

Einführung in die Nachrichtentechnik

Prof. Dr.-Ing. Ludwig Niebel

Einführung in die Nachrichtentechnik

1 Vorbemerkungen

1.1 Nachrichtentechnik – „Worum geht es?“

1.2 einige wenige (!) Grundbegriffe

1 Vorbemerkungen

1.1 Nachrichtentechnik – „Worum geht es?“



1.1 Nachrichtentechnik – „Worum geht es?“ (2)

- Nachricht

- von Nachrichter, dem (Scharf-)Richter (nach dem Richter)
- oder „mittheilung zum darnachrichten und die darnachachtung...“
 (Jacob und Wilhelm Grimm, Deutsches Wörterbuch. Band 7. Leipzig 1889, S. 103)

- für uns hier: (willentlich erzeugte) Daten, die Information enthalten

und in der Regel im Zusammenhang mit dem Fluss
der Information von der Quelle zur Senke

(auch mit Bezug zur Speicherung von Informationen)

1.1 Nachrichtentechnik – „Worum geht es?“ (3)

- Technik
 - Anwendung der Naturwissenschaften
 - (...)
- Nachrichtentechnik
 - Fluß von Daten/ Information von der Quelle zur Senke unter Anwendung der Naturwissenschaften

dabei durchaus auch Speicherung

(aber keine reitenden Boten oder Brieftauben)

1.1 Nachrichtentechnik – „Worum geht es?“ (4)

- Nachrichtentechnik

befasst sich mit:

- Nachrichtenü.....
- Nachrichtenv.....
- Nachrichtenv.....

(Beispiel)

(nach Jürgen Göbel: Kommunikationstechnik)

1.1 Nachrichtentechnik – „Worum geht es?“ (5)

- Nachrichtentechnik – Teilgebiet der Elektrotechnik

Teilgebiete:

- Übertragungstechnik
- Vermittlungstechnik
- Telekommunikationstechnik
- Leitungstheorie
- Informationstheorie
- Signal- und Systemtheorie
- Verkehrstheorie
- Kodierungsverfahren
- Funktechnik (inklusive Antennentechnik)
- Schaltungstechnik
- ...

(Beispiele für Überschneidungen)

1.1 Nachrichtentechnik – „Worum geht es?“ (6)

- nach so viel Unschärfe „ein“ klares Wort
 - Nachrichtentechnik: ...
 - „unsere Teilgebiete“ und deren Inhalt

.....

.....

.....

.....

1.2 einige wenige (!) Grundbegriffe

- Das hatten wir schon:
 - Nachricht
 - Nachrichtentechnik
- Das brauchen wir jetzt noch:
 - Information

 - Information

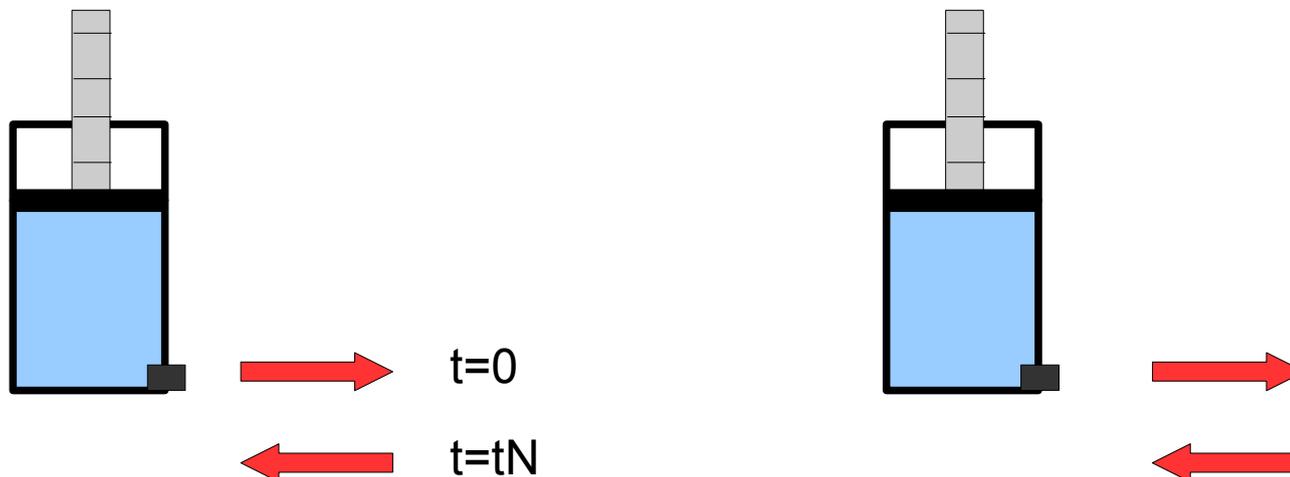
 - Kommunikation

Einführung in die Nachrichtentechnik

2 Geschichtlicher Abriss – von der Antike (?) bis heute

2 Geschichtlicher Abriss – von der Antike (?) bis heute

- Das ist wirklich nur ein Ausschnitt / Abriss
 - 4. Jh. v. Ch.- Aineias Taktikos
geheime, versteckte Botschaften, mit techn. Mitteln
 - Antike Methode mit zwei Gefäßen (Quelle ?)



2 Geschichtlicher Abriss – von der Antike (?) bis heute (2)

– 150 nv. Ch.

TELEMATICS

Fackeltelegraph

- Von Polybius in der Antike vorgeschlagen
 - 150 v. Chr., Griechenland
- Funktionsweise
 - Jedem Buchstaben des Alphabets wird ein Fackelcode zugeordnet
 - ▶ 5 Fackeln – jeweils Bestimmung der Zeile und der Spalte
- Probleme
 - Geringe Reichweite
 - **Personal muss lesen und schreiben können**
- Keine Hinweise für historischen Einsatz

Prinzip
Spaltenzahl: 2 Zeilenzahl: 5

α	Ϝ	λ	π	φ
β	η	μ	ρ	χ
γ	θ	ν	σ	ψ
δ	ι	ξ	τ	ω
ε	κ	ο	υ	

[1.10, 1.3]

12

Mobilkommunikation – SS06 Kapitel 1: Einführung Institut für Telematik Universität Karlsruhe (TH) www.tm.uka.de

bedingt richtig



2 Geschichtlicher Abriss – von der Antike (?) bis heute (3)

- Das ist wirklich nur ein Ausschnitt / Abriss
 - 1791/92 optischer Telegraf der Gebrüder Chappe (98 Symbole ?)
 - 1793/94 erste Strecke in Betrieb
 - 1794 zweite Strecke fertig
 - 1844 5000 km, 534 Stationen

OptTel

OptTelNetz

2 Geschichtlicher Abriss – von der Antike (?) bis heute (4)

- 1833/35 Entwicklung elektr. Telegraf erfolgreich TelGra1 TelGra2
- 1838 erste Telegrafenlinie in Betrieb
- 1841 Vorschlag für Zeitmultiplexverfahren
- 1837/44 Telegrafengerät nach S. F. B. Morse Morse1 Morse2
- 1850 Vorstellung Typendrucktelegraf (Urform d. Fernschreibers) TypDr1
- 1851 erstes Unterseekabel (Dover – Calais) (Telegrafie) TypDr2
- 1853 u. 55 Unterseekabel „Übersee“ EU – A, gescheitert
- 1855 Entwicklung Fernschreiber FS
- 1856 erster Einsatz polarisiertes Telegrafengerät
- 1858 Unterseekabel „Übersee“ EU – A, 25 Tage i. B., 8 Mio Taler
- 1860/61 erstes Telefon (J. P. Reis) TelRei TelBell
- 1866 erstes Überseekabel (Telegrafie)
- 1878 erste Fernsprechvermittlung

2 Geschichtlicher Abriss – von der Antike (?) bis heute (5)

- 1886 Vorschlag für Frequenzmultiplexübertragung
- 1888 Nachweis Ausbreitung elektromagnetischer Wellen
- 1889 Hubdrehwähler, => Selbstwehlvermittlung
- 1895 erste Signalübertragung per Funk
- 1897 Funkübertragung über 5 km (Morsen)
- 1899 Überbrückung Ärmelkanal mit Funk (Telegrafie)
- 1901 o. 2 erste transatlantische Funkverbindung (Telegrafie)
- 1903 erste drahtlose Sprachübertragung
- 1904 erste Versuche mit Glühkathodenröhren, Röhrendiode
=> elektronisches Zeitalter
- 1906 Versuche mit Trägerfrequenzsystem (TF)
- 1906 Röhrentriode => elektron. Verstärker
- 1911 Patent auf Prinzip d. HF-Verstärkers

FeVer

2 Geschichtlicher Abriss – von der Antike (?) bis heute (6)

- 1913 Patent auf Rückkopplung zur Erzeugung el.-magn. Schwing.
- 1919 TF für Telegrafie im Einsatz
- 1924 Wechselstromtelegrafie (WT) im Einsatz
- 1928 regelmäßiger TV-Sendebetrieb (geringe Auflösung, Bildplatte)
- 1931 erstes vollelektronisches Fernsehen
- 1933 öffentliches Fernschreibnetz
- 1937/39 (?) Erfindung der Pulsmodulation (PCM)
- 1947 Erfindung Transistor
- 1948 Shannon: Informationstheorie
- 19(55?)62 erster Praxiseinsatz PCM
- 60er Jahre breiterer Praxiseinsatz PCM (digitale Linien)
- 50er Jahre Mobilfunknetze (Telefonie)

2 Geschichtlicher Abriss – von der Antike (?) bis heute (7)

- 1962 Nachrichtensatellit zur TV-Übertragung
- 1963 Nachrichtensatellit für Telekommunikation
- 1968 Spezifikation ARPANET
- 1969 ARPANET geht in Betrieb
- 1970 Entwicklung Mikroprozessor
- 1971 erste eMail
- 1972 40 Computer am ARPANET
- 1973/74 Entwicklung TCP/IP
- 19 digitale Übertragung über LWL
- 1980 CCITT (ITU) verabschiedet technische Spezifikation ISDN
- 1981 213 oder 281 Computer am ARPANET
- Ende 80er Telefonmodems kommen zum Masseneinsatz
bis Anfang 90er

2 Geschichtlicher Abriss – von der Antike (?) bis heute (8)

- 1989 Beginn regulärer Betrieb ISDN nach 1TR6 in Deutschland
- 1989 Entwicklung von HTML, HTTP und URL → WWW
- 1990 Beschluß zur kommerziellen Nutzung des Internets
- 1990 GSM-Standard
- 1992 kommerz. Nutzung von GSM-Netzen
- etwa 1993 „WWW“ ist etabliert
- Mitte 90er Streamingdienste erscheinen im Internet
- 1997 Abschluß der Netzdigitalisierung in Deutschland (ISDN)
- 1998 Verabschiedung H.323, Standard auch für Telefonie
- 1999 RFC 2543: SIP (heute weit verbreitet für VoIP)

2 Geschichtlicher Abriss – von der Antike (?) bis heute (9)

- 2001 erstes UMTS-Netz
- 2004 Start von Skype
- 2005 Gründung von YouTube (Start Dienst 2006?)
- etwa 2006 IPTV wird vermarktet
- etwa 2009 mobiles Internet in Massennutzung
- Ende 2009 erstes LTE-Netz

2 Geschichtlicher Abriss – von der Antike (?) bis heute (10)

- Wir systematisieren:

Einführung in die Nachrichtentechnik

3 “Unsere“ Teildisziplinen

3.1 Telekommunikationstechnik und Netze

3.2 Hochfrequenztechnik und Funktechnik

3.3 Übertragungstechnik, Informationstheorie, Kodierung
und Modulation

3.4 Signal- und Systemtheorie

3 „Unsere Teildisziplinen“

3.1 Telekommunikationstechnik und Netze

3.1.1 Netze und Ebenen

3.1.2 Ebenenmodell

3.1.3 Technikarten – Wir systematisieren

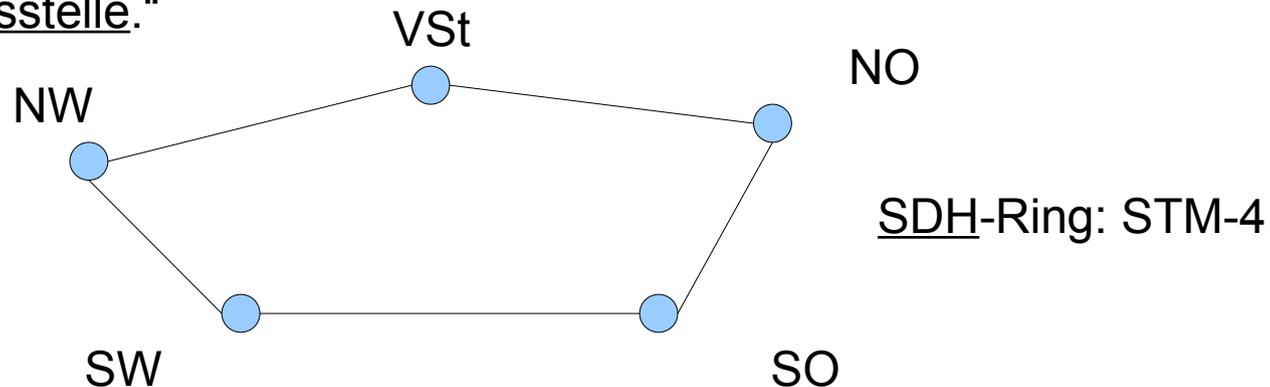
3.1.4 Dienste

3.1 Telekommunikationstechnik und Netze

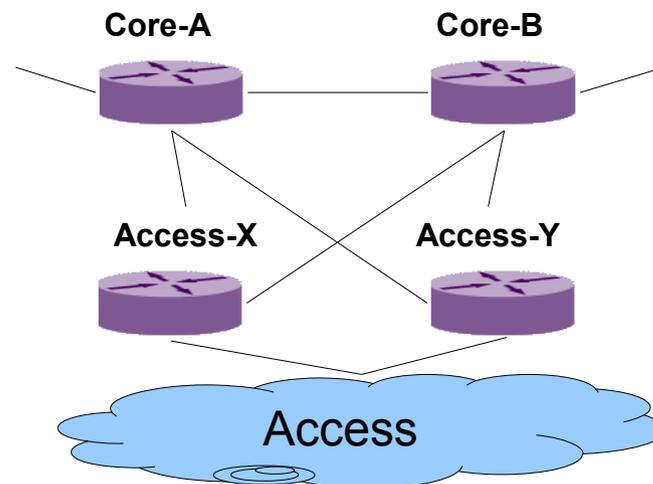
3.1.1 Netze und Ebenen (2)

- Sie fragen Netzplaner nach deren Netzen und bekommen folgende Antworten:

0) „Wir haben die Knoten zum Teilnehmeranschlußnetz in einem Ring mit der Ortsvermittlungsstelle.“



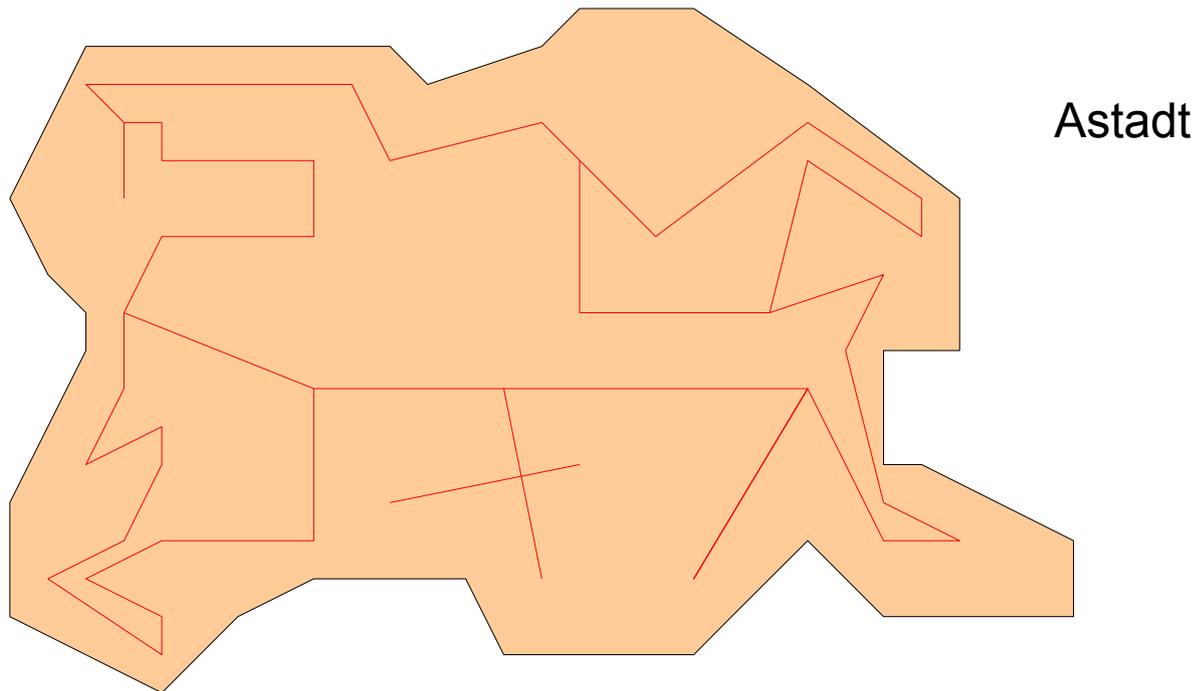
1) „Die Verbindungen unsere DSL Internetkunden werden an 2 Accessroutern terminiert. Beide Accessrouter sind redundant mit zwei Coreroutern verbunden, die in einem Landesring liegen.“



3.1 Telekommunikationstechnik und Netze

3.1.1 Netze und Ebenen (3)

- Sie fragen Netzplaner nach deren Netzen und bekommen folgende Antworten:
 - 2) „Komm mal mit zur Stadtkarte. Hier, alle roten Linien sind LWL-Kabel und die blauen Kupferkabel.
Wir haben auch an die Zuverlässigkeit gedacht. Alle wichtigen Standorte sind von zwei Seiten angebunden. Und wenn ein Stück vom Ringschluß wirklich mal mit einem anderen Ringteil in der selben Straße liegt, dann haben wir die beiden Kabeltrassen auf unterschiedlichen Straßenseiten gebaut.“



3.1 Telekommunikationstechnik und Netze

3.1.1 Netze und Ebenen (4)

- Und immer wieder werden Sie mit den Netztopologien konfrontiert.

