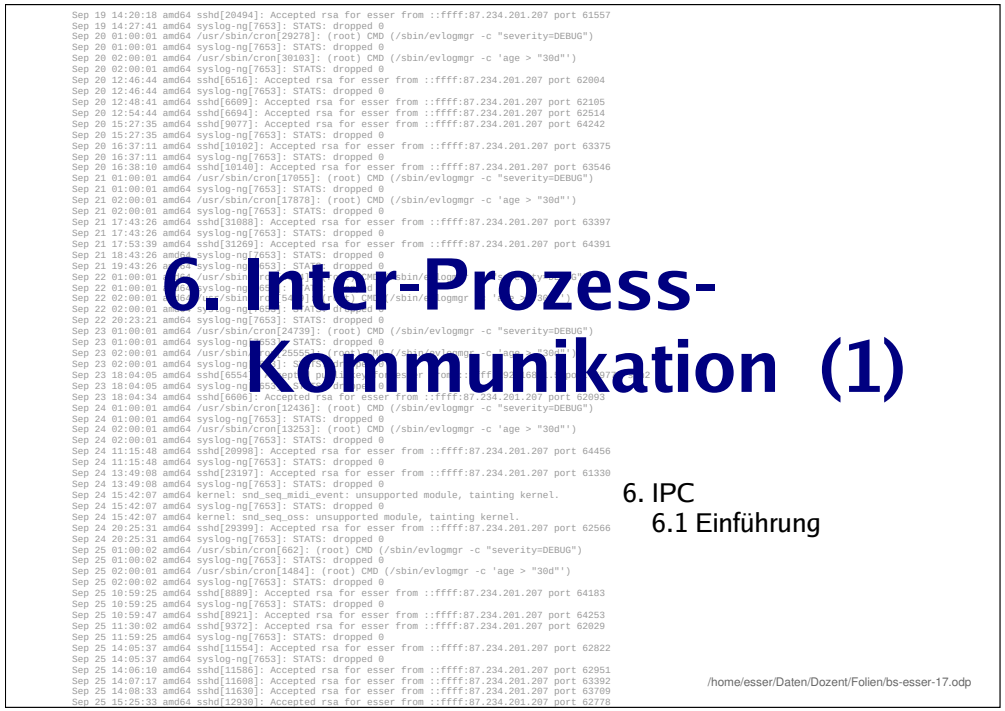


# 6. Inter-Prozess-Kommunikation (1)

6. IPC
6.1 Einführung



# Synchronisation mit Python (1)

- 100 Threads manipulieren eine Variable
- Ergebnis der Berechnung sollte 0 sein
- Problem: kritischer Bereich beim Zugriff auf globale Variable

```
$ ./test.py
Ergebnis: 200
$ ./test.py
Ergebnis: 800
$ ./test.py
Ergebnis: 0
$ ./test.py
Ergebnis: 100
$ ./test.py
Ergebnis: 0
```

