Die Socket-Programmierschnittstelle

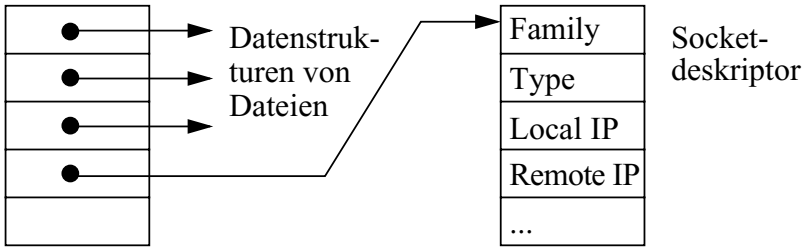
- Zu TCP (bzw. UDP) gibt es keine festgelegten “APIs”
- Bei UNIX sind dafür “Sockets” als Zugangspunkte zum Transportsystem entstanden
  - diese definieren mit einer Programmiersprache dann eine Art “API”
- Semantik eines Sockets: analog zu Datei-Ein/Ausgabe
  - ein Socket kann aber auch mit *mehreren* Prozessen verbunden sein
- Programmiersprachliche Einbindung (C, Java etc.)
  - Sockets werden wie Variablen behandelt (können Namen bekommen)
  - Beispiel in C (Erzeugen eines Sockets):

```
int s;
s = socket(int PF_INET, int SOCK_STREAM, 0);
```

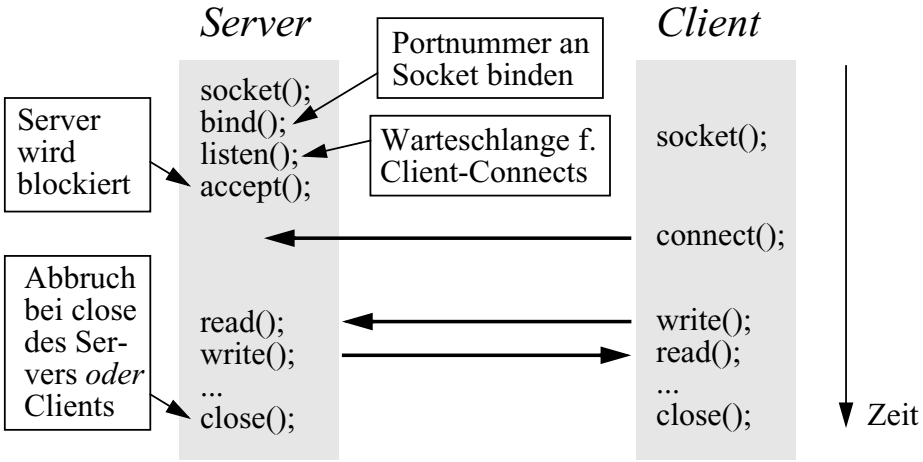
“Family”: Internet oder nur lokale Domäne

“Type”: Angabe, ob TCP verwendet (“stream”) oder UDP (“datagram”)

- Bibliotheksfunktion “socket” erzeugt einen Deskriptor
  - wird innerhalb der Filedeskriptor-Tabelle des Prozesses angelegt
  - Datenstruktur wird allerdings erst mit einem nachfolgenden “bind”-Aufruf mit Werten gefüllt (binden der Adressinformation aus Host-Adresse und einer “bekannten” lokalen Portnummer an den Socket)



Client-Server mit Sockets (Prinzip)



- Voraussetzung: Client kennt die IP-Adresse des Servers sowie die Portnummer (des Dienstes)
  - muss beim connect angegeben werden
- Mit “listen” richtet der Server eine Warteschlange für Client-connect-Anforderungen ein
  - Auszug aus der Beschreibung: *“If a connection request arrives with the queue full, tcp will retry the connection. If the backlog is not cleared by the time the tcp times out, the connect will fail”*
- Accept / connect implementieren ein “Rendezvous”
  - mittels des 3-fach-Handshake von TCP
  - bei “connect” muss der Server bereits listen / accept ausgeführt haben
- Rückgabewerte von write bzw. read: Anzahl der tatsächlich gesendeten / empfangenen Bytes
- Varianten: Es gibt ein select, ein nicht-blockierendes accept etc., vgl. dazu die (Online-)Literatur

Client/Server mit Sockets in C

(auf den nächsten 4 Seiten)

