

Kapitel 1: Einführung und Motivation

Wichtigste Quellen:

- Dirk Hoffmann: Einführung in die Informations- und Codierungstheorie bzw. der zugehörigen Vorlesung
http://www.dirkwhoffmann.de/ICT/slides/MM_Einfuehrung.pdf
- Bildquelle: Nachrichtentechnische Sammlung der RWTH Aachen
<http://sammlung.ient.rwth-aachen.de/>

Kommunikationstechnik – Was ist das?



- Techniken zur **effizienten** und **fehlerfreien** Übertragung von Information von einer Quelle über einen gestörten (geteilten) Kommunikationskanal zu einer Senke

DIE GESCHICHTE DER KOMMUNIKATION



6000
v. Chr.

Trommeln

In Afrika waren Trommeln ein gängiger Kommunikationsweg

Trommel-Nachrichten werden bis zu **160 Kilometer** pro Stunde schnell

Kurierdienst

Die Ägypter erfanden den ersten Kurierdienst - damals noch für Schriftrollen

2400
v. Chr.



500-550
v. Chr.

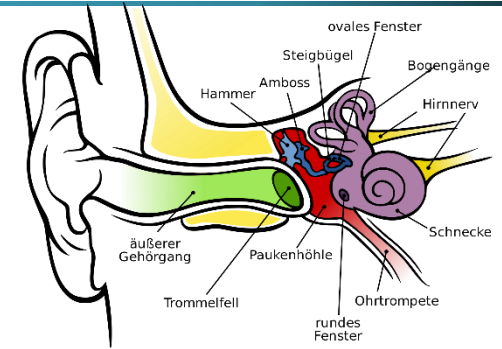
Postsystem

Ursprünglich aus Persien

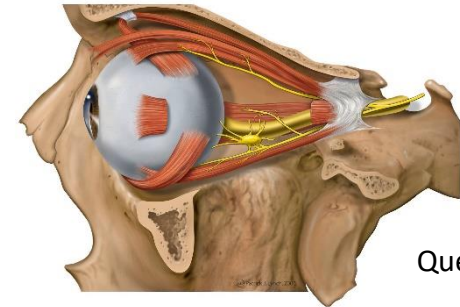


40 Kilometer "Sieg!" Für diese Nachricht rannte Pheidippides über 40 Kilometer von Marathon nach Athen.
Mehr als **500**

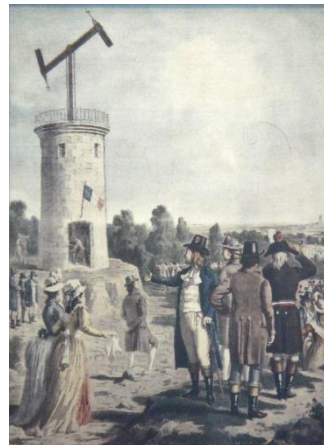
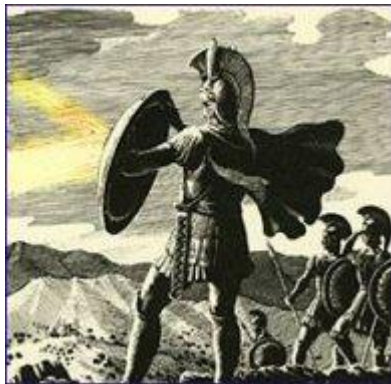
Historische Quellen und Senken



Quelle: Wikipedia



Quelle: Wikipedia



Quelle: Wikipedia



<http://www.connected-earth.com>

<http://debyclark.blogspot.de/2013/02/the-heliograph-vintage-solar.html>

Frühe Verschlüsselungstechniken



Klaus Stüttmann, "Der Tagesspiegel"

- Synchronotelegraf des Aineias



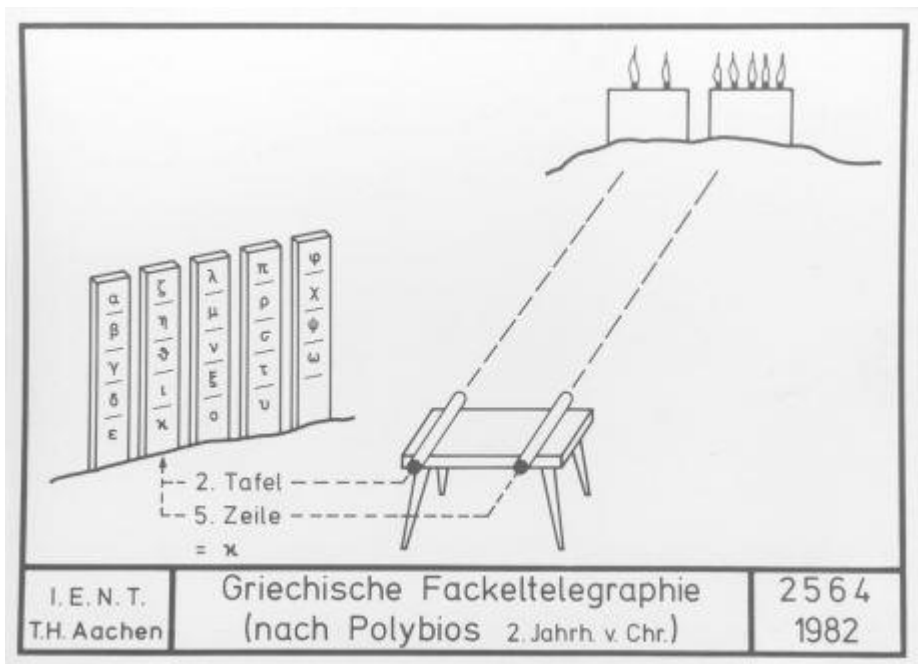
Nachrichten

[Aineias] sagt, dass sich diejenigen, die wichtige Nachrichten mit Hilfe von Feuerzeichen austauschen wollen, tönerner Gefäße beschaffen sollen, deren Durchmesser und Höhe auf das Genaueste gleich sein sollen, [...]. Wenn dies geschehen ist, sollen beide Gefäße sorgfältig angebohrt werden, so dass kleine Ausflüsse entstehen, durch die [Wasser] gleich schnell abfließen kann.

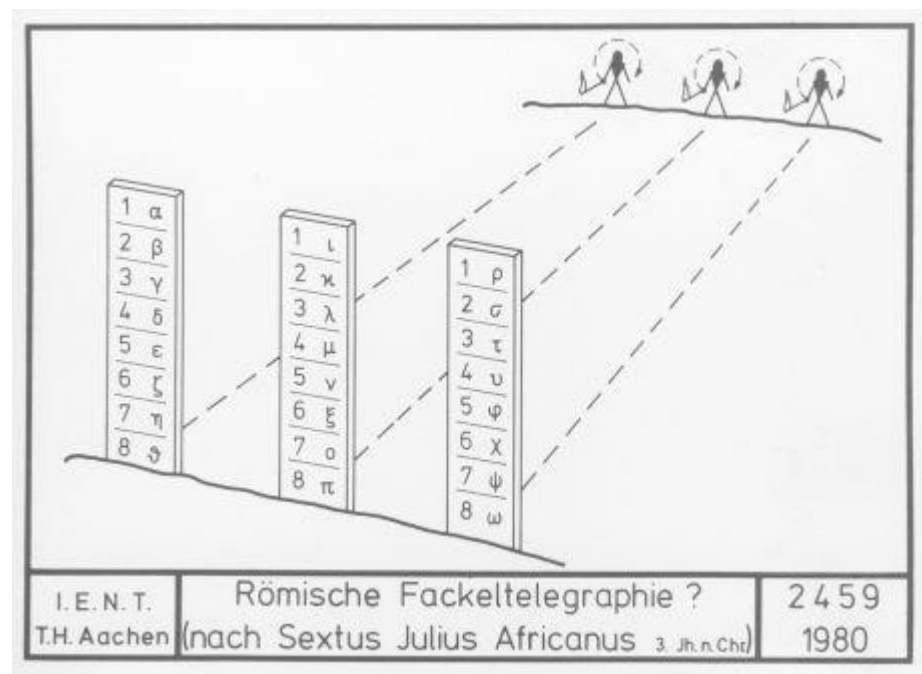
<http://manivoice.gr>

Codierungen

- Codierung von Zeichen (Buchstaben)
 - Drei „Telegraphisten“ und Tafeln
 - Buchstabe auf Tafel durch Anzahl der Fackelbewegungen



- Codierung von Zeichen (Buchstaben)
 - Zeile und Spalte durch Anzahl Fackeln



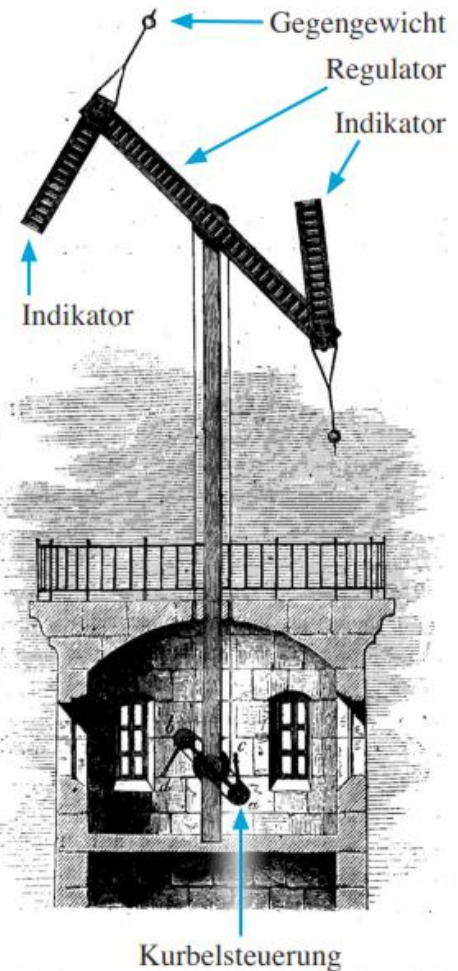
Quelle: Nachrichtentechnische Sammlung, RWTH Aachen

