Verteilte Systeme
Betriebssysteme II

Kapitel 4: Elementare Programmiermodelle
Kapitel 4.1: Sockets

Prof. Dr. Wolfgang Küchlin

Dipl.-Inform., Dr. sc. techn. (ETH)

Arbeitsbereich Symbolisches Rechnen
Wilhelm-Schickard-Institut für Informatik
Fakultät für Informations- und Kognitionswissenschaften

Universität Tübingen

Steinbeis Transferzentrum
Objekt- und Internet-Technologien (OIT)

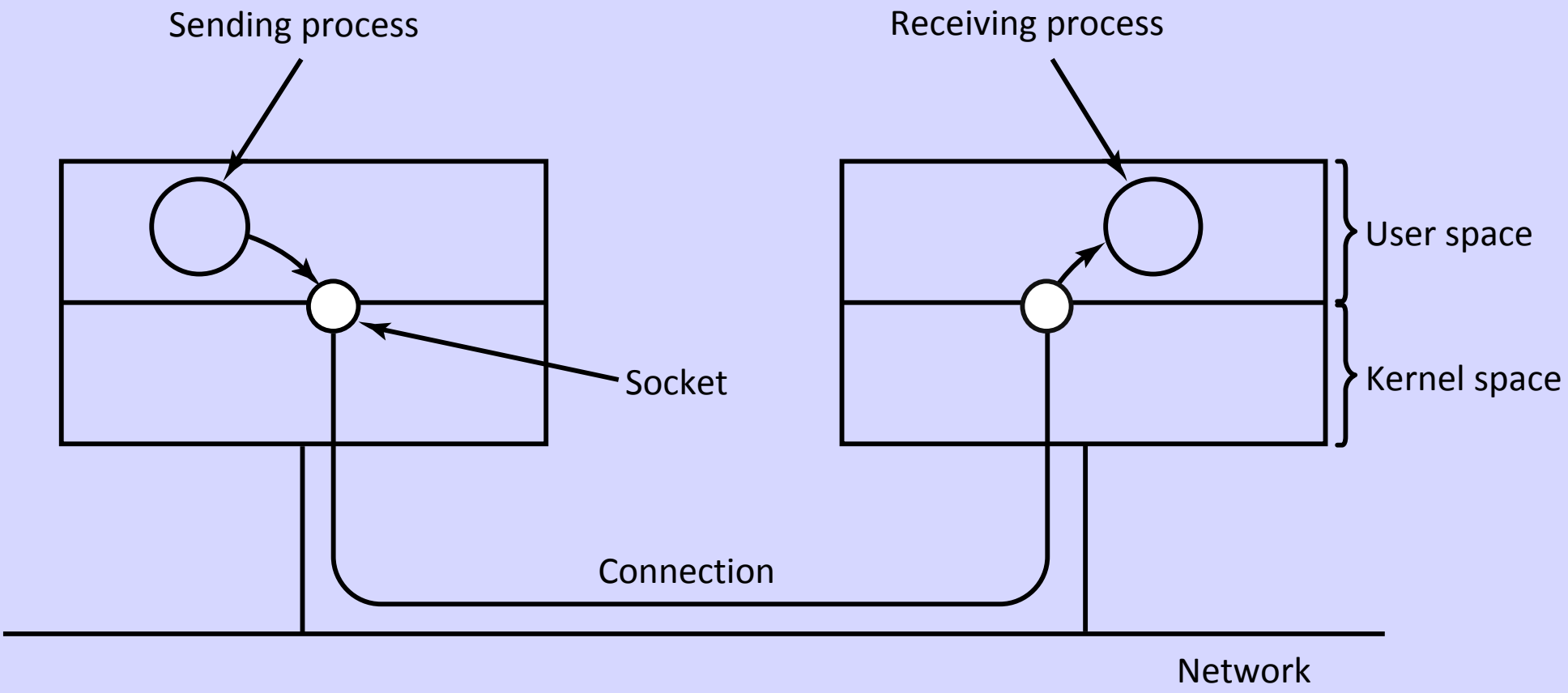
Wolfgang.Kuechlin@uni-tuebingen.de
http://www-sr.informatik.uni-tuebingen.de

SR

Überblick

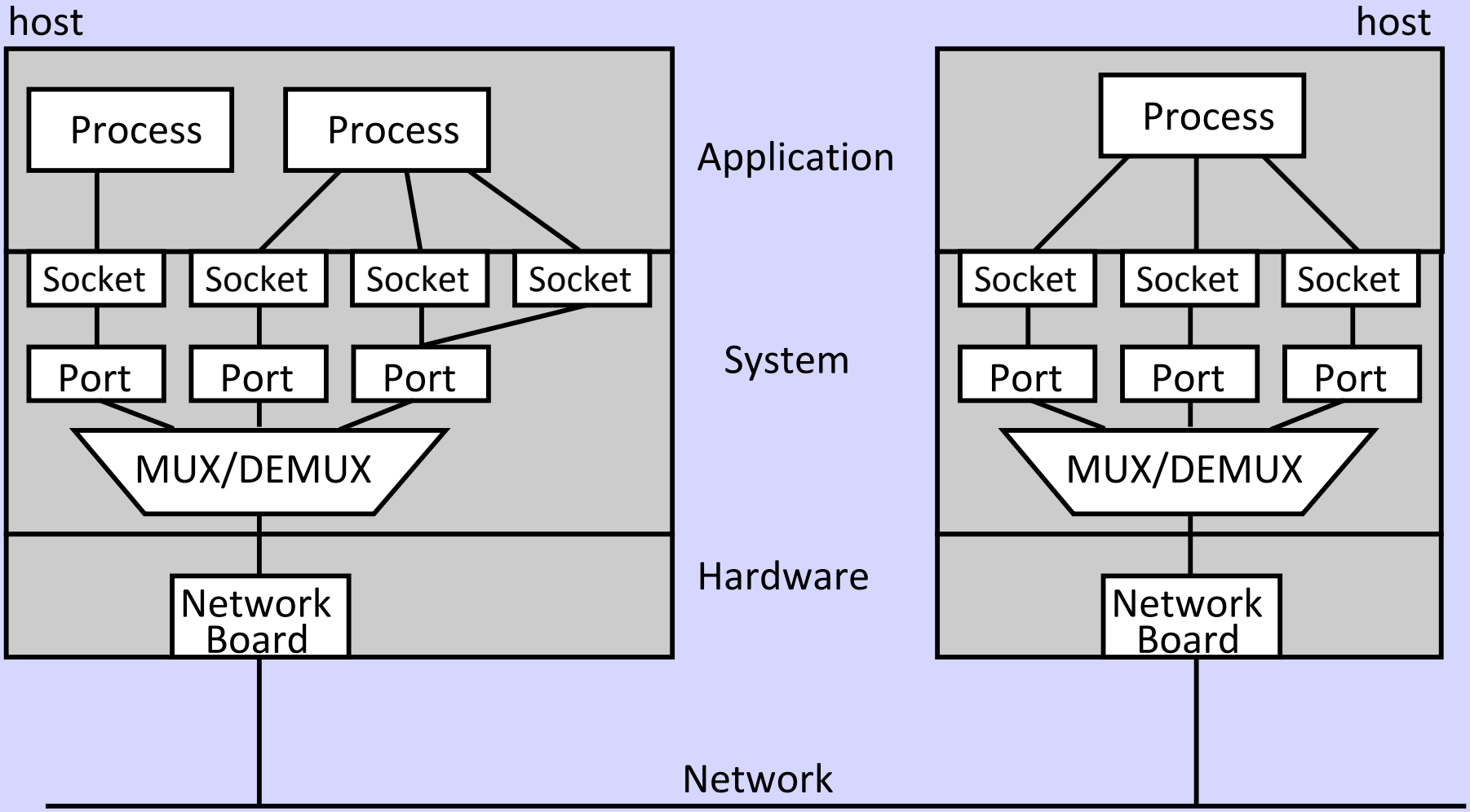
- UNIX Sockets
- Pipes und Socketpairs
- Prozessverbindung durch Sockets
  - Stream Sockets und Datagram Sockets
- Sockets in Java