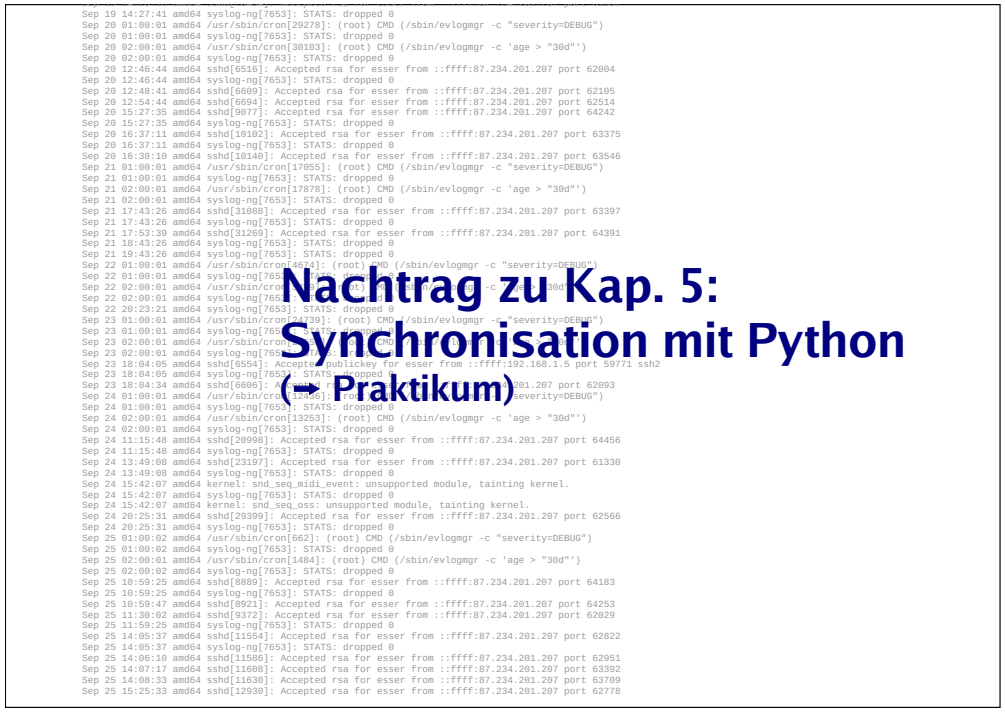
```
from threading import Thread

class testthread(Thread):
   def __init__ (self):
      Thread.__init__(self)
   def run(self):
      global globalcount
      # Anfang kritischer Bereich
      for j in range(0,99999):
         globalcount += 100
         globalcount -= 100
      # Ende kritischer Bereich

globalcount=0              # glob. Variable
threads = []
for i in range(0,100):     # Threads starten
  t = testthread()
  threads.append(t)
  t.start()
for t in threads: t.join()   # aufräumen

print "Ergebnis:",globalcount
```





# Nachtrag zu Kap. 5: Synchronisation mit Python (→ Praktikum)

# Synchronisation mit Python (2)

1. Lösung: **Lock**

- acquire: sperren
- release: freigeben

```
$ ./lock.py
Ergebnis: 0
$ ./lock.py
Ergebnis: 0
$ ./lock.py
Ergebnis: 0
$ ./lock.py
Ergebnis: 0

$ time ./test.py
real    0m5.560s
$ time ./lock.py
real    0m5.560s
```

(kein messbarer Unterschied)

```
from threading import Thread, Lock

class testthread(Thread):
   def __init__ (self):
      Thread.__init__(self)
   def run(self):
      global globalcount
      # Anfang kritischer Bereich
      mylock.acquire()
      for j in range(0,99999):
         globalcount += 100
         globalcount -= 100
      mylock.release()
      # Ende kritischer Bereich

globalcount=0              # glob. Variable
threads = []
mylock = Lock()            # globales Lock
for i in range(0,100):     # Threads starten
  t = testthread()
  threads.append(t)
  t.start()
for t in threads: t.join()   # aufräumen

print "Ergebnis:",globalcount
```

# Synchronisation mit Python (3)

- **Lock**
  - acquire kann auch nicht-blockierend aufgerufen werden: **mylock.acquire(0)**
    - wenn das Lock verfügbar ist, gibt **acquire() True** zurück (und gibt dem aufrufenden Thread das Lock)
    - wenn schon ein anderer Thread das Lock hält, wartet **acquire()** nicht, sondern gibt sofort **False** zurück.
- **RLock** (Reentrant **Lock**)
  - wie Lock, aber: kann rekursiv benutzt werden
  - Lock so oft mit **release()** freigeben, wie es mit **acquire()** erworben wurde



