2 Nachrichtenmechanismen

- Spezielle Literatur

Comer, D.: Operating System Design - Volume II, Internetworking with Xinu. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1987.

Comer, Douglas and Stevens, David L.: Internetworking with TCP/IP Vol. II (3rd Edition) 1999 ISBN 0-13-973843-6

Fletcher, J. G.: Serial Link Protocol Design: A Critique of the X.25 Standard, Level 2. Computer Communication Review, Vol. 14, No. 2, 1984, pp. 26-33.

- Einschlägige Links (überprüft am 4.10.2001)
  - Protokolle

    http://www.protocols.com

    Einstieg zu Bechreibungen aller gängigen Protokolle
  - XINU-Hompage

    http://public.ise.canberra.edu.au/~chrisc/xinu.html

- Standards

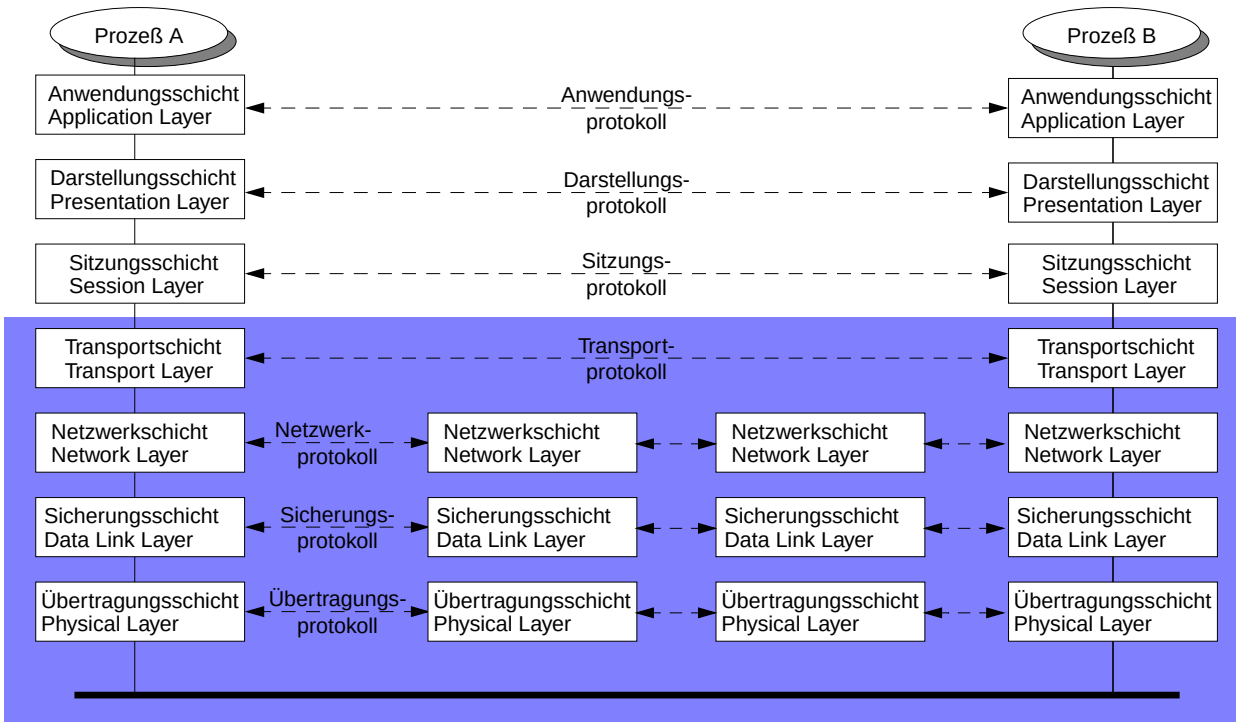
  Niedergelegt in mehreren “Request for Comment (RFC)"
  http://www.faqs.org/rfcs/rfc-index.html

IP	RFC 791	September	1981	51 Seiten
UDP	RFC 768	August	1980	4 Seiten
ARP	RFC 826	November	1982	10 Seiten
RARP	RFC 903	Juni	1984	4 Seiten
ICMP	RFC 792	September	1981	22 Seiten
TCP	RFC 793	September	1981	85 Seiten

- Untergliederung

2.1 Strukturen der Kommunikation

ISO/OSI-Referenzmodell



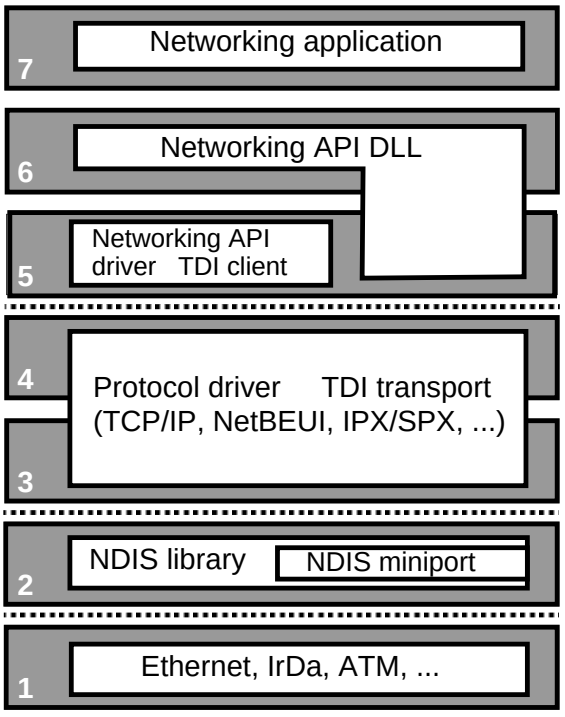
1. Übertragungsschicht
   - Ungesicherte Übertragung eines Bitstroms
   - Charakteristika der benutzten Signalformen sind Gegenstand der Standardisierung

2. Sicherungsschicht
   - Übertragung von Bitblöcken zwischen direkt physisch verbundenen Einheiten
   - Synchronisation, Fehler- und Flußkontrolle, evtl. Nachrichtenwiederholung

3. Netzwerkschicht
   - Virtuelle Verbindung zwischen zwei Einheiten, evtl. unter Zwischenschaltung anderer Einheiten

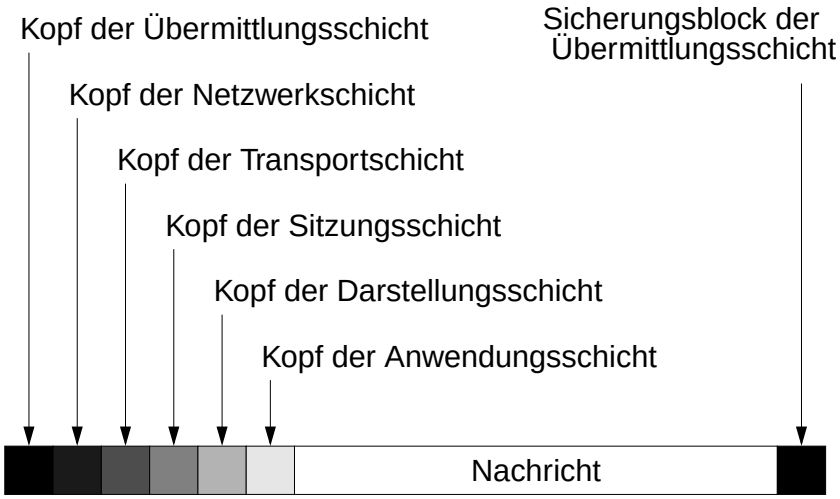
4. Transportschicht
   - Zuverlässiger, transparenter Nachrichtentransport zwischen Endpunkten
   - Zerlegen von Nachrichten in Transportpakete und Wiederzusammensetze
   - Flußkontrolle und Fehlerbehandlung

◆ Beispiel: Windows 2000

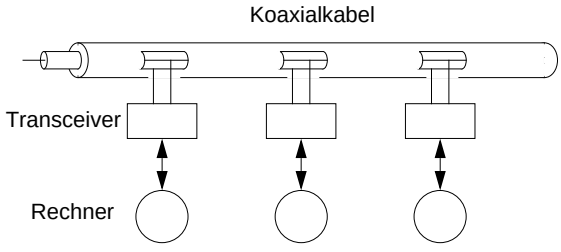


API	application programming interface
DLL	dynamic-link libraries
HAL	hardware abstraction layer
NDIS	Network Driver Interface Specification
TDI	Transport Driver Interface