Topologie:

Linie, Bus

Stern

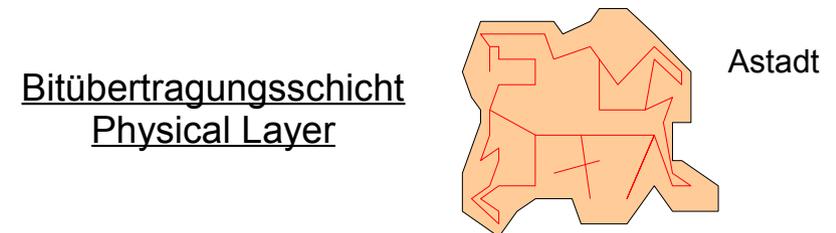
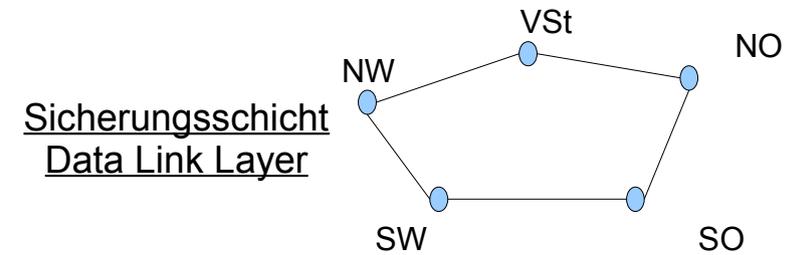
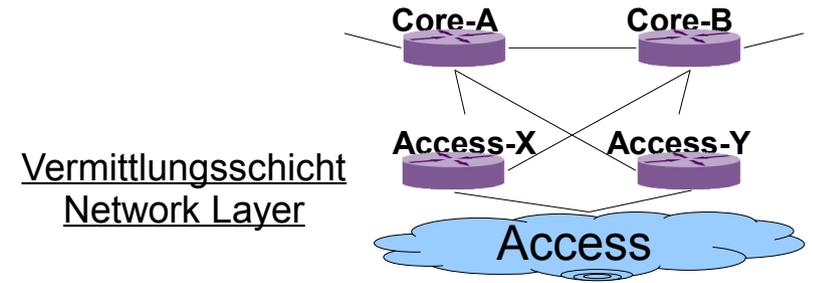
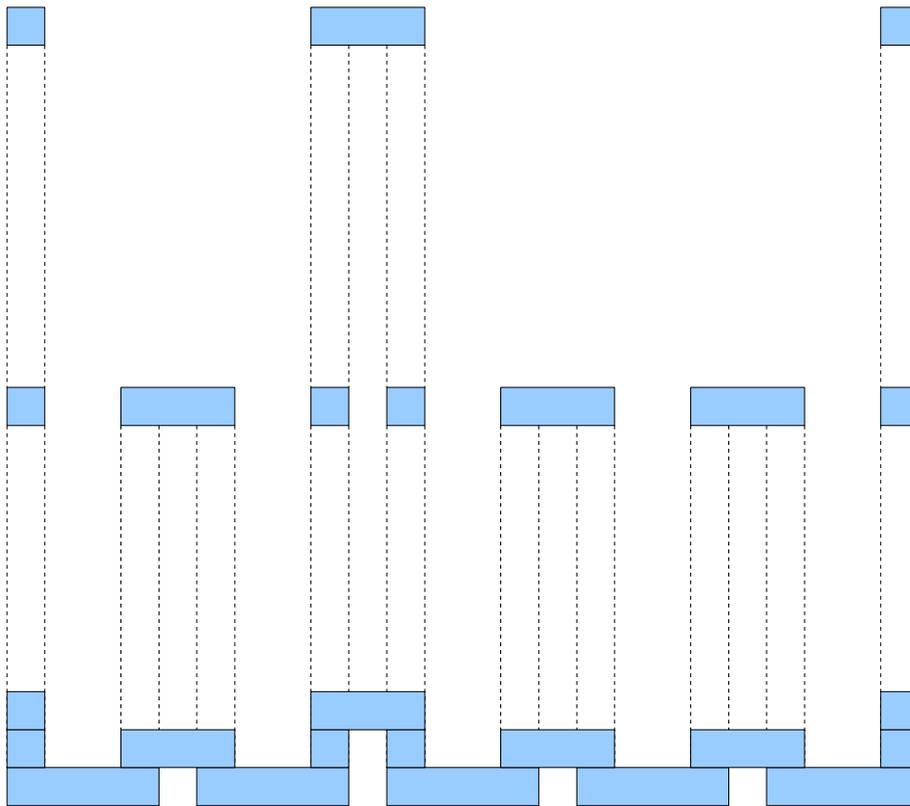
Ring

Maschen

Zelle

3.1 Telekommunikationstechnik und Netze

3.1.1 Netze und Ebenen (5)



3.1 Telekommunikationstechnik und Netze

3.1.2 Ebenenmodell

OSI-Modell	
7	Anwendungsschicht
6	Darstellungsschicht
5	Sitzungsschicht
4	Transportschicht
3	Vermittlungsschicht
2	Sicherungsschicht
1	Bitübertragungsschicht

Beispiele

Email, Bilddienst, Textdienst

Zeichensatz, Formatierung, Umwandlung Bild - Datei

Datenverbindung während der Anwendung,
Wiederaufnahme nach Abbruch

Datentransport von Endstelle zu Endstelle

Datentransport Endstelle – Vermittlungsknoten - ...
- Vermittlungsknoten - Endstelle

Datentransport von Knoten zu Knoten

Zugang zum physikalischen Medium,
physikalisches Medium

3.1 Telekommunikationstechnik und Netze

3.1.2 Ebenenmodell (2)

- 2 Modelle: OSI-Modell und DOD-Modell (gegenüber dem einfachen Modell)

OSI-Modell		DOD-Modell	
7	Anwendungsschicht	4	Process Layer (Application Layer)
6	Darstellungsschicht		
5	Sitzungsschicht		
4	Transportschicht	3	Host to Host Layer
3	Vermittlungsschicht	2	Internet Layer
2	Sicherungsschicht	1	Network Access Layer
1	Bitübertragungsschicht		

OSI:

.....

.....

.....

(ISO, ab 1974 entwickelt, veröffentlicht 1984)

DOD:

.....

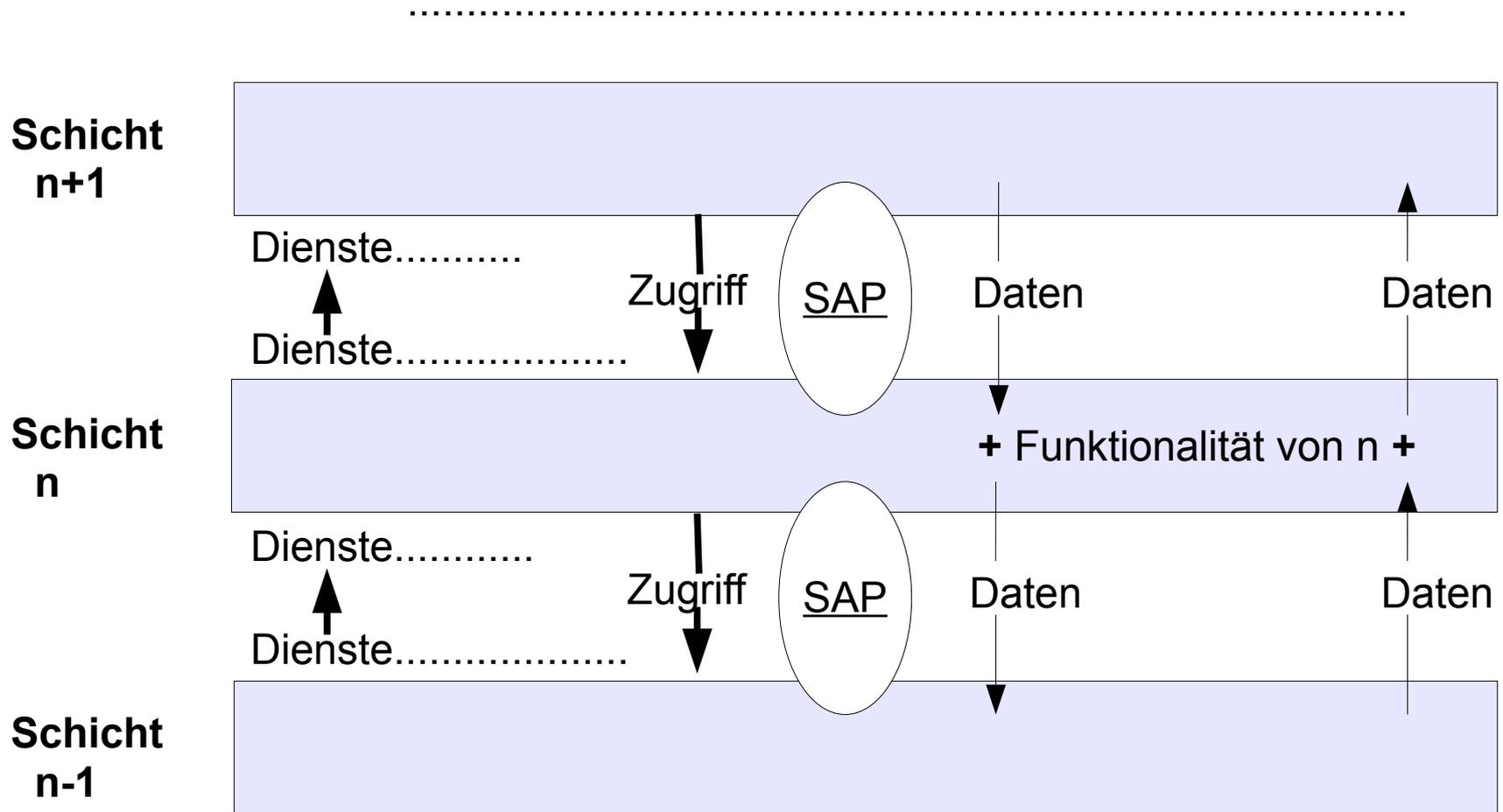
.....

.....

3.1 Telekommunikationstechnik und Netze

3.1.2 Ebenenmodell (2)

- Sinn der Einteilung:

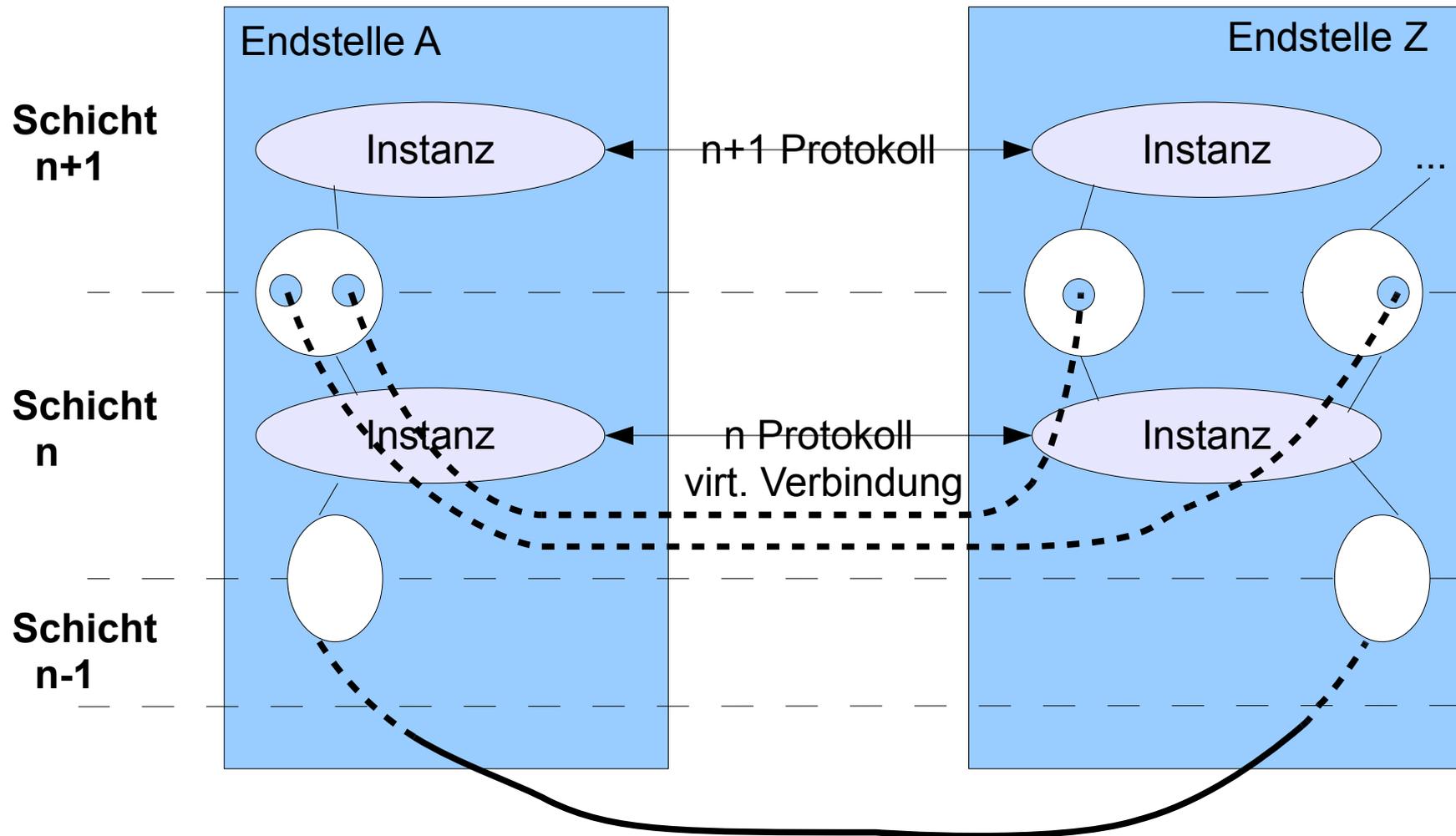


SAP –

3.1 Telekommunikationstechnik und Netze

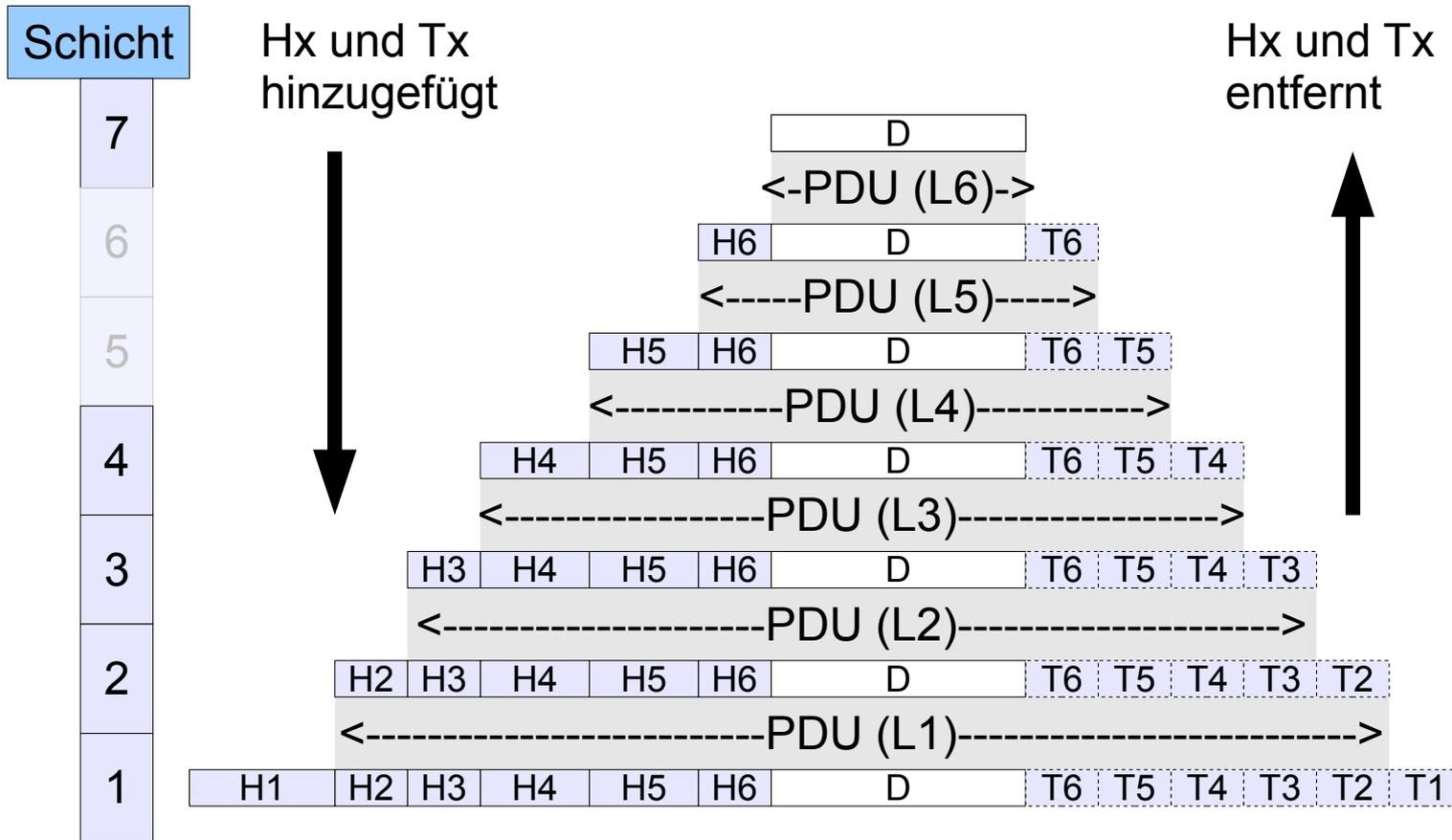
3.1.2 Ebenenmodell (3)

- vertikale Struktur - horizontale Struktur - Protokoll



3.1 Telekommunikationstechnik und Netze

3.1.2 Ebenenmodell (3)



Hx – der Schicht x
 Tx – der Schicht x (optional)
 PDU_x –
 der Schicht x

Der enthält Steuerinformationen des Protokolls der Schicht.
 Der schließt den Block und kann z. B. Prüfinformationen enthalten.

Hx und Tx sind der der Schicht x, evtl. auch teilweise zwischen der PDU_x.