The use of sockets for networking



Tanenbaum, „Modern Operating Systems“, Abb. 10-19

Abbildung von Sockets auf Ports



UNIX Sockets

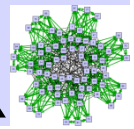
- Kommunikationsschnittstelle zwischen Anwendungsprogrammen und den ports der TCP/IP Protokolle
  - Ports: TCP/IP Realisierung der OSI TSAPs (Transport Service Access Point).
- 1982/83 mit 4.2 BSD in UNIX eingeführt
- Stellen jeweils das Ende einer Prozess-Prozess-Verbindung dar.
- Grundidee:
  - Netzverbindung bezüglich Schreiben und Lesen wie eine Datei zu behandeln
  - Analog zu *file descriptors* jetzt *socket descriptors*
- Uniformität:
  - socket-Verbindungen sowohl zwischen Prozessen auf demselben Rechner als auch zwischen Prozessen, die durch das Internet verbunden sind
  - *UNIX-Domain* und *Internet-Domain*
  - *Domain* = Adressraum, wo eine bestimmte Art von Adressen gültig ist
  - Innerhalb der UNIX Domain sind socket-Verbindungen über das Dateisystem implementiert.

Prozessverbindungen durch Sockets

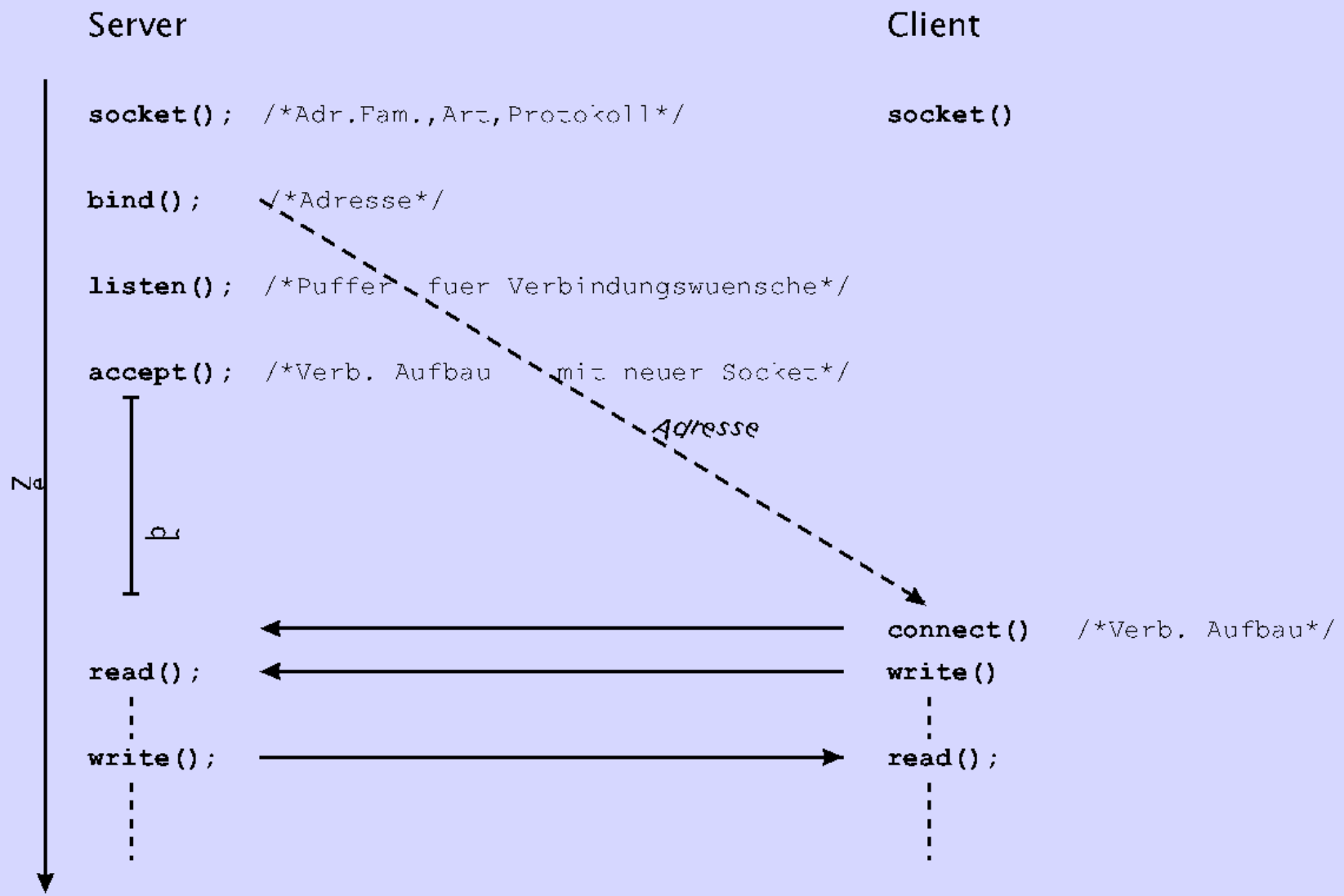
- fünf Komponenten einer Prozessverbindung