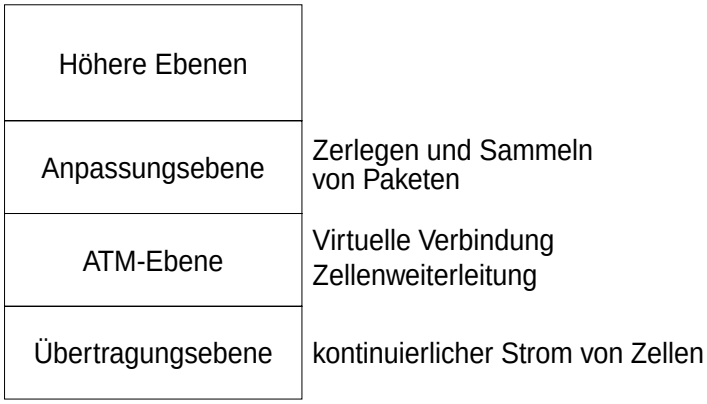
Nachrichtenformat geschichteter Protokolle



- Ethernet
  - Entwickelt von Xerox PARC ab etwa 1970
  - Standardisiert von Xerox, Intel und DEC 1978
  - Transaktionsorientiert
  - Zugriffsverfahren CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection)
  - Pakete mit 46 bis 1522 Byte Nutzinformation
  - Übertragungsgeschwindigkeit
    - Standard: 10 MBit/s
    - Fast Ethernet: 100 MBit/s
    - Gigabit Ethernet: 1 GBit/s

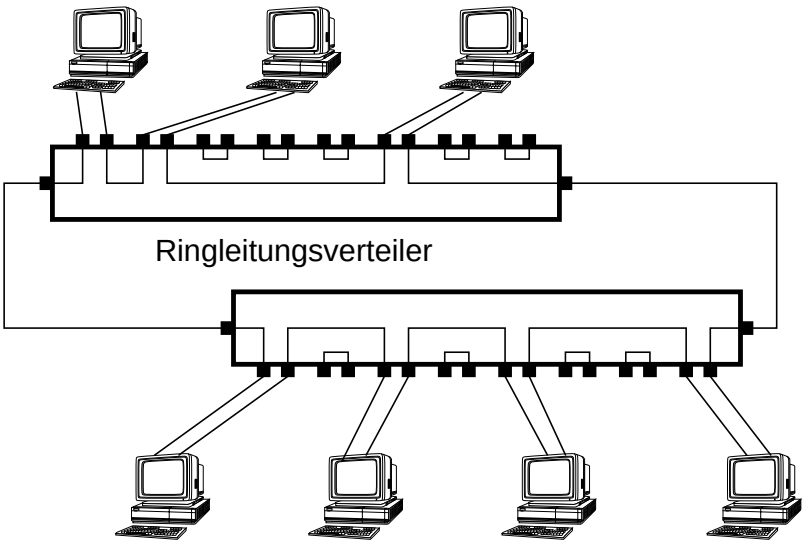


- ATM: Asynchronous Transfer Mode
  - Transaktionsorientiert
  - Zellen fester Größe (53 Byte) werden über virtuelle Verbindungen übertragen
  - Geeignet zur Übermittlung von Sprache, Video und digitalen Daten
  - Übertragungsraten reichen von 155 MBit/s bis 622 MBit/s
  - ATM-Referenzmodell

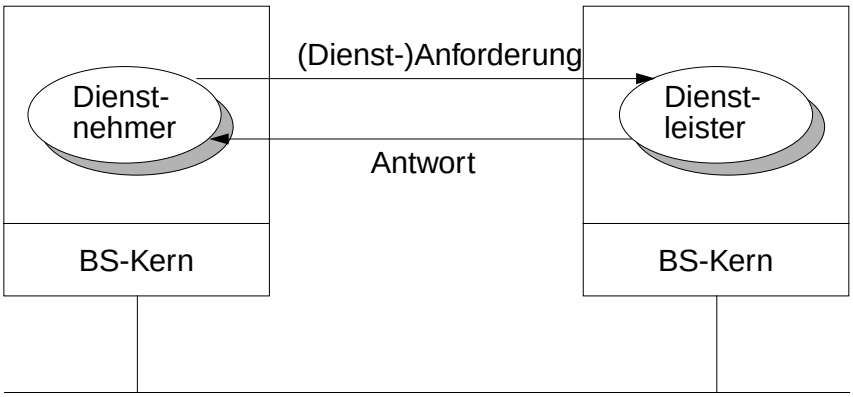


- Token-Bus
  - Token durchläuft ständig einen Ring und kann Daten mit sich führen.
    - Ein Knoten kann ’freies’ Token belegen durch Anfügen von Daten.
    - Knoten, die ein ’belegtes’ Token erhalten, können die Daten entnehmen; auf jeden Fall reichen sie es weiter, wenn sie es nicht belegt haben.
    - Wenn der belegende Knoten das Token erhält, gibt er es wieder frei.
  - Übertragungsraten
    - 4 MBit/s
    - 16 MBit/s

- Hardwarestruktur des ’Token Bus’

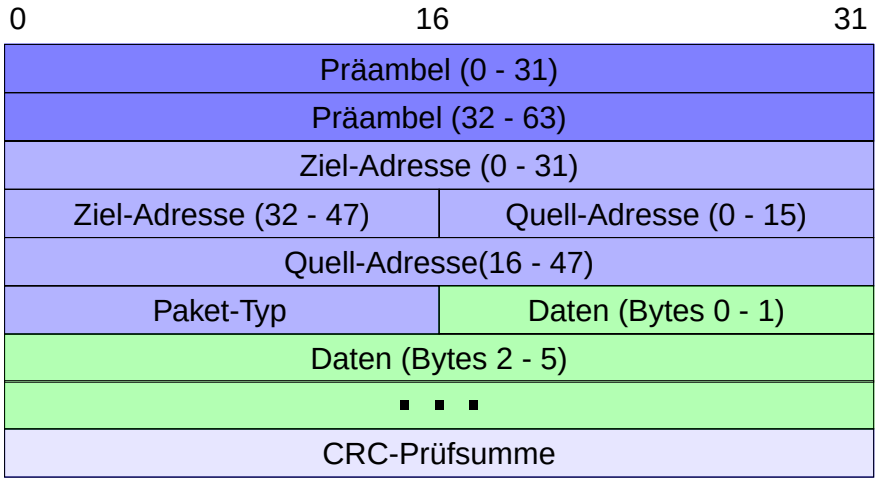


- Das Dienstnehmer-/Dienstleister-Modell (Client/Server Model)



