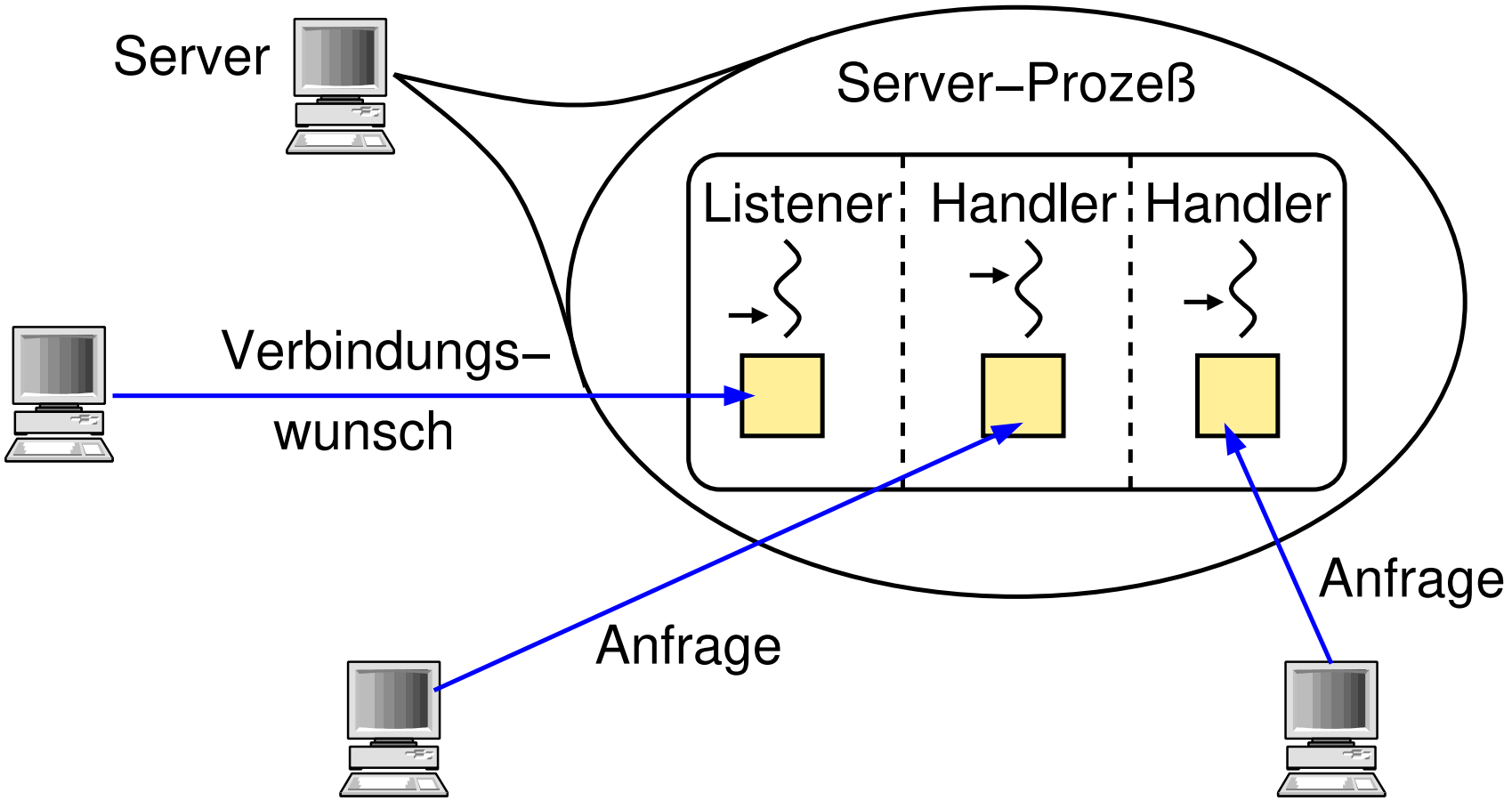
Polling Server



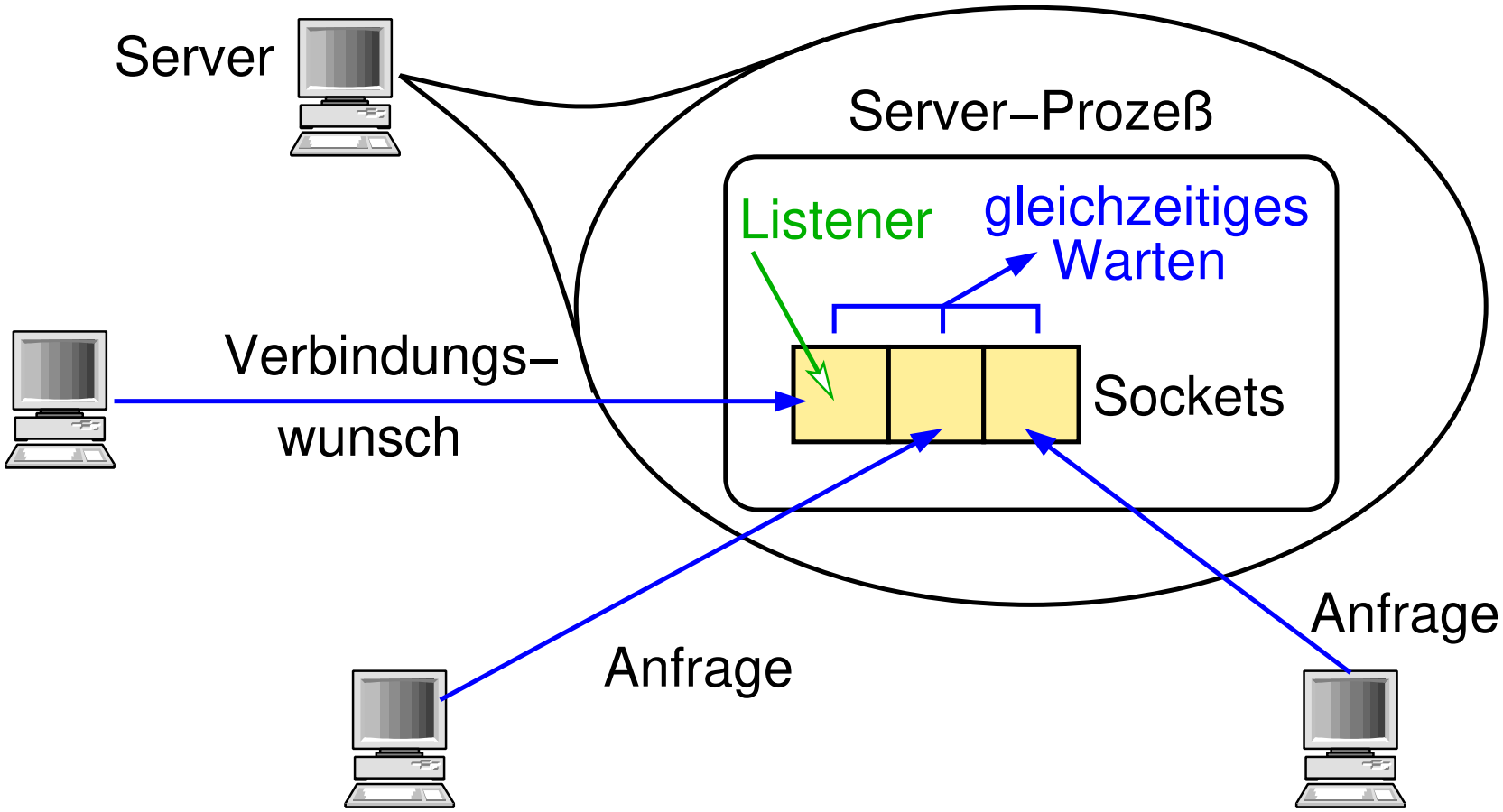
Prozeß pro Client



Thread pro Client



Select-basierter Server



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)

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()`

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