# Architekturen (2)

## Kommunikation im Laufe ihrer Geschichte

https://iuk.one/RNDS-ARCH-2.pdf

Clemens H. **Cap**
ORCID: 0000-0003-3958-6136

Department of Computer Science
University of **Rostock**
Rostock, Germany
**clemens.cap@uni-rostock.de**



2026-11-01 20:59

# Übersicht


**1. Kommunikation in der menschlichen Kultur**

**2. Historische Verfahren der Kommunikation**

2.1. Erste Ansätze

2.2. Telegraphie

2.3. Telefonie

**3. Systematische Sicht auf Kommunikation**

3.1. Drei Grundfragen

3.2. Zwei Limitierungen

3.3. Drei Probleme

3.4. Drei Leistungsparameter

# Ziele

- Wir erkennen die **Bedeutung von Kommunikation** als zentralen Aspekt der menschlichen Kultur.
- Wir ordnen Kommunikation in die **menschliche Kulturgeschichte** ein.
- Wir erkennen die **zentralen Probleme** der Kommunikation.
- Wir realisieren, daß diese zumeist **unabhängig von der spezifischen Technologie** sind und dem Jahrhundert ihrer Anwendung.

## 1. Kommunikation in der menschlichen Kultur

**Ziel:** Erkennen der Bedeutung von Kommunikation und ihrer Entwicklung in der menschlichen Kulturgeschichte.


1. Kommunikation in der menschlichen Kultur

2. Historische Verfahren der Kommunikation

3. Systematische Sicht auf Kommunikation

**Abb. 1:** Die ersten uns erhaltenen **Codierungen von Information** in der menschlichen Kulturgeschichte: Die Handabdrücke in der El-Castillo Höhle in Spanien um 40.000 v. Chr.

Deutlich eindrucksvollere Bilder der Handabdrücke, die aber teilweise fremdem Copyright unterliegen und daher hier nicht abgebildet werden, finden sich im Internet: https://duckduckgo.com/?q=H%C3%B6hlenmalerei+El+Castillo&iax=images&ia=images.
Rechte s. Anhang.



**Abb. 2:** Höhlenmalereien in der Höhle von Lascaux, 15.000 v. Chr.
Rechte s. Anhang.






**Abb. 3:** Karikatur, die über Herkunft und Sinn der Höhlenmalerei spekuliert.
Rechte s. Anhang.

# Sinn von Kommunikation

**Warum Kommunikation?**

- Mensch ist ein Wesen, das biologisch auf *Kooperation* angewiesen ist.
- Kooperation erfordert *Kommunikation*.
- Kommunikation wird durch Evolution zu einem menschlichen Grundbedürfnis.

**Modi der Kommunikation:** Zeit und Ort

- **Präsenz**-Kommunikation: Mit dem aktuellen Gegenüber
- **Tele**-Kommunikation: Gleiche Zeit aber verschiedener Ort
- **Speicherung:** Kommunikation über Grenzen der Zeit hinweg

**Interpretationen** der Höhlenmalerei:

- **Kommunikation:** Tafelbild zur Vorlesung "Jagen von Wildtieren"
- **Speicherung:** "Buch" über "Jagen" für spätere Generationen
- **Zufallsartefakt:** Langeweile im Winter in der Höhle ("Grafitti")

## 2. Historische Verfahren der Kommunikation

2.1. Erste Ansätze

2.2. Telegraphie

2.3. Telefonie

**Fragen:**

- Wie wurde früher kommuniziert?
- Welche Konzepte hat man verwendet?
- Wie lassen sich dieselben Konzepte mit neueren Technologien besser umsetzen?

1. Kommunikation in der menschlichen Kultur

2. Historische Verfahren der Kommunikation

3. Systematische Sicht auf Kommunikation

# Boten und Tiere

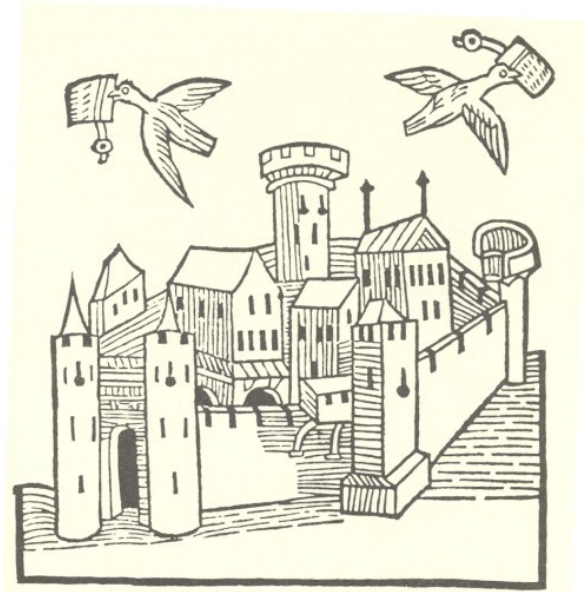
**Ägyptischer König Sesostris I (1971 - 1928 v. Chr)**
Einsatz von Boten zum Überbringen militärischer Nachrichten.

**Genghis Khan (1162-1227 n. Chr)**
System von Brieftauben, in weitgespanntem Relais-Netz.
Assoziation: "Internet", "**Paket-Vermittlung**", "**Routing**".

**Pony Express (1860 n. Chr)**
Pony Relais System von Missouri nach Kalifornien.
Alle 15 km ein neues Pferd, alle 150 km ein neuer Reiter.

**Lockheed, Sunnyvale, Kalifornien (1981 n. Chr)**
Brieftauben zum Transport von Skizzen zu einem 40 km entfernten Außenstandort.
1% Verlust, sehr gutes Preis-Leistungsverhältnis.

**Abb. 4:** Einsatz von Brieftauben in der Kommunikation. Rechte s. Anhang.



Briefbeförderung per Taubenpost, europäische Darstellung, 1451

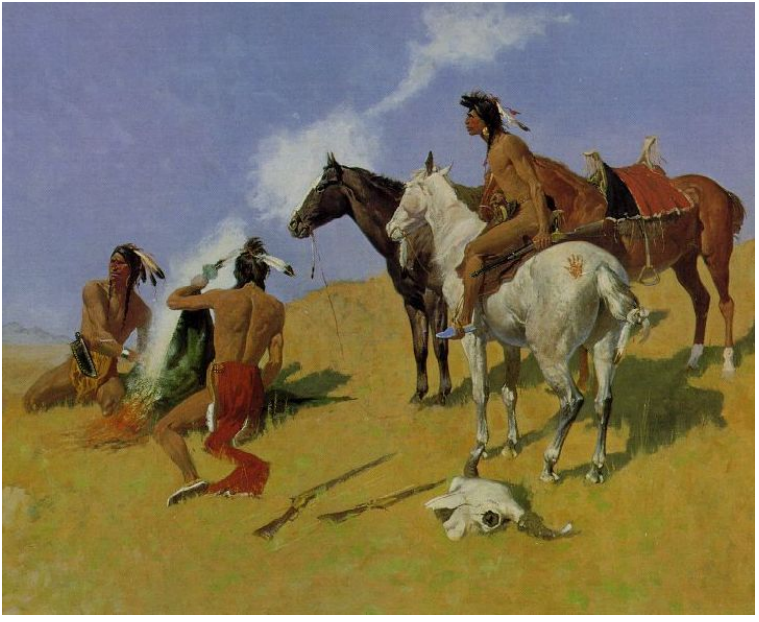
Die Stellenanzeigen richten sich nach den jeweiligen Bedürfnissen in der Technologie.

**Abb. 5:** Stellenanzeige im Bereich der Kommunikationstechnologie im Jahre 1860. Rechte s. Anhang.



**Abb. 6: Problem der Codierung**, hier bei Rauchzeichen. Praktisch von hoher Bedeutung: Werden wir heute noch angegriffen oder dürfen wir nach Hause zum Abendessen?

Rechte s. Anhang.



