

Prof. Dr. Horst Völz
Vorlesungsmaterial Sommersemester 2005

Zur Geschichte der Komprimierungen Teil 3

Dieses Material wurde von meiner Homepage: horstvoelz.de heruntergeladen.

Es ist für **privaten Gebrauch frei nutzbar**.

Bei Publikationen, Vorträgen usw. ist die Angabe der Quelle notwendig.

Bei kommerzieller Nutzung ist eine Abstimmung mit mir erforderlich.

Die Bilder sind in höherer Qualität ca. 2000×3000 Pixel oder *.cdr Version X6 verfügbar.

Prof. Dr. Horst Völz, Koppenstr. 59, 10243 Berlin, Tel.: 030 288 617 08.

Email: h.voelz (at) online.de.

Überblick und Kurzfassung

Von den physikalischen Grundlagen (Urknall) über Chemie, Genetik, Neurobiologie, Sprache, Gedächtnis, Schrift, Bild, Film usw. bis hin zur elektronischen Technik hat das Komprimieren grundlegende Bedeutung. In allen diesen Fällen gibt es zwei Extreme der Beschreibungen und Gesetze, nämlich die möglichst vollständige und die extrem komprimierte Darstellung. Zwischen beiden gibt es zwei weitgehend unabhängige Hauptmethoden des Überganges, nämlich die verallgemeinerte Klassifikation und Axiomatik.

Ausgegangen wurde von den individuellen Grenzen beim Sehen, Hören (Wahrnehmung) und Handeln. Dem wurden die hohe Informations-Komplexität unserer Gesellschaft, Umwelt und Welt gegenübergestellt. Die beachtlichen Unterschiede bewirken u. a. unsere Emotionen. Im Verlaufe der Geschichte entstehen unterschiedliche Verdichtungsverfahren zur Senkung der Komplexität.

Hauptsächlich wurden bisher die Gebiete Sprache, Schrift, Bild, Film (Video) und Musik berücksichtigt. Sie wurden bzgl. der Speicherung, Übertragung und vor allem der Komprimierung herausgearbeitet. Wichtige Etappen sind Sprache (allgemein) Schrift, Druck und Foto.

In diesem **3. Teil** werden vorwiegend die technischen Methoden der Komprimierung behandelt. Er ist eine Überarbeitung von [horstvoelz.de/PDF TU/Kompression.pdf](http://horstvoelz.de/PDF%20TU/Kompression.pdf) vom 28.10.2012.

Am Ende befindet sich wieder ein kurzes **Literaturverzeichnis**.

Inhalt

- **Wichtige Begriffe:** kontinuierlich $\Leftrightarrow$ digital sowie Relevanz $\Leftrightarrow$ Redundanz.
- **Kontinuierliche Verdichtung:** Aussondern, Vocoder, Empfängermodelle, Dynamikregelung.
- **Digitalisierung:** OCR usw. Sampling, kontinuierliche Digitaltechnik, Codierung.
- **Digitale Komprimierungen, Codierungen,** SHANNON, FANO, HUFFMAN.
- **Verlustfreie Komprimierungen:** unendliche Folgen, endliche Datei, arithmetisch, Zip, Arc usw. BURROWS-WHEELER und HILBERG.
- **Verlustbehaftete digitale Komprimierung,** Hör- und Seh-Modelle; Wahrnehmungsgrenzen.
- Komprimierung von **Schall:** MPEG, MP3 usw.
- Komprimierung von **Bildern:** Transformationen, JPEG, Wavelets, Fraktale, Rekursion, L-Systeme.
- **Film - Video** MPEG.
- **Grafik-Code?**
- **Literatur.**

Kompression $\Leftrightarrow$ Komprimierung

Lateinisch **premere** drücken, bedrängen, pressen (Zur Verdichtung von Inhalten und Daten wenig brauchbar).

Lateinisch **comprimere, compressum** zusammen-, niederdrücken, niederpressen, -drängen, frei übersetzt

Verdichten.

Neben der hier behandelten Anwendung auf **Daten, Information (Komprimierung, Verdichtung)** existieren u. a.

Technik

Kompressor = Gerät zum Zusammendrücken von Gasen und Dämpfen.

Kompression: Volumen- Verringerung von Festkörpern, Flüssigkeiten und Gasen durch Druck-Erhöhung.

Abgeleitet **Presse** =.

1. Gerät, Vorrichtung zum Aus- und Zusammendrücken (u. a. Wein-, Öl-Pressen).
2. Drucker-Pressen.
3. Gesamtheit der Zeitungen, Zeitschriften usw.

Sowie **Express** = vielfältig bzgl. Schnelles, z.B bei Eisenbahn, Post usw.

Medizin

Kompression = Quetschung eines Körperorgans oder -stelle durch mechanische Einwirkung.

bzw. mechanisches Abdrücken von blutenden Gefäßen.

Kompresse = feuchter Umschlag.

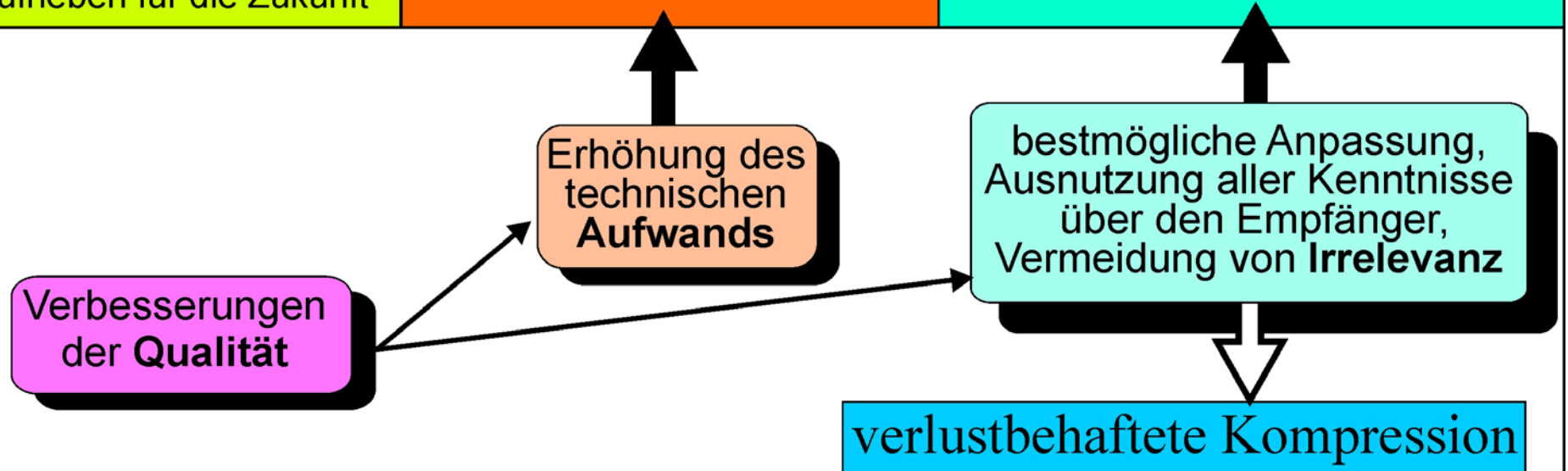
Depression = bedrückt und niedergeschlagen sein.

Kunst

Ex- und **Impressionismus.**

Daten zur Erweiterungen unseres (unmittelbaren) Erlebens (ohne Kunst und Literatur)

Ziel - Zweck	Parameter (extensiv)	Qualität (intensiv)
was geschieht jetzt wo? online-Übertragung	Datenrate (digital) Bandbreite (analog)	Original ist nicht erreichbar Teile, Auszüge sind zu wählen möglicher technischer Aufwand minimale Notwendigkeit
wann geschah was? Speicherung Aufheben für die Zukunft	Speicherkapazität(-menge) Datenrate - Speicherzeit	



kompression4F.cdr h. völg 30.11.98

Notwendigkeit der Daten-Komprimierung

Informationen bzw. Daten treten heute in **großer Vielfalt und Menge** auf.

Sie werden beim **Empfänger (Mensch und Technik)** – umfangreich benötigt.

Dort müssen sie zur **richtigen Zeit** – oft extrem schnell nach einer Anfrage – verfügbar sein.

Der Zugriff auf sie kann durch **Übertragung** und/oder **Wiedergabe** aus Speichern erfolgen.

Dabei sind oft hohe **Datenraten** und **Speicherkapazitäten** erforderlich.

Ihre Werte werden zwar **ständig vergrößert**, gelangen aber bald an die **physikalischen Grenzen**.

Daher ist es **günstig bis erforderlich**, die zu übertragende, speichernde Datenmenge mittelbar **zu senken**.

Hierfür gibt es zwei grundsätzlich **verschiedene Wege** (Details später).

Verlustbehaftete „Komprimierung“; erfolgt meist durch **Daten-Auswahl**

Es wird nur die **unbedingt erforderliche** (wahrnehmbare) Information übertragen bzw. gespeichert.

Die entsprechende **Aussonderung** ist durch eine **Relevanz** gekennzeichnet, **Irrelevantes** entfällt.

Die dazu gehörende Auswahl kann durch den **Sender, Empfänger** oder aus **übergeordneter Sicht** erfolgen.

Verlustfreie Komprimierung

Es werden **reziproke Methoden** benutzt, die die Datenmenge nur während der Übertragung, Speicherung senken.

Dabei sind **Original-Daten** D_0 des Senders, Empfängers und **komprimierte** Daten D_k zu unterscheiden.

Die **Encodierung** transformiert $D_0 \rightarrow D_k < D_0$, hierbei werden in D_0 vorhandene **Redundanzen** weg gelassen.

Die **Decodierung** muss fehlerfrei D_k aus D_0 rekonstruieren, das ist **nur bei digitalen Daten möglich**.

Relevanz und Redundanz

Beide Begriffe werden leider meist nur *intuitiv* benutzt. *Details*, Definitionen bzgl. Information und Daten s. u.

Relevanz

Lateinisch levare erleichtern, erheben und *levis* leicht.

Verwandt **Elevator** Heraus-, Emporheber, Förder- und Aufzug, **Eleve** Zögling, Schüler.

Elevation = Erhöhungsgrad bei Sternen, Geschützen usw., auch Winkelmaß.

Französisch Relief, was sich hervorhebt.

heute $\approx$ **Bedeutsamkeit, Wichtigkeit und Erheblichkeit** – **relevant** $\approx$ erheblich, wichtig und bedeutend;.

Es besteht ein Bezug zur Erkenntnistheorie im Sinne von OKHAMs Rasiermesser.

Redundanz

Lateinisch unda Welle **Undulation** Wellenbewegung. **Red-undanz** das Zurückwogen.

Französisch ondulieren und *sondieren*, später die Sonde.

Verwandt **Undine** = Wassermädchen, Nixe.

heute $\approx$ **Üppigkeit, Überfluss, Überreichlichkeit und Übermaß**.

Anwendungen beider Begriffe

Zuverlässigkeit durch (heiße, kalte) „**Reserve**“ zur erhöhten Sicherheit.

Fehlerbehandlung erfordert **förderliche** Redundanz.

Informationstheorie = Verhältnis: Code-Aufwand (realisierte Codierung) zu Entropie (theoretische Grenze).

Sprachwissenschaft = Hyper-, Übercharakterisierung = mehrfache Kennzeichnung derselben Information.

≈ Pleonasmus und Tautologie.

Analog bis digital

Es gibt mehrere zusammenhängende Begriffe, die zunächst genauer erklärt werden müssen. Das ist wichtig, weil sie zuweilen falsch benutzt werden. Es sind dies:.

Analog, kontinuierlich, diskret, stetig und digital,
sowie sampling und quantisieren.

Analog

Griechisch **logos** Vernunft + lateinisch **ana** auf, wieder, aufwärts, nach oben.

Lateinisch **analogia** mit der Vernunft übereinstimmend, Gleichmäßigkeit.

Analogie $\approx$ Entsprechung, Ähnlichkeit, Gleichwertigkeit, Übereinstimmung.

Analog betrifft immer den **Vergleich** mit etwas anderem und besitzt **Anwendungen** u. a. in:.

- **Technik**: z. B. Analogrechner, elektromechanische Analogien; Analoguhr mit drehenden Zeigern.
- **Kybernetik** technisch Systeme $\Leftrightarrow$ lebende Organismen.
- **Biologie/Medizin**: analoge Organe bzgl. Morphologie/Struktur, z. B. Auge Wirbeltier, Tintenfisch und Insekt.
- **Bionik**, z. B.: Haut von Delphinen zur Optimierung von Schiffsrümpfen, Lotos-Effekt usw.
- **Psychologie**: Denken, MAXWELL: Wasserströmung $\Leftrightarrow$ elektrische Felder; KEKULE: Affen $\Leftrightarrow$ Benzol-Ring.
- **Logik**: induktive Beweisführung: Wenn Größen in einigen Punkten ähnlich sind $\Rightarrow$ auch in anderen ähnlich.
- **Platon**: menschliche Seele dreigeteilt (Vernunft, Wille, Begierden)
Gerechter Mensch kontrolliert Begierden durch Vernunft, mit Unterstützung des Willens
Analogie zum Dreiständeaufbau des Staates: erleuchteter Philosoph | König regiert Gesellschaft mit Kriegern.
- **Rechtsprechung**: juristisch Tatbestand auf etwa wesensgleichen übertragen; in Deutschland unzulässig.
- **Literatur** $\approx$ Fabeln, Parabeln, Märchen, Gleichnis.

Für den **Gegensatz** zu **analog** existiert kein eigenständiger Begriff $\Rightarrow$ **nicht-analog**.

kontinuierlich

*Lateinisch **continens, continuus***: zusammenhängend, angrenzend an, unmittelbar folgend, ununterbrochen, jemand zunächst stehend.

Continuare: aneinanderfügen, verbinden, fortsetzen verlängern, gleich darauf, ohne weiteres.

contingere: berühren, kosten, streuen, jemandem nahe sein, beeinflussen.

In der *Umgangssprache* nicht vorhanden, aber in *drei wissenschaftlichen Varianten*:

- ***Mathematik***: Kontinuum der ***reellen Zahlen***: zwischen zwei Zahlen gibt es immer eine weitere bedeutet prinzipiell eine ***unendliche Stellenzahl*** bei der Dezimaldarstellung s. u.
- ***Physik***: Kontinuumsmechanik berücksichtigt ***nicht die Mikrostruktur*** der Materie.
- ***Signale, Wahrnehmungen usw.***: ***beliebige (Mess-) Werte***, bezüglich *Zeit und Amplitude* (Energie). Dabei besteht aber immer ***Unsicherheit*** des genauen Wertes durch Störungen, Messfehler usw. s. u.

Verwandt mit **stetig**

Deutsch: von stehen verwandt mit stet, stets. das Gegenteil von unstet.

Umgangssprache: beharrlich, ununterbrochen, ständig.

Mathematik: spezieller als Grenzwert $\lim f(x)$ für $x \rightarrow 0$.

diskret

*lateinisch **discretion***: Unterscheidungsvermögen, Urteil und Entscheid.

discretus: abgesondert, getrennt.

discernere: scheiden, trennen, unterscheiden, beurteilen, entscheiden.

16. Jh. in deutsche Sprache, benutzt in:

- **Physik** Größen, die sich nur in endlichen Schrittweiten ändern.
- **Mathematik**: etwas zerfällt oder gliedert sich in einzelne Punkte oder Elemente.
- **Signal**: nur endlich viele, meist genau definierte Werte.
- **Umgangssprache**: taktvoll, rücksichtsvoll, zurückhaltend, unauffällig, unaufdringlich, vertrauensvoll, geheim, verschwiegen.

Quant, quantisieren

lateinisch *quantitas* Größe, Anzahl.

quantum wie viel, so viel wie, inwieweit, irgendwie.

Etwa diskrete Werte erzeugen.

- **Physik** *Quant* durch MAX PLANCK eingeführt. **Quantentheorie**;
Gegenteil **Qualität** $\approx$ Güte.
- **Philosophie**: Zusammenhang von **Quantität** ($\approx$ Menge) $\Leftrightarrow$ **Qualität** ($\approx$ Güte).
- **Signal**: Erzeugen diskreter Amplituden und/oder Zeitpunkte (Takte).

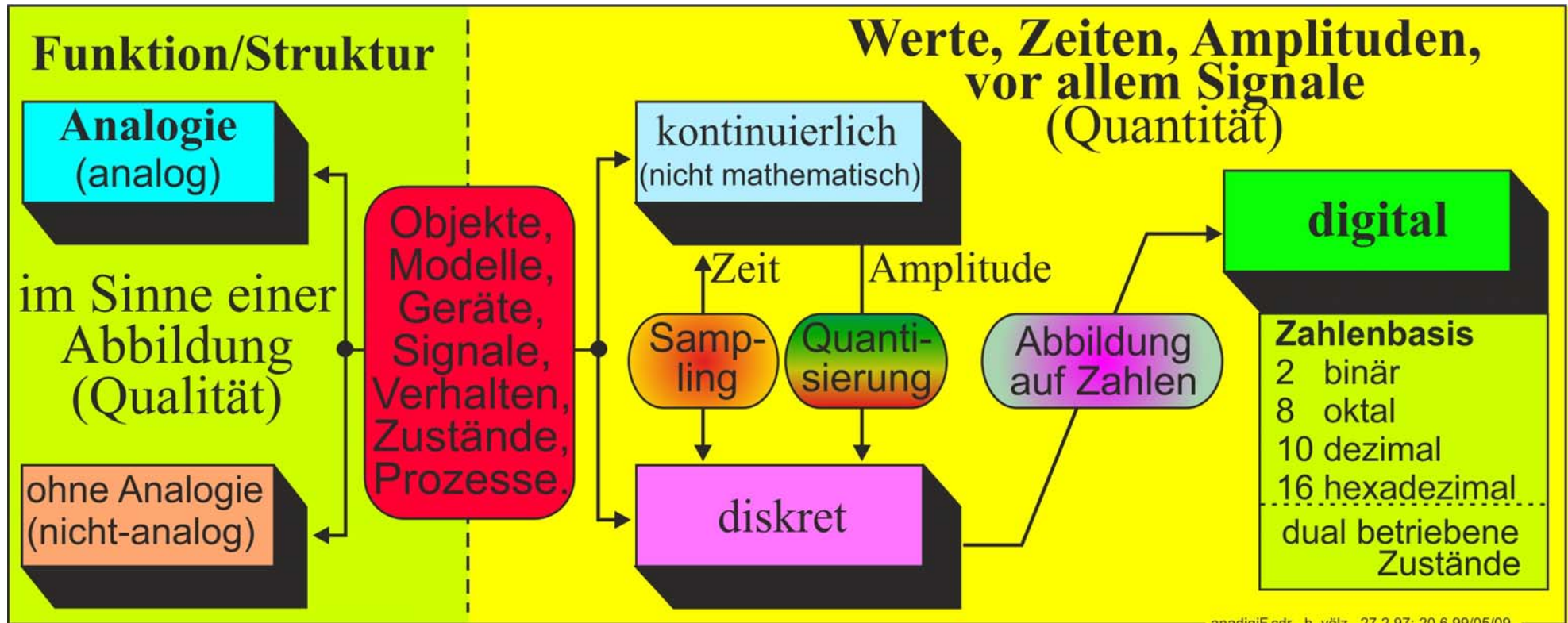
digital

*lateinisch **digitus**: Finger.*

- **Inhaltlich**: zählen, ziffernmäßig, in Zahleneinheiten angeben.
- **Biologie**: digitalis = Pflanze Fingerhut.
- **Englisch**: alte Maßeinheit Fingerbreite = 18,5 mm.
- **Signal**: **Zahlenbasis** erforderlich: *binär 2, oktal 8, dezimal 10, hexadezimal 16*.
- **Zustände** können abweichen, zum Signal viele Codierungen möglich. z. B. dual bei zwei physikalische Zuständen.

BCD =binär codierte Dezimalzahl. .

Zusammenhang der Begriffe

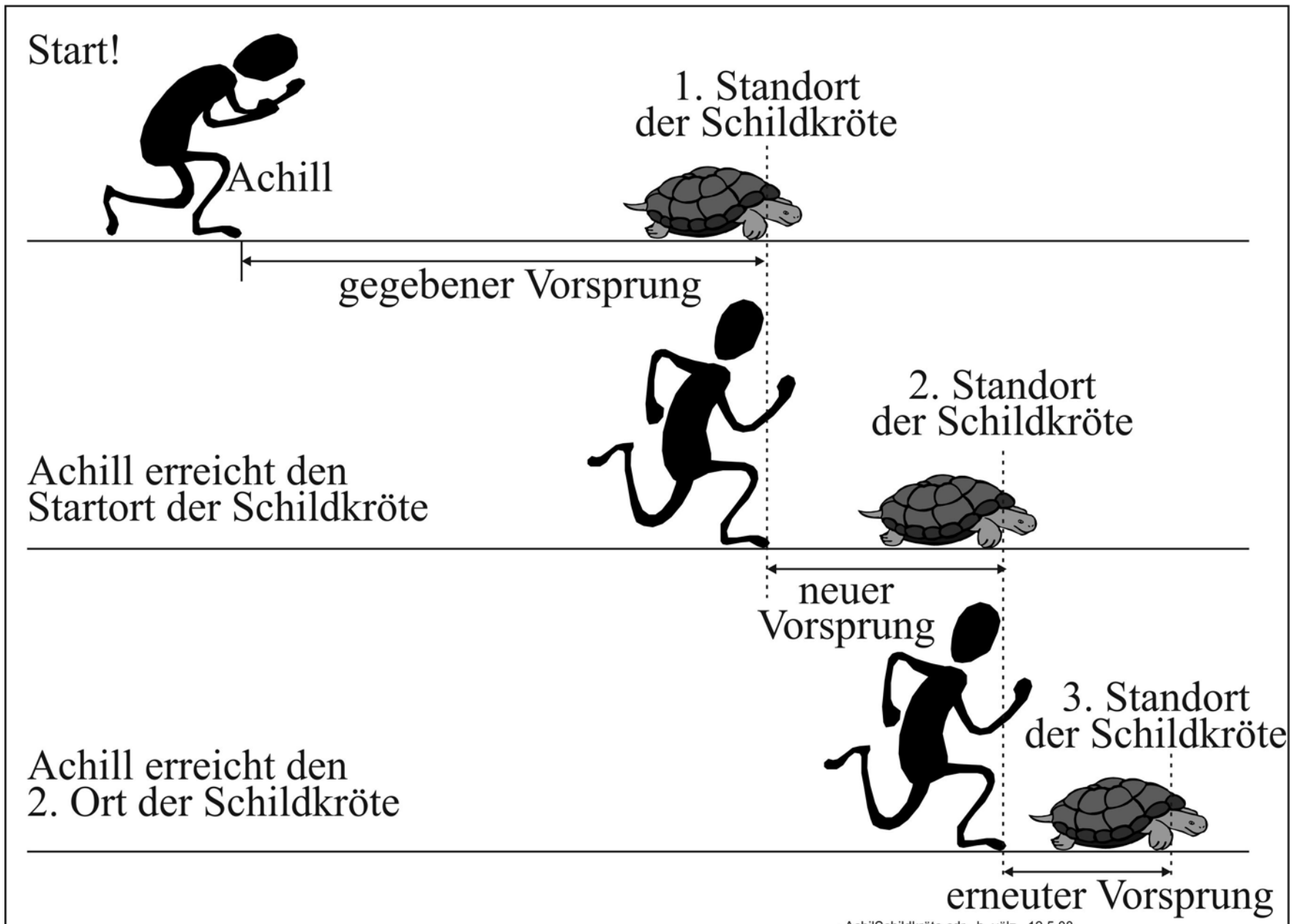


Varianten von kontinuierlich

kontinuierlich ist einerseits **sehr alt** und besitzt andererseits **mehrere Varianten**.
Deshalb sind zusätzliche Betrachtungen notwendig.

Den Ursprung von kontinuierlich löste ZENON aus Elea (335 bis 264 v. Chr.) aus.
Von ihm stammen zehn **Paradoxien**, die gegen jegliche Bewegung gerichtet sind.
Häufig wird der **Wettlauf** zwischen dem schnellfüßigen **Achilles** und der extrem langsamen **Schildkröte** zitiert.
Der Schildkröte wird **beim Start** ein deutlicher **Vorsprung** auf den Ort x_0 gewährt.
Dann kann sie Achilles nicht mehr einholen, geschweige überholen.
Ist er nämlich am Startpunkt x_0 der Schildkröte angelangt, so befindet sie sich schon weiter vorne, am Ort x_1 .
Erreicht Achilles diesen Punkt, so ist sie dort wieder bereits weg, nämlich am Ort x_2 usw.