  (protocol, local host, local port, remote host, remote port)

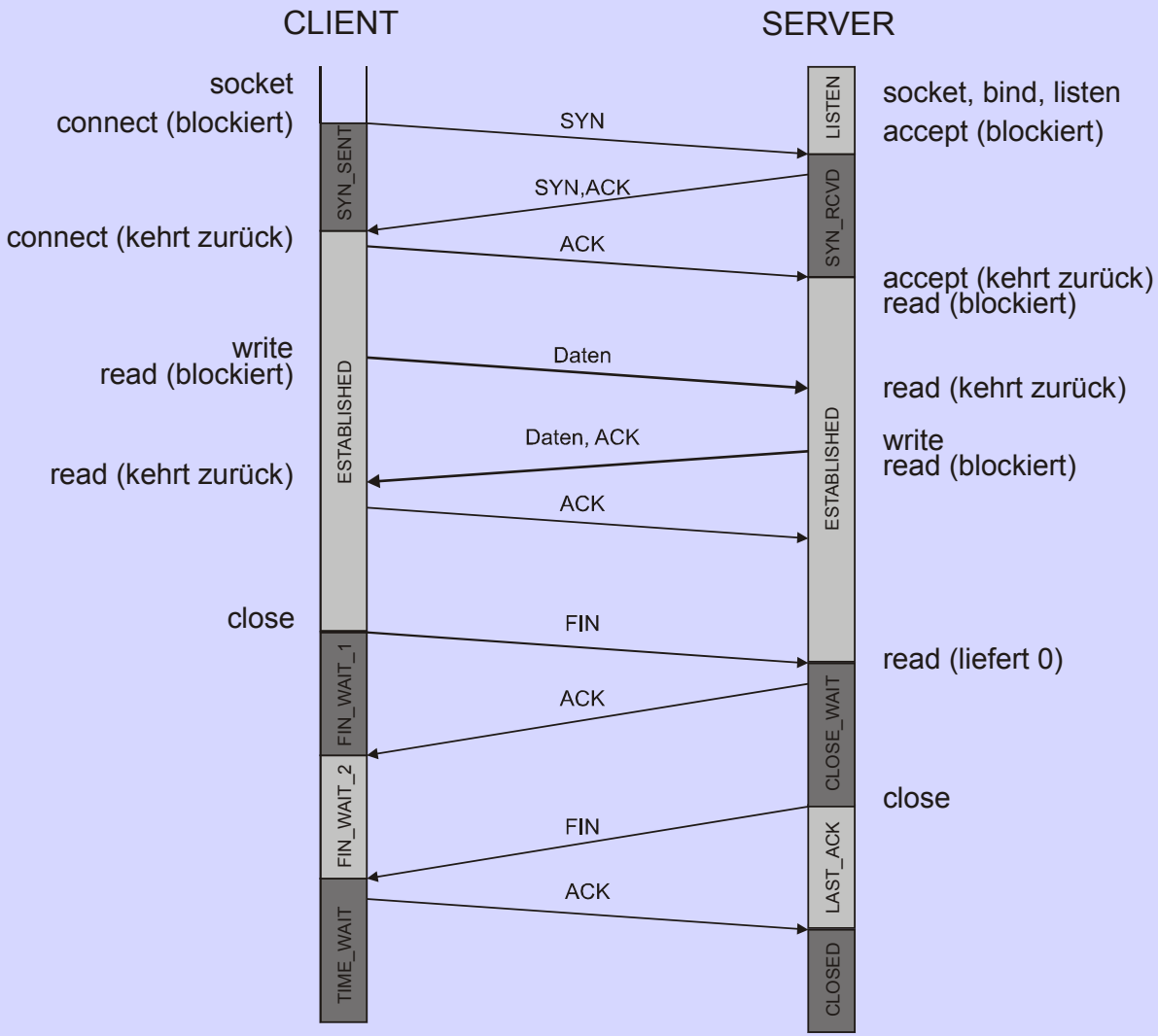
- Bei einem verbindungsorientierten Protokoll (Bsp.: TCP)
  - Adressen Teil der **Verbindung**.
  - Klient: `connect()` und Server: `accept()`
    → Rendezvous, bei dem Verbindung aufgebaut wird
  - Nachfolgendes Lesen und Schreiben unter Angabe der Verbindung
    - ohne weitere Angabe der Adressen
- Bei einem Datagramm (Brief-) orientierten Protokoll (Bsp.: UDP)
  - Zunächst: Endpunkte eines Kommunikationsweges werden aufgebaut
    - adressierbare Briefkästen
  - Jede Nachrichtenübermittlung als unabhängiges Paket unter Angabe der Zieladresse über lokalen Endpunkt