# Rauchzeichen

**Codierung:** Sehr viele Arten möglich:

- **Größe** der Wolke
- **Form** der Wolke
- **Anzahl** der Wolken
- **Zeit** zwischen zwei Wolken
- **Farbe** des Rauchs
- **Geruch** des Rauchs

**Problem 1: Semantik:** Was ist die Bedeutung der Codierung:

- **3 Wolken** = Feind im Anmarsch – *oder*
- **3 Wolken** = Feind zieht ab
- **Frage:** Was bedeutet ein bestimmter Kommunikationsakt?

**Problem 2: Präzision** der Codierung:

- War das jetzt **groß-klein-groß** oder **groß-groß-groß**?
- **Frage:** Wie decodiere ich analoge, mit Störungen behaftete Signale?

**Problem 3: Störungen** der Kommunikation:

- Ist das eine Rauchwolke oder eine Regenwolke?
- **Fragen:** Wie (1) stelle ich Fehler fest und (2) wie behebe ich sie?

# Systematik der Telegraphie (1)

**Telegraphie:** Altgriechisch für fern-schreiben.
Übertragung von Zeichen, Symbolen und Bedeutungen über große Entfernungen.

**(1) Optische** Telegraphie: Über Licht vermittelt.

- **Licht**-Telegraphie: Auswahl verschiedener Licht-Signale
- **Flaggen**-Telegraphie: Auswahl verschiedener Flaggen
- **Semaphor**-Telegraphie: Auswahl verschiedener Zeichenstellungen
  Semaphor, griechisch für Zeichenträger
  Vgl. weitere Bedeutung bei Betriebssystemen.

# Systematik der Telegraphie (2)

**(2) Elektronische** Telegraphie: Drahtgebunden vermittelt über Potentialdifferenz.

- **Morse**-Telegraph: Stromfluß / Kein Stromfluß: 2 Symbole
- **Nadel**-Telegraph: Auslenkungen einer Nadel: Mehr als 2 Symbole
  Nach den Erfindern auch **Cooke-Wheatstone**-Telegraph genannt

**(3) Elektromagnetische** Telegraphie: Über Funkwellen vermittelt.

- **Heinrich Hertz:** Entdeckung der elektromagnetischen Wellen.
- **Marconi**-Telegraph: Nutzung der "Hertzschen" Wellen zum Morsen.

# Lichtsignale

**Xenophon, Hellenica (405 v. Chr.)**
Einsatz von Sonnenreflexion an Schildern zur Übermittlung von Schiffsposition

**Carl Friedrich Gauß (1810)**

- Nutzung des Heliographen.
- Einsatz zur Vermessung der Geometrie im Großen.
- Informationsübertragung durch reflektiertes Sonnenlicht.
- Unterbrechung des Strahlverlaufs für 0 / 1 Codierung nutzbar.
- Hier: Semantik für lang-lang-kurz muß vorher festgelegt werden.

**Abb. 7: Carl Friedrich Gauß** (1777-1855), deutscher Mathematiker. Untersuchte unter anderem Fragen der sphärischen Geometrie und vermaß Winkel von Dreiecken, deren Eckpunkte durch Berggipfel gebildet wurden. Für die Kommunikation mit den Mitarbeitern am anderen Berggipfel nutzte er den Heliographen.

**Zur Winkelsumme** (weil es so interessant ist): Bereits Thales von Milet vermutete um 550 v. Chr., daß die Winkelsumme im Dreieck $180^\circ$ betrage. Euklid von Alexandria stellte um 300 v. Chr. Axiome über unseren Raum auf und bewies, daß bei Gültigkeit dieser Axiome die Winkelsumme im Dreieck $180^\circ$ betrage. Gauß hinterfragte die Gültigkeit dieser Axiome und maß deshalb die Winkelsumme, die in seinem Fall und nach seiner Meßgenauigkeit exakt $180^\circ$ ergab. Riemann (1826-1866), Schüler von Gauß, entwickelte mathematische Theorien für Geometrien, in denen die Axiome von Euklid nicht gelten. Einstein vermutete 1911 unter Nutzung dieser Methoden von Riemann, daß die Raumkrümmung durch die Gravitation die Winkelsumme im Dreieck größer macht als $180^\circ$. Eddington wies 1919 durch Messung nach, daß das Licht im Gravitationsfeld der Sonne um knapp 2 Bogensekunden abgelenkt wird und damit etwa doppelt so stark, als eine nach Newton und mit euklidischer Geometrie argumentierende Überlegung. Der Effekt im Gravitationsfeld der Erde ist extrem klein und wurde 1993 durch einen Satelliten zu 40 $\mu$ Bogensekunden gemessen [Gou93]. 2300 Jahre nach Euklid wissen wir also, daß seine geometrischen Axiome **nicht** die Geometrie beschreiben, in der wir leben. Sie sind aber eine sehr gute Näherung! Rechte s. Anhang.



**Abb. 8:** Heliograph aus dem Museum für Kommunikation in Frankfurt.
Rechte s. Anhang.






**Abb. 9:** Abbildung des Heliographen auf dem 10 D-Mark Schein. Rechts unten die Triangulation des Königreichs Hannover durch Gauß. Auf der anderen Seite des Geldscheins war Gauß selber abgebildet. Rechte s. Anhang.

# Flaggen

**Plutarch** (46 - 120 n. Chr.)

- Antiker griechischer Schriftsteller.
- Beschreibt den Einsatz von Flaggen in der Kriegsmarine des Feldherrn Alkibiades um 410 v. Chr.
- **Hier:** Beispiel für **militärische Nutzung von Kommunikation.**
  **Vergleiche:** Geschichte des Internet als militärisches Netzwerk.

**Sir Walther Raleigh** (1617)

- Erste Standardisierung von Flaggenalphabeten.
- **Hier:** Beispiel für **Normierung der Semantik in der Kommunikation.**
  **Vergleiche:** ASCII und UTF Codierung.

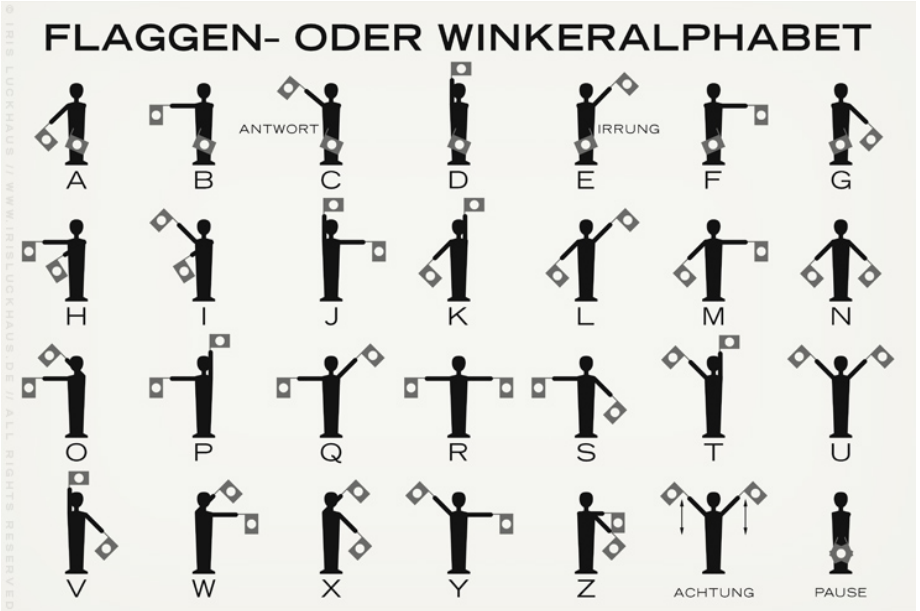
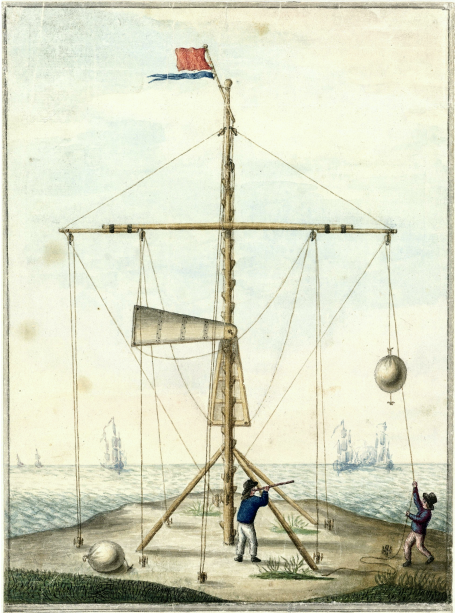



**Abb. 10:** Flaggenalphabet.
Rechte s. Anhang.

**Abb. 11:** Semaphor-Telegraph im Einsatz an der Küste. Unterschiedliche Positionen der Arme und der der Kugel sowie verschiedene Winkel zwischen den Armen signalisieren verschiedene Symbole oder Bedeutungen. Rechte s. Anhang.