# Synchronisation mit Python (4)

2. Lösung:
**BoundedSemaphore**

- acquire: runter zählen
- release: hoch zählen

```
$ ./lock.py
Ergebnis: 0
$ ./lock.py
Ergebnis: 0
$ ./lock.py
Ergebnis: 0
$ ./lock.py
Ergebnis: 0

$ time ./test.py
real    0m5.560s
$ time ./lock.py
real    0m5.560s
```

```
from threading import Thread, BoundedSemaphore

class testthread(Thread):
   def __init__ (self):
      Thread.__init__(self)
   def run(self):
      global globalcount
      # Anfang kritischer Bereich
      mysem.acquire()
      for j in range(0,99999):
         globalcount += 100
         globalcount -= 100
      mysem.release()
      # Ende kritischer Bereich

globalcount=0               # glob. Variable
threads = []
mysem = BoundedSemaphore(1) # init: 1
for i in range(0,100):      # Threads starten
  t = testthread()
  threads.append(t)
  t.start()
for t in threads: t.join()  # aufräumen

print "Ergebnis:",globalcount
```



# Synchronisation mit Python (5)

- **BoundedSemaphore**
  - für Verwaltung mehrerer Ressourcen: mit größerem Zählerwert starten
  - **acquire** = **Wait**-Operation
    - mit Argument 0: nicht-blockierend
  - **release** = **Signal**-Operation



# Synchronisation mit Python (6)

- **Condition:** Bedingungsvariablen
  - vgl. Java / Monitor
  - Bedingungsvariable ist immer mit einem Lock verbunden
  - Funktionen

| | |
|---|---|
| **cv.acquire ()** | zugehöriges Lock erhalten (oder blockieren) |
| **cv.release ()** | zugeh. Lock freigeben |
| **cv.wait ()** | Lock freigeben und blockieren, bis Signal kommt |
| **cv.notify ()** | einen (auf **cv**) wartenden Thread wecken |
| **cv.notifyAll ()** | alle (auf **cv**) wartenden Threads wecken |

# Synchronisation mit Python (7)

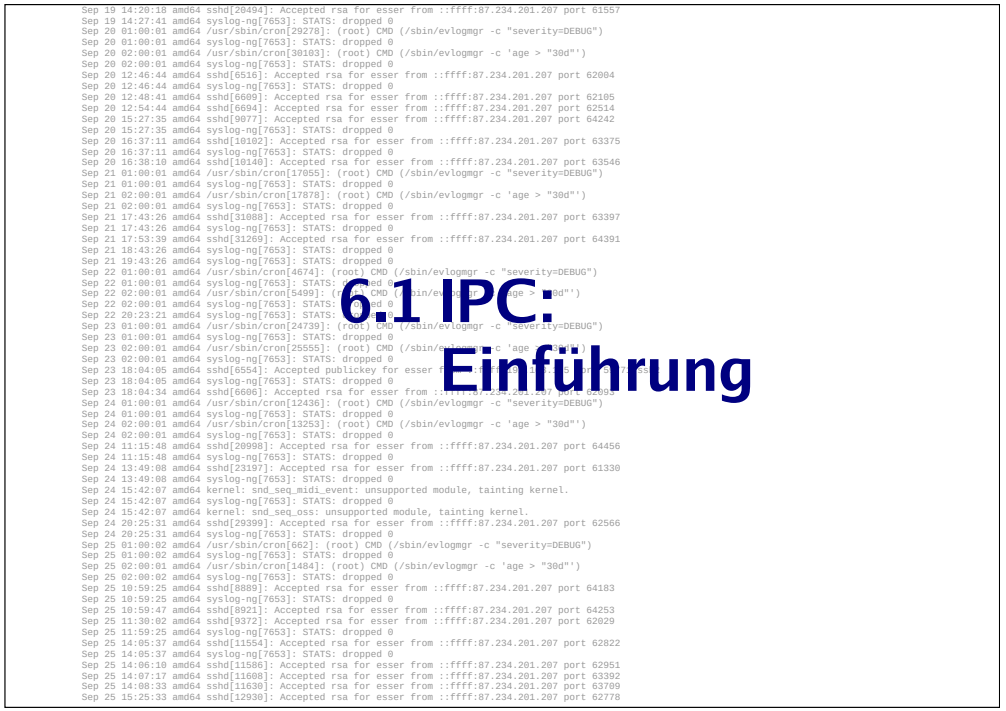
**Condition:** Producer-Consumer-Problem

```
from threading import Thread, Condition
cv = Condition()

# Consume one item
cv.acquire()
while not an_item_is_available():
    cv.wait()
get_an_available_item()
cv.release()

# Produce one item
cv.acquire()
make_an_item_available()
cv.notify()
cv.release()
```





