

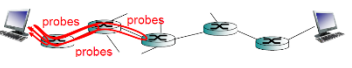
traceroute

Misst Weg vom Starthost zum Zielhost

Für alle i:

- Sende Pakete die nur i laufen können richtung Ziel (TTL Feld)
- i.ter Router sendet Pakete zurück -> Sender lernt alle Router kennen - vgl. Breitensuche

Basiert auf ICMP



Home Router Aufgaben

DHCP Server, WLAN Access Point, IP Router, DSL Modem / Kabelmodem, DNS Resolver

Schichtenmodell (ISO/OSI)

Zusätzlich:

Presentation: Semantik der übertragenen Kommunikation (Kompression, Verschlüsselung, BE, LE)

Session: Sitzungsauf- und abbau Synchronisierung zwischen beteiligten Prozessen

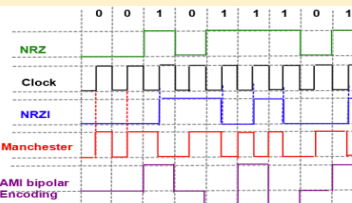
Nachteile: Leichter Overhead, teilweise gleiche Aufgaben in mehreren Schichten implementiert (historische Gründe), Höhere Schicht benötigt Infos aus niedrigerer Schicht (z.B. WLAN Routing Protokolle (Schicht3) benötigen Infos aus Schicht2) Änderungen an Service API Schicht k hat Auswirkungen auf k+1

7 application
6 presentation
5 session
4 transport
3 network
2 link
1 physical

Baseband Transmission (Leitungscodes)

Manchester: XOR Clock mit Bits

Bipolar: abwechselnd + u. - für jede 1



NRZ

Clock

NRZI

Manchester

AMI bipolar Encoding

Multiplexing (mehrere User 1 Übertragungsmedium)

Frequency Division Multiple Access (FDMA):

- Jeder Benutzer hat eigenen Frequenzbereich
- Bei **Vollduplex** zwingend notwendig!

Time Division Multiple Access (TDMA):

- Frequenzbereich wird über Zeit geteilt
- Round-robin
- Benutzer wechseln sich zeitlich ab

Auch **Kombination** aus beiden Möglich.

Cyclic Redundancy Check (CRC): Ethernet und WLAN

Zu übertragende **Datenbits D**

Generator G, den Sender u. Empfänger kennen (+1Bits)

Sender bestimmt **r zusätzliche Bits** und hängt diese an d an.

d+r wird dann übertragen. **d+r muss durch G teilbar** sein.

Beispiel:

D = 101110, d+6 = 10011111

G = 10011111

Sender: R berechnen:

R = Rest((D*2^n) / G)

R ggfs mit führenden Nullen zu r Stellen ergänzen.

Empfänger prüft, ob durch G teilbar


D*2^n: XOR R = n*G?

Also eigentlich: (D+R) / G

Falls rest übrig bleibt -> Fehler

Funktioniert schlecht, wenn Bitfehler direkt hintereinander

Slotted ALOHA



Annahmen: Alle Frames gleiche Größe. Zeit in gleich große Zeitslots unterteilt. Intervall reicht zum Senden des kompletten Pakets. Hosts müssen bzgl Zeit synchronisiert sein.

Sobald neuer Frame vorhanden. Versuche im nächsten Slot zu senden.

- Keine Kollision: fertig.
- Kollision: Versuche beim nächsten Slot mit Wahrscheinlichkeit p erneut. (p-persistent)

Vorteile: nur 1 Host: volle Rate, Dezentral, Einfach

Nachteile: Kollisionen verschwenden Zeitslots. Sync der Uhren notwendig. Hosts erkennen evtl. Kollision bevor Übertragung beendet ist und brechen das Senden ab.

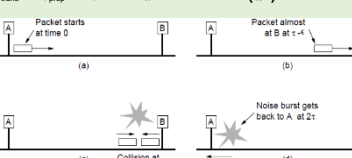
Mindestlänge von Ethernet Frames

Worst-Case: Kollision wird erst nach 2*d_{prop} erkannt.