3.1 Telekommunikationstechnik und Netze

3.1.3 Technikarten – Wir systematisieren

- Verschiedene Möglichkeiten:

Beispiel:

Kriterium:

- Festnetztelefon - Mobiltelefon
- Telefon - Ethernet – Bluetooth
- klassisches Telefon – Telefon
über Internet

3.1 Telekommunikationstechnik und Netze

3.1.4 Dienste

- Dienste

- Leistung des Netzes für einen bestimmten mit bestimmten
- aus der Sicht des Anwenders; von außen auf das Netz gesehen
- Anwender: typischerweise der Kunde eines Telekommunikationsunternehmens
- wichtige Dienste:
 - Telefonie -
 - Fax -
 - Datenübertragung (nicht Internet)
 - TV -
 - (A)BC -
 - Standleitung (Festverbindung → Telefonie privat, VPN, Daten)
 - Internet
 - transparente Netzwerkkopplung (typisch L2) - „.....“
„.....“

3.1 Telekommunikationstechnik und Netze

3.1.4 Dienste (2)

- Anforderungen

- technische Eigenschaften (der Netze)

- Merkmale, technische und nicht technische

- DG -, QoS -

- DGV -
SLA -
Parameter,

3.1 Telekommunikationstechnik und Netze

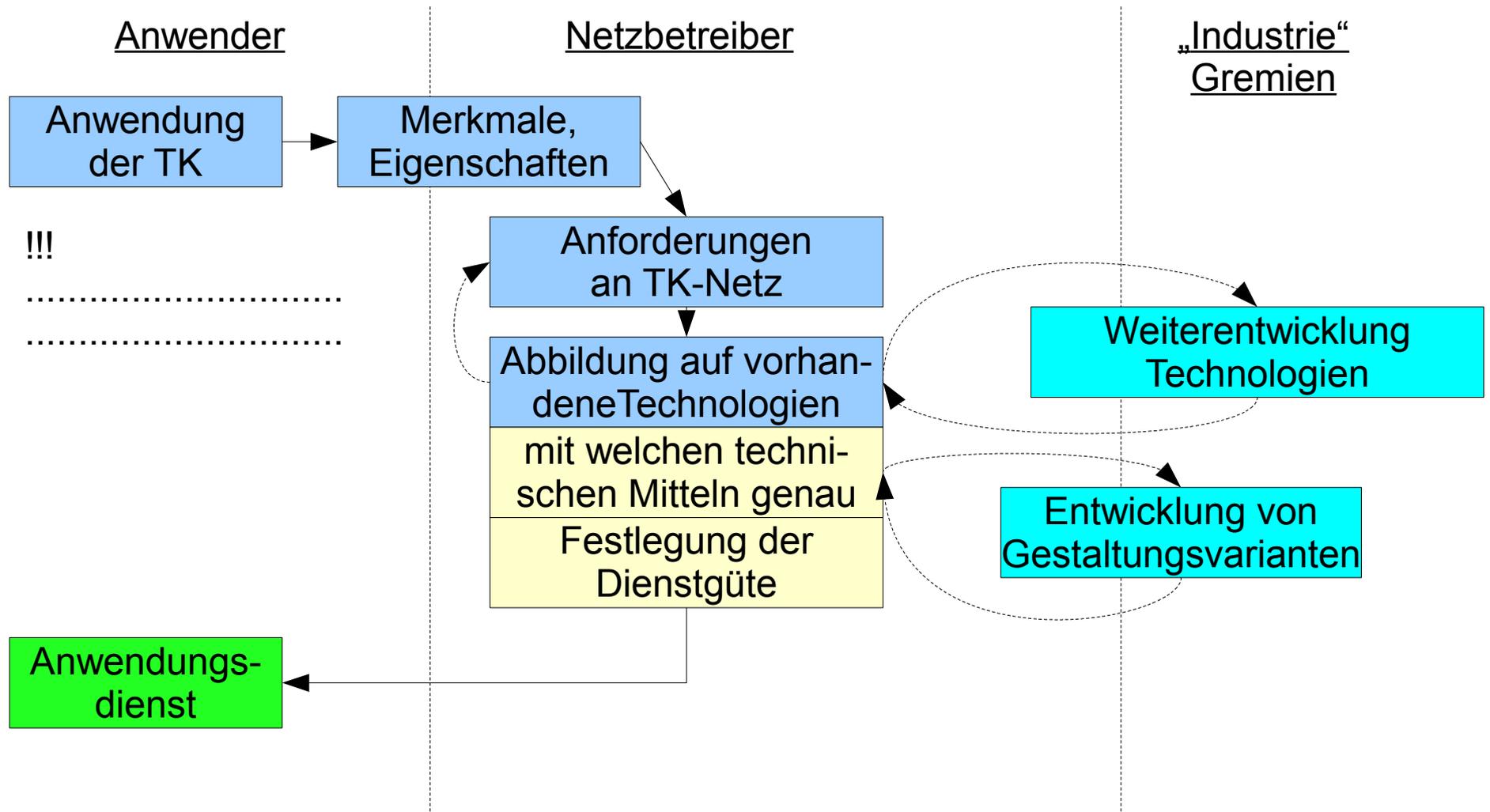
3.1.4 Dienste (3)

- DGV (SLA)
 - vertragsrelevante Zusicherung von Eigenschaften
 - entweder beim speziellen Vertrag oder (vom
 - in der Produktbeschreibung und / oder zum
 - in den Allgemeinen Geschäftsbedingungen – AGB (.....)
- Dienste im Netz können Voraussetzung für Dienste höherer Ebenen im Netz sein
 - Dienstgütern von Diensten niedrigerer Ebenen gehen in die Dienstgütern der Dienste höherer Ebenen ein
 - entscheidend für die Güte eines Dienstes sind auch die „weiter unten“ bestehenden Dienstgütern → das Gesamtergebnis zählt!

3.1 Telekommunikationstechnik und Netze

3.1.4 Dienste (4)

- Wer spielt hier mit?



3.1 Telekommunikationstechnik und Netze

- Zusammenfassung:
 - Netze, Ebenen
 - Protokolle
 - und mehr
 - Dienste

3 „Unsere Teildisziplinen“

3.2 Hochfrequenztechnik und Funktechnik

3.2.1 Einordnung

3.2.2 Wellen im Raum

3.2.3 Wellen auch auf Leitungen?

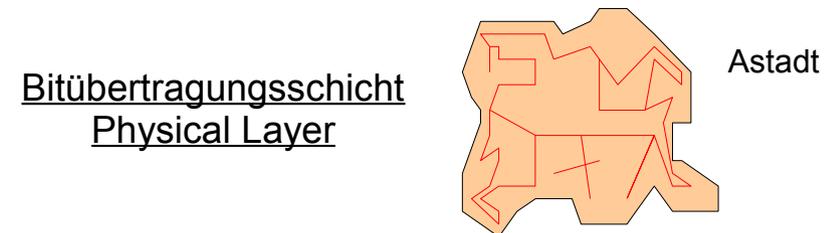
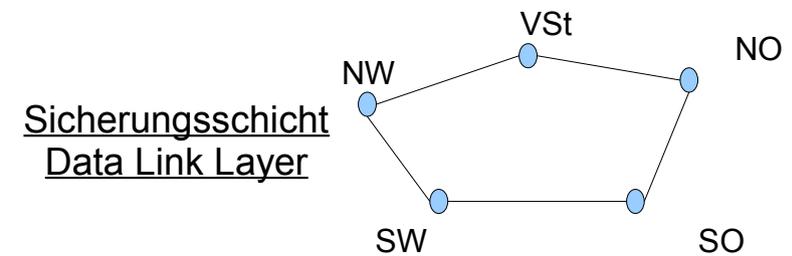
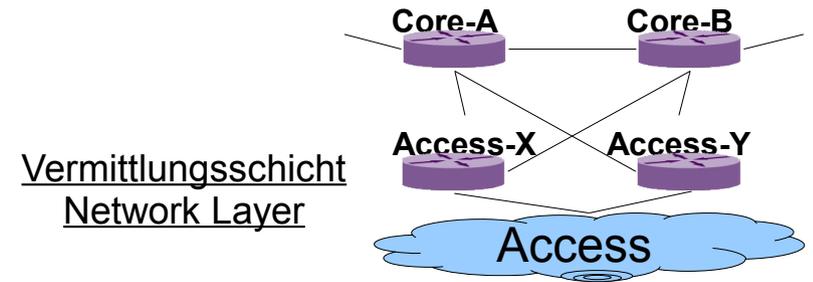
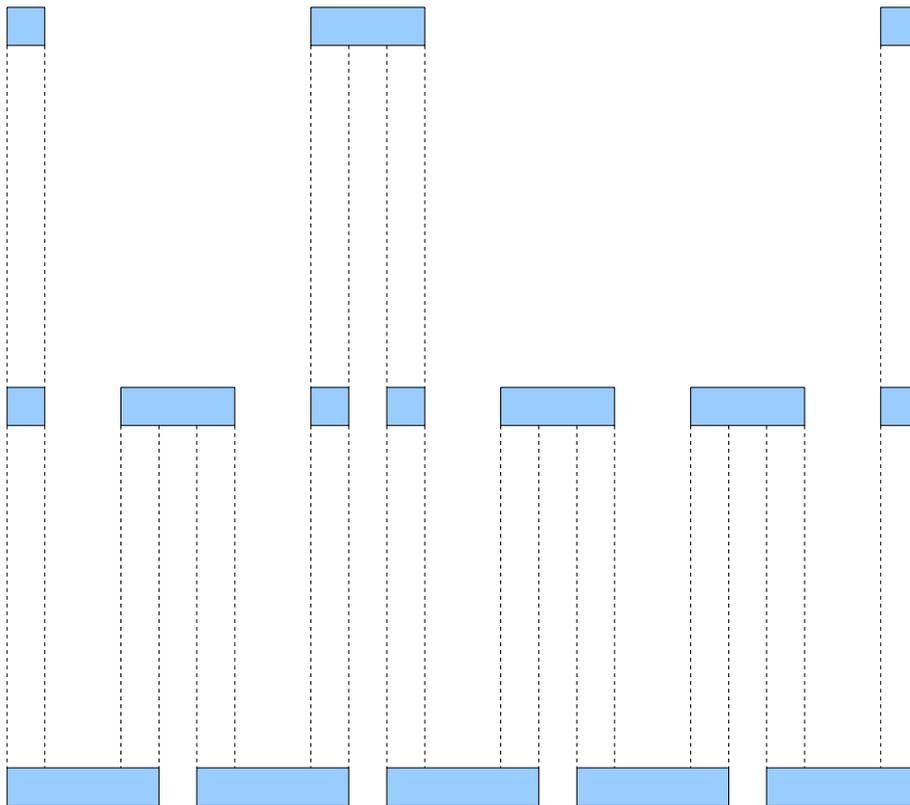
3.2.4 Nachrichten mit HF-Wellen übertragen

3.2.5 Eine Funkstrecke

3.2 Hochfrequenztechnik und Funktechnik

3.2.1 Einordnung

- Einordnung in die Netzstruktur



3.2 Hochfrequenztechnik und Funktechnik

3.2.1 Einordnung (2)

Elektromagnetische (EM) Wechselvorgänge

HF – im engeren Sinne: EM Schwingungen im Frequenzbereich 3 MHz ... 30 Mhz (High Frequency)

HF – im allgemeineren Sinne: EM Wechselvorgänge, meist im Frequenzbereich einiger ... kHz ... ca. Ghz

auf alle Fälle relevant, wenn die Abmessung von technischen Anordnungen in den Bereich der Wellenlänge kommt (typisch einige % von λ)

$$\lambda = C / f \text{ (im)}$$

3.2 Hochfrequenztechnik und Funktechnik

3.2.1 Einordnung (3)

energietechnische
Anwendung



Schaltvorgänge,
Impulse



Funktechnik



interessant aus nachrichtentechnischer Sicht:

- Störung durch

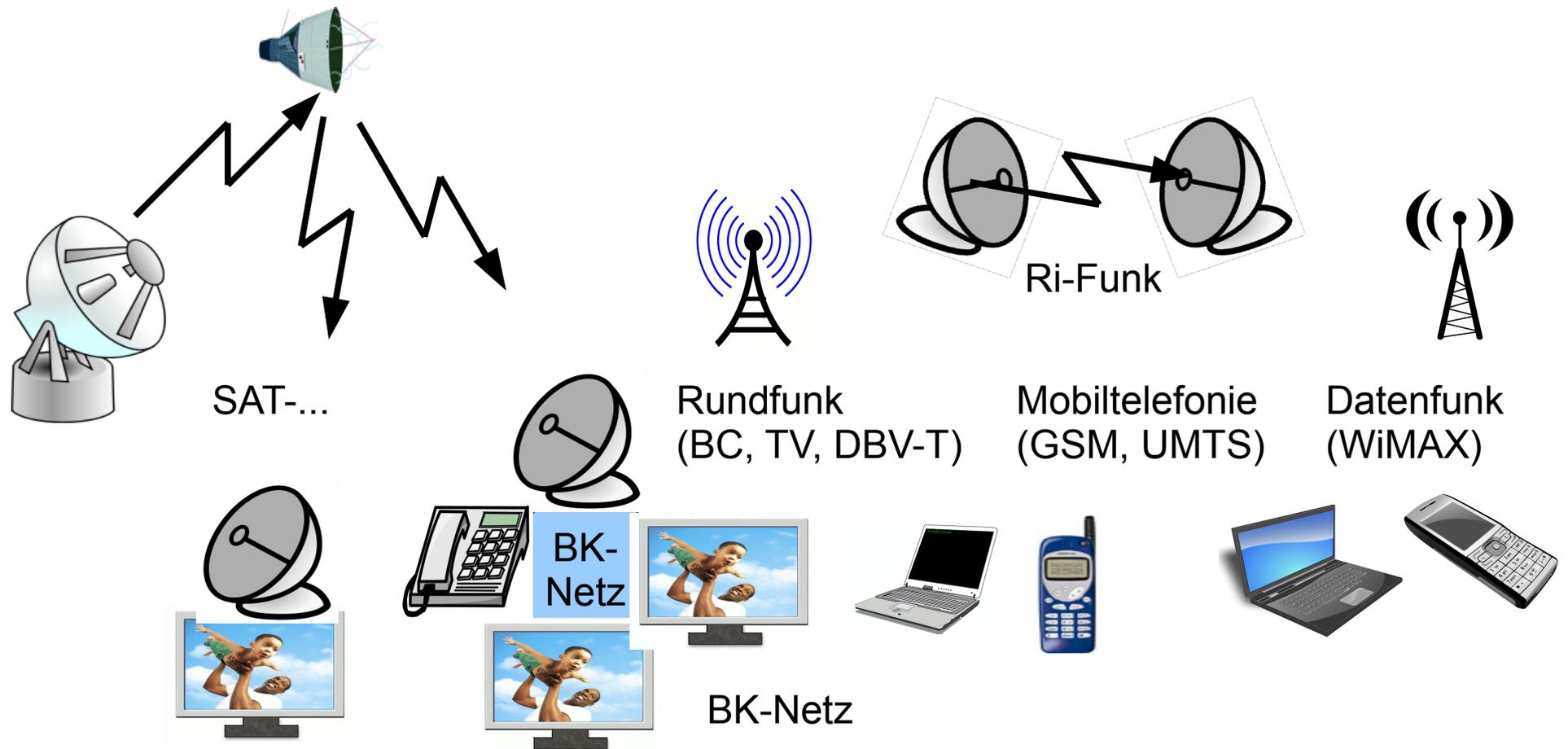
**- Funktion von
- Störung durch**

**- Funktion von...
- Störung durch...**

3.2 Hochfrequenztechnik und Funktechnik

3.2.1 Einordnung (4)

- Anwendungsbeispiele (drahtlos und auf Leitung!)



(Abkürzungen)

3.2 Hochfrequenztechnik und Funktechnik

3.2.2 Wellen im Raum

Lorentzsche Kraftgleichung

$$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{V} \times \vec{B})$$

\vec{F} : gerichtete Kraft, Momentanwert

q : elektrische Ladung

\vec{E} : elektrisches Feld, Momentanwert

\vec{V} : Geschwindigkeit, Momentanwert

\vec{B} : magnetisches Feld, Momentanwert

\vec{E} :

\vec{B} :

Interpretation!!!

3.2 Hochfrequenztechnik und Funktechnik

3.2.2 Wellen im Raum (2)

elektrisches Feld - elektrische Feldstärke

\vec{E} : elektrische Feldstärke, Potential
(verwandt mit el. Spannung)

3.2 Hochfrequenztechnik und Funktechnik

3.2.2 Wellen im Raum (3)

elektrisches Feld - elektrischer Strom (Stromdichte)

$$\vec{J} = \vec{J}_l + \vec{J}_v \quad \text{(Diskussion am Stromkreis)}$$

$$\vec{J} = \vec{J}_l + \frac{(\partial \vec{D})}{(\partial t)}$$

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \quad \sigma : \text{physikalische Konstante (Leiter)}$$

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} \quad \epsilon : \text{physikalische Konstante (Nichtleiter)}$$

\vec{J}_l : elektrische Leitungsstromdichte

\vec{D} : elektrische Verschiebungsdichte (Interpretation)

$\frac{(\partial \vec{D})}{(\partial t)}$: elektrische Verschiebungsstromdichte, Flußdichte
(Anteil des el. Stromes)

3.2 Hochfrequenztechnik und Funktechnik

3.2.2 Wellen im Raum (4)

magnetisches Feld - magnetischer Fluß

\vec{B} : magnetischer Flußdichte
(früher „magnetische Induktion“)

3.2 Hochfrequenztechnik und Funktechnik

3.2.2 Wellen im Raum (5)

magnetisches Feld - magnetische Feldstärke

$$\vec{H} = \frac{1}{\mu} \vec{B} \quad \mu : \text{physikalische Konstante}$$

\vec{H} : magnetische Feldstärke

3.2 Hochfrequenztechnik und Funktechnik

3.2.2 Wellen im Raum (6)

elektrisches Feld

-

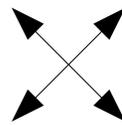
magnetisches Feld

\vec{E} : elektrische Feldstärke

\vec{H} : magnetische Feldstärke

\vec{J} : elektrische Stromdichte

\vec{B} : magnetischer Flußdichte



el. Ladungen ► el. Monopole

magn. Ladungen ► nur magn. Dipole

*2009: im mikroskopischen Bereich
magn. Monopole nachgewiesen*

3.2 Hochfrequenztechnik und Funktechnik

3.2.2 Wellen im Raum (7)

- im 3-dimensionalen Raum (3 orthogonale Dimensionen)
- Skalarfeld – Ladungen
- Vektorfeld – Feldstärken, Flußdichten
auch Äquipotentiale
- 3 Raumdimensionen – Zeit als weitere Dimension → 4 Dimensionen
- Momentanwert $\vec{A} = \vec{A}(x, y, z, t)$

3.2 Hochfrequenztechnik und Funktechnik

3.2.2 Wellen im Raum (8)

- Wir brauchen Hilfsmittel:

- physikalische Effekte \rightarrow räumliche Felder gerichteter Größen
räumliche Felder skalarer Größen
 \downarrow
Vektor
 \downarrow
Vektorraum \longleftrightarrow Methoden!

- 3D-Räume, hier speziell zur Betrachtung der Euklidische Vektorraum mit kartesischen Koordinaten
 $x - y - z$ (rechtshändisch)

- Vorstellung der punktwweisen Abtastung des realen Raumes und Ermittlung der (vektoriellen) Größe

skalar $B = B(x, y, z)$

vektoriell $\vec{A}(x, y, z) = \vec{A}_x(x, y, z) + \vec{A}_y(x, y, z) + \vec{A}_z(x, y, z)$

3.2 Hochfrequenztechnik und Funktechnik

3.2.2 Wellen im Raum (9)

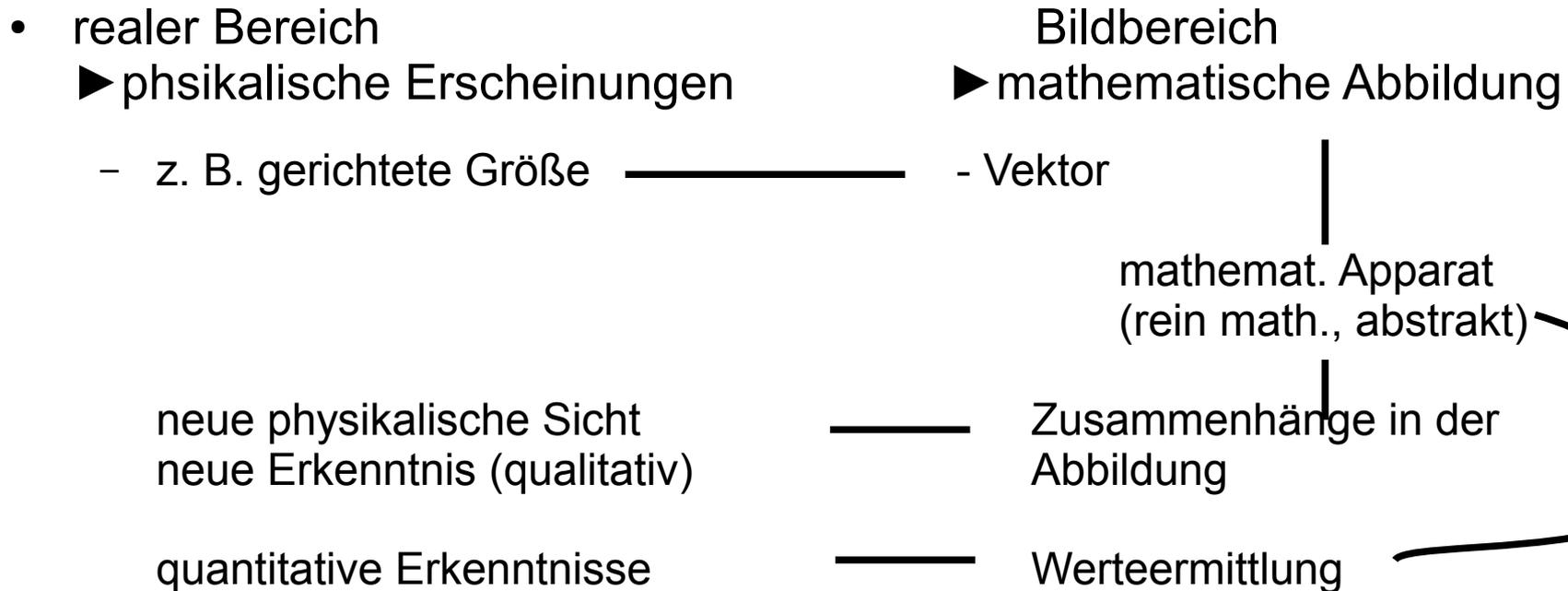
- Vorstellung, daß bei punktwieser Abtastung (stückweise) kontinuierliche Verläufe sichtbar werden

$\vec{A} = \vec{A}(x, y, z)$ kann in analytischer Form beschrieben werden

- Auf die analytische Form können mathematische Verfahren angewendet werden:
 - qualitative Erkenntnisse im math. Bereich → physikalische Erkenntnisse
 - quantitative Ergebnisse im math. Bereich → physikalische Ergebnisse

3.2 Hochfrequenztechnik und Funktechnik

3.2.2 Wellen im Raum (10)



(Pfeile einzeichnen!)