Als Gegenargument wies schon damals ARISTOTELES aus Stagira (384 bis 322 v. Chr.) auf das Kontinuum hin.
Es argumentierte, dass es keine unendlich kleinen Zeit- und Weglängen geben kann.



Vergleich digital $\Leftrightarrow$ kontinuierlich

digital

Im Folgenden wird hierbei das umfassendere **diskret** einbezogen.

Werte der Daten, Informationen können nur **endlich viele, genau festgelegte** Größen annehmen.

Sie können, aber müssen nicht, einer **digitalen 01-Folge** zugeordnet werden.

Die endliche (Stufen-) Anzahl wird meist durch **Bit-Tiefe** beschrieben, typische Größen sind **8 bis 32** Bit/Wert.

Einmal digital festgelegte (diskrete) Werte sind fast immer **fehlerfrei reproduzierbar**.

Auftretende (nicht zu große) **Störungen** können entfernt werden, außerdem ist **Fehlerkorrektur** möglich.

Die **Eigenschaften der Welt** – auch Raum und Zeit – werden heute überwiegend als **diskret** angenommen.

In der Natur, Welt ist die **Stufenzahl so hoch**, dass die einzelnen Stufen meist **unerkennbar** klein bleiben.

In jedem Fall bewirkt jedoch die HEISENBERG'sche **Unschärfe** begrenzend.

kontinuierlich

Hierbei können die Werte der Daten innerhalb eines Intervalls **beliebig groß** sein.

Ihre **Genauigkeit** wird immer durch vorhandene, zusätzliche **Störungen** (u. a. Rauschen) begrenzt.

Dadurch sind kontinuierliche Werte faktisch **nur mit zusätzlichen Fehlern reproduzierbar**.

Vielfach wird für kontinuierlich (noch fälschlich) **analog** benutzt.

Wegen der extrem hohen Stufenzahl der Natur sind fast **alle Messwerte praktisch kontinuierlich**.

Das gilt insbesondere für unsere **Sinneswahrnehmungen** und **fast alle technischen Wandler** und **Signale**.

Auch **Sprache** und **Musik** sowie viele **Bilder** sind **primär kontinuierlich**.

Eigenschaften von Daten

Kontinuierliche Daten

Infolge der *Evolution sind unsere Sinne* an die quasi-kontinuierliche Natur angepasst. Unsere aktiven (motorischen) *Handlungen* und unsere *Stimme* erzeugen *keine diskret abgestuften Werte*. In beiden Fällen gibt es zwar *Schwellen* der Wahrnehmung und Feinheit der Handlung. Doch sie entsprechen *eher Störungen*, denn es sind keine diskreten (Mittelwerte) definiert. Praktisch alle *technischen Wandler* (Sensoren und Aktoren) funktionieren kontinuierlich. *Primär* existieren also fast immer kontinuierliche Signale. In der Technik sind beliebig *kleine* (Verstärkung) und *große Signale* zulässig. Sie sind aber nur mit *zusätzlichen Fehlern und Störungen* zu nutzen, speichern, übertragen, verarbeiten. Eigentlich müssen *unendlich viele Werte* wie beim mathematischen Kontinuum zugelassen werden.

Diskrete Daten

ermöglichen eine *fehlerfrei* Übertragung, Speicherung und Vervielfältigung. Sind heute mittels *Informationstechnik* und vor allem mit *Computern* umfangreich zu verarbeiten. *In der Technik* sind verschiedene diskrete Signale (z. B. Bild und Ton) leicht zu *verschachteln*. Ferner sind *verlustfreie Komprimierung* und *guter Datenschutz* möglich. Dabei ist aber nur ein eng *begrenzter Pegelbereich* zulässig, ferner darf der *Takt* nicht verloren gehen. Die diskreten Stufen wirken sich zuweilen sehr nachteilig als *Sampling-Rauschen* aus. Daher werden sie bei der Audio-CD z. B. durch ein 6 dB lauterer thermischen Rauschen verdeckt.

kontinuierliche $\Leftrightarrow$ digitale Signale

kontinuierlich	diskret - digital
Stärken, Vorteile	
• <i>beliebig kleine und große Signale sind möglich.</i> • <i>Verstärkung ist möglich.</i> • Benutzt von <i>technischen Sensoren</i>, <i>Aktoren</i> und <i>menschlichen Sinnen</i>. • Bei <i>Übersteuerung</i> setzen <i>Verzerrungen</i> weich ein.	• Signale leicht <i>fehlerfrei zu regenerieren</i>. • <i>Verlustfreies</i> Übertragen, Kopieren, Vervielfältigen. • <i>Verschachtelung</i> mehrerer, unterschiedlicher Signale. • <i>Fehlererkennung</i> und <i>-korrektur</i>. • Verlustfreie <i>Komprimierung</i>. • <i>Datenschutz</i> (Verschlüsselung, Kryptographie).
Schwächen, Nachteile	
• Bei jeder Übertragung, Speicherung und Vervielfältigung <i>kommen Störungen, zumindest Rauschen hinzu</i>.	• Signale müssen <i>eng begrenzte Pegel</i> besitzen, insbesondere hinreichend, aber nicht zu groß sein. • <i>Sampling-Rauschen</i> unvermeidlich *. • Der Takt darf nicht verloren gehen *.

Die *Kontinuierliche Digitaltechnik* ermöglicht u. a. diese Nachteile * auszuschalten.

Was Fehler sind

Der Begriff „Fehler“ wird bei verschiedenen Gegebenheiten oder Zusammenhängen benutzt, wenn:

- ***Etwas falsch ist*** z. B. technischer, Bedienungs-, Denk-, Druck-, Rechen-, Rechtschreib-, Software-, Übertragungs-, Wahrnehmungs-Fehler; Defekt, Fehlfunktion, Irrtum, Makel und Lapsus;
- ein ***Verhalten*** oder eine ***Entscheidung*** nicht der Situation oder den Umständen angemessen ist, z. B. Fauxpas und Tabuverstoß;
- eine ***schlechte charakterliche Eigenschaft*** oder ***körperlicher Mangel*** vorliegt (Vorurteil. Achtung: political correctness).
- bei einem ***Material*** oder einer ***Ware*** eine ***schlechte*** oder ***unbrauchbare Stelle*** im Aussehen oder in der ***Qualität*** existiert, z. B. Webfehler oder Schmutzfleck

Meist wird von einem Fehler gesprochen, wenn etwas ***Geplantes, Erhofftes wieder Erwarten nicht*** eintritt.

Für viele Fehler gibt es ***Ursachen***, die oft erst erkundet werden müssen und z. T. unvermeidbar sind.

Es gibt auch ***zufällige Fehler***. Das ist bei Quanten-Effekten oder vielen Ursachen der Fall.

Bei ***Messungen*** sind ***systematische*** $\Leftrightarrow$ ***statistische Fehler*** zu unterscheiden (Messabweichung, früher Messfehler).

Oft können sie mittels ***Wiederholung*** der Messung und ***Fehlerrechnung*** verkleinert werden.

Für digitale Signale gibt es Methoden zur ***Fehlerkorrektur***, eigentlich -verkleinerung.

Teilweise können (Denk-) Fehler auch ***Neues bewirken*** und dann ***kreativ, produktiv sein***.

Handeln, Glauben und Wissen

Jedes „**Gebilde**“ muss sich in seiner Umgebung **verhalten**, mit ihr **auseinandersetzen**, in ihr **aktiv handeln**. Das geschieht vom **Weltbeginn** an und bewirkte die **Evolution** der Welt vom Mikro- bis zum Makrokosmos. Nur wenn dabei ein „**Erfolg**“ eintritt, „überlebt“ das jeweilige Gebilde; andernfalls „stirbt“, verschwindet es. Das beginnt unmittelbar nach dem **Urknall** mit den Elementarteilchen, Molekülen usw. und führt zum **Weltall**. Auf der **Erde** entstehen dabei nacheinander **Mikroorganismen, Pflanzen, Tiere** und schließlich der **Mensch**. Er entwickelt u. a. **Zivilisation, Kultur, Kunst** und **Technik**. Mit ständig **zunehmenden** Varianten der „Gebilde“ wachsen die Möglichkeiten des **Verhaltens** und **Handelns**. Dabei bilden sich auch **Strategien** heraus, welche die **Erfolgsaussicht** vergrößern. Zunächst wurden sie in der **Genetik** „**programmiert**“ abgelegt. Später entstanden aus den neurologischen Möglichkeiten die **Gehirne**. Da der Mensch (zunächst) die **Ursachen** nicht erkannte, entstanden Erklärungen durch **Intuition** und **Glauben**. Erst später entstand die **Wissenschaft**. Sie ermöglicht bessere **Vorhersagen** und zuverlässiger **Erwartungen**. Dennoch treten beim heutigen fortgeschrittenen Stand immer (noch) **unerwünschte Misserfolge** $\Rightarrow$ **Fehler** ein. Sie sollen hier in verallgemeinerte Form für **drei Gebiete vergleichend** betrachtet werden.

Vergleich der Klassen für Fehler

Die folgende Tabelle stellt wichtige Kennzeichen und Eigenschaften der drei Klassen gegenüber. Dabei ist zu beachten, dass die Klassen nicht unabhängig sind, sondern sich ergänzen und überlagern. Wie die folgenden Bilder zeigen, beeinflussen sie sich und können in einem 3D-Raum angeordnet werden.

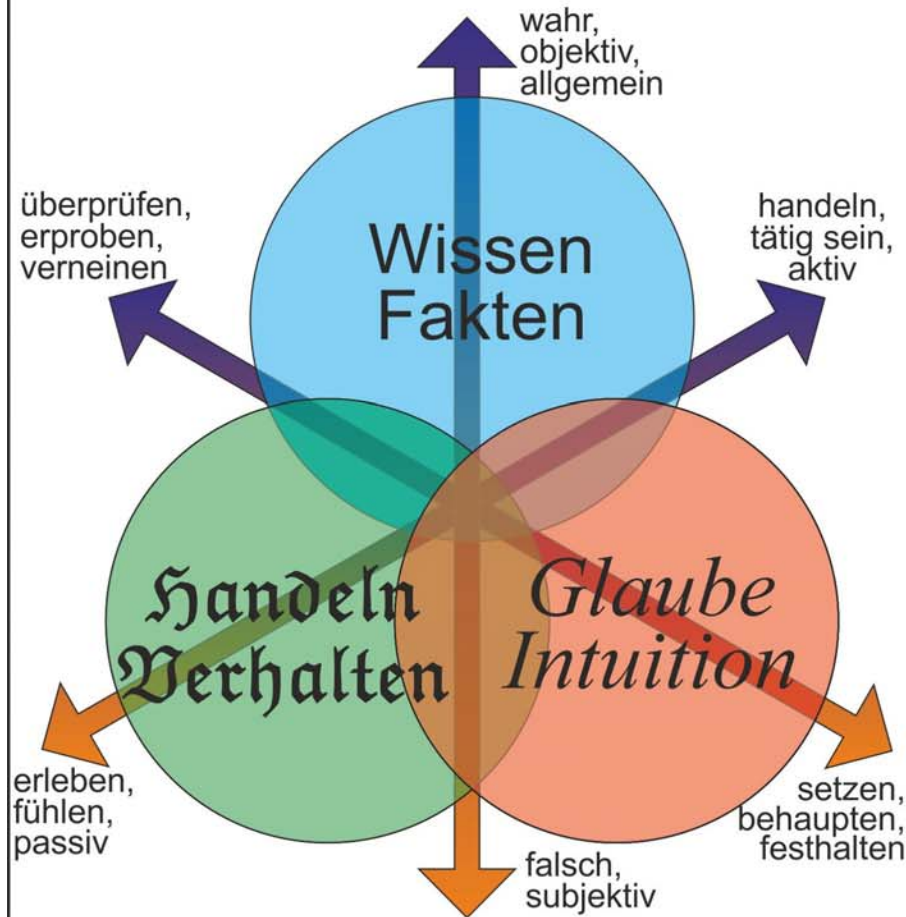
<i>Handeln, Verhalten</i>	<i>Glaube(n), Intuition</i>	<i>Wissen, Fakten</i>
Ziele in der Realität, Gesellschaft Eigenschaften von Technik, Geräten	Ganzheitlich, Religion, Mythen, Kunst, Visionen, Behauptungen, subjektiv	Theorien, Gesetze, Hypothesen, erklärend, anleitend, beweisend
Erfolgreich $\Leftrightarrow$ erfolglos (falsch) Aktiv $\Leftrightarrow$ passiv (erleben, fühlen) Funktionsfähig $\Leftrightarrow$ defekt	Überzeugend, anregend $\Leftrightarrow$ lähmend Einleuchtend (sinnvoll) $\Leftrightarrow$ zweifelnd Anmutig (schön) $\Leftrightarrow$ hässlich, abstoßend	Wahr $\Leftrightarrow$ falsch Universell $\Leftrightarrow$ speziell
Fehlleistungen, Technische Grenzen, Fehlerwahrscheinlichkeit	Sünde, Tabu, Fauxpas, Gott gewollt	Grenzen, Widersprüche, Paradigma, formale u. Modallogik, Paradoxien

Zunächst wird dann das ***Handeln und Verhalten*** genauer analysiert.

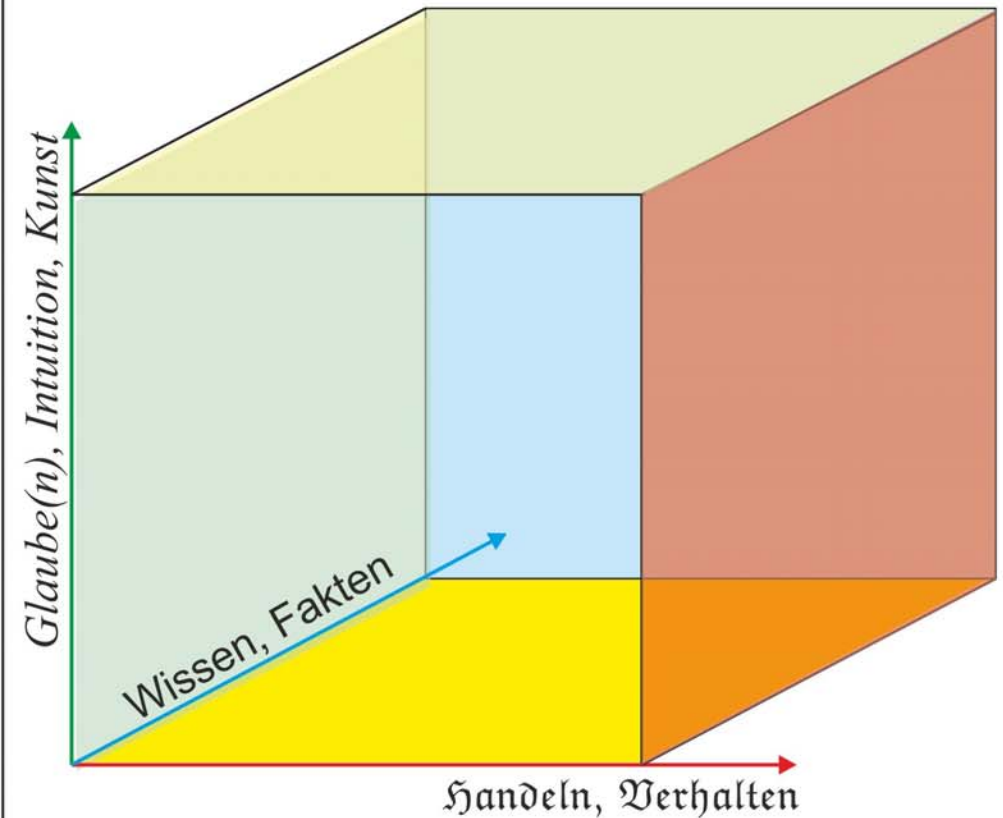
Auf *Glaube(n) und Intuition* sei hier verzichtet. Die entsprechenden Fehler sind nämlich fast immer individuell. Die Fehler bei der ***Wissenschaft*** bilden den zweiten Schwerpunkt.

Beziehungen zur Welt, Realität

Zusammenhänge



Kombination der Varianten



Wissen_kunstN.cdr h. Völz 27.2.99/13

Menschliche Fehlleistungen

Sie sind erstmalig von SIGMUND FREUD (1856 - 1939) untersucht worden [3].

Vorsichtig weist er aus, dass wir **eigentlich keine Fehler** machen würden.

Sie kommen aber als Folge von **Störungen, Ablenkungen und unterbewussten Einwirkungen** zustande.

Mit ihren Ursachen beim Sprechen beschäftigt sich seit mehreren Jahren ausführlich die **Fehlerlinguistik**.

Wie relativ **häufig** solche Fehlleistungen auftreten ist jedoch wenig bekannt.

Auffällig ist ihre Benennung der Fehler mittels der **Vorsilbe „ver-“**.

Z. B. *sich* ver hören, ver lesen, ver schreiben und versprechen sowie *etwas* vergessen, verlegen, verlieren und vertauschen.

Es gibt jedoch sehr **viele Wörter** mit dieser Vorsilbe. Im Duden mit rund 1000 Seiten füllen sie allein 16.

Außerdem ist es die **zweithäufigste Vorsilbe** im Deutschen. Nach KAEDING gilt in % [4]: ge: 22.2; be: 11.4; **ver: 9.8**; er: 6.2; an: 4.3; zu: 3.8; vor: 3; aus: 2.7; un: 2.5; erst: 2.4; da: 2.4; ein: 2.3; ab: 2.3; auf: 2; über: 1.8.

Daher betreffen viele Wörter nicht Fehler, wie z. B.: verbinden, verfügen, vergeben, vergnügen, verheilen, verheiraten, verlieben, verloben, verpflegen und verwahren.

Feinheit der diskreten Welt

Meist wird heute angenommen, dass die Natur diskret sei.

Dann existieren für Länge, Zeit und Masse kleinstmögliche diskrete Werte. Sie wurden mehrfach bestimmt.

Die wohl erste und heute bevorzugte Variante geht Sir ARTHUR STANLEY EDDINGTON (1882 - 1944) zurück.

Sie wurde auch von MAX KARL ERNST LUDWIG PLANCK (1858 – 1947) unterstützt und trägt heute seinen Namen.

Eine andere Variante stammt von NIELS BOHR (1885 – 1962), ERWIN SCHRÖDINGER (1887 – 1961), PAUL ADRIAN MAURICE DIRAC (1902 – 1984)

Zur Berechnung wird meist von den folgenden **Naturkonstanten** ausgegangen.

PLANCK'sches Wirkungsquantum..... h	$6,62607554 \cdot 10^{-34}$	 J·s
Lichtgeschwindigkeit (im Vakuum)..... c	$2,99792457 \cdot 10^8$	 m·s ⁻¹
Gravitationskonstante..... f	$6,6725985 \cdot 10^{-5}$	... N·m ² ·g ⁻²
Ruhmasse des Elektrons..... m_e	$9,10938975 \cdot 10^{-28}$	 g

Größe	PLANCK	BOHR, SCHRÖDINGER, DIRAC
Länge	$\sqrt{h \cdot f \cdot c^3} \approx 4,051 \cdot 10^{-35} \text{ m}$	$\frac{h}{m_e \cdot c} \approx 2,43 \cdot 10^{-12} \text{ m}$
Zeit	$\sqrt{h \cdot f \cdot c^5} \approx 1,35 \cdot 10^{-43} \text{ s}$	$\sqrt{\frac{h}{m_e \cdot c^2}} \approx 8,09 \cdot 10^{-21} \text{ s}$
Masse	$\sqrt{\frac{h \cdot c}{f}} \approx 5,46 \cdot 10^{-8} \text{ kg}$	$m_e \approx 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$

Die quasi-kontinuierliche Welt

Für die üblichen (makroskopischen) Messungen sind die diskreten Elementar-Werte viel zu klein. Daher ist es dann sinnvoll, von (**physikalisch**) **kontinuierlichen** Werten auszugehen. Dieses kontinuierlich entspricht aber nicht dem **mathematisch** Kontinuierlichem (es gibt immer Zwischenwerte). Die prinzipiell mögliche Stellenzahl der **Messwerte** ist jedoch viel größer als die der **Messgenauigkeit** (s. u.). Ähnliches gilt auch dann, wenn **zwei voneinander abhängige Werte** bestimmt werden. Theoretisch wirkt hierfür die **HEISENBERG-Unschärfe** begrenzend, bzgl. der Zeit Δt und Energie ΔE gilt z. B.:

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq h$$

Die realen **Messfehler** sind sehr jedoch viel größer, so dass Kontinuität angenommen werden kann. Es gibt zwei wichtige Klassen von Messfehler:

- **Systematische** Messfehler entstehen durch ungenügende „Eich“-Möglichkeiten der Messgeräte und -anordnungen. Sie sind nicht völlig vermeidbar und können nur abgeschätzt werden. Sie werden hier nicht weiter berücksichtigt.
- **Zufällige** Messfehler stammen von unterschiedlichen Störungen und Rückwirkungen mit dem Gemessenen. Sie lassen sich durch mehrfache Wiederholung der Messung mittels Fehlerrechnung verringern.

Bei den **Störungen** sind zwei Fälle zu unterscheiden.

- **Externe** Störungen die in die Messapparatur von Außen eindringen. Sie sind durch **Abschirmung**, **Kompensation** usw. weitgehend vermeidbar, aber zumindest zu reduzieren.
- **Interne** Störungen entstehen in der Messapparatur und sind **letztlich physikalisch bedingt**. Sie betreffen vor allen das **thermische Rauschen** und manchmal auch das **Quanten-Rauschen**.

Externe Störungen

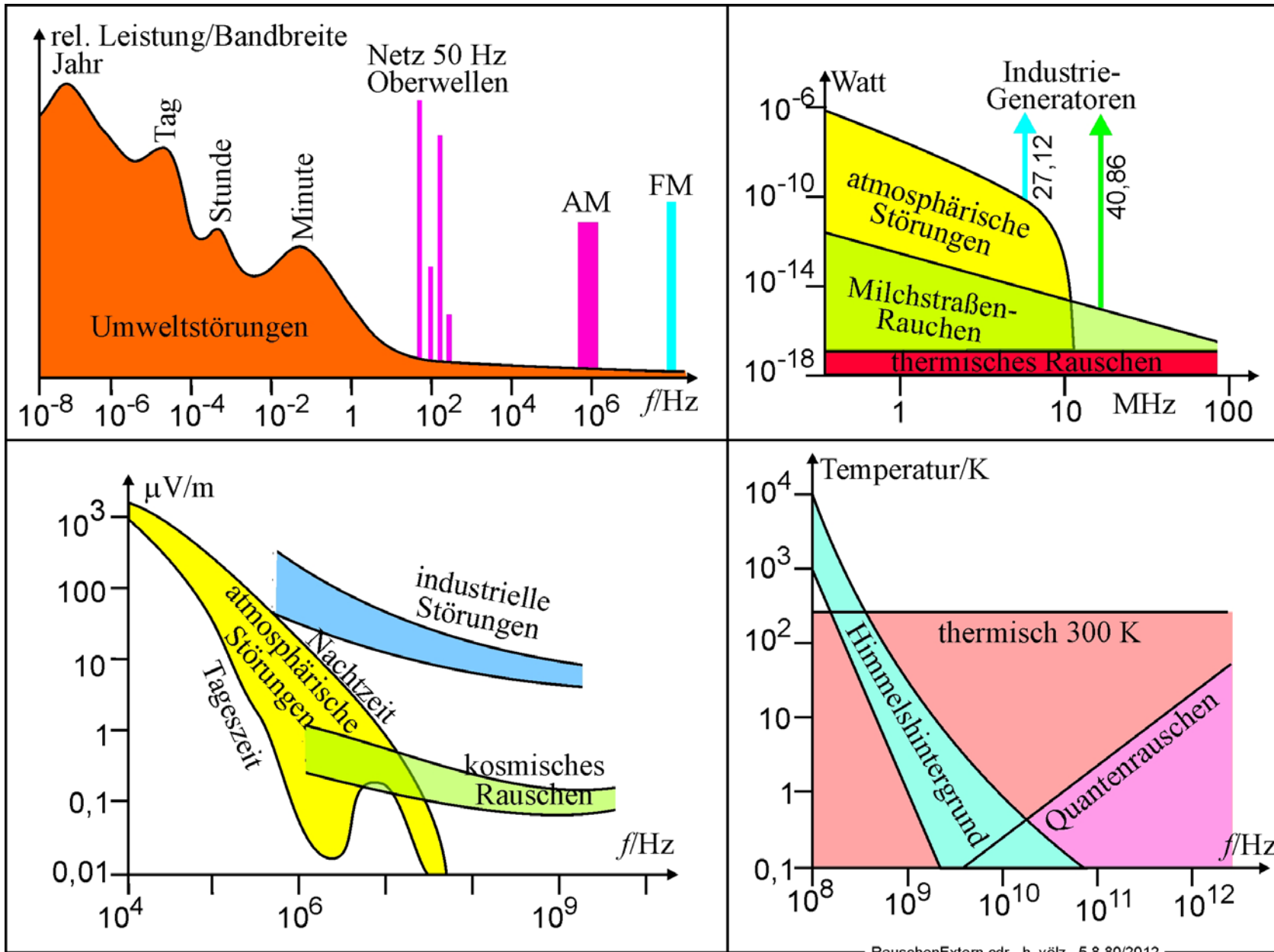
Es gibt eine Vielzahl externer Signalstörungen:

- **Außerirdisch:** kosmisches Rauschen der Rest- bzw. Hintergrundstrahlung (**Überbleibsel** des Urknalls). Hinzu kommen Strahlungsausbrüche der Sonne und Fixsterne des Milchstraßensystems, nehmen $\approx 1/f^3$ ab.
- **Terrestrisch** sind insbesondere das **atmosphärisches Wärmerauschen** und **Blitzentladungen**.
- **Technisch** verursacht: **unerwünschte** HF-Sender, Zündfunken, Bürstenfeuer von Maschinen und Schaltvorgänge.
- **Rückwirkungen** durch **Verkopplung** mit **anderen** (schaltungs-) Teilen des Empfangsystems, z. B.: Erdschleifen.