- Problem: Adressierung

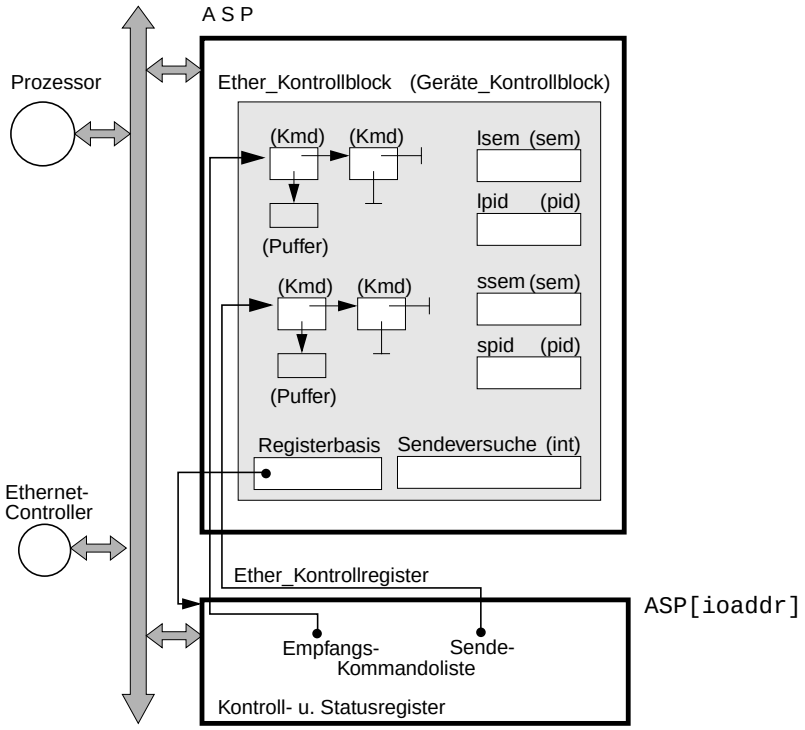
- Ethernet packet



Ethernet Link-Level Protocol Format


```
class EtherAddress {
  public static final int    EMINPAK =   64;// minimum packet length in bytes
  public static final int    EMAXPAK = 1266;// maximum packet length in bytes
  public static final int    EHLEN   =   14;// size of ether header
  public static final int    EDLEN   = EMAXPAK - EHLEN;
  public static final int    EPADLEN =    6;// length of phys. addresss
  public static final byte[] EBCAST  =   {(byte)0377, (byte)0377, (byte)0377,
                                          (byte)0377, (byte)0377, (byte)0377};
                                  //   Ethernet broadcast address
  byte[] address = new byte[EPADLEN];
}

class EtherPacket {
  // Structure of ethernet header
  byte[]       preample = new byte[8];
  EtherAddress e_dest; // destination host address
  EtherAddress e_src;  // source host address
  short        e_ptype;// packet type
    public static final int EP_IP   = 0x00000800;//  DARPA Internet protocol
    public static final int EP_ARP  = 0x00000806;//  address resolution protocol
    public static final int EP_RARP = 0x00008035;//  reverse addr. resol. protocol
  byte[]       ep_data = new byte[len];  // 46 <= len <= 1522
  unsigned crc;
 }
```

Der Ethernet-Anschluß des Rechners am Beispiel des Digital Equipment Q-bus Network Adapter



Die Register des DEQNA (Digital Equipment Q-bus Network Adapter)

Byte-Nr.	Bedeutung beim Lesen	Bedeutung beim Schreiben
0/1	Byte 0 der eigenen phys. Ethernetadr.	bedeutungslos
2/3	Byte 1 der eigenen phys. Ethernetadr.	bedeutungslos
4/5	Byte 2 der eigenen phys. Ethernetadr.	Bits 0 bis 15 der Adresse der Eingabebefehlsliste
6/7	Byte 3 der eigenen phys. Ethernetadr.	Bits 16 bis 21 der Adresse der Eingabebefehlsliste
8/9	Byte 4 der eigenen phys. Ethernetadr.	Bits 0 bis 15 der Adresse der Ausgabebefehlsliste
10/11	Byte 5 der eigenen phys. Ethernetadr.	Bits 16 bis 21 der Adresse der Ausgabebefehlsliste
12/13	Adresse des Interruptvektors	Adresse des Interruptvektors
14/15	Kontroll- und Statusregister	Kontroll- und Statusregister

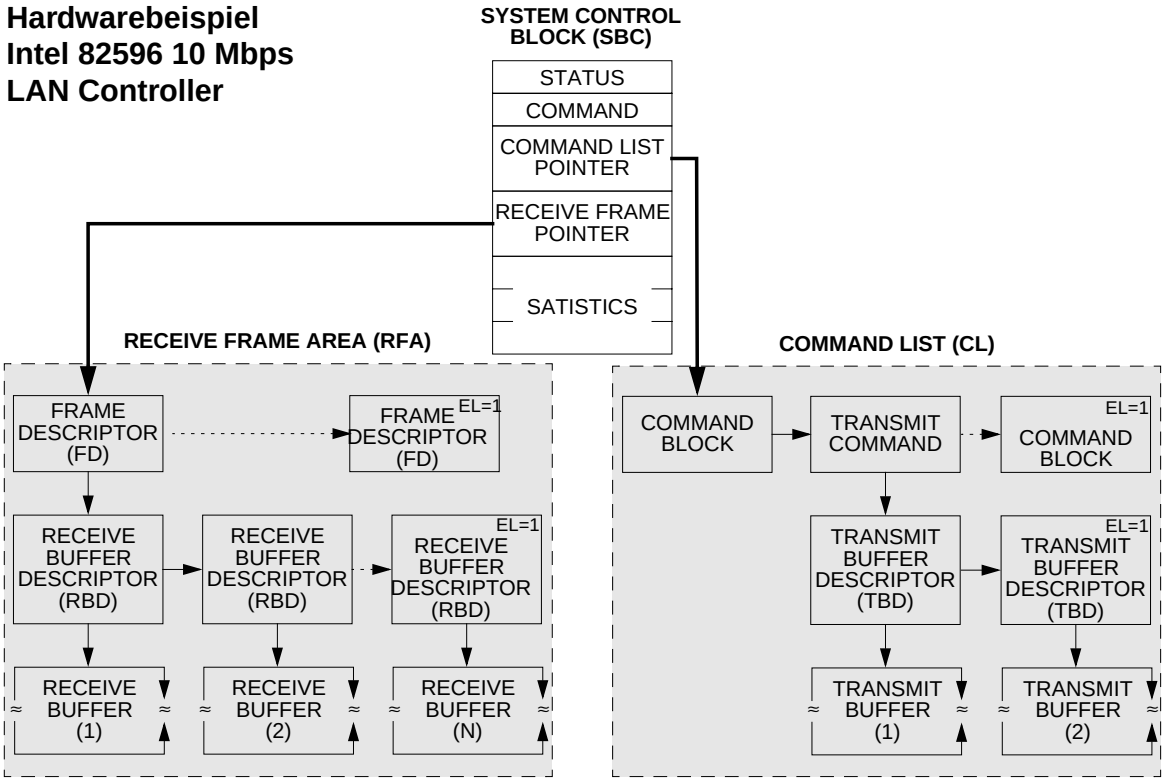
Bedeutung des Kontroll- und Statusregisters

Bit	Bezeich-nung	Bedeutung
15	DQ_RINT	Eingabe-Interrupt (auf 1 gesetzt, wenn ein Eingabevorgang abgeschlossen ist, muß vom Betriebssystem auf 0 gesetzt werden)
13	DQ_CARR	Trägersignal vorhanden (hat Wert 1, wenn Trägersignal vorhanden)
7	DQ_XINT	Ausgabe-Interrupt (auf 1 gesetzt, wenn ein Ausgabevorgang abgeschlossen ist, muß vom Betriebssystem auf 0 gesetzt werden)
6	DQ_IEN	Interrupts erlaubt (Eingabe- und Ausgabe-Interrupt werden nur gesetzt, wenn dieses Bit 1 ist)
5	DQ_RLI	Eingabeliste ungültig (wird von der HW auf 1 gesetzt, wenn die Eingabeliste abgearbeitet ist)
4	DQ_XLI	Ausgabeliste ungültig (wird von der HW auf 1 gesetzt, wenn die Ausgabeliste abgearbeitet ist)
1	DQ_REST	Rücksetzen (mit 1 beschreiben, wenn die HW in Anfangszustand versetzt werden soll)
0	DQ_ENBL	Empfang erlaubt (muß nach dem Einschalten auf 1 gesetzt werden, um den Empfang von Paketen zu erlauben)

Befehlsaufbau

Bytes 0/1	Indikator
Bytes 2/3	Bits 8 bis 15: Festlegung der Bedeutung der nachfolgenden Adresse (Pufferadresse, Befehlsadresse) bzw. Kennzeichnung als letzter Befehl Bits 0 bis 7: Bits 16 - 21 der Adresse
Bytes 4/5	Bits 0 bis 15 der Adresse
Bytes 6/7	Pufferlänge
Bytes 8/9	Zustandswort 1 (u. a. Fehleranzeigen)
Bytes 10/11	Zustandswort 2 (??)

Hardwarebeispiel
Intel 82596 10 Mbps
LAN Controller

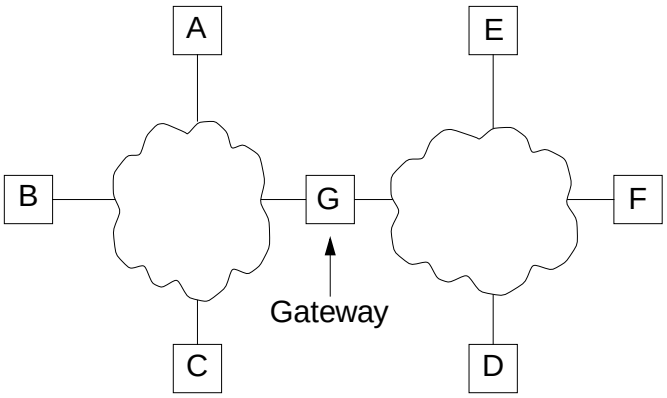


The textbook definitions of Ethernet have little to do with current practice.