3.2 Hochfrequenztechnik und Funktechnik

3.2.2 Wellen im Raum (11)

- Vektorraum - Vektoroperationen

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = |\vec{A}| |\vec{B}| \cos(\vartheta) = C = A_1 B_1 + A_2 B_2 + \dots$$

\vec{A}, \vec{B} in einer Ebene

Betrag ist Produkt der beiden Beträge A und B mal $\cos \theta$

$$\vec{C} = \vec{A} \times \vec{B}$$

$$|\vec{A} \times \vec{B}| = |\vec{A}| |\vec{B}| \sin(\vartheta)$$

\vec{C} steht senkrecht auf \vec{A} und \vec{B} und der Betrag ist die Fläche des Parallelogramms von \vec{A} und \vec{B}

Diskussion und Bezug zur physikalischen Realität

3.2 Hochfrequenztechnik und Funktechnik

3.2.2 Wellen im Raum (12)

- partielle Ableitung

$$D = D(a_1, a_2, a_3, \dots, a_i, \dots, a_n)$$

$$\frac{\partial D}{\partial a_i} \quad \text{partielle Ableitung nach } a_i$$

Anstieg der Funktion D an einem bestimmten Punkt und entlang des Argumentes a_i - ist selbst auch Funktion vom jeweiligen Punkt im n-dimensionalen Raum der Funktion D

Bspl. der Anwendung: 3D-Raum mit $a_1 = x$, $a_2 = y$, $a_3 = z$

An jedem Punkt des Raumes existiert die partielle Ableitung nach $x, y, z \rightarrow$ Ableitung selbst ist vektoriell

$$\nabla = \frac{\partial}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial}{\partial z} \vec{k} \quad \text{Nablaoperator zur Vereinfachung}$$

∇ selbst ist vektoriell

3.2 Hochfrequenztechnik und Funktechnik

3.2.2 Wellen im Raum (13)

- Anwendung des Nablaoperators

$$D = D(x, y, z) \quad \text{skalare Funktion}$$

$$\text{grad } D = \nabla D = \left(\frac{\partial D}{\partial x}, \frac{\partial D}{\partial y}, \frac{\partial D}{\partial z} \right)$$

$$\vec{A} = \vec{A}(x, y, z) \quad \text{vektorielle Funktion}$$

$$\text{div } \vec{A} = \nabla \cdot \vec{A} \quad \text{„Fluß“ von Quelle / zu Senke}$$

$$\text{rot } \vec{A} = \nabla \times \vec{A} \quad \text{Wirbel um Punkt im Raum}$$

3.2 Hochfrequenztechnik und Funktechnik

3.2.2 Wellen im Raum (14)

- Die Maxwell'schen Gleichungen und ihre Interpretation
1. Weg: Das Phänomen

$$\text{rot } \vec{E} = \nabla \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

Rotor (Wirbel) des el. Feldes

$$\text{rot } \vec{H} = \nabla \times \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \vec{J}$$

Rotor (Wirbel) des magn. Feldes

$$\text{div } \vec{D} = \rho = \nabla \cdot \vec{D} = p$$

Divergenz des el. Feldes ist die Ladung

$$\text{div } \vec{B} = 0 = \nabla \cdot \vec{B}$$

Divergenz des magn. Feldes ist 0

$$\vec{H} = \frac{1}{\mu} \vec{B}$$

magn. Feldstärke wirkt in Richtung magn. Fluß

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E}$$

el. Flußdichte ist in Richtung el. Feldstärke

3.2 Hochfrequenztechnik und Funktechnik

3.2.2 Wellen im Raum (15)

„Ringelreihen der physikalischen Größen“ (**bitte komplettieren!**)

$$\text{rot } \vec{E} = \nabla \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

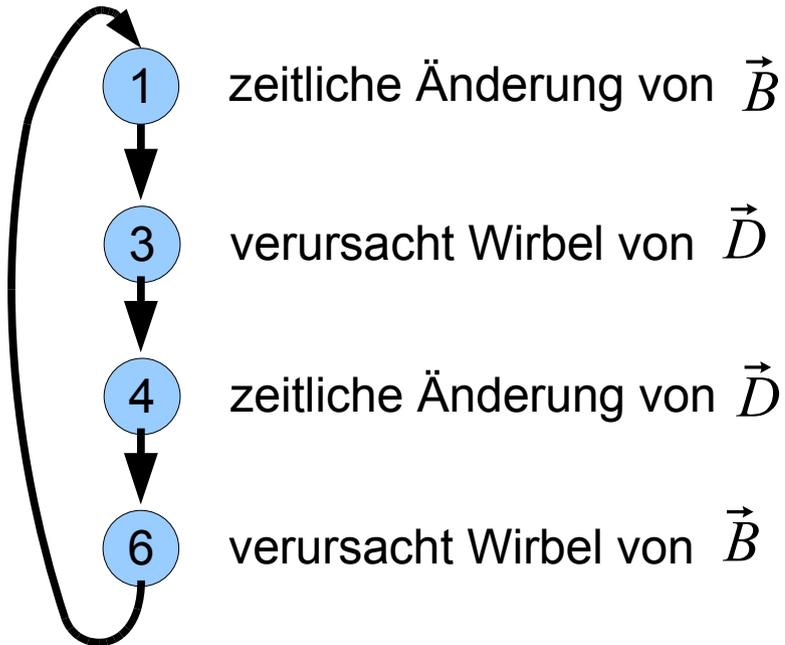
$$\text{rot } \vec{H} = \nabla \times \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad \underline{J = 0 !!!}$$

- | | | |
|---|--|--|
| ① | zeitliche Änderung von \vec{B} | $-\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ |
| ② | verursacht Wirbel von \vec{E} | $= \text{rot } \vec{E}$ |
| ③ | verursacht gleichsinnigen Wirbel von \vec{D} | $\text{rot } \vec{D} = \epsilon \cdot \text{rot } \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot \dots$ |
| ④ | zeitliche Änderung von \vec{D} | $\frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$ |
| ⑤ | verursacht Wirbel von \vec{H} | $= \text{rot } \vec{H}$ |
| ⑥ | verursacht gleichsinnigen Wirbel von \vec{B} | $\text{rot } \vec{B} = \mu \cdot \text{rot } \vec{H} = \dots \cdot \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$ |

3.2 Hochfrequenztechnik und Funktechnik

3.2.2 Wellen im Raum (16)

„Ringelreihen der physikalischen Größen“



$$-\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\text{rot } \vec{D} = \epsilon \cdot \text{rot } \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot \dots$$

$$\frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

$$\text{rot } \vec{B} = \mu \cdot \text{rot } \vec{H} = \dots \cdot \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

zwei mal $\frac{\partial}{\partial t}$ in der Kette

Welche zeitliche Funktion verschwindet nicht nach zwei- und mehrmaliger zeitlicher Ableitung?

3.2 Hochfrequenztechnik und Funktechnik

3.2.2 Wellen im Raum (17)

- Die Maxwell'schen Gleichungen und ihre Interpretation
 - Weg: von den Maxwell'schen Gleichungen zur Wellengleichung

$$\nabla \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \vec{E} = - \frac{\mu \partial \vec{H}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \nabla \times \vec{E} = -\mu \frac{\partial(\nabla \times \vec{H})}{\partial t}$$

$$\nabla \times \nabla \times \vec{E} = -\mu \frac{\partial^2 \vec{D}}{\partial t^2}$$

$$\nabla \times \nabla \times \vec{E} = -\mu \epsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$$

$$\nabla \nabla \cdot \vec{E} - \nabla^2 \cdot \vec{E} = -\mu \epsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$$

$$\vec{B} = \mu \vec{H}$$

$$\nabla \times \vec{H} = - \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E}$$

$$\nabla \times \nabla \times \vec{A} = \nabla \nabla \cdot \vec{A} - \nabla^2 \cdot \vec{A}$$

3.2 Hochfrequenztechnik und Funktechnik

3.2.2 Wellen im Raum (18)

von den Maxwellschen Gleichungen zur Wellengleichung

$$\nabla \nabla \cdot \vec{E} - \nabla^2 \cdot \vec{E} = -\mu \epsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$$

$$-\nabla^2 \cdot \vec{E} = -\mu \epsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$$

$$\nabla^2 \cdot \vec{E} - \mu \epsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0$$

3 – dimensionale Wellengleichung
(verlustfreier Raum)

$$\nabla \times \nabla \times \vec{A} = \nabla \nabla \cdot \vec{A} - \nabla^2 \cdot \vec{A}$$

$$\vec{J} = 0; \quad \rho = 0 \rightarrow \nabla \cdot \vec{E} = 0$$

3.2 Hochfrequenztechnik und Funktechnik

3.2.2 Wellen im Raum (19)

zur Wellenausbreitung

Die Feststellung zur Anregung im Teil „Ringelreihen der physikalischen Größen“ deckt sich mit dem Erhalt der auf der Seite zuvor.

Bei der Ausbreitung gleichmäßig in alle Richtungen (Kugelcharakteristik, Freiraum) verteilt sich die Leistung mit wachsender Entfernung von der Wellenquelle auf eine immer größere

$$P = P'_1 \cdot A_1 = P'_2 \cdot A_2$$

P'_i : Leistungsdichte beim Radius r_i
 P : gesamte Leistung
 A_i : Kugeloberfläche beim Radius r_i

$$\frac{P'_2}{P'_1} = \frac{A_1}{A_2} = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2$$

Absorption = 0 angenommen!!!

Bei einer entlang einer homogenen Leitung geführten Welle bleibt die Fläche, durch die die Leistung geht, entlang der Leitung
Absorption = 0 angenommen!!!

3.2 Hochfrequenztechnik und Funktechnik

3.2.3 Wellen auch auf Leitungen?

- Leitungen:
 - Zusammenschaltung von Geräten
z. B.
 - Transport von HF-Signalen ohne Freiraumausbreitung
z. B.
 - Zusammenschaltung von Baugruppen in Geräten
 - eigentlich jede Verbindung von Bauelementen ist bei Wechselgrößen eine potentielle HF-Leitung, abhängig von und

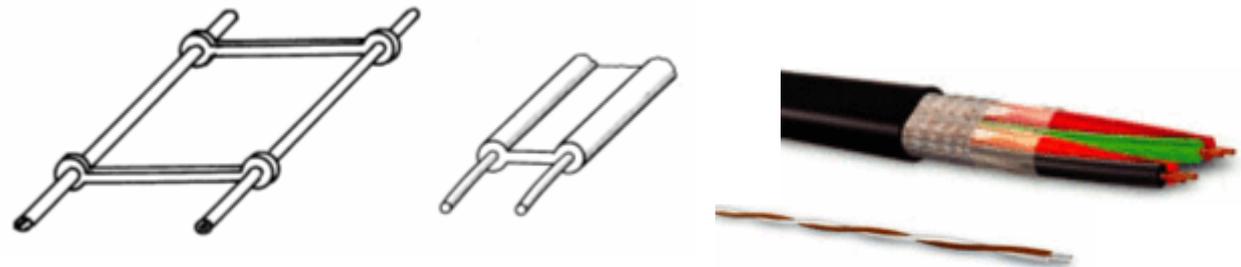
3.2 Hochfrequenztechnik und Funktechnik

3.2.3 Wellen auch auf Leitungen?

Koaxialkabel



Paralleldrahtleitung



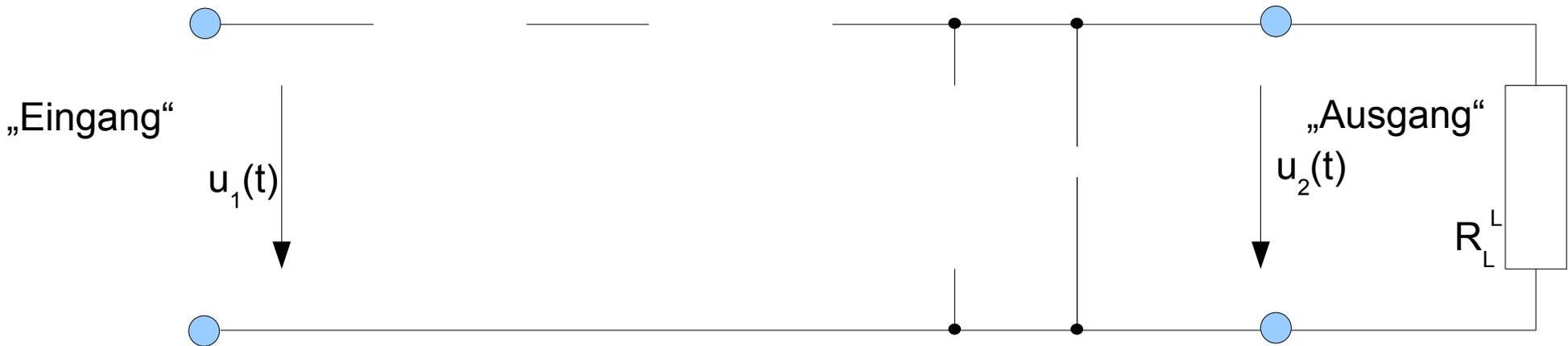
Hohlleiter (Leitungen???)



3.2 Hochfrequenztechnik und Funktechnik

3.2.3 Wellen auch auf Leitungen?

- Ersatzschaltbild



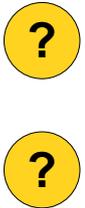
- empirische Betrachtung

1. $u_1(t)$ am Eingang

$i(t)$ muß existieren
 \implies Leistungstransport
 wenn i bis R_L kommt und R_L Wirkanteil hat \implies (Anteil)

2. endliche Ausbreitungsgeschwindigkeit der Energie (Erklärung an langer Leitung)

bei t_x spielt Leitung voraus Rolle, Energie noch nicht dort (gewesen)
 u/i hängt bei hinlaufender Energie von der Leitung (weit) voraus ab, sondern von der Stelle $x \rightarrow$



3.2 Hochfrequenztechnik und Funktechnik

3.2.3 Wellen auch auf Leitungen?

- empirische Betrachtung (2)

- | | | |
|--|---|---|
| 3. Leitung homogen,
Eigenschaft an Stellen
$x-1$, x und $x+1$ sind gleich | u/i ist an den Stellen $x-1$, x und
$x+1$, an allen Stellen,
(hinlaufende Energie)
u/i ist, $u/i = Z_w$ | ? |
| 4. Leitung ab Stelle x durch
Abschlußwiderstand $= Z_w$ ersetzt | hinlaufende Energie „verschwindet“ im
Lastwiderstand, keine rücklaufende
Energie, keine Rückwirkung auf Leitung
zuvor --> Anpassung <u>Ja / Nein?</u> | ? |
| 5. Leitung ab Stelle x durch
Abschlußwiderstand $\neq Z_w$ ersetzt | Energie auf der Leitung \neq Energie im
Lastwiderstand, im Lastwiderstand
kleiner, Teil der hinlaufenden Energie
läuft zurück, jetzt Rückwirkung
u und i aus Überlagerung hin- und
rücklaufender Energie <u>Ja / Nein?</u> | ? |
| 6. „Ein-“ und „Ausgang“ vertauschbar,
passiv, linear | rücklaufende U und I findet für sich die
_____ Verhältnisse vor, wie
hinlaufende U und I ,
Superposition <u>Ja / Nein?, aber!</u> | ! |

3.2 Hochfrequenztechnik und Funktechnik

3.2.3 Wellen auch auf Leitungen?

- empirische Betrachtung (2)

7. Leitungsstück hat mit R' und G' den Charakter eines ohmschen Spannungsteilers

für Energiefluß in einer Richtung:
 $u_2 = k * u_1$ mit $k < 1$

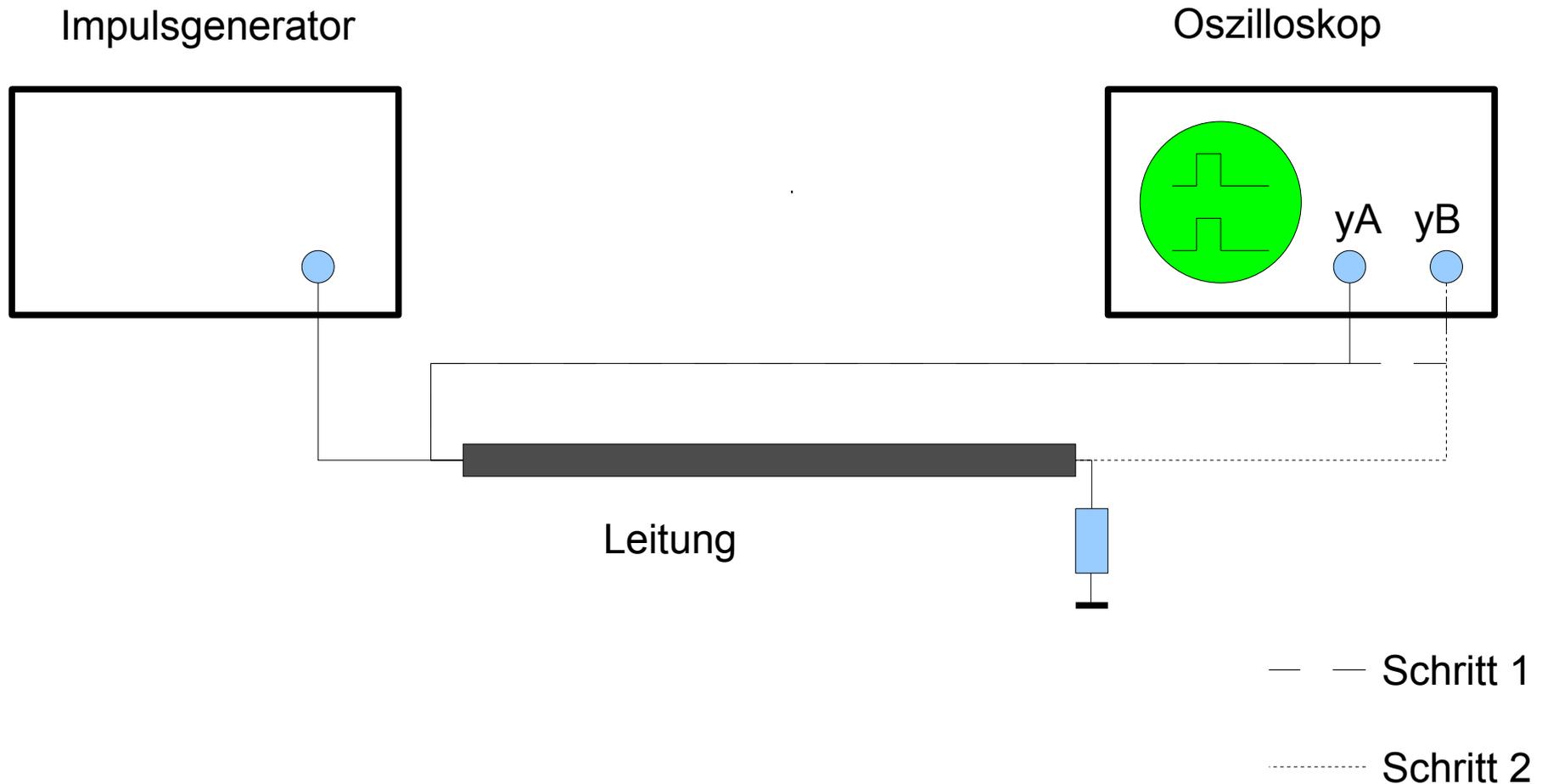
8. erst Leitungsstück mit k - dann 2 gleiche Leitungsstücke mit jeweils k