Ziel ist es, dass **Sender Kollision noch erkennt, bevor er alle Bits seines Frames losgesendet hat.** (Transmission delay)

=> Minimale Paketgröße nötig

d_{trans} > 2d_{prop} => L/R > 2 * s/v => L > 2 * R * (s/v)



(a) Packet starts at time 0

(b) Packet almost at B at t=t+L/v

(c) Collision at time t

(d) Noise burst gets back to A at 2t

Ethernet Switch

Arbeite auf **Link Layer**.

- Empfang, Zwischenspeicherung und Weiterleitung von Ethernet Frames
- Untersucht MAC Adresse der ankommenden Frames und leitet Frame selektiv nur an richtigen Port weiter.

Klassischer Switch hat **keine IP-Adresse**.

Transparent:

- Ethernet Hosts merken nichts von der Anwesenheit eines Switches

Plug-and-Play:

- Selbstlernend
- Muss nicht konfiguriert werden.

Leitungsvermittlung (Circuit Switching)

Benötigte Ressourcen müssen vorab reserviert werden

Verbindung wird nur zugelassen, falls ausreichend Netzkapazität vorhanden. Sonst abgelehnt.

Dann Senden eines kontinuierlichen Datenstroms.

Übertragungsrate garantiert.

Paketvermittlung (Packet Switching)

Host teilt Nachricht in kleine Pakete auf und schickt sie unabhängig voneinander los.

Gleichzeitige Pakete müssen sich einen Link teilen und zeitlich hintereinander gesendet werden.

Router: **Store-and-Forward**.

Jeder Router muss gesamtes Paket empfangen, bevor er es auf den ausgehenden Link weiterleitet

Signalübertragung

Dämpfung: Längere Leitung -> mehr Dämpfung

Leistung/Amplitude verringert

Verzerrung: Frequenzen werden von Übertragungsmedien verschieden stark gedämpft.

Meist nur Frequenzen bis zu einem max Wert gut übertragbar

Bandbreite: E-Technik: Frequenzbereich der gut übertragen werden kann

Duplex vs Simplex

Vollduplex: Beide Richtungen gleichzeitig möglich

z.B. meist bei Kabelübertragung

Halbduplex: Beide Richtungen, aber nicht gleichzeitig

z.B. WLAN

Simplex: Nur eine Richtung möglich

Taktrückgewinnung durch Leitungscodes

Häufige Symbolwechsel nötig, damit Empfänger den **Takt rückgewinnen** kann. 100000 schwierig wie viele 0en.

Lösungen:

- Synchronre Uhren
- Manchester Code (Taktfreq = 2 * Bitfreq)
- Codierung: z.B. 4B/5B bildet 4 Bits auf 5 Bits ab mit vielen Wechseln (so bestehen Codewörter niemals nur aus 1en oder 0en)

Data	Code	Data	Code	Data	Code	Data	Code
0000	11110	0100	01010	1000	10010	1100	11010
0001	01001	0101	01101	1001	10011	1101	11011
0010	10100	0110	01110	1010	10110	1110	11100
0011	10101	0111	01111	1011	10111	1111	11101

Weitere Vorteile: Effizientes Ausnutzen der Bandbreite. Gleichsynchron unterdrücken(AM)

Link Layer

Host: Endpunkt eines Ende-zu-Ende Pfades

Node: Jedes Gerät, das am Netzwerk teilnimmt (Host, Router, Switch, Access Point,...)

Frame: Nachricht auf Schicht 2.

Wird in allen Nodes implementiert (**Netzwerkarte/HW**). Nicht in Hubs!

Übertragung von Frames zwischen benachbarten Nodes

Rahmenbildung: Positionsrichtige Erkennung von Zeichen, Erkennung von Blockgrenzen. Frame = Header+Payload.

Payload = IP Paket

Vielfachzugriff: Wer darf Medium wann nutzen?

Fehlererkennung/-korrektur: Umgang mit Bitfehlern auf physical layer. Hinzufügen von Redundanz

Zuverlässige Datenübertragung: Korrektur von Paketverlusten, korrekte Reihenfolge, Vermeidung von Duplikaten. Bei WLAN teilweise, bei Ethernet gar nicht.

MAC-Adressen (Adresse der Link Layer)

Nur lokal gültig. Zur Identifikation von Nachbarn.

Jedes Interface eines Hosts hat eigene MAC-Adresse.

Switch hat keine MAC Adresse, weil kein Host!

Bei Ethernet u. WLAN 48 Bit.