# 6.1 IPC: Einführung

# Synchronisation mit Python (8)

**Event:** entspricht „manuellen Events“ (Windows)

```
from threading import Thread, Event
ev = Event()

ev.set()                # Event setzen
ev.clear()              # Event zurücksetzen
ev.isSet()              # Status abfragen
ev.wait()               # Blockieren, bis Status auf
                          gesetzt wechselt
```

Ausführlichere Darstellung in der Python-Dokumentation:
http://docs.python.org/lib/module-threading.html



# Inter Process Communication

- Nachrichtenaustausch zwischen mehreren Prozessen oder Threads
- Verbindung durch Kommunikationssystem
- Sender und Empfänger
- Nötig, wenn es keinen gemeinsamen Hauptspeicher gibt

- eine weitere Synchronisationsform

# IPC-Charakterisierung (1)

- Kommunikationsmodell:
  - Punkt-zu-Punkt-Kommunikation
  - Publish-Subscribe-Kommunikation
  - Broadcast-Kommunikation
- Übertragungsrichtung:
  - simplex / unidirektional
  - duplex / bidirektional
- Synchronität
  - synchron / blockierend
  - asynchon / nicht-blockierend



# IPC-Charakterisierung (2)

- Art der Nachricht
  - Nachrichten- oder
  - Stream-orientiert
- Plattform(-un-)abhängigkeit
- Portierbarkeit
- Lokalität
  - systemgebunden oder
  - Netzwerkkommunikation möglich (über Rechnergrenzen hinweg)



# Kommunikationsmodell

- Punkt zu Punkt
  - genau ein Sender und ein Empfänger
- Broadcast
  - ein Sender und mehrere Empfänger
- Publish & Subscribe
  - Peer-to-peer-Kommunikation
  - Publisher: Threads, die eine Eigenschaft ändern
  - Subscriber: Threads, die bei solchen Änderungen benachrichtigt werden



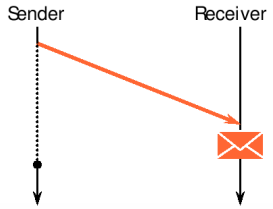
# Übertragungsrichtung

- Simplex-Nachricht vom Sender zum Empfänger
  - Beginn: Absenden beim Sender,<br>Ende: Zustellung beim Empfänger
  - Keine Antwort erwartet
- Duplex-Nachricht
  - Beginn: Absenden des Auftrags beim Sender, Ende: Zustellung der Erfolgsbestätigung (Quittung) beim Sender
  - Dazwischen: Auftragsbearbeitung auf Empfängerseite
  - Im einfachsten Fall zwei Nachrichten
  - Ausbleibende Quittungen durch Timeouts erkennen (negative Quittung)

# Synchronität

**Synchrone / blockierende Kommunikation**

- Sender blockiert, bis Nachricht ankommt
- Benötigt fast keine Pufferkapazität
- beschränkte Parallelität




**Asynchrone / nicht block. Kommunikation**

- Sender blockiert nur, bis Nachricht in Puffer kopiert wurde
- benötigt größere Pufferkapazität
- Sender kann mehrere Nachrichten kurz nacheinander abschicken

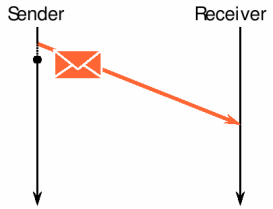



Bild: (c)Peter Sturm, Uni Trier, „Episodes on Operating Systems“
http://strathisla.uni-trier.de/lectblog/wp-content/Syssoft1_13_Communication.pdf