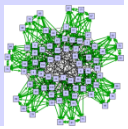


Aufrufsequenz für Stream Sockets

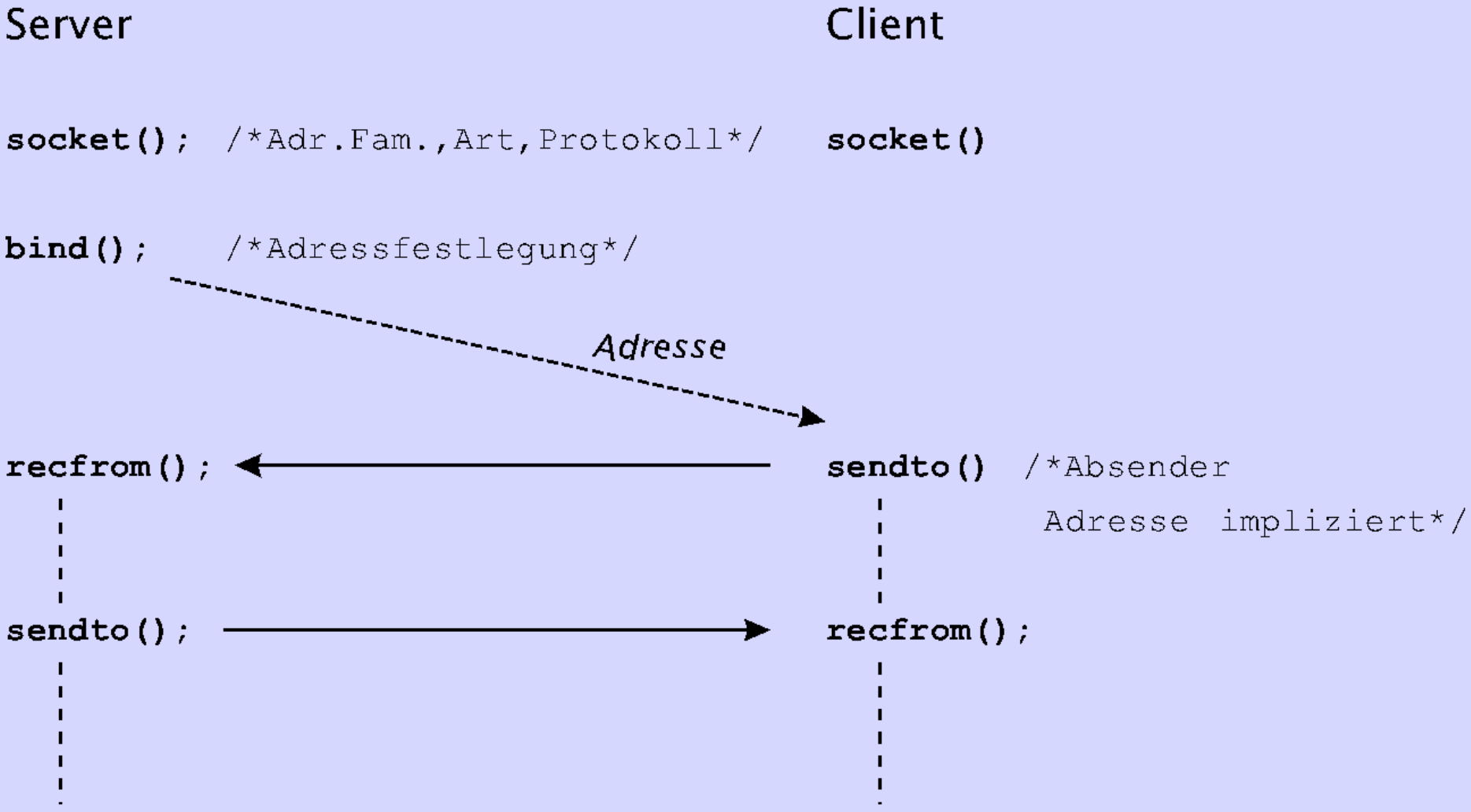


Stream Sockets und TCP





Aufrufsequenz für Datagram Sockets



Gebrauch von Datagram-Sockets

```
int sd;
int domain, type, protocol;
sd = socket(domain, type, protocol);
```

- socket()
  - domain: Adressfamilie; type: Art der Komm. (Datagram od. Stream);
  - Resultat: socket-Deskriptor = Index in die Deskriptorentabelle des Prozesses
- heutige UNIX-Systeme: Normalerweise nur jeweils eine Protokollimplementierung für jede (domain,type) Kombination vorhanden
  - Theoretisch könnte es mehrere Implementierungen geben
- Daher: Nutzung der Standardimplementierung durch Angabe von:

```
protocol = PF_UNSPEC /* Protocol family */
```

  - wobei

```
sys/socket.h
# define PF_UNSPEC 0
```

Gebrauch von Datagram-Sockets

- relevante Fälle:

```
domain =    AF_UNIX      // Unix domain
            AF_INET      // Internet domain
type =    SOCK_DGRAM     // Datagram Connection
          SOCK_STREAM    // Stream Connection
```

- Zuordnung zu einer Adresse
  - allgemeiner Adressrahmen:

```
struct sockaddr
{   u_short sa_family;      /* address family AF_xxx */
    char sa_data[14];       /* up to 14 bytes of direct address */
}
```

  - Je nach Adressraum werden die 14 Bytes unterschiedlich genutzt und interpretiert.

Adressfamilien

```
#define AF_UNSPEC       0               /* unspecified */
#define AF_UNIX         1               /* local to host (pipes, portals) */
#define AF_INET         2               /* internetwork: UDP, TCP, etc. */
#define AF_IMPLINK      3               /* arpanet imp addresses */
#define AF_PUP          4               /* pup protocols: e.g. BSP */
#define AF_CHAOS        5               /* mit CHAOS protocols */
#define AF_NS           6               /* XEROX NS protocols */
#define AF_NBS          7               /* nbs protocols */
#define AF_ECMA         8               /* european computer manufacturers */
#define AF_DATAKIT      9               /* datakit protocols */
#define AF_CCITT        10              /* CCITT protocols, X.25 etc */
#define AF_SNA          11              /* IBM SNA */
#define AF_DECnet       12              /* DECnet */
#define AF_DLI          13              /* Direct data link interface */
#define AF_LAT          14              /* LAT */
#define AF_HYLINK       15              /* NSC Hyperchannel */
#define AF_APPLETALK    16              /* Apple Talk */
#define AF_NIT          17              /* Network Interface Tap */
#define AF_802          18              /* IEEE 802.2, also ISO 8802 */
#define AF_OSI          19              /* umbrella for all families used */
#define AF_X25          20              /* CCITT X.25 in particular */
#define AF_OSINET       21              /* AFI = 47, IDI = 4 */
#define AF_GOSIP        22              /* U.S. Government OSI */
#define AF_IPX          23              /* Novell Internet Protocol */
#define AF_ROUTE        24              /* Internal Routing Protocol */
#define AF_LINK         25              /* Link-layer interface */
```

Stream-Socket Verbindungen

- Aufbau einer Stream-Socket Verbindung ist asymmetrisch
  - anders als bei einer Datagramm Verbindung
- Ein Prozess übernimmt die Rolle des Servers, der andere die des Clients.
  - Server richtet Socket ein (socket(), bind(), listen()) und bietet über diese seine Dienste an
  - Mit *connect*-Befehl kann Client (via seiner eigenen Socket) Verbindung initiieren, um Anfrage zu starten

Stream-Socket Verbindungen – Beispiel

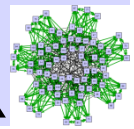
Unix-Domain

```
#include <sys/socket.h>
#include <sys/un.h>
#include <sys/types.h>


int sd, nlen;
struct sockaddr_un sock;
sd = socket(AF_UNIX, SOCK_STREAM, 0);
sock.sun_family = AF_UNIX;

strcopy(sock.sun_path, <Socket-Name>);

nlen = sizeof(struct sockaddr_un);
```

Internet-Domain

```
#include <sys/socket.h>
#include <netinet/in.h>
#include <sys/types.h>
#include<netdb.h>

int sd, nlen;
struct sockaddr_in sock;
sd = socket(AF_INET, SOCK_STREAM, 0);
sock.sin_family = AF_INET;
sock.sin_port = htons( <Portno>);
bcopy(<Host-Name>, sock.sin_addr,
                    sizeof<Host-Name>);
nlen = sizeof(struct sockaddr_in);
```

```
connect(sd, (struct sockaddr*) &sock, nlen)
```