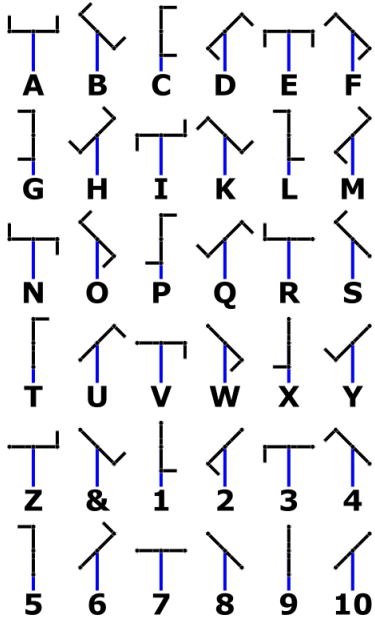



**Abb. 12:** Standardisierung in der Semaphor-Telegraphie.
Rechte s. Anhang.

# 1. Grundlegende Limitierung: Signalvorrat

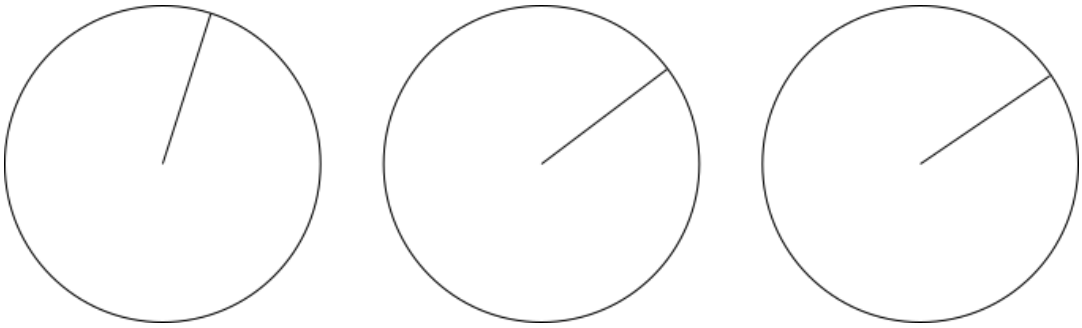


**Abb. 13:** Sind dieses zwei oder drei verschiedene Semaphor-Positionen? Je mehr Positionen ("Symbole") wir unterscheiden könnne, umso effizienter kann die Datenübertragung sein. **1. grundlegende Limitierung: Signalvorrat.**
Rechte s. Anhang.

# 2. Grundlegende Limitierung: Sendehäufigkeit




**Abb. 14:** Warum werden hier Abblendlamellen genutzt und nicht ein Stromschalter? Überlege: Wie schnell können Signalzustände zuverlässig gewechselt werden? **2. grundlegende Limitierung: Sendehäufigkeit**.
Wenn ein physikalisches Verfahren Information übertragen soll, dann sind diese beiden grundlegenden Limitierungen die oberen Schranken für seine quantitative Leistungsfähigkeit. Mehr dazu später: Gesetze von Nyquist und Shannon. Rechte s. Anhang.

**Entwicklung des Morsens:**
1835 Erste Demonstration des Morse Telegraphen
1838 Telegraphenleitung von Baltimore nach Washington

**Abb. 15: Samuel Morse**, Erfinder der Morsetelegraphie.
Rechte s. Anhang.

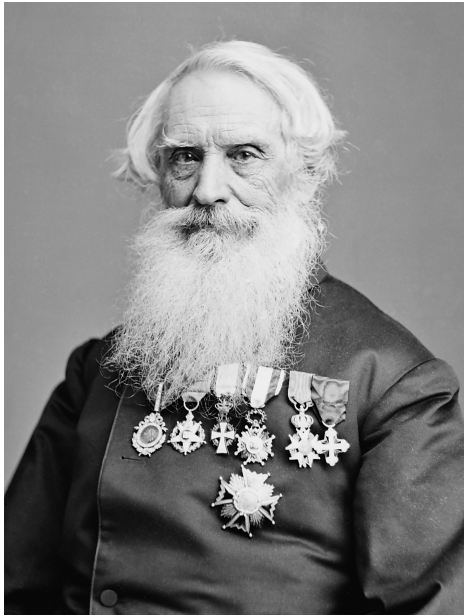




**Abb. 16:** Morsetaste der Schweizer Armee Rechte s. Anhang.



**Abb. 17:** Nadel-Telegraph mit fünf Nadeln.
Rechte s. Anhang.




**Abb. 18:** Nadel-Telegraph mit zwei Nadeln. Rechte s. Anhang.

**Abb. 19: Guglielmo Marconi** (1874–1937) testet den praktischen Einsatz der Hertzschen elektromagnetischen Wellen für Telegraphie.
Rechte s. Anhang.



# Telefonie

**Telefonie:** Altgriechisch für Fern-Ton oder Fern-Stimme. Übertragung von Tonsignalen und Sprache über größere Entfernung.

Längere, mehrschrittige Erfindungsphase ab ca. 1830.

**Wichtige** Namen:

- **Philipp Reis:** Erster Prototyp der Sprachtelefonie
- **Alexander Graham Bell:** Erstes praktisch einsetzbares Gerät und erfolgreiche Kommerzialisierung.



**Abb. 20:** Der deutsche Physiker und Erfinder **Philipp Reis**, 1834-1874, entwickelte um 1860 einen ersten Prototypen des Telefons. Rechte s. Anhang.

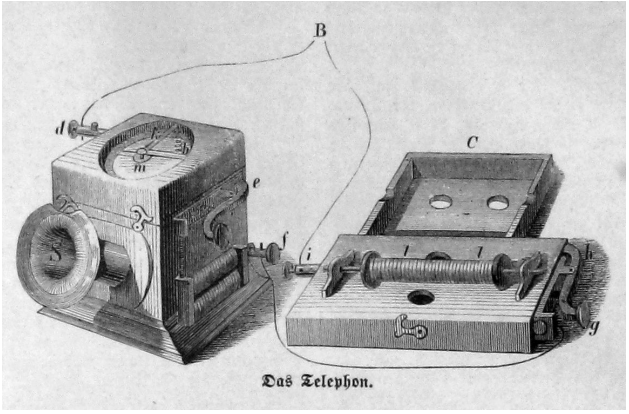



**Abb. 21:** Einer der Prototypen des **Telefons von Philipp Reis**.

Leider konnte Reis nicht am späteren Erfolg seiner Erfindung partizipieren. Einen Überblick dazu gibt https://www.br.de/radio/bayern2/sendungen/iq-wissenschaft-und-forschung/technik/150-jahre-telefon100.html Rechte s. Anhang.

**Abb. 22:** Die Weiterentwicklung zu einem praktisch einsetzbaren Gerät und weitere Kommerzialisierung des Telefons erfolgt durch den Amerikaner **Alexander Graham Bell**, 1847-1922. Rechte s. Anhang.