# Vier elementare Kommunikationsarten

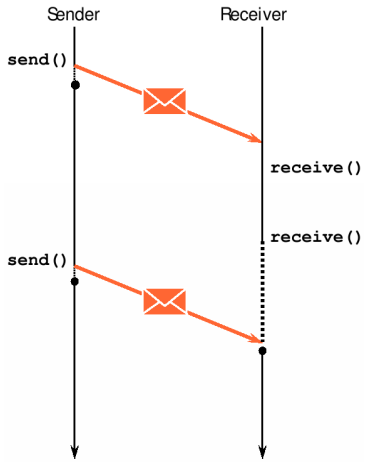
Aus zwei Übertragungsrichtungen und der Wahl synchron/asynchron ergeben sich:

| | asynchron | synchron |
|---|---|---|
| simplex: Nachricht | -1- **asynchrone Nachricht** | -2- **synchrone Nachricht** |
| duplex: Auftrag | -3- **asynchroner Auftrag** | -4- **synchroner Auftrag** |



# -1- asynchrone Nachricht

- Sender und Empfänger entkoppelt -> Parallelität
- **UDP:** User Datagram Protocol (IP-basiert)
- Signale: Linux Software Interrupts

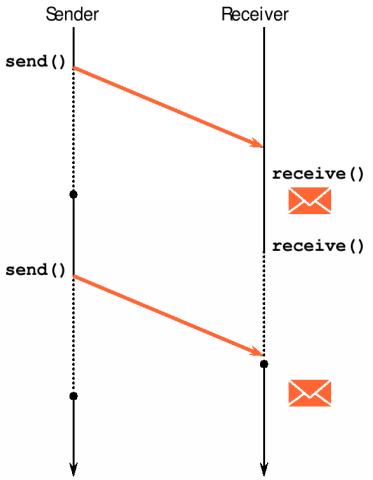



Auch die Bilder auf den folgenden vier Folien:
(c) Peter Sturm, Uni Trier, „Episodes on Operating Systems“,
http://strathisla.uni-trier.de/lectblog/wp-content/Syssoft1_13_Communication.pdf



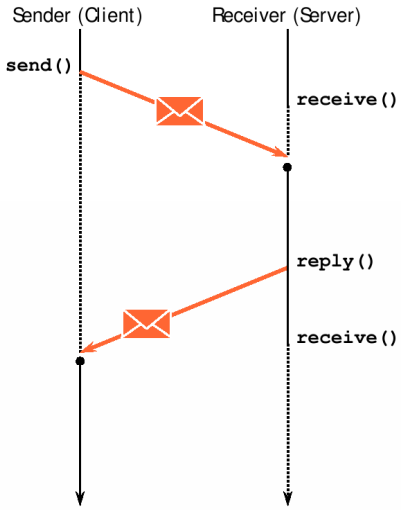
# -2- synchrone Nachricht

- Eingeschränkte Parallelität: Sender muss auf Bestätigung durch Empfänger warten
- keine Puffer nötig
- Sender weiß, dass Nachricht angekommen ist



# -4- synchroner Auftrag

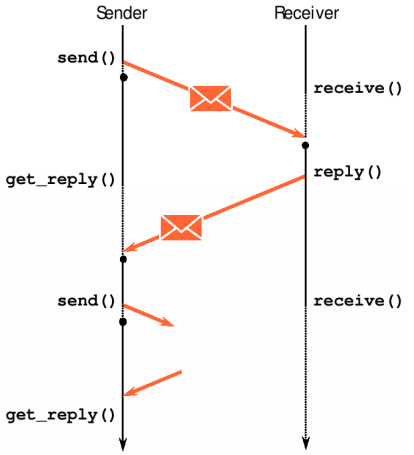
- **RPC:** Remote Procedure Call
- Sender wartet, bis er auf seine Anfrage die Antwort [nicht nur die Bestätigung] erhalten hat
- z. B. Datenbanken






# -3- asynchroner Auftrag

- Client schickt Anfrage, wartet aber nicht auf das Ergebnis
- Erst zu späterem Zeitpunkt holt er gezielt die Antwort des Servers ab
- Darum: weniger Blockier-zeiten, mehr Parallelität