Codierung - Semaphoren-Telegraf in Frankreich (Claude Chappe)

- Codierung
 - erst über Wörterbücher, dann zeichenweise

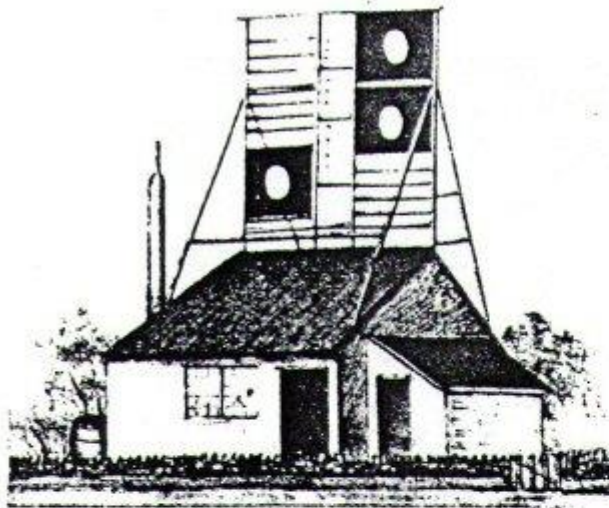


Telegrafennetz um 1805



Quelle: Dirk Hoffman, Einführung in die Informations- und Codierungstheorie

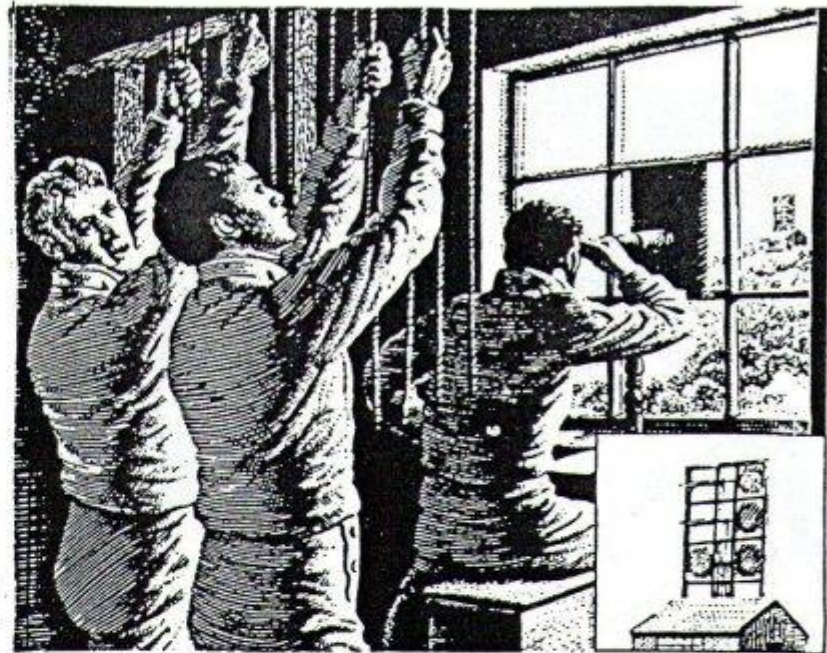
Codierung – Optischer Klappen-Telegraf in England (Lord Murray)



OLD TELEGRAPH STATION AT HIGH STOY

SIGNALS IN USE AT THE ABOVE STATION.

High Stoy with revised code. 1806.



Shutter Telegraph, showing 13 (fourth man is out of picture).

Above and below :

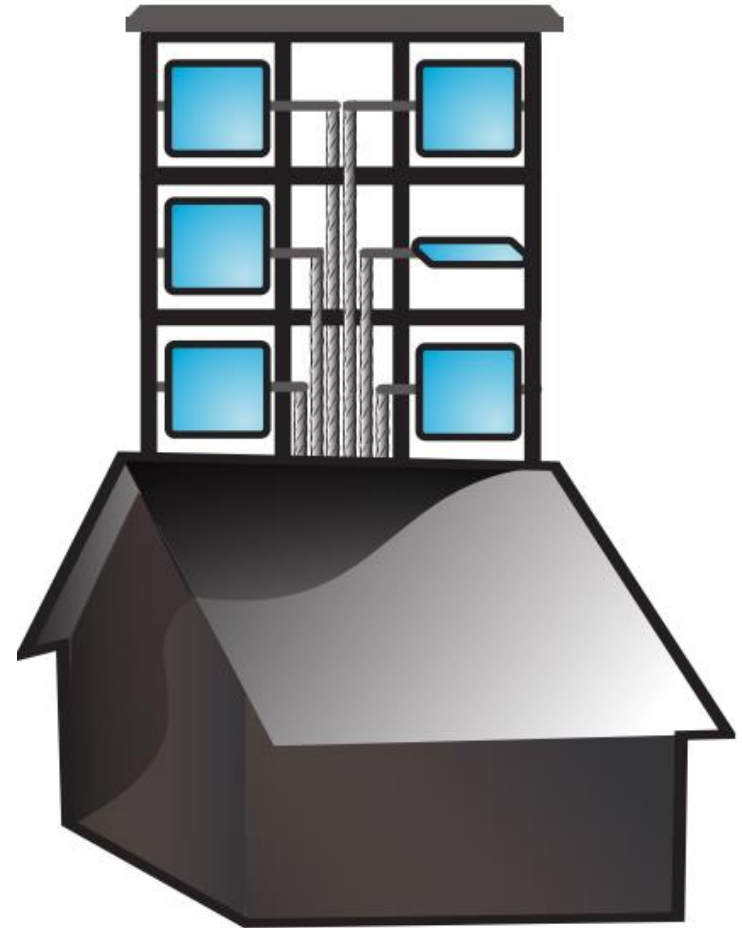
Illustration from a Cable and
Wireless Advertisement.

Four men, two glass men, two on ropes

Codierung – Optischer Klappen-Telegraf in England (Lord Murray)

- Codierung (6 Bits)

A	B	C	D	E	F	G	H
I	K	L	M	N	O	P	Q
R	S	T	V	W	X	Y	Z



Quelle: Dirk Hoffman, Einführung in die Informations- und Codierungstheorie

Codierung – Optischer Telegraf in Preußen

Der Telegraph.



Berlin am 15. März. „Eine Emeute ist ausgebrochen. In 24 Stunden wird der Plebs zur Ruhe gebracht sein.“



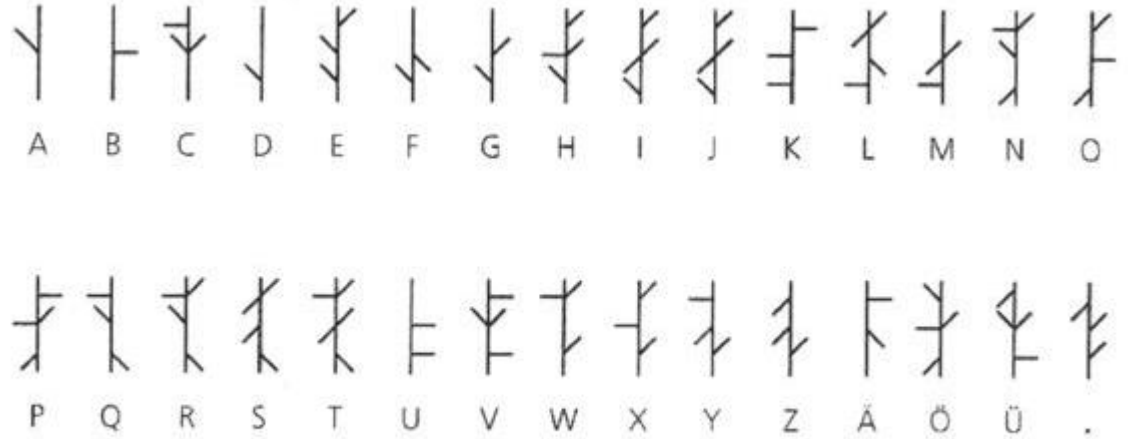
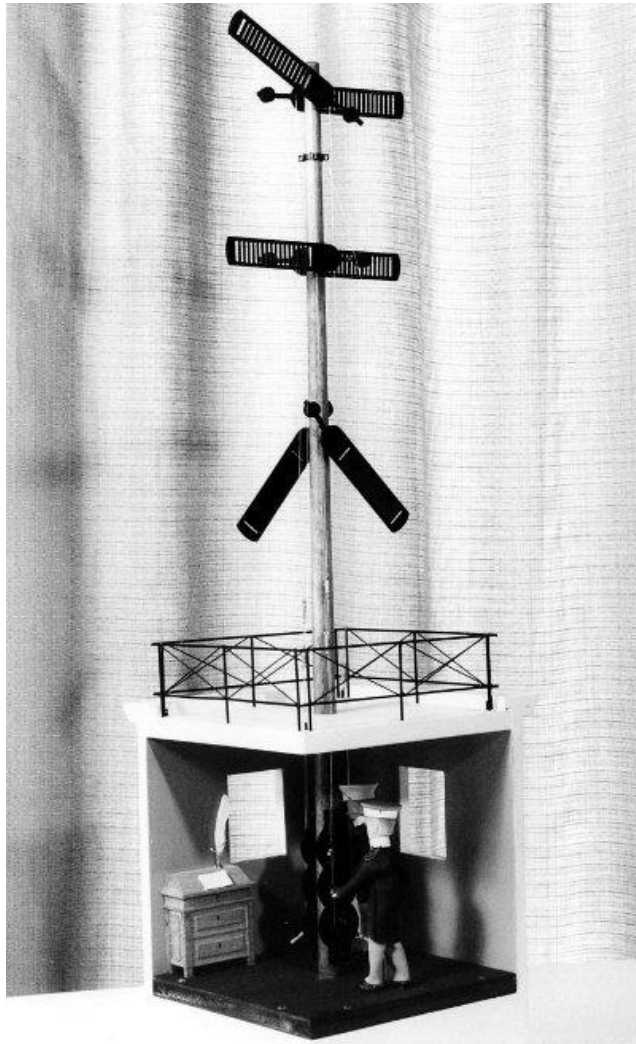
Berlin am 16. März. „Der Plebs will sich noch immer nicht in die Ordnung fügen.“