$k_{\text{gesamt}} = k * k$
(aus Hintereinanderschaltung von Spannungsteilern so nicht ableitbar)

3.2 Hochfrequenztechnik und Funktechnik

3.2.3 Wellen auch auf Leitungen?

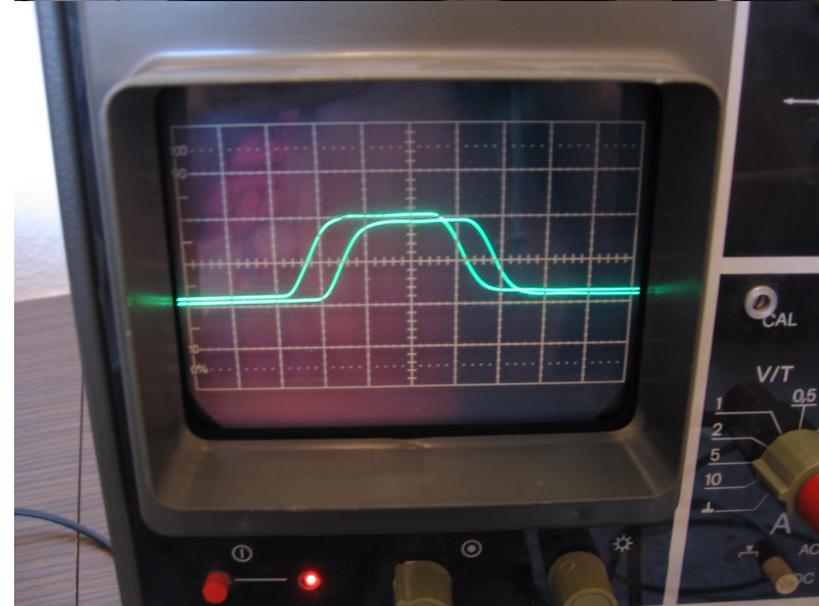
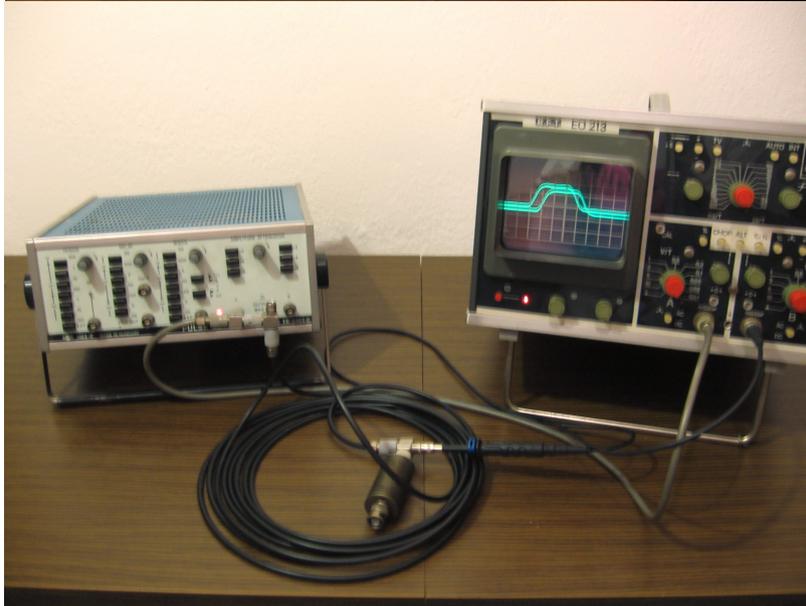
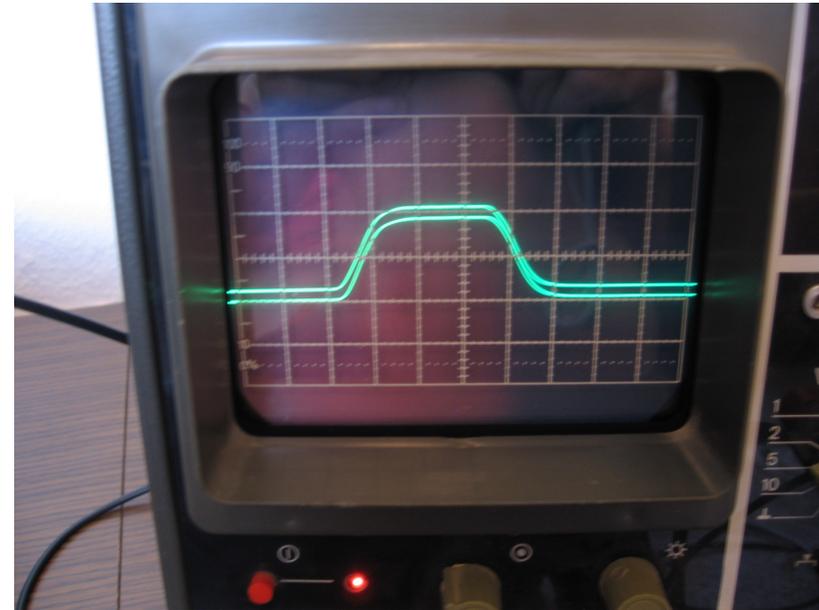
- empirische Betrachtung (3)



3.2 Hochfrequenztechnik und Funktechnik

3.2.3 Wellen auch auf Leitungen?

- empirische Betrachtung (4)



3.2 Hochfrequenztechnik und Funktechnik

3.2.3 Wellen auch auf Leitungen?

- empirische Betrachtung (6)
Kabeldaten RG58U

Technische Daten

- ◆ Wellenwiderstand: Impedanz $50 \Omega \pm 2$
- ◆ Schleifenwiderstand: max. $53 \Omega / \text{km}$
- ◆ minimaler Biegeradius: 25 mm
- ◆ Gewicht: ca. 35 kg / km
- ◆ Kupferanteil: 13,4 kg / km
- ◆ Innenleiter: 16 x $\varnothing 0,20$ mm Kupfer Litze
- ◆ Isolation: $\varnothing 2,95$ mm PE
- ◆ Aussenleiter: Geflecht Kupfer blank
- ◆ Mantel: $\varnothing 4,95$ mm PVC
- ◆ Farbe: schwarz

- ◆ Dämpfung db / 100 m (bei 20 °C):

10 MHz	4,7	200 MHz	23,2
20 MHz	6,8	500 MHz	37,1
50 MHz	11,0	800 MHz	51,0
100 MHz	15,5	1000 MHz	57,2



Rex koaxial Digitalkabel

Mit dem Rex digital Koaxialkabel 100db ist es möglich digitale und analoge Fernseh Programme sowie HD Programme einwandfrei zu übertragen. Sie können Rex digital Koaxialkabel 100db auch für Ihren Kabelanschluss von Unitymedia, Kabel Deutschland, Kabel Bw, Bosch problemlos nutzen. Das Rex digital Koaxialkabel 100db ist geeignet für Satelliten Anlagen mit Multischalter Betrieb, direkt Verbindung zum LNB, für DiseqC Motor Steuerung, DiseqC anschluss, sowie für den digitalen bzw. analogen Kabelanschluss, Terrestrischen oder DVB-T Empfang.

Technische Daten Rex digital Koaxialkabel 100db:

Kabel Innenleiter- \varnothing / Material: 1,1mm / Stahl - Kupfer
Kabel Isolations- \varnothing / Material: 4,8mm / Zell PE 63 %
Kabel Schirmung: AL-Folie, doppelt kaschiert
Kabel Schirmgeflecht: 64 x 0,12mm AL
Kabel Mantel- \varnothing / Material / Farbe: 6,8 mm / PVC / weiß
Kabel Wellenwiderstand: 75 Ohm
Kabel Schirmungsmaß: > 100dB
Kabel Verkürzungsfaktor: 0,80
Kabel Biegeradius (min.): 35 mm

umfangreichere
Datenblätter: z. B. unter:

www.hubersuhner.de

3.2 Hochfrequenztechnik und Funktechnik

3.2.3 Wellen auch auf Leitungen?

- analytische Betrachtung

Sind es auch Wellen, und wie können die Verhältnisse berechnet werden, dazu dann später mehr.

3.2 Hochfrequenztechnik und Funktechnik

3.2.4 Nachrichten mit HF-Wellen übertragen

- HF-Welle
 - Beschreibung, Abhängigkeit von t
 - Aufprägen einer Nachricht
 - Abnehmen einer Nachricht
 - Was ist noch notwendig? (Skizze)

3.2 Hochfrequenztechnik und Funktechnik

3.2.4 Nachrichten mit HF-Wellen übertragen (2)

- Wichtige Funktionsgruppen:
(anhand der Skizze)

3.2 Hochfrequenztechnik und Funktechnik

3.2.5 Eine Funkstrecke

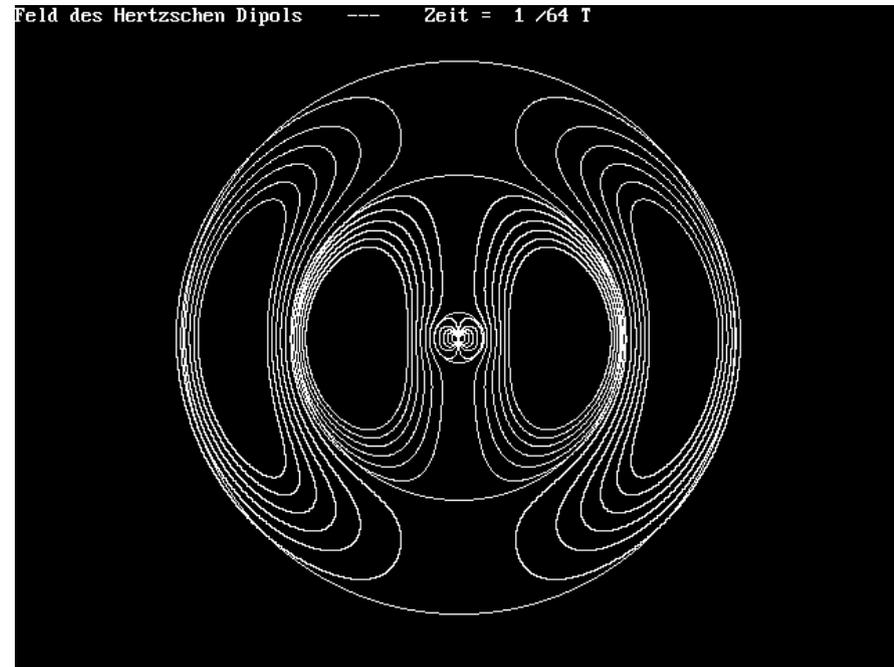
- ganz spezifischer Abschnitt bei der Funkübertragung
- hier von bis zum

(Skizze mit Parametern)

3.2 Hochfrequenztechnik und Funktechnik

3.2.5 Eine Funkstrecke (2)

- Antenne
 - Funktion



Quelle: http://tu-dresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/fakultaet_elektrotechnik_und_informationstechnik/eti/te/id_dir_sonstig/id_illustrationen

- einige Parameter:

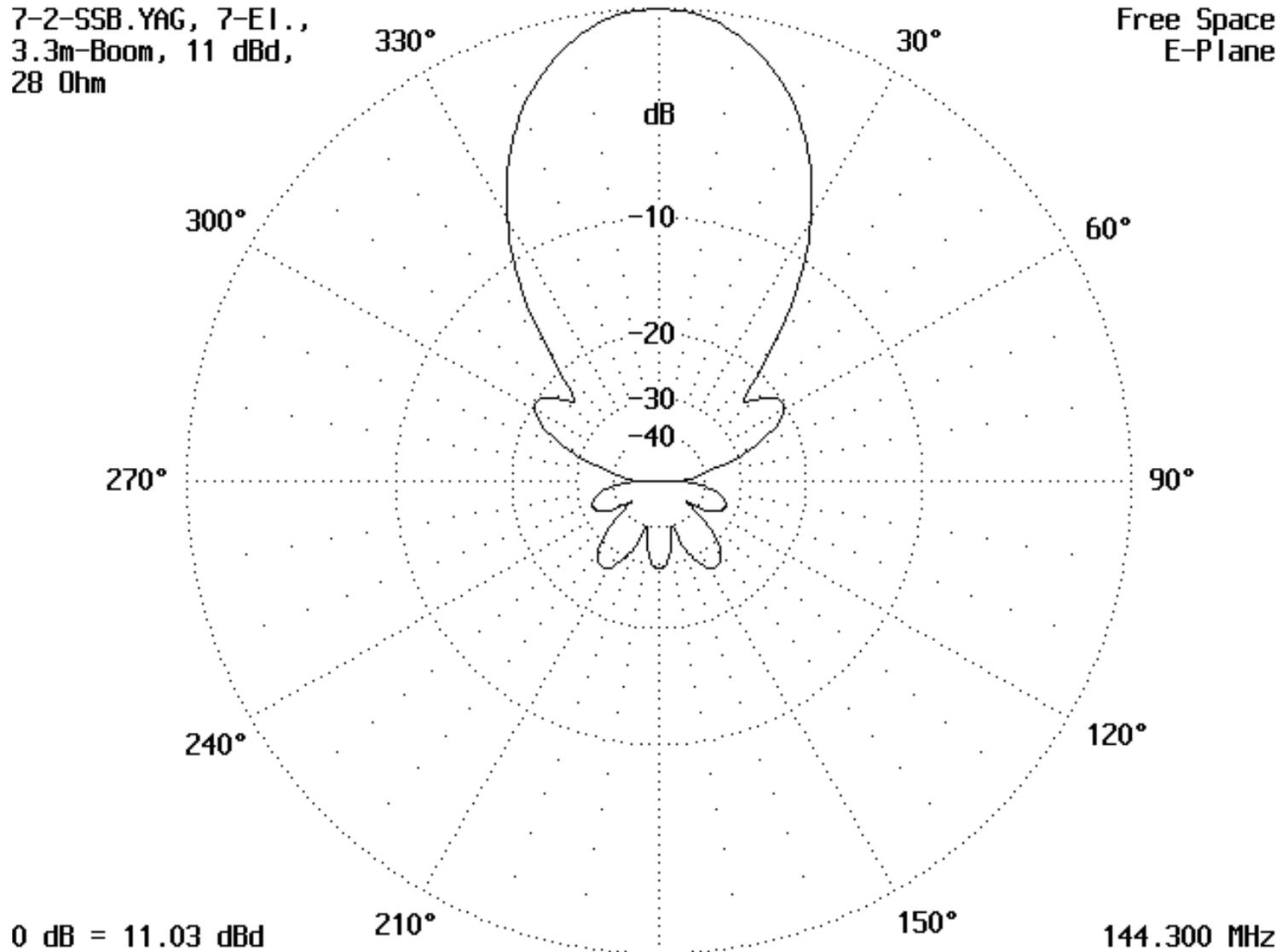
-
-
-
-

3.2 Hochfrequenztechnik und Funktechnik

3.2.5 Eine Funkstrecke (3)

- Antenne

7-2-SSB.YAG, 7-El.,
3.3m-Boom, 11 dBd,
28 Ohm



3.2 Hochfrequenztechnik und Funktechnik

3.2.5 Eine Funkstrecke (4)

- Antenne – Beispiele: Linearstrahler (gestreckte Gebilde, Masten, Stäbe, gestreckte Drähte) - regen E-Feld an



Quelle: http://www.kenwood.de/products/comm/amateur/vhf_uhf/TH-K2ET/

Quelle: http://www.radiojournal.de/1/radioarchiv/250_00sender_burg.htm

3.2 Hochfrequenztechnik und Funktechnik

3.2.5 Eine Funkstrecke (5)

- Antenne – Beispiele: Flächenstrahler
 - Reflektorantenne (Reflektor allein ist noch keine Antenne, erst in Kombination mit anderer Antenne; z. B. Hornantenne als Feeder)



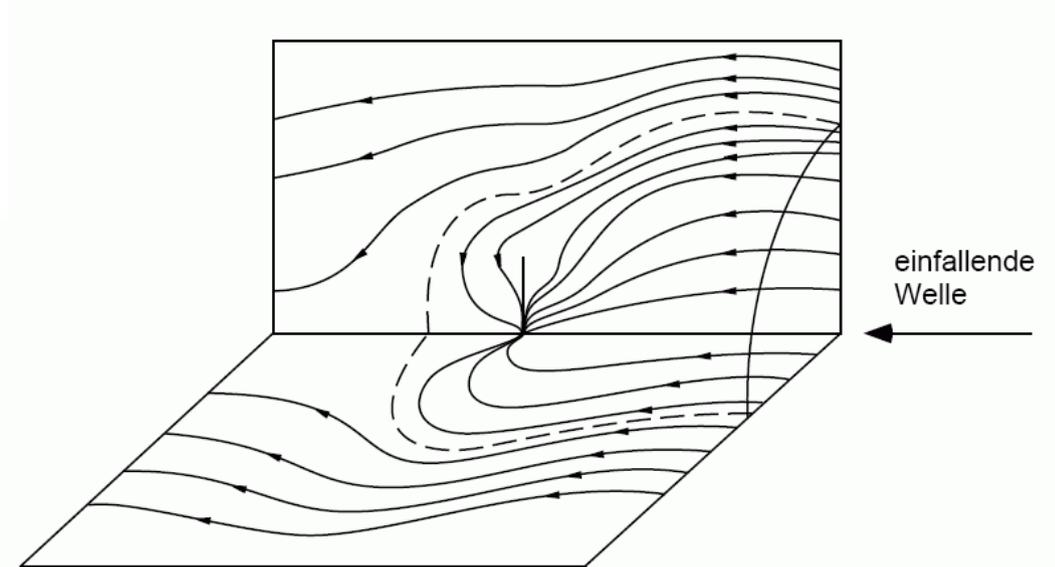
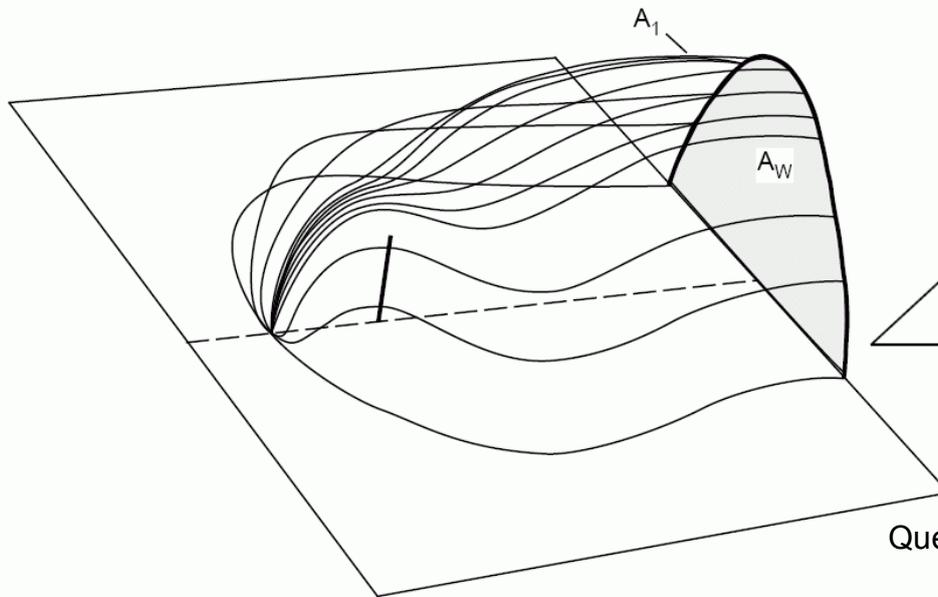
Quelle: <http://www.mpifr-bonn.mpg.de/div/effelsberg/>