- Verwendung von Sockets in C erfordert u.a.
  - Header-Dateien mit C-Datenstrukturen, Konstanten etc.
  - Programmcode zum Anlegen, Füllen etc. von Strukturen
  - Fehlerabfragen und Fehlerbehandlung

- Socket-Programmierung ist ziemlich “low level”
  - etwas umständlich, fehleranfällig bei der Programmierung
  - aber “dicht am Netz” und dadurch manchmal von Vorteil

- Zunächst der Quellcode für den Client:

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

#define PORT 4711
#define BUF_SIZE 1024

main(argc,argv)
int   argc;
char *argv[];
{
    int                 sock, run;
    char                buf[BUF_SIZE];
    struct sockaddr_in  server;
    struct hostent     *hp;
    if(argc != 2)
    {
        fprintf(stderr,”usage: client
                       <hostname>\n”);
        exit(2);
    }
```


Socket-Beispiel: Client

```
    /* create socket */
    sock = socket(AF_INET,SOCK_STREAM,0);
    if(sock < 0)
    {
        perror(“open stream socket”); exit(1);
    }
    server.sin_family = AF_INET;
    /* get IP address of host spec. by command line */
    hp = gethostbyname(argv[1]);
    if(hp == NULL)
    {
       fprintf(stderr,”%s unknown host.\n”,argv[1]);
       exit(2);
    }
    /* copies the IP address to server address */
    bcopy(hp->h_addr, &server.sin_addr, hp->h_length);
    /* set port */
    server.sin_port = PORT;
    /* open connection */
    if(connect(sock,&server,sizeof(struct sockaddr_in)) <0)
    {
       perror(“connecting stream socket”); exit(1);
    }
    /* read input from stdin */
    while(run=read(0,buf,BUF_SIZE))
    {
       if(run<0)
       {
          perror(“error reading from stdin”); exit(1);
       }
       /* write buffer to stream socket */
       if(write(sock,buf,run) < 0)
       {
          perror(“error writing stream socket”); exit(1);
       }
    }
    close(sock);
}
```

Socket-Beispiel: Server

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

#define PORT 4711                    /* random port number */
#define MAX_QUEUE 1
#define BUF_SIZE 1024

main()
{
   int sock_1,sock_2; /* file descriptors for sockets */
   int rec_value, length;
   char buf[BUF_SIZE];
   struct sockaddr_in server;

   /* create stream socket in internet domain*/
   sock_1 = socket(AF_INET,SOCK_STREAM,0);
   if (sock_1 < 0)
   {
      perror("open stream socket"); exit(1);
   }
   /* build address in internet domain */
   server.sin_family = AF_INET;
   /* everyone is allowed to connet to server */
   server.sin_addr.s_addr = INADDR_ANY;
   server.sin_port = PORT;
   /* bind socket */
   if(bind(sock_1,&server,sizeof(struct sockaddr_in)))
   {
      perror("bind socket to server_addr"); exit(1);
   }
```


Socket-Beispiel: Server (2)

```
   listen(sock_1,MAX_QUEUE);
   /* start accepting connection */
   sock_2 = accept(sock_1,0,0);
   if(sock_2 < 0)
   {
      perror("accept");
      exit(1);
   }
   /* read from sock_2 */
   while (rec_value=read(sock_2,buf,BUF_SIZE))
   {
      if(rec_value<0)
      {
         perror("reading stream message");
         exit(1);
      }
      else
         /* write received data to stdout */
         write(1,buf,rec_value);
   }
   printf("Ending connection.\n");
   close(sock_1); close(sock_2);
}
```

Socket für Verbindungswünsche

Socket für Kommunikation

- Sinnvolle praktische Übungen (evtl. auch in Java):

1) Beispiel genau studieren; Semantik der Socket-Operationen etc. nachlesen: Bücher oder Online-Dokumentation (z.B. von UNIX)

2) Varianten und andere Beispiele implementieren, z.B.:

- Server, der mehrere Clients gleichzeitig bedienen kann
- Server, der zwei Zahlen addiert und Ergebnis zurücksendet
- Produzent / Konsument mit dazwischenliegendem Pufferprozess (unter Vermeidung von Blockaden bei vollem Puffer)
- Messung des Durchsatzes im LAN; Nachrichtenlängen in mehreren Experimenten jeweils verdoppeln