Berlin am 17. März. „Eine Deputation des Cölnischen Stadtrathes ist eingetroffen, welche Forderungen überbringt, und im Weigerungsfall mit dem Abfall der Rhein = Provinz droht.“

Quelle: wikipedia

Codierung – Optischer Telegraf in Preußen

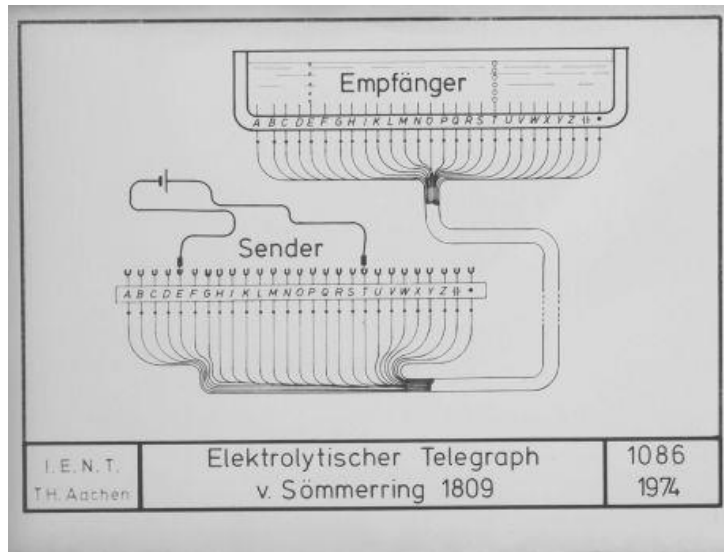
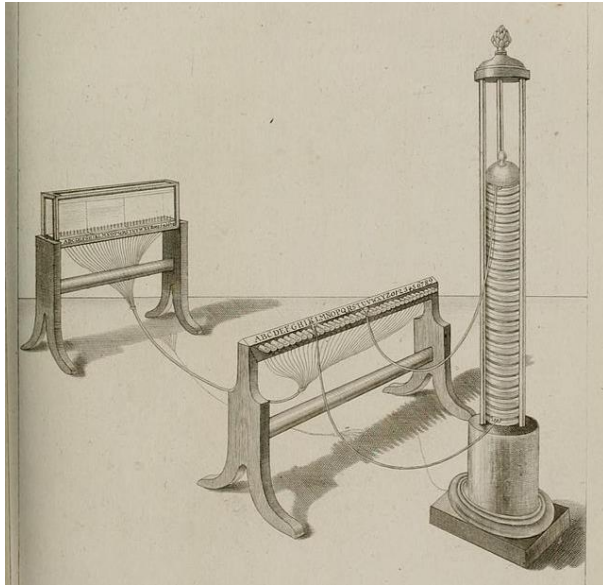


in Köln Fittard

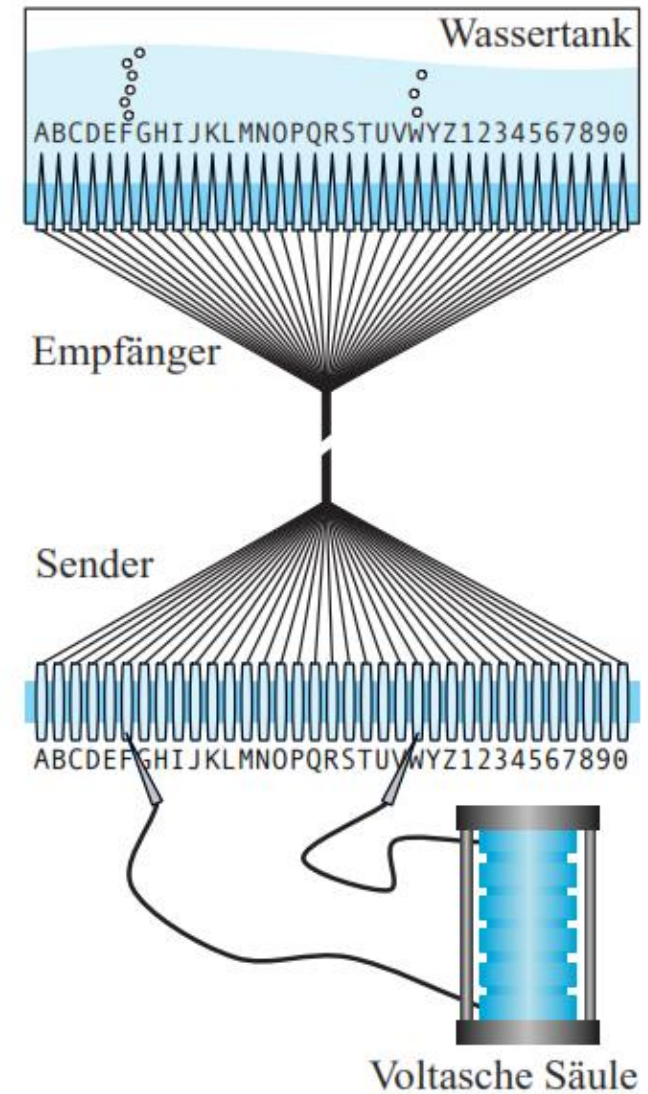
Quelle: Nachrichtentechnische Sammlung, RWTH Aachen

Quelle: wikipedia

Elektrische Leitung – Volta und Soemmerring

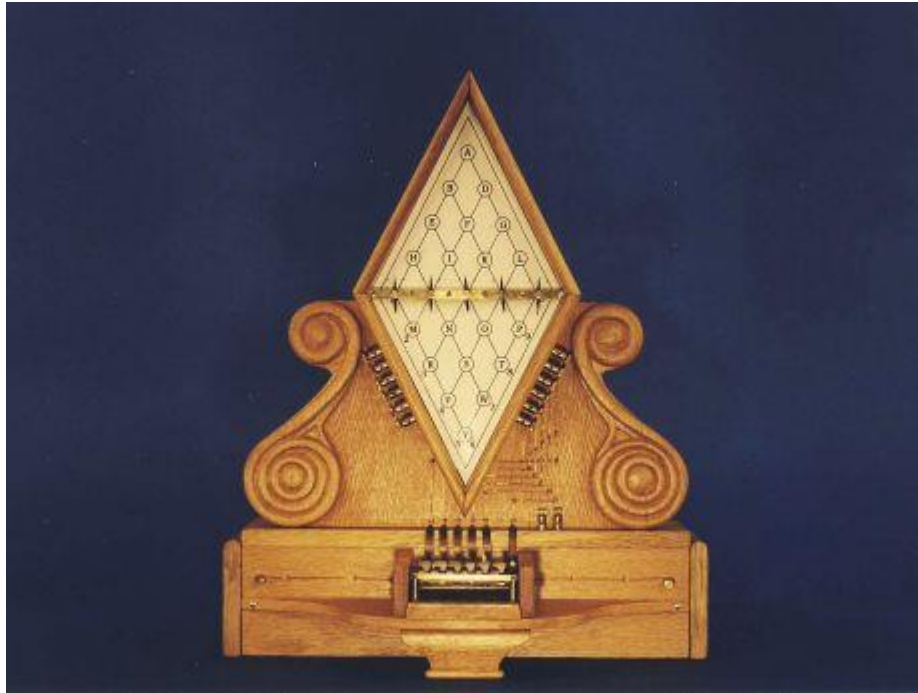


Quelle: Nachrichtentechnische Sammlung, RWTH Aachen



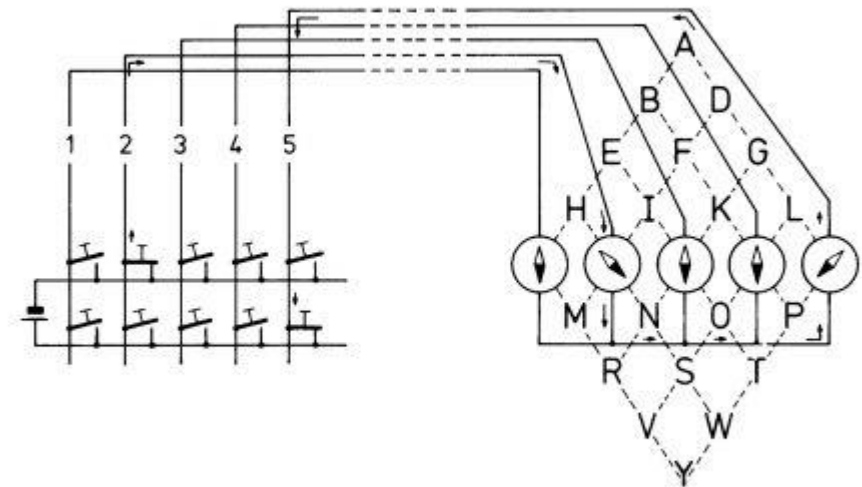
Quelle: Dirk Hoffman, Einführung in die Informations- und Codierungstheorie