Broadcast-Adresse FF-FF-FF-FF-FF-FF

Jede Netzwerkkarte muss eindeutige MAC-Adresse haben innerhalb eines lokalen Netzwerkes.

Teilweise MAC Adresse fest mit Netzwerkkarte verknüpft.

Carrier Sense Multiple Access (CSMA)

Carrier Sensing: Mitlauschen am Kanal.

Kanal frei: Beginne Übertragung.

Kanal belegt: Verschiebe Übertragung.

- **1-persistent:** Sende sobald Kanal wieder frei
- **p-persistent:** Sende im nächsten Slot, mit W'keit p falls Kanal frei ist.
- **Non-persistent:** Warte Zufällige Zeit und prüfe erneut, ob Kanal frei. => **Ethernet**

Wegen d_{prop} erkennen Sender erst verspätet, ob es zu Kollisionen kommt.

d_{prop} hat Einfluss auf Kollisionswahrscheinlichkeit.

Problem: Bei spät erkannter Kollision ist losgesendetes Paket wertlos.

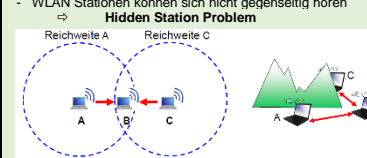
Vielfachzugriff bei WLAN 802.11

CS: Wie Ethernet wird vor Senden Medium abgehört

Collision Detection nicht möglich, weil:

- WLAN ist **halbduplex**: empf. Signal sehr schwach
- WLAN Stationen können sich nicht gegenseitig hören

=> **Hidden Station Problem**



Reichweite A Reichweite C

Kollisionen müssen beim Empfänger erkannt werden!

Switch Forwarding

Forwardingstabelle enthält Info, an welchen Port ein Frame weitergeleitet werden muss:

- Ziel MAC-Adr | Ziel Ausgangs-port | TTL

Ablauf:

- Selbstlernend: Bei **ankommendem** Frame werden Infos des Absenders gespeichert.
- **Nachschlagen**, ob Eintrag mit Ziel MAC schon in Tabelle.
- **Vorhanden:** Weiterleiten an Zielport. Falls Zielport == Quellport. Frame verwerfen.
- **Sonst:** Fluten. Weiterleiten an alle Hosts mit Ausnahme des Senders. Auch die, die er schon weiß, was dranhängt.

Paketverzögerungen/-verlust

Verlust: Pakete verworfen, wenn Puffer nicht frei

Verzögerung: durch Pufferung

d_{node} = d_{proc} + d_{queue} + d_{trans} + d_{prop}

d_{trans} = Paketlänge(Bits) L / Bandbreite d. Links(bps) R

d_{prop} = Länge d. Links s / Ausbreitungsgeschwindigkeit v (~2*10⁸ m/s)

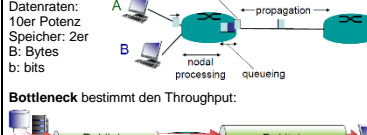
Datenraten:

10er Potenz


Speicher: 2er

B: Bytes

b: bits



Bottleneck bestimmt den Throughput:



Nyquist (Datenrate D bei unverraushtem Kanal)

Bandbreite **B**; Anz. verw. Signalstufen **V**

D = 2 * B * Id (V) [bit/s]

Shannon (Datenrate D bei verrauschten Kanal)

Gilt zusätzlich zu Nyquist!

Nutzsignalleistung S; Rauschleistung N

D = B * Id (1 + S/N) [bit/s]; S/N in dB: 10 * log₁₀(S/N)

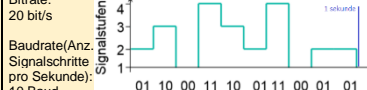
Wenn in dB geg., dann erst umrechnen

Bit vs Baud

Bitrate:

20 bit/s

Baudrate(Anz. Signalschritte pro Sekunde): 10 Baud

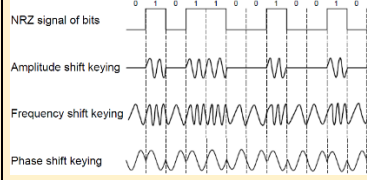


Passband Transmission

Nutzsignal ändert Trägersignal

Bei Frequency Vereinbarung welche Freq 0 und 1

Grund für Passband: **Multiplexing** u. Antennengröße



NRZ signal of bits

Amplitude shift keying

Frequency shift keying

Phase shift keying


Rahmenbildung (Zerlegung des Bitstroms in endliche Seq)

Erkennung, wann Frame beginnt und endet.