# Sockets (1)

- Sockets sind eine Netzwerkschnittstelle, die einen Kommunikationskanal mit folgenden Eigenschaften bereitstellt:
  - sie erlauben IPC zwischen Prozessen
  - lokal oder rechnerübergreifend
  - über verschiedene Protokolle
  - plattformübergreifend
- bidirektionale Kommunikation



# Sockets (2)

- Adressierung, z.B.
  - lokal (AF_UNIX): Pfadname
  - Netzwerkadresse (AF_INET): host + port, (lokal über AF_INET: host = localhost, 127.0.0.1)
- Zuverlässigkeit:
  - reliable, verbindungsorientiert (z.B. **TCP**-Protokoll):
  - fehlerfrei, keine Verluste, keine Duplikate, Reihenfolge korrekt
  - unreliable, verbindungslos (z.B. **UDP**-Protokoll / Datagram )

# Sockets (3)

- Kommunikationsarten:
  - Nachrichten-orientiert: recvmsg() oder sendmsg()
  - Stream-orientiert: sendto(), recfrom(), read(), write()
  - üblicherweise mit 8 kByte gepuffert
  - Senden blockiert bei umfangreicheren Daten, bis Gegenstelle gelesen hat.
  - optional nicht-blockierendes Verhalten wählbar
  - werden in Unix / Linux auf Dateideskriptoren abgebildet (Zugriff ähnlich wie auf Dateien)



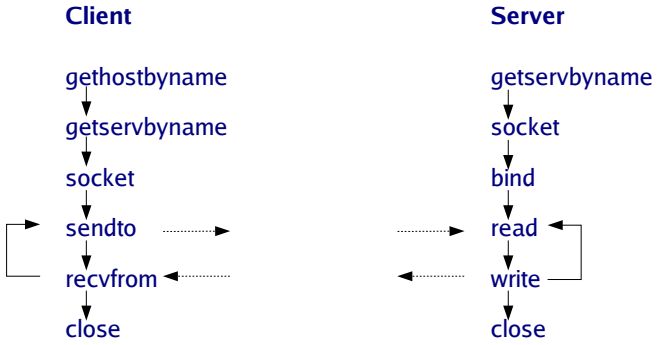
# Sockets (4)

- Anwendung
  - Mögliche Probleme:
    - Port belegt --> lsof ('list open files'-Kommando)
    - Port noch belegt --> ggf. linger-Option setzen
    - Nachrichtengrenzen bleiben ggf. nicht erhalten:
    - z.B. send( 170 Byte ) + send( 230 Byte ) = receive( 400 Byte )
  - API-Funktionen erlauben nichtblockierendes Verhalten optional zu wählen.
  - Für eigene Experimente: C-Beispiele für Client-Server am Ende



# Verbindungslose Sockets

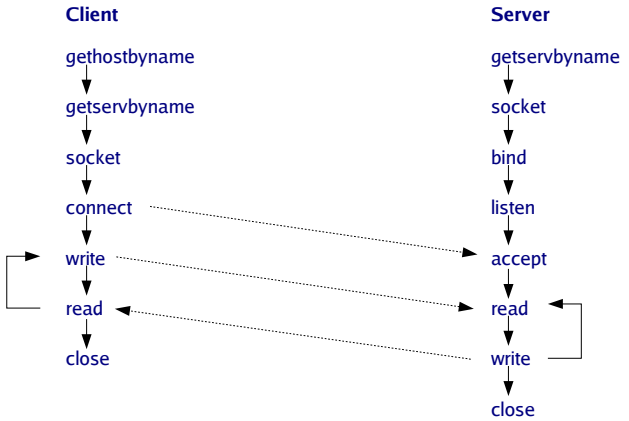
**Verbindungslose** Kommunikation über Datagramme / UDP