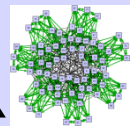
Stream-Socket Verbindungen

- Bei Stream Sockets ist Verbindung fest
  - Auflösen durch close() einer der beteiligten Sockets
- Server richtet durch listen(sd, MAX) eine Queue ein
  - anstehende Verbindungen werden in Queue aufgelistet, bis sie zur Abarbeitung akzeptiert worden sind
  - Queue hat normalerweise Länge von höchstens MAX=5
- Nach Einrichtung: Server kann Verbindungen aus dieser Queue akzeptieren

Stream-Socket Verbindungen

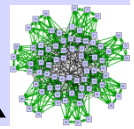
Unix-Domain	Internet-Domain
int newsock; struct sockaddr_un from; nlen = sizeof(struct sockaddr_un);	int newsock; struct sockaddr_in from; nlen = sizeof(struct sockaddr_in);
newsock = accept (sd, (struct sockaddr*) &from, &nlen)	

- *accept* erzeugt Kopie der eingerichteten Socket
  - über diese neue Socket wird kommuniziert, Port bleibt gleich!
- Nach *accept*-Aufruf steht in *from* die Socket Adresse des Client.
- *accept* blockiert normalerweise den Server-Prozess.
  - Problem, wenn mit mehreren Clients gleichzeitig kommuniziert werden soll
- Alternativ: *select*-Befehl



Stream-Socket Verbindungen – Beispiel

```
#include <sys/time.h>
#include <sys/types.h>
fd set rt, wt;                  /* read / write template */
struct timeval wait;
int nb;                         /* number of ready descriptors */

for(;;) {
      wait.tv sec = 5;
      wait.tv usec = 0;         /* wait 5 seconds */

      FD_ZERO(&rt);             /* initialize read-template */
      FD_ZERO(&wt);             /* initialize write-template */
      FD_SET(sd1, &rt);         /* include sd1 to &rt */
      FD_SET(sd2, &rt);         /* include sd2 to &rt */

      nb = select(FD_SETSIZE, &rt, &wt, (fd_set ) 0, &wait);

      if (FD_ISSET(sd1, &rt)) { ... }          /* s1 is ready to be read from */
      if (FD_ISSET(sd2, &rt)) { ... }      /* s2 is ready to be read from */
}
```



Stream-Socket Verbindungen – Beispiel

- Über die so eingerichteten Sockets kann kommuniziert werden mit:

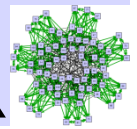
```
int read( sd, &buf, sizeof(buf));
int write( sd, DATA, sizeof(DATA));
int recv( sd, &buf, sizeof(buf),flag);
int send( sd, DATA, sizeof(DATA),flag);
```

- Als flags stehen unter anderem zur Verfügung:

```
#include<sys/socket.h>
MSG_OOB                 // send/receive out of band data
MSG_PEEK                // treat read data as still unread
```

- Eilige Sendungen
  - send(..., MSG_OOB)
- gelesene Message nicht aus der Socket löschen
  - recv(..., MSG_PEEK)
- entblocktes Lesen mit *fcntl* (→ Lesen von Files)

```
#include<fcntl.h>
fcntl(sd, FSETFL, FNDELAY);
```



Pipes und Socketpairs

- In 4 BSD:
  - Pipes werden über sockets implementiert.
  - Pipe Kommunikation unidirektional, socket Kommunikation ist bidirektional
- Beispiel:

```
int endpoint[2];
pipe (endpoint);
```

  - pipe mit zwei Deskriptoren.
  - Von Deskriptor endpoint[0] lesen und auf Deskriptor endpoint[1] schreiben
- Pipes sind *Fluß-(stream)-Verbindungen*
  - ununterbrochener Fluss von Bytes