Byte Count: Zu Beginn jedes Frames Feld, das Anz. enthaltener Bytes angibt (Anz. inkl. diesem Feld)

Nachteil: Nach Fehler erneute Synchronisation schwer

Byte Stuffing: FLAG markiert anfang und Ende. Falls FLAG in Nutzdaten, ESC aber auch escapen. Overhead, aber einfaches Synchronisieren nach Fehler.

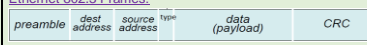


FLAG header Payload field Trailer FLAG

Bit Stuffing: Frame beginnt mit speziellen reserviertem Bitmuster. Beim senden wird nach 5 zusammenhängenden 1-er Bits immer ein 0 Bit eingefügt und beim Empfang nach 5 zusammenhäng. 1er Bits immer ein 0 Bit gelöscht.

Vorteil: Framelänge muss kein vielf. von 8Bit sein.

Ethernet 802.3 Frames:



Präambel: 7mal 10101010, dann 1mal 10101011

=> Synchronisation Sender u. Empfänger

Adressen: je 6 Byte Sender u. Empfänger MAC. Normalerweise, NW Karte leitet Frame nur an BS weiter, wenn des adresse passt. Ausnahme: Broadcast oder **Promiscuous Mode** (Netzwerkkarte akzeptiert auch Pakete, die nicht an ihn)

Type: 2Byte Art des Netzwerkprotokolls IPv4/IPv6..., Also Protokoll des enthaltenen Datagramms

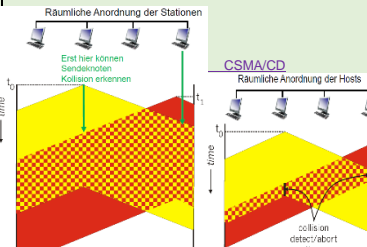
CRC: 4Byte

Eigenschaften:

- **Verbindungslos:** Kein Verb. Aufbau vor Datenaustausch
- **keine zuverlässige Verbindung:** Frameverlust mögl.

Vielfachzugriff: Nur bei Punkt-zu-Punkt: Unsl CSMA/CD

CSMA



Räumliche Anordnung der Stationen

CSMA/CD

Räumliche Anordnung der Hosts

CSMA/CA (Collision Avoidance) bei WLAN

Sender: Kanal min. für **DIFS** frei -> sende kompletten Frame ohne CS

Kanal belegt:

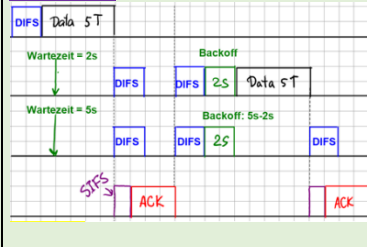
- hier schon exponential Backoff
- > Unterschied zu CSMA/CD
- Höre Kanal ständig ab und dekrementiere Timer nur während Zeiten, wo Kanal frei ist.
- Erneute Übertragung, wenn Timer ausläuft

Falls kein ACK eintrifft -> Wieder zu belegt Fall. Gfs backoff Intervall erhöhen.

Empfänger: bestätigt Datenempfang durch ACK nach Zeitspanne SIFS.

SIFS < DIFS Priorisierung von ACK

CSMA/CA Ablauf:



DIFS Data SIFS ACK

Wartezeit = 2s Backoff

Wartezeit = 5s Backoff: 5s-2s

Backoff rest

Schichtenmodell (TCP/IP - Internet)

Vorteile: Verringert Gesamtkomplexität. Einfacheres Hinzufügen neuer Features, modulares Entwickeln von für die Datenkommunikation benötigter Hardware, Treiber und Anwendungen. Schichten können geändert werden, ohne Einfluss auf andere Schichten.