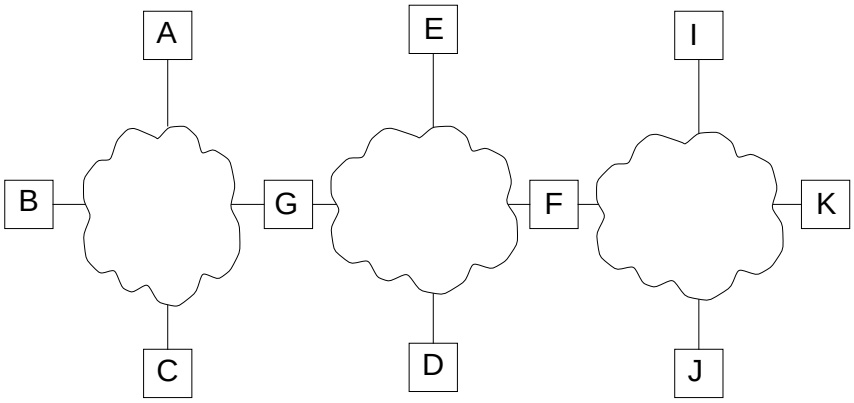
H. Gilbert, Yale

Although the OSI model is useful, the TCP/IP protocols don't match its structure exactly.

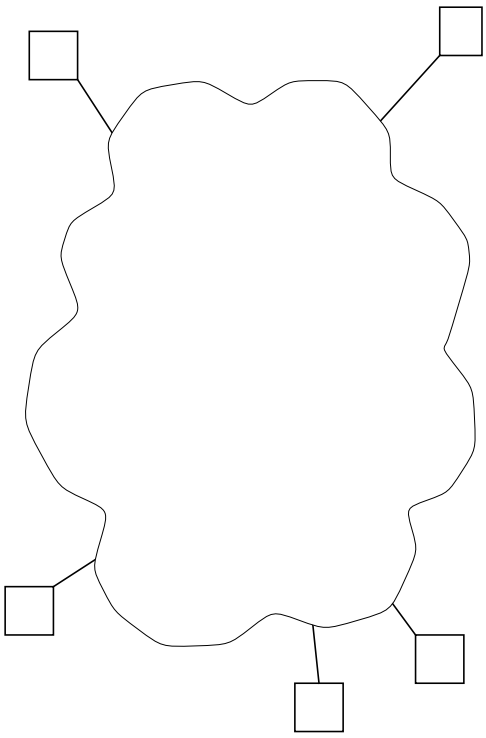
C. Hunt, In: TCP/IP, Network Administration.



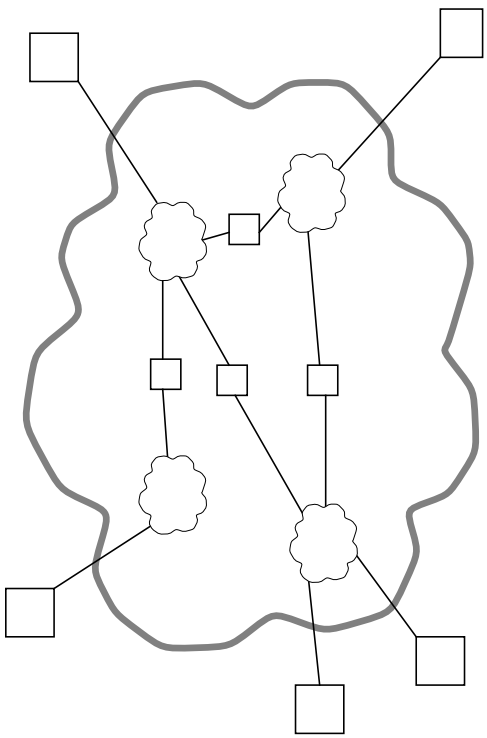
Verknüpfung von drei Netzwerken



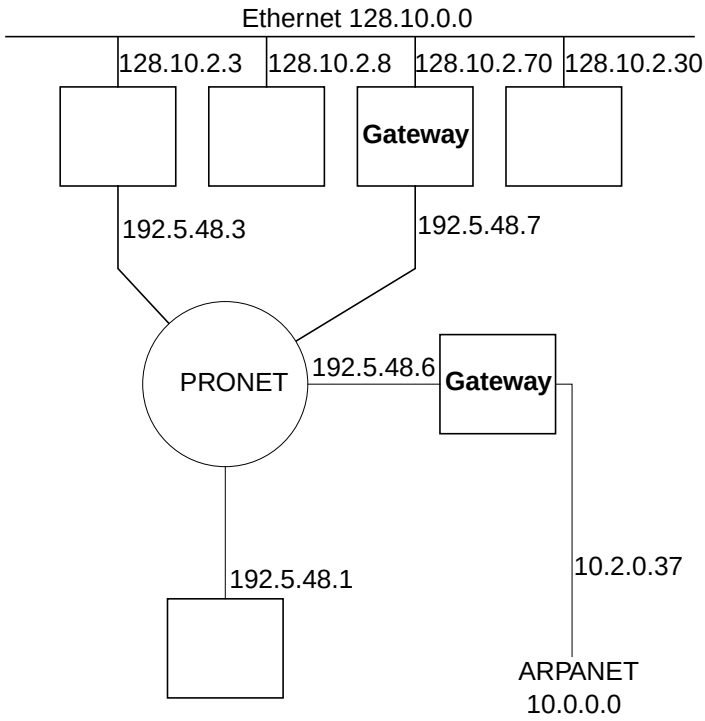
Benutzersicht



Systemsicht



IP-Adressen und ihre Darstellung



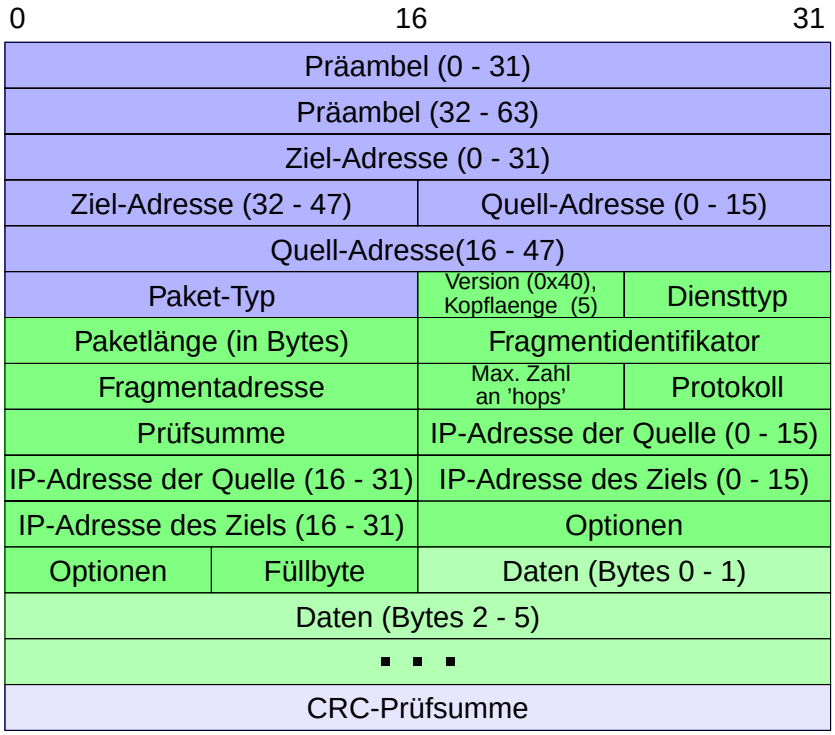
Aufbau von IP-Paketen

		Version (0x40), Kopflaenge (5)	Diensttyp
Paketlänge (in Bytes)		Fragmentidentifikator	
Fragmentadresse		Max. Zahl an 'hops'	Protokoll
Prüfsumme		IP-Adresse der Quelle (0 - 15)	
IP-Adresse der Quelle (16 - 31)		IP-Adresse des Ziels (0 - 15)	
IP-Adresse des Ziels (16 - 31)		Optionen	
Optionen	Füllbyte	Daten (Bytes 0 - 1)	
Daten (Bytes 2 - 5)			
▪ ▪ ▪			