Codierung – 5-Nadel-Telegraf (Cooke und Wheatstone)



Quelle: Nachrichtentechnische Sammlung, RWTH Aachen

- Codierung
 - Ansteuerung von 5 magnetischen Nadeln
 - Stellung der Nadeln codiert 20 Buchstaben
 - 5 ternäre Symbole

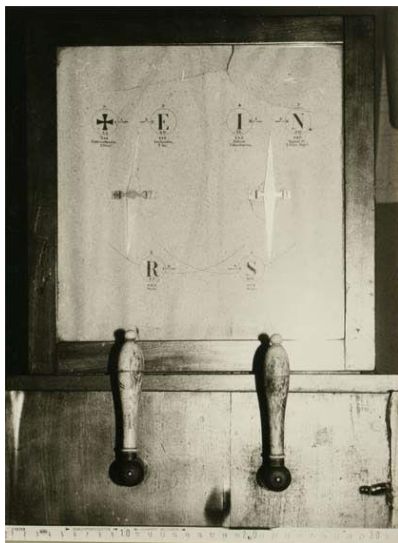


Codierung – Zeiger- und Nadeltelegrafen

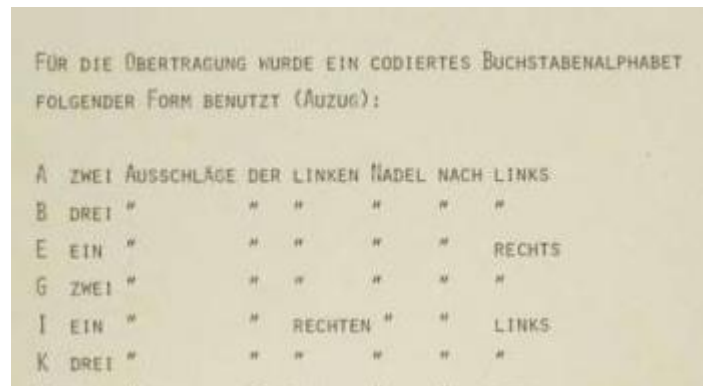


**Aachener
Eisenbahntelegraf
(Zeigertelegraf, 1843)**

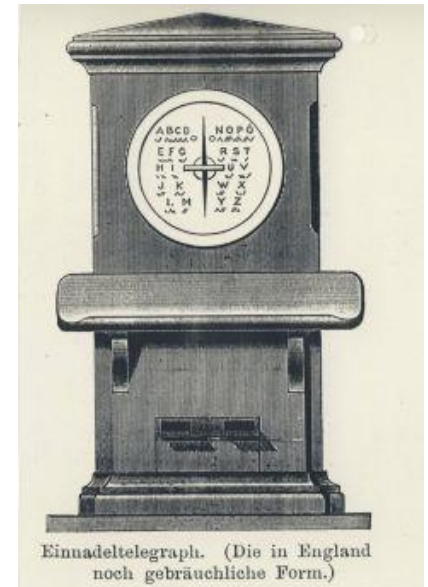
Quelle: Nachrichtentechnische Sammlung, RWTH Aachen



Doppelnadeltelegraf (1844)



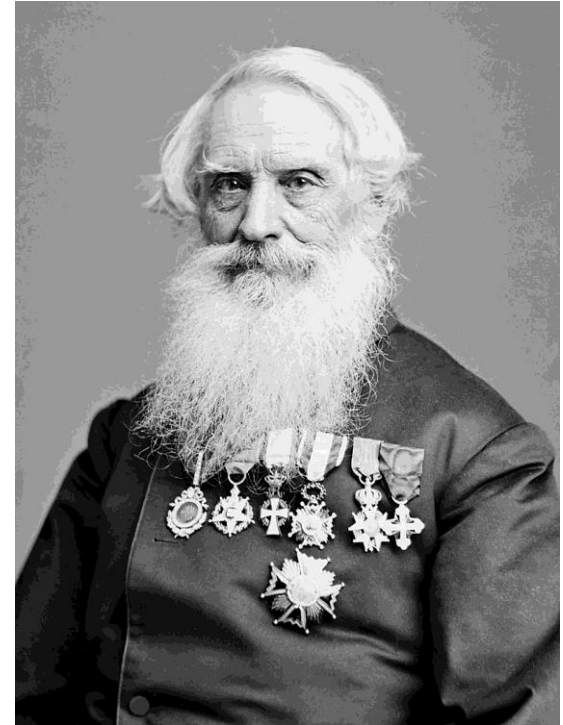
**Einnadeltelegraf
(Wheatstone, 1845)**



**Zeigertelegraf
(Siemens, 1847)**



- Samuel Finley Bresse Morse
 - Professor für Malerei
 - 1829 verlässt Morse die USA für eine dreijährige Arbeitsreise nach Europa
 - Chappe-Telegraf
 - 1832 erfolgt die Rückfahrt
 - Charles T. Jackson unterrichtet Morse über die neuesten Erkenntnisse auf dem Gebiet der Elektrizität
 - Morse hat die Idee zum elektrischen Telegrafen

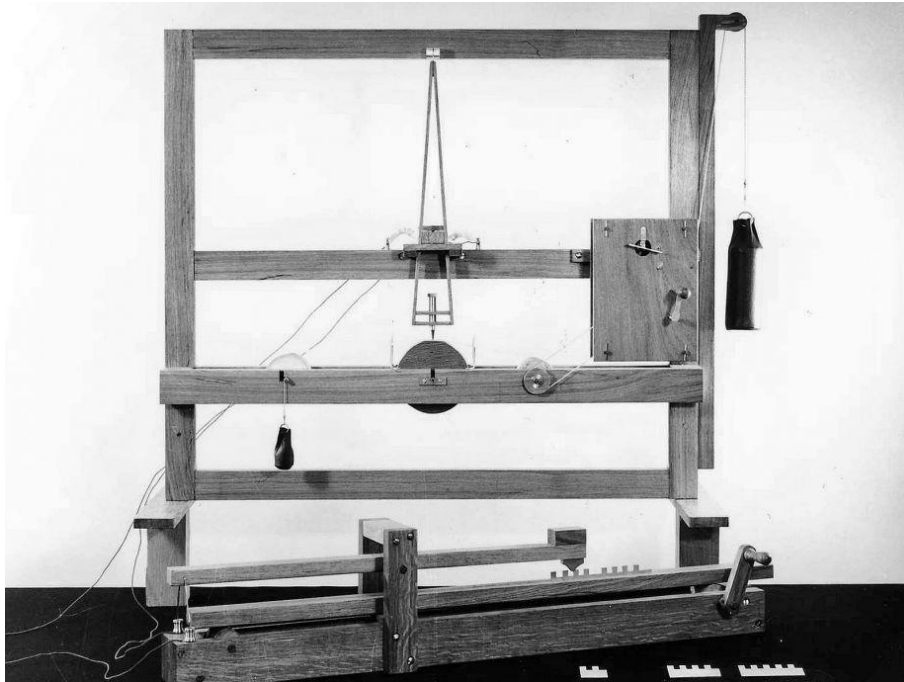


Samuel F. B. Morse
(1791 - 1872)

„If this be so, and the presence of electricity can be made visible in any desired part of the circuit, I see no reason why intelligence might not be instantaneously transmitted by electricity to any distance.“

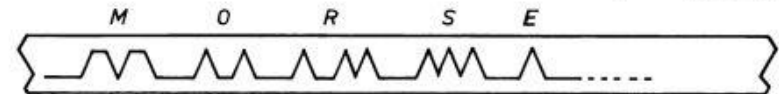
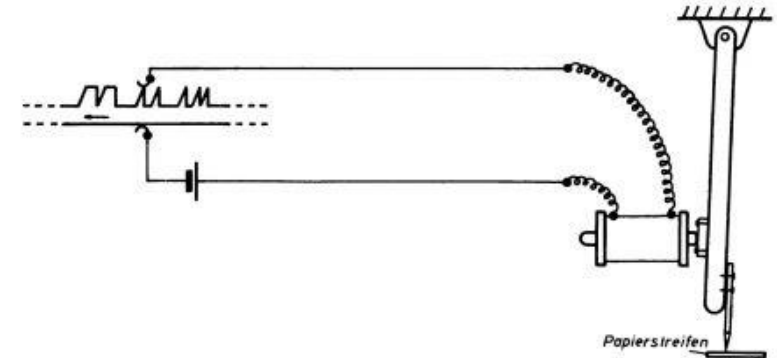
Codierung - Morse-Telegraf