Sie lassen sich durch angepasste Maßnahmen stark reduzieren. Die wichtigsten sind

- **Frequenzselektive Ausfilterung** der nur gewünschten Signale.
- **Abschirmung** des Störers oder des Empfangssystems.
- **Symmetrisierung, Kompensation** usw. durch definierte zusätzliche, gegenpolige Einkopplung der Störung.
- Definierte **gemeinsame Erdpunkte** gegen störende Verkopplungen.

Bemerkung: In der Vorlesung „Elektronik“ an HU wird dies von mir zufällig kurz nach der Errichtung der Mauer behandelt!



Das elektronische Rauschen

Rauschen geht auf das Mittelhochdeutsche zurück und betrifft ein gleichmäßiges, anhaltendes dumpfes Geräusch u. a. Rauschen von Blättern im Wind und bei Regen.

Elektrisches Rauschen ist betrifft messbare unregelmäßige Stromschwankungen.

Es ist in gewissen Umfang immer vorhanden und dann unvermeidbar.

Es wurde erstmalig **1918** durch WALTER SCHOTTKY (1886 - 1976) beschrieben.

In der Arbeit wird auch das **Schrot**-Rauschen als Folge der statistisch auftreffenden Elektronen erklärt.

Etwa 10 Jahre später hat JOHN BERTRAND JOHNSON (1887–1970) die **thermische** Ursache experimentell belegt.

Er fand dabei auch das **Funkel-Rauschen** mit dem Frequenzgang $1/f$.

HARRY NYQUIST (1889 -1976) führte für das Rauschen die gemittelte (frequenzabhängige) Leistungsdichte ein.

Inzwischen sind viele **physikalischen Rauschphänomene**, entdeckt worden u. a.

das **Stromverteilungs**rauschen bei Röhren und das Rauschen bei Halbleitern.

Auch die **Quanteneffekte** erzeugen ein (elektrisches) Rauschen.

Viele physikalische Rauschphänomene sind auch heute noch Gegenstand intensiver Untersuchungen.

Rauschen als unvermeidbare Störung

Rauschen ist gekennzeichnet durch:

1. **Effektivwert** der Spannung, entspricht dem statischen Mittelwert, folgt aus der **Leistungsdichte**.
2. **Statistik** der Signale; infolge der Vielfalt der Einflüsse liegt oft GAUß-Verteilung vor.
3. **Frequenzgang**, vielfach frequenzunabhängig bis zu einer oberen Grenzfrequenz (weißes Rauschen), bei einigen Rauschquellen tritt auch „farbiges“ Rauschen auf, z. B. das zu tiefen Frequenzen ansteigende, z. B. $1/f$ -, Funkel-, Stromverteilungs- (Röhren) und Generations-Rekombinations-Rauschen (Halbleiter) bzw. das $1/f^2$ -Rauschen.

Das **thermische Widerstandsrauschen** entsteht durch die statistische Bewegung der Ladungsträger (Elektronen). Es ist vorwiegend „weiß“. Mit der benutzten Bandbreite B , der absoluten Temperatur T , der Boltzmann-Konstante $k \approx 1,38 \cdot 10^{-23}$ Ws/grd gilt für die Rauschleistung

$$P_r = k \cdot T \cdot B.$$

Für die Rausch-Spannung muss der Arbeitswiderstand R berücksichtigt werden:

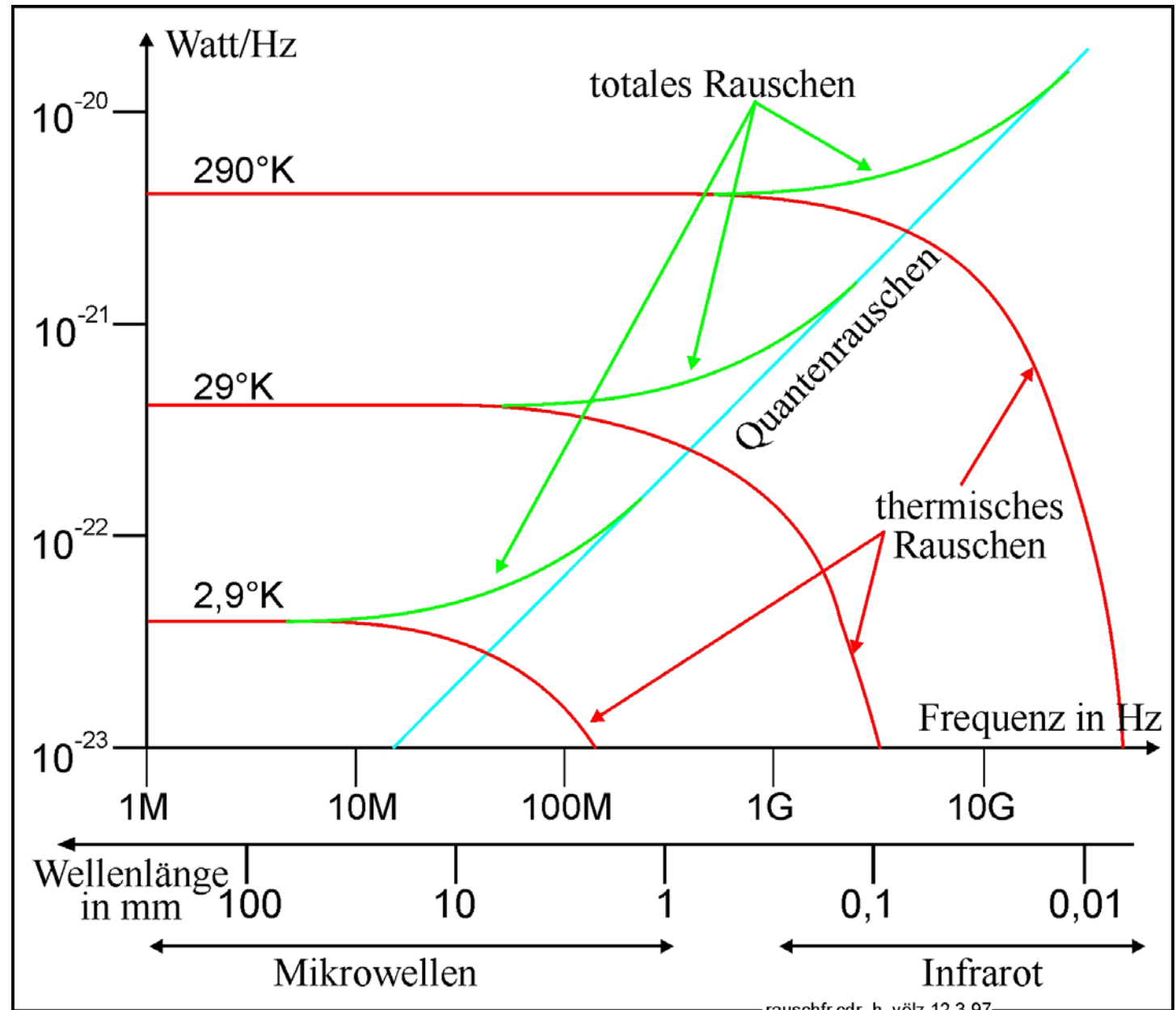
$$\bar{U}_r = \sqrt{P_r \cdot R} = \sqrt{k \cdot T \cdot B \cdot R}.$$

Das **Quantenrauschen** entsteht durch das statistische Auftreten von (Quanten-) Teilchen, z. B. Photonen. Es ist unabhängig von der Temperatur, aber proportional zu deren Frequenz ν , daher folgt

$$E = h \cdot \nu.$$

Erwähnt seien noch das Rauschen von **Kontaktstellen** zwischen Leitern und/oder Halbleitern sowie das **BARKHAUSEN-Rauschen** infolge des spontanen Umklappens magnetischer Bezirke.

Bei Zimmertemperatur
 $T \approx 290 \text{ K}$ überwiegt die
 Rauchleitungsdichte des
 Quantenrauschens die des
 thermischen Rauschens erst
 oberhalb von $\approx 1 \text{ GHz}$.



Auftreten der Messfehler

Wird eine Größe n -mal gemessen, so ergeben sich infolge der Störungen unterschiedliche Messwerte x_i . Daraus lassen sich der **wahrscheinlichste = Erwartungs- = Mittelwert** x_0 und die **Streuung = Varianz** $= \sigma$ bestimmen:

$$x_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \text{und} \quad \sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - x_0)^2 .$$

n kann sehr groß gemacht werden und theoretisch gegen unendlich streben.

Dann ergibt sich für jeden fehlerbehafteten x -Wert eine (Wahrscheinlichkeitsdichte-) Funktion $f(x)$ und es folgt:

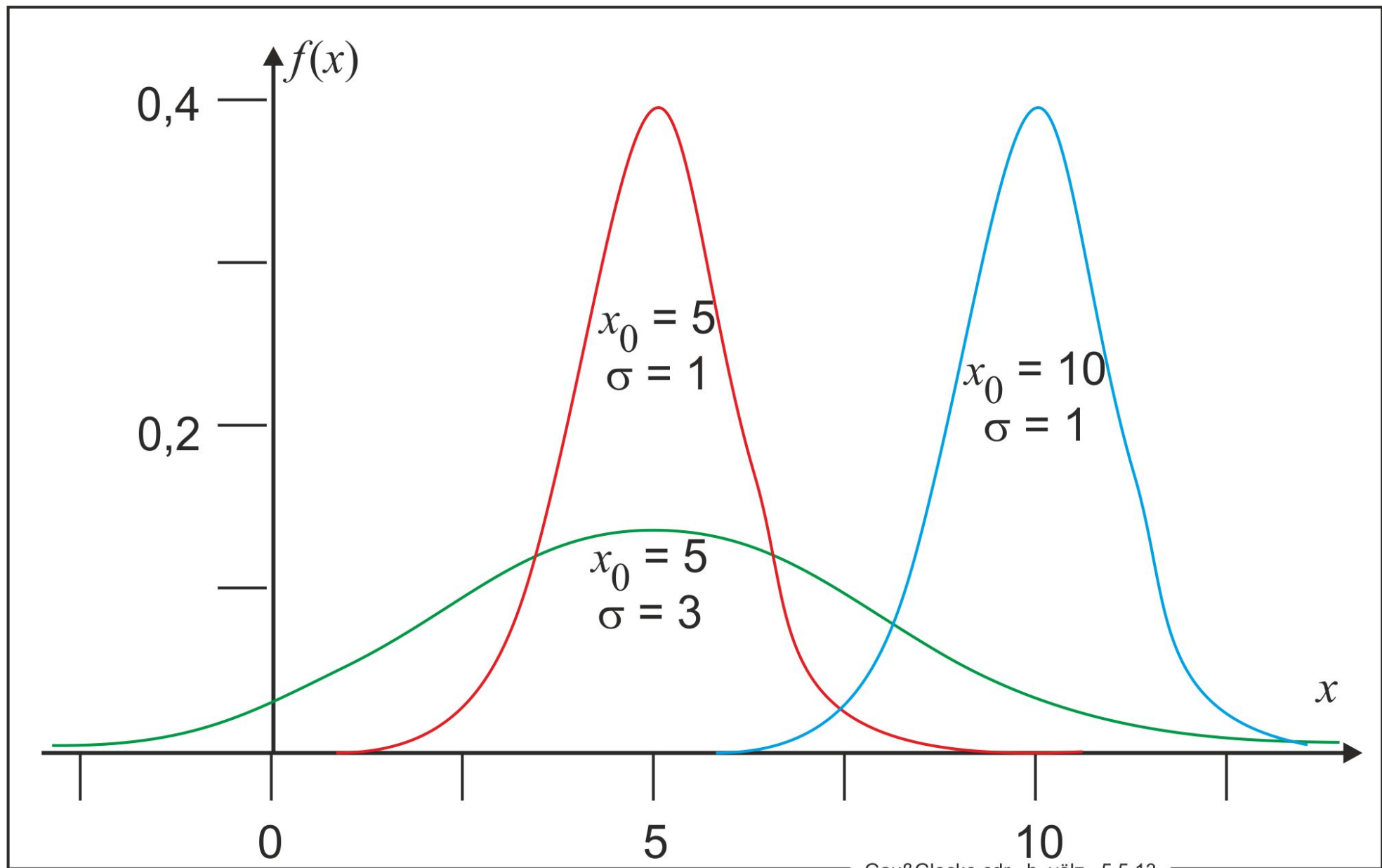
$$x_0 = \int_{-\infty}^{\infty} x \cdot f(x) dx \quad \text{und} \quad \sigma^2 = \int_{-\infty}^{\infty} (x - x_0)^2 f(x) dx .$$

In den meisten praktischen Fällen sind die Störungen durch viele Ursachen bewirkt.

Dann gehorcht $f(x)$ der **Normal = GAUß-Verteilung**:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \cdot e^{-\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma^2}} .$$

Eine Messung aus vielen Messwerten ist daher durch den Mittelwert x_0 und die Varianz σ ausreichend gekennzeichnet.



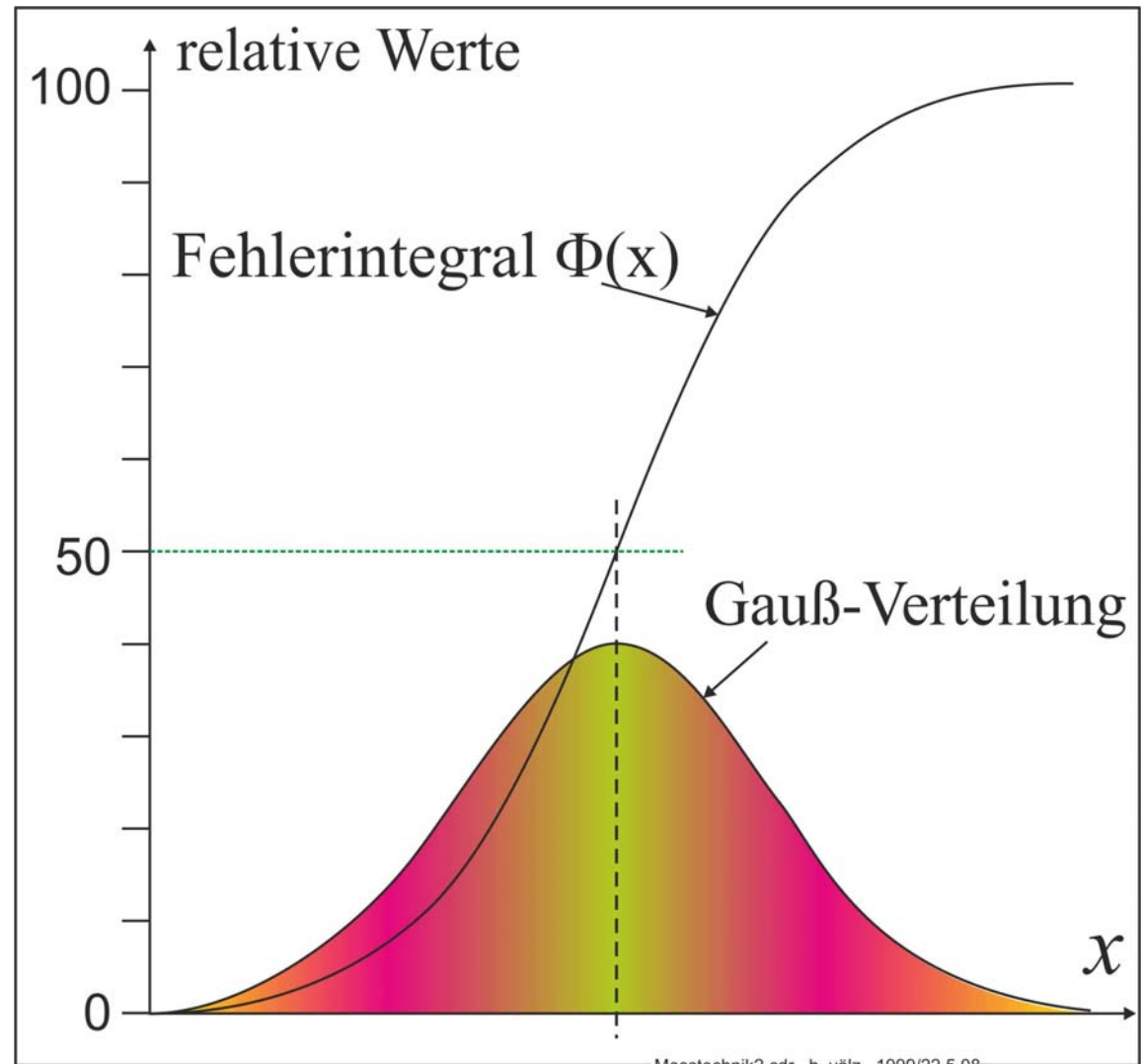
Das Fehlerintegral $\Phi(x)$

Für viele Anwendungen interessiert nicht nur die Wahrscheinlichkeit von Einzelwerten, die GAUß-Verteilung.

Es ist auch die Summenwahrscheinlichkeit in einen Intervall wichtig.

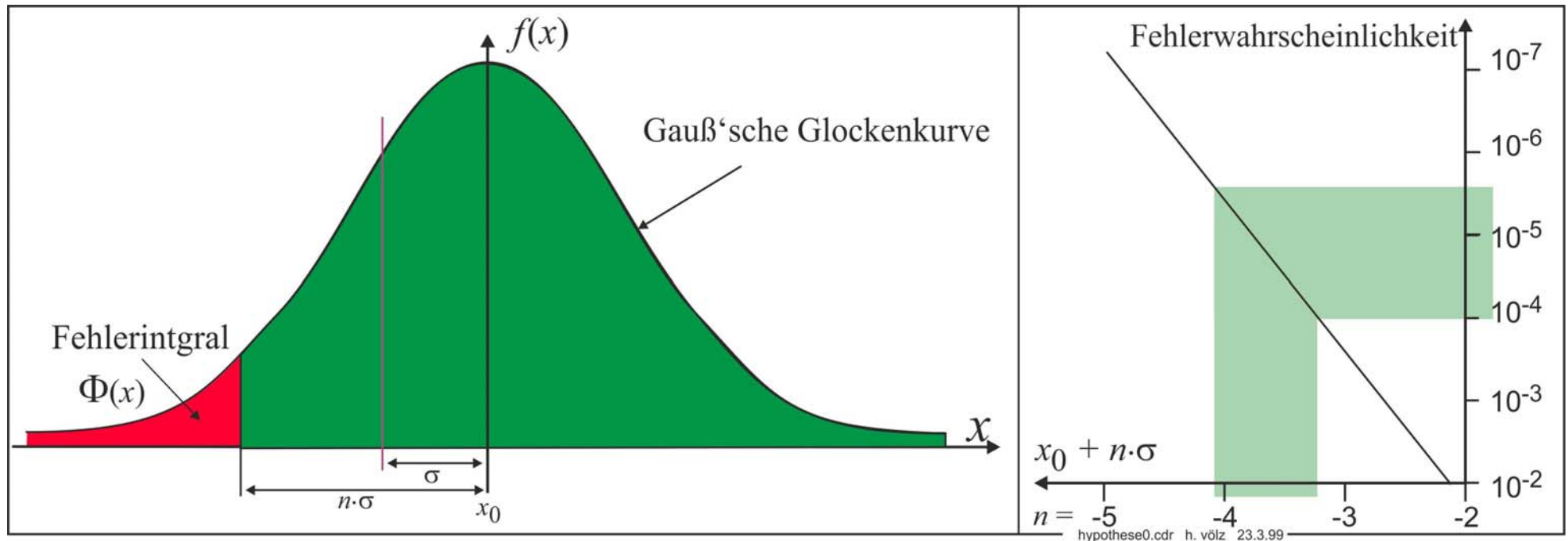
Meist wird dafür die Summierung (das Integral) bei $x = -\infty$ begonnen. Dann gilt für das Fehlerintegral

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(\xi-x_0)^2}{2\sigma^2}} d\xi$$



Restfehler bei Intervallen mit $n \cdot \sigma$

Diese Werte sind für die später zu behandelnde Digitalisierung wichtig.
Dabei ergibt sich das folgende Bild.



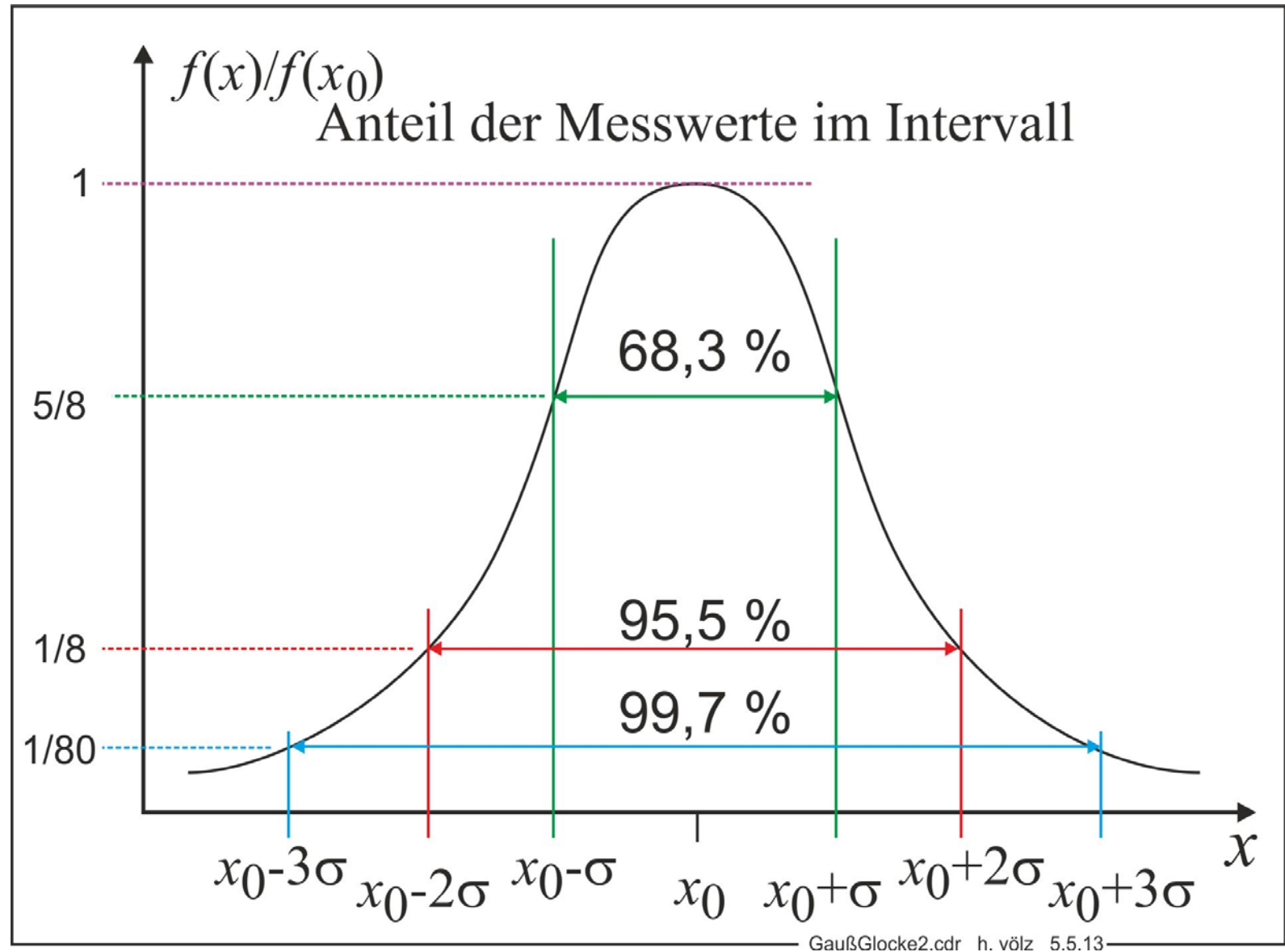
Für die Gewissheit einer Messung interessiert die Anzahl (Häufigkeit) von Messwerten in Intervallen um x_0

Im Bereich um den Mittelwert x_0 mit der Varianz $\pm\sigma$ befinden sich im statistischen Mittel $68,3\% \approx \frac{2}{3}$ der Messwerte.

