

Aufgaben in Rechnernetzen

Einführung

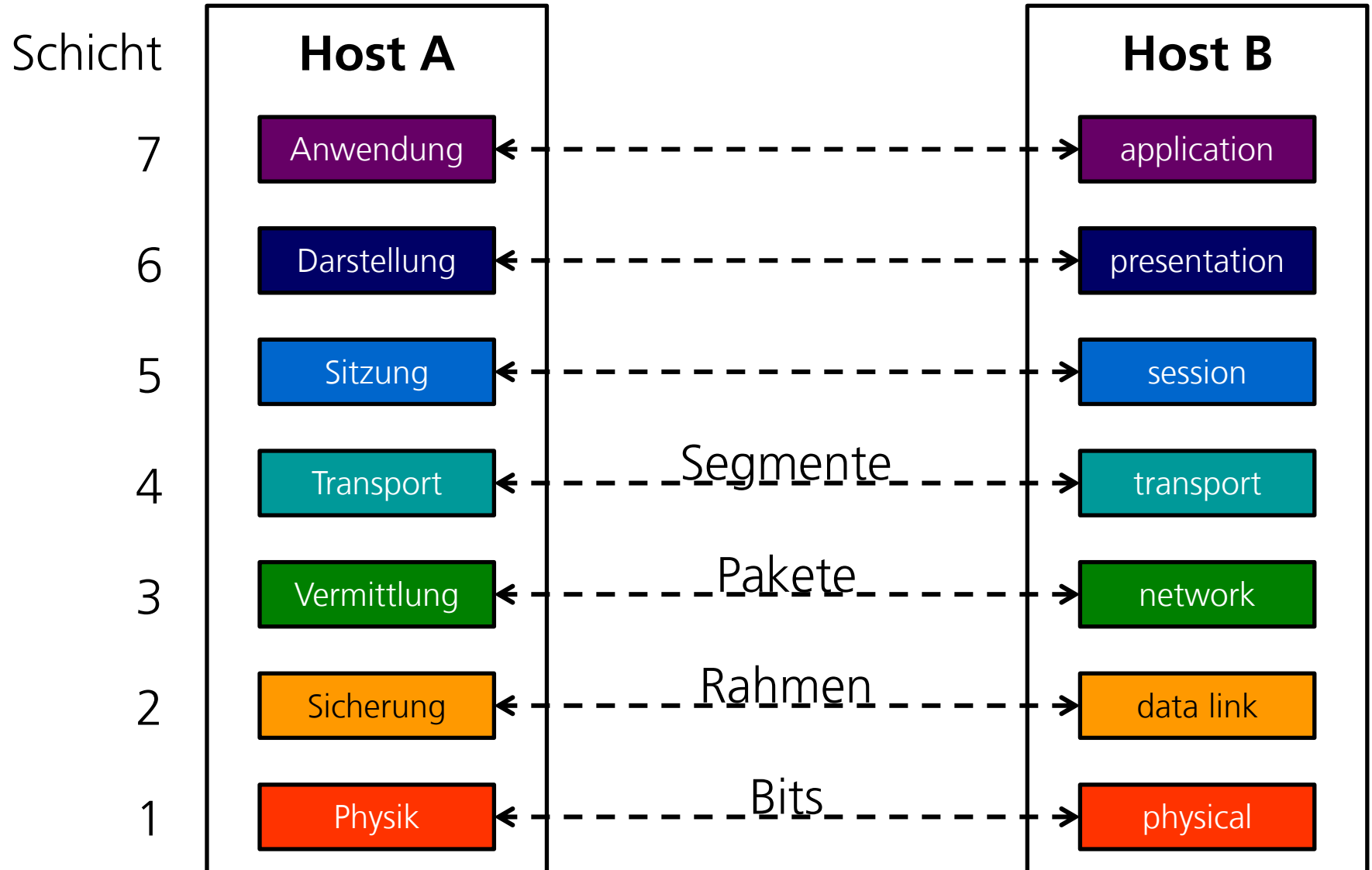
- Als Rechnernetz wird der Verbund all derjenigen Komponenten bezeichnet, die für Informationsaustausch und Dienstnutzung unter mehreren Rechnern (Stationen, Knoten) notwendig sind.
- Neben physikalischen Komponenten (Verkabelung, Schaltstellen, etc.) zählen hierzu auch Softwarekomponenten und Protokolle.
- Die innerhalb eines Rechnernetzes anfallenden Aufgaben sind sehr unterschiedlich und reichen von der Kodierung einzelner Bits bis hin zur Steuerung von Netzwerkanwendungen.

OSI Referenzmodell

- Zur besseren Strukturierung und Erläuterung der Aufgaben ordnet man diese in ein Schichtenmodell ein, das als **OSI-Referenzmodell**^{*)} bekannt ist.
- Das Modell umfasst **7 Schichten**, die nach ihrer Entfernung zur Hardware sortiert sind.
- Jede Schicht kann nur **Dienste** der **darunterliegenden** Schicht in Anspruch nehmen und stellt selbst wiederum Dienste für die nächsthöhere Schicht zur Verfügung.
- Tatsächliche Implementierungen von Netzwerkarchitekturen decken meist nicht alle Schichten ab. Trotzdem kann das OSI Referenzmodell als **Leitfaden** dienen.

^{*)} Open Systems Interconnection Model

OSI Referenzmodell



Schicht

Host A

Host B

7

Anwendung

application

6

Darstellung

presentation

5

Sitzung

session

4

Transport

Segmente

transport

3

Vermittlung

Pakete

network

2

Sicherung

Rahmen

data link

1

Physik

Bits

physical

Schicht 1 – Physikalische Übertragungsschicht

Schicht 1 – Physikalische Übertragungsschicht

Zentraler Begriff: Signal

Zeitliche und räumliche Änderung eines oder mehrerer physikalischer Parameter eines Mediums zum Zwecke der Informationsübertragung.