Übungsbeispiel: Sockets mit Java

(auf den nächsten 9 Seiten)

- Auch unter Java lassen sich Sockets verwenden
  - bequemer als unter C
  - Paket java.net.* enthält u.a. die Klasse “Socket”
  - Streamsockets (verbindungsorientiert) bzw. Datagrammsockets

- Beispiel:

```
DataInputStream in;
PrintStream out;
Socket server;
...
server = new Socket(getCodeBase().getHost(),7);
  // Klasse Socket besitzt Methoden
  // getInputStream bzw. getOutputStream, hier
  // Konversion zu DataInputStream / PrintStream:
in = new DataInputStream(server.getInputStream());
out = new PrintStream(server.getOutputStream());
...
  // Etwas an den Echo-Server senden:
out.println(...)
...
  // Vom Echo-Server empfangen; vielleicht
  // am besten in einem anderen Thread:
String line;
while((line = in.readLine()) != null)
  // line ausgeben
...
server.close;
```

Herstellen einer Verbindung

Hostname

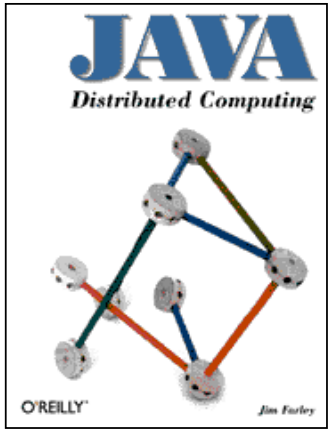
Echo-Port

Port Nummer 7 sendet alles zurück

- Zusätzlich: Fehlerbedingungen mit Exceptions behandeln (“try”; “catch”)
  - z.B. “UnknownHostException” beim Gründen eines Socket

Client-Server mit Sockets in Java

- Beispiel aus dem Buch *Java Distributed Computing* von Jim Farley (O’Reilly)



- Hier der Client:

```
import java.lang.*;
import java.net.*;
import java.io.*;

public class SimpleClient
{
  // Our socket connection to the server
  protected Socket serverConn;

    public SimpleClient(String host, int port)
      throws IllegalArgumentException {
    try {
      System.out.println(“Trying to connect to “
      + host + “ “ + port);
      serverConn = new Socket(host, port);
    }
    catch (UnknownHostException e) {
      throw new IllegalArgumentException
        (“Bad host name given.“);
    }
    catch (IOException e) {
      System.out.println(“SimpleClient: “ + e);
      System.exit(1);
    }

    System.out.println(“Made server connection.“);
  }
```

Konstruktor

```
  public static void main(String argv[]) {
    if (argv.length < 2) {
      System.out.println ("Usage: java \
         SimpleClient <host> <port>");
      System.exit(1);
    }

    int port = 3000;
    String host = argv[0];
    try { port = Integer.parseInt(argv[1]); }
    catch (NumberFormatException e) {}

    SimpleClient client  =  new SimpleClient(host, port);
    client.sendCommands();
  }

  public void sendCommands() {
    try {
      DataOutputStream dout =
        new DataOutputStream(serverConn.getOutputStream());
      DataInputStream din =
        new DataInputStream(serverConn.getInputStream());

      // Send a GET command...
      dout.writeChars("GET goodies ");
      // ...and receive the results
      String result = din.readLine();
      System.out.println("Server says: \"" + result + "\"");
    }
    catch (IOException e) {
      System.out.println("Communication SimpleClient: " + e);
      System.exit(1);
    }
  }

  public synchronized void finalize() {
    System.out.println("Closing down SimpleClient...");
    try { serverConn.close(); }
    catch (IOException e) {
      System.out.println("Close SimpleClient: " + e);
      System.exit(1);
    }
  }
}
```

Host- und Portnummer von der Kommandozeile

Wird vom Garbage-Collector aufgerufen, wenn keine Referenzen auf den Client mehr existieren ('close' evtl. am Ende von 'sendCommands')