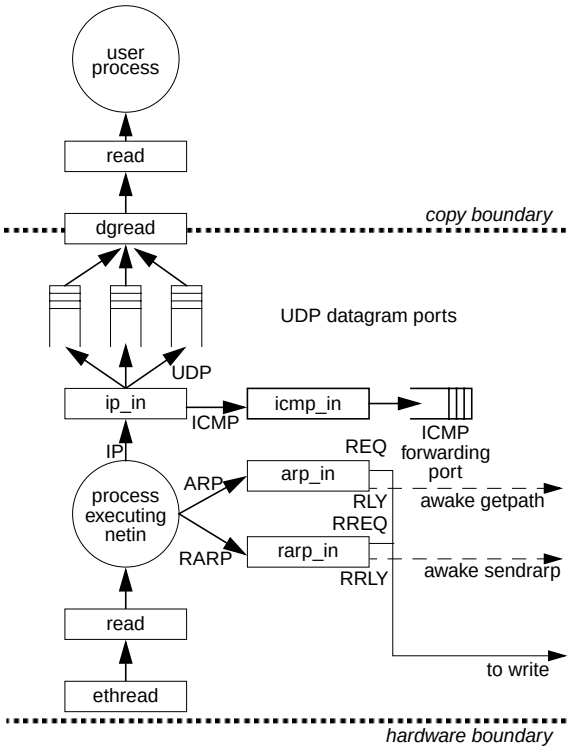
IP packet

```
public class IPPacket {
  static public final short IPHLEN = 20;
  static public final int IVERLEN = 0x45;
  static public final int ISVCTYP = 0;
  static public final int IFRAGOFF = 0;
  static public final int ITIM2LIV = 10;

  byte      verlen;           // IP vers. (0x40) + hdr len in longs (5)
  byte      svctyp;           // service type (0 => normal service)
  short     paclen;           // packet length in octets (bytes)
  short     id;               // datagram id (to help gateways frag.)
  short     fragoff;          // fragment offset (0 for 1st fragment)
  byte      tim2liv;          // time to live in gateway hops (10)
  byte      proto;            // IP protocol (UDP is assigned 17)
  short     cksum;            // 1s compl. of sum of shorts in header
  IPAddress src;              // IP address of source
  IPAddress dest;             // IP address of destination

  byte[]    data = new byte[paclen - 20];  // IP datagram data area
}
```