# Telefonie: Weiterentwicklung

1880 Öffentliches Telefonnetz mit 30 km Ausdehnung
1881 Erstes deutsches Ortsnetz
1892 Verbindung New York - Chicago
1895 Wählscheibe
1918 Multiplexen: Eine physikalische Leitung für mehrere Gespräche
1935 Koaxialkabel für 200 Ferngespräche
1956 Transatlantik Kabel
1990 **I**ntegrated **S**ervices **D**igital **N**etwork (**ISDN**): Telefon, Fax, Daten
2018 Beginn der Abschaltung von ISDN und Migration auf **Voice-over-IP**

**Abb. 23:** Erste "**Mobil**"telefone ab 1956. Gewicht **45 Kilogramm [sic!]**.

Dargestellt ist das A-Netz-Funktelefon B72 von TeKaDe Nürnberg aus dem Fernmeldemuseum Aachen.
Rechte s. Anhang.

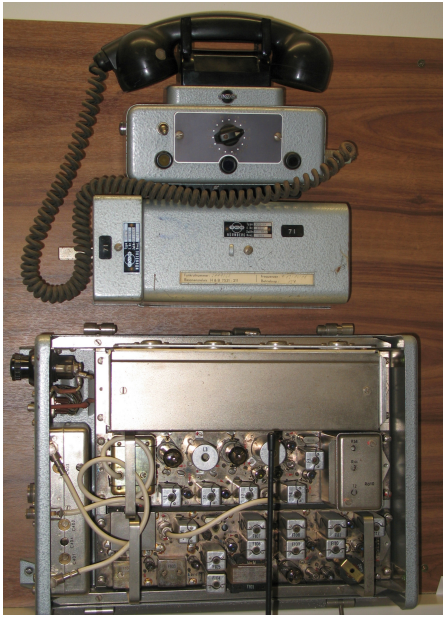


**Abb. 24:** Heutige Mobil“**telefone**”. Hier: Eine Applewatch aus 2020, die unter anderem auch als Telefon dienen kann. Gewicht **25 Gramm [sic!]**.

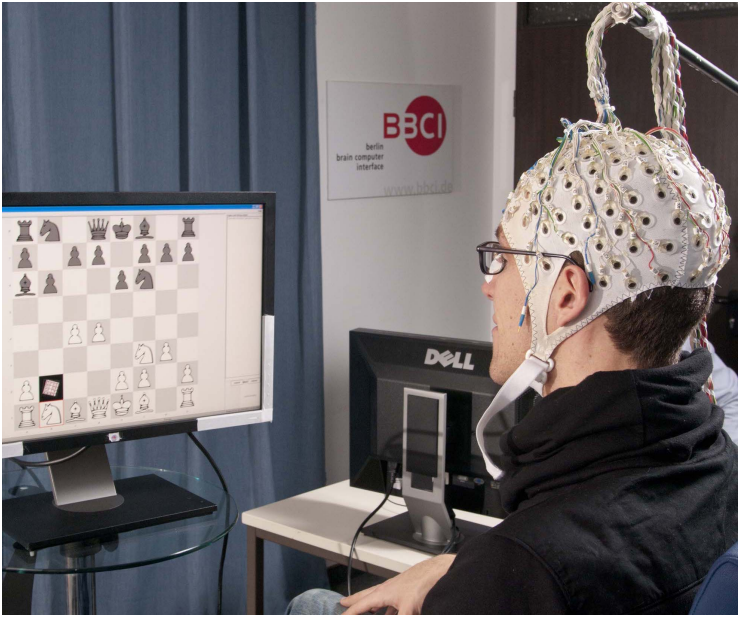
Enthält zusätzlich noch: GPS, Glonass, Galileo, Magnetfeld-Sensor, Beschleunigungs-Sensor, Kreiselkompaß, EKG-Sensor, Sauerstoff-Sättigungs-Sensor, Höhenmesser, Touchscreen, BLE, Wifi, NFC, 32 GB Speicher, Akku.

Rechte s. Anhang.





**Abb. 25:** Elektronische Gedankenübertragung könnte die Tele“phonie” der Zukunft darstellen.
Rechte s. Anhang.



# 3. Systematische Sicht auf Kommunikation

3.1. Drei Grundfragen

3.2. Zwei Limitierungen

3.3. Drei Probleme

3.4. Drei Leistungsparameter

Die wichtigen Probleme der Kommunikation sind zumeist unabhängig von der spezifisch gewählten Technologie.

1. Kommunikation in der menschlichen Kultur

2. Historische Verfahren der Kommunikation

3. Systematische Sicht auf Kommunikation

# Drei klassische Grundfragen der Kommunikation

Die **drei "klassischen" Grundfragen** der Kommunikation sind:

1. **Codierung:** Wie wird eine Nachricht physikalisch dargestellt?
2. **Übertragung:** Welcher physikalische Effekt wird zur Übertragung ausgenutzt?
3. **Bedeutung:** Welche Interpretation erfährt eine Kommunikation?

# (1) Codierung: Physikalische Darstellung von Information

**Frage:** Wie wird eine Nachricht physikalisch dargestellt?

**Beispiele:**

- Durch Zeichen auf der Wand oder der Papyrusrolle
- Durch Auswendiglernen
- Auf dem Kopf des Boten als Tätowierung
- Durch die Größe einer Rauchwolke
- Sonnenstrahl verdeckt oder durchgängig
- Strom an / Strom aus
- Spannung -3[V], 0[V], 3[V], 6[V]
- Phasenlage 30° oder 60° oder 90°
- Heute praktisch immer: Durch **modulierte** elektromagnetische Signale.

**Allgemein:** Durch *unterscheidbare* physikalische Zustände.

# Periodische Vorgänge: Schwingungen

Harmonische Grundfunktionen: **Sinus** und **Cosinus**.

$$a(t) = A \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) = A \cdot \sin(2\pi\nu \cdot t + \varphi)$$

| | |
|---|---|
| $t$ | Zeit. Einheit Sekunden [s] |
| $a(t)$ | Signal im Zeitverlauf |
| $A$ | Amplitude, $\in \mathbb{R}^+$ |
| $\omega$ | Kreisfrequenz $\in \mathbb{R}^+$ |
| $\nu$ | Frequenz $\in \mathbb{R}^+$ |
| $\varphi$ | Phase $\in [0, 2\pi)$ |

**Frequenz:** $\nu$ Ereignisse pro Sekunde, Einheit 1 [Hertz].

**Kreisfrequenz:** $\omega$ Pro Sekunde überstrichener Phasenwinkel, Einheit 1 [rad/s].

$$\omega = 2\pi \cdot \nu$$

# Vollschwingung

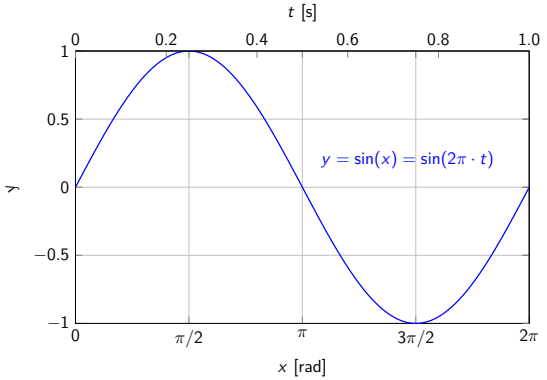



**Abb. 26:** Eine Vollschwingung pro Sekunde.
**Frequenz:** Anzahl der Vollschwingungen pro Sekunde. Hier: 1 [Hz].
**Kreisfrequenz:** Anzahl der Phasenwinkeleinheiten in Radiant pro Sekunde: Hier $2\pi$ [rad $s^{-1}$].
**Ferner:** Winkel stets in Radiant gemessen. Nur dann folgt aus $f(x) = \sin(x)$ auch $f'(x) = \cos(x)$. Rechte s. Anhang.

# Unterscheide: Herz und Hertz



**Abb. 27: Heinrich Hertz**, deutscher Physiker. Namensgeber der Einheit Hertz. 1 [Hertz] ist die Frequenz eines periodischen Vorgangs, der 1 Mal pro Sekunde abläuft. Rechte s. Anhang.