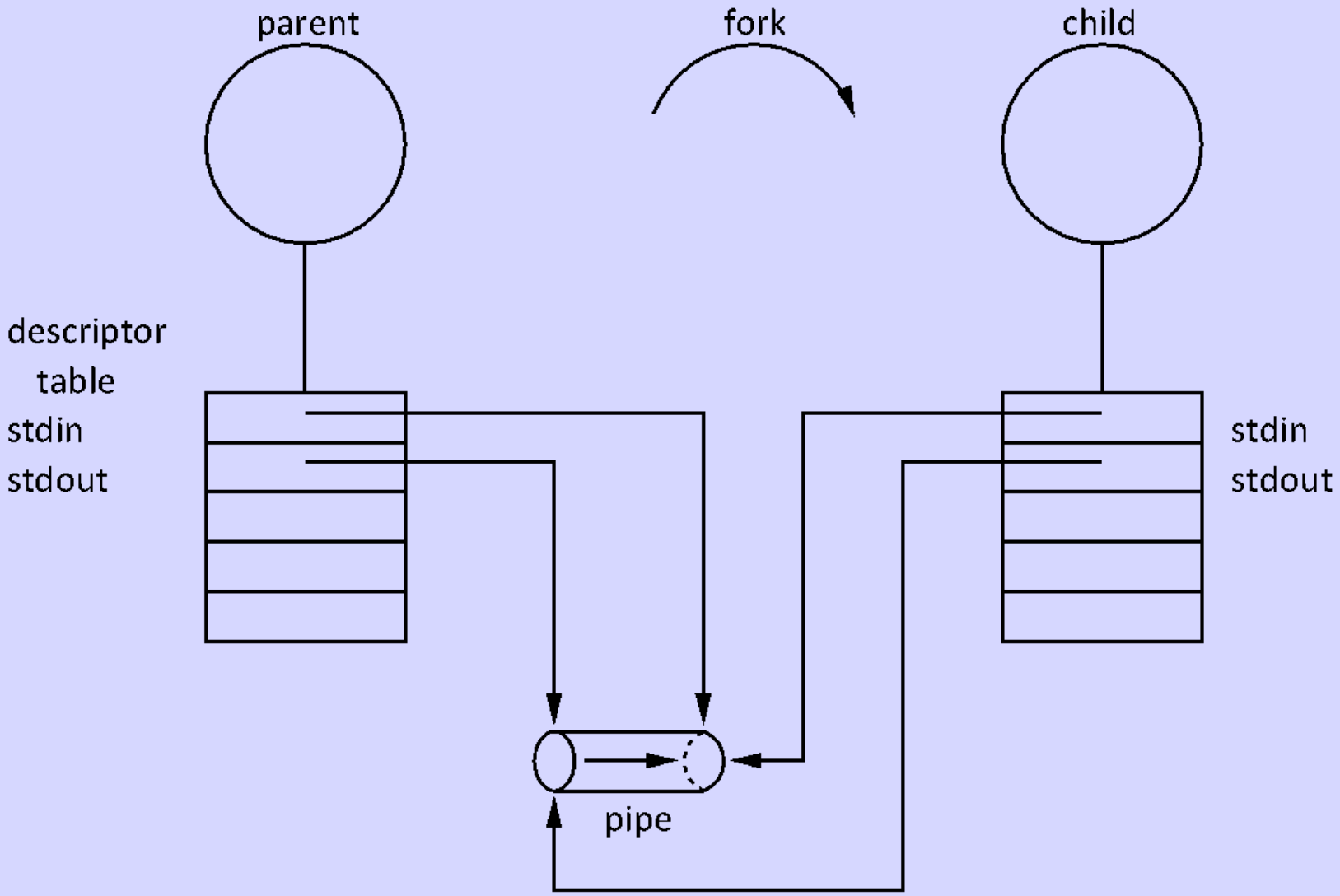
Pipes und Socketpairs

- Eintrag in die ersten freien Plätze der Deskriptortabelle des Prozesses
- Beispiel:

```
close(stdin);
close(stdout);
pipe(endpoint);
```

  - Pipe von stdout zu stdin
  - Nach Erzeugen der Pipe: fork() Aufruf → Duplizierung der Deskriptoren und somit der Pipe
  - Vater und Kind können über die Pipe kommunizieren

Pipes und Socketpairs



Socketpairs

- Ein verbundenes Paar aus Sockets stellt eine Verallgemeinerung einer Pipe dar, da der Datenfluss bidirektional ist.
- Aufruf:

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>
int sockets[2], errorcode;
errorcode = socketpair(domain,type,protocol,sockets);
ASSERT(errorcode == 0);
```

  - Liefert ein Paar Socketdeskriptoren im Array `sockets`.
- Einschränkung:

```
domain = AF_UNIX
type = SOCK_STREAM
protocol = 0  /* ein passendes (TCP) wird gewählt */
```

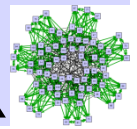
Socketpairs

- Zugriff:

```
char buf [1024];
#define DATA "Once upon a time ..."
read (sockets[1], buf, 1024);
write (sockets[1], DATA, sizeof(DATA));
```

OO-Kapselung von Socket-Schnittstellen

- ohne OO-Kapselung
  - Belastung der Programmierer mit „unnötigen Details“
- Konzept wird mit OO-Kapselung oftmals klarer
- 2 Beispiele:
  - Java Sockets Library
  - Sockets in ACE (C++ Library)



Sockets in Java

- Sockets in `java.net`
- Datagramm-Sockets: `DatagramSocket`
  - `MulticastSocket` unterstützt IP Multicasting.
- TCP-Stream Sockets:
  - `ServerSocket` für wartende Sockets auf Serverseite.
  - `Socket` für Sockets zur Verbindung auf Server- und Clientseite.
- Verbindung erfolgt über `InputStream` und `OutputStream` Objekte auf Client- und Serverseite
  - *Sockets sind bidirektional!*

Vorteile der OO Kapselung

- Typsicherheit wird verbessert
  - Fehler werden bereits beim Übersetzen erkannt
  - Z.B. Falsche Verwendung von Deskriptoren
- Kombination mehrer Systemaufrufe
  - Kompaktere Anwendungsprogramme
  - Vermeidung von Fehlern
- Korrekte Initialisierung durch Konstruktoren

Beispiel: Stream-Sockets in Java (Serverseite)

```
//hoere auf port 59000 auf lokalem host
ServerSocket s = new ServerSocket(59000);

while (true) {
  // warte auf connection request eines clients
  Socket clientConn = s.accept();

  InputStream in = clientConn.getInputStream();
  OutputStream out = clientConn.getOutputStream();
  // Datentransfer kann nun ueber in und out von
  // und zum Client erfolgen
  //…
}
```

Beispiel: Stream-Sockets in Java (Clientseite)

```
InetAddress serveraddr = InetAddress.getByName(
      "chaq.informatik.uni-tuebingen.de");

Socket s = new Socket(serveraddr, 59000);

InputStream in = s.getInputStream();
OutputStream out = s.getOutputStream();
// Datentransfer von und zum Server kann nun
// ebenfalls ueber in und out erfolgen
```

Datagram-Sockets in Java

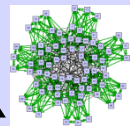
- Schaffung einer Datagramm-Socket mit spezifischer Port-Nummer:

```
DatagramSocket udpSocket =
                        new DatagramSocket(59000);
```

- Ohne Vorgabe eines spezifischen Ports:

```
DatagramSocket udpSocket =
                        new DatagramSocket();
int portNo = udpSocket.getLocalPort();
```

- Versenden von Datagrammen mittels Objekten vom Typ `DatagramPacket`.



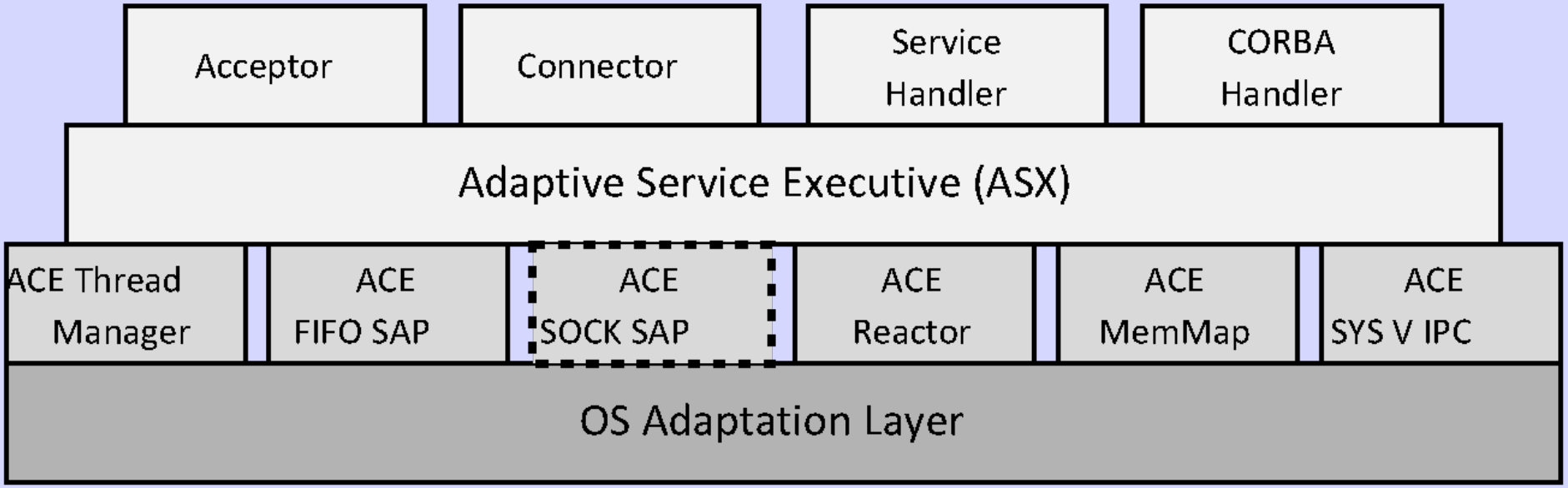
Beispiel: Datagram-Sockets in Java