Beispiele:

- Frequenz, Amplitude und Phase einer elektromagnetischen Welle (Drahtlosübertragung)
- Spannungspegel (drahtgebundene Übertragung)

Schicht 1 – Physikalische Übertragungsschicht

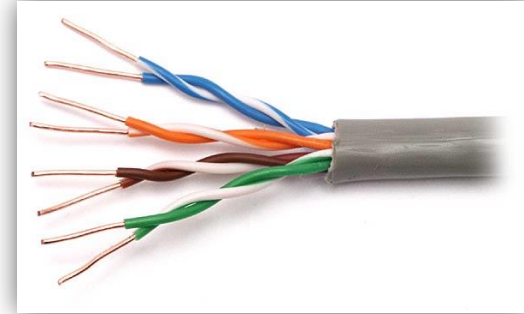
Die physikalische Schicht regelt die Kodierung und Übertragung einzelner Bits auf einem Übertragungskanal (Medium). Dazu gehört unter anderem:

- **Leitungskodierung** (Darstellung von Bits auf dem Medium)
- Übertragungs**medien** und deren Eigenschaften, z.B.
 - maximal zulässige Länge
 - Biegeradien
- **Anschluss**spezifikationen
- Zulässige **Signalpegel**, Frequenzen
- Ggf. **Takt**informationen (synchron/asynchron)
- **Schnittstelle** zur darüberliegenden Schicht

Medien (Auswahl)

Verdrillte Adernpaare (Twisted Pair)

- Einsatz in lokalen Netzwerken
- Gute Verlegeeigenschaften



Koaxialkabel

- Vernetzung von Vermittlungskomponenten
- Meist durch Glasfaser verdrängt



Glasfaser

- Sehr gute Übertragungseigenschaften
- Aufwändigere Verlegung

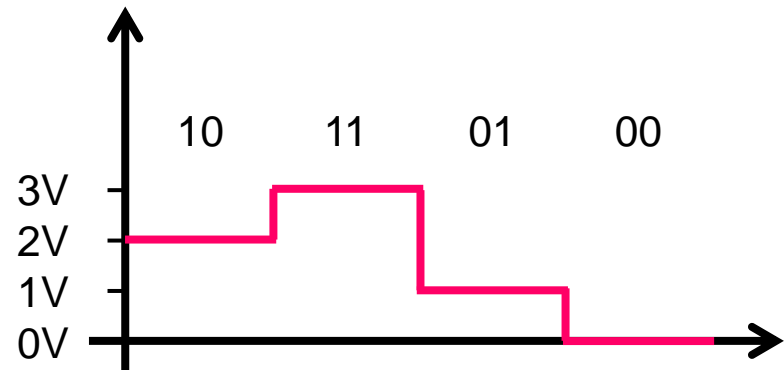
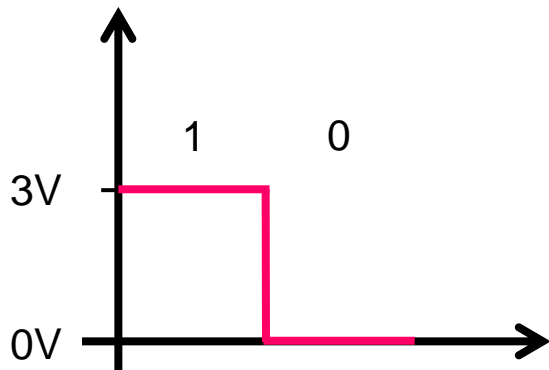


Bandbreite, Kanalkapazität und Übertragungsrate

- Die Bandbreite eines Kanals ist die Differenz zwischen der **höchsten** und der **niedrigsten** übertragbaren **Frequenz**. Sie ist eine physikalische Eigenschaft des Kanals.
- Die Bandbreite wird unter anderem beeinflusst durch
 - die **Materialeigenschaften** des Mediums, beispielsweise den Reinheitsgrad bei drahtgebundenen Medien,
 - **Störeinflüsse** auf das Medium.
- Die physikalisch vorhandene Bandbreite wird in der Praxis oft in mehrere Kanäle **unterteilt** (Vgl. Fernsehübertragung).

Bandbreite, Kanalkapazität und Übertragungsrate

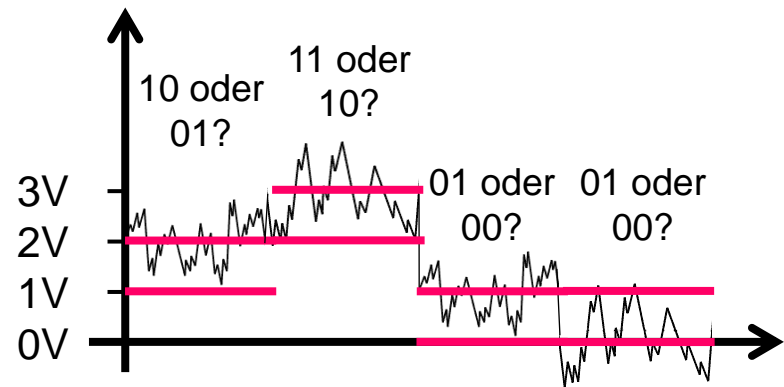
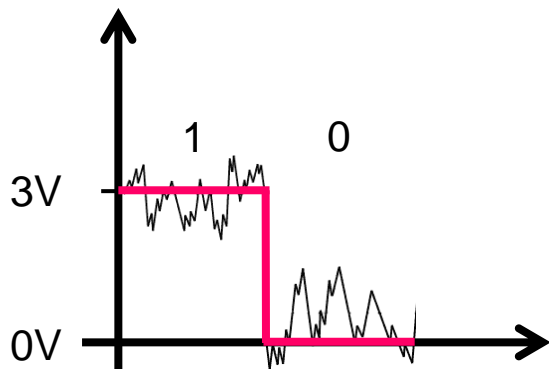
- Jedes **Signal** repräsentiert eines von mehreren möglichen **Symbolen** aus dem verwendeten Alphabet (Symbolvorrat).
- Jedes Symbol wird einer bestimmten Signalausprägung zugeordnet, bspw. dem Signalpegel ^{*)}:



^{*)} Hier vereinfachen wir etwas. In der Praxis sind oft Kombinationen (bspw. Pegel und Phase) anzutreffen

Bandbreite, Kanalkapazität und Übertragungsrate

- Je mehr **unterscheidbare** Symbole existieren, desto größer ist im Regelfall der **Informationsgehalt** je Symbol, d.h. desto mehr Information kann in einem Zeitschritt übertragen werden.
- **Aber:** Das Signal muss gut genug übertragen werden, damit es beim Empfänger wieder **dekodiert** werden kann.