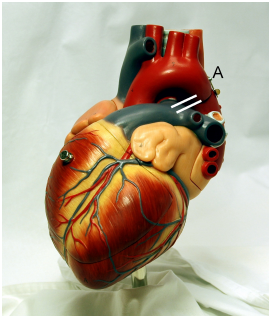



**Abb. 28: Herz**. Menschliches Organ, das mit 0.9–1.2 [Hertz] schlägt. Rechte s. Anhang.

# Codierung von Information durch modulierte Signale

**"Klassische" Modulationsverfahren:**

- **Amplitude:** Die **Auslenkung** des Signals wird verändert.
- **Frequenz:** Die **Häufigkeit** des Signalwechsels wird verändert.
- **Phase:** Die **relative zeitliche Lage** des Signals wird verändert.

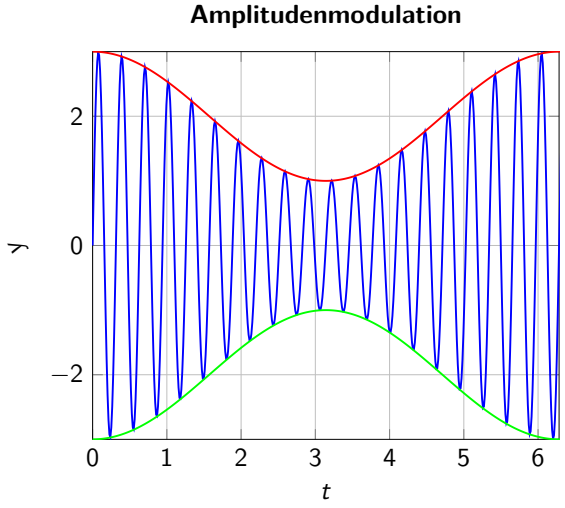



**Abb. 29:** Amplitudenmodulation. Rot: Aufgeprägtes Signal $A(t) = \cos(t) + 2$. Blau: Moduliertes Signal $a(t) = A(t)\sin(20 \cdot t)$. **Beachte** die zeitliche Veränderung der Auslenkung. Grün dargestellt ist das Negative des aufgeprägten Signals $-A(t)$. Beachte die sich ergebende Hüllkurve. Rechte s. Anhang.

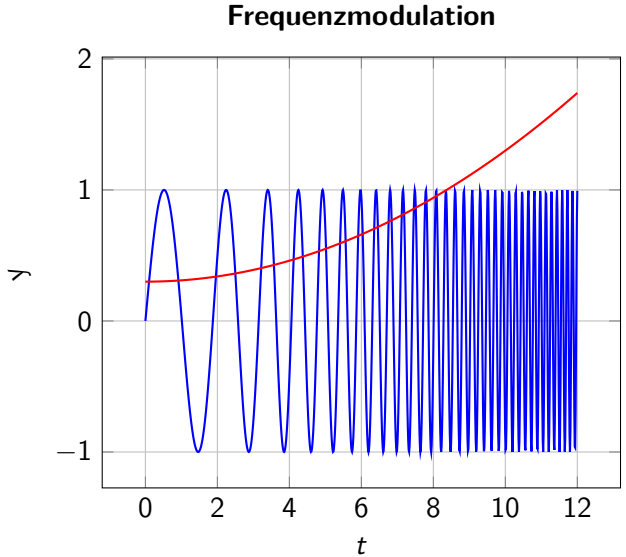



**Abb. 30:** Frequenzmodulation. Rot: Aufgeprägtes Signal. $\omega(t) = 0.01 \cdot x^2 + 0.3$ Blau: Moduliertes Signal $A(t) = \sin(10 \cdot \omega(t) \cdot t)$. **Beachte** die Zunahme der Frequenz bei steigender Zeit. Rechte s. Anhang.

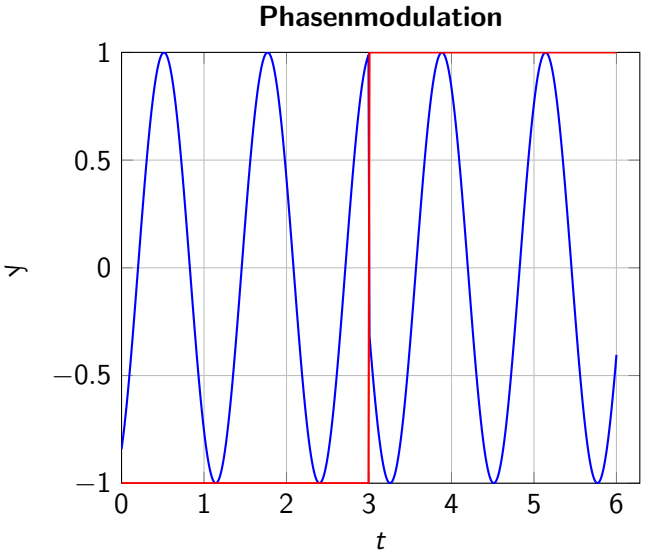



**Abb. 31:** Phasenmodulation. Rot: Aufgeprägtes Signal $\varphi(t) = sig(t-3)$. Blau: Moduliertes Signal $a(t) = \sin(5 \cdot t + \varphi(t))$. **Beachte** den Phasensprung bei $t = 3$. Rechte s. Anhang.

# Wellen

**Welle:** Schwingung die sich im Raum ausbreitet.
Hat eine Ausbreitungsrichtung und -geschwindigkeit.

**Longitudinal-Welle:** Schwingung **parallel** zur Ausbreitungsrichtung.
Beispiel: Schall

**Transversal-Welle:** Schwingung **orthogonal** zur Ausbreitungsrichtung.
Schwingung liegt in einer Schwingungs-Ebene.
Polarisation beschreibt Richtung dieser Ebene um die Ausbreitungsrichtung.
Beispiel: Licht

**Weitere Möglichkeiten der Modulation:**

- **Polarisation** transversaler Wellen ändern.
- **Dauer** oder **Zeitpunkte** einzelner Aussendungen ändern.
- **Kombination** mehrerer Modulations-Verfahren.

# (2) Übertragung von Information

**Frage:** Welcher physikalische Effekt wird zur Übertragung genutzt?

**3 typische Mechanismen:**

- **Materieller Transport:** Bsp: Trage Schiefertafel von A nach B
- **Mechanische Welle:** Bsp: Schwingungsimpuls in Luft oder Schiene
- **Elektromagnetische Welle:** Bsp: Licht, Radiowelle

**Allgemein:** Durch einen physikalischen Zustand, der sich *in Raum-und-Zeit ausbreitet*.

# (3) Bedeutung von Information ("Semantik")

**Frage:** Welche Interpretation für den Empfänger hat eine Kommunikation?

**Viele nutzungsabhängige Beispiele:**

- Bsp: – ist ein *Minus* oder ein *Bindestrich*?
- Bsp: Was bedeutet "00100000 10101100"?

| | |
|---|---|
| Die Zahl `0x20AC` | In Hexadezimal-Interpretation einer Binärzahl |
| Die Zahl 8364 | In Dezimal-interpretation einer Binärzahl |
| Ein Leerzeichen gefolgt von Ź | In ISO-8859-1 Codierung |
| Das Euro Symbol € | In UTF 8 Codierung |

...

# Technologie-spezifische Probleme

Neben den 3 "klassischen" Grundfragen (Codierung, Übertragung, Bedeutung) bestehen Technologie-spezifische Probleme.

**Eigenschaften Technologie-spezifischer Probleme:**

- **Spezifisch:** Hängen von der konkreten physikalischen Umsetzung ab.
- **Kurzfristig:** Ändern sich mit der Technologie und daher häufig.
- **Bedeutung:** Sind für die jeweils austauschbare Realisierung wichtig, konzeptuell oft weniger spannend.