- Morse Telegraf (1837):
 - automatisches Aufzeichnen der Nachricht auf Papier
 - Dekodierung von Zahlen als Anzahl „Zacken“



Quelle: Nachrichtentechnische Sammlung, RWTH Aachen

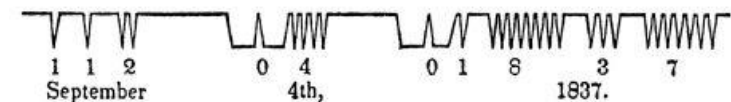
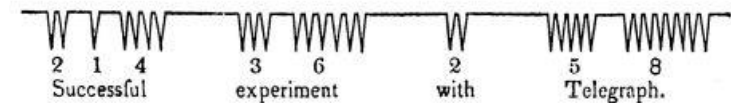
Funktionsprinzip des Schreibtelegraphen von Morse



Übertragungssignal: kurze und lange Stromstöße

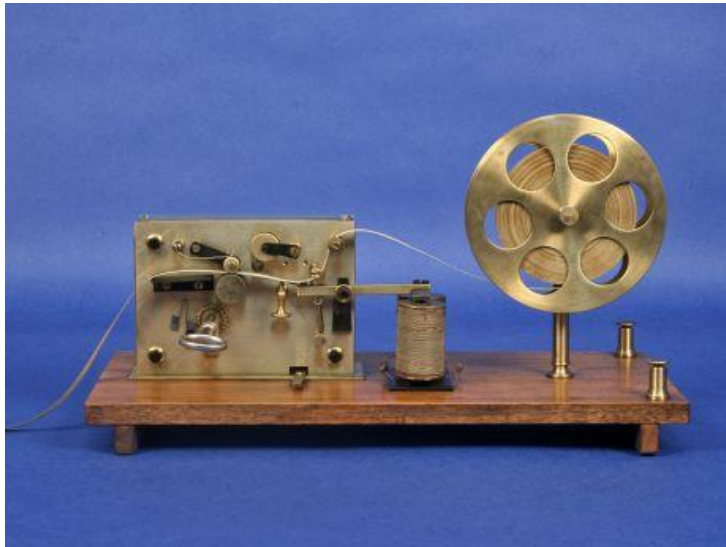
Empfangszeichen: Kombinationen von kurzen u. langen Schriftzacken

Specimen of Telegraphic writing made by means of electricity at the distance of one third of a mile.



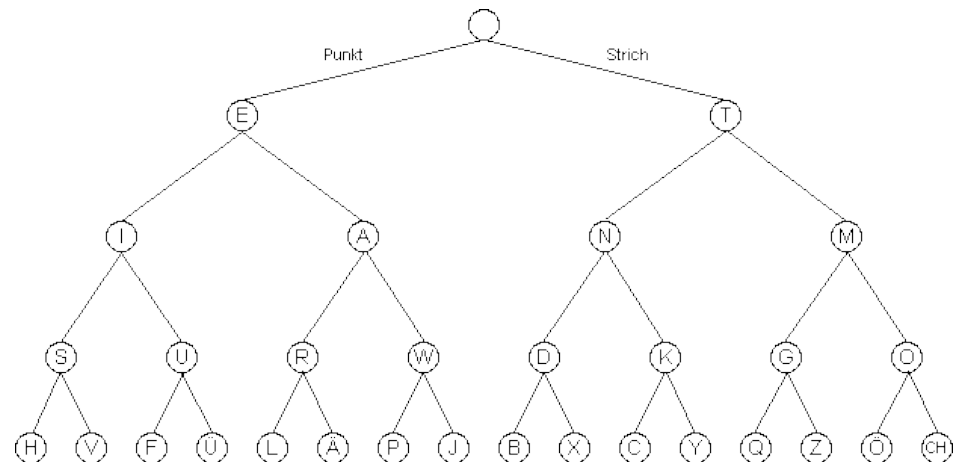
Codierung – Morse

- Morse Schreibtelegraf (1856)
- Morse-Alphabet

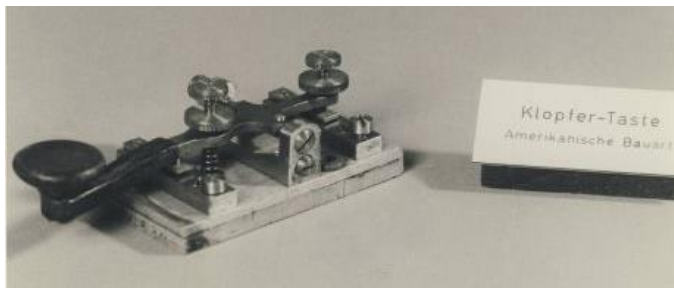


A ● -	J ● - - -	S ● ● ●
B - ● ● ●	K - ● -	T -
C - ● - ●	L ● - ● ●	U ● ● -
D - ● ●	M - -	V ● ● ● -
E ●	N - ●	W ● - -
F ● ● - ●	O - - -	X - ● ● -
G - - ●	P ● - - ●	Y - ● - -
H ● ● ● ●	Q - - ● -	Z - - ● ●
I ● ●	R ● - ●	

- Quellcodierung



- Morse-Taste (Klopfer)



Quelle: Nachrichtentechnische Sammlung, RWTH Aachen

Kabel – Landkabel und Seekabel

- 1846: Guttapercha-Verfahren zur Isolierung von Kabeln (Siemens)
- 1847: Telegraphen Bau-Anstalt von Siemens & Halske

Landkabel



Seekabel



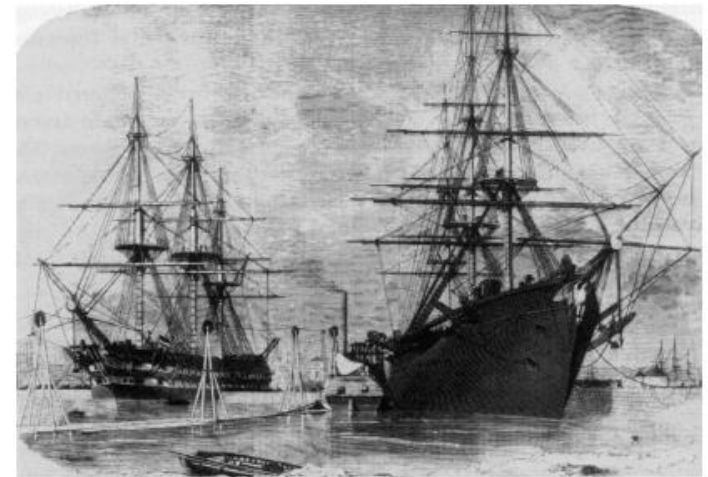
Quelle: Nachrichtentechnische Sammlung, RWTH Aachen

Kabel - Transatlantik

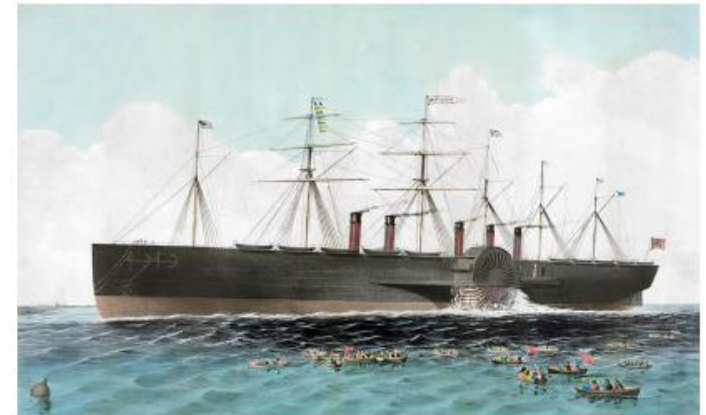
- Erste Mission 1857
 - nach 330 Seemeilen reist das Kabel
- Zweite Mission 1858
 - erfolgreiche Verlegung
 - Pleite in der Nutzung
 - „Repeat please“
- Dritte Mission 1865
 - Great Eastern
 - Kabel reißt
- Vierte Mission 1866
 - Erfolg
 - Kabel von 1865 geborgen
 - Europa und Amerika langfristig telegrafisch verbunden



Cyrus W. Field
(1818 - 1892)



H.M.S. Agamemnon U.S.S. Niagara



Great Eastern

Quelle: Dirk Hoffman, Einführung in die Informations- und Codierungstheorie

- Duplex-Telegraf
 - gleichzeitige Nutzung der Leitung in beide Richtungen
 - Patent: Joseph Stearns, 1872
- Quadruplex-Telegraf
 - Thomas Alva Edison
 - Zwei Morse-Datenströme pro Richtung
 - ein Datenstrom bewirkt die Änderung der Signalstärke
 - der andere die Richtung des Stromflusses
- Harmonischer Telegraf
 - Idee von Graham Bell:
 - parallele Übertragung von Morse-Datenströmen auf unterschiedlichen Frequenzen
 - über Stimmgabeln Wechselstromquellen mit unterschiedlicher Frequenz erzeugen und mit Morse-Datenströmen überlagern
 - nie realisiert