Es gibt dann immer $31,7\% \approx \frac{1}{3}$ Messwerte die hierin **nicht enthalten** sind.

Bei der Ausgabe der Zahlenwerte von einem Rechner sind deshalb die **gültigen Stellen** zu beachten.

Unzulässig ist $6,73523 \pm 1,32814$
Richtiger müsste es lauten
 $6,7 \pm 1,3$



Erneut kontinuierlich $\Leftrightarrow$ digital

Alle **ursprünglichen** und letztlich **benötigten** Signale sind zunächst Signal-**kontinuierlich**.

Fast alle **Wandler**, wie Mikrofone, Lautsprecher, Fotodioden, LED, CCD-Sensoren usw. arbeiten kontinuierlich.

Auch unsere **Sinnesorgane** reagieren primär so. Ähnliches gilt für unsere **Sprache, Gesang** und **Handlungen**.

Zu allen **diskreten Werten** gehört ein **Intervall** mit **kontinuierlichen Grenzen**.

Infolge der **Varianz** durch die Störung gehört hierzu eine **prinzipielle Unsicherheit**.

Auf sie wird im Folgenden noch etwas genauer eingegangen.

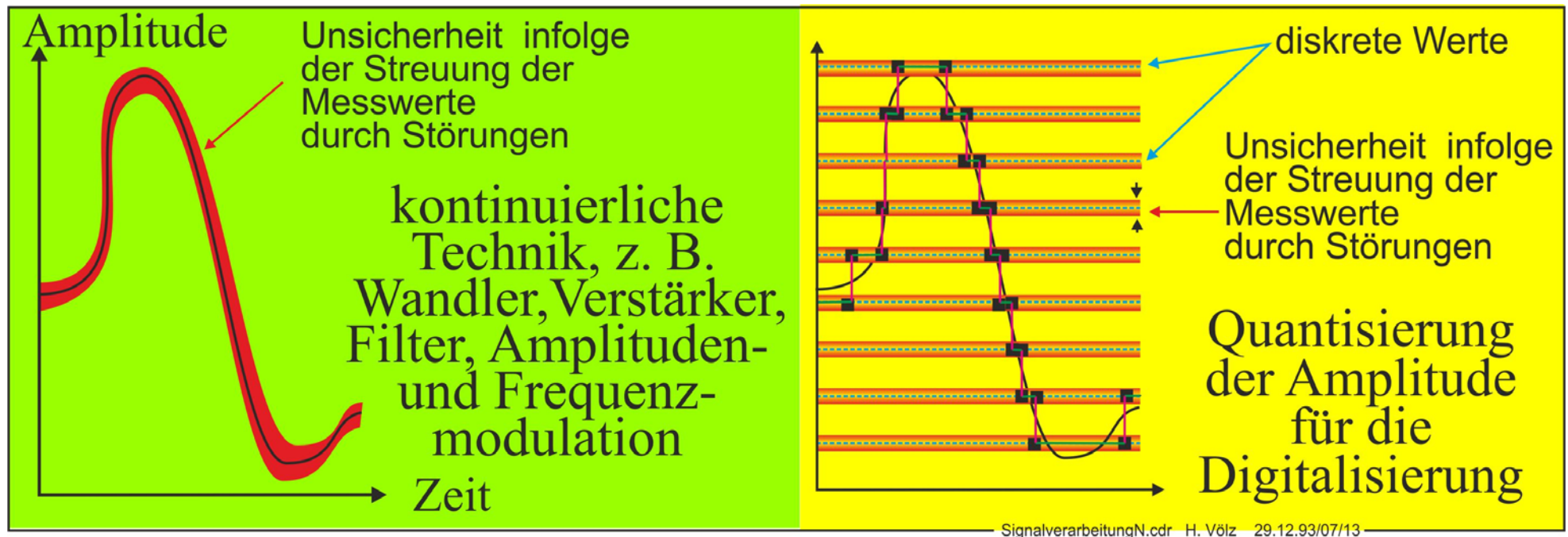
Erst wenn die diskreten Werte auf Folgen von **0/1 codiert** werden, entstehen **digitale Signale**.

Liegen aber einmal **diskrete/digitale Werte** vor, so besitzen sie gegenüber kontinuierlichen **erhebliche Vorteile**:

- Sie können prinzipiell **ohne zusätzliche Fehler** beliebig oft **übertragen und gespeichert** werden.
- Als Impulsfolgen können sie beliebig **ineinander geschachtelt** werden.
- Mittels **Codierung, Fehlerkorrektur, Kompression** usw. ist Anpassung an beliebige Kanäle möglich.

Nachteilig sind jedoch:

- Die Unsicherheit/**Ungenauigkeit bei der Digitalisierung** infolge der Streuung der kontinuierlichen Werte. Das führt zu einer **Fehlerrate** bei der Digitalisierung, die meist kaum beachtet wird.
- Diskrete Werte besitzen gegenüber den kontinuierlichen ein meist sehr **störendes Quantisierungsrauschen**. Das lässt sich vollständig eine neue „Kontinuierliche Digitaltechnik“ vermeiden [2].

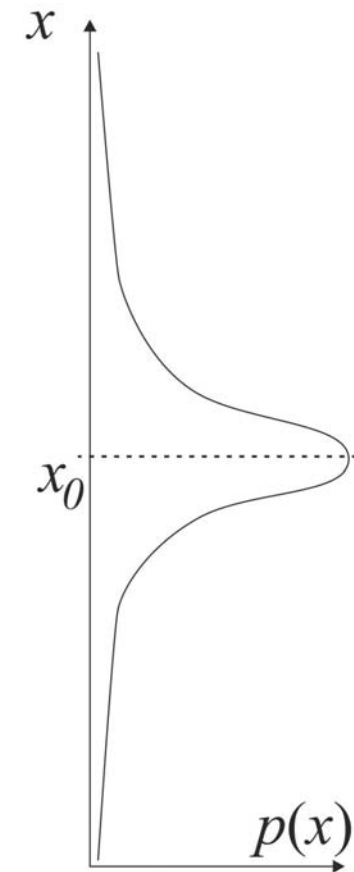


So pflanzt sich die Störungsunsicherheit des kontinuierlichen Signals in die diskretisierten (digitalen) Werte fort.

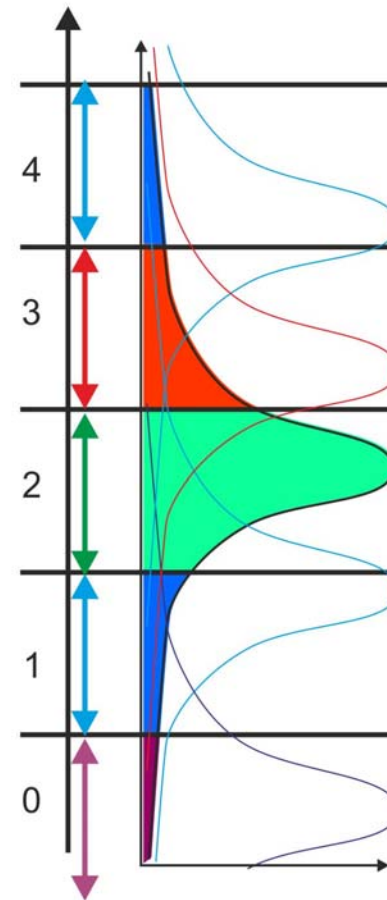
von kontinuierlich nach diskret

Prinzipiell wird immer ein **Anteil** der kontinuierlichen Werte **falsch** den diskreten Werten **zugeordnet**.

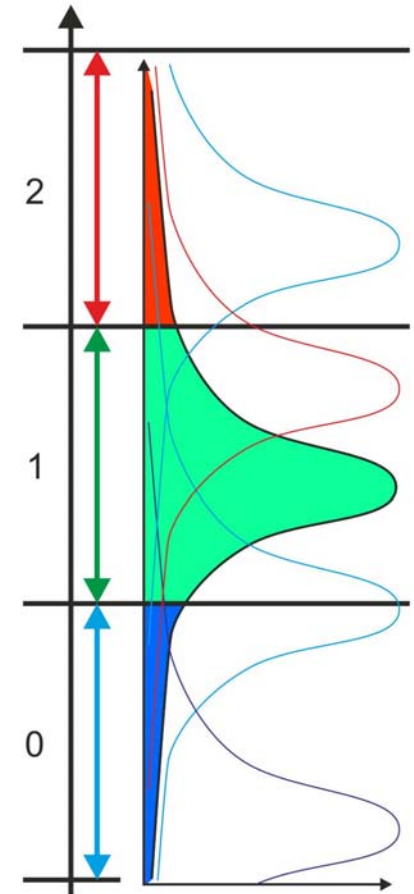
Zuweilen kann er sogar mehrfach falsch zugeordnet werden.



Häufigkeit der Meßwerte



diskrete Stufen

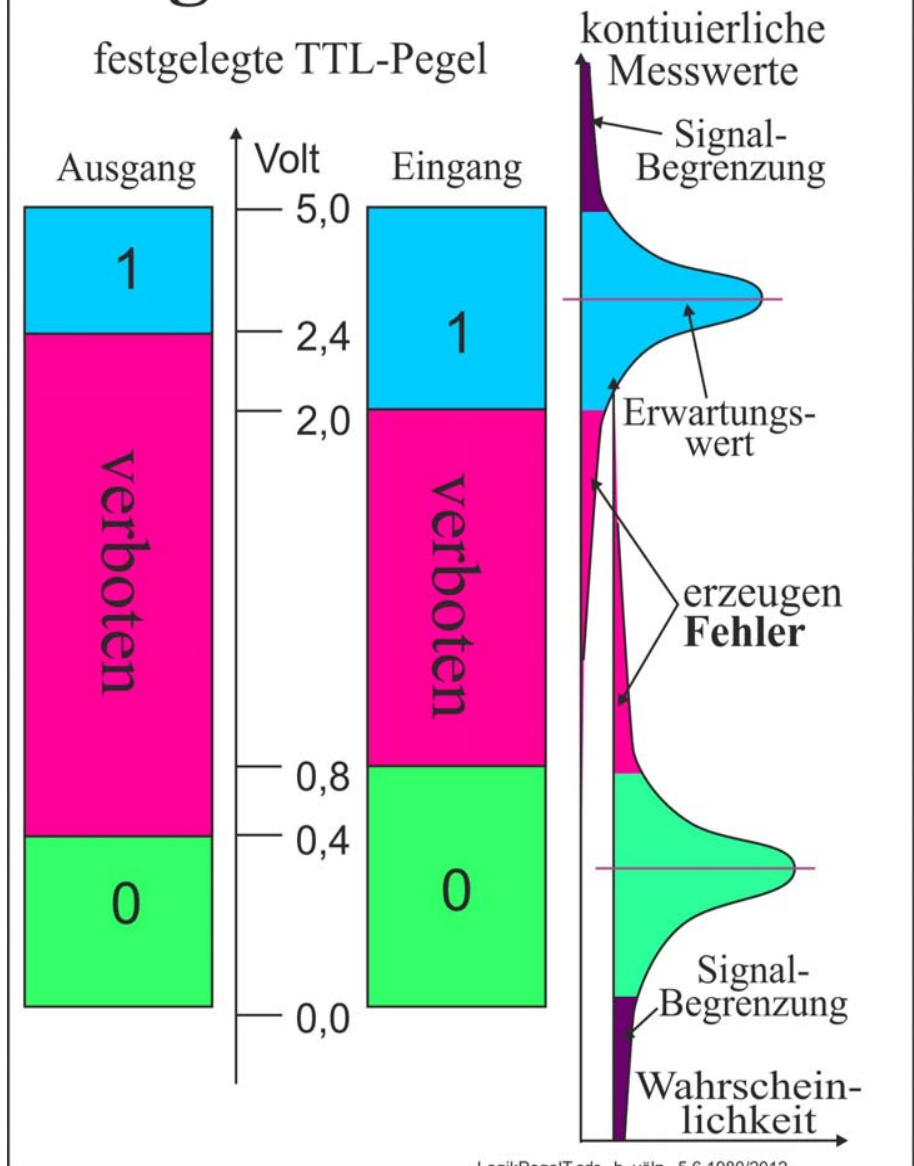


wie groß die Stufen auch gewählt werden, stets gehen Teile mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit fehlerhaft von den Nachbarstufen ein

signalkontinuierlich2.cdr h. vözl 25.7.11

digitale Elektronik

festgelegte TTL-Pegel



Oft werden **binäre** Signale benutzt.
Bei den entsprechenden Schaltungen (hier TTL-Technik)
sind genaue **Bereiche** für **Eingangs-** und **Ausgangspegel**
festgelegt.

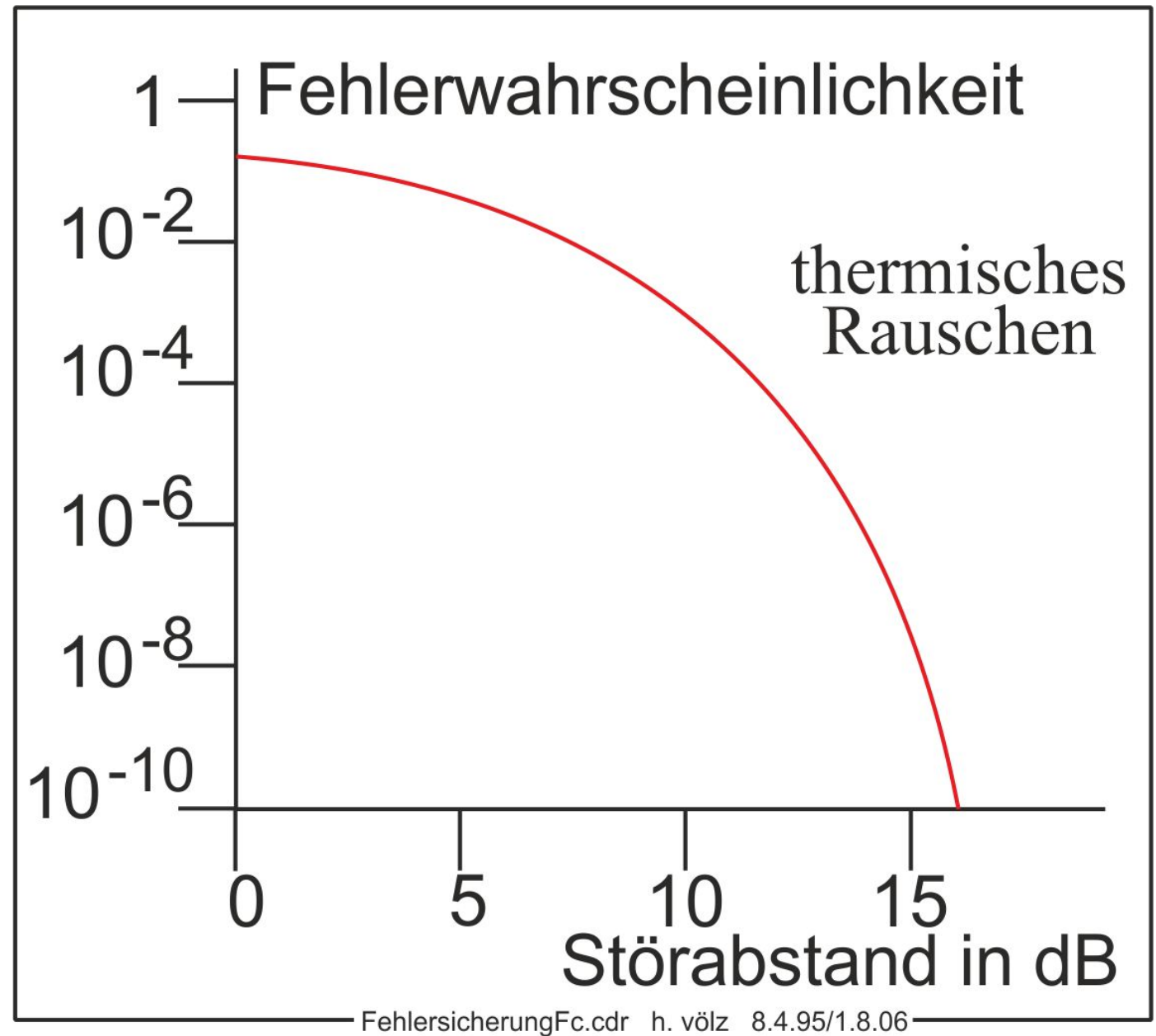
Sie sind durch einen **unzulässigen Bereich** getrennt.
Verschwindet dieser Bereich, so wird die
Fehlerwahrscheinlichkeit extrem groß → 1.

Infolge der jeweils „**einseitigen**“ **Begrenzung** lässt sich
dann der auftretende Fehler auf die **Hälfte reduzieren** (vgl.
S. 20).

Dies gilt auch für die **Übertragung** und **Speicherung**
digitaler, binärer und diskreter Signale.

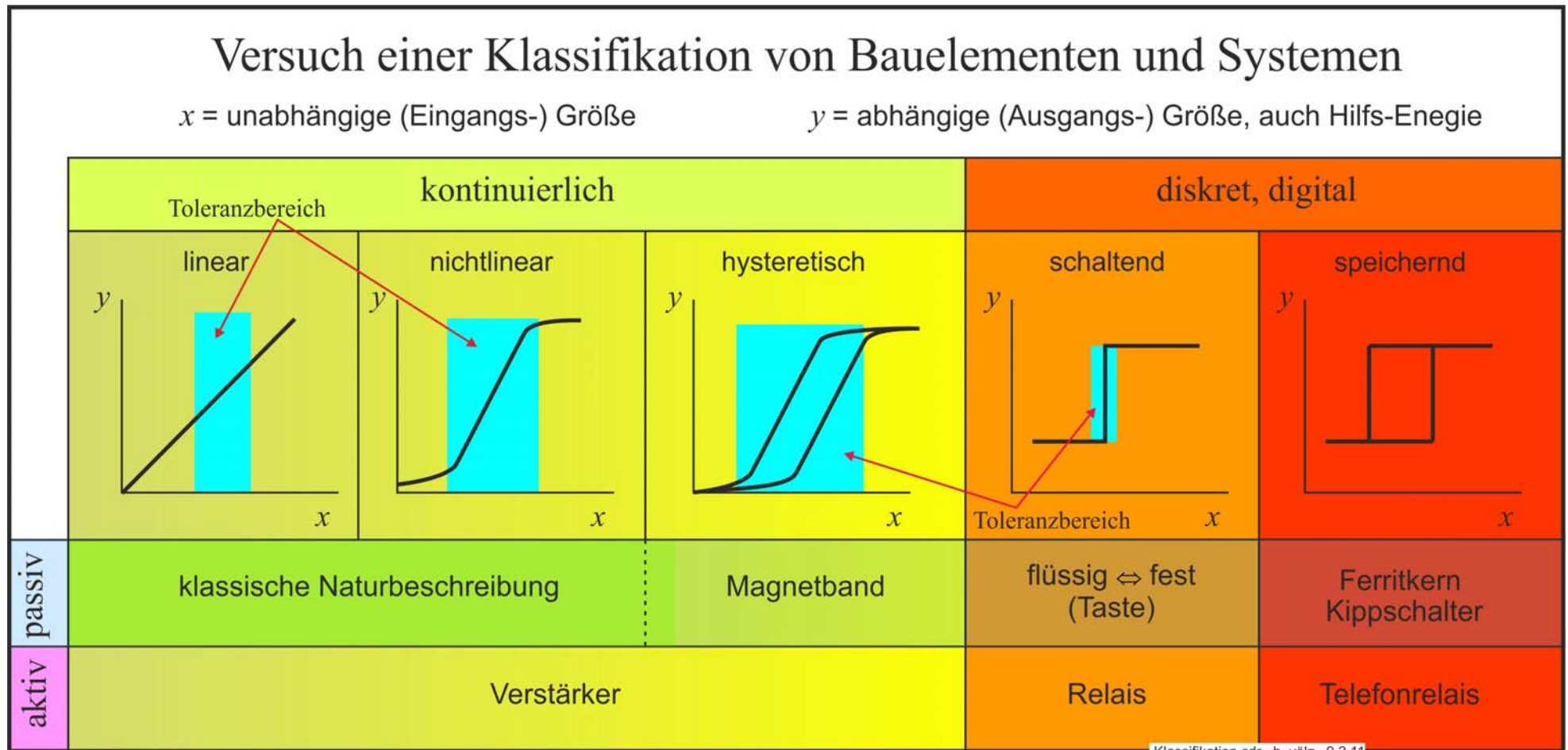
Ferner ist zu beachten, dass **auch alle digitalisierten**
Signale von Störungen und damit Unsicherheiten betroffen
sind.

Aus dem Signal-Stör-Abstand
lässt sich daraus eine
Fehlerwahrscheinlichkeit
berechnen.



Zusätzliche Fehler bei der Wandlung

Sie treten u. a. dadurch auf, dass für die Wandlung meist keine ideale Knickkennlinie realisierbar ist.



Von Einzelwerten zu Signalen

Werte können in unterschiedlichen Varianten vorkommen.

- **Einzelwerte** $\Leftrightarrow$ **zusammengehörende Werte**, u. a. als **Messreihe**.
- Es können **Abhängigkeit** von **Raum** (Orts-Koordinaten) und/oder **Zeit** bestehen.

Im Folgenden werden die **Werte** fast nur **als Funktion der Zeit** betrachtet.

Allgemein können sie dann als **Signale** $S = f(t)$ interpretiert werden.

Von ihnen kann relativ einfach eine **Abbildung** zu den anderen Möglichkeiten erfolgen.

Ohne (wesentliche) **Einschränkung der Allgemeingültigkeit** gestatten sie so die Behandlung aller Möglichkeiten.

Das ist besonders gut für die Komprimierung von Information und Daten wichtig.

Bedeutung endlicher Dateien

In der *theoretischen Informatik* ist es üblich, Grenzwerte usw. für *unendlich lange Dateien* zu bestimmen.