**Beispiele:**

- Ein Bote muß immer mal wieder etwas essen.
- Das Signal eines Lichtwellenleiters muß immer mal wieder verstärkt werden.
- Ein Lichtleiter darf nicht geknickt werden. (siehe Abschnitt Lichtleiter)
- Ein Stromleiter muß isoliert & abgeschirmt sein. (siehe Abschnitt Kabel)
- Ein Wifi / WLAN-Signal braucht freie Ausbreitung

# (1) Limitierung des Signalvorrats

**Frage:** Wieviel verschiedene Zustände ("Symbole") sind pro "Einheit des Sendens" maximal möglich?

**Einheit:** 1 [Baud] = 1 Symbol pro Sekunde.

**Problem:** Ist der Signalvorrat zu groß, kann man einzelne Zustände nicht mehr (zuverlässig) unterscheiden.

**Beispiele:**

- 2 Zustände: Licht an – Licht aus
- 20 verschiedene Positionen des Semaphor Telegraphen
- 2 verschiedene Signalniveaus in RZ-Codierung
- 3 verschiedene Signalniveaus in NRZ-Codierung

# (2) Limitierung der Sendehäufigkeit

**Frage:** Wie oft pro Zeiteinheit kann eine Einheit max. übertragen werden?

**Einheit:** 1 [Hertz] = 1 (mal) pro Sekunde

**Problem:** Herstellen & Weiterleiten in hoher Geschwindigkeit

**Beispiele:**

- Weltrekord im Morsen: 440 Buchstaben pro Minute.
- Licht-Telegraph mit Abblendlamellen statt mit Stromschalter wegen der Trägheit der Glühwendel beim Abdunkeln.
- WiFi mit 2.4 oder 5.2 GHz statt mit 300 GHz wegen Dämpfung.

# Drei klassische Probleme der Kommunikation

Die **drei "klassischen" Probleme** der Kommunikation sind:

1. **Fehler:** Aufgrund eines technischen Fehlers kommt die Nachricht anders an, als sie gesendet wurde.
2. **Verluste:** Eine gesendete Nachricht kommt nicht an.
3. **Sicherheit:** Die gesendete Nachricht wurde von Unberufenen gelesen, verändert, zurückgehalten usw.

**Unterscheide:** Veränderungen aufgrund eines *technischen* Fehlers von Veränderungen aufgrund eines *menschlich verursachten* Angriffs.

# (1) Fehler

**Frage:** Wird die gesendete Nachricht unverändert,
ohne *übertragungstechnisch bedingte* Verfälschung empfangen?

**Beispiele:**

- Bote macht Fehler beim Auswendiglernen. Sende daher 2 Boten.
- Wind verweht Rauchzeichen. Sende daher 2 Mal.
- Telefon knackt stark. Lasse andere Seite meine Nachrichten wiederholen & prüfe sie.

**Themen:**

- **Vermeiden,** daß ein Fehler entsteht.
- **Erkennen,** ob ein Fehler passiert ist.
- **Beheben** des Fehlers, wenn einer passiert ist.
- **Vorbauen**, daß Fehler automatisch korrigiert werden können.

# (2) Verluste

**Frage:** Wird die Nachricht tatsächlich empfangen oder geht sie verloren?

**Beispiele:**

- Der Bote verunglückt auf dem Weg von Rom nach Berlin.
- Ein Bagger beim Straßenbau reißt das Ethernet-Kabel raus.

**Themen:**

- Wie **erkennt** Empfänger, daß er eine Nachricht nicht erhalten hat?
  Bsp: Dem Boten eine Taube mitgeben; diese fliegt bei Unfall heim.
- **Mehrfache Übertragung** zur Absicherung vornehmen.
  Bsp: Zwei Boten auf verschiedene Wege lossenden.
  Aber: *Eine* Bestellung soll auch bei *zwei* Boten nur *eine* Warenlieferung auslösen.

# (3) Sicherheit

**Frage:** Wird Nachricht von *Unberufenen* gelesen / verändert / vorgetäuscht?

**Angriff** und **Verteidigung** (sog. Bedrohungsanalyse)

- Auswendiglernen (Aber: Bote foltern)
- Haare der Kopfhaut wieder wachsen lassen (Aber: Bote rasieren)
- Nachricht mit Wachssiegel versehen (Aber: Fälschen)
- Nachricht mit dem RSA Algorithmus verschlüsseln (Aber: Quantencomputer)

**Leitsatz:** Es gibt keine absolute Sicherheit!

**Ziel:** Den Aufwand des Angreifers möglichst hoch zu schrauben!

# Drei klassische Leistungsparameter der Kommunikation

Die **drei "klassischen" Leistungsparameter** der Kommunikation sind:

1. **Latenzzeit:** Wie schnell erreicht die Nachricht das Ziel?
2. **Datenrate:** Welche Informationsmenge kann pro Zeiteinheit übertragen werden?
3. **Jitter:** Wie ändern sich Latenzzeit und Datenrate?

Weitere Parameter der sog. **Dienstqualität** sind

1. Fehler-Häufigkeit.
2. Verfügbarkeit des Dienstes.
3. Return-to-service: Zeit bis zur Reparatur nach Ausfall
4. Usw...

# (1) Latenzzeit

**Anschaulich:** Wie "*schnell*" erreicht die Nachricht das Ziel?
**Präziser:** Wie **lange** dauert es, bis die Nachricht am Ziel ist?

**Dimension:** Zeit vom Senden der Nachricht bis zu ihrem Empfang.

**Einheit:** 1 [Sekunde] (besser: Bruchteile davon)

**Anschauliche Beispiele:**

- Wie schnell läuft der Bote? (4 [km/h])
- Wie schnell wird der Knall des Signalböllers übertragen? (340 [m/s])
- Wie schnell läuft das Lichtsignal? (300 000 [km/s])

**Beachte:** Die anschaulichen Beispiele müssen für exakte Angaben von Latenz*zeiten* richtig übersetzt werden. (Etwa: Boten mit einer Geschwindigkeit 4 [km/h] ergeben eine Latenzzeit *erst*, wenn der Abstand bekannt ist.)

**Ziel:** Soll möglichst klein sein !

# (2) Datenrate

**Definition:** Welche *Informationsmenge* kann *pro Zeiteinheit* übertragen werden?

**Dimension:** Informationsmenge pro Zeiteinheit.

**Einheit:** 1 [Bit/s].

**Alternative Sicht** (*vor* Einführung des Informationsbegriffs durch Shannon)

- **Dimension:** *Symbole* pro Zeiteinheit
- **Einheit:** 1 [Baud] = 1 [Symbol/s]
- Zusammenhang mit Informationsmenge geht über Größe des Symbolvorrats.

**Anschauliche Beispiele:**

- Wieviel Text kann ein Bote auswendig lernen? (??)
- Wieviel Text kann ein Bote mitnehmen? (500 Blueray DVDs)
- Wie "schnell" sendet Ethernet? (10 Mbit - 400 Gbit/s)

**Beachte:** Die anschaulichen Beispiele müssen für exakte Angaben von Datenraten richtig übersetzt werden. (zB: 500 Blueray DVDs sind keine Datenrate!)

# (3) Jitter

**Definition:** Wie ändern sich Latenzzeit und Datenrate und ggf. weitere Qualitätsparameter mit der Zeit?

**Dimension:** Änderungsprozent pro Zeiteinheit.

**Achtung:** Unscharfe Angabe, da unklar, was genau gemeint ist:

- mittlere Änderung (Median)
- mittlere Änderung (Durchschnitt)
- maximale Änderung
- momentane Änderung
- Verteilung der Änderung
- noch was anderes...

**Anschauliche Beispiele:**

- Bringt der Bote die Zeitung täglich oder wechselt das immer mal?
- Bleibt die Sprachqualität beim Telefonat gleich oder gibt es plötzliche Aussetzer?
- Läuft das YouTube Video immer mit 720p (Standard HD) oder läuft es in manchen Minuten auch mal mit 1080p (Full HD) Auflösung?