Der Server

```
import java.net.*;
import java.io.*;
import java.lang.*;

public class SimpleServer {
  protected int portNo = 3000;
  protected ServerSocket clientConnect;

  public SimpleServer(int port) throws
      IllegalArgumentException {
    if (port <= 0)
      throw new IllegalArgumentException(
       "Bad port number given to SimpleServer constructor.");

    // Try making a ServerSocket to the given port
    System.out.println("Connecting server socket to port");
    try { clientConnect = new ServerSocket(port); }
    catch (IOException e) {
     System.out.println("Failed to connect to port " + port);
      System.exit(1);
    }

    // Made the connection, so set the local port number
    this.portNo = port;
  }

  public static void main(String argv[]) {
    int port = 3000;
    if (argv.length > 0) {
      int tmp = port;
      try {
        tmp = Integer.parseInt(argv[0]);
      }
      catch (NumberFormatException e) {}
      port = tmp;
    }

    SimpleServer server = new SimpleServer(port);
    System.out.println("SimpleServer running on port " +
       port + "...");
    server.listen();
  }
```

Default-Port, an dem der Server auf eine Client-Verbindung wartet

Socket, der Verbindungswünsche entgegennimmt

Konstruktor

Portnummer von Kommandozeile

Aufruf der Methode "listen" (siehe unten)

```
public void listen() {
    try {
      System.out.println("Waiting for clients...");
      while (true) {
        Socket clientReq = clientConnect.accept();
        System.out.println("Got a client...");
        serviceClient(clientReq);
      }
    }
    catch (IOException e) {
      System.out.println("IO exception while listening.");
      System.exit(1);
    }
  }

  public void serviceClient(Socket clientConn) {
    SimpleCmdInputStream inStream = null;
    DataOutputStream outStream = null;
    try {
      inStream = new SimpleCmdInputStream
        (clientConn.getInputStream());
      outStream = new DataOutputStream
        (clientConn.getOutputStream());
    }
    catch (IOException e) {
      System.out.println("SimpleServer: I/O error.");
    }
    SimpleCmd cmd = null;
    System.out.println("Attempting to read commands...");
    while (cmd == null || !(cmd instanceOf DoneCmd)) {
      try { cmd = inStream.readCommand(); }
      catch (IOException e) {
        System.out.println("SimpleServer (read): " + e);
        System.exit(1);
      }

      if (cmd != null) {
        String result = cmd.Do();
        try { outStream.writeBytes(result); }
        catch (IOException e) {
          System.out.println("SimpleServer (write): " + e);
          System.exit(1);
        }
      }
    }
  }
}
```

Warten auf connect eines Client, dann Gründen eines Sockets

Von DataInput-Stream abgeleitete Klasse

Klasse SimpleCmd hier nicht gezeigt

Schleife zur Entgegennahme und Ausführung von Kommandos

finalize-Methode hier nicht gezeigt

Java als "Internet-Programmiersprache"

- Java hat eine Reihe von Konzepten, die die Realisierung verteilter Anwendungen erleichtern, z.B.:
  - Socket-Bibliothek zusammen mit Input- / Output-Streams
  - Remote Method Invocation (RMI): Entfernter Methodenaufruf mit Transport (und dabei Serialisierung) auch komplexer Objekte
  - eingebautes Thread-Konzept
  - java.security-Paket
  - plattformunabhängiger Bytecode mit Klassenlader (Java-Klassen können über das Netz transportiert und geladen werden; Bsp.: Applets)

Damit z.B. Realisierung eines "Meta-Protokolls": Über einen Socket vom Server eine Klasse laden (und Objekt-Instanz gründen), die dann (auf Client-Seite) ein spezifisches Protokoll realisiert. (Stichworte: "mobiler Code" bzw. Jini)

- Das UDP-Protokoll kann mit "Datagram-Sockets" verwendet werden, z.B. so:

```
try {
  DatagramSocket s = new DatagramSocket();
  byte[] data = {'H','e','l','l','o'};
  InetAddress addr = InetAddress.getByName("my.host.com");
  DatagramPacket p = new DatagramPacket(data,
    data.length, addr, 5000);
  s.send(p);
}
catch (Exception e) {
  System.out.println("Exception using datagrams:");
  e.printStackTrace();
}
```

Port-Nummer

  - entsprechend zu "send" gibt es ein "receive"
  - InetAddress-Klasse repräsentiert IP-Adressen
  - diese hat u.a. Methoden "getByName" (klassenbezogene Methode) und "getAddress" (instanzbezogene Methode)
  - UDP ist verbindungslos und nicht zuverlässig (aber effizient)