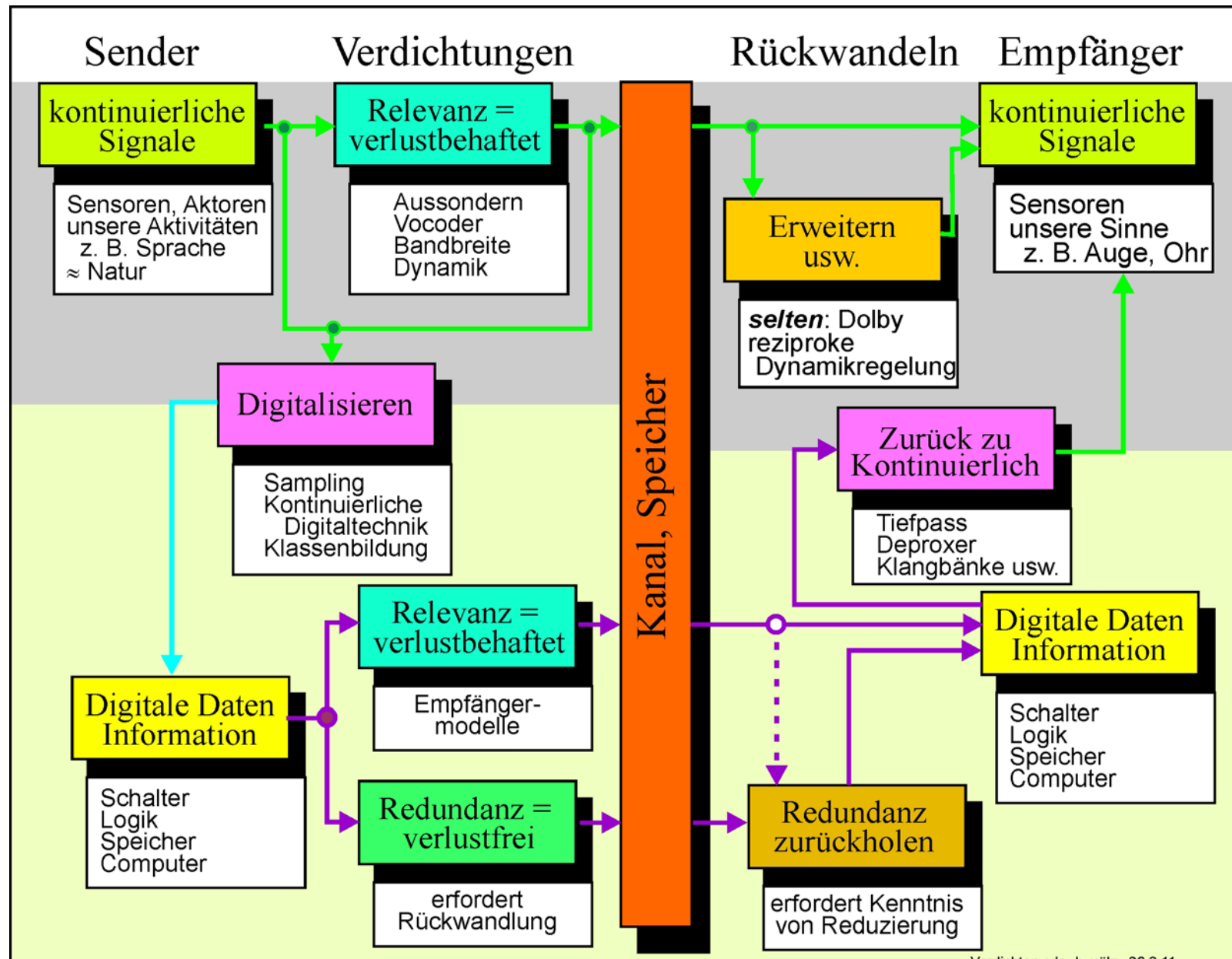
In der *Technik* und bei *Anwendungen* gibt es aber *nur endliche Dateien*.

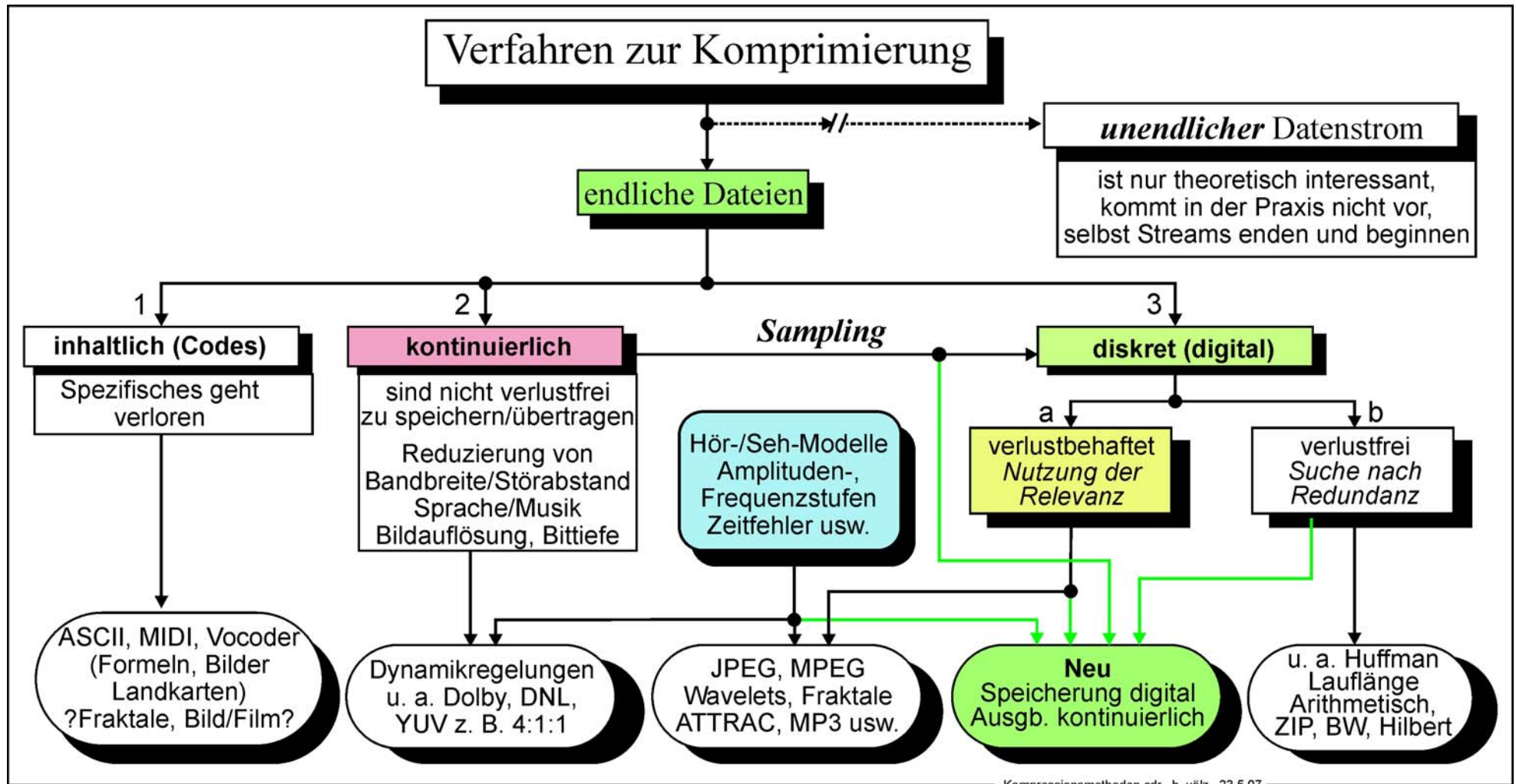
Selbst *Streams* beginnen und enden irgendwann.

Prinzipiell gibt es daher in jedem Einzelfall auch nur *endlich viele Messwerte bzw. Dateien*.

Auf dieser Grundlage sind *neue* sowie theoretisch unmögliche *Verfahren zur Komprimierung* möglich.

So ergeben sich die beiden folgenden *systematischen Überblicke*.





Kontinuierliche Verdichtung

Heute erfolgt die Komprimierung von Information und Daten *fast ausschließlich im digitalen* Bereich; **s. u.**

1. Lediglich das **Aussondern nicht (mehr) benötigter Information** ist auch noch kontinuierlich üblich
betrifft inhaltlich: **was ist wozu notwendig** dauerhaft zu Speichern.
2. **Historisch** gibt es jedoch einige immer noch **erwähnenswerte Verfahren**
hierzu zählen u. a. der **Vocoder** und **Dynamikregelungen**, auch Verschlüsselungen.
3. **Berücksichtigung von Empfängermodellen**,
u. a. bezüglich Dynamik, Frequenzbereich, zulässige Störungen usw.
sind **wirksamer** jedoch vor allem **bei digitalen Daten** einsetzbar, **s. d.**

Was ist wozu dauerhaft zu speichern

Rein technisch kann heute ***alles gespeichert werden***, was auf der Welt elektronisch geschieht. Die Daten-Menge wird aber so groß, dass auf Gesuchtes ***kein sinnvoller Zugriff*** mehr möglich ist. Hinzu kommt ***Vielfachspeicherung*** durch Sammler, Wirtschaft, Politik, Geheimdienste usw. Daher müssen künftig ***Kriterien für Einschränkungen*** gefunden werden. In Sonderfällen ist die Einführung eines ***Verfallsdatums*** sinnvoll. Notwendig sind ***Unterscheidungen*** nach Inhalt, Sachbezüge usw.:

- Für **wen**: individuell, bestimmte Gruppen oder allgemein.
- **Wofür**: u. a. Utility, Anwendbarkeit usw.
- Für **Kultur** und **Geschichte**: Originale der Kunst, Menschenbild, Religion usw.
- Für die **Menschheit**: Notwendigkeit, Nutzen $\Leftrightarrow$ Schaden.
- Speicherung in einem (mehreren) **Welt-Archiv = Weltwissen on demand**.

Probleme im Umgang mit Daten

- Um „**Wissen ist auch Macht**“ abschwächen, muss fast alles für jeden verfügbar sein, gilt vor allem für ***Kultur*** und ***Bildung***, und dann sogar weitgehend ***kostenfrei***.
- Bzgl. **Urheberrechten** sind neue Regelungen notwendig: Anerkennung, Vergütungen, Zitate und Plagiate.
- Bei notwendiger **Geheimhaltung** sind strenge, möglichst kurze Zeitbegrenzungen erforderlich.
- **Schädliches, Destruktives** müsste mehr ***moralisch*** als gesetzlich unbrauchbar werden.

Mögliche Eingrenzungen, Beschränkungen

Lehrbücher, Lexika, Publikationen usw.: eingeschränkter, stets aktuell zu haltender Anteil (*Didaktik*).

Rundfunk, Fernsehen, Journalismus usw.: wichtige Zeitdokumente und (Eigen-) Produktionen.

Historiker: Original-Dokumente, werden leider ständig neu interpretiert.

Museen, Archive, Bibliotheken usw.: typische Originale in geringer Anzahl.

Archäologie: kulturhistorische Inhalte, Denkmale.

Überblick als Tabelle

Inhalt der Information	Art der Information	Umgang für die Speicherung
Historisch	Originale	Dauerhaft aufheben
· Kulturell, künstlerisch	· Menschliche Werte betreffend	Ausgewählte Originale allgemein verfügbar aufheben
Utilitär, technisch, wissenschaftlich	Wissen, Fakten, Gesetze, Methoden	Ständig aktualisieren
Didaktisch	Darstellungsform, gut lehrbar	Besseres ersetzt Älteres
· Geheimhaltung	· Fakten, Geschehen	falls überhaupt notwendig, dann unbedingt zeitliche Begrenzung
Destruktiv, zerstörerisch	Wissen, Methoden	moralische Verurteilung (Strafen?)

Kontinuierliche Komprimierung.

Es gibt nur relativ *wenige Verfahren*, Alle haben heute *kaum noch Bedeutung*.

Schall: Sprache und Musik.

- *direkte* Verfahren, hier ist nur der **Vocoder** bekannt.
- Einschränkung der **Qualität** (Verständlichkeit) durch geringere **Bandbreite**
Ansprüche: Musik $\geq$ künstlerisches Wort $>$ Sprache.
- Automatische Einstellung der Bandbreite, z. B. bei DNL (s. u.).
- Veränderung des **Amplitudenverlaufs**, vor allem durch **Dynamik-Regelung**.
- **Anzahl der Kanäle**: Mehrkanaltechnik (z. B. kopfbezogen, Surround oder 5.1) $\Rightarrow$ Stereo $\Rightarrow$ Mono.

Bilder.

- Änderung der **Bildgröße** (Auflösung).
- **Farbe** $\Rightarrow$ **Grauwerte** $\Rightarrow$ **schwarz-weiß**.

Film.

- Wie bei Bild.
- **Zusätzlich** verringerte **Bildfrequenz**.

Vocoder.

ist auf **Sprachverstehen** ausgelegt.

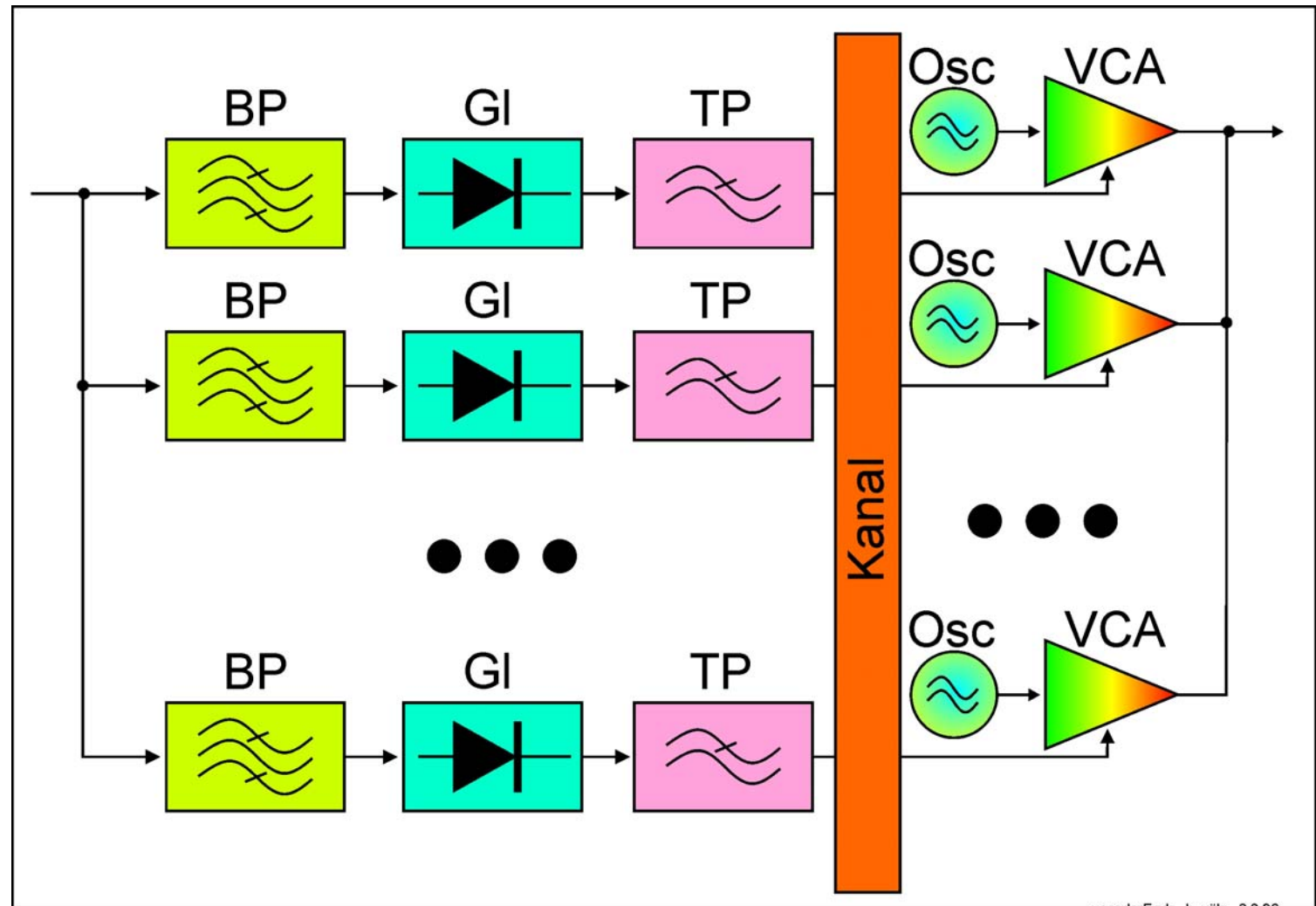
Silbenverständlichkeit liegt über 90 %.

Jede **Individualität** geht verloren.

keine Sprecher-Erkennung möglich.

Bei ≈ 20 Kanälen erfolgt eine Verdichtung $>300:1$, übertragenen werden ≈ 200 Hz mit 30 dB.

Wird heute nur noch als **Effektgerät bei Musik** benutzt.



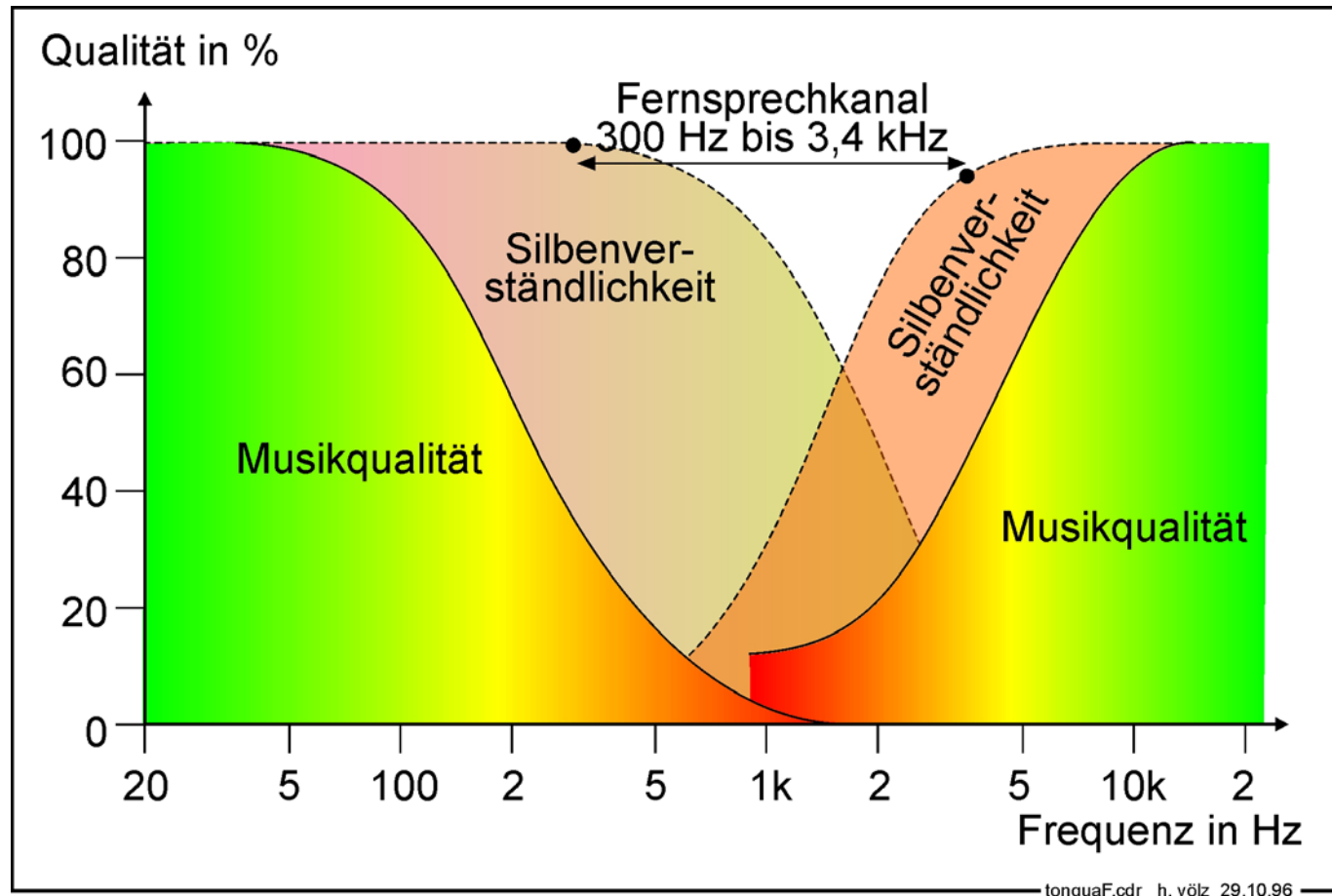
vocoderF.cdr h. vözl 3.2.96

Begrenzung der Bandbreite

Die Begrenzung kann **tiefe und hohe** Frequenzen betreffen.

Beidseitige Begrenzung entspricht der sinkenden Summe der Qualität.

Für eine gute **Silbenverständlichkeit** von $\approx 90\%$ reicht der Frequenzbereich von 300 bis 3400 Hz.



Möglichkeiten der Dynamik

Bei Schall sind **Pegelwerte** und ihr **Verhältnis** relativ leicht zu **beeinflussen**.

Bei Musikaufnahmen **steuert** z. B. der **Tonmeister** die **Verstärkung** (gemäß Partitur) so,.

dass **Dynamiksprünge erhalten** bleiben, aber die größte zur kleinsten Lautstärke nicht zu groß wird.

Ähnliche Verfahren sind mit deutlich geringeren Ansprüchen auch **automatisch** möglich.

Dabei sind zu unterscheiden:

- **Dynamik** $\approx$ Störabstand $\approx$ Verhältnis vom maximalen Pegel zum Grundrauschen (Störungen).
- **Störungen bzgl. Signalpegel**: störende Amplitudenmodulation (AM) + schwankender Verstärkungsfaktor.

Ein **Austausch** ist dabei bevorzugt mittels **reziproker Regelungen** vor und hinter dem Kanal möglich.

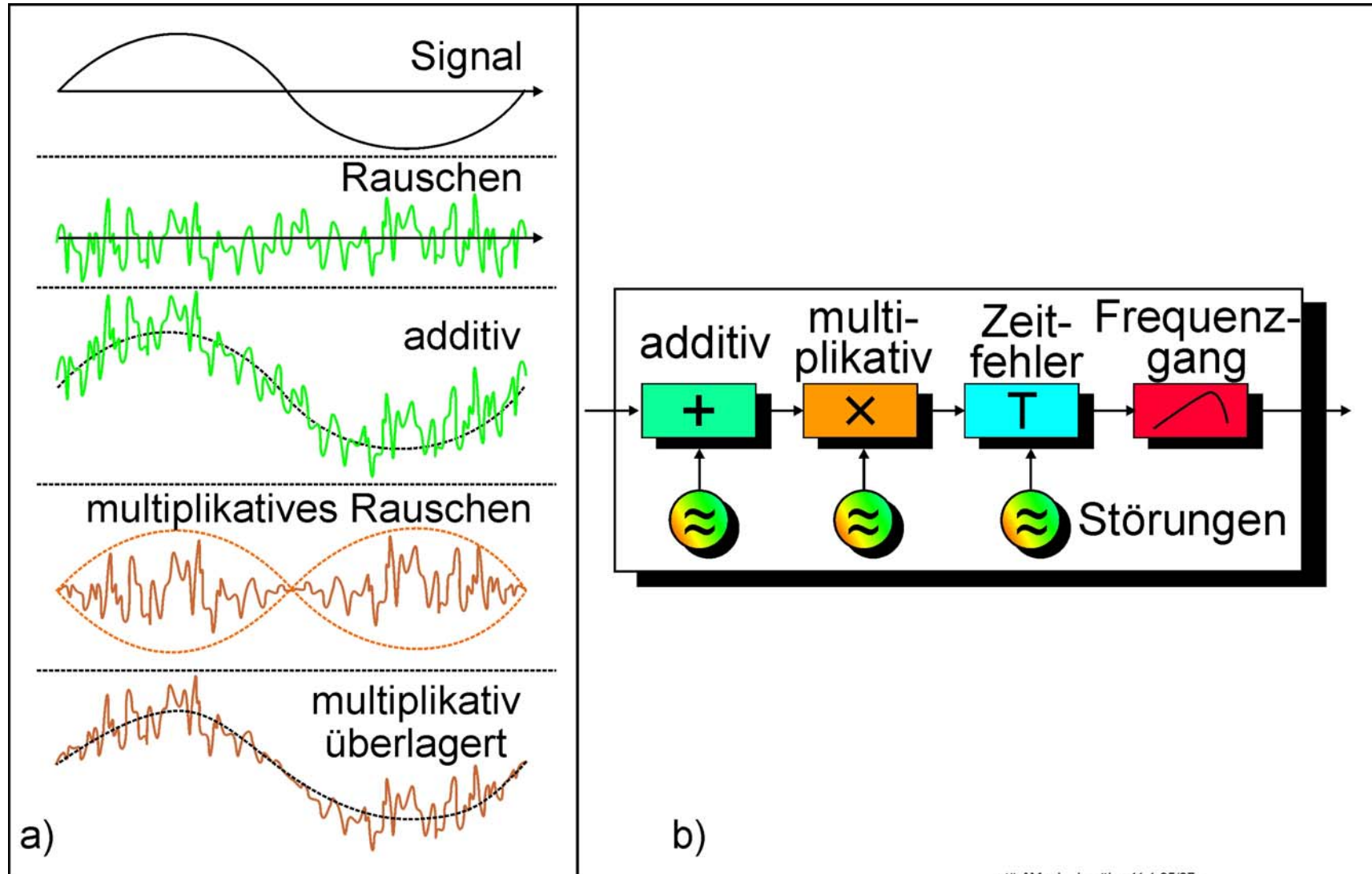
Prinzip **erstmalig** vorgestellt in [Völz58]. Es ermöglicht u. a. auch Magnetbandgeräte als Messspeicher [Völz60].

Ab 1966 entstanden auf dieser Grundlage u. a. viele Varianten von **Dolby-Verfahren** und **Rauschminderungen**.