# Appendix

# Übersicht


Übersicht ..... 65

Literaturverzeichnis ..... 66

Verzeichnis aller Abbildungen Abb ..... 67

Rechtsnachweise © ..... 70

Rechtliche Hinweise § ..... 73

Zitierweise dieses Dokuments → ..... 75

Verzeichnis aller Folien ..... 76

# Literaturverzeichnis

[Gou93] Andrew Gould. “Deflection of Light by the Earth”. In: *The Astrophysical Journal Letters* 414 (1993), p. L37. DOI: 10.1086/186990. URL: https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1993ApJ...414L..37G/abstract (cit. on p. 18).

# Verzeichnis aller Abbildungen (1/3)


1 Handabdrücke der El-Castillo Höhle . . . . . 5
2 Höhlenmalereien in der Höhle von Lascaux, 15.000 v. Chr. . . . . 6
3 Karikatur zu Höhlenmalerei . . . . . 7
4 Einsatz von Brieftauben in der Kommunikation. . . . . 11
5 Stellenanzeige im Bereich der Kommunikationstechnologie im Jahre 1860. . . . . 12
6 Präzision der Codierung bei Rauchzeichen . . . . . 13
7 Carl Friedrich Gauß, Nutzer des Heliographen . . . . . 18
8 Heliograph aus dem Museum für Kommunikation in Frankfurt. . . . . 19
9 Heliograph auf dem 10 D-Mark Schein . . . . . 20

10 Flaggenalphabet. . . . . 22
11 Semaphor-Telegraph an der Küste . . . . . 23
12 Standardisierung in der Semaphor-Telegraphie . . . . . 24
13 Unterscheidung von Positionen im Semaphor-Telegraph . . . . . 25
14 Abblendlamellen im Licht-Telegraph . . . . . 26
15 Samuel Morse, Erfinder der Morsetelegraphie . . . . . 27
16 Morsetaste der Schweizer Armee . . . . . 28
17 Nadel-Telegraph mit fünf Nadeln. . . . . 29
18 Nadel-Telegraph mit zwei Nadeln. . . . . 30
19 Guglielmo Marconi, Erfinder der drahtlosen Telegraphie . . . . . 31
20 Philipp Reis, Erfinder des Telefons . . . . . 33

21 Einer der Prototypen des Telefons von Philipp Reis . . . . . 34
22 Alexander Graham Bell, Erfinder und Kommerzialisierer des Telefons . . . . . 35
23 Mobiltelefon aus dem Jahre 1956 . . . . . 37
24 Mobiltelefon aus dem Jahr 2020 . . . . . 38
25 Gedankenübertragung als Zukunft der Telefonie . . . . . 39
26 Sinusfunktion . . . . . 44
27 Heinrich Hertz, deutscher Physiker . . . . . 45
28 Herz, menschliches Organ . . . . . 45
29 Amplitudenmodulation . . . . . 47
30 Frequenzmodulation . . . . . 48
31 Phasenmodulation . . . . . 49

# Rechtsnachweise (1/3)

Abb. 1 Quelle: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cueva_del_Castillo_interior.jpg, Gabinete de Prensa del Gobierno de Cantabria, CC BY 3.0 ES https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/es/deed.en

Abb. 2 Quelle: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lascaux,_Megaloceros.jpg, Lascaux, gemeinfrei, via Wikimedia Commons.

Abb. 3 Eigene Abbildung mittels Eigenes Bild, Visualisierung durch ChatGPT, AI

Abb. 4 Quelle https://docplayer.nl/105171987-De-bongard-tijdschrift.html

Abb. 5 Quelle: https://practicalhorsemanmag.com/lifestyle/hoofprints-through-history-part-2-orphans-preferred

Abb. 6 Quelle: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Frederic_Remington_smoke_signal.jpg The Smoke Signal, Gemälde von Frederic Remington, 1905, gemeinfrei.

Abb. 7 Carl Friedrich Gauß nach einem Gemälde von Gottlieb Biermann 1887, gemeinfrei.

Abb. 8 Quelle: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Heliograph_(1)-2.jpg, derivative work: Macchess (talk)Heliograph (1).jpg: Jithra Adikari from Calgary, Canada, Nutzung nach CC BY-SA 2.0, https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0

Abb. 10 Quelle: http://luc.devroye.org/IrisLuckhaus-FlaggenAlphabet-2014.jpg

Abb. 11 Quelle: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/21/Coast_telegraph%2C_semaphore_or_signaling_post_at_Scheveningen%2C_1799.jpg Rijksmuseum, CC0, via Wikimedia Commons.

Abb. 12 Quelle: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chappe.svg, Patrick87, Nutzung nach https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.en

Abb. 13 Eigene Abbildung.

Abb. 14 Quelle: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/94/US_Navy_030816-N-4055P-001_Signalman_3rd_Class_Jonathon_Lheureux%2C_from_Panama_City%2C_Fla.%2C_signals_another_ship_from_the_bridge_wing_aboard_the_7th_Fleet_command_ship%2C_USS_Blue_Ridge_%28LCC_19%29.jpg, US Navy Foto, gemeinfrei.

Abb. 15 Quelle: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ef/Samuel_Morse.jpg, Mathew Brady, public domain.

Abb. 16 Quelle: Simon A. Eugster, CC BY-SA 3.0 Quelle: https://de.wikipedia.org/wiki/Morsetaste/media/Datei:Swiss_Army_Telegraph_Key.jpeg

Abb. 17 Quelle: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2c/Cooke_and_Wheatstone_electric_telegraph.jpg Geni, Nutzung nach https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/ CC BY-SA 4.0

Abb. 18 Quelle: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ef/GWR_Cooke_and_Wheatstone_double_needle_telegraph_instrument.jpg Geof Sheppard, Nutzung nach https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.en CC BY-SA 3.0

Abb. 19 Quelle: https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Guglielmo_Marconi_posing.jpg, gemeinfrei

Abb. 20 Quelle: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Johann-philipp-reis_1.jpg, gemeinfrei.

Abb. 21 Quelle: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Die_Gartenlaube_(1863)_809_1.jpg, Abbildung aus der Zeitschrift *Die Gartenlaube* von 1863, gemeinfrei.

Abb. 22 Quelle: http://www.americaslibrary.gov/jb/recon/jb_recon_telephone_1_e.html, Gilbert H. Grosvenor Collection, Prints and Photographs Division, Library of Congress, gemeinfrei.

Abb. 23 Quelle: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:A-Netz-Funktelefon_4967.jpg, Turelio, Nutzung nach https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/de/legalcode

Abb. 24 Quelle: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Apple_Watch_Series_4_40mm_space_gray_Aluminum.jpg, aconcagua, Nutzung nach CC BY-SA 4.0 https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0

Abb. 25 Quelle: https://www.eecs.tu-berlin.de/fileadmin/f4/fkIVPresse/2012/Gedankenschach/TUB-Gedankenschach010312-09.jpg

Abb. 26 Eigene Zeichnung in Tikz

Abb. 27 Quelle: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/54/Heinrich_Hertz.jpg

Abb. 28 Quelle: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/57/Heart_frontally_PDA.jpg