URL-Verbindungen in Java

- Java bietet einfache Möglichkeiten, auf "Ressourcen" (z.B. Dateien) im Internet mit dem HTTP-Protokoll lesend und schreibend zuzugreifen
  - falls auf diese mittels einer URL verwiesen wird
- Klasse "URL" in java.net.*
  - auf höherem Niveau als die Socket-Programmierung
  - Sockets (mit TCP) werden vor dem Anwender verborgen benutzt
- Beispiel: zeilenweises Lesen einer Textdatei
  - hier nicht gezeigt: Abfangen diverser Fehlerbedingungen!

```
// Objekt vom Typ URL anlegen:
URL myURL;
myURL = new URL("http", ..., "/Demo.txt");
...
DataInputStream instream;
instream = new DataInputStream(myURL.openStream());
String line = "";
while((line = instream.readLine()) != null)
  // line verarbeiten
...
```

hier Hostname angeben

Name der Datei

- Es ist auch möglich, Daten an eine URL zu senden
  - POST-Methode, z.B. an Skript auf dem Server
- Ferner: Information über das Objekt ermitteln
  - z.B. Grösse, letztes Änderungsdatum, HTTP-Header etc.

Beispiel: Ein Bookmark-Checker

```
import java.io.*; import java.net.*;
import java.util.Date; import java.text.DateFormat;

public class CheckBookmark {

  public static void main (String args[]) throws
       java.io.IOException, java.text.ParseException {

    if (args.length != 2) System.exit(1);

    // Create a bookmark for checking...
    CheckBookmark bm = new CheckBookmark(args[0], args[1]);

    bm.checkit(); // ...and check

    switch (bm.state) {
      case CheckBookmark.OK:
        System.out.println("Local copy of " +
           bm.url_string + " is up to date"); break;
      case CheckBookmark.AGED:
        System.out.println("Local copy of " +
           bm.url_string + " is aged"); break;
      case CheckBookmark.NOT_SUPPORTED:
        System.out.println("Webserver does not support \
           modification dates"); break;
      default: break;
    }
  }

  String url_string, chk_date;
  int state;

  public final static int OK = 0;
  public final static int AGED = 1;
  public final static int NOT_SUPPORTED = 2;

  CheckBookmark(String bm, String dtm) // Constructor
  { url_string = new String(bm);
    chk_date = new String(dtm);
    state = CheckBookmark.OK;
  }
```

```
  public void checkit() throws java.io.IOException,
       java.text.ParseException {

    URL checkURL = null;
    URLConnection checkURLC = null;

    try { checkURL = new URL(this.url_string); }
    catch (MalformedURLException e) {
      System.err.println(e.getMessage() + ": Cannot \
          create URL from " + this.url_string);
      return;
    }

    try {
      checkURLC = checkURL.openConnection();
      checkURLC.setIfModifiedSince(60);
      checkURLC.connect();
    }

    catch (java.io.IOException e) {
      System.err.println(e.getMessage() + ": Cannot \
          open connection to " + checkURL.toString());
      return;
    }

    // Check whether modification date is supported
    if (checkURLC.getLastModified() == 0) {
      this.state = CheckBookmark.NOT_SUPPORTED;
      return;
    }

    // Cast last modification date to a "Date"
    Date rem = new Date(checkURLC.getLastModified());

    // Cast stored date of bookmark to Date
    DateFormat df = DateFormat.getDateInstance();
    Date cur = df.parse(this.chk_date);

    // Compare and set flag for outdated bookmark
    if (cur.before(rem)) this.state = CheckBookmark.AGED;
  }
}
```


Adressierung

- *Sender* muss in geeigneter Weise spezifizieren, wohin die Nachricht gesendet werden soll
  - evtl. mehrere Adressaten zur freien Auswahl (Lastverteilung, Fehlertoleranz)
  - evtl. mehrere Adressaten gleichzeitig (Broadcast, Multicast)

- *Empfänger* ist evtl. nicht bereit, jede beliebige Nachricht von jedem Sender zu akzeptieren
  - selektiver Empfang (Spezialisierung)
  - Sicherheitsaspekte, Überlastabwehr

- Probleme
  - *Ortstransparenz*: Sender weiss *wer*, aber nicht *wo* (sollte er i.Allg. auch nicht!)
  - *Anonymität*: Sender und Empfänger kennen einander zunächst nicht (sollen sie oft auch nicht)

Kenntnis von Adressen?

- Adressen sind u.a. Geräteadressen (z.B. IP-Adresse oder Netzadresse in einem LAN), Portnamen, Socketnummern, Referenzen auf Mailboxes...