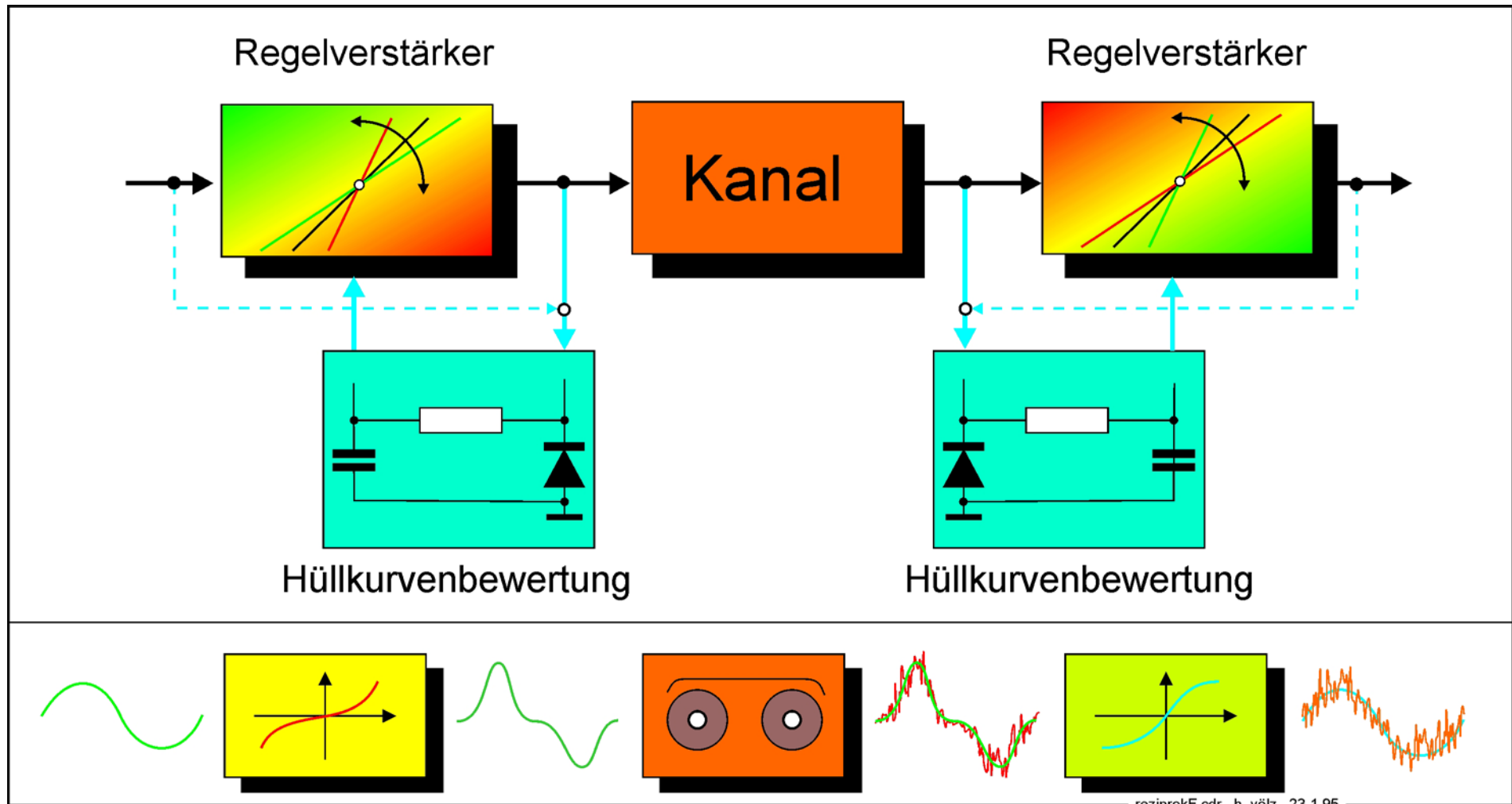
Ungeeignete Begriffe wie Komprimierung, Verdichtung wurden dabei teilweise durch **Com-** und **Expander** ersetzt.

Hierbei wird meist die erreichbare **Dynamik** zu Ungunsten der **störenden AM** gesteigert.

Störende Amplitudenmodulation = multiplikatives Rauschen



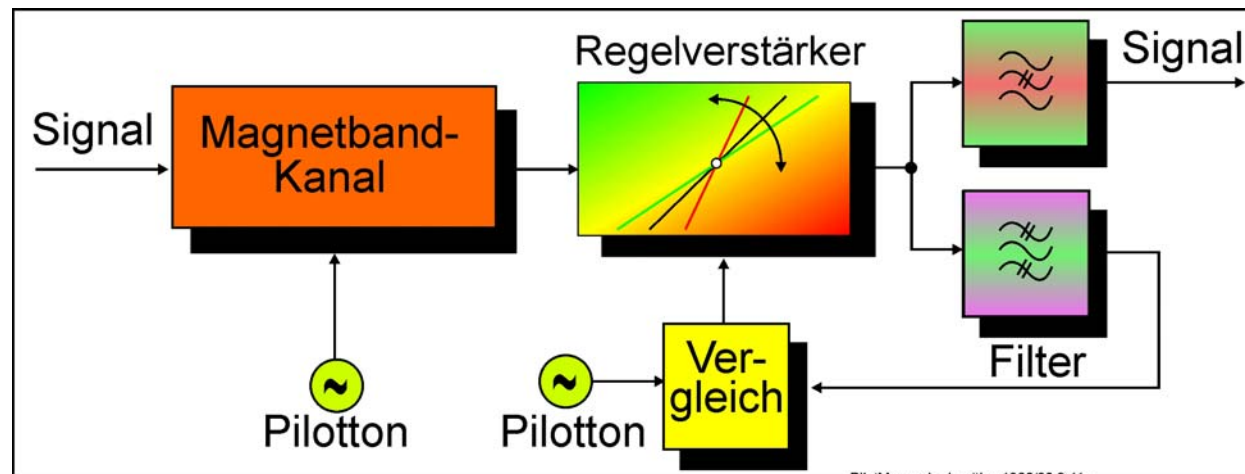
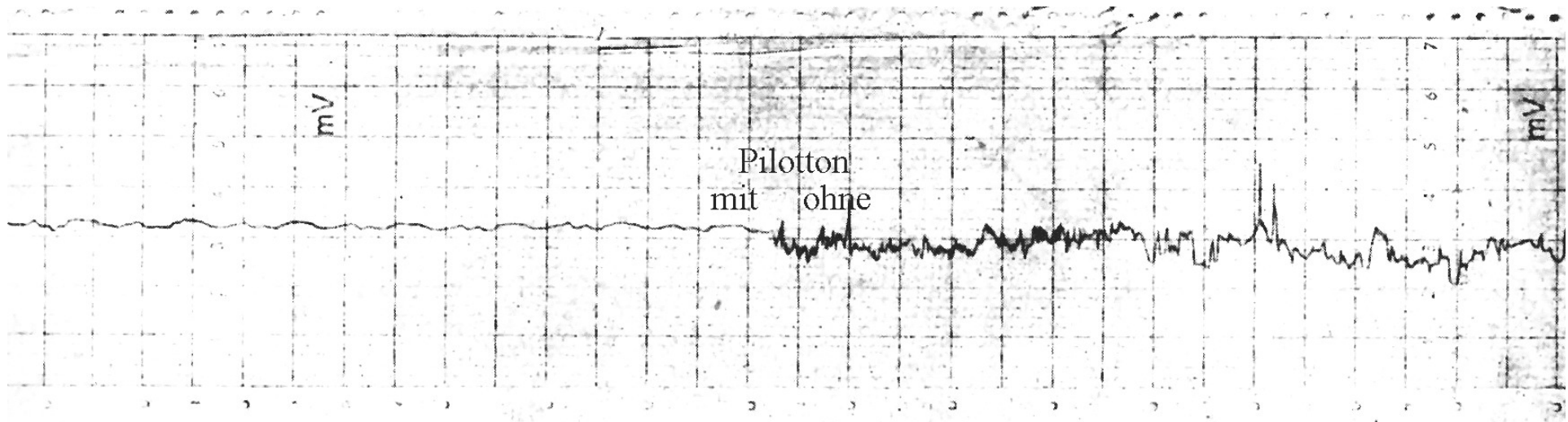
Reziproke Dynamikregelung



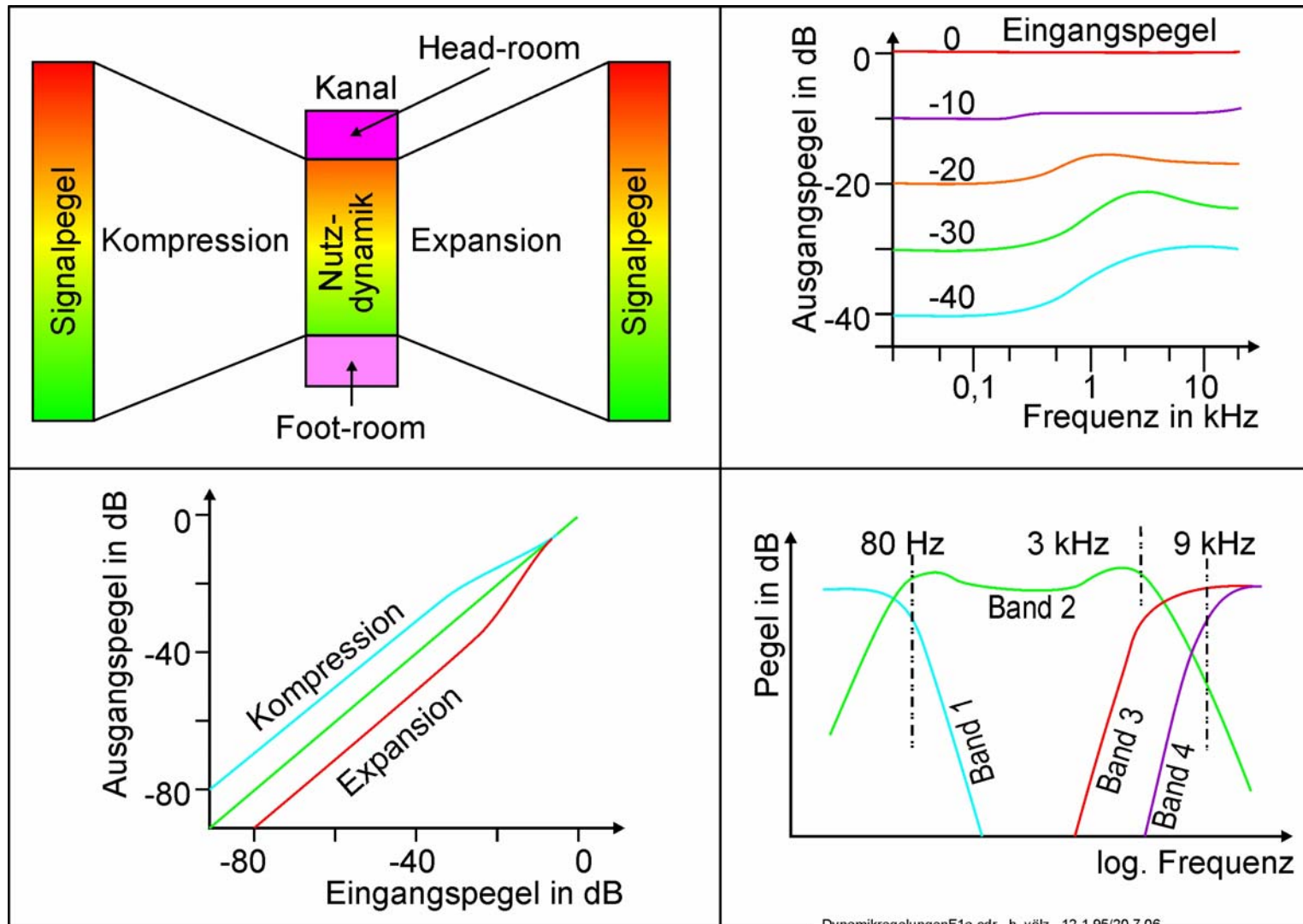
reziprokF.cdr h. vözl 23.1.95

Messwertspeicherung mit Pilotton

Ein zusätzlicher Pilotton mit festem Pegel steigert die Registriergenauigkeit von 10 auf 1 % [58/59].

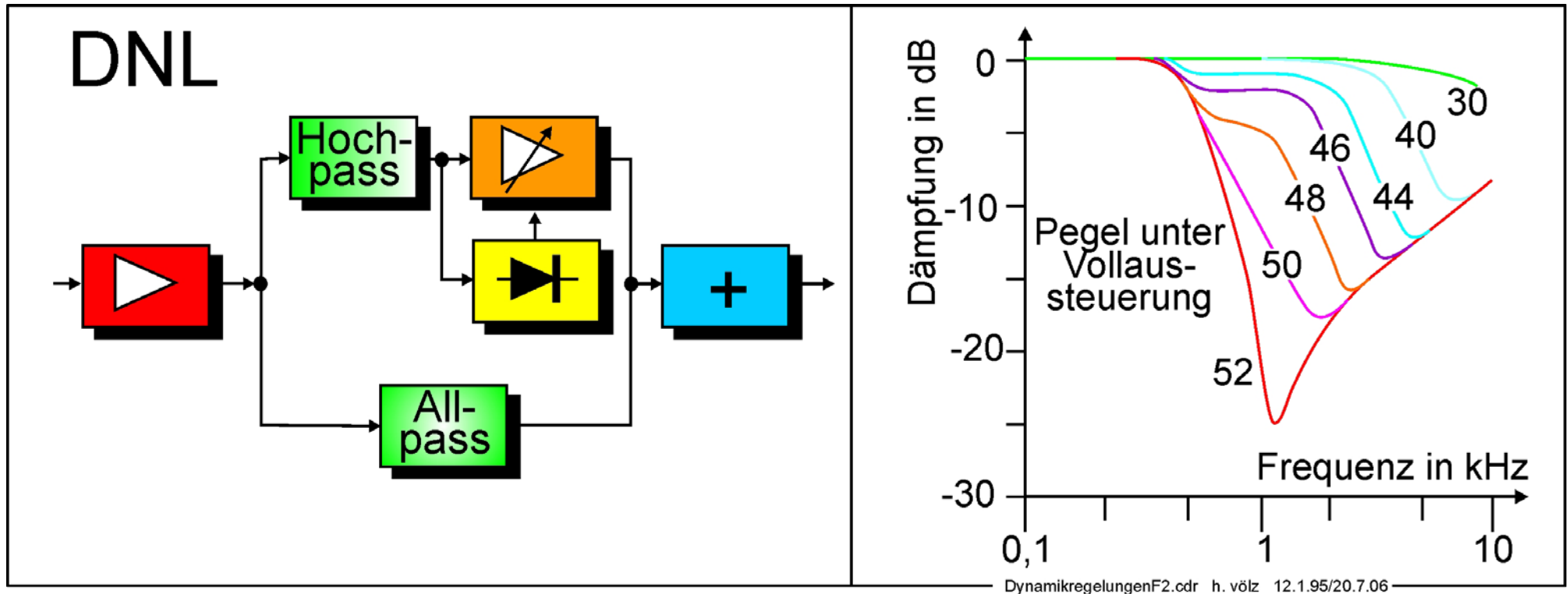


Beispiele für DOLBY- und ähnliche Verfahren



Dynamic Noise limiting (DNL)

Sie begrenzt je nach dem Pegel den Dynamikbereich, arbeitet dabei nur bei der Wiedergabe.

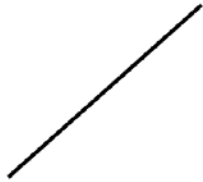
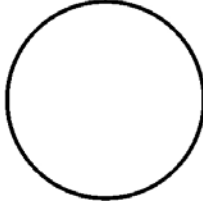
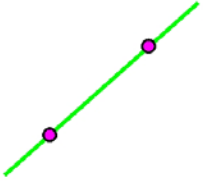
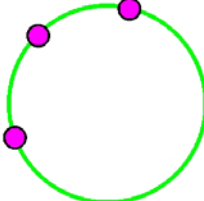
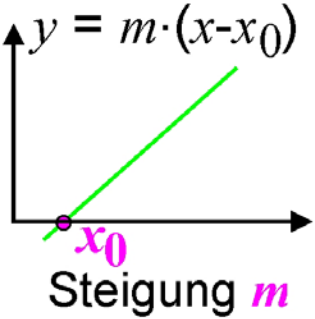
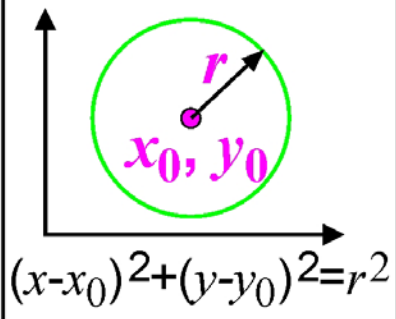


Digitalisierungen

Umwandlungen sind nützlich bis notwendig.

Bzgl. der Anzahl der Werte entsprechen Umwandlungen einer *eindeutigen Abbildung endlich* $\Leftrightarrow \infty$.
Sie sind oft *verlustfrei* mittels einer kontinuierlichen (*Hilfs-*) *Funktion* möglich.
Sie ermöglichen *Komprimierungen* und *Verdichtungen* von Information und Daten.

Zum Verhältnis kontinuierlich und diskret

Beispiele	Gerade	Kreis	System	Signal
Unendlich viele Werte sind notwendig			Frequenz- und Phasengang $f(\omega), \varphi(\omega)$	Zeitverlauf $y = f(t)$
Es genügen wenige Werte, die aber nicht unmittelbar das Objekt bestimmen	 zwei Punkte genügen	 drei Punkte genügen	Resonanz-, Grenzfrequenz, Güte, Stabilität, Pole, Nullstellen	Bandbreite, Spektrum, Korrelation $n = 2T/B$ Werte Samplingtheorem
Zusätzlich ist eine kontinuierliche Funktion erforderlich	 $y = m \cdot (x - x_0)$ Steigung m	 $(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = r^2$	Übertragungsfunktion	Whittacker-Funktion $\sin(x)/x$

Umwandlungs-Varianten: Digital $\Leftrightarrow$ kontinuierlich.

1. Heute übliche Digitalisierung gemäß **Sampling-Theorem**
Sie erzeugt zunächst **fast immer größere Dateien**,
bereitet aber effektive **Komprimierungen** vor.
2. **Kontinuierliche Digitaltechnik** [Völz 2008]
Es entstehen wesentlich **weniger digitale Daten**,
weitere Komprimierungen sind möglich
Außerdem hervorragende **kontinuierliche Signale** (ohne Samplingrauschen) bei der Wiedergabe.
3. Digitalisierung durch **Klassenbildungen** mittels **ASCII**, **MIDI**-Codierung und **OCR**
Sie ermöglichen **extrem hohe Komprimierungen**,
Es wird **Vieles** der Information als **irrelevant vorausgesetzt**, also eigentlich **verlustbehaftet**.

Sampling-Theorem

Englisch *sample* Probe.

wurde um 1945 von CLOUDE ELWOOD SHANNON (1916 - 2001) entwickelt.

Danach ist eine **kontinuierliche Funktion** $f(t)$ exakt durch **endlich viele Proben** P_n bestimmt.

Das ermöglicht eine **fehlerfreie Wandlung** zwischen diskret $\Leftrightarrow$ kontinuierlich.

Es müssen folgende **Voraussetzungen** erfüllt sein.

- $f(t)$ muss in seiner **Bandbreite** B begrenzt sein, z. B tritt höchstens eine obere Frequenz f_{ob} .
- Für den **Proben-Abstand** muss dann gelten:
$$\Delta T \leq \frac{1}{2 \cdot B}.$$

Die Rückwandlung erfolgt durch die WHITTACKER-Funktion (bekannt Tonfilm, Magnetband als Spaltfunktion).

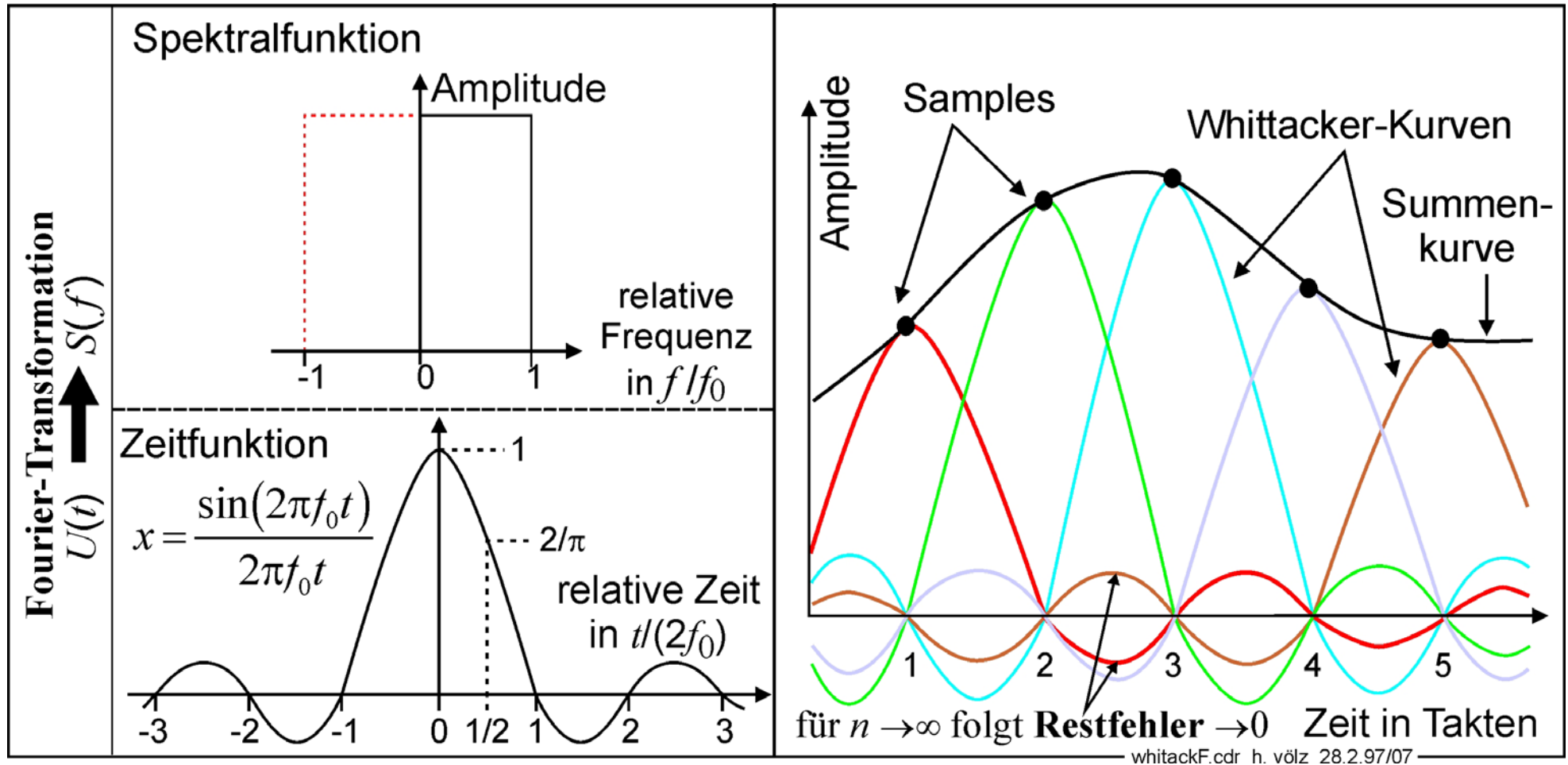
$$x = \frac{\sin(\alpha)}{\alpha}.$$

Sie Nullstellen im Abstand $n/(2B)$ mit $n = \pm 1, \pm 2, \pm 3$ usw. .

Es besteht eine **Analogie zur HEISENBERG-Unschärfe** für konjugierte Größen, z. B. Zeit Δt und Energie ΔE .

$$\Delta t \cdot \Delta E = h/2.$$

h ist die PLANCK-Konstante.



Technische Grenzen

Die Bedingungen zur **exakten Rückgewinnung** kontinuierlicher Information sind technisch nicht möglich.
Es treten folgende **Grenzen** auf:

- Um die **Restfehler** von $\sin(x)/x$ zum Verschwinden zu bringen, ist die **Zeit von** $-\infty$ bis $+\infty$ notwendig
Es steht aber immer nur eine **endliche Zeit rückwärts** und in die **Zukunft** zur Verfügung ($\Rightarrow$ Verzögerung).
- Die WHITTAKER-Funktion verlangt einen **idealen Tiefpass** mit der **Steilheit** ∞
er ist technisch nicht möglich, dadurch entstehen zusätzlich **störende „Einschwingvorgänge“**.
- Die Sample-Werte müssen **fehlerfrei ihre kontinuierliche Amplitude** besitzen
Infolge von Störungen sind aber nur **genäherte** Amplituden verfügbar
Die **Digitaltechnik** verlangt sogar, dass die **Samples** auf diskrete Amplituden festgelegt werden.