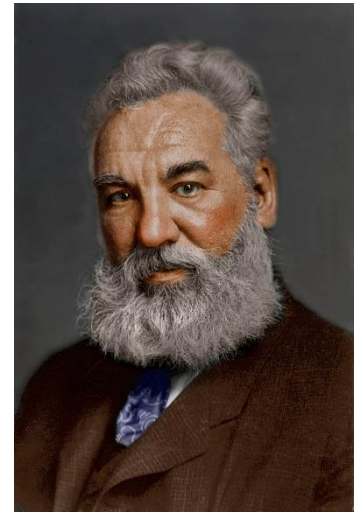
Eine neue Quelle: Sprache - Telefon

- Graham Bell

- macht bei der Forschung an einem harmonischen Telegrafen eine Entdeckung
 - Apparat ist für die Übertragung von primitiven Tönen ausgelegt
 - empfangen werden komplexe Tonsignale
- Bell erkennt, dass der Apparat zu mehr imstande ist

„If I can get a mechanism which will make a current of electricity vary in its intensity as the air varies in density when a sound is passing through it, I can telegraph any sound, even the sound of speech.“

- Juni 1865: Ziel rückt in erreichbare Nähe
 - wiedererkennbare Übertragung von Geräuschen
 - „Gallows Telephone“ (1876)
 - „Watson, come here“



Quelle: <http://www.antiquetelephonehistory.com/>

- Elisha Gray
 - forscht auch am harmonischen Telegraphen
 - ähnlich Entdeckung wie Bell
- Zwei Patentanträge
 - „Electric Telegraph for Transmitting Musical Tones“
 - Beschreibung eines harmonischen Telegraphen
 - „Transmitting Vocal Sounds Telegraphically“

*„To all whom it may concern: Be it known that I, Elisha Gray, of Chicago, in the County of Cook, and State of Illinois, have invented a new art of transmitting vocal sounds telegraphically, of which the following is a specification:
It is the object of my invention to transmit the tones of the human voice through a telegraphic circuit, and reproduce them at the receiving end of the line, so that actual conversations can be carried on by persons at long distances apart.“*



- Bell und Gray reichen Patente ein
 - Gray beschreibt einen funktionierendes Gerät
 - Bell hat noch kein funktionierendes Gerät, aber eine Idee
 - Bell ist zwei Stunden früher ...

James Clerk Maxwell

- formuliert 1865 Maxwell'sche Gleichungen
- postuliert Existenz elektromagnetischer Wellen



(1831 - 1879)

Heinrich Hertz

- gelingt 1886 der experimentelle Beweis
- an die Idee eines drahtlosen Telegrafen denkt zunächst niemand



(1857 - 1894)

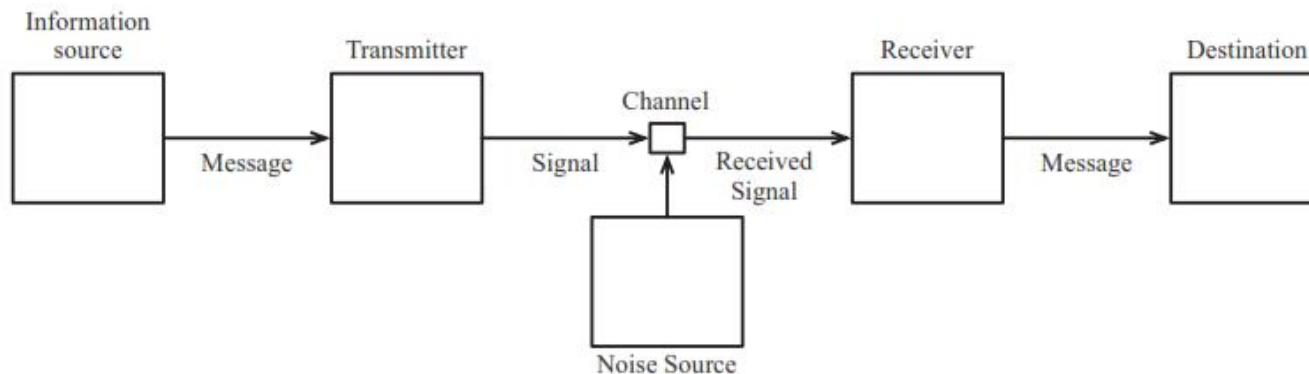
Guglielmo Marconi

- liest 1894 eine Biographie von Hertz
- erkennt das Potenzial seiner Erfindung für die Nachrichtentechnik
- meldet seine Erfindung 1896 zum Patent an
- 1901 gelang der erste transatlantische Funkempfang



(1874 - 1937)

- Claude Shannon
 - publiziert 1948 eine wegweisende Arbeit
 - A Mathematical Theory of Computation
 - Allgemeines Kommunikationsmodell



Claude Shannon
(1916 - 2001)

- das Bit wird zur Einheit von Information
 - Informationsbegriff wird mathematisch fassbar
 - nicht mehr an bestimmtes Übertragungsmedium gebunden
 - Erkenntnisse sind von universeller Natur

Das Shannon'sche Kommunikationsmodell

A Mathematical Theory of Communication

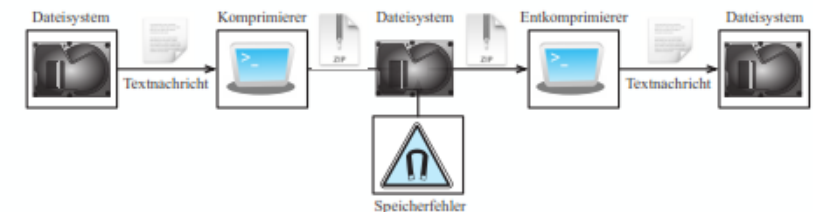
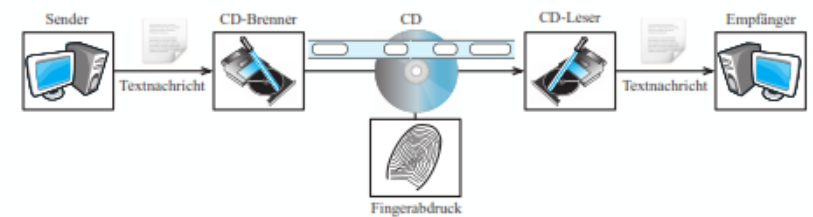
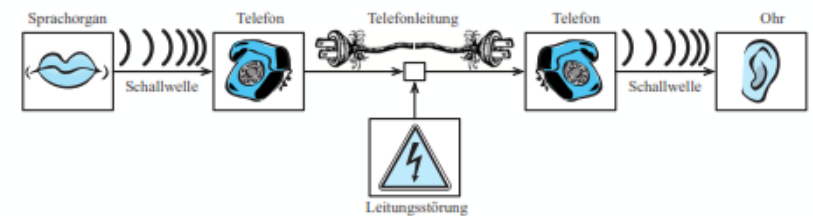
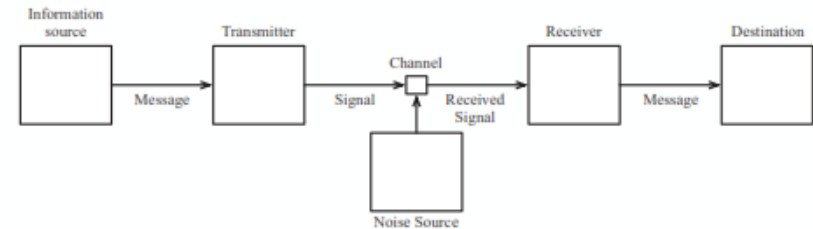
By C. E. SHANNON

INTRODUCTION

THE recent development of various methods of modulation such as PCM and PPM which exchange bandwidth for signal-to-noise ratio has intensified the interest in a general theory of communication. A basis for such a theory is contained in the important papers of Nyquist¹ and Hartley² on this subject. In the present paper we will extend the theory to include a number of new factors, in particular the effect of noise in the channel, and the savings possible due to the statistical structure of the original message and due to the nature of the final destination of the information.

The fundamental problem of communication is that of reproducing at one point either exactly or approximately a message selected at another point. Frequently the messages have *meaning*; that is they refer to or are correlated according to some system with certain physical or conceptual entities. These semantic aspects of communication are irrelevant to the engineering problem. The significant aspect is that the actual message is one *selected from a set* of possible messages. The system must be designed to operate for each possible selection, not just the one which will actually be chosen since this is unknown at the time of design.

Published in THE BELL SYSTEM TECHNICAL JOURNAL
Vol. 27, pp. 379-423, 623-656, July, October, 1948
Copyright 1948 by AMERICAN TELEPHONE AND TELEGRAPH CO.
Printed in U. S. A.