- Woher kennt ein Sender die Adresse des Empfängers?

  1) Fest in den Programmcode integriert → unflexibel

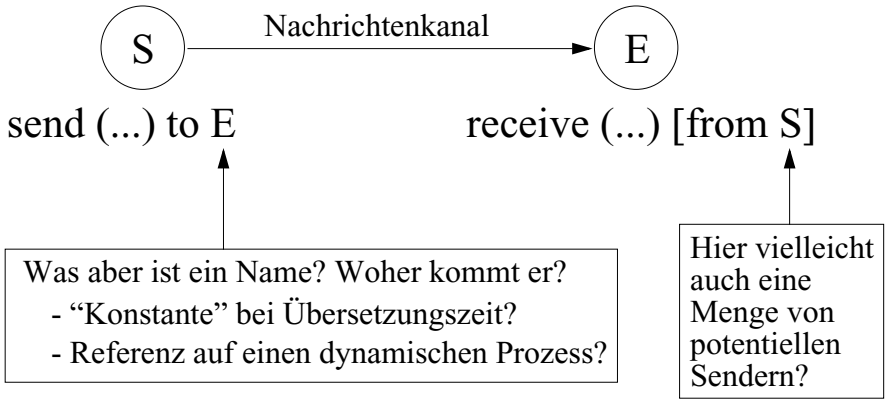
  2) Über Parameter erhalten oder von anderen Prozessen mitgeteilt

  3) Adressanfrage per Broadcast "in das Netz"
     - häufig bei LANs: Suche nach lokalem Nameserver, Router etc.

  4) Auskunft fragen (Namensdienst wie z.B. DNS; Lookup-Service)

Direkte Adressierung

- *Direct Naming* (1:1-Kommunikation):

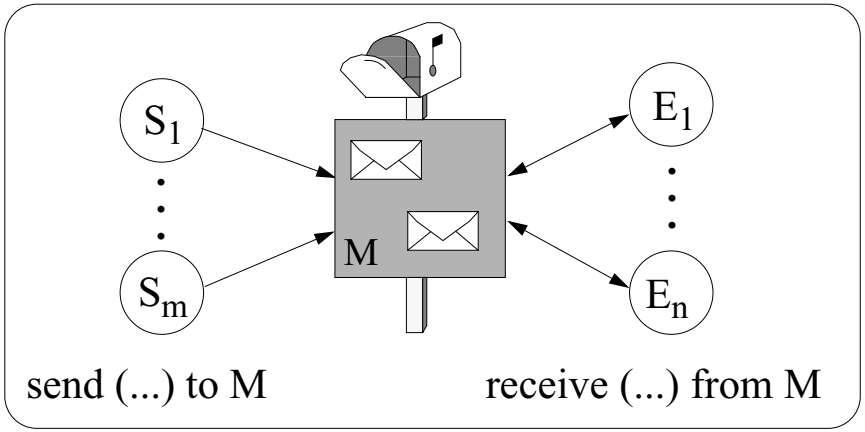


- Direct naming ist insgesamt relativ unflexibel

- Empfänger (= Server) sollten nicht gezwungen sein, potentielle Sender (= Client) explizit zu nennen
  - Symmetrie ist also i.Allg. gar nicht erwünscht