Jede Schicht fügt an die Nachricht ihren eigenen Header hinzu

5 Application (HTTP, SMTP, RTP, DNS)

4 Transport (TCP, UDP): Kommunikation zw. Prozessen auf Sender u. Empfängerseite

3 Network (IP, ICMP): Adressierung, Forwarding, Routing

2 Link (DSL, SONET, 802.11, Ethernet): Rahmenbildung, Fehlererkennung/Korrektur, Vielfachzugriff, zuverl. Datübertr

1 Physical: Signalübertragung, Modulation, Übertragungsmedien

Digitale Modulation

Modulation: Umwandlung Bitsequenz in übertragbares Signal.

Demodulation: Rückübersetzung beim Empfänger.

Baseband (bei drahtgebundener Übertragung): Signal beinhaltet Frequenzen 0 bis f_{max} und wird direkt in diesem Frequenzbereich übertragen.

Bei Ethernet Kabel z.B. 100BaseT bedeutet: 1Gps, Baseband, Twisted Pair Kupferleitung

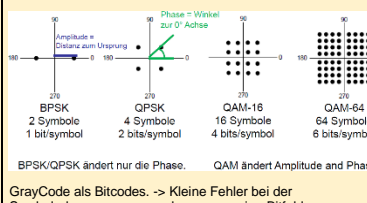
Passband (bei drahtloser Übertragung): Nutzsignal in höheren Frequenzbereich verschieben

Nutzsignal verändert Trägersignal

Rückgewinnung am Empfänger durch **Demodulation**

Passband: Kombination von Modulationsarten

ASK und PSK oft kombiniert -> ergibt mehr Symbole, daher höhere Bitrate bei gleicher Baudrate



BPSK 2 Symbole 1 bit/symbol

QPSK 4 Symbole 2 bits/symbol

QAM-16 16 Symbole 4 bits/symbol

QAM-64 64 Symbole 6 bits/symbol

GrayCode als Bitcodes. -> Kleine Fehler bei der Symbolerkennung verursachen nur wenige Bitfehler.

Fehlererkennung und -korrektur

Keine Fehlerkorrektur (zu viel Redundanz)

Bei Fehlererkennung:

Ethernet: keine Retransmission. Nur durch TCP, falls Timeout eintritt.

WLAN: Aktive Wiederanforderung des fehlerhaften Blocks durch Link Layer

Checksumme (IP und UDP/TCP Header):

- Bits in Gruppen von 16 Bit Wörtern
- Summiere alle 16 Bit Wörter unter Berücksichtigung des Übertrags (Übertrag addieren)
- 1er Komplement des Ergebnisses ist Checksum Empfänger:
- Addiere übertragene Wörter UND Checksum. Übertrag auch wieder addieren!
- Wenn Ergebnis nur 1er: Kein Fehler

Vielfachzugriff

Geteilter Broadcastkanal - **Interferenz** == Kollision falls mehrere Stationen gleichzeitig senden.

Multiple Access Control: Verteilter Algorithmus, der entscheidet, wann Host senden darf. Entscheidung muss inband sein (kein extra Kanal).

Link hat Kapazität R. Wenn einer, dann Rate R, wenn mehrere Senden Rate R/M

Arten von Multiple Access Control:

Multiplexverfahren: siehe physical Layer.

Random Access Verfahren: Kollisionen (>2 Stationen senden) werden zugelassen. Mechanismen um sich von Kollision zu erholen. z.B. Un-/Slotted ALOHA, CSMA/CD/CA

Token-Verfahren: Kollision werden verhindert. Nur vor Token hat darf auf Kanal zugreifen

CSMA/CD (Carrier Sensing + Collision Detection)

CS: Nur senden falls Medium gerade frei ist.

CD: Sender (**Netzwerkarte**) hört während senden Medium weiter ab.

- Sofortiger Abbruch + Jam Signal bei Kollision. Jam Signal zum Sicherstellen, dass andere Nodes Sendetätigkeit einstellen.
- Erneuter Sendeveruch nach zufälliger Wartezeit
- Binary exponential Backoff: mittlere Wartezeit nach jeder erneuten Kollision verdoppelt.

Voraussetzung: Sender muss zu **listen while talk** fähig sein.