Trotz dieser immer vorhandenen **Mängel** ist meist die zurück gewonnene Information **ausreichend gut**.

Rücknahme einer Amplituden-Quantisierung

Hierfür ist (z. Z.) kein Verfahren bzw. keine entsprechende Funktion bekannt.

Andererseits gibt es auch kein Grund dafür, dass eine solche Rekonstruktion unmöglich sei.

Unmöglich ist es jedoch, zugleich **Zeitverlauf und Amplitude** exakt zurück zu gewinnen.

Die Amplitude mit der Spannung U entspricht nämlich einer Energie $E = R \cdot U^2$.

Zwischen Energie ΔE und Zeit Δt gilt nämlich die **HEISENBERG-Unbestimmtheit**.

$$\Delta t \cdot \Delta E = h/2.$$

Es gibt daher zwei gegenseitig abhängige **Unsicherheiten** Δt und ΔU .

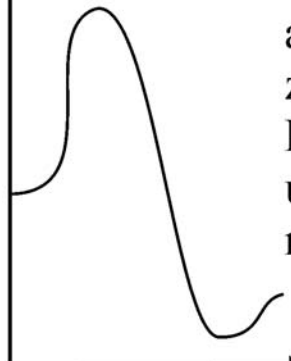
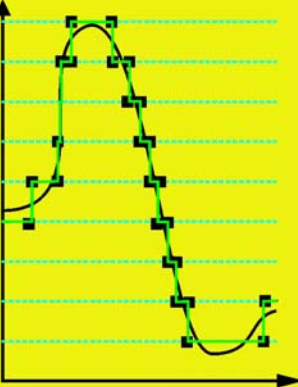
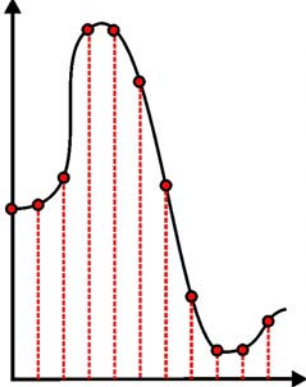
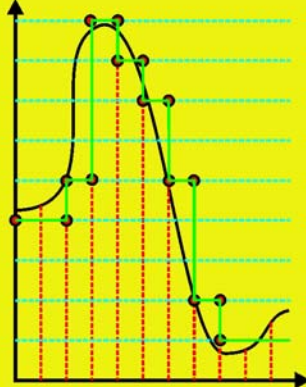
In der Praxis ist das Produkt beider Werte wegen vielfältiger **Störungen erheblich größer**.

Es treten sowohl zusätzliche **Amplituden-Fehler** durch Rauschen usw. als **Zeit-Fehler** durch Gleichlauf usw. auf.

Insgesamt kann dadurch ein **Toleranzbereich um die Original-Funktion** festgelegt werden.

Er ermöglicht die **später beschriebene Kontinuierliche Digitaltechnik**.

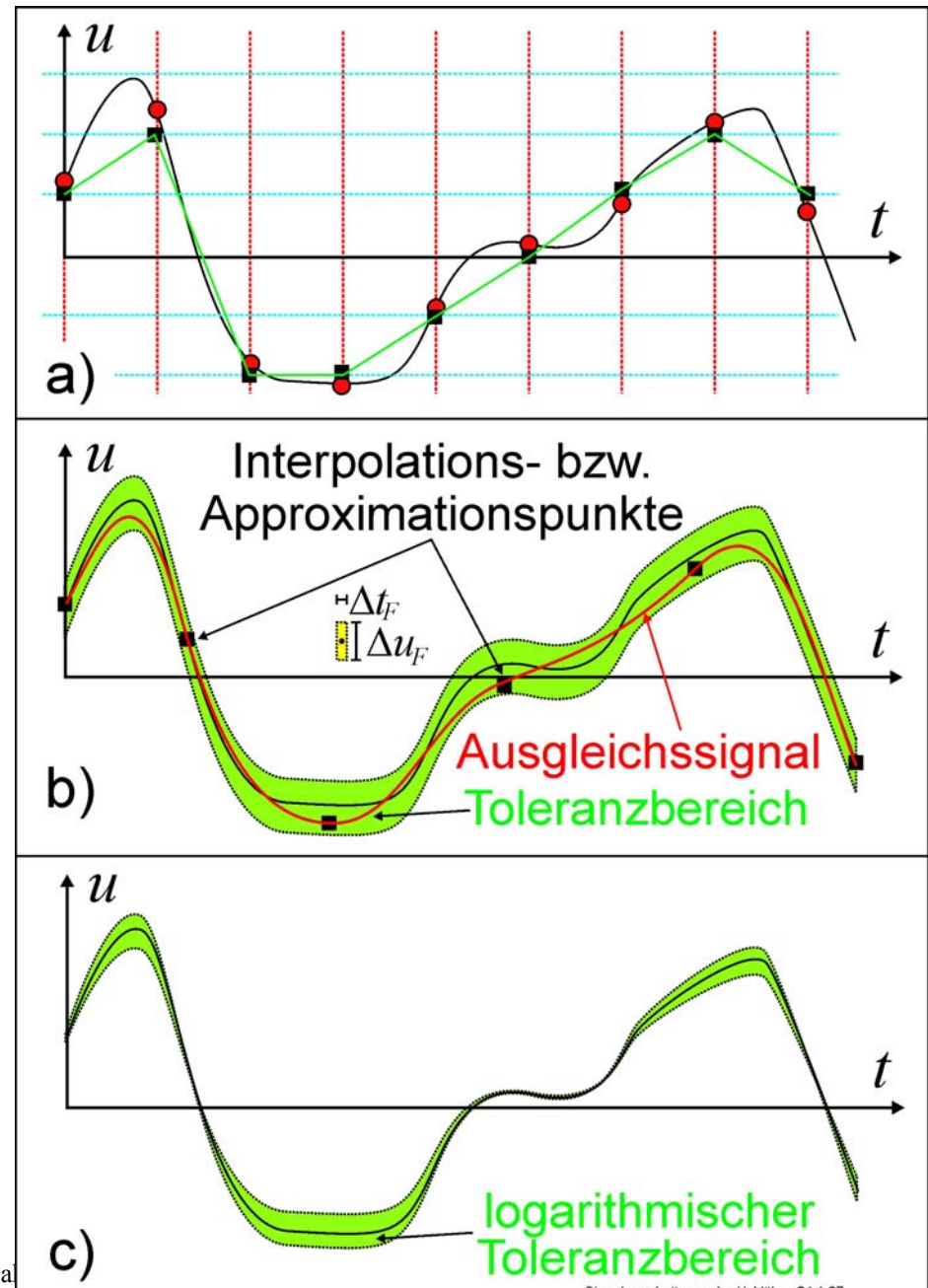
Stand der heutigen Technik

Amplitude Zeit	kontinuierlich $\rightarrow$ Quantisierung $\rightarrow$ diskret $\leftarrow$ // keine fehlerfreie Umkehrung bekannt	diskret Amplitudenstufen
kontinuierlich $\downarrow$ Sampling $\uparrow$ Whittaker-Funktion	Amplitude  Zeit kk analoge Technik, z. B. Verstärker, Filter, Amplituden- und Frequenz- modulation	 kd quantisierte, asynchrone Techniken, z. B. Nachlauf- AD-Wandler
$\downarrow$ Sampling $\uparrow$ Whittaker-Funktion diskret Samplingrate	 dk periodisch kontinuierliche Abtastsignale, z. B. Pulslängen-, Pulsverhältnis- modulation	 dd getaktete, diskrete Techniken, z. B. Pulscode- modulationen, Rechentechnik

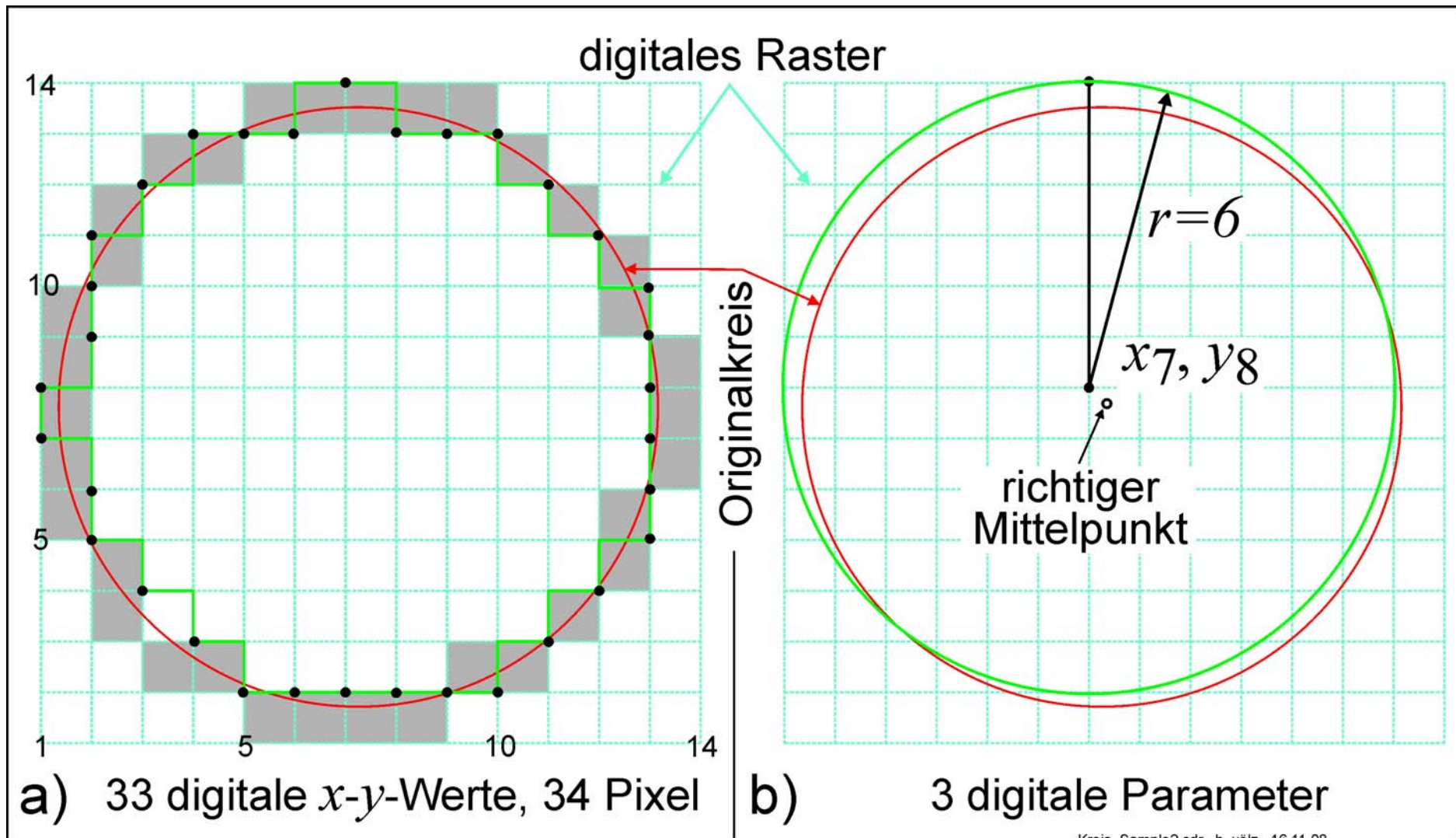
Signalverarbeitung3.cdr H. Völz 29.12.93/24.1.07

2. Kontinuierliche Digitaltechnik

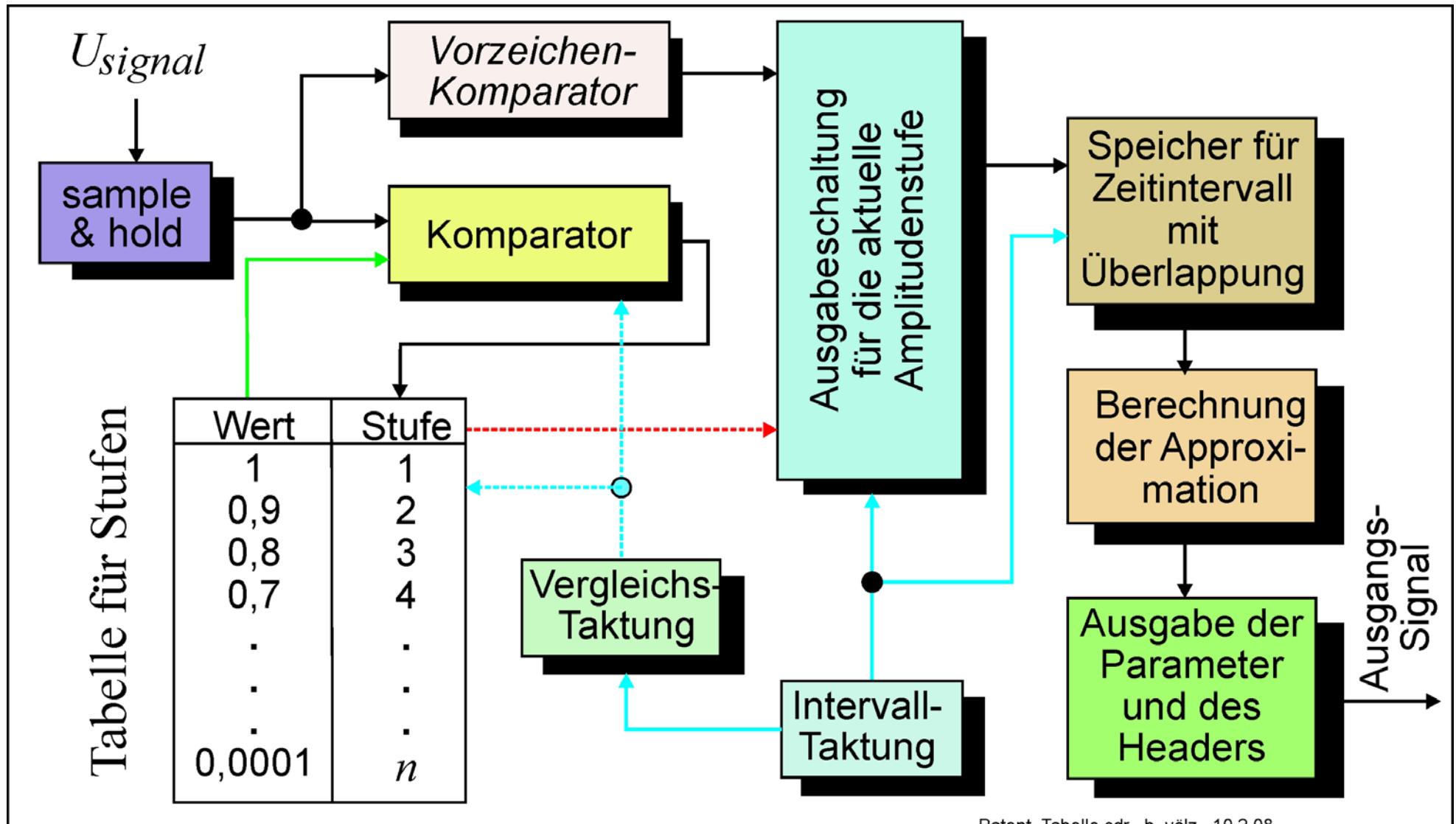
- Der **Toleranzbereich** kann mit einem Sicherheitsfaktor aus den **Forderungen** bestimmt werden.
- Er ermöglicht ein **approximierendes Ausgleichssignal**.
- Mit passenden Funktionen benötigt es **nur wenige (diskrete) Koeffizienten**.
- **Nur sie** werden für jeweils ausgewählte Intervalle **übertragen, gespeichert**.
- Bei der **Wiedergabe** kann dann das **kontinuierliche Ausgangssignal** (ohne Sampling-Rauschen) zurück gewonnen werden.
- Teilweise kann hiermit sogar das **Sampling-Theorem unterboten** werden.
- Zusätzlich kann die Interpolation gemäß unseren **Sinnesorganen logarithmisch** erfolgen (s. u.).



Vergleich für einen Kreis

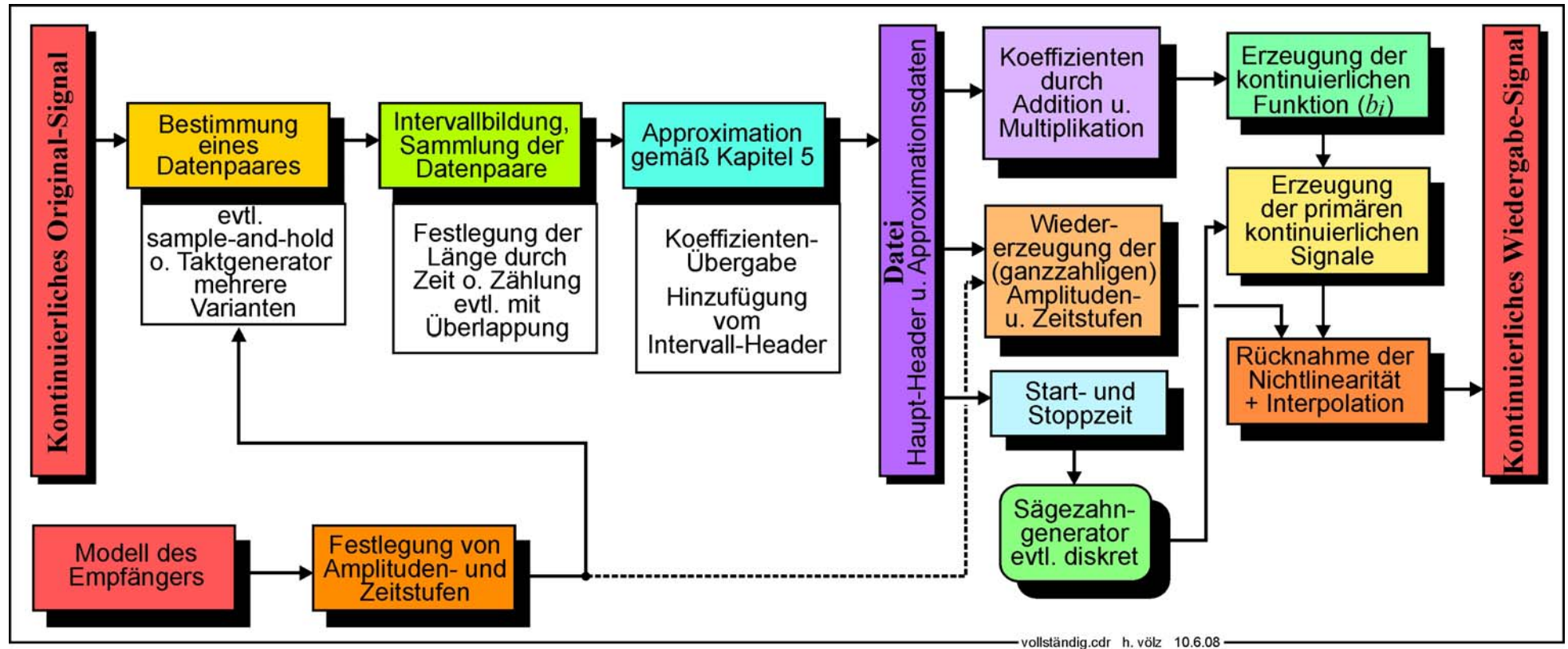


Beispiel einer Prinzipschaltung



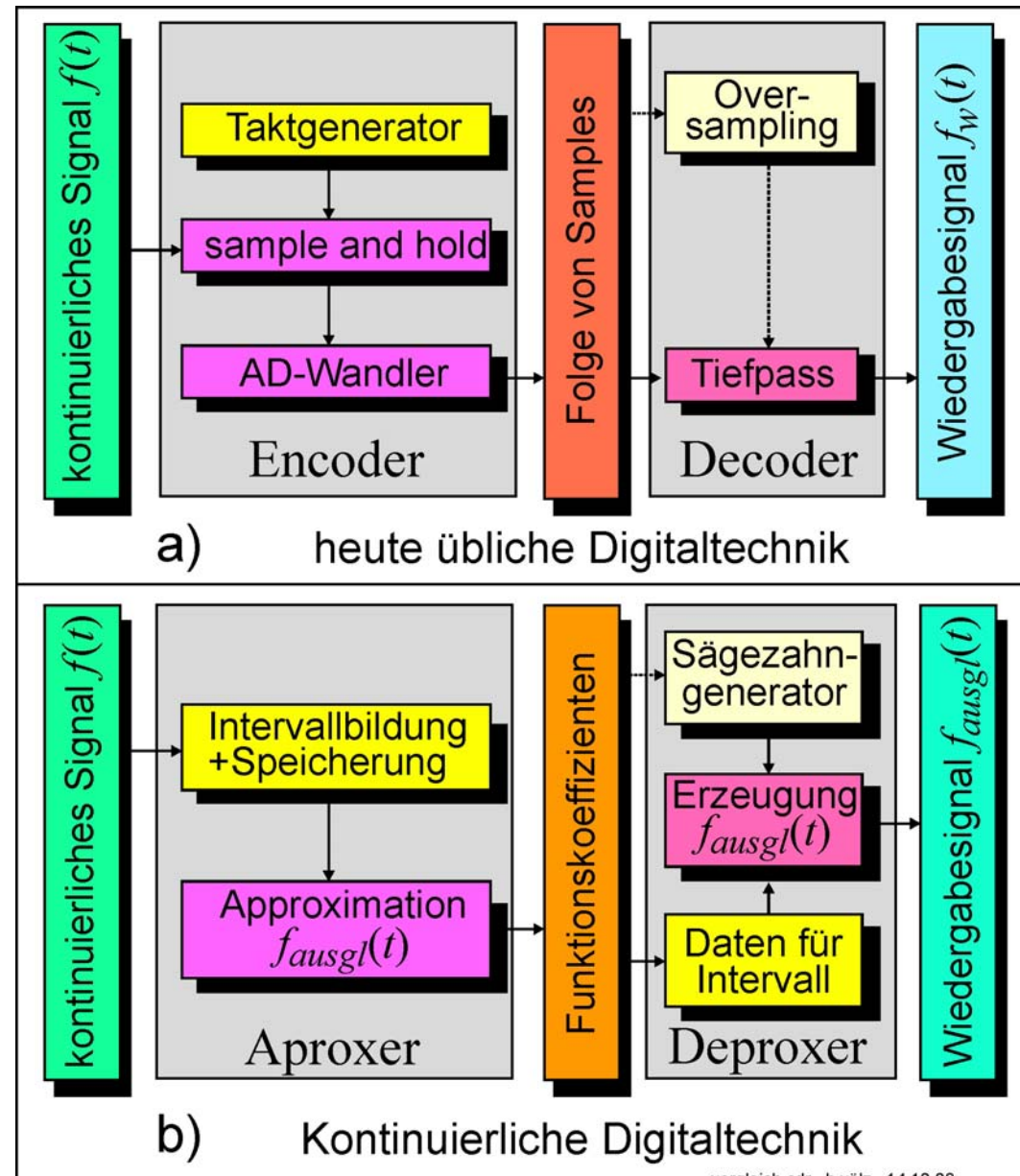
Patent_Tabelle.cdr h. völg 10.2.08

Schema einer vollständigen Schaltung



Vergleich von üblicher Digitalisierung und Kontinuierlicher Digitaltechnik

- Statt *Encoder* und *Decoder* wurden die neuen Begriffe *Aproxer* und *Deproxer* gebildet.
- Die neue Technik ist bzgl. Aproxer und Deproxer *aufwändiger*.
- Sie bietet erhebliche *Vorteile* bzgl. *Qualität* bzw. infolge ihrer *geringeren Datenrate* und *Speicherkapazität*.
- Sie ist *theoretisch* dem Sampling-Verfahren *deutlich überlegen*.
- Ob sie sie in der Praxis (langfristig) Bedeutung erlangt, hängt vor allem von ihrer *Normung und Akzeptanz* ab.