Indirekte Adressierung - Mailbox

- Ermöglicht m:n-Kommunikation



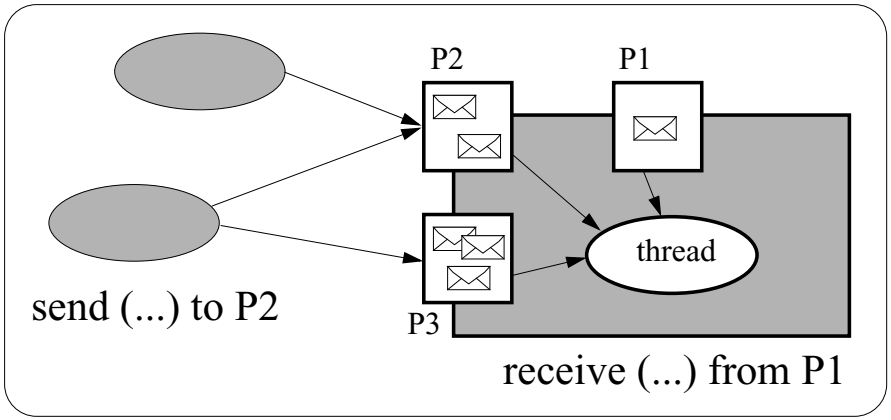
- Eine Nachricht hat i.Allg. mehrere potentielle Empfänger
  - Mailbox spezifiziert damit eine *Gruppe* von Empfängern
- Kann jeder Empfänger die Nachricht bearbeiten?
  - Mailbox i.Allg. typisiert: nimmt nur bestimmte Nachrichten auf
  - Empfänger kann sich u.U. Nachrichten der Mailbox ansehen / aussuchen...
  - aber wer garantiert, dass jede Nachricht irgendwann ausgewählt wird?
- Wo wird die Mailbox angesiedelt? (→ Implementierung)
  - als ein einziges Objekt auf irgendeinem (geeigneten) Rechner?
  - repliziert bei den Empfängern? (Abstimmung unter den Empfängern notwendig → verteiltes Cache-Kohärenz-Problem)
  - Nachricht verbleibt in einem Ausgangspuffer des Senders: Empfänger müssen sich bei allen (welche sind das?) potentiellen Sendern erkundigen
- Mailbox muss eingerichtet werden: Wer? Wann? Wo?

Mailbox-Kommunikation

Aus: “Nebenläufige Programme” von R. G. Herrtwich und G. Hommel (Springer-Verlag)

Indirekte Adressierung - Ports

- m:1-Kommunikation
- Ports sind Mailboxes mit genau einem Empfänger
  - Port "gehört" diesem Empfänger
  - Kommunikationsendpunkt, der die interne Empfängerstruktur abkapselt
- Ein Objekt kann i.Allg. mehrere Ports besitzen

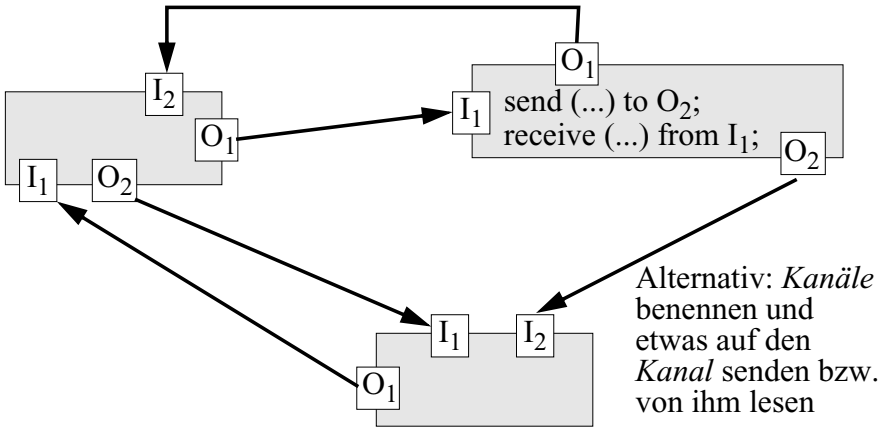


Pragmatische Aspekte (Sprachdesign etc.):

- Sind Ports statische oder dynamische Objekte?
- Wie erfährt ein Objekt den Portnamen eines anderen (dynamischen) Objektes?
  - können Namen von Ports verschickt werden?
- Sind Ports typisiert?
  - würde den selektiven Nachrichtenempfang unterstützen
- Grösse des Nachrichtenpuffers?
- Können Ports geöffnet und geschlossen werden?
  - genaue Semantik?

Kanäle und Verbindungen

- Neben *Eingangsports* ("in-port") lassen sich auch *Ausgangsports* ("out-port") betrachten



- Ports können als Ausgangspunkte für das Einrichten von *Verbindungen* ("Kanäle") gewählt werden
- Dazu werden je ein in- und out-Port miteinander verbunden. Dies kann z.B. mit einer connect-Anweisung geschehen: **connect** p1 **to** p2
  - denkbar sind auch broadcastfähige Kanäle
- Die Programmierung und Instanziierung eines Objektes findet so in einer anderen Phase statt als die Festlegung der Verbindungen

Konfigurationsphase

- Grössere Flexibilität durch die dynamische Änderung der Verbindungsstruktur
- Kommunikationsbeziehung: wahlweise 1:1, n:1, 1:n, n:m