- LAN: Leicht möglich -> **Vollduplex**
- WLAN: Schwierig. Empfangene Signale viel schwächer als gesendete -> **Halbduplex**

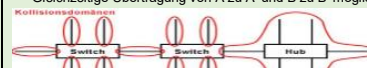
Switched Ethernet

Hub: Alle Leitungen quasi miteinander verbunden. Eine einzige Kollisionsdomäne. CSMA/CD notwendig

Switch: Isoliert jeden Port in eigene Kollisionsdomäne

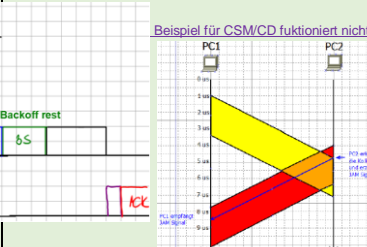
Bei Vollduplex-Kabeln kein CSMA/CD nötig

- Jeder Host direkt mit Switch-Port verbunden.
- Keine Kollision möglich, falls voll-duplex.
- Kein CSMA/CD notwendig.
- Switches speichern Frames zwischen und leiten Frames weiter
- Gleichzeitige Übertragung von A zu A' und B zu B' möglich.



Kollisionsdomäne

Beispiel für CS/CD funktioniert nicht



PC1 PC2

CS/CD funktioniert nicht

Abkürzungen

Einführung

DSL: Digital Subscriber Line
ISP: Internet Service Provider
TCP: Transmission Control Protocol (Netzwerkprotokoll, das definiert auf welche Art und Weise Daten zwischen Netzwerkkomponenten ausgetauscht werden sollen)
UDP:
IP: Internet Protocol (Protokoll das die Grundlage des Internets darstellt)
HTTP: Hypertext Transfer Protocol (Protokoll zur Übertragung von Daten in der Anwendungsschicht)
RFC: Request for Comments (legt Internet Standards fest)
VoIP: Voice over IP
DSLAM: Digital Subscriber Line Access Multiplexer (übersetzt hochfrequente Töne in digitale Signale, bevor Daten zum Modem im Heimnetz kommen)
CMTS: Cable Modem Termination System (Wie DSLAM aber für Kabelmodem)
DHCP Server: Dynamic Host Configuration Protocol Server (Verteilt automatisch Adressen an Hosts in einem Netzwerk)
DNS Server: Domain Name System Server (Weist im Internet einer URL die richtigen IP-Adresse zu)
SAP: Service Access Point (Im Schichtenmodell stellt jede niedrigere Schicht der jeweils höheren Schicht einen SAP zur Verfügung. Somit kann die Höhere Schicht die Services der niedrigeren benutzen)
ISO: International Organization for Standardization
OSI: Open Systems Interconnection

Network Layer

CIDR: Classless Interdomain Routing (Subnetzteil einer Adresse kann beliebige Länge haben)

Windows/Linux Befehle

Messen der Round Trip Time:

- Windows: ping, mehrere Pings: ping -a 10000

Wege eines Pakets durch das Internet verfolgen:

- Windows: tracert
- Linux: traceroute

Routing Tabelle anzeigen:

- Linux: route
- Windows: route print

Route in Routingtabelle hinzufügen:

- Linux: ip route add 100.0.2.0/24 via 100.0.1.2

Forwarding aktivieren:

- Linux: sysctl -w net.ipv4.ip_forward=1

TCP Server starten:

- Linux: netcat -l -p 9000

Mit TCP Server verbinden:

- Linux: netcat <dstIP> 9000

MAC-Adresse rausfinden:

- Windows: ipconfig /all -> physische Adresse
- Linux: ifconfig -> ether, oder ip addr

MAC-Adresse ändern:

- Windows: Systemsteuerung -> Geräteanalyzer

Adresszuweisung

- Linux: ifconfig eth0 200.23.16.4 netmask 255.255.255.0 **oder** ip addr add 200.23.16.4/24 dev eth0 **oder** persistent: /etc/network/interfaces
- Windows: Systemsteuerung -> Netzwerk- und Freigabecenter -> Adaptereinstellungen

IP Adresse von DHCP Server anfordern

- Linux: dhclient
- Windows (ipconfig /release)

ARP-Tabellen anzeigen

- Linux: arp
- Windows: arp -a

Eintrag aus ARP-Tabelle löschen

- Linux: arp -d <IP-Adresse>

nmap – Portscanner, scannt auf offene Ports im Netzwerk

TCP Verbindungen anzeigen:

- Windows: netstat -p tcp

WIRESHARK

Filter für MAC destination:

- z.B. Broadcasts finden: **eth.dest == ff:ff:ff:ff:ff:ff**

TODO

Evtl. Übung 7 1.