Quelle: <http://www.technisat.de/indexd200.html?nav=Au%C3%9Fenanlagen,de,54-4>

3.2 Hochfrequenztechnik und Funktechnik

3.2.5 Eine Funkstrecke (6)

- Antenne – wirksame Fläche A_W
 - Flächenantenne:
 - Linearantenne:



Quelle: <http://www.ihe.uni-karlsruhe.de/download/AAS-Skript-2008.pdf>

Bild 3.3: Wirksame Antennenfläche A_W der linearen Empfangsantenne

3.2 Hochfrequenztechnik und Funktechnik

3.2.5 Eine Funkstrecke (7)

- Die ganze Strecke – einfache Freiraumsituation



3.2 Hochfrequenztechnik und Funktechnik

3.2.5 Eine Funkstrecke (8)

- weitere Einflüsse
 - Absorption, z. B. Dämpfung pro Entfernung (zusätzliche Dämpfung zu der im vorigen Punkt genannten)
 - Reflexion
 - Interferenz
 - Auslöschung, Abschwächung, Verstärkung
 - Beugung
 - Streuung
 - Wellenleitung
 - typisch an Grenze zwischen Leiter und Dielektrikum
 - obiges durch
 - und
 - (Beispiele)

3 „Unsere Teildisziplinen“

3.3 Übertragungstechnik, Informationstheorie, Kodierung und Modulation

3.3.1 Von der Quelle bis zur Senke

3.3.2 Wie kann man Information messen?

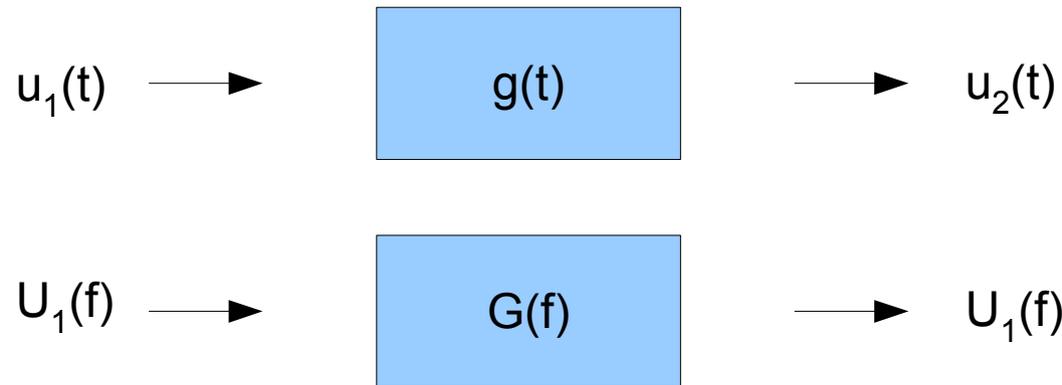
3.3.3 Kodierung, Kodierung, Kodierung

3.3.4 Modulation

3.3 Übertragungst., Informationstheo., Kodierung und Modul.

3.3.1 Von der Quelle bis zur Senke

(bisher?) betrachtet



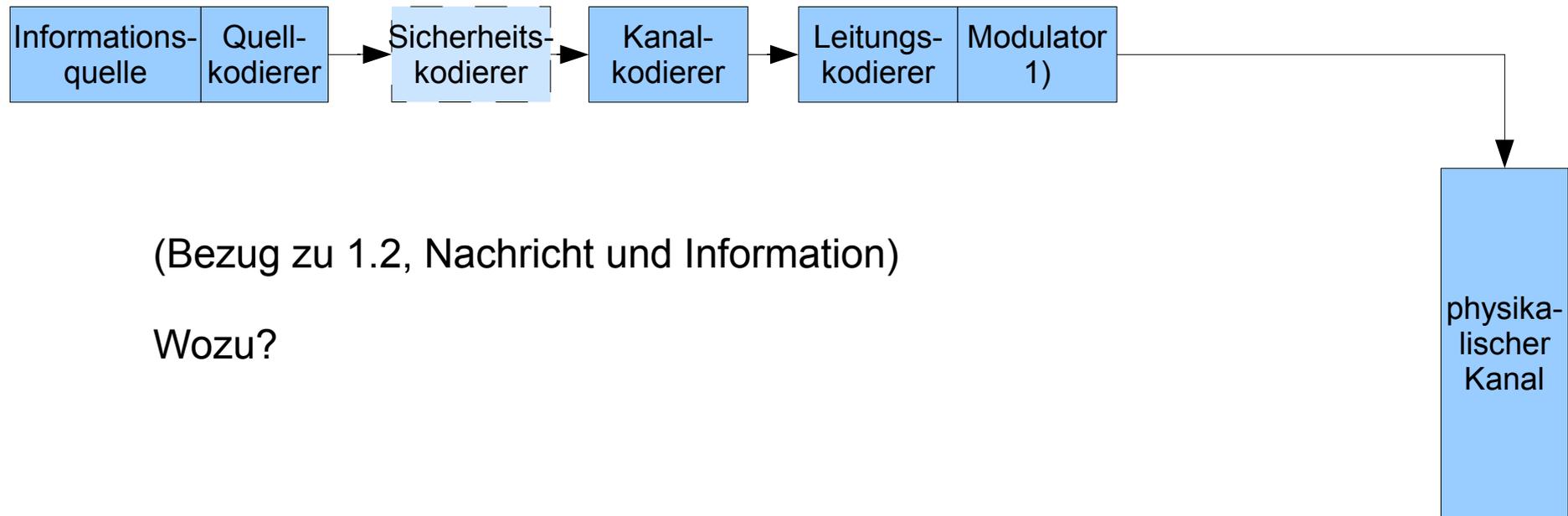
Fragen:

- Was passiert mit dem Eingangssignal bei der Übertragung, wie „sieht“ das Ausgangssignal „aus“?
- Wie kann aus $g(t)$ bzw. $G(f)$ das Ausgangssignal ermittelt werden?
- Wie muß (soweit möglich) $g(t)$ bzw. $G(f)$ beschaffen sein, um bei einem gegebenen Eingangssignal ein gewünschtes Ausgangssignal zu erhalten?
- Wie muß ein Eingangssignal beschaffen sein, um bei gegebenem $g(t)$ bzw. $G(f)$ ein gewünschtes Ausgangssignal zu erhalten?

3.3 Übertragungst., Informationstheo., Kodierung und Modul.

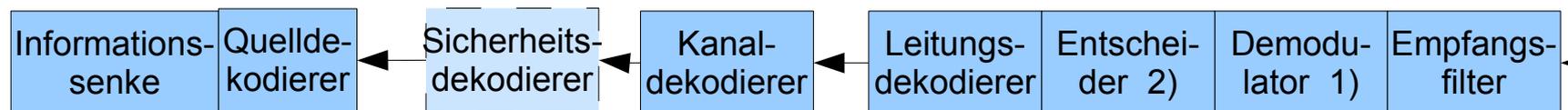
3.3.1 Von der Quelle bis zur Senke (2)

Nachrichtenquelle



(Bezug zu 1.2, Nachricht und Information)

Wozu?



Nachrichtensenke

- 1) klassisch nur bei Passbandübertragung, hier immer
- 2) bei digitalen Signalen, fallweise mit 1) gekoppelt

3.3 Übertragungst., Informationstheo., Kodierung und Modul.

3.3.1 Von der Quelle bis zur Senke (3)

- **Nachricht**

„bewußt“ erstellte Daten, die Information und Redundanz enthalten

- **Signal** (nachrichtentechnischer Sinn)

physikalische Größe, die die Nachricht repräsentiert

z. B. elektrische Spannung, elektrische Leistung, optische Leistung

kontinuierlich (Zeit und Amplitude)

→ **analog**

zeitdiskret oder amplitudendiskret

zeit- und amplitudendiskret → **digital**

- **Information**

unerwartetes; ist in Nachricht kodiert,

bringt dem geeigneten Empfänger einen Wissenszuwachs,

ist nach *Shannon* auch ohne Empfänger in Nachricht quantifizierbar

- **Redundanz**

Anteil der Nachricht, der dem geeigneten Empfänger keinen Wissenszuwachs bringt,

ist ungewollt oder gewollt vorhanden

3.3 Übertragungst., Informationstheo., Kodierung und Modul.

3.3.1 Von der Quelle bis zur Senke (4)

- **Kodierung**
Umwandlung der Darstellung einer Nachricht
Wort aus Symbolen des Alphabetes A \rightarrow Wort aus Symbolen des Alphabetes B
- **Symbol**
einzelnes Element eines Alphabetes; Nachricht wird aus Symbolen eines Alphabets gebildet (kodiert)
- **Basisband**
Frequenzbereich, in dem ein Signal nach der Kanalkodierung liegt
- **Passband**
Frequenzbereich, in den ein Basisbandsignal umgesetzt wurde; Das Passband belegt ein begrenztes Frequenzband zwischen unterer und oberer Grenzfrequenz; in aller Regel erfolgt eine Umsetzung in einen höheren Frequenzbereich

3.3 Übertragungst., Informationstheo., Kodierung und Modul.

3.3.2 Wie kann man Information messen?

- Im allgemeinen Fall ist „überraschend“ nur im Kontext zum Zustand der Senke feststellbar
- Bei diskreten Quellen scheint eine quantitative Bewertung möglich:
Die Senke (der Empfänger) kennt die Statistik der Daten. Die Größe der Information hängt nun nur noch von der Statistik der Daten aus der Quelle ab. Da die Daten aus der Quelle quantisiert sind, sollte auch die Information quantifizierbar sein.

3.3 Übertragungst., Informationstheo., Kodierung und Modul.

3.3.2 Wie kann man Information messen? (2)

- Quantifizierung der Information bei diskreten Quellen
- Information ist etwas überraschendes, der nicht vorhersehbare Anteil der Daten

„Unabhängigkeit“ vom Empfänger durch mathematischen Informationsbegriff nach Claude E. Shannon (1948)

„Eine diskrete (Nachrichten-) Quelle X mit dem Zeichenvorrat $X = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ sende pro Zeitschritt ein Zeichen. Die Wahrscheinlichkeit (probability) des i -ten Zeichens x_i sei p_i . Welchen Informationsgehalt hat das i -te Zeichen?“

Axiom 1: $I(p_i) \geq 0$ I – Informationsgehalt des i -ten Zeichens

Axiom 2: bei $(p_{ij}) = (p_i)(p_j)$ (p_{ij}) – Verbundwahrscheinlichkeit der unabhängigen Zeichen i und j

$I(p_{ij}) = I(p_i) + I(p_j)$ $I(p_{ij})$ – Informationsgehalt der Kombination unabhängiger Zeichen i und j

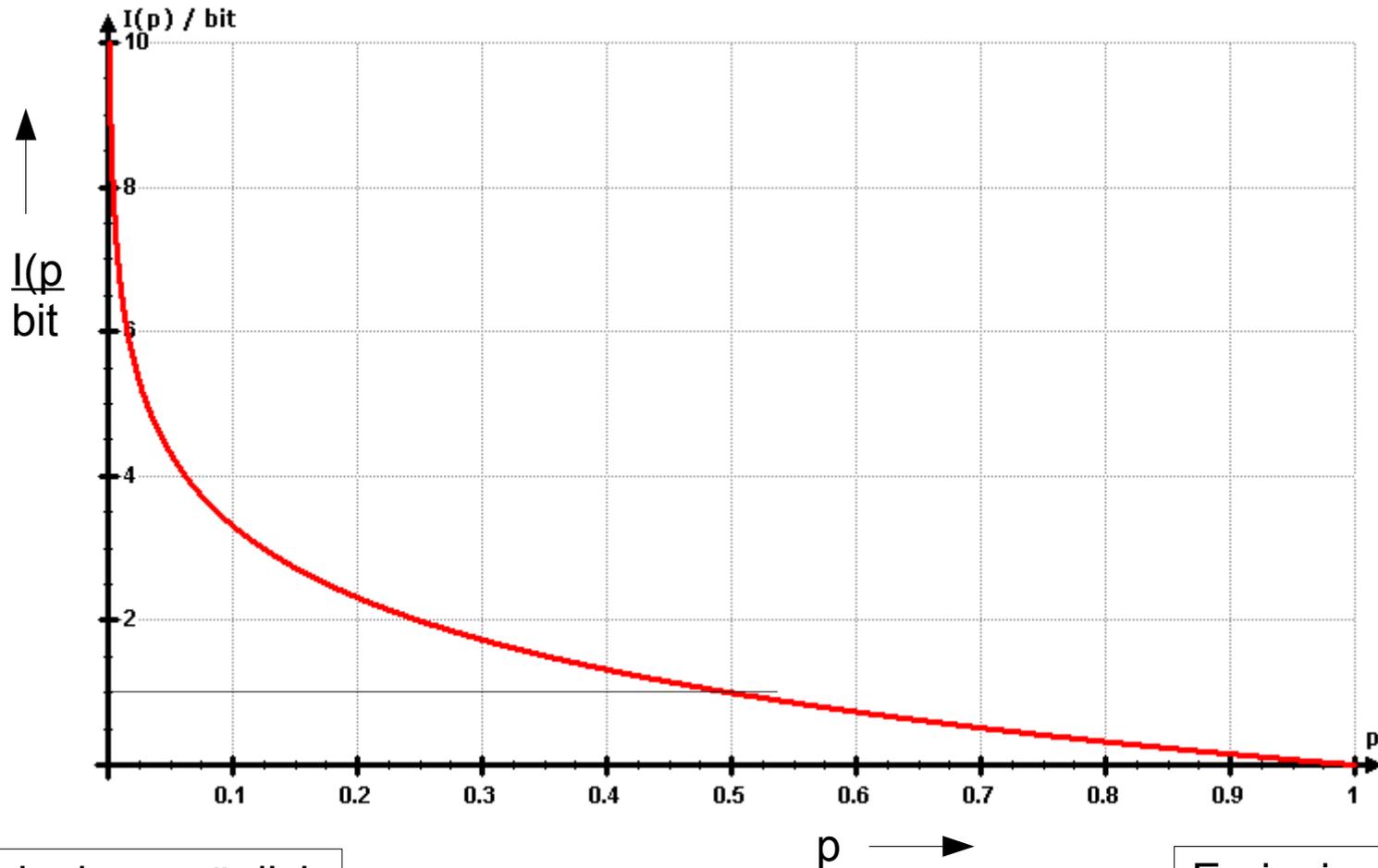
Axiom 3: I ist stetige Funktion von p .

3.3 Übertragungst., Informationstheo., Kodierung und Modul.

3.3.2 Wie kann man Information messen? (3)

- Axiom 2 führt zum Logarithmus: Multiplikation → Addition

Definition: $I(p) = -\log_2(p)$ Maßeinheit Sh (Shannon), früher bit



Ereignis unmöglich

Ereignis sicher

3.3 Übertragungst., Informationstheo., Kodierung und Modul.

3.3.2 Wie kann man Information messen? (4)

- Entropie: Informationsgehalt einer Quelle
→ aus Informationsgehalten aller Zeichen ermittelbar

für diskrete, gedächtnislose Quelle gilt

$$H(X) = - \sum_{i=1}^N p_i \text{ld}(p_i)$$

X: Quelle mit Zeichenvorrat $X = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$
und den zugehörigen Wahrscheinlichkeiten p_1, p_2, \dots, p_N

- mit Entropie sind ermittelbar:
 - minimale Anzahl der ja/nein Entscheidungen, um das aktuelle Zeichen zu ermitteln
 - minimale Anzahl Bits, um die Zeichen der Quelle zu kodieren

► Diskussion

3.3 Übertragungst., Informationstheo., Kodierung und Modul.

3.3.2 Wie kann man Information messen? (5)

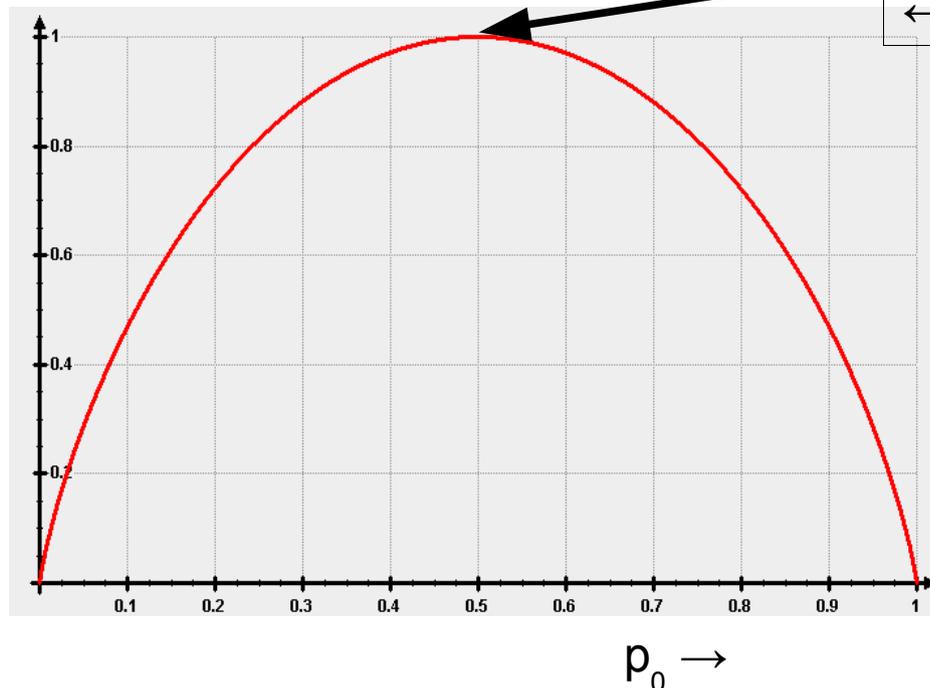
- Beispiel: Entropie der gedächtnislosen Binärquelle

$$X=(0, 1) \quad p_0=p, p_1=1-p$$

$$H_b(p) = -p \log_2(p) - (1-p) \log_2(1-p)$$

Shannonsche Funktion

$H_b(p)$ ↑
in bit
bzw. Sh



maximale Entropie
↔ maximale Unsicherheit

- Antworten:
 - 1 ja/nein-Frage je Zeichen
 - 1 bit je Zeichen

3.3 Übertragungst., Informationstheo., Kodierung und Modul.

3.3.2 Wie kann man Information messen? (6)

- Entscheidungsgehalt: H_0 - maximale Entropie der Symbole einer diskreten Quelle

ergibt sich bei maximaler Unsicherheit über das zu erwartende Zeichen,
→ bei gedächtnisloser Quelle - alle Zeichen (Symbole) gleich wahrscheinlich

$$H_0 = \log_2 N \quad N = \text{Anzahl der Symbole der Quelle}$$

Beispiel: $N = 6 \rightarrow H_0 = \dots$
 $N = 26 \rightarrow H_0 = \dots$

- Redundanz: R – Differenz aus Entscheidungsgehalt und Entropie,
→ Differenz aus maximaler Entropie und tatsächlicher Entropie

$$R = H_0 - H(X)$$
$$r = \frac{H_0 - H(X)}{H_0}$$

3.3 Übertragungst., Informationstheo., Kodierung und Modul.