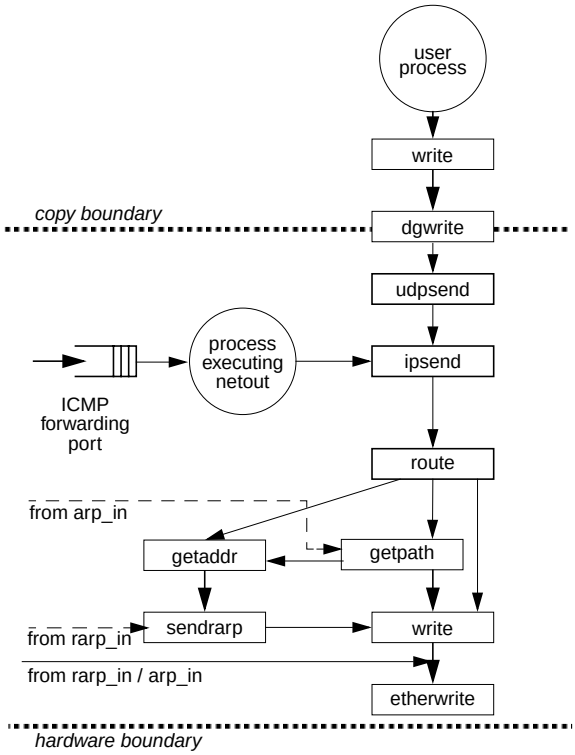

In Ethernet-Paket eingebettetes Internet-Paket



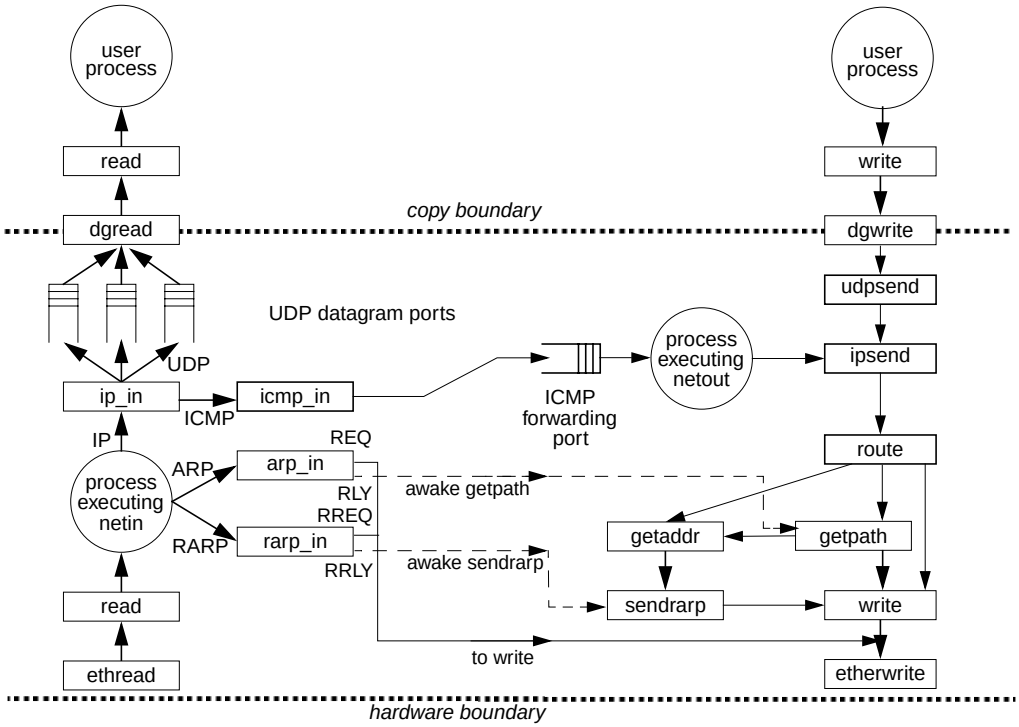
Struktur der Empfangs-Seite



Stuktur der Sende-Seite



Gesamtstruktur



Methoden der Ethernet-Ebene

EtherControlBlock

```
public EtherControlBlock()

public int read(EtherPacket f_packet)

public int write(short type,
                 EtherAdress destnation,
                 byte[] message)

public void ethinter()
  // Systemthread!
```

```
public int read(EtherPacket f_packet) {
  int returncode = 0;
  etrsem.p();
  startreading(f_packet);
  etrpid = Thread.currentThread().getName();
  deqna.scheduler.suspend();
  Dcmd dcmptr = ercmd[0];
  if ((dcmptr.dc_st1 & Dcmd.DC_LUSE) == Dcmd.DC_ERRU) {
    returncode = Xinu.SYSERR;
  } else {
    returncode = 0;
    int msglen = (L->dcmptr->dc_st1 & DC_HLEN) |
                 (L->dcmptr->dc_st2 & DC_LLEN);
  }
  etrsem.v();
  return returncode;
}
```



```
public void startreading(EtherPacket f_packet) {
   Dcmd dcmptr;
   DqRegs dqptr;
   dcmptr = ercmd[0];
   dcmptr.dc_bufh = Dcmd.DC_VALID;
   dcmptr.dc_buf = f_packet;
   dcmptr.dc_len = f_packet.ep_length;
   dcmptr.dc_st1 = dcmptr.dc_st2 = Dcmd.DC_INIT;
   dcmptr.dc_flag = Dcmd.DC_NUSED;
   dqptr = deqna.eioaddr;
   deqna.setRcmd(dcmptr);
 }


 public void setRcmd(Dcmd dcmptr) {
   eioaddr.d_csr = (short)
                   ((eioaddr.d_csr | DqRegs.DQ_RLI) ^ DqRegs.DQ_RLI);
   eioaddr.d_rcmd = dcmptr;

   // the next two lines describe (simulate) the effect of
   // reading from bytes 6/7 of the DEQNA registers
   eioaddr.d_rcmdh = 0;
   scheduler.resume(myName);
 }
```

```
  // Procedure ethwrite on page 38; write a single packet to the ethernet
public int etherwrite(short type,
                      EtherAddress destination,
                      byte[] message) {
  EtherPacket packet = new EtherPacket(etpaddr, destination, message);
  packet.ep_hdr.e_ptype = type;
  if (packet.ep_length > EtherAddress.EMAXPAK - 18) {
    return SYSERR;
  }
  if (packet.ep_length < EtherAddress.EMINPAK - 18) {
    return SYSERR;
  }
  etwsem.p();
  startwriting(packet, Dcmd.DC_NORM);
}
```



```
public void startwriting(EtherPacket packet, int setup) {
  Dcmd dcmptr;
  DqRegs dqptr;
  dqptr = deqna.eioaddr;
  while ((dqptr.d_csr & DqRegs.DQ_XLI) == 0) ;
  dcmptr = ewcmd[0];
  dcmptr.dc_bufh = Dcmd.DC_VALID | Dcmd.DC_ENDM | (etsetup = setup);
  if ((packet.ep_length % 2) == 1) dcmptr.dc_bufh |= Dcmd.DC_LBIT;
  dcmptr.dc_buf = packet;
  dcmptr.dc_len = packet.ep_length;
  dcmptr.dc_st1 = dcmptr.dc_st2 = Dcmd.DC_INIT;
  dcmptr.dc_flag = Dcmd.DC_NUSED;
  deqna.setWcmd(dcmptr);
  return ;
}

public void setWcmd(Dcmd dcmptr) {
  eioaddr.d_csr = (short) ((eioaddr.d_csr | DqRegs.DQ_XLI) ^ DqRegs.DQ_XLI);
  eioaddr.d_wcmd = dcmptr;
  // the next two lines describe (simulate) the effect of
  // writing to bytes 10/11 of the DEQNA registers
  eioaddr.d_wcmdh = 0;
  scheduler.resume(myName);
}
```

```
public void ethinter() {
  Dcmd dcmptr = null;
  DqRegs dqptr = deqna.eioaddr;
  short csr = dqptr.d_csr;
  dqptr.d_csr = (short)((csr | DqRegs.DQ_RINT | DqRegs.DQ_XINT | Dcmd.DC_ERRU)
                        ^ (DqRegs.DQ_RINT | DqRegs.DQ_XINT | Dcmd.DC_ERRU));
  boolean doresch = false;
  if ((csr & DqRegs.DQ_RINT) != 0) {
    // interrupt after reading
    dcmptr = ercmd[0];
    if ((dcmptr.dc_st1 & Dcmd.DC_LUSE) != Dcmd.DC_ERRU) {
      // received packet correct
      doresch = true;
    } else {              // error, so retry
      dcmptr.dc_st1 = dcmptr.dc_st2 = DC_INIT;
      dcmptr.dc_flag = DC_NUSED;
      deqna.setRcmd(dcmptr);
    }
}
```



```
  if ((csr & DqRegs.DQ_XINT) != 0) {
    // interrupt after sending
    dcmptr = ewcmd[0];
    if ((dcmptr.dc_st1 & Dcmd.DC_LUSE) != Dcmd.DC_ERRU) {
      // packet sucessfully delivered to the ethernet
      etwsem.v();
    } else {
      // sending erronous, retry
      ...
    }
  }
  if (doresch) {
    deqna.scheduler.resume(etrpid);
  }
```

- Adreßumsetzung Ethernet ↔ Internet

(reverse) address resolution packet

```
class ArpPacket {
   short  hrd;// type of hardware (Ethernet = 1)
   short  prot;// format of proto. (IP=0x0800)
   byte   hlen;// hardware address length (6 for Ether)
   byte   plen;// protocol address length (4 for IP)
   short  op;// arp operation
//  ARP request to resolve address
//     internet addr. --> ethernet addr.
//  reply to a resolve request
//  reverse ARP request (RARP packet)
//     ethernet addr. --> internet addr.
//  reply to a reverse request
//     (RARP pack.)
   EtherAddress  sha;// sender's physical hardware address
   IPAddress     spa;// sender's protocol address (IP addr.)
   EtherAddress  tha;// target's physical hardware address
   IPAddress     tpa;// target's protocol address (IP)
}
```


Aufbau von "address resolution packets"

<table>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="2">Hardwaretyp (1 = Ethernet)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Format der Protokolladresse</td><td>Länge der Hard-wareadresse (6)</td><td>Länge der Proto-kolladresse (4)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Operation</td><td colspan="2">Ethernetadr. der Quelle (0 - 15)</td></tr>
<tr><td colspan="4">Ethernetadresse der Quelle (16 - 47)</td></tr>
<tr><td colspan="4">IP-Adresse der Quelle (0 - 31)</td></tr>
<tr><td colspan="4">Ethernetadresse des Ziels (0 - 31)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Ethernetadr. des Ziels (32 - 47)</td><td colspan="2">IP-Adresse des Ziels (0 - 15)</td></tr>
<tr><td colspan="2">IP-Adresse des Ziels (16 - 31)</td><td colspan="2"></td></tr>
</table>

```
void rarp_in(ArpPacket packet)
  // handle RARP packet coming from Ethernet network

receive_timed(int maxwait)

void send(int pid, int message)

void make_arp(short type, short op,
              IPAddress source_process_addr,
              IPAddress target_process_addr)
```


Cache for address resolution protocol

```
int getpath(IPAddress addr)
    // Find route table index for
    // a given IP address

arpfind(IPAddress faddr)
    // Find or insert entry in ARP cache
    // and return its index

arp_in(ArpPacket packet, int device)
```

IP packet

```
class IPPacket {
  byteverlen;// IP vers.(0x40) + hdr len in longs (5)
  bytesvctyp;// service type (0 => normal service
  shortpaclen;// packet length in octetts
  shortid;// datagram id (to help gateways frag.)
  shortfragoff;// fragment offset (0 for first fragment)
  bytetim2liv;//                                    time to live in gateway hops (10)
  byteproto;// IP protocol (ICMP is assigned 1
                 // UDP  is assigned 17)
  shortchksum;// 1s compl. of sum of shorts in header
  IPAddresssrc;// IP address of source
  IPAddressdest;// IP address of destination
  byte[]data = new byte[paclen - 20];// IP datagram data area
}
```



```
void ipsend(IPAddress faddr,
            EtherPacket packet, int datalen)

void route(IPAddress faddr,
           EtherPacket packet, int totlen)
```

Type ICMP message type

0 Echo Reply
3 Destination unreachable
4 Source Quench
5 Redirect (change a route)
8 Echo Request
11 Time Exceeded for a Datagram
12 Parameter Problem on a Datagram
13 Timestamp Request
14 Timestamp Reply
15 Information Request
16 Information Reply


```
void icmp_in(EtherPacket packet,
             int icmpp, int lim)
```

UDP packet

```
class UDPPacket
  shortsport;// Source UDP port number
  shortdport;// Destination UDP port number
  shortdplen;// Length of UDP data
  shortucksum;// UDP checksum (0 => no checksum)
  byte[]data;// Data in UDP message
}
```


<table>
<tr><td colspan="3">Präambel (0 - 31)</td></tr>
<tr><td colspan="3">Präambel (32 - 63)</td></tr>
<tr><td colspan="3">Ziel-Adresse (0 - 31)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Ziel-Adresse (32 - 47)</td><td>Quell-Adresse (0 - 15)</td></tr>
<tr><td colspan="3">Quell-Adresse(16 - 47)</td></tr>
<tr><td>Paket-Typ</td><td>Version (0x40), Kopflaenge (5)</td><td>Diensttyp</td></tr>
<tr><td>Paketlänge (in Bytes)</td><td colspan="2">Fragmentidentifikator</td></tr>
<tr><td>Fragmentadresse</td><td>Max. Zahl an 'hops'</td><td>Protokoll</td></tr>
<tr><td>Prüfsumme</td><td colspan="2">IP-Adresse der Quelle (0 - 15)</td></tr>
<tr><td>IP-Adresse der Quelle (16 - 31)</td><td colspan="2">IP-Adresse des Ziels (0 - 15)</td></tr>
<tr><td>IP-Adresse des Ziels (16 - 31)</td><td colspan="2">Optionen</td></tr>
<tr><td>Optionen</td><td>Füllbyte</td><td>Quell-Port</td></tr>
<tr><td colspan="2">Ziel-Port</td><td>Länge des UDP-Datagramms</td></tr>
<tr><td colspan="2">UDP-Prüfsumme</td><td>UDP-Daten (Bytes 0 - 1)</td></tr>
<tr><td colspan="3">UDP-Daten (Bytes 2 - 5)</td></tr>
<tr><td colspan="3">▪ ▪ ▪</td></tr>
<tr><td colspan="3">CRC-Prüfsumme</td></tr>
</table>

```
void udpsend(IPAddres faddr,
             short fport, short lport,
             EtherPacket packet, int datalen)

void netin()
  // thread

void netout(int icmpp)
  // thread

void ip_in(EtherPacket packet, int icmpp, int lim)
```