```
// Nach Einrichten eines Sockets-Objekts udpSocket kann das
// Versenden von Datagrammen wie folgt geschehen.

byte[] payload = {'h', 'a', 'l', 'l', 'o'};

InetAddress serveraddr = InetAddress.getByName(
                "chaq.informatik.uni-tuebingen.de");

DatagramPacket p = new DatagramPacket(payload,
                                      payload.length,
                                      serveraddr,
                                      59000);
udpSocket.send(p);
```

ACE: Adaptive Communication Environment

- objekt-orientierte System-Plattform für Entwicklung von Kommunikationssoftware
- Implementierungen für:
  - UNIX Systeme z.B. SunOS 4.x, Solaris 2.x, AIX, SGI IRIX, u.a.)
  - Windows NT (Win32)
  - MVS OpenEdition
- frei erhältlich
- Umfang: ca. 85000 LOC (Multi-Plattform Code)

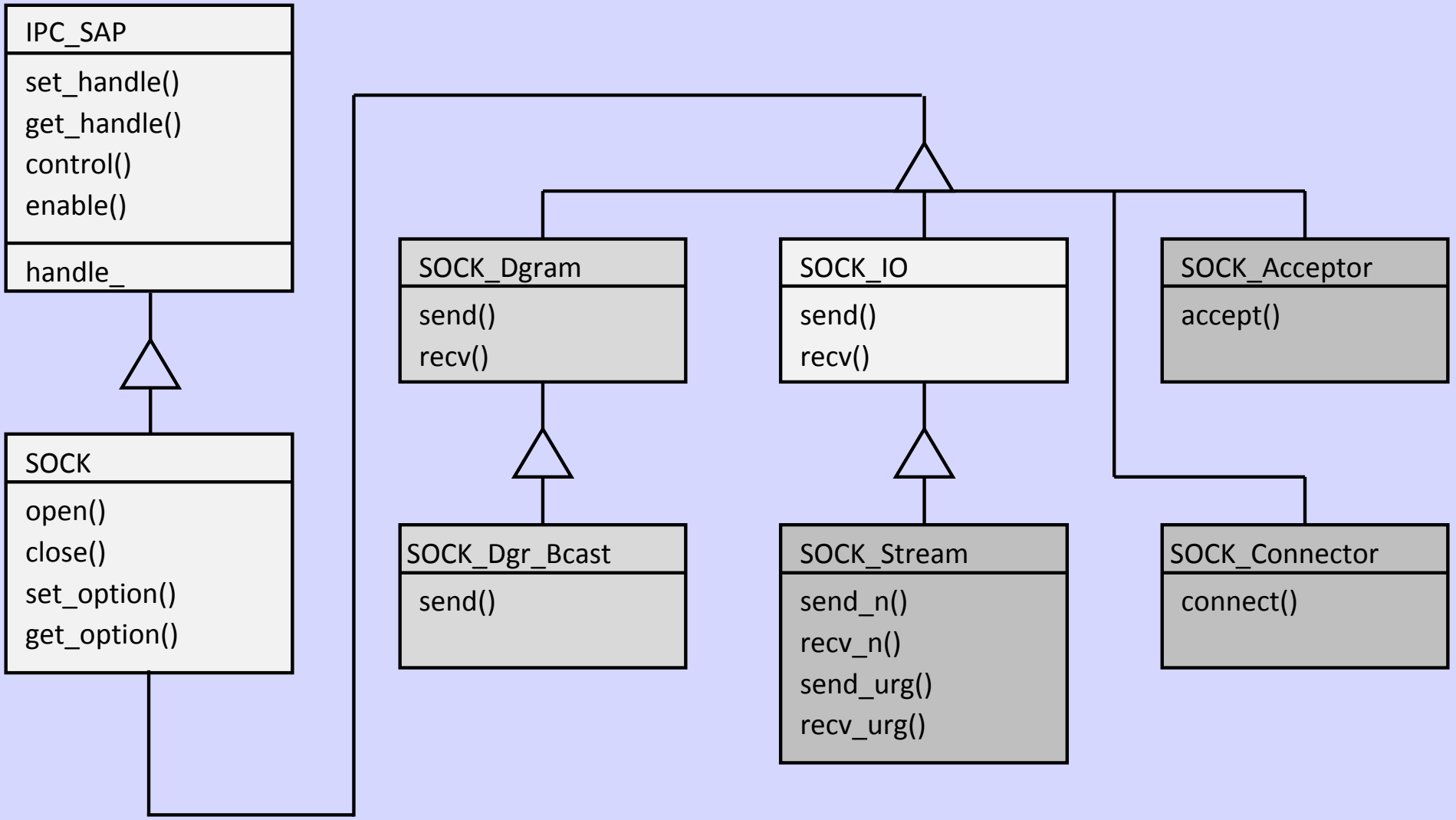
ACE – Überblick



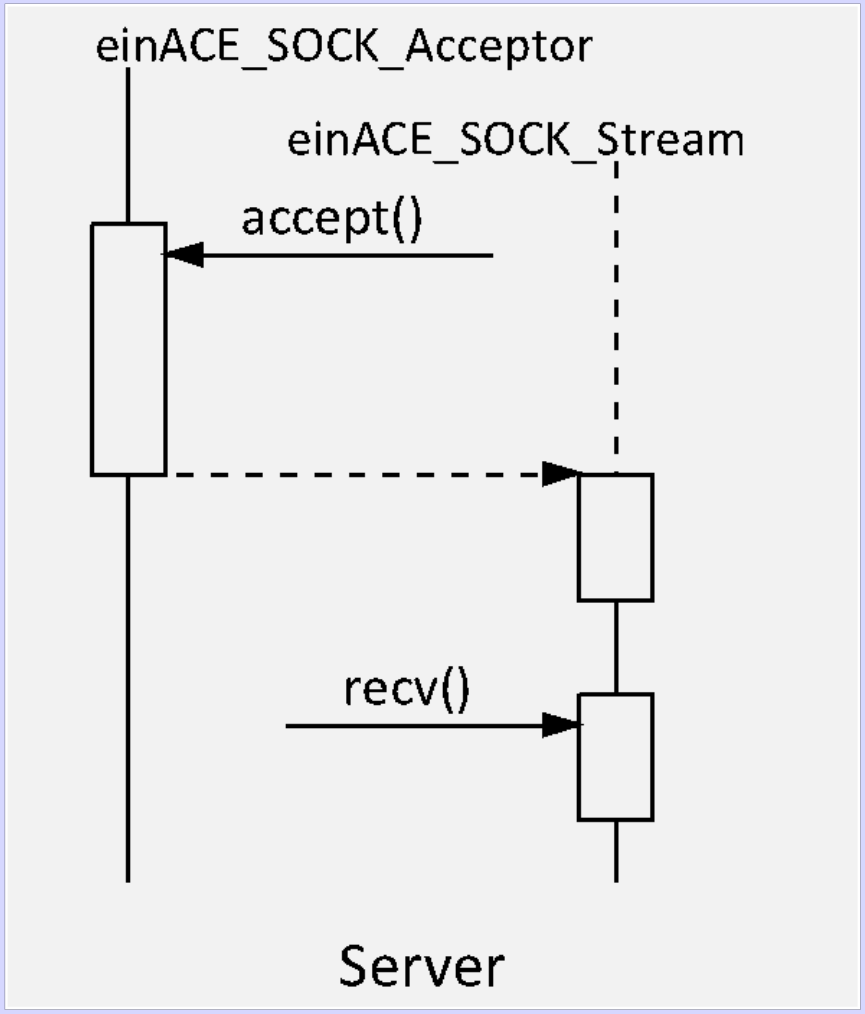
ACE – Überblick

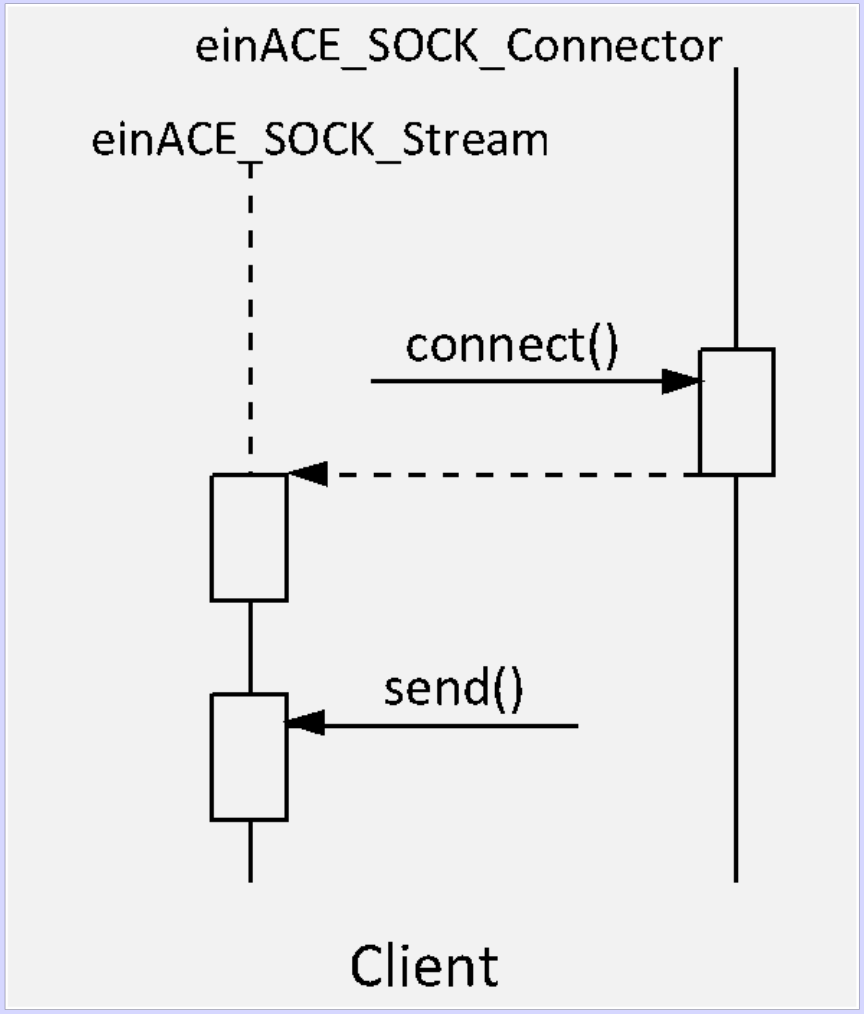
- **OS Adaptation Layer**
  - Abbildung Betriebssystem spezifischer APIs auf einheitliche (ACE) API
- **C++ Wrapper**
  - Reihe von typsicheren C++ Klassenschnittstellen zu dem im OS Adaptation Layer definierten API
  - Beispiele:
    - ACE SOCK/TLI Service Access Point (SAP)
      - Kapselung des Socket API und des TLI (Transport Layer Interface)
    - ACE FIFO/SPIPE Service Access Point