3.3.2 Wie kann man Information messen? (7)

- gedächtnislose Quellen
 - Auftretenswahrscheinlichkeit für jedes Symbol ist von den vorherigen Zeichen
 - Auf den vorherigen Bildern ist das teils Voraussetzung für diverse Formeln.

3.3 Übertragungst., Informationstheo., Kodierung und Modul.

3.3.2 Wie kann man Information messen? (8)

- Beispiele für diskrete, gedächtnislose Quellen:

X_A

X_B

X_C

Ermittlung $I(\text{Symbol})$, $H(X)$, H_0 , R , r

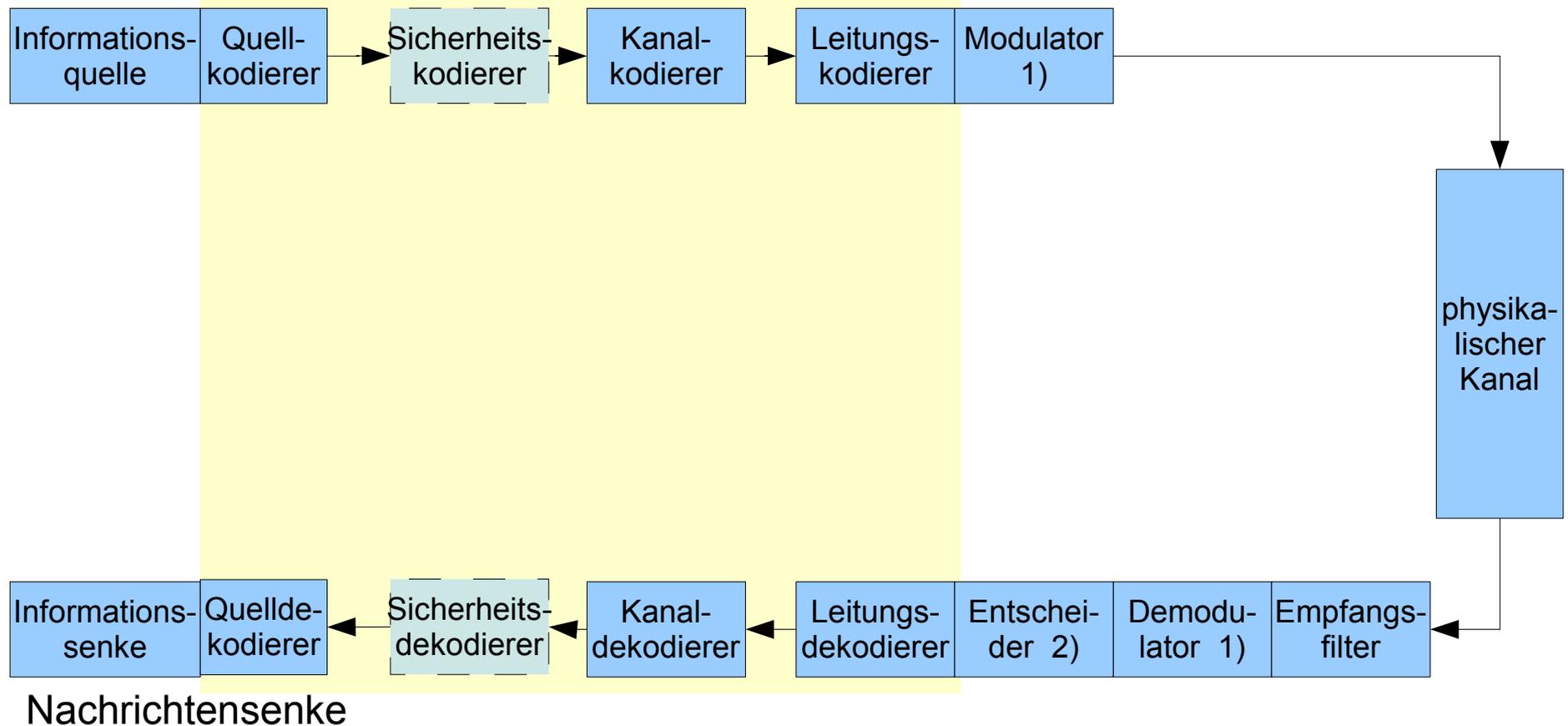
Diskussion von Quellcodes, Anzahl der Stufen von Quellcodes

Anzahl der Fragen zur Entscheidung

3.3 Übertragungst., Informationstheo., Kodierung und Modul.

3.3.3 Kodierung, Kodierung, Kodierung

Nachrichtenquelle



- 1) klassisch nur bei Passbandübertragung, hier immer
- 2) bei digitalen Signalen, fallweise mit 1) gekoppelt

3.3 Übertragungst., Informationstheo., Kodierung und Modul.

3.3.3 Kodierung, Kodierung, Kodierung (2)

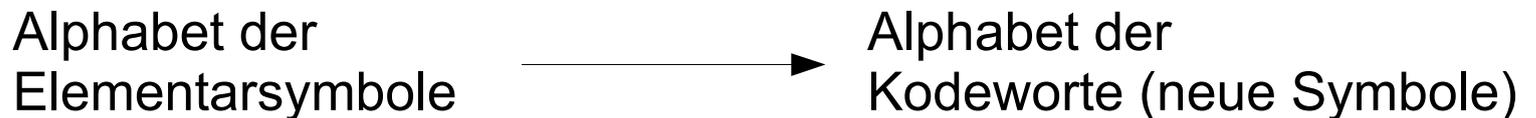
- Quellkodierung

Ziele: -minderung / -elemenierung und/ oder
- günstige Realisierung

-minderung
Eine Primärquelle wird auf eine Sekundärquelle abgebildet.

Symbole der Primärquelle \longleftrightarrow Symbole der Sekundärquelle
Beispiele

- Realisierung
Kodewort := Gruppen von Elementarsymbolen



3.3 Übertragungst., Informationstheo., Kodierung und Modul.

3.3.3 Kodierung, Kodierung, Kodierung (3)

- Quellkodierung

- Realisierung

Typisch ist die Kodierung mittels binärer Elementarsymbole. Warum?

Außer im trivialen Fall von 2 Symbolen im Alphabet der Primärquelle benötigt die Sekundärquelle Kodeworte aus mehr als Elementarsymbol.

- Alphabet (Kode) mit Worten
- Alphabet (Kode) mit Worten
(mit Trennzeichen oder Präfixkode)

Beispiele

3.3 Übertragungst., Informationstheo., Kodierung und Modul.

3.3.3 Kodierung, Kodierung, Kodierung (4)

- Sicherheitskodierung: Überschneidungen mit der Kanalkodierung
→ deshalb beides hier kurz vorgestellt:

Sicherheitskodierung

- Schutz vor
 - Beeinflussung der Nachricht
 - (..... Beeinflussung der Nachricht)
 - Kenntnisnahme des Inhalts der Nachricht

Kanalkodierung

- Schutz vor
 - (..... Beeinflussung der Nachricht)
 - Beeinflussung der Nachricht

- Informationstheorie -
- Mathematik -

- Kryptographie -

kommt mehr aus der Datenwelt

kommt mehr von der
Untersuchung von Kanälen

3.3 Übertragungst., Informationstheo., Kodierung und Modul.

3.3.3 Kodierung, Kodierung, Kodierung (5)

- Sicherheitskodierung
 - Schutz der Datenvertraulichkeit (.....)
 - Nur berechtigte Empfänger sind in der Lage, den Inhalt der Daten zu lesen, d. h., die Information zu erkennen.
 - Schutz der Datenintegrität (.....)
 - Die Unversehrtheit der Daten kann garantiert werden.
 - Sicherung der Authentizität (.....)
 - Die Herkunft der Daten kann sicher erkannt werden.

(Beispiele)

3.3 Übertragungst., Informationstheo., Kodierung und Modul.

3.3.3 Kodierung, Kodierung, Kodierung (6)

- Im physikalischen Kanal werden die Signale mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit verfälscht. Das Empfangssignal ist nicht identisch zum Sendesignal.
- Mit der Kanalkodierung sollen Übertragungsfehler
 - werden (Error Detection Code) und
 - werden (Error Correction Code - ECC).

3.3 Übertragungst., Informationstheo., Kodierung und Modul.

3.3.3 Kodierung, Kodierung, Kodierung (7)

- Erkennung und / oder Korrektur sind nur möglich, wenn es in den zu sendenden Daten (im Kode) gibt, die bei der Dekodierung ausgenutzt werden können.
- → Abhängigkeiten → Bekanntes → Redundanz
Beim Hinzufügen von Redundanz muß H sinken

X: (Ersatz-) Quelle vor der Kanalkodierung

C: Kanalkode, Ersatzquelle nach der Kanalkodierung)

$$H(X) > H(C) \text{ ? oder } H_{0X} < H_{0C}$$

$$H(X) = P(x_1) \cdot I(x_1) + P(x_2) \cdot I(x_2) + \dots + P(x_N) \cdot I(x_N)$$

$$H(C) = P(c_1) \cdot I(c_1) + P(c_2) \cdot I(c_2) + \dots + P(c_N) \cdot I(c_N)$$

- Da die $P(x_i) = P(c_i)$ sind, müssen die $I(x_i) = I(c_i)$ sein! Lösung:
 - Anzahl der Elementarsymbole im Kodewort von X wird und / oder
 - Elementarsymbole mit werden verwendet.

3.3 Übertragungst., Informationstheo., Kodierung und Modul.

3.3.3 Kodierung, Kodierung, Kodierung (8)

- Kanalkodes:
 - klassisch: Blockcodes
 - neuer: Faltungskodes

Beispiel für Blockcode ist der (Parity Check):
Den Kodeworten von X mit der Länge M wird jeweils
ein Kodewort von C mit der Länge $N = M+1$ zugeordnet über die
Vorschrift:

$$c_j = x_j + \text{Paaritätsbit}$$

$$\text{Paaritätsbit} = \sum_{i=0}^{M-1} x_{j,i} \text{ mod } 2$$

(addiere alle Stellen des Wortes x_j modulo 2)

- lineare Blockcodes – Koderate und Redundanzzeichen (~Elementarsymbole)
Datenworte x mit M Elementarsymbolen
Kodeworte c mit N Elementarsymbolen
Anzahl Redundanzzeichen = $N - M$
Koderate = M / N (< 1)

3.3 Übertragungst., Informationstheo., Kodierung und Modul.

3.3.3 Kodierung, Kodierung, Kodierung (9)

- Modulorechnung
gilt für diverse Rechenarten (Addition, Multiplikation, Subtraktion, Division, ...)
(Beispiele)

- Addition von Kodewörtern: stellenweise Addition

c_1, c_2, c_3 : 3 Kodewörter mit N Stellen

$$c_{3,i} = c_{1,i} + c_{2,i} \quad \text{für alle } i=0 \text{ bis } N-1$$

- linearer Kode – Definition
lineare (z. B. Addition) von Kodewörtern ergibt Kodewort
- Vektordarstellung
Jedes Kodewort der Länge N entspricht einem Vektor F mit N Komponenten
→ alle möglichen binären Kodeworte der Länge N => (Menge) F_2^N

3.3 Übertragungst., Informationstheo., Kodierung und Modul.

3.3.3 Kodierung, Kodierung, Kodierung (10)

- Skalarprodukt

$$a, b \in \mathbf{F}_2^N$$

$$\langle a, b \rangle = \sum_{i=0}^{N-1} a_i \cdot b_i \text{ mod } 2$$

- Hamming-Metrik

(Metrik: „Zählung“, „Messung“, hier Festlegungen, um etwas meßbar, bewertbar zu machen)

- Hamming-Gewicht

Gewicht eines Vektors c ist die Anzahl der von 0 Elemente

$$wt(c) = \sum_{j=0}^{N-1} wt(c_j) \quad \text{mit} \quad wt(c_j) = \begin{cases} 0, & c_j = 0 \\ 1, & c_j \neq 0 \end{cases}$$

- Hamming-Distanz (.....)

$$dst(c_1, c_2) = \sum_{j=0}^{N-1} wt(c_{1,j} + c_{2,j}) \quad \text{mit} \quad wt(c_j) = \begin{cases} 0, & c_j = 0 \\ 1, & c_j \neq 0 \end{cases}$$

$$dst(c_1, c_2) = wt(c_1 + c_2)$$

3.3 Übertragungst., Informationstheo., Kodierung und Modul.

3.3.3 Kodierung, Kodierung, Kodierung (11)

- Hamming-Metrik (2)

- Gewichtsverteilung

$W=(w_0, w_1, w_2, \dots, w_N)$ eines Kodes der Länge N gibt an, wieviele Kodewörter w_j mit dem Gewicht j existieren.

$$W(X) = \sum_{j=0}^N w_j \cdot x^j \quad \text{Polynomdarstellung}$$

- Distanzverteilung

- Die Distanzverteilung sind die Hamming-Distanzen eines beliebigen Kodewortes zu allen anderen Kodeworten.
 - Die Distanzverteilung eines linearen Kodes ist gleich seiner

Beispiel Paariitätskode mit $N = 4$

- Mindestdistanz (Distanz eines Kodes) und Minimalgewicht

3.3 Übertragungst., Informationstheo., Kodierung und Modul.

3.3.3 Kodierung, Kodierung, Kodierung (12)

- Hamming-Metrik (3)
 - Mindestdistanz (Distanz eines Kodes) und Minimalgewicht

$$d = \min_{\substack{a, c \in \mathbf{C} \\ a \neq c}} \{dist(a, c)\}$$

- für lineare Kodes:

Mindestdistanz = minimales Gewicht

$$d = \min_{\substack{a, c \in \mathbf{C} \\ a \neq c}} \{dist(a, c)\} = \min_{\substack{a, c \in \mathbf{C} \\ a \neq c}} \{wt(a+c)\} = \min_{\substack{c \in \mathbf{C} \\ c \neq 0}} \{wt(c)\}$$

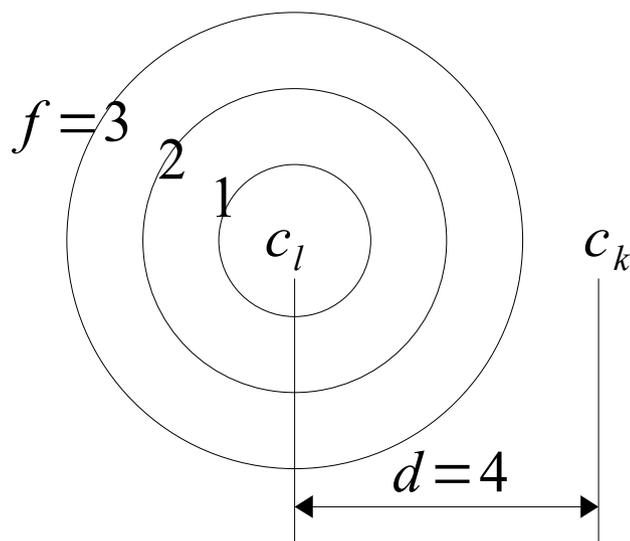
da Gewichtsverteilung = Distanzverteilung
sind auch die Minima gleich

- Ziel ist die Konstruktion von Kodes mit bestimmter Distanz,
die Konstruktion nach ist aber leichter.

3.3 Übertragungst., Informationstheo., Kodierung und Modul.

3.3.3 Kodierung, Kodierung, Kodierung (13)

- Hamming-Metrik (4)
 - Fehlererkennbarkeit
 - Beispielhafte Darstellung der Hamming-Metrik in einer Ebene (nur Modell!)
 - Vektor des Kodewortes bestimmt einen in der Ebene.
 - Abstand zwischen den ergibt sich aus der Hamming-Distanz.
 - Hier werden jetzt nur die beiden mit der geringsten Distanz betrachtet (c_l und c_k).



$$c_l, c_k \in \mathcal{C}$$

Menge der Vektoren F – alle Punkte

f ist Anzahl der Fehler im empfangenen Kodewort. f ist die Distanz des fehlerfreien Kodeworts zum fehlerbehafteten.

Erkennung aller $f < d$

3.3 Übertragungst., Informationstheo., Kodierung und Modul.

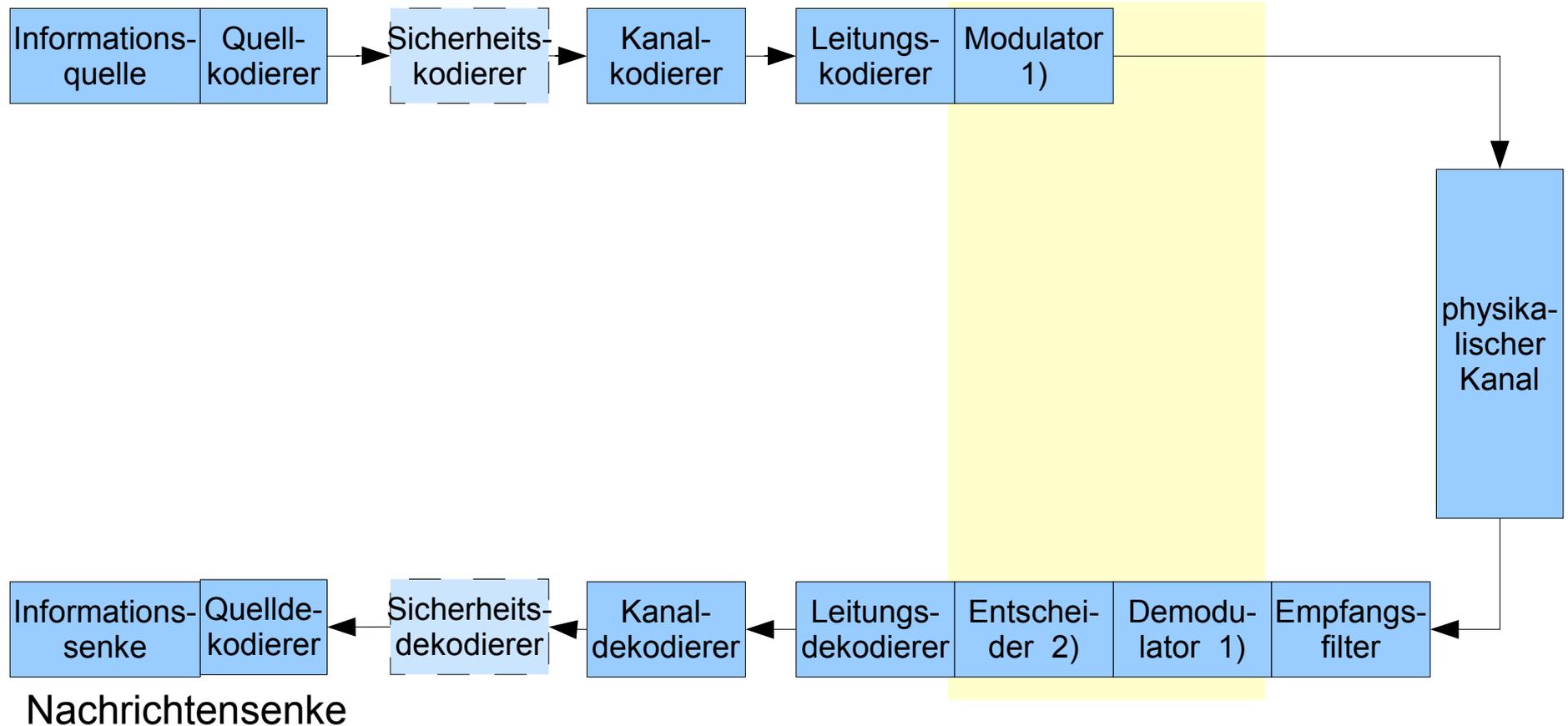
3.3.3 Kodierung, Kodierung, Kodierung (13)

- Leitungskodierung
 - Anpassung an physikalische Eigenschaften des Übertragungskanal, der „Leitung“
 - Zuordnung von Symbolen zu physikalischen Werten
- Beispiele
- siehe dazu auch „Modulation“

3.3 Übertragungst., Informationstheo., Kodierung und Modul.