# Verbindungsorientierte Sockets

**Verbindungsorientierte** Kommunikation über Streams / TCP



# Datagram-Server

```
#include <unistd.h>        // read(), close()
#include <arpa/inet.h>     // sockaddr_in, INADDR_ANY
#include <sys/socket.h>    // SOCK_DGRAM, socket(), bind()

const short port = 5242;
int         n, sockfd;
char        buf[256];
struct sockaddr_in serv_addr;

int main() {    // UDP_Socket
    if ((sockfd = socket( AF_INET, SOCK_DGRAM, 0 )) < 0)  perror("opening datagram");

    // Create name with wildcards
    serv_addr.sin_addr.s_addr = INADDR_ANY;
    serv_addr.sin_family = AF_INET;
    serv_addr.sin_port = htons( port );

    if ( bind( sockfd, (sockaddr *)&serv_addr, sizeof(serv_addr) ) != 0 )
        perror( "binding to address" );

    n = read( sockfd, buf, sizeof(buf) ); printf( "Received: %s\n", buf );

    close( sockfd ); return  0;
}
```



# Datagram-Client

```
#include <unistd.h>        // read(), close()
#include <arpa/inet.h>     // sockaddr_in, AF_INET
#include <sys/socket.h>    // SOCK_DGRAM, socket(), bind()
#include <sys/param.h>     // MAXHOSTNAMELEN
#include <netdb.h>         // gethostbyname()

const short port = 5242;
char        hostname[MAXHOSTNAMELEN+1] = "server";
int         sockfd;
struct sockaddr_in peer_addr;

int main() {    // UDP_Socket
    if ((sockfd = socket( AF_INET, SOCK_DGRAM, 0 )) < 0)  perror("opening datagram");

    struct hostent * hp = gethostbyname( hostname );
    bcopy( hp->h_addr, (char *)&peer_addr.sin_addr, hp->h_length );
    peer_addr.sin_family = AF_INET;
    peer_addr.sin_port = htons( port );

    if ( sendto( sockfd, "Hello World", 11, 0, (sockaddr *)&peer_addr,
        sizeof(peer_addr) ) < 0 )  perror( "sending data" );

    close( sockfd ); return  0;
}
```



# Server verbindungsorientiert

```
#include <unistd.h>        // read(), close()
#include <arpa/inet.h>     // sockaddr_in, INADDR_ANY
#include <sys/socket.h>    // SOCK_DGRAM, socket(), bind()

const short port = 5242, waitqueuelen = 1;
int         n, sockfd, con;
char        buf[256];
struct sockaddr_in serv_addr;

int main() {    // TCP_Socket
    if ((sockfd = socket( AF_INET, SOCK_STREAM, 0 )) < 0)  perror("opening stream");
    serv_addr...;
    if ( bind( sockfd, (sockaddr *)&serv_addr, sizeof(serv_addr) ) != 0 )
        perror( "binding to address" );

    if ( listen( sockfd, waitqueuelen ) != 0 )  perror( "listening to address" );

    if ( ( con = accept( sockfd, (sockaddr *)&peer_addr, sizeof(serv_addr) ) < 0 )
        perror( "accepting client" );

    n = read(con, buf, sizeof(buf)); printf("Received: %s\n", buf); write(con, buf, n);

    close( con ); close( sockfd ); return  0;
}
```



# Client verbindungsorientiert

```
#include <unistd.h>        // read(), close()
#include <arpa/inet.h>     // sockaddr_in, AF_INET
#include <sys/socket.h>    // SOCK_DGRAM, socket(), bind()
#include <sys/param.h>     // MAXHOSTNAMELEN
#include <netdb.h>         // gethostbyname()

const short port = 5242;
char        hostname[MAXHOSTNAMELEN+1] = "server";
int         sockfd;
struct sockaddr_in peer_addr;

int main() {    // TCP_Socket
    if ((sockfd = socket( AF_INET, SOCK_STREAM, 0 )) < 0)  perror("opening stream");
    peer_addr...;
    if ( connect( sockfd, (sochaddr *)&peer_addr, sizeof(peer) ) != 0 )
        perror( "connecting server" );

    write( sockfd, "Hello World", 11 );
    read( sockfd, buf, sizeof(buf)); printf("Received: %s\n", buf);

    close( sockfd ); return  0;
}
```