Quelle: Dirk Hoffman, Einführung in die Informations- und Codierungstheorie

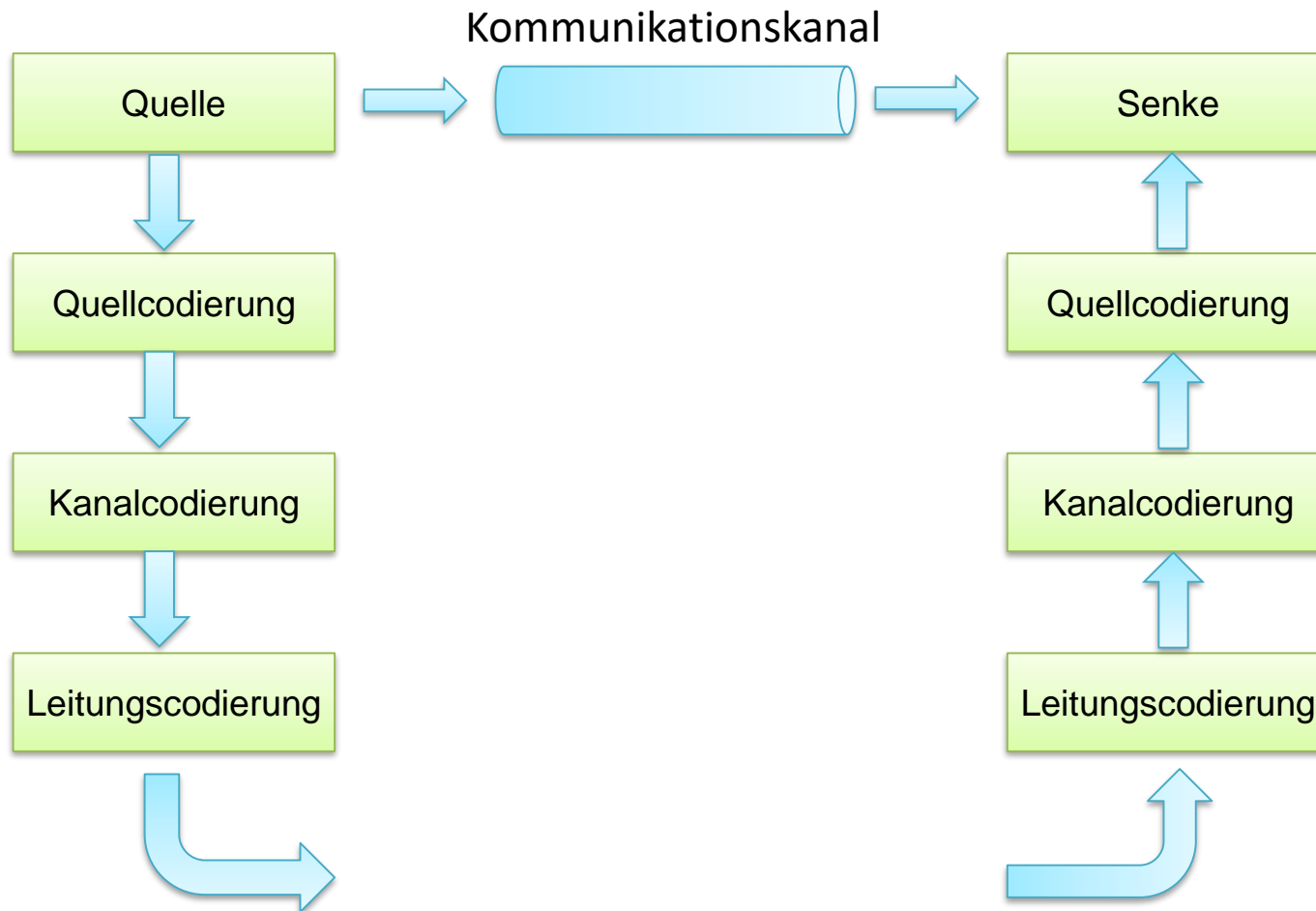
- Fragestellungen
 - Wie lässt sich der Informationsgehalt einer Nachricht messen?
 - Lassen sich Nachrichten beliebig verdichten?
 - Falls nein, wo befindet sich das theoretische Minimum?
 - Wie lassen sich Nachrichten über rauschbehaftete (gestörte) Kanäle senden?
 - Lassen sich Nachrichten stets fehlerfrei übertragen?
 - Falls nein, wie weit lässt sich die Fehlerwahrscheinlichkeit senken?
- Antworten von Shannon
 - Quellencodierungstheorem (source coding theorem)
 - Informationsgehalt, Entropie
 - erlaubt Rückschlüsse auf die Grenzen der Datenkompression
 - Kanalcodierungstheorem (noisy channel theorem)
 - Kanalkapazität

Kommunikationstechnik – Was ist das?



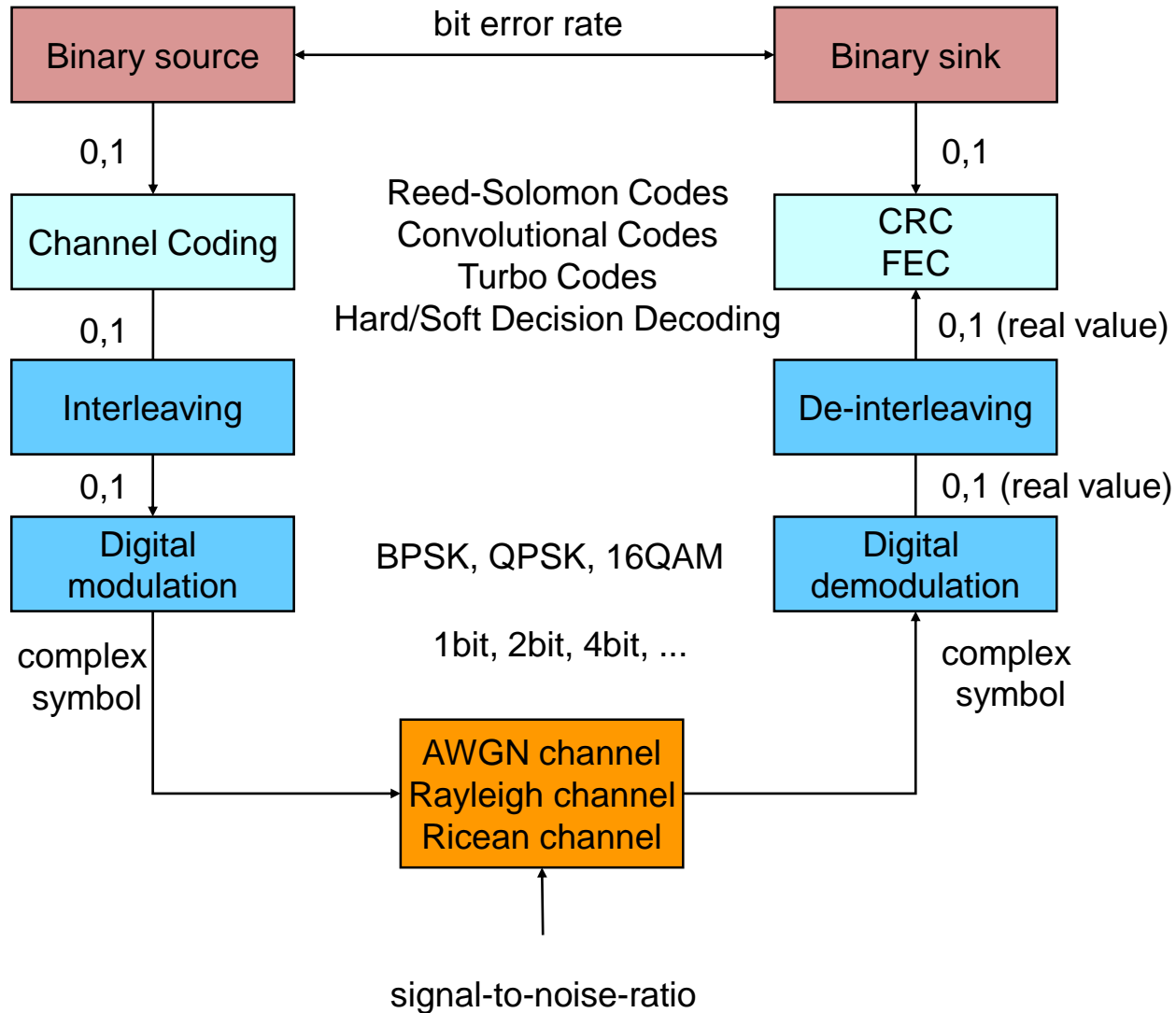
- Quelle/Senke:
 - analog: Sprache, Messwerte, Steuersignale
 - digital: Sprache, Multimedia, Daten, Nachrichten, Messwerte, Steuersignale
 - Übertragung: analog, **digital**
- Kanal:
 - analog
 - leitungsgebunden: elektrisch, optisch
 - drahtlos: Funk, Infrarot, Visible Daylight

Kommunikationstechnik – Was ist das?