3.3.4 Modulation

Nachrichtenquelle



- 1) klassisch nur bei Passbandübertragung, hier immer
- 2) bei digitalen Signalen, fallweise mit 1) gekoppelt

3.3 Übertragungst., Informationstheo., Kodierung und Modul.

3.3.4 Modulation (2)

Modulation

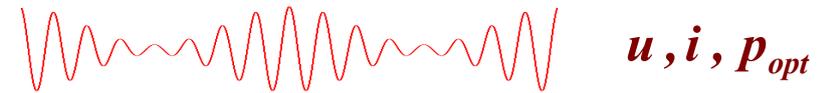
Basisband

Passband

Daten aufge-
prägt auf

Gleichgröße^{*)}

Wechselgröße^{*)}
(Wechselgrößen)



- * Gleichgröße: eine physikalische Größe ohne zeitliche Änderung; kann eine Gleichspannung oder ein Gleichstrom sein,
- * Wechselgröße: eine physikalische Größe mit periodischer zeitlicher Änderung und konstanter Amplitude; kann eine Wechselspannung oder ein Wechselstrom sein
 - * Sonderrolle spielt Licht

3.3 Übertragungst., Informationstheo., Kodierung und Modul.

3.3.4 Modulation (3)

- Bei der Basisbandübertragung werden die Daten einer physikalischen Gleichgröße ^{*)} aufgeprägt. Das ursprüngliche Frequenzspektrum wird dabei nicht verändert (Basisbandübertragung). Optional kann durch eine Leitungskodierung eine Formung des Frequenzspektrums erfolgen. Es erfolgt keine Verschiebung in einen völlig anderen Frequenzbereich.

Beispiele (Pegel)

- Bei der Passbandübertragung werden die Daten einer (oder mehreren) Trägerschwingung/(en) ^{*)} aufgeprägt. Dabei wird das Frequenzspektrum des ursprünglichen Datensignals in einen anderen umgesetzt.

Beispiele (Intensität, Amplitude, Frequenz, Phase)

^{*)} - siehe Fußnote zuvor

3.3 Übertragungst., Informationstheo., Kodierung und Modul.

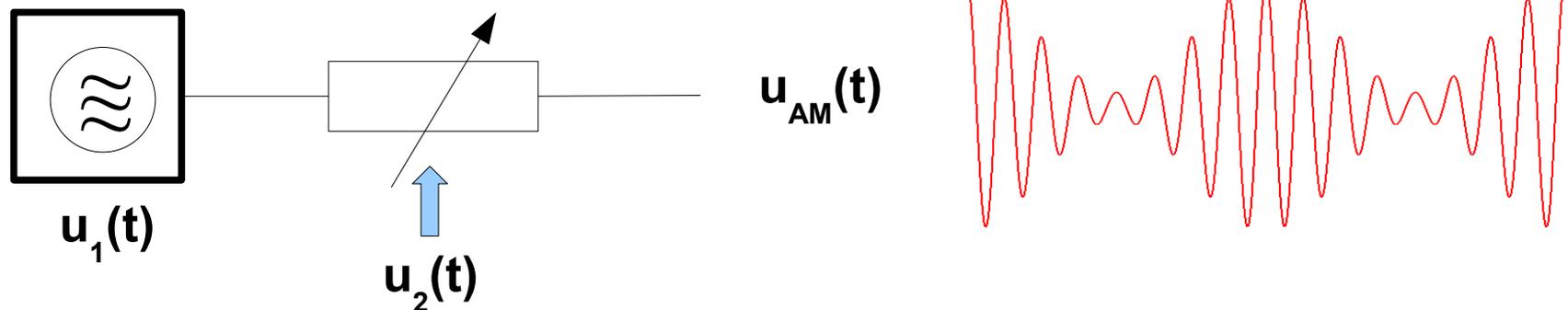
3.3.4 Modulation (4)

- Basisbandverfahren
 - Leitungskodierung
 - spektrale Formung
 - bestimmte physikalisch-technische Eigenschaften
 - Modulation
 - Zuordnung von Gleichsignalen zu den Daten

3.3 Übertragungst., Informationstheo., Kodierung und Modul.

3.3.4 Modulation (5)

- Amplitudenmodulation
 - Dürfte das älteste Verfahren sein (z. B. das Ein- und Ausschalten einer Wechselspannung zur Informationsübertragung, auch das Aufprägen eines Tonsignals)
 - Ausgangsprinzip – Quelle harmonischer Schwingung, Amplitude der Schwingung wird beeinflusst



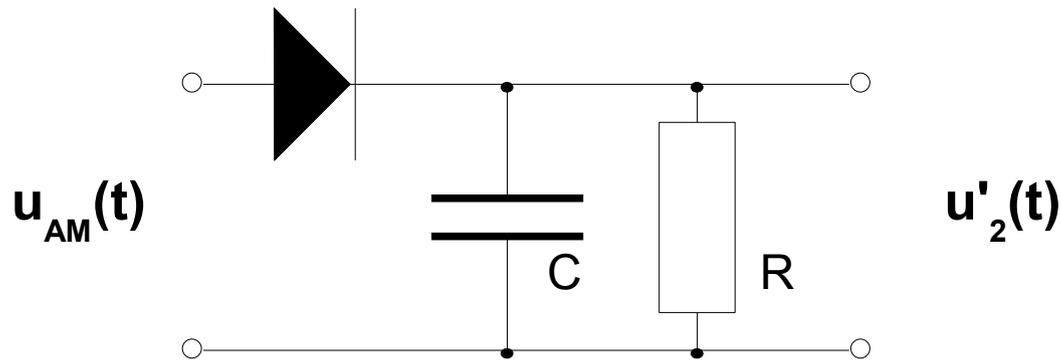
bei $u_2(t)=0$ ist $u_1 = u_{1\max}/2$ (Begründung)

3.3 Übertragungst., Informationstheo., Kodierung und Modul.

3.3.4 Modulation (6)

- Amplitudenmodulation (2) – Demodulation

AM ist am einfachsten zu demodulieren.



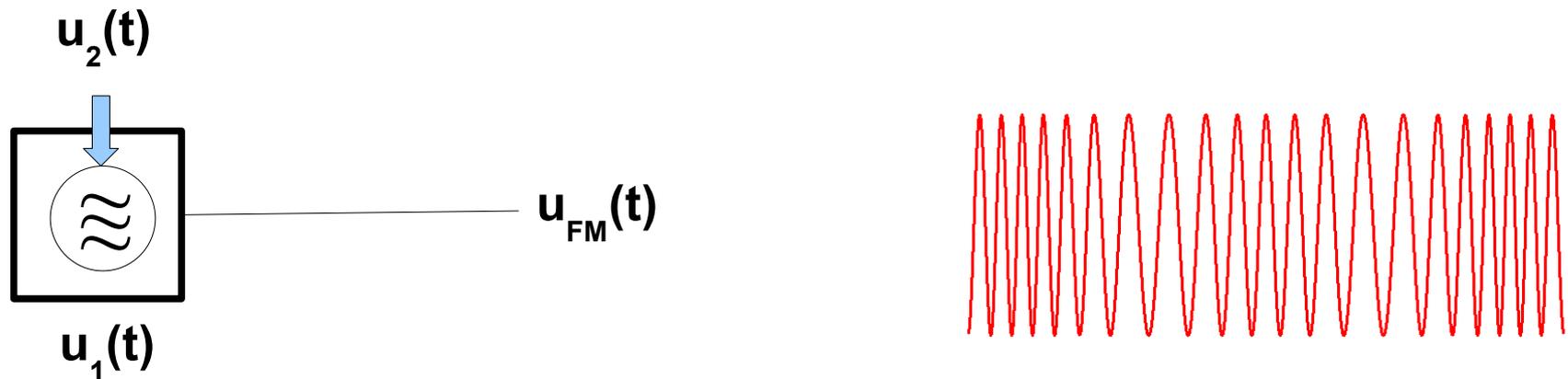
(Diskussion der Schaltung)

(Simulation der Schaltung)

3.3 Übertragungst., Informationstheo., Kodierung und Modul.

3.3.4 Modulation (7)

- Frequenzmodulation, Phasenmodulation
 - jünger als die Amplitudenmodulation, aber auch schon recht „alt“
 - Ausgangsprinzip – Quelle harmonischer Schwingung, Frequenz dieser Schwingung wird beeinflusst

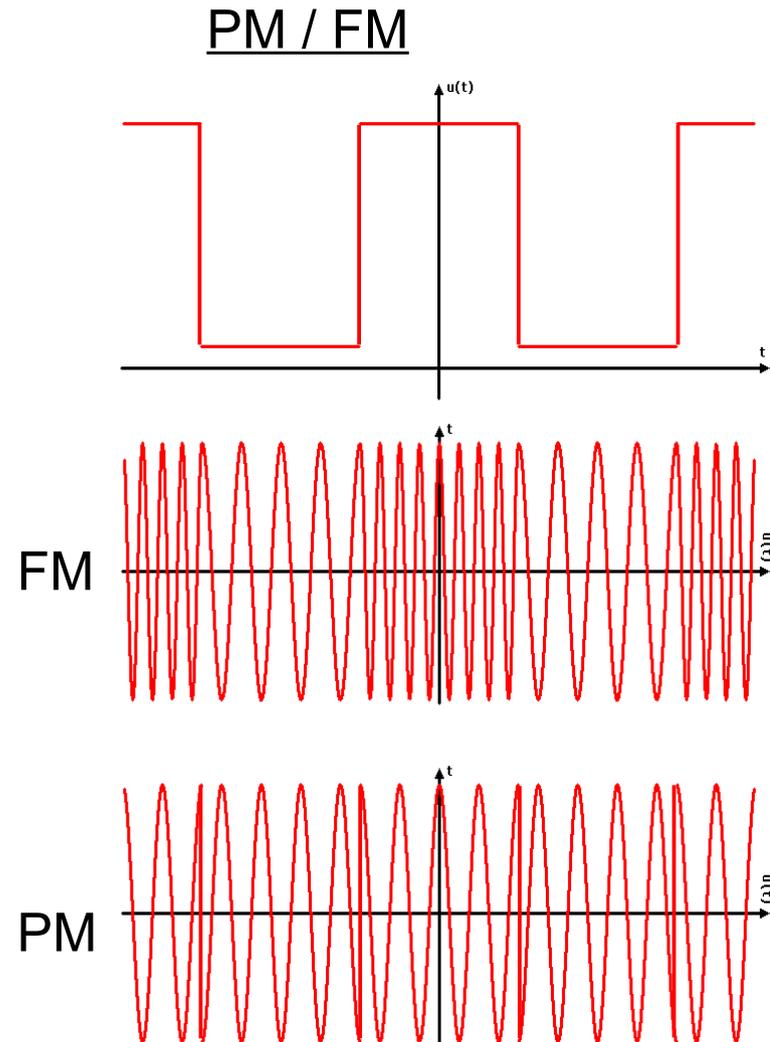
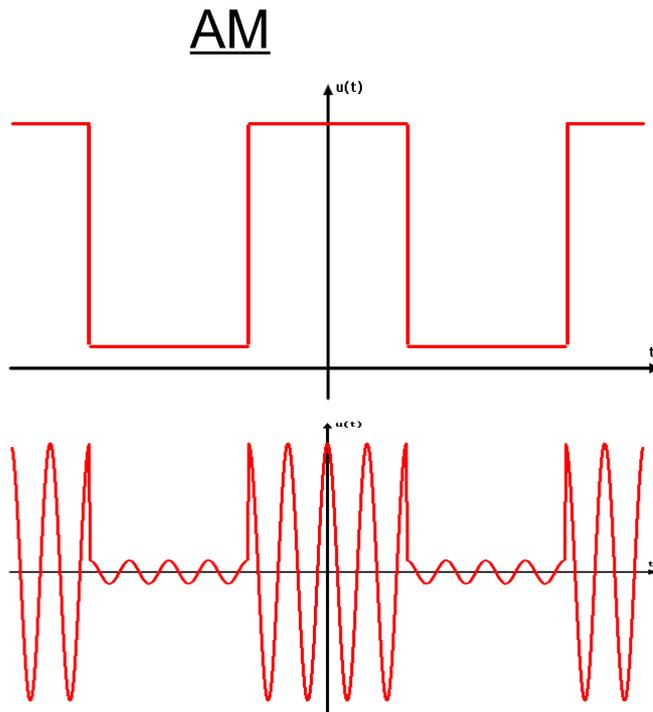


- Frequenz- und Phasenmodulation
Verallgemeinerung dieser Modulation, es existiert ein Zusammenhang zwischen Phase und Frequenz (z. B. Interpretation einer zeitweiligen Frequenzänderung als ständig zu- / abnehmende).

3.3 Übertragungst., Informationstheo., Kodierung und Modul.

3.3.4 Modulation (8)

- Übergang zu digitalen Signalen – binäre Signale



(Diskussion)

3.3 Übertragungst., Informationstheo., Kodierung und Modul.

3.3.4 Modulation (9)

- Übergang zu digitalen Signalen – 2- und mehrstufige Signale

AM

störanfällig, zumindest bei einfacher Dekodierung

ASK

PM / FM

weniger störanfällig (Amplitude geht weniger ein)

FM für Flanken (hohe Frequenzanteile)
weniger geeignet

FSK

PM spielt große Rolle

PSK

- z. B. BPSK - binary PSK
- QPSK - quaternary PSK
- 4-PSK - PSK für 4 Symbole
- 8-PSK - PSK für 8 Symbole
- 16-PSK - ... (usw.)

3.3 Übertragungst., Informationstheo., Kodierung und Modul.

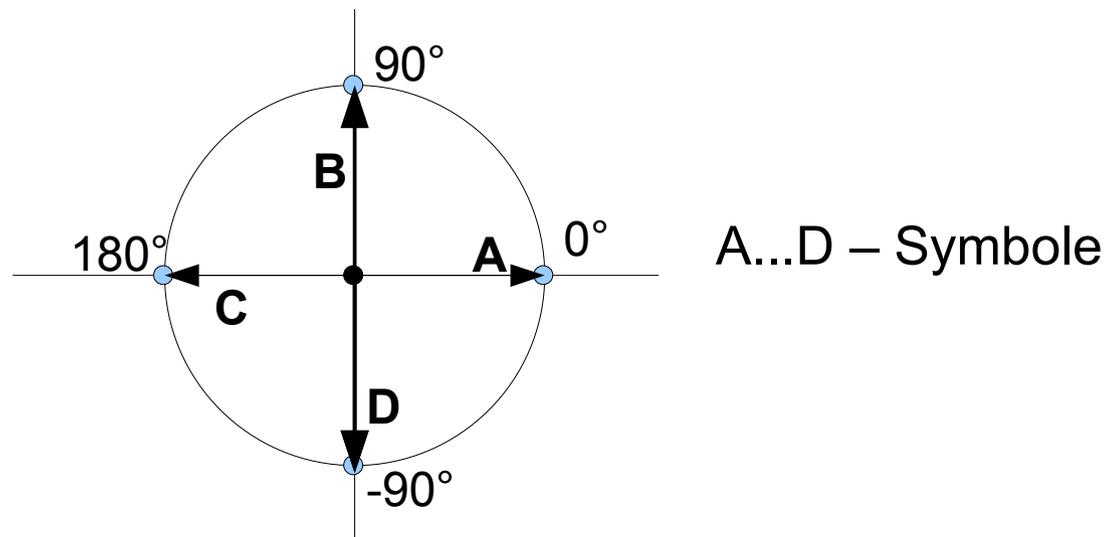
3.3.4 Modulation (10)

- digitale Signale – PSK

Darstellungsform:

harmonischer Vorgang und Phaseninformation → Zeigerdarstellung

Bspl. QPSK



Jeder Zeiger repräsentiert eine harmonische Schwingung mit der Frequenz ω und der jeweiligen Phasenlage zum Zeitpunkt $\omega t = 2 \pi$.

3 „Unsere Teildisziplinen“

3.4 Signal- und Systemtheorie - Eine Theorie für die Praxis

3.4.1 Signale im Zeit- und Frequenzbereich

3.4.2 Signale und Systeme

3.4 Signal- und Systemtheorie

3.4.1 Signale im Zeit- und Frequenzbereich

- Signale existieren im Zeitbereich!

anspruchsvolle Themen:

- Finden einer mathematischen Beschreibung!
(Beispiele)
- (weiter unten bei den Systemen)

3.4 Signal- und Systemtheorie

3.4.1 Signale im Zeit- und Frequenzbereich (2)

- Zerlegung von Vorgängen im Zeitbereich
 - periodische Vorgänge, Zerlegung nach Fourier

$$f(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \underline{c}_n \cdot (jn\omega_0) \cdot e^{jn\omega_0 t}$$

$$f(t) = c_0$$

Mittelwert

$$+ \underline{c}_1 \cdot e^{j\omega_0 t} + \underline{c}_{-1} \cdot e^{-j\omega_0 t}$$

Grundwellenpaar

$$+ \underline{c}_2 \cdot e^{j2\omega_0 t} + \underline{c}_{-2} \cdot e^{-j2\omega_0 t}$$

Paar d. zweiten Harmonischen

$$+ \dots$$

- Verallgemeinerung auf aperiodische Vorgänge

3.4 Signal- und Systemtheorie

3.4.1 Signale im Zeit- und Frequenzbereich (3)

- Elementar“funktionen“:
 - Einheitsstoß $\delta(t)$
 - Konstante
 - Einheitssprung
 - (linearer Anstieg)
 - Sinus, Kosinus

3.4 Signal- und Systemtheorie

3.4.1 Signale und Systeme

- Signale existieren im Zeitbereich!



- Finden einer mathematischen Beschreibung!
(Beispiele)
- Berechnung

Einführung in die Nachrichtentechnik

4 Einige Hilfsmittel – bitte auffrischen

4.1 Pegelrechnung – Logarithmus

4.2 Frequenz- und Zeitbereich – Fouriertransformation

4.3 Symbolische Rechnung – komplexe Zahlen

4.4 Rauschen – Stochastik

4.5 Elektrische und magnetische Felder

4.1 Pegelrechnung - Logarithmus

- relativer Pegel
 - Spannung, Strom Leistung

- absoluter Pegel – ist

- Logarithmus Rechenregeln und Anwendung in der NaT

4.2 Frequenz- und Zeitbereich - Fouriertransformation

- siehe 3.4
- - positive und negative Frequenz
 - Amplitudenwerte
 - Linienspektrum, Dichtespektrum

4.3 Symbolische Rechnung – komplexe Zahlen

- Zeiger, stehen für
- Zeiger, dargestellt als

- komplexe Zahl
 - algebraische Form, kartesische Form, (arithmetische Form)

 - Polarform, (geometrische Form) – speziell Exponentialform

4.4 Rauschen - Stochastik

- Zufallsgrößen, nichtdeterminierte Größen
- Rauschen
- Beschreibung
 - Wahrscheinlichkeiten
 - Auftretenswahrscheinlichkeiten
 - Verteilung
 - Histogramm
 - Integral der Wahrscheinlichkeitsverteilung
 - Gaußscher Prozess

4.5 Elektrische und magnetische Felder

- Elektrische Spannung – elektrische Feldstärke
elektrischer Strom
elektrischer Widerstand
- Magnetische Feldstärke
magnetische Flussdichte
magnetischer Widerstand