      - Klassenschnittstelle zu den Named Pipe und Stream Pipe Konzepten
    - ACE Threads
- **Frameworks**
  - wieder verwendbare Software-Komponenten, die die Funktionalität der C ++ Wrapper erweitern

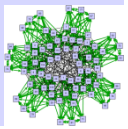
ACE – Socket Service Access Point



ACE – Socket Service Access Point







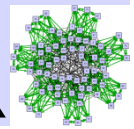
ACE – Socket Service Access Point

Server

```
ACE_INET_Addr addr(PORT);

//socket, bind, listen
ACE_SOCK_Acceptor acceptor(addr);

ACE_SOCK_Stream stream;

acceptor.accept(stream);


stream.recv_n(msg,sizeof(msg));
```

Client

```
ACE_INET_Addr
       server_addr(ADDR,PORT);

ACE_SOCK_Connector connector;

ACE_SOCK_Stream stream;

connector.connect(stream,
                  server_addr);

stream.send_n(msg,sizeof(msg));
```



ACE – Vorteile & Nachteile

Vorteile

- Plattformunabhängigkeit
- Klassenkapselung → Typsicherheit
  - Fehlererkennung zur Übersetzungszeit
- Methoden der C++ Wrapper-Klassen fassen mehrere Systemaufrufe zu einem Aufruf zusammen
  → korrekte Aufrufreihenfolge
  → kürzerer und verständlicherer Programmcode
- Verwendung von Konstruktoren und Default-Argumenten stellt korrekte Initialisierung sicher

Nachteile

- Ungenügende Dokumentation
- Kein allgemein verwendbares Interface zum fcntl() Systemaufruf

ACE – Peformance Betrachtung