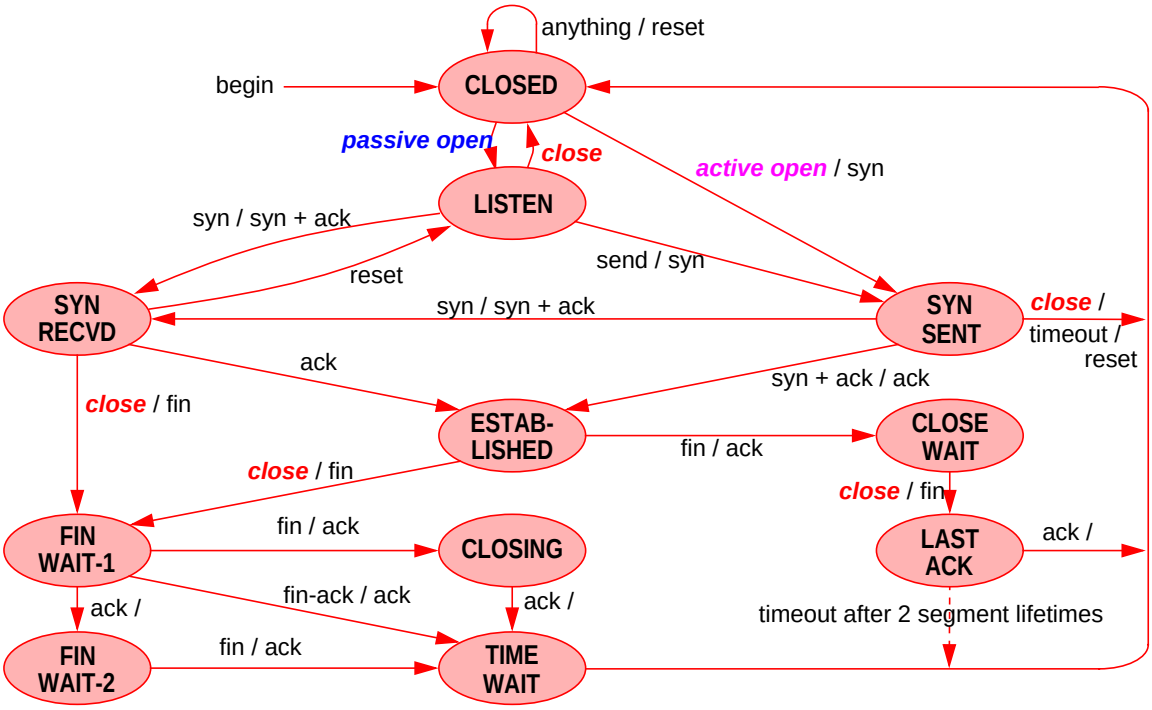

- TCP (Transmission Control Protocol)
- Verbindungsaufbau (3-way handshake), entnommen aus RFC 793
  - Einseitig

1.	CLOSED				CLOSED
2.	CLOSED				(passive open) LISTEN
3.	(active open) SYN-SENT	-->	<SEQ=100><CTL=SYN>	-->	SYN-RECEIVED
4.	ESTABLISHED	<--	<SEQ=300><ACK=101><CTL=SYN,ACK>	<--	SYN-RECEIVED
5.	ESTABLISHED	-->	<SEQ=101><ACK=301><CTL=ACK>	-->	ESTABLISHED
6.	ESTABLISHED	-->	<SEQ=101><ACK=301><CTL=ACK><DATA>	-->	ESTABLISHED

- Gleichzeitig in beiden Richtungen

1.	CLOSED				CLOSED
2.	(active open) SYN-SENT	-->	<SEQ=100><CTL=SYN>	...	
3.					(active open)
	SYN-RECEIVED	<--	<SEQ=300><CTL=SYN>	<--	SYN-SENT
4.		...	<SEQ=100><CTL=SYN>	-->	SYN-RECEIVED
5.	SYN-RECEIVED	-->	<SEQ=100><ACK=301><CTL=SYN,ACK>	...	
6.	ESTABLISHED	<--	<SEQ=300><ACK=101><CTL=SYN,ACK>	<--	SYN-RECEIVED
7.		...	<SEQ=101><ACK=301><CTL=ACK>	-->	ESTABLISHED

- TCP-Zustandsdiagramm (standardisiert)



Verbindungsabbau

Einseitig

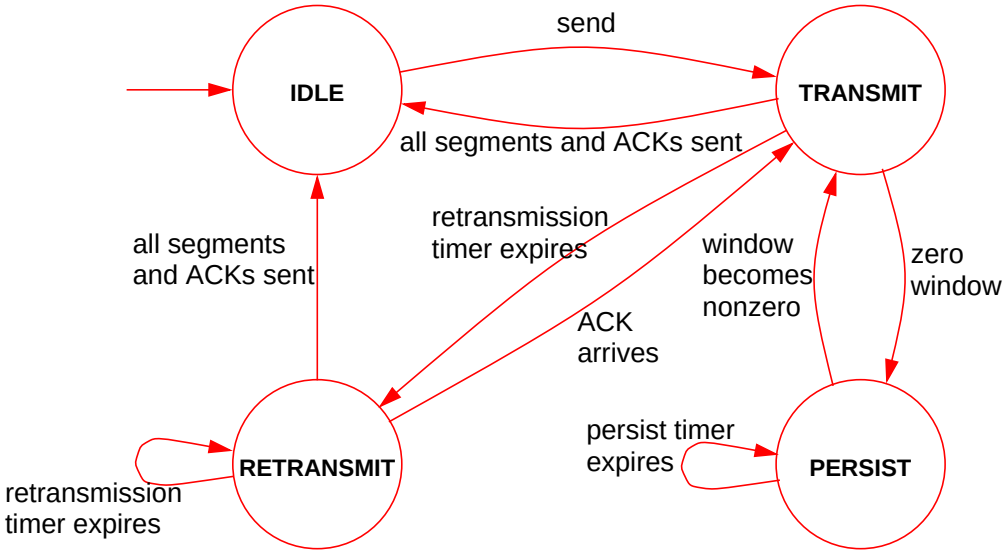
1.	ESTABLISHED			ESTABLISHED
2.	(close) FIN-WAIT-1	-->	<SEQ=100><ACK=300><CTL=FIN,ACK>	--> CLOSE-WAIT
3.	FIN-WAIT-2	<--	<SEQ=300><ACK=101><CTL=ACK>	<-- CLOSE-WAIT
4.	TIME-WAIT	<--	<SEQ=300><ACK=101><CTL=FIN,ACK>	(Close) <-- LAST-ACK
5.	TIME-WAIT	-->	<SEQ=101><ACK=301><CTL=ACK>	--> CLOSED
6.	(2 MSL) CLOSED			

Gleichzeitig von beiden Seiten

1.	ESTABLISHED			ESTABLISHED
2.	(close) FIN-WAIT-1	-->	<SEQ=100><ACK=300><CTL=FIN,ACK>	... (close) FIN-WAIT-1
		<--	<SEQ=300><ACK=100><CTL=FIN,ACK>	<--
		...	<SEQ=100><ACK=300><CTL=FIN,ACK>	-->
3.	CLOSING	-->	<SEQ=101><ACK=301><CTL=ACK>	... CLOSING
		<--	<SEQ=301><ACK=101><CTL=ACK>	<--
		...	<SEQ=101><ACK=301><CTL=ACK>	-->
4.	TIME-WAIT			TIME-WAIT
5.	(2 MSL)			(2 MSL)
6.	CLOSED			CLOSED