Abb. 29 Eigene Abbildung in Tikz

Abb. 30 Eigene Abbildung in Tikz

Abb. 31 Eigene Abbildung in Tikz

# Rechtliche Hinweise (1)

Die hier angebotenen Inhalte unterliegen deutschem Urheberrecht. Inhalte Dritter werden unter Nennung der Rechtsgrundlage ihrer Nutzung und der geltenden Lizenzbestimmungen hier angeführt. Auf das Literaturverzeichnis wird verwiesen. Das Zitatrecht in dem für wissenschaftliche Werke üblichen Ausmaß wird beansprucht. Wenn Sie eine Urheberrechtsverletzung erkennen, so bitten wir um Hinweis an den auf der Titelseite genannten Autor und werden entsprechende Inhalte sofort entfernen oder fehlende Rechtsnennungen nachholen. Bei Produkt- und Firmennamen können Markenrechte Dritter bestehen. Verweise und Verlinkungen wurden zum Zeitpunkt des Setzens der Verweise überprüft; sie dienen der Information des Lesers. Der Autor macht sich die Inhalte, auch in der Form, wie sie zum Zeitpunkt des Setzens des Verweises vorlagen, nicht zu eigen und kann diese nicht laufend auf Veränderungen überprüfen.
Alle sonstigen, hier nicht angeführten Inhalte unterliegen dem Copyright des Autors, Prof. Dr. Clemens Cap, ©2020. Wenn Sie diese Inhalte nützlich finden, können Sie darauf verlinken oder sie zitieren. Jede weitere Verbreitung, Speicherung, Vervielfältigung oder sonstige Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechts bedarf der schriftlichen Zustimmung des Rechteinhabers. Dieses dient der Sicherung der Aktualität der Inhalte und soll dem Autor auch die Einhaltung urheberrechtlicher Einschränkungen wie beispielsweise Par 60a UrhG ermöglichen.
Die Bereitstellung der Inhalte erfolgt hier zur persönlichen Information des Lesers. Eine Haftung für mittelbare oder unmittelbare Schäden wird im maximal rechtlich zulässigen Ausmaß ausgeschlossen, mit Ausnahme von Vorsatz und grober Fahrlässigkeit. Eine Garantie für den Fortbestand dieses Informationsangebots wird nicht gegeben.
Die Anfertigung einer persönlichen Sicherungskopie für die private, nicht gewerbliche und nicht öffentliche Nutzung ist zulässig, sofern sie nicht von einer offensichtlich rechtswidrig hergestellten oder zugänglich gemachten Vorlage stammt.
**Use of Logos and Trademark Symbols:** The logos and trademark symbols used here are the property of their respective owners. The YouTube logo is used according to brand request 2-9753000030769 granted on November 30, 2020. The GitHub logo is property of GitHub Inc. and is used in accordance to the GitHub logo usage conditions https://github.com/logos to link to a GitHub account. The Tweedback logo is property of Tweedback GmbH and here is used in accordance to a cooperation contract.

# Rechtliche Hinweise (2)

**Disclaimer:** Die sich immer wieder ändernde Rechtslage für digitale Urheberrechte erzeugt ein nicht unerhebliches Risiko bei der Einbindung von Materialien, deren Status nicht oder nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand abzuklären ist. Ebenso kann den Rechteinhabern nicht auf sinnvolle oder einfache Weise ein Honorar zukommen, obwohl deren Leistungen genutzt werden.
Daher binde ich gelegentlich Inhalte nur als Link und nicht durch Framing ein. Lt EuGH Urteil 13.02.2014, C-466/12 (Pressemitteilung, Blog-Beitrag, Urteilstext). ist das unbedenklich, da die benutzten Links ohne Umgehung technischer Sperren auf im Internet frei verfügbare Inhalte verweisen.
Wenn Sie diese Rechtslage stört, dann setzen Sie sich für eine Modernisierung des völlig veralteten Vergütungs- und Anreizsystems für urheberrechtliche Leistungen ein. Bis dahin klicken Sie bitte auf die angegebenen Links und denken Sie darüber nach, warum wir keine für das digitale Zeitalter sinnvoll angepaßte Vergütungs- und Anreizsysteme digital erbrachter Leistungen haben.
Zu Risiken und Nebenwirkungen fragen Sie Ihren Rechtsanwalt oder Gesetzgeber.
Weitere Hinweise finden Sie im Netz hier und hier oder hier.

# Zitierweise dieses Dokuments

Wenn Sie Inhalte aus diesem Werk nutzen oder darauf verweisen wollen,
zitieren Sie es bitte wie folgt:

Clemens H. Cap: Architekturen (2). Electronic document, 1. 11. 2026 https://iuk.one/RNDS-ARCH-2.pdf

**Bibtex Information:** https://iuk.one/RNDS-ARCH-2.bib

```
@misc{doc:RNDS-ARCH-2,
    author        = {Clemens H. Cap},
    title         = {Architekturen (2)},
    year          = {2026},
    month         = {11},
    howpublished  = {Electronic document},
    url           = {https://iuk.one/RNDS-ARCH-2.pdf }
}
```

**Typographic Information:**

Typeset on 2026-11-01 at 20:59
This is pdfTeX, Version 3.141592653-2.6-1.40.29 (TeX Live 2026) kpathsea version 6.4.2
This is pgf in version 3.1.11a
This is preamble-slides.tex ©C.H.Cap
Jobtype flag=foreground
Active modes (if any): slides, biblio
Keywords: keywords
Subject: subject

# Verzeichnis aller Folien


Titelseite . . . 1
Übersicht . . . 2
Ziele . . . 3

**1. Kommunikation in der menschlichen Kultur . . . . . 4**

Erste erhaltene Codierungen von Information . . . 5
Höhlenmalereien in Lascaux . . . 6
Interpretation von Höhlenmalereien . . . 7
Sinn von Kommunikation . . . 8

**2. Historische Verfahren der Kommunikation . . . . . 9**

**2.1. Erste Ansätze**

Boten und Tiere . . . 10
Einsatz von Brieftauben in der Kommunikation . . . 11
Stellenanzeige 1860 . . . 12
Rauchzeichen . . . 13
Rauchzeichen . . . 14

**2.2. Telegraphie**

Systematik der Telegraphie (1) . . . 15
Systematik der Telegraphie (2) . . . 16
Lichtsignale . . . 17
Carl Friedrich Gauß . . . 18
Heliograph . . . 19
Heliograph auf dem 10 DM Schein . . . 20
Flaggen . . . 21
Flaggenalphabet . . . 22
Semaphor Telegraphie . . . 23
Standardisierung in der Semaphor Telegraphie . . . 24
1. Grundlegende Limitierung: Signalvorrat . . . 25
2. Grundlegende Limitierung: Sendehäufigkeit . . . 26
Samuel Morse . . . 27
Morsetaste . . . 28
Nadel-Telegraph . . . 29
Nadel-Telegraph . . . 30
Guglielmo Marconi . . . 31

**2.3. Telefonie**

Telefonie . . . 32
Philipp Reis, Erfinder des Telefons . . . 33
Telefon von Philipp Reis . . . 34
Telefon von Alexander Bell . . . 35
Telefonie: Weiterentwicklung . . . 36
Erste "Mobil"telefone . . . 37
Heutige Mobil"telefone" . . . 38
Telefonie der Zukunft: Gedankenübertragung? . . . 39

## 3. Systematische Sicht auf Kommunikation . . . . . 40

### 3.1. Drei Grundfragen

Drei klassische Grundfragen der Kommunikation . . . . . 41
(1) Codierung: Physikalische Darstellung von Information . . . . . 42
Periodische Vorgänge: Schwingungen . . . . . 43
Vollschwingung . . . . . 44
Unterscheide: Herz und Hertz . . . . . 45
Codierung von Information durch modulierte Signale . . . . . 46
Amplitudenmodulation . . . . . 47
Frequenzmodulation . . . . . 48
Phasenmodulation . . . . . 49
Wellen . . . . . 50
(2) Übertragung von Information . . . . . 51
(3) Bedeutung von Information ("Semantik") . . . . . 52
Technologie-spezifische Probleme . . . . . 53

### 3.2. Zwei Limitierungen

(1) Limitierung des Signalvorrats . . . . . 54
(2) Limitierung der Sendehäufigkeit . . . . . 55

### 3.3. Drei Probleme

Drei klassische Probleme der Kommunikation . . . . . 56
(1) Fehler . . . . . 57
(2) Verluste . . . . . 58
(3) Sicherheit . . . . . 59

### 3.4. Drei Leistungsparameter

Drei klassische Leistungsparameter der Kommunikation . . . . . 60
(1) Latenzzeit . . . . . 61
(2) Datenrate . . . . . 62
(3) Jitter . . . . . 63


**Legende:**
Fortsetzungsseite
Seite ohne Überschrift
Bildseite