

Grundlagen Rechnernetze und Verteilte Systeme (IN0010)

Übungsblatt 1

20. April – 24. April 2026

Aufgabe 1 Daten per LKW

Um Animationsfilme in München zu fördern wird eine Kooperation zwischen dem Hochleistungsrechenzentrum Garching und den Bavaria-Filmstudios geschlossen. Pro Jahr werden schätzungsweise $D = 3072$ TB an zu übertragenden Daten anfallen.

Die initiale Überlegung ist eine direkte Datenleitung zu nutzen. Es werden folgende dedizierte Übertragungswege in Erwägung gezogen:

1. **DSL Uplink** mit einer Übertragungsrate von $r_{\text{DSL}} = 200$ Mbit/s
2. **Glasfaserleitung** mit einer Übertragungsrate von $r_{\text{GF}} = 10$ Gbit/s

Zur Prüfung der Realisierbarkeit dieser Direktverbindung soll zunächst die Übertragungsdauer bestimmt werden, die für die pro Jahr anfallenden Daten zur Übertragung notwendig ist.

a)* Wie lange dauert die Datenübertragung per DSL (Übertragungsweg 1)?

$$T_{\text{DSL}} = \frac{D}{r_{\text{DSL}}} = \frac{3072 \text{ TB}}{200 \text{ Mbit/s}} = \frac{3072 \cdot 10^{12} \cdot 8 \text{ bit}}{200 \cdot 10^6 \text{ bit/s}} = 122.88 \cdot 10^6 \text{ s} \approx 3,90 \text{ a}$$

b)* Wie lange dauert die Datenübertragung per Glasfaser (Übertragungsweg 2)?

$$T_{\text{GF}} = \frac{D}{r_{\text{GF}}} = \frac{3072 \text{ TB}}{10 \text{ Gbit/s}} = \frac{3072 \cdot 10^{12} \cdot 8 \text{ bit}}{10 \cdot 10^9 \text{ bit/s}} = 2457.6 \cdot 10^3 \text{ s} \approx 28,44 \text{ d}$$

c) Beurteilen Sie ob die Direktverbindung mit DSL oder Glasfaser für den Anwendungsfall sinnvoll ist.

Die Übertragungsdauer mit DSL ist deutlich länger als ein Jahr, wodurch sich diese Leitung für die jährlich zu übertragenden Daten nicht in Frage kommt. Mit der Glasfaserleitung wäre die Übertragung realisierbar.

Alternativ wird aus Kostengründen anstelle der Direktverbindung in Erwägung gezogen, die Daten in einem LKW zu transportieren. Zur Anwendung kommen dabei Festplatten mit einer Kapazität von $C = 12$ TB.

d)* Wie viele Festplatten werden für das Speichern und Übertragen der Daten pro Jahr benötigt?

$$N = \frac{D}{C} = \frac{3072 \text{ TB}}{12 \text{ TB}} = 256 \text{ Festplatten}$$

Wir nehmen an, dass die Daten bereits auf den Festplatten gespeichert sind. Der LKW wird mit einer Rate von $r_{in} = 12$ Festplatten/min beladen und mit einer Rate von $r_{out} = 15$ Festplatten/min entladen. Um die Stadt nicht zu sehr zu belasten, fahren die LKWs den Weg zwischen Garching und Grünwald über A9 und A99, was einer Distanz von $d = 52$ km entspricht. Im Mittel kann ein LKW die Strecke mit $v = 55$ km/h befahren.

e)* Wie lange dauert das Beladen des LKWs?

$$T_{in} = \frac{N}{r_{in}} = \frac{256 \text{ Festplatten}}{12 \text{ Festplatten/min}} \approx 21,33 \text{ min}$$

f) Wie lange dauert es insgesamt, bis die Daten beim Filmstudio angekommen und entladen sind?

$$\begin{aligned} T &= T_{in} + T_{trans} + T_{out} = T_{in} + \frac{d}{v} + \frac{N}{r_{out}} \\ &= T_{in} + \frac{52 \text{ km}}{55 \text{ km/h}} + \frac{256 \text{ Festplatten}}{15 \text{ Festplatten/min}} \\ &\approx 21,33 \text{ min} + 56,73 \text{ min} + 17,07 \text{ min} \approx 95,13 \text{ min} \end{aligned}$$

g) Welcher Datenrate r in Gbit/s und GiB/s entspricht dies?