- Laufende Übertragung:Nicht formal standardisiert

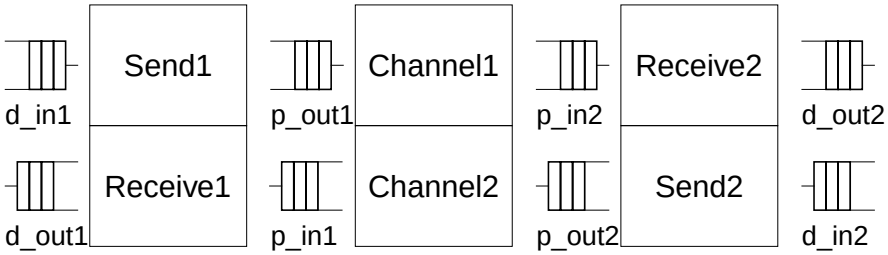
  Basiert auf Zustandsdiagramm



- Ein Verbindungsprotokoll (ALP, A Link Protocol)

  Basiert auf Zustandsaustauschmethode

  Gesamstruktur



Vereinfachende Annahme:

Der Kanal kann keine Pakete speichern

- Trivialerweise gegeben bei Ethernet
- Verletzt bei Vernetzung mittels Gateway-Rechnern

- Zustandsaustauschmethode
  - Paket enthält vollständige Sicht des Senders
  - Paketaustausch bis zum Angleich der Sichten
    Dazu versendet der Sender ein Paket, wenn
    (1) der Sender seine Sicht ändert,
    (2) der Empfänger veranlaßt werden soll, den Zustand zu ändern,
    (3) ein Paketempfang Unstimmigkeiten der Sichten erkennen läßt,
    (4) ein fehlerhaftes Paket empfangen wird,
    (5) der Sender mit dem Zustand unzufrieden ist.

- Algorithmus

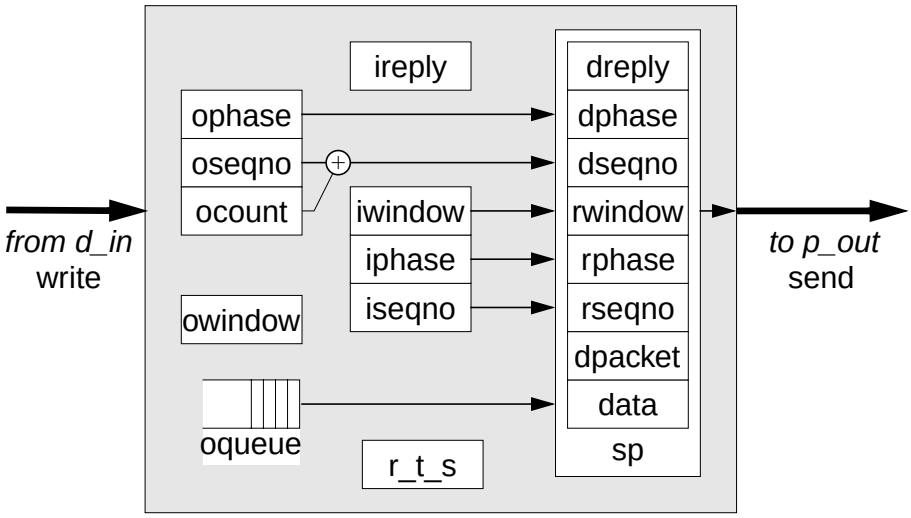
  Variable

dseqno	Sequenznummer zur Numerierung abgehender Pakete.
iseqno	nächste akzeptable Sequenznummer.
dpacket	gibt an, ob das Paket Daten enthält.
dreply	gibt an, ob der Absender eine Antwort fordert.

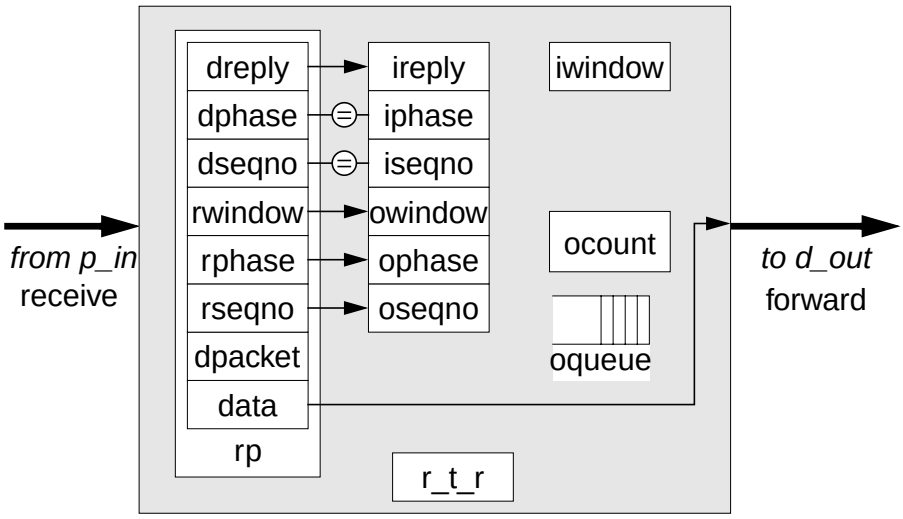
  Bei Feststellung eines Paketverlustes, wird die "Übertragungsphase" gewechselt. Der Phasenwechsel veranlaßt, daß noch nicht bestätigte Pakete erneut übermittelt werden. Die Phasenangabe muß erlauben, alte und neue Pakete unterscheiden zu können. Es zeigt sich, daß es ausreichend ist, die Phasen modulo 2 zu zählen.

dphase	Phase aus der Sicht des Senders.
rphase	Phase aus der Sicht des Empfängers.
owindow	Fensterbreite beim Sender.
iwindow	Fensterbreite beim Empfänger.

Sender



Empfänger



```
class Packet {
  boolean dreply;// indicates that receiver should send a packet
  int     dphase;// phase in which packet is sent
  int     dseqno;// sequence number of packet
  int     rwindow;// receive window of sender
  int     rphase;// pase in which receiver should be
  int     rseqno;// sequence number for next packet of the receiver
  boolean dpacket;// indicates that message contains user data
  String  data;// user data
}
```



```
/*1 */   // This algorithm should be executed after receipt of each
/*2 */   //  non-erroneous frame.
/*3 */  { f = receive();
/*4 */    if (f->dseqno == iseqno && f->dphase == iphase) {
/*5 */      if (f->dpacket == 1 && iwindow > 0) {
/*6 */        // An input packet has arrived in sequence. Accept it
/*7 */        iseqno = (iseqno + 1) % m; forward(f->data); }
/*8 */    } else {
/*9 */      // An input packet has been lost. Prepare to accept retransmission.
/*10*/      iphase = 1 - f->dphase; ireply = 1; }
/*11*/    if ((f->rseqno - oseqno) % m <= ocount) {
/*12*/      // The received reverse sequence number is not anomalous.
/*13*/      while (f->rseqno != oseqno) { // Discard accepted output packets.
/*14*/        pop(oqueue); oseqno = (oseqno + 1) % m; ocount--; olength--; }
/*15*/      owindow = f->rwindow; }
/*16*/    if (f->rphase != ophase) { // Prepare to retransmit rejected output packets
/*17*/      ophase = f->rphase; oseqno = f->rseqno; ocount = 0; }
/*18*/    if (f->dreply == 1 || olength > 0) { // state is unsatisfactory.
/*19*/      ireply = 1; }
/*20*/    discard(f);
/*21*/  }
```

```
/*1 */   // This algorithm should be executed
/*2 */   // (1) after a packet is pushed on oqueue and olength is incremeted and
/*3 */   // (2) after execution of the preceding algorithm for receipt
/*4 */   //     of a non-erronous frame.
/*5 */
/*6 */   // Also ireply should be set to 1 and this algorithm then executed
/*7 */   // (3) after receipt of an erroneous frame,
/*8 */   // (4) after iwindow is changed,
/*9 */   // (5) after a give-up timeout and any associated purging of the output queue,
/*10*/   // (6) after initialization, and perhaps
/*11*/   // (7) periodically so long as olength > 0.
/*12*/   { while (ocount < min(owindow, olength) || ireply == 1) {
/*13*/       f = new packet;
/*14*/       ireply = 0; f->dphase = ophase; f->dseqno = (oseqno + ocount) % m;
/*15*/       if (ocount < min(owindow, olength)) {
/*16*/         // A packet should be included in the frame.
/*17*/         f->dpacket = 1; f->data = oqueue[ocount++];
/*18*/       }
/*19*/       if (olength > 0) { // Not all output packets have as yet been accepted.
/*20*/         f->dreply = 1;
/*21*/       }
/*22*/       f->rphase = iphase; f->rseqno = iseqno; f->rwindow = iwindow; send(f);
/*23*/     }
/*24*/   }
```