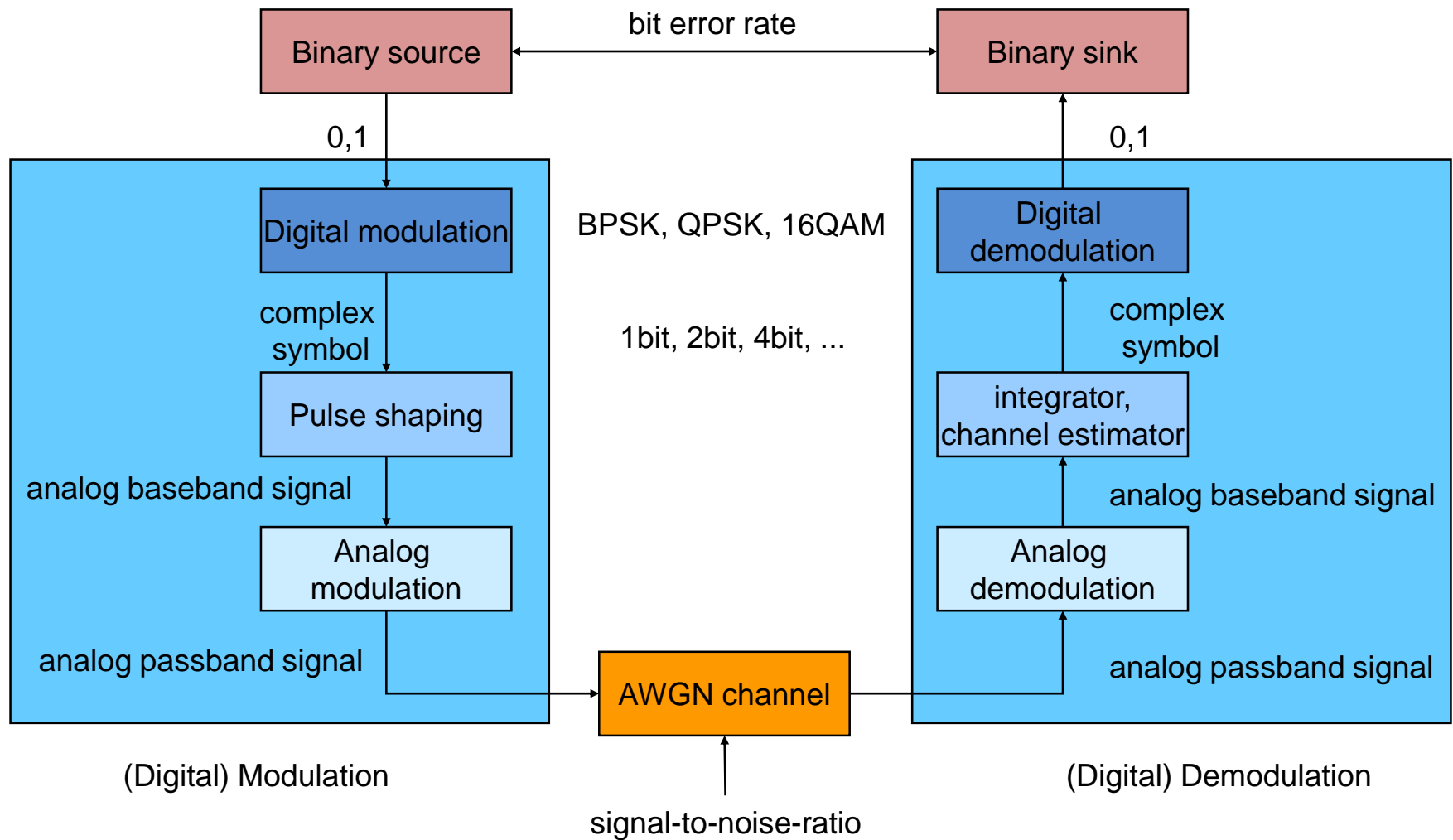


- Quellcodierung
 - Information dicht packen
 - Maximieren der Information pro Bit, Eliminieren von redundanter Information
 - Beispiel: MP3, MPEG, ZIP
 - Inhalt: Informationstheorie und einfache Codierungsalgorithmen
- Kanalcodierung
 - Fehlerfreie Übertragung von Information über einen fehlerbehafteten Kommunikationskanal
 - Hinzufügen von nützlicher Redundanz
 - Grundlage für Fehlererkennung und –korrektur
 - Beispiele: Cyclic Redundancy Check (CRC), Faltungscodes, Turbo-Codes, ...
 - Inhalt: Prinzip und Beispiele für Codes zur Fehlererkennung und –korrektur
- Leitungscodierung
 - Darstellen von binärer Information in Form von Signalen, die über den Kommunikationskanal übertragen werden können
 - Inhalt: drahtgebundene (Bus) und drahtlose Übertragung

Funkübertragung



Digitale Modulation



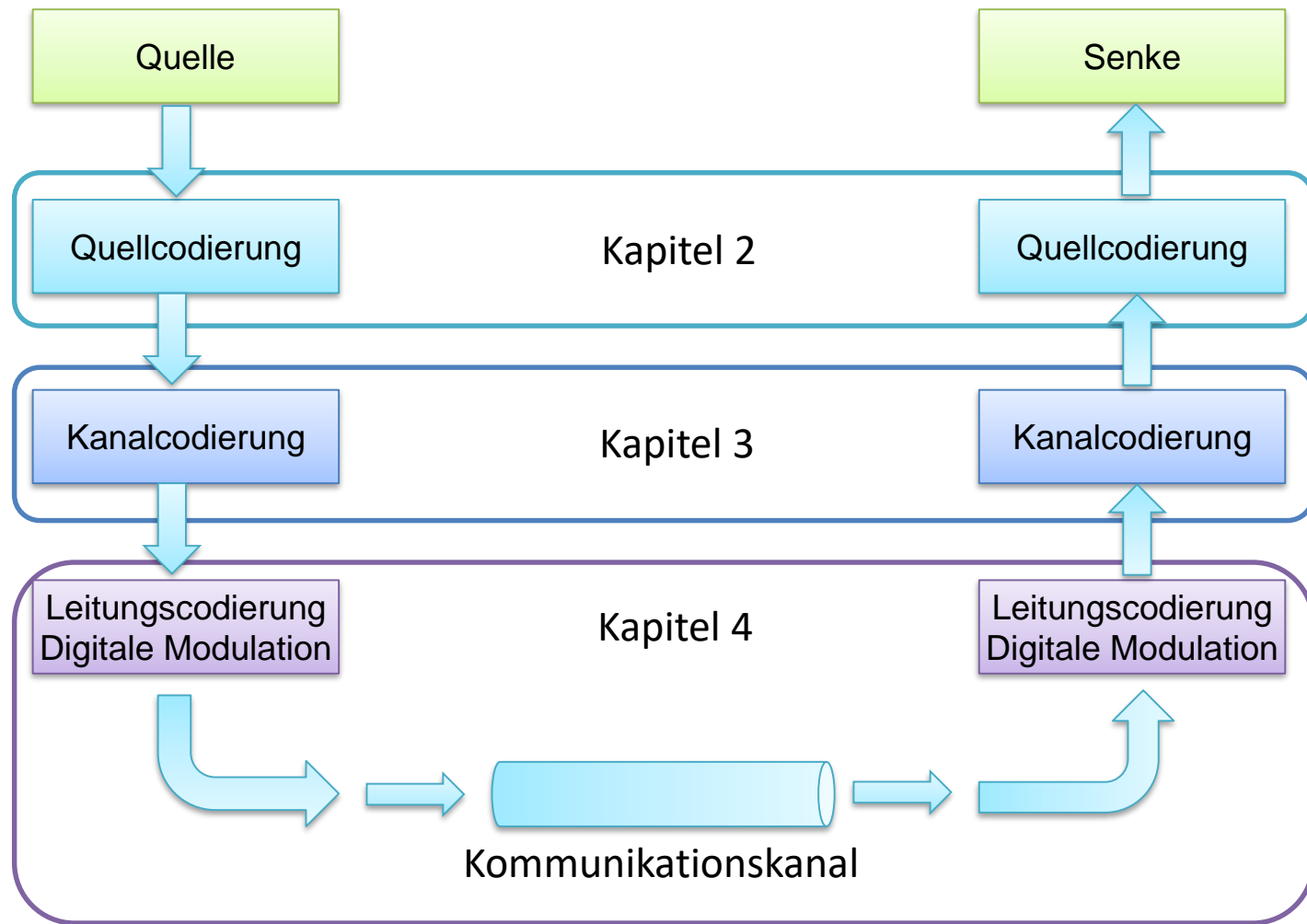
Wireless LAN (IEEE 802.11)



Standard	Release	Reichw. indoor	MIMO	MU MIMO	Bänder	Bandbreite	Datenrate Brutto
802.11a	1999	ca. 25 Meter	nein	nein	2,4 & 5 GHz	bis 20 MHz	bis 54 MBit
802.11b	1999	ca. 38 Meter	nein	nein	2,4 GHz	bis 20 MHz	bis 11 MBit
802.11g	2003	ca. 38 Meter	nein	nein	2,4 GHz	bis 20 MHz	bis 54 MBit
802.11n	2009	ca. 70 Meter	bis 4x4	nein	2,4 & 5 GHz	bis 40 MHz	bis 600 MBit
802.11ac*	2013	ca. 50 Meter	bis 8x8	möglich	nur 5 GHz	bis 80 MHz	300 MBit bis 3,4 GBit
802.11ac Wave2	2012	ca. 50 Meter	bis 8x8	möglich	nur 5 GHz	bis 160 MHz	860 MBit bis 6,9 GBit
802.11ad	2012	bis 10 Meter	nein	nein	60 GHz	bis 2000 MHz	bis 6,9 GBit

Kommunikationstechnik – Was ist das?

Kapitel 5 (WLAN / IEEE 802.11)



Vorläufiger Vorlesungsplan

Woche	Kapitel	Unterkapitel
1	KAP 0: Organisatorisches KAP 1: Einführung und Motivation	
2	KAP 2: Informationstheorie und Quellencodierung	KAP 2.1: Informationstheorie
3		KAP 2.2: Verfahren zur Quellencodierung KAP 2.3: Übertragungskanal
4	KAP 3: Kanalcodierung	KAP 3.1: Einführung
5		KAP 3.2: Block-Codes
6		KAP 3.3: Faltungscodes
7	KAP 4: Leitungskodierung und Modulation	KAP 4.1: Leitungskodierung
8		KAP 4.2: Übertragung über ein Kabel
9		KAP 4.3: Digitale Modulation
10		KAP 4.4: Funkübertragung
11		KAP 4.5: Pulsformung
12	KAP 5: WLAN	KAP 5.1: OFDM
13		KAP 5.2: CSMA-CA
14		KAP 5.3: Soft-Decision Decoding und LDPC Codes
15		KAP 5.4: Grundlagen von MIMO