*) Hier vereinfachen wir etwas. In der Praxis sind oft Kombinationen (bspw. Pegel und Phase) anzutreffen

Bandbreite, Kanalkapazität und Übertragungsrate

- Eine **Übertragungsrate** gibt die Menge der übertragenen Daten je Zeiteinheit an. Typische Einheiten sind Bit/s oder Byte/s mit den entsprechenden Präfixen (bspw. Mbit/s).
- Die **Kanalkapazität** ist die maximale Übertragungsrate, die ein Kanal bei optimaler Kodierung bereitstellen kann.
- Bei einem **ungestörten** Kanal hängt die erreichbare Übertragungsrate C nur von der Bandbreite B und der Anzahl unterscheidbarer Symbole des Alphabets M ab.

$$C \leq 2B \log_2(M)$$

(Hartleys Gesetz)

Shannon-Hartley-Gesetz

Reale Kanäle unterliegen Störeinflüssen. **Shannon** und **Hartley** setzten die Kanalkapazität daher in Verbindung mit dem Verhältnis von **Signalstärke** S zu **Rauschstärke** N :

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$

Beispiele:

$\frac{S}{N}$	Bit/s je Hz	$\frac{S}{N}$	Bit/s je Hz	$\frac{S}{N}$	Bit/s je Hz
-30 dB	0,001	-6 dB	0,323	+10 dB	3,459
-20 dB	0,014	0 dB	1,000	+20 dB	6,658
-10 dB	0,138	+6 dB	2,316		

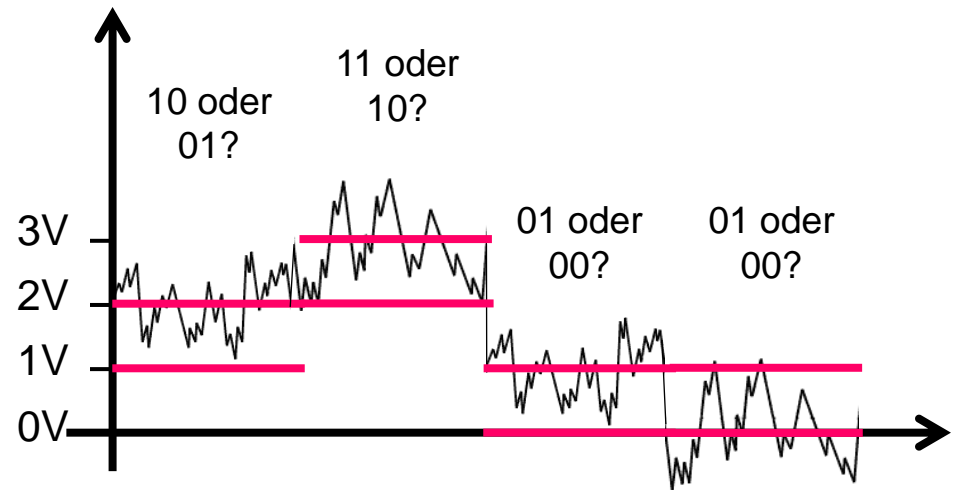
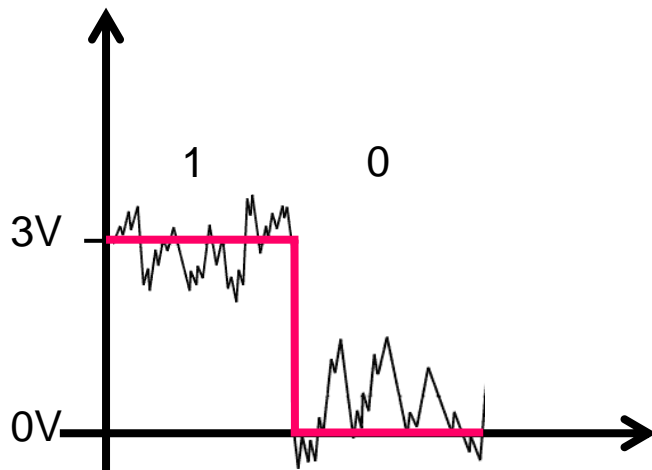
Shannon-Hartley-Gesetz

Hinter dem Verhältnis S/N (dem Signal-Rauschabstand) verbirgt sich unter anderem die Anzahl **unterscheidbarer Symbole**, die für die Datenübertragung verwendet werden können:

- Je stärker die Störeinflüsse sind, desto deutlicher müssen die einzelnen Signalstufen voneinander **unterscheidbar** gemacht werden und desto weniger Signalstufen (unterscheidbare Symbole) sind möglich. Damit sinkt die maximal erreichbare Übertragungsrate.

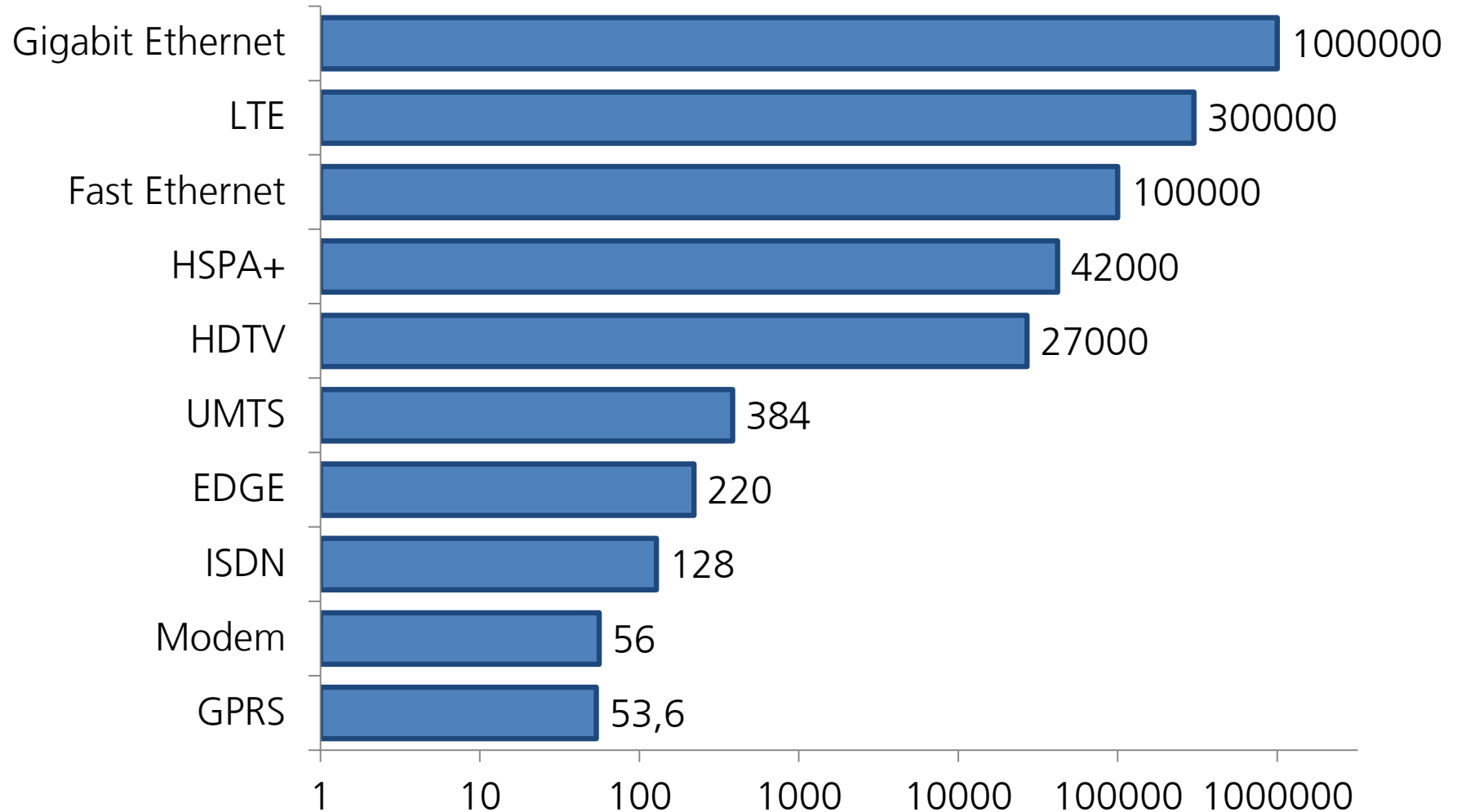
Shannon-Hartley-Gesetz

- Je geringer die Störeinflüsse, desto feiner können die Signalstufen ausgeprägt sein, d.h. desto mehr unterscheidbare Symbole können verwendet werden. Die Übertragungsrate steigt.

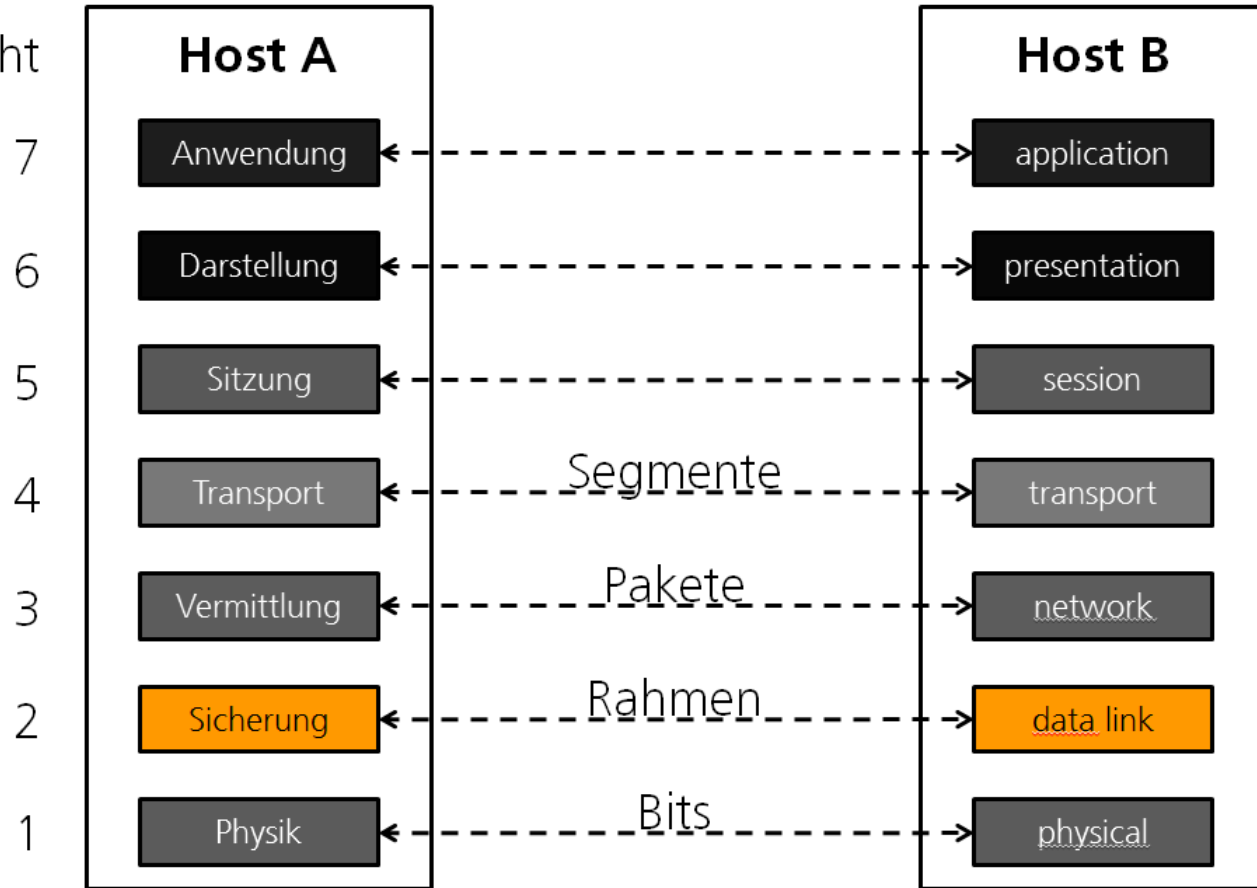


Typische Übertragungsraten (Stand 2014)

Übertragungsraten in kbit/s



Schicht



Schicht 2 – Sicherungsschicht

Schicht 2 – Sicherungsschicht

- Die OSI-Schicht 2 stellt für die darüberliegenden Schichten sicher, dass Datenblöcke (Rahmen) zu einem Empfänger in **demselben physikalischen Netz** zugestellt werden können.
- Aufgaben:
 1. Adressierung physikalischer Empfänger
 2. Zugriffssteuerung auf das Übertragungsmedium
 3. Fehlererkennung bei der Übertragung
 4. Flusskontrolle

Schicht 2 – Sicherungsschicht

Die Sicherungsschicht wird in zwei Sichten unterteilt:

- Der **Logical-Link-Control-Sublayer** (LLC) ist von der Übertragungstechnologie unabhängig und stellt die Schnittstelle zur Schicht 3 bereit. Er regelt Flussteuerung, Fehlererkennung, etc. (s. IEEE 802.2)
- Der **Media-Access-Control-Sublayer** (MAC) regelt für eine konkrete Netzwerktechnologie den Medienzugriff (s. IEEE 802.3, 802.5, 802.6 u.a.) und die Adressierung.



Adressierung

Jede Station benötigt eine **eindeutige Adresse**, damit ihr gezielt Nachrichten zugestellt werden können (MAC-Adresse).

Diese Adresse wird typischerweise vom **Hersteller** eines Netzwerkadapters **festgelegt** und muss nicht manuell konfiguriert werden. In realen Netzwerken nach IEEE 802.3 (Ethernet) ist sie **48 Bit** lang.

Es gibt **keinen** logischen Zusammenhang zwischen der MAC-Adresse und der Zugehörigkeit zu einem physikalischen Netzwerk.

Medienzugriffsteuerung

Die Medienzugriffssteuerung regelt, **wann welche Station** das **Medium** zum Senden **verwenden** darf.

- Sie ist überall dort notwendig, wo **mehrere Stationen** ein **gemeinsames Medium** verwenden und prinzipiell wahlfrei auf dieses zugreifen können.
- Sie ist nicht oder ggf. nur teilweise notwendig, wenn Stationen **direkt** miteinander verbunden sind (Point-to-Point) oder solche Verbindungen durch entsprechende Netzwerkkomponenten **geschaltet** werden können (bspw. durch einen Switch im Ethernet).

Multiplexing

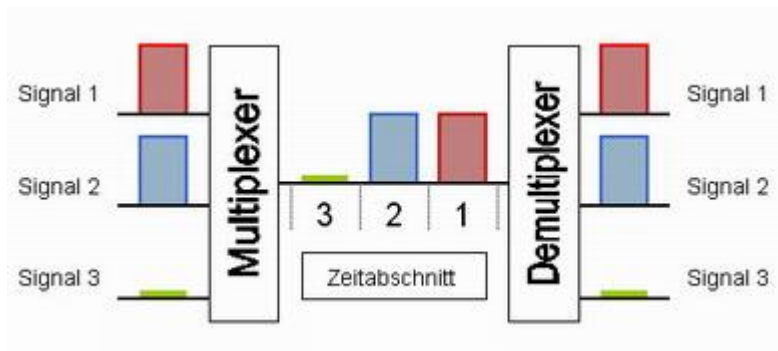
- Bereitstellung mehrerer logischer Kanäle über einen gemeinsamen physikalischen Kanal.
- Der physikalische Kanal wird in Abschnitte unterteilt, z.B.:
 - Zeitschlitz (Time Division Multiple Access)
 - Frequenzbänder (Frequency Division Multiple Access)
 - Räumliche Bereiche (Space Division Multiple Access)
- Die einzelnen Abschnitte werden den logischen Kanälen der Stationen zugeordnet, die diese exklusiv zum Senden verwenden können.

Verfahrensgrundvarianten

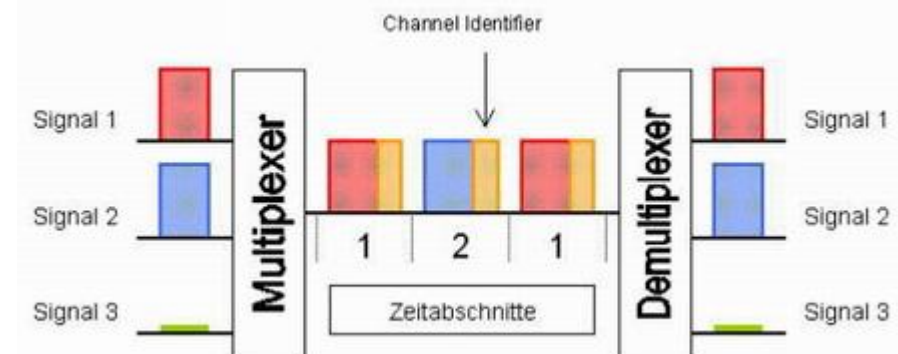
- Weitere Unterscheidung nach Synchronizität:

Synchron – Abschnitte werden den Stationen fest zugeordnet. Sendet eine Station nicht, bleibt ihr Abschnitt ungenutzt.

Asynchron – Dynamische Zuteilung nach Bedarf. Diese Verfahren haben einen höheren Verwaltungsaufwand.



Time Division Multiple Access
synchron



Time Division Multiple Access
asynchron

Asynchrones Multiplexing

- Beim asynchronen Multiplexing soll die zur Verfügung stehende Kanalkapazität des physikalischen Kanals **bedarfsorientiert** zugeteilt werden.
- Dies kann durch eine zentrale Komponente geschehen oder dezentral durch Kooperation der Stationen.
- Bei **dezentraler Konkurrenz** kann jede Station prinzipiell jederzeit senden. Hier ist Kollisionserkennung und -auflösung notwendig.
- Alternativ kann durch **dezentrale Rechtevergabe** sichergestellt werden, dass immer nur eine Station zur Zeit den physikalischen Kanal verwendet.

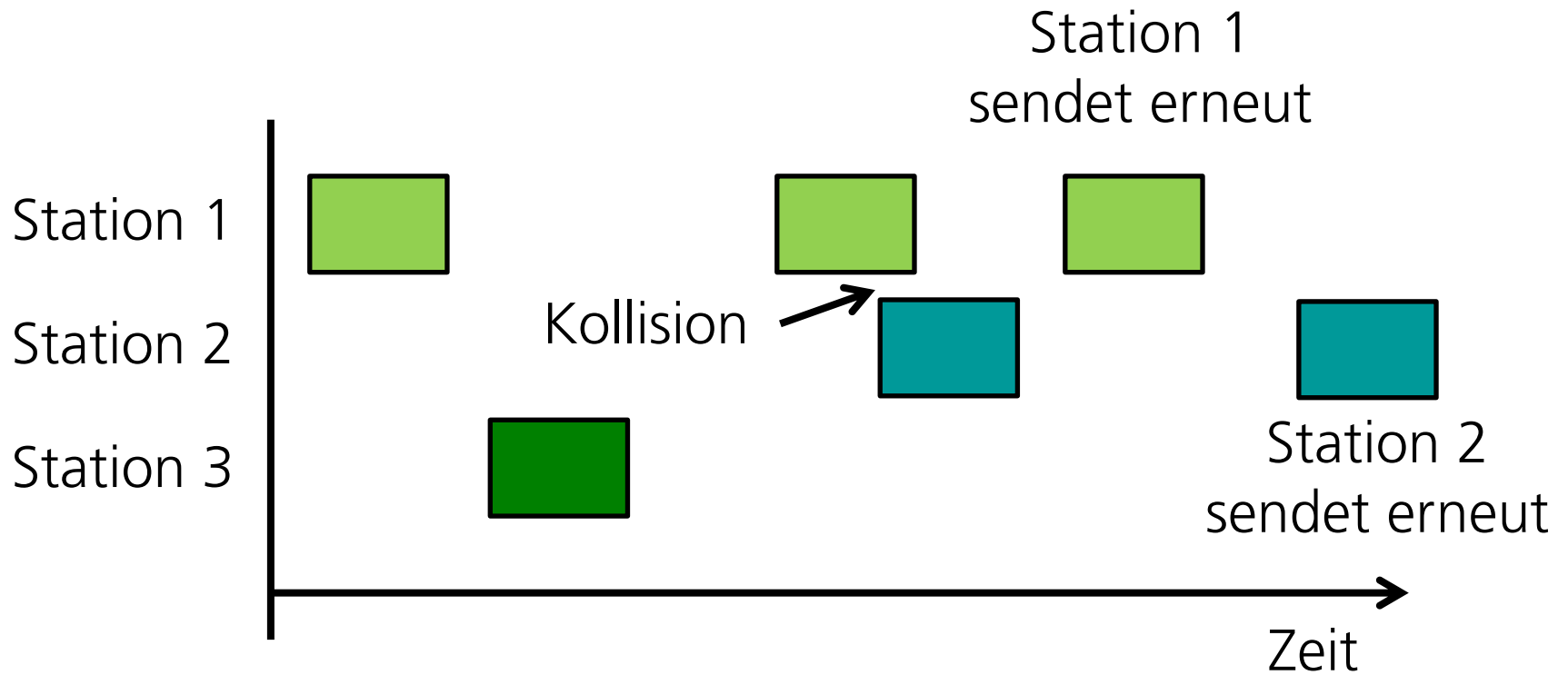
Medienzugriff bei dezentraler Konkurrenz

- Knoten senden Pakete ohne vorherige Koordination mit anderen Knoten und versuchen, die **maximal verfügbare Datenübertragungsrate** in Anspruch zu nehmen.
- Senden zwei oder mehr Knoten gleichzeitig, entstehen **Kollisionen**.
- Zugriffssteuerung mit wahlfreiem Zugriff (Random Access MAC) erfordert im Wesentlichen **Kollisionsbehandlung**.
- Protokollbeispiele:
 - *Carrier Sense Multiple Access* (CSMA)
 - ALOHA (pure und slotted)

Pure ALOHA

- ALOHA ist eines der ersten Zugriffsprotokolle für Drahtlosnetzwerke.
- Jede Station kann jederzeit senden. Der Kanal wird vorab **nicht** darauf geprüft, ob eine andere Station sendet.
- **Erfolgreich** gesendete Rahmen werden vom Empfänger **quittiert**.
- **Gleichzeitig** gesendete Rahmen mehrerer Stationen überlappen einander und müssen **neu übertragen** werden. Es erfolgt keine Quittierung.
- Erneute Übertragung eines Rahmens erfolgt nach **zufälliger Zeit**.

Pure ALOHA – Skizze



Kollisionswahrscheinlichkeit

Ein gesendeter Rahmen kann **jederzeit** durch einen anderen Rahmen überlagert werden. Nimmt man an, dass

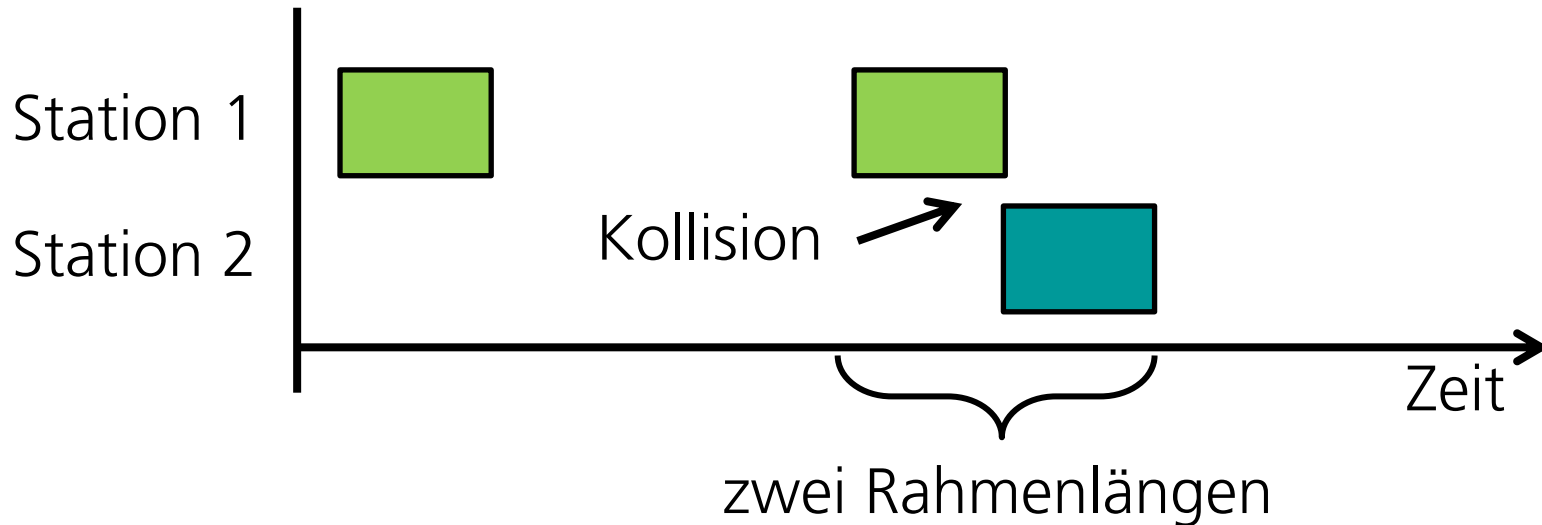
- die Rahmenlänge konstant ist,
- das Sendeverhalten der beteiligten Knoten einer Poisson-Verteilung folgt und
- eine Station keinen neuen Rahmen sendet, solange ein alter Rahmen noch einmal gesendet werden muss,

ergibt sich eine **maximal erreichbare Auslastung** des Kanals von nur 18,4%! *)

*) Auf den Nachweis verzichten wir an dieser Stelle und überlassen ihn Ihnen zur Übung.

Kollisionswahrscheinlichkeit

Im ungünstigsten Fall hat eine Stationen einen Rahmen nahezu fertig übertragen und eine weitere Station beginnt in diesem Moment, einen Rahmen zu senden.



Die zweite Station stellt die Kollision erst dann fest, wenn sie den Sendevorgang beendet hat. Daher ist der Kanal für die Dauer von **zwei Rahmenlängen** effektiv nicht nutzbar.

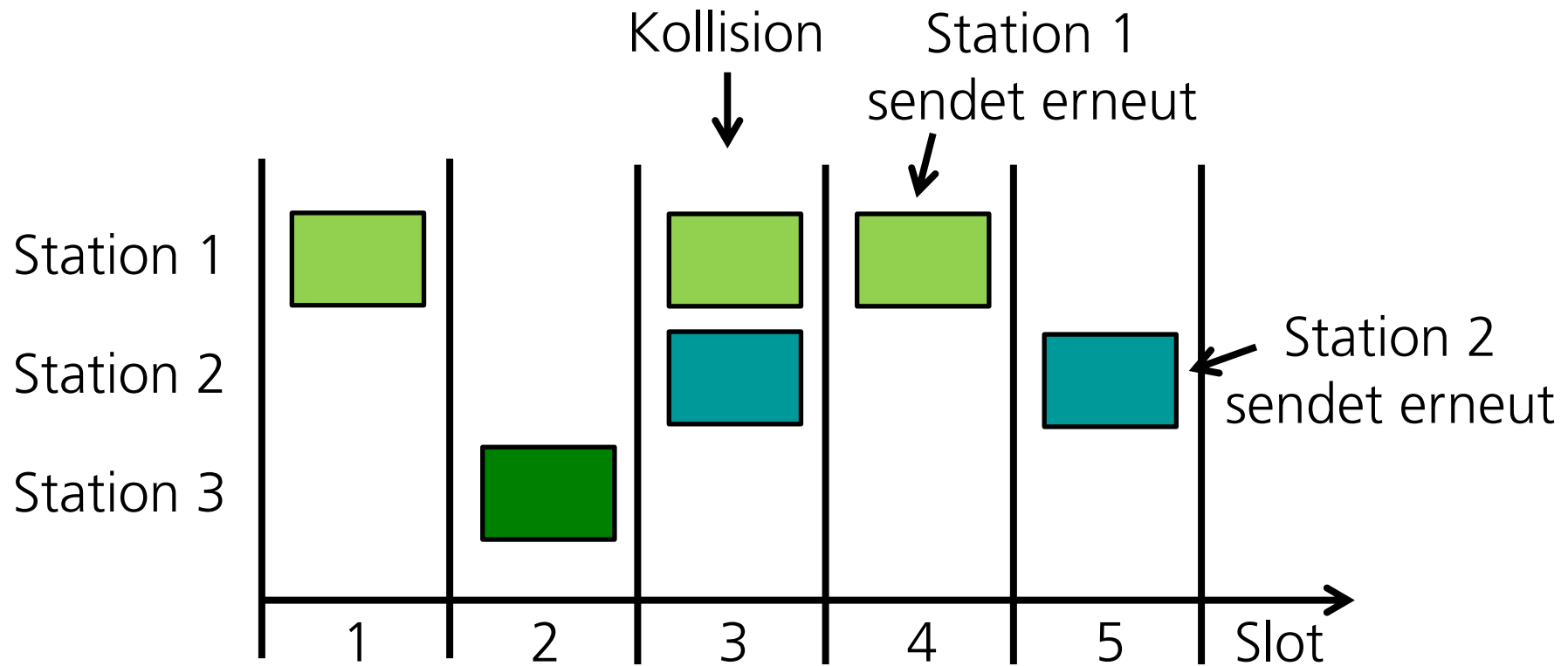
Kollisionswahrscheinlichkeit

Diesem Problem kann begegnet werden, indem die **Startzeitpunkte** zum Senden eines Rahmens diskretisiert werden (Slotted ALOHA). Kollisionen können so immer noch auftreten, aber der Kanal ist davon nur für die Dauer **einer** Rahmenlänge betroffen.

Die maimxal erreichbare Auslastung von Slotted ALOHA liegt daher bei 36,8%. *)

*) Auch hier überlassen wir den Nachweis Ihrem Selbststudium.

Slotted ALOHA – Skizze



ALOHA – Optimierungen

Unter den Voraussetzungen, dass

- ein Sender während des Sendens den Kanal **abhören** kann, um Kollisionen festzustellen und
- die **Signallaufzeiten** hinreichend kurz sind,

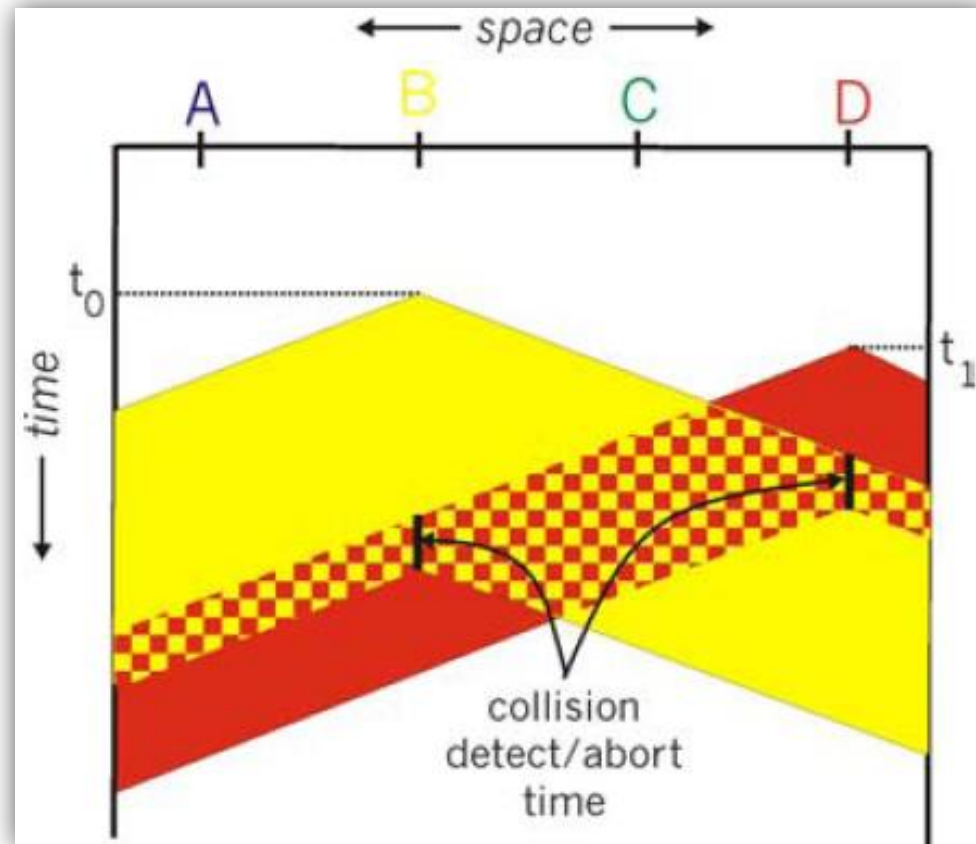
sind weitere Optimierungen möglich, indem der Sender

- vor dem Senden prüft, ob der Kanal **verfügbar** ist,
- während der Übertragung prüft, ob **Kollisionen** auftreten und in diesem Fall seine Übertragung **abricht**,
- die **Wartezeit** bis zum erneuten Senden beim wiederholten Auftreten von Kollisionen erhöht.

CSMA/CD

Ebendieses Verfahren wird als *Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection* (CSMA/CD) bezeichnet und u.a. im Ethernet verwendet.

Stellt hier eine Station eine Kollision fest, sendet sie ein JAM-Signal, damit alle anderen Stationen ihre Sendevorgänge abbrechen. Erneuten Senden ist so schneller wieder möglich.



Weiterhin steigt im Ethernet die Zeit bis zum erneuten Senden eines Rahmens schrittweise exponentiell an, sofern es wiederholt zu einer Kollision kommt. Durch dieses „Zurücktreten“ vom eigenen Sendeanspruch werden konkurrierende Sendewünsche mehrerer Stationen Schritt für Schritt aufgelöst.

Die erreichbare Auslastung des Kanals bei diesem Verfahren ist hoch (nahe 100%), sofern die gesendeten Nachrichten lang sind im Verhältnis zur Signallaufzeit.

Wollen jedoch viele Stationen senden, sinkt durch die höhere Kollisionswahrscheinlichkeit die Auslastung erheblich.

Übungsaufgabe

CSMA/CD wird typischerweise in drahtgebundenen Netzwerken eingesetzt. Welche Hemmnisse stehen einem Einsatz bei Drahtlosnetzwerken entgegen?

Rechtevergabe

Anstelle von konkurrentem Zugriff der Stationen auf das Medium kann auch vor jedem Sendevorgang ein exklusives Übertragungsrecht ausgehandelt werden. Dies kann **zentral** oder **dezentral** erfolgen.

Bei **zentralen** Verfahren teilt eine Station mit Sonderrechten (Busmaster) die Übertragungsrechte zu. Dazu fragt diese Station regelmäßig alle anderen Stationen ab, ob diese Daten übertragen wollen (Polling).

Neben dem dadurch entstehenden Overhead müssen die Stationen allerdings Wartezeit in Kauf nehmen, bis sie senden können. Weiterhin ist der Busmaster ein *Single-Point-of-Failure*. Fällt er aus, steht das System still.

Übungsfrage

Anstelle auf die Sendewunschanfrage des Busmasters zu warten, könnten Stationen ihren Sendewunsch aktiv an den Busmaster mitteilen.

Mit welchen Schwierigkeiten wäre ein solcher Ansatz konfrontiert?

Token Passing

Bei der dezentralen Rechtevergabe markiert ein **umlaufendes Datenpaket** das Senderecht. Dieses sogenannte **Token** wird reihum an alle Stationen gesendet, wobei jede Station es an den jeweils nächsten Nachbarn weiterleitet.

Das Token kann frei oder belegt sein. Erhält eine Station

- ... ein freies Token, so **kann** (muss aber nicht) sie es mit eigenen **Daten belegen** und an einen Empfänger adressieren.
- ... ein belegtes Token, so prüft sie, ob sie selbst der **Empfänger** ist. In diesem Fall **entnimmt** sie die Daten und markiert das Token wieder als „frei“.

Im Anschluss wird das Token an die nächste Station weitergereicht.

Token Passing

Da bei diesem Verfahren keine Kollisionen auftreten, ist der real erreichbare **Durchsatz** auf einem gegebenen Kanal wesentlich höher als beim konkurrierenden Zugriff. Außerdem können **Zeit-** bzw. **Übertragungsratengarantien** gegeben werden, was in Echtzeitumgebungen von Bedeutung ist (Industrieanlagen).

Allerdings entsteht **Verwaltungsaufwand** für das Token, insbesondere für den Fall des Verlusts des Tokens durch Übertragungsfehler. Ebenso muss ggf. der Ausfall einer Station kompensiert werden können.

Zusammenfassung

- Das **OSI-Referenzmodell** wird verwendet, um Aufgaben in Kommunikationsnetzen zu strukturieren. Es ist eine Orientierungshilfe, keine Implementierungsvorschrift.
- Auf Schicht 1 wird die **Physik der Übertragung** von Daten betrachtet. Insbesondere wird festgelegt, wie mittels geeigneter Kodierungen Signale zur Datenübertragung genutzt werden können.
- Auf Schicht 2 wird Kommunikation zwischen **Stationen auf demselben Kanal** geregelt. Eine wichtige Teilaufgabe ist die Medienzugriffskontrolle.