$$\begin{aligned} T &\approx 5707,64 \text{ s} \\ D &= 3072 \text{ TB} \\ r &= \frac{D}{T} = \frac{3072 \cdot 8 \text{ Tbit}}{T} \approx 4305,81 \text{ Gbit/s} \approx 4,31 \text{ Tbit/s} \\ r[\text{GiB/s}] &= \frac{r[\text{bit/s}]}{8 \cdot 2^{30}} \approx 501,26 \text{ GiB/s} \end{aligned}$$

Hinweis: Am Ende des Blattes befindet sich eine Zusatzaufgabe zur Veranschaulichung des Unterschiedes der Binärpräfixe im Gegensatz zu SI-Präfixen.

Aufgabe 2 Signalanalyse und Synthese

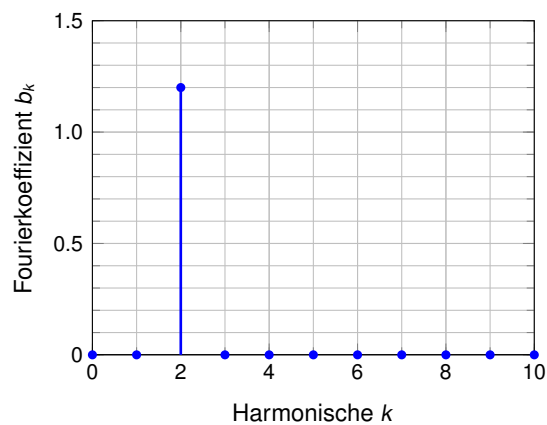
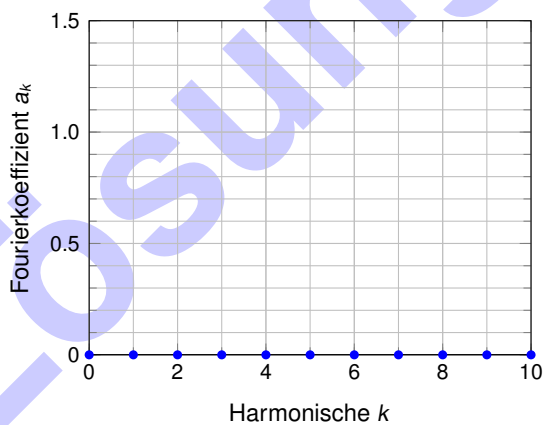
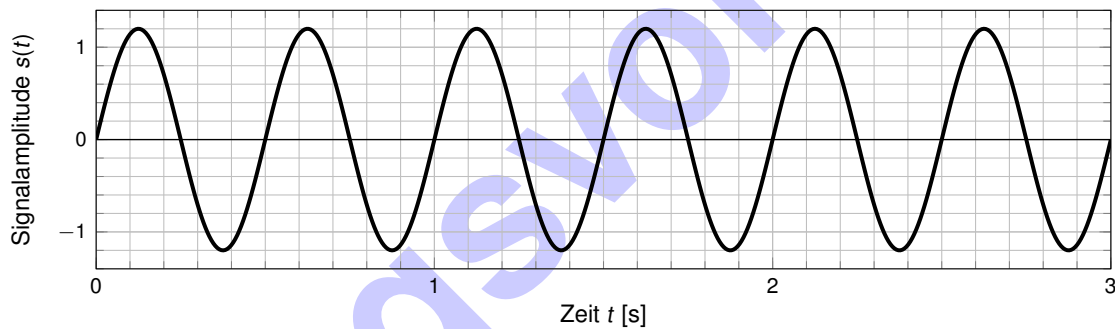
Signale lassen sich im Allgemeinen entweder im *Zeitbereich* oder im *Frequenzbereich* darstellen. Diese beiden Darstellungen lassen sich durch eine Fourier-Analyse bzw. Synthese ineinander überführen. Die vorliegenden Signale sind periodisch im Zeitbereich, daher lässt sich die das Frequenzspektrum mittels Fourier-Reihe analysieren.

a) Aus welchem Grund ist das Spektrum eines Signals bzw. die Darstellung eines Signals im Frequenzbereich interessant?

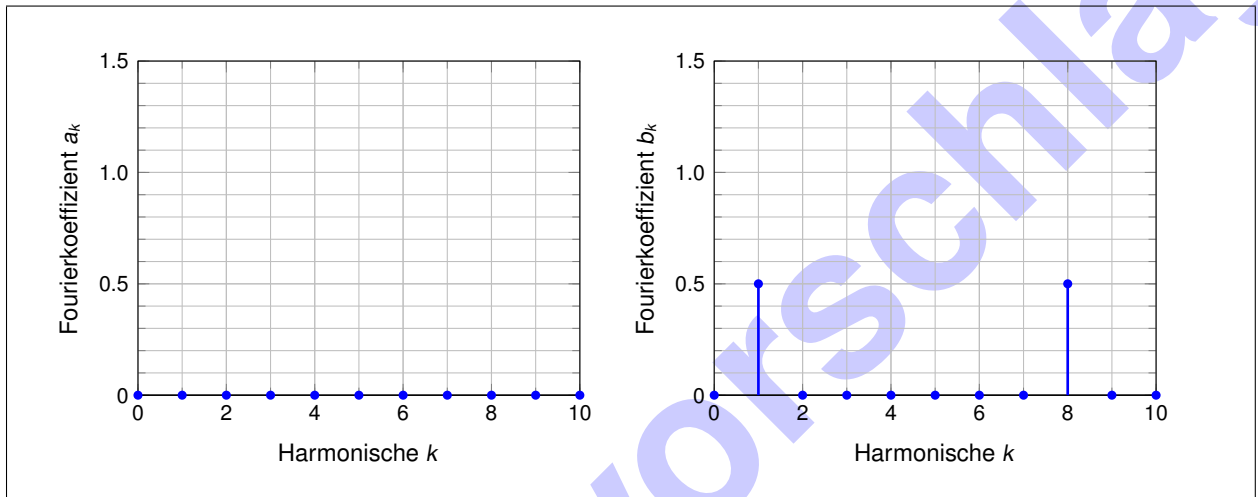
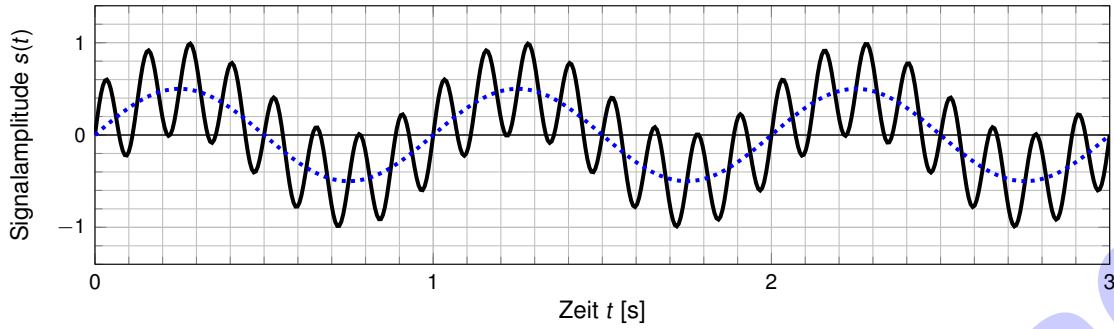
Ein periodisches Signal besteht aus der Überlagerung mehrerer harmonischen Schwingungen. Ein nicht optimaler Kanal hat oftmals gewisse Filtereffekte, sodass verschiedene Frequenzen unterschiedlich gedämpft werden bzw. unterschiedlich „gut“ übertragen werden können. Filter können im allgemeinen mathematisch leichter im Frequenzbereich angewandt und untersucht werden. Die Überlagerung mehrerer harmonischen Schwingungen findet sich auch in der Akustik wieder. Ein von einem Instrument erzeugter Ton besteht gewöhnlicherweise aus einer Grundschiwingung / einem Grundton, sowie aus mehreren Oberschwingungen. Diese lassen sich durch eine Frequenzanalyse erkennen. Weitere Anwendungsgebiete der Fourier-Analyse sind beispielsweise bei der Optik, bei der digitalen Bild- und Audioverarbeitung, sowie auch der Quantenmechanik.

Analyse

b) Gegeben sei das untenstehende, periodische Zeitsignal $s(t)$. Hierbei gilt $\omega = \frac{2\pi}{T}$, mit $T = 1$ s. Zeichnen Sie im Lösungsfeld das zu $s(t)$ gehörende Spektrum.

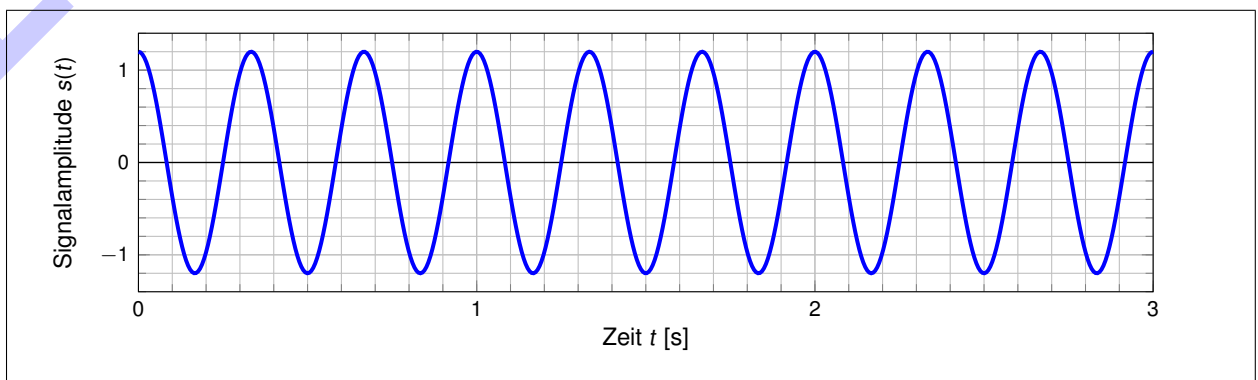
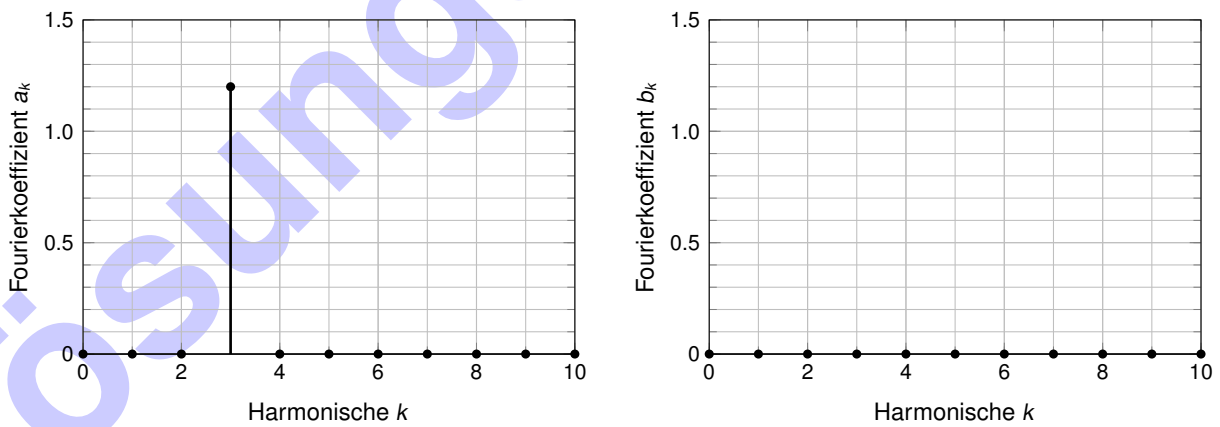


c) Gegeben sei das untenstehende, periodische Zeitsignal $s(t)$. Hierbei gilt $\omega = \frac{2\pi}{T}$, mit $T = 1$ s. Zeichnen Sie im Lösungsfeld das zu $s(t)$ gehörende Spektrum.

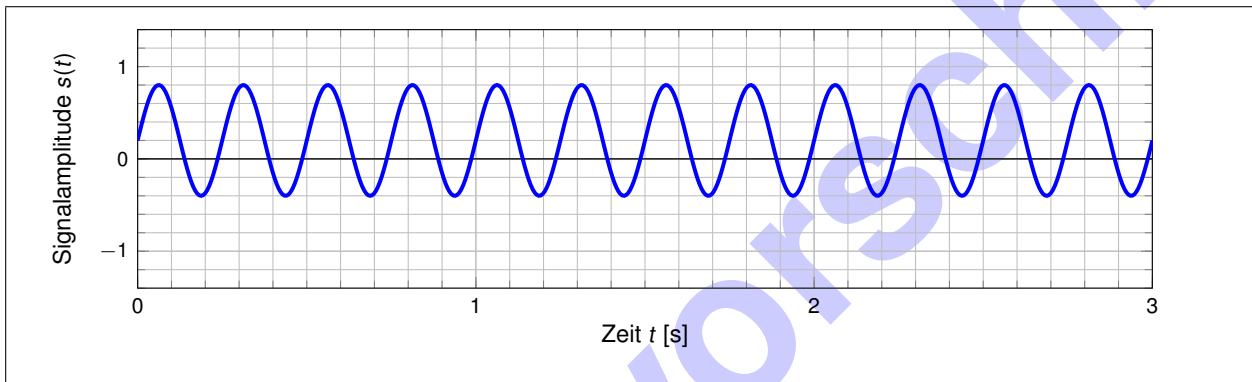
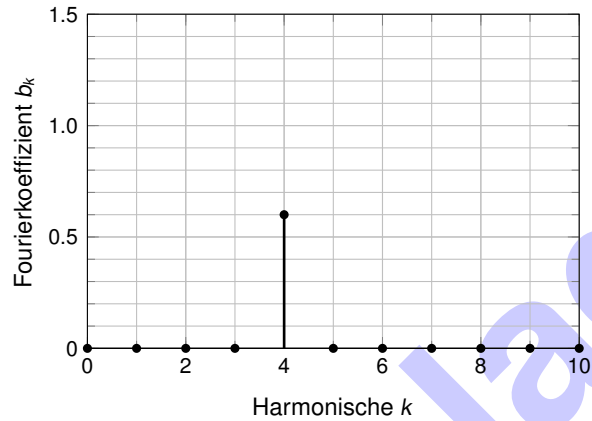
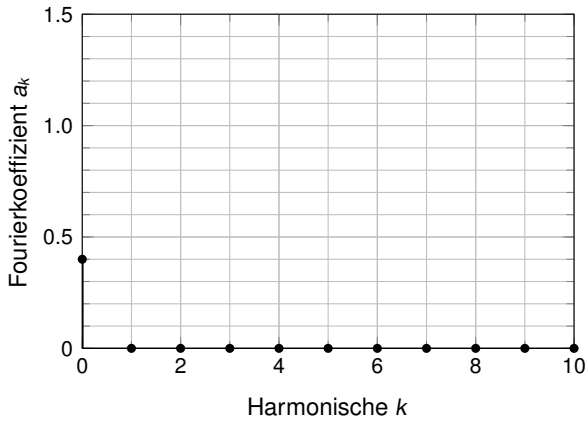


Synthese

d) Gegeben sei das untenstehende Spektrum einer Fourierreihe. Zeichnen Sie im Lösungsfeld das dazu gehörende Zeitsignal $s(t)$ im Intervall $[0, 2]$. Hierbei gilt $\omega = \frac{2\pi}{T}$, mit $T = 1$ s.



e) Gegeben sei das untenstehende Spektrum einer Fourierreihe. Zeichnen Sie im Lösungsfeld das dazu gehörende Zeitsignal $s(t)$ im Intervall $[0, 2]$. Hierbei gilt $\omega = \frac{2\pi}{T}$, mit $T = 1$ s.



Anmerkungen:

Aufgabe b) zeigt einen einzelnen Sinus. Daraus folgt direkt, dass alle $a_k = 0$. Die Frequenz des Sinus kann einfach abgelesen werden. Zwei vollständige Schwingungen passen in die Periodendauer $T = 1$ s. Daraus folgt $f = 2$.

In Aufgabe c) sind nun zwei Sinusfunktionen überlagert. Dies erkennt man, da das Signal weiterhin punktsymmetrisch ist, woraus weiterhin für alle $a_k = 0$ folgt. Man erkennt, dass sich das Signal nach jeweils 1 s wiederholt. Daraus folgt, dass eine der beiden Frequenzen $f_1 = 1$ sein muss. Innerhalb dieser Periodendauer gibt es acht vollständige Sinusschwingungen. Deshalb gilt $f_2 = 8$. Die Bestimmung der Amplituden der Einzelschwingungen, d.h. b_1 und b_8 , gestaltet sich etwas schwieriger als zuvor und lässt sich teilweise nur noch abschätzen. Zur Bestimmung von b_1 versuchen wir nun, das „Zentrum“ der Basisschwingung zu bestimmen. Wenn man nun jeweils die Mitte der auf- und absteigenden Flanken bestimmt und diese zur die Grundschwingung verbindet, erkennt man eine Amplitude von 0.5. Daraus folgt $b_1 = 0.5$. Wenn wir danach als zweiten Schritt betrachten, um wieviel das überlagerte Signal sich von der Basisschwingung hin und herbewegt, erkennt man, dass $b_8 = 0.5$.

Im Spektrum in Aufgabe d) ist $a_3 = 1.2$. Daraus ergibt sich ein Kosinus der Frequenz 3 mit der Amplitude 1.2. Alle anderen a_k sind 0. Da auch alle $b_k = 0$ sind, gibt es keine weiteren (Sinus-)Schwingungen.

Das Spektrum von Aufgabe e) beinhaltet zwei Ausschläge größer 0. $a_0 = 2 \cdot 0.2$; daraus folgt, dass der Gleichanteil gleich $a_0/2$ ist. Zudem ist $b_4 = 0.6$, sodass wir einen nach oben verschobenen Sinus mit der Frequenz 4 und der Amplitude 0.6 als Zeitsignal bekommen.

Aufgabe 3 Binärpräfixe (Zusatzaufgabe)

Der Unterschied zwischen Binärpräfixen und SI-Präfixen sorgt immer wieder für Verwirrung. Das Problem besteht in widersprüchlichen Angaben insbesondere auf Seiten der Betriebssysteme: Häufig wird die Speicherbelegung von Massenspeichern in Binärpräfixen angegeben, obwohl die angegebenen Einheiten SI-Präfixe enthalten.

Ein Beispiel: Sie kaufen eine Festplatte mit einer vom Hersteller ausgewiesenen Kapazität von 3 TB. Im Kleingedruckten auf der Verpackung finden Sie den Hinweis „1 TB = 10^{12} B“. Es handelt sich also klar um SI-Präfixe. Nehmen wir an, das verwendete Betriebssystem rechnet mit Binärpräfixen.

SI-Präfix	Wert	Binärpräfix	Wert
k (kilo)	10^3	Ki (Kibi)	2^{10}
M (Mega)	10^6	Mi (Mebi)	2^{20}
G (Giga)	10^9	Gi (Gibi)	2^{30}
T (Tera)	10^{12}	Ti (Tebi)	2^{40}
P (Peta)	10^{15}	Pi (Pebi)	2^{50}

Tabelle 3.1: SI-Präfixe und Binärpräfixe im Vergleich

a)* Geben Sie die Kapazität der Festplatte in TiB an.

$3 \text{ TB} = 3 \cdot 10^{12} \text{ B} = \frac{3 \cdot 10^{12}}{2^{40}} \text{ TiB} \approx 2,73 \text{ TiB}$																			
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

b)* Bestimmen Sie für die in Tabelle 3.1 angegebenen Präfixe den prozentualen Unterschied zwischen SI- und Binär-präfixen.

$\frac{k}{Ki} = \frac{10^3}{2^{10}} \approx 97.66\% \Rightarrow e = 2.34\%$
$\frac{M}{Mi} = \frac{10^6}{2^{20}} \approx 95.37\% \Rightarrow e = 4.63\%$
$\frac{G}{Gi} = \frac{10^9}{2^{30}} \approx 93.13\% \Rightarrow e = 6.87\%$
$\frac{T}{Ti} = \frac{10^{12}}{2^{40}} \approx 90.95\% \Rightarrow e = 9.05\%$
$\frac{P}{Pi} = \frac{10^{15}}{2^{50}} \approx 88.82\% \Rightarrow e = 11.18\%$

Übrigens: Die Angabe von Binärpräfixen ist nur für Byte-Werte üblich. Bitwerte, z. B. kbit oder Mbit, werden ausschließlich mit SI-Präfixen angegeben.

Sehen sie sich die folgenden Youtube-Videos an:

- „Zehn hoch Zehn“ (Originalversion)
https://www.youtube.com/watch?v=fJ3e4Egs_sM
- „10 Hoch – Reise durch den Micro- und Makrokosmos“
<https://www.youtube.com/watch?v=oZ7nEKrG63M>

Zur schnellen Bestimmung der Zweierpotenzen 2^i für $i \in \{0, 1, \dots, 12\}$ sollten Sie keinen Taschenrechner brauchen.

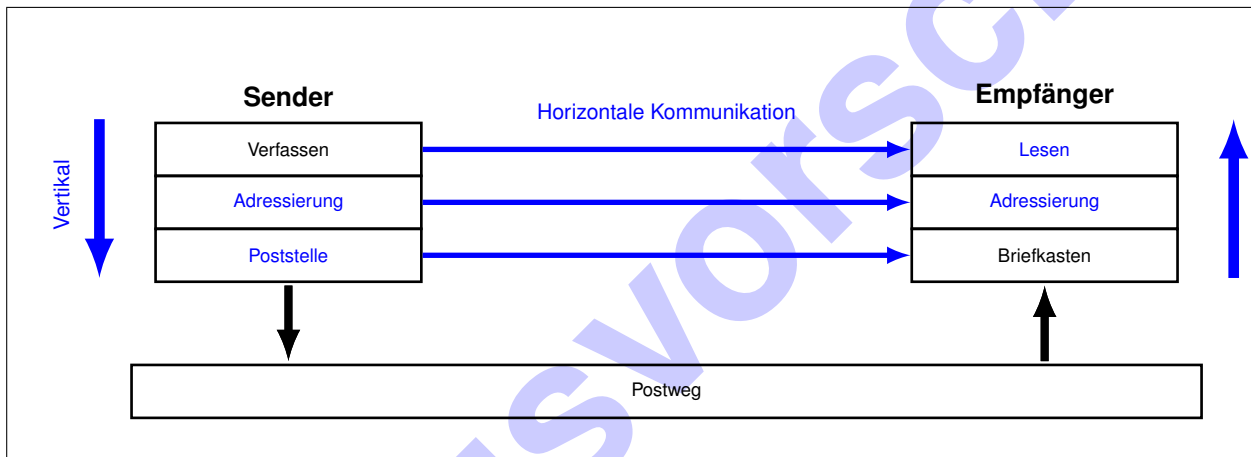
Aufgabe 4 Schichtenmodelle (Zusatzaufgabe)

In dieser Aufgabe soll ein Schichtenmodell aus insgesamt **3 Schichten** entwickelt werden, welches das Verfassen, Versenden, Empfangen und Lesen einer Werbebroschüre beschreibt. Da die meisten Empfänger Werbung nicht lesen, nehmen wir an, dass es sich um die überlebenswichtige Speisekarte des nächstgelegenen Pizzaservice handelt, an der der Empfänger großes Interesse hat.

a)* Handelt es sich bei dem Versand von Werbeunterlagen um eine *bidirektionale* Kommunikation, d. h. wird der Empfänger auf dem Postweg antworten?

Nein. Zwar wird der Empfänger möglicherweise eine Pizza bestellen, diese wird er aber nicht auf dem Postweg ordern. Es handelt sich bei Werbung um eine *unidirektionale* Form der Kommunikation.

b)* Die untenstehende Abbildung dient als Vorlage für das Schichtenmodell. Überlegen Sie sich für die fehlenden Schichten sowie den Übertragungskanal sinnvolle Bezeichnungen und ergänzen Sie diese in der Abbildung.



c) Beschreiben Sie, welche Dienste jede der drei Schichten erbringt.

Sender:

- **Verfassen:** Werbetext wird zu Papier gebracht (Darstellung der Information in Schriftform)
- **Adressierung:** Die Broschüre wird in einen Umschlag verpackt, welcher mit der Absender- und Empfängeradresse versehen wird
- **Poststelle:** Der Brief wird (zusammen mit vielen weiteren) zur Poststelle gebracht und verschickt

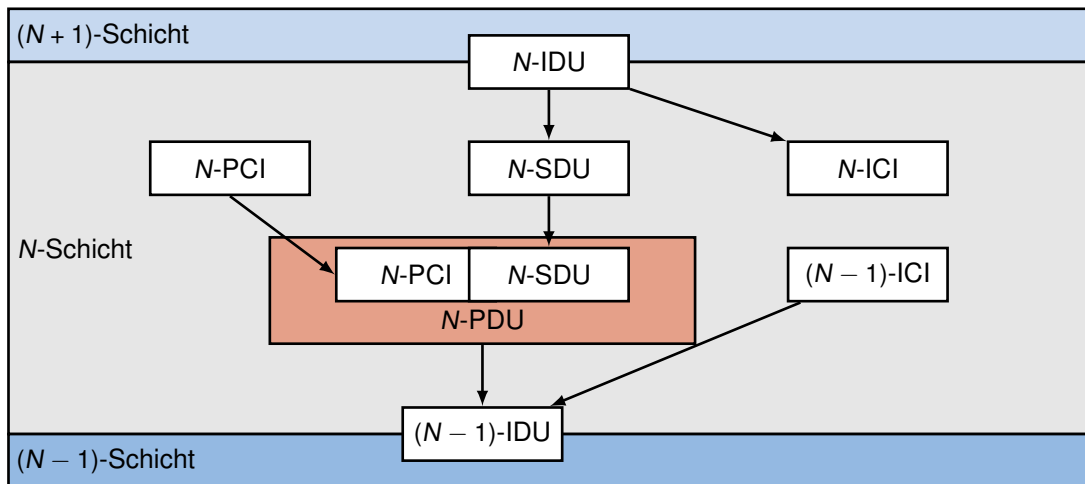
Empfänger:

- **Briefkasten:** Der Brief wird ausgetragen und in den Briefkasten des Empfängers eingeworfen
- **Adressierung:** Der Empfänger prüft für gewöhnlich nochmals, ob der zugestellte Brief wirklich an ihn adressiert war, und wird anschließend aus dem Umschlag genommen
- **Lesen:** Die im Brief enthaltene Broschüre wird gelesen

d) Was versteht man unter *horizontaler* und *vertikaler Kommunikation* im Kontext von Schichtenmodellen? Zeichnen Sie beide Kommunikationstypen in die Abbildung aus Teilaufgabe b) ein.

Vertikale Kommunikation: Kommunikation zwischen Schicht N und $N - 1$ den Schichten auf dem jeweiligen System.
 Horizontale Kommunikation: Kommunikation zwischen den N -Schichten auf verschiedenen Hosts.

Wir betrachten nun die Schicht 2 etwas näher. Aus der Vorlesung kennen Sie die folgende Abbildung:



e)* Welche Teile des Briefs entsprechen der PCI (Protocol Control Information), SDU (Service Data Unit) und PDU (Protocol Data Unit) aus Sicht von Schicht 2?

- PCI: Die auf dem Briefumschlag befindliche Adressinformation
- SDU: Die Werbebroschüre selbst, also der Inhalt des Briefs
- PDU: Der verschlossene und beschriftete Brief