Ein weiterer Vergleich

Heute	Kontinuierliche Digitaltechnik
• Zweimal worst case 1. höchste Frequenz als Sampling-Rate 2. kleinste hörbare Amplitudenänderung (n Bit). • Übertragung der gequantelten Sampling-Werte. • Tiefpass zum Unterdrücken der Signalsprünge	• Wahl eines Zeit-Intervalls. • Approximation des Signalverlaufs durch eine möglichst einfache Funktion. • Übertragung der Koeffizienten. • Erzeugung der kontinuierlichen Funktion. • Wiedergabe durch linearen Sägezahn
Kontinuierliche Digitaltechnik	
Vorteile.	Nachteile.
• Übertragung von nur wenigen Koeffizienten. • Kein Sampling-Rauschen. • Kein Tiefpass. • Gutes Berücksichtigen der aktuellen oberen Frequenz. • Einfaches Einbeziehen von Empfängermodellen	• erhebliches Umstellen der Digitaltechnik. • völlig neue Denkweise. • teilweise höherer Aufwand. • noch keine Lösung zum Cattern

3. Digitalisierung durch Klassenbildungen

Hierbei sollen die kontinuierlichen **Original-Signale nicht wiederhergestellt** (annähernd) werden.

Vielmehr werden für **Empfänger wichtige, typische, digitale Eigenschaften** benutzt.

Es wird eine typische **Relevanz in den Signalen** bestimmt und benutzt, **Beispiele** sind.

- Für Sprache und Musik gibt es **Alphabet-** und **Noten-Schriften** mit wenigen „Zeichen“.
- Sie ermöglichen **ASCII** und **MIDI-Code**
American Standard Code for Information Interchange, Musical Instrument Digital Interface.
- Technisch ähnlich sind **OCR-Verfahren** für Text- und Noten-Bilder (**Optical Character Recognition**).

Bei Sprache und Musik muss hierbei zwischen **Text** $\Leftrightarrow$ **Interpretation** unterschieden werden.

Erhalten bleibt nur der „**Wortlaut**“; die für den jeweiligen **Sprecher, Musiker spezifische Aussage** wird ignoriert.

Sie ist aus dem Wortlaut (ASCII, MIDI) auf **keine Weise mehr rekonstruierbar**.

Für diese „Verfahren“ sind **tausendfache Komprimierungen** möglich.

2-Minuten-Text benötigt als kontinuierliches Audio-Signal >1 MByte, ASCII <2 KByte, gedruckt eine A4-Seite.

Beim ASCII-OCR gehen ähnlich alle **Schriftmerkmale**, wie Font, Punktzahl, Auszeichnung usw. **verloren**.

Diese **Kennzeichen** lassen sich allerdings **teilweise** auch **digital erfassen** und können dann hinzugefügt werden.

Bei MIDI leisten die **Klangbänke** ähnliches, z. B. für ausgewählte Instrumente.

Bei akustischen Signalen der Sprache und Musik ist ähnliches nicht vorhanden oder bekannt.

MIDI

Für Kopplung von Computer mit Keyboards, Synthesizer, Rhythmusinstrumente usw.
V24 bzw. RS 232 mit 31,25 kHz (1/32 MHz): 8 Daten-Bit und 1 Stopp-Bit.

Musik = MIDI	Text = ASCII
Tonhöhe (Noten) + Lautstärke. Status-Byte u.a. Ton ein/aus. Klangbänke	ASCII-Nr. ESC-Sequenzen, u.a. CRLF. Schriftfonts

Daten-Byte

Tonhöhe	60 mittleres C (Klavier 24-108)
Lautstärke	64 „Normal“, 0 aus, 1 ppp, 127 fff, 1 Anschlagsdynamik = Δt zwischen zwei Kontakten

Status-Byte

Bit 7 - 4	speziell, z. B.: 1000 = Note aus, 1001 = Note ein, 1010 = polyphon, 1100 = Programm-Änderung
Bit 3 - 0	für 16 Kanäle, d. h. unterschiedliche Keyboards, Geräte

3 Modi: Omni = alle Geräte, Poli = nur adressierte Geräte, Mono = Änderung in einem Gerät.

Klangbänke: Obertöne, Ein- und Ausschwingvorgänge.

heute als Samples, z.T. sehr individueller Instrumente gespeichert, z. B. ausgewählter Steinway-Flügel.

Historisch wichtig ist der **Moog-Synthesizer** von 1964.

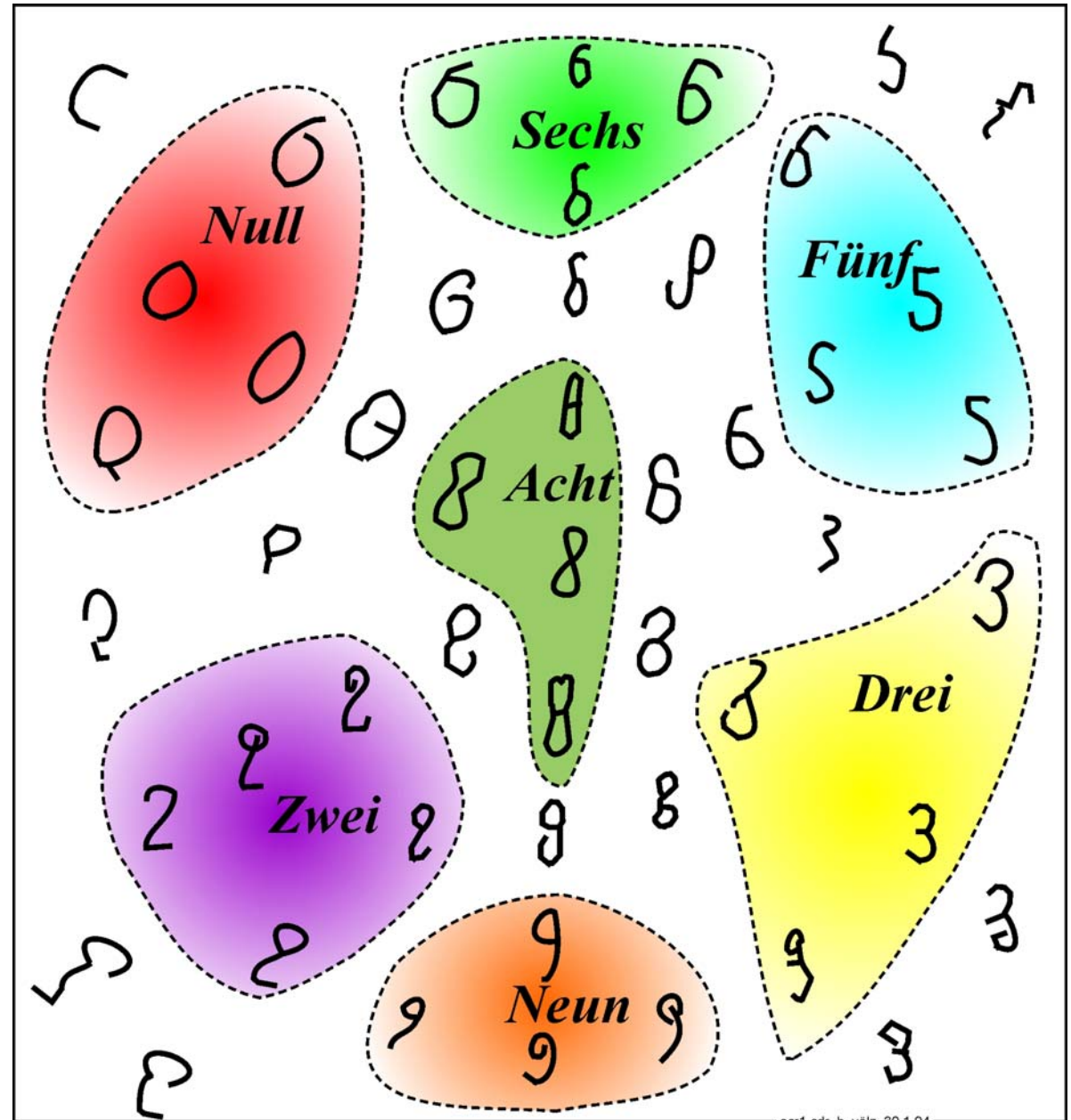
Statt des Mischens von Sinus-Signale wurde zeitweilig mehrfach verkoppelte **Frequenzmodulation** benutzt.

OCR

Es werden **charakteristische Merkmale** der Zeichen ausgewertet.

Bei einer großen **Formenvielfalt** ergeben sich leicht **Unsicherheiten**.

Es werden **Toleranzbereiche** eingeführt, die zu **Clustern** um das „richtige“ (ideale) Zeichen führen.



Codes bei Information und Daten

lateinisch *cauda* Schwanz, Schleppe; *caudex* Baumstamm, Strafblock, Buch, Bibel.
in Frankreich im Sinne von Gesetz, u. a. **Code Napoleon**, Code de commerce.
Coda = musikalischer Schluss.

Es gibt zwei große Klassen.

- **Abbildung bzw. Transformation** zwischen digitalen Daten
z. B. als Rechnerbefehle, für Fehlerkorrektur, Komprimierung und Kryptografie
Speziell sind Bar- und QR-Code, sowie ISBN (Internationale Standard-Buch-Nummer)
PIN (persönliche Identifikationsnummer), TAN (Transaktionsnummer) usw.
Bedingt gehört auch der **Genetische Code** der Biologie hierzu
sie **ermöglicht** (in der Informationstechnik):
 - umfangreiche **Manipulationen, Verarbeitungen** und **Vereinfachungen**.
 - **Gestaltung komplexer Strukturen** bis zu **virtuellen Welten**.
- **Digitale** Erfassung und Beschreibung **kontinuierlicher Eigenschaften**
z. B. ASCII; MIDI und OCR;
sie **ermöglicht**:
 - **hohe Verdichtungen** und **Komprimierungsraten**.
 - anschließende digitale **Manipulation kontinuierlichen Daten** und Fakten
z. B. Textverarbeitung, u. a. Cut und Paste statt rein geistiger Prozesse
In der Musik waren Noten für die polyphone Musik entscheidend.
 - Einführung **neuer Begriffe** und **Abstrakta**, z. B. Gott, Engel und Geister.

Fehlender Grafik-Code?

Für Sprache und Musik gibt es universelle, effektive **Kodierungen**, u. a. ASCII und MIDI.

Warum **nicht** für **Bilder** und **Film**?

Die **Auswirkungen** werden besonders deutlich beim **Vergleich** von drei Größen.

- Für die **Erzeugung** (Herstellung, Produktion) von Ereignissen, Produkten (vor allem Texte, Musik, Bilder und Filme) ist ein bestimmter **geistiger, technischer, materieller** und **zeitlicher Aufwand** erforderlich.
- Um geschaffene Produkte **aufzubewahren** und **verfügbar zu halten** ist **Speicherkapazität** notwendig.
- **Wahrnehmen** erfolgt über unsere Sinne, vorrangig mittels sehen und hören
technisch kaum wichtig sind fühlen, riechen, schmecken)
Die **Rezeption** eines Produkts (Ereignis, Geschehen, Objekt) **erfordert Zeit** (Aufwand, Aufmerksamkeit).

Die Verhältnisse der „**Aufwände**“ sollten **unabhängig** von den Sinnes-Arten sein.

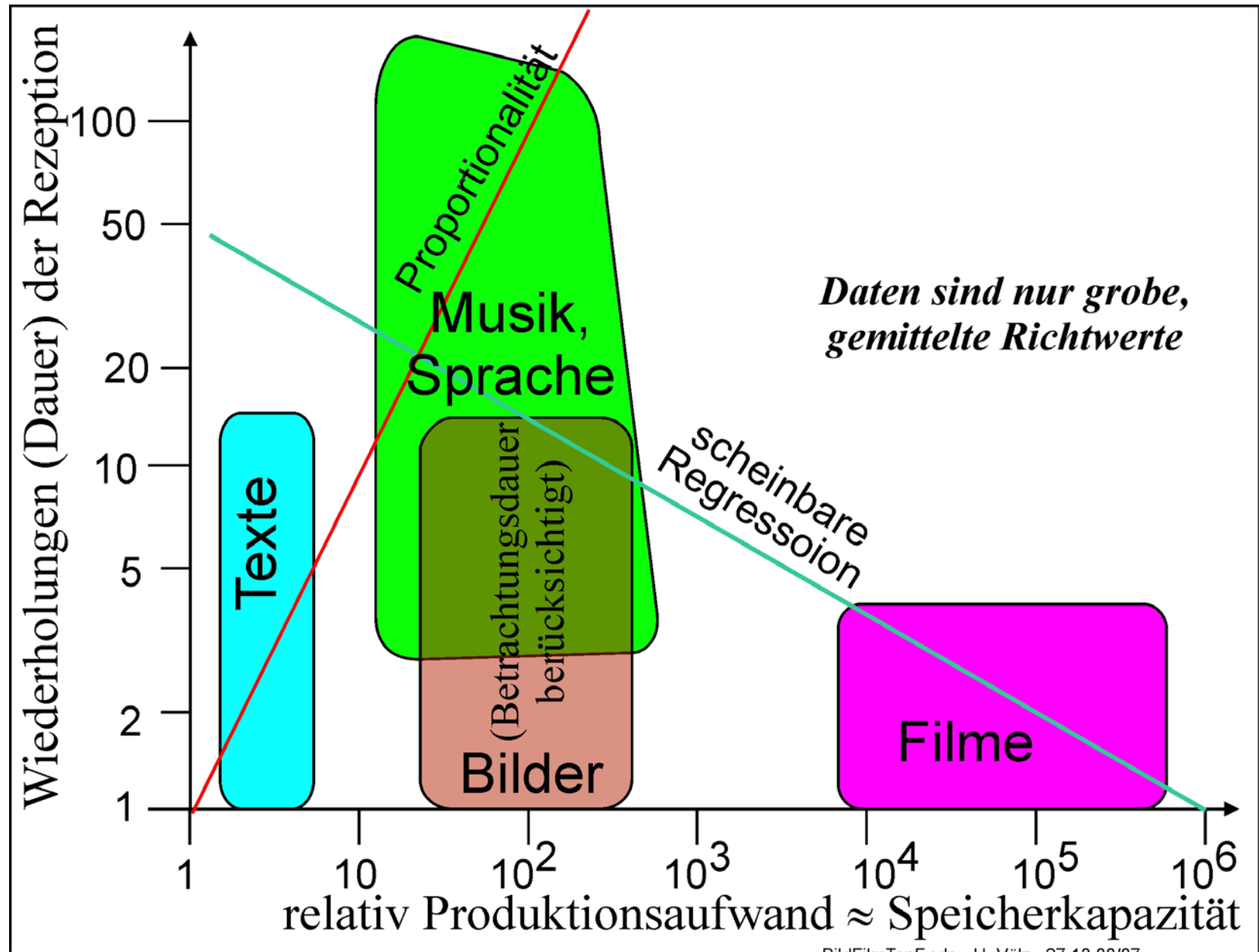
Erzeugung : Wahrnehmung : Speicherung.

Bzgl. **Erzeugen** und **Speichern** ist das relativ gut **erfüllt**.

Bei der **Wahrnehmung** mittels **Sehen** und **Hören** treten jedoch große **Abweichungen** auf.

Aufwand für das Rezipieren

- Er kann grob durch die im Mittel für ein Objekt **aufgewandte Zeit** skaliert werden
= **Produkt** aus der **Dauer** eines Rezipierens und der Anzahl der **Wiederholungen**.
- Er hängt wesentlich mit unserem **Interessen**, wie Neuheit, Nutzen, Genuss usw. zusammen
auch das **Gedächtnis** hat Einfluss: was wir wissen, wie wir es etwas behalten.
- Obwohl er **individuell** recht **verschieden** ist, gibt es **soziologisch gesicherte Maßstäbe**, z. B.
 - **Filme** sehen wir uns nur **wenige** Male an, meist höchstens *dreimal*.
 - Einige **Musikstücke** hören wir **immer wieder**, durchaus mehr als *hundertmal*.
 - **Bilder** betrachten und **Texte** lesen liegen etwa zwischen beiden Extremen.



Hinweise für Hören ≠ Sehen

- Nur Hören kann durch ***Sprechen/Singen*** unmittelbar, ohne Hilfsmittel ***aktiv unterstützt*** werden.
- „***Innere***“ ***Bilder*** werden – von Halluzinationen abgesehen – nur im ***Traum, Tagtraum erlebt***, geschehen, dabei gibt es keine bewusste Einflussnahme. Um sie zu sehen, ist ***Zeichen, Malen erforderlich***.
- ***Erinnern*** erzeugt kein Bild, sondern nur erforderliche Mittel, ein ähnliches Bild zu rekonstruieren.
- ***Denken*** und ***Abstraktion*** erfolgt überwiegend in Begriffen, sehr selten mittels Bilder .
- Es gibt „***Ohrwürmer***“ (klappernde Floskeln, Musik), aber keine äquivalenten „Augenwürmer“.
- Das Ohr ist im Gegensatz zum Auge ***nicht verschließbar***, Alarmsignale besser per Hören.
- ***Sehen*** können ***fast alle Lebewesen***, ***Hören nur ausgewählte*** Wirbeltiere und Insekten!, recht späte Evolution!.
- Bilder werden als ***Ganzheit, Gestalt*** rezipiert. Erst wenn die Pixel nicht mehr erkennbar sind, ist ein Bild gut wahrnehmbar.
- Chinesisches ***Sprichwort***: Ein Bild sagt mehr als tausend Worte.
Aber ***Presse*** und ***Fernsehen***: Nichts kann gründlicher lügen als ein Bild.
- Sehen geht über 6 ***Neuronenschichten***, Hören über 7. Beteiligte Neuronenzahl ist jedoch fast gleich.

Vergleich: taub $\Leftrightarrow$ blind

Vorsicht: Aussagen zu Behinderten wegen „political correctness“ erschwert.

- Kind erlebt bereits im **Mutterleib Sprache** der Mutter.
- **Spracherwerb** ist mit 2 Jahren im Wesentlichen erreicht, aber eigentlich nie abgeschlossen. Erwerb von **Bildsehen** (Orientierung und Wiedererkennen) ist viel früher abgeschlossen.
- **Von Geburt an Taube** bleiben selbst bei guter Förderung in ihrer geistigen Entwicklung etwa 5 Jahre zurück.
- **Abstrakte Begriffe, wie Gott**, sind Taubstummen im Gegensatz zu Blinden kaum zugänglich, große Probleme (Pflegestätten/Therapeuten); schwierige Erstkommunion = Nachweis eines hochabstrakten Gottesbegriffes.
- **Blindsein** gilt meist schwerwiegender als **Taubsein**. Dennoch sind immer Blinde stärker ins gesellschaftliche Leben einbezogen. In einigen Berufen (Übersetzer, Telefonauskunft) sind sie sogar sehfähigen überlegen.
- **Blinde kompensieren** durch geschärften Hörsinn; z. B. doppelt schnelle Spracherkennung.
- **Blind-Schachspielen**: Meister sehen nie Brett mit Figuren, sondern nur typische Stellungen.
- **Nicht sehen trennt** von **Dingen**, **nicht hören** von anderen **Menschen**.
- **Technischer Aufwand** zur Unterstützung Blinder ist wesentlich größer als für Taube (Stumme).
- Achtung: **Es gibt taube Musiker**: . BEETHOVEN, DVORAK, SCHEBALIN, EVELYN GLENNIE.

Folgerung

Es fehlt ein effizienter universeller **Grafik-Code**. Er brächte **viele Vorteile**.

- hohe Verdichtung.
- gute Manipulierbarkeit.
- Möglichkeit neuartige Bilder (außerhalb der Wirklichkeit, keine Fotorealität).
- Hervorheben des Wesentlichen.

Zumindest ein Nachteil.

Jeder Nutzer müsste den Code *erst (mühselig) lernen*.

wie jetzt **Schreiben, Lesen**, besonders deutlich für **Notenschrift**.

aber auch bei mathematische und chemische **Formeln**, Sonderzeichen (z. B. Landkarten) und Tanzschrift.

Ein Problem für das Finden des Codes.

Die **Suche** entspricht einem schwierigen **inversen Problem**.

Es folgt aus der sehr hohen Verdichtung des Codes.

Spezielle Grafik-Codes

Piktogramme u. a. für: Tourismus, Olympiade, Verkehrs- und Warnzeichen;

sollen für alle Adressaten eindeutig, schnell erfassbar und handlungsstimulierend sein;

Olympiade erstmalig 1964 in Tokyo, 1972 Designer OTL AICHE schafft einheitliches System.

Symbole: *Mond* für Islam, *Kreuz* für Christentum, *Herz* für Liebe; *Toilette* für Frauen kontextabhängig:

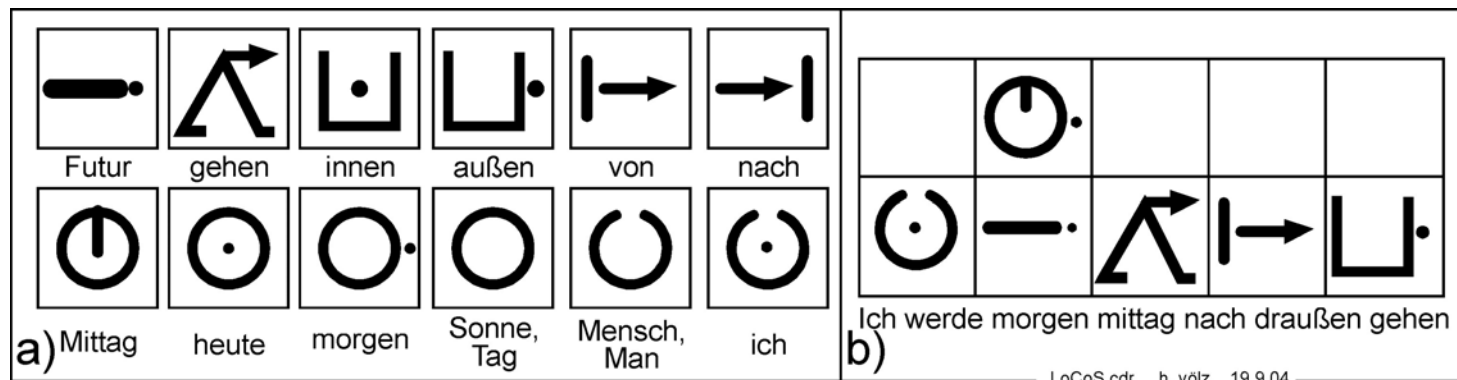
Europa *Rock*, *hochhackiger Schuh*, Nigeria *Zopffrisur* und islamischen Kulturbereich *Schleier*.

Smilies, z. B. :-) oder ;-).

Formeln, mathematische und chemische.

Tanz- und Bewegungsschrift.

LoCoS von YUKIO OTA (**L**overs **C**ommunication **S**ystem) Liebende sollen sich ohne Sprache verständigen können! = „visuelles Esperanto“.



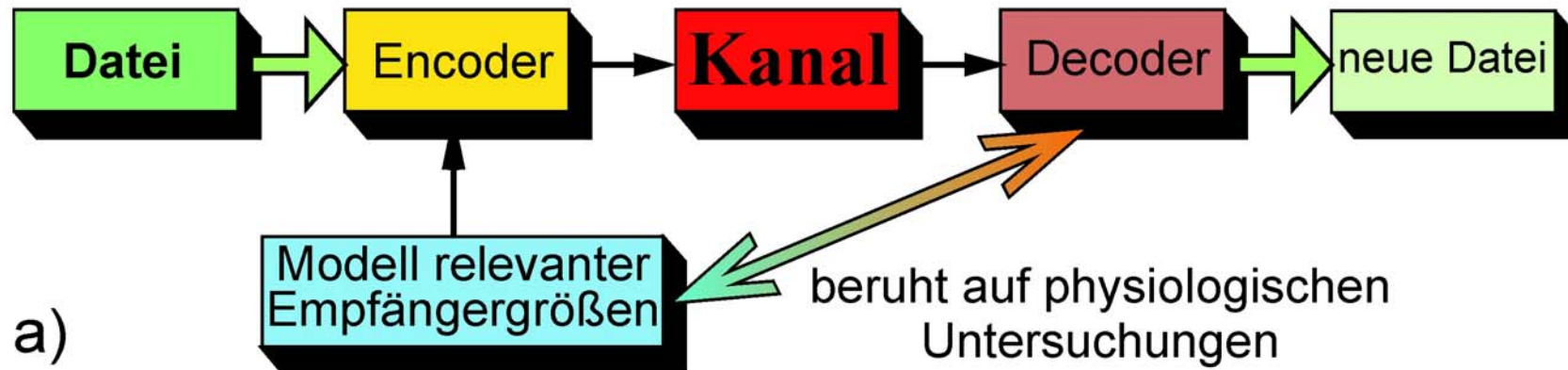
Eventuelle universelle Ansätze.

Fraktale, Escher, Umschlagbilder, Fremde Welten, Gestalttheorie der Psychologie.

Digitale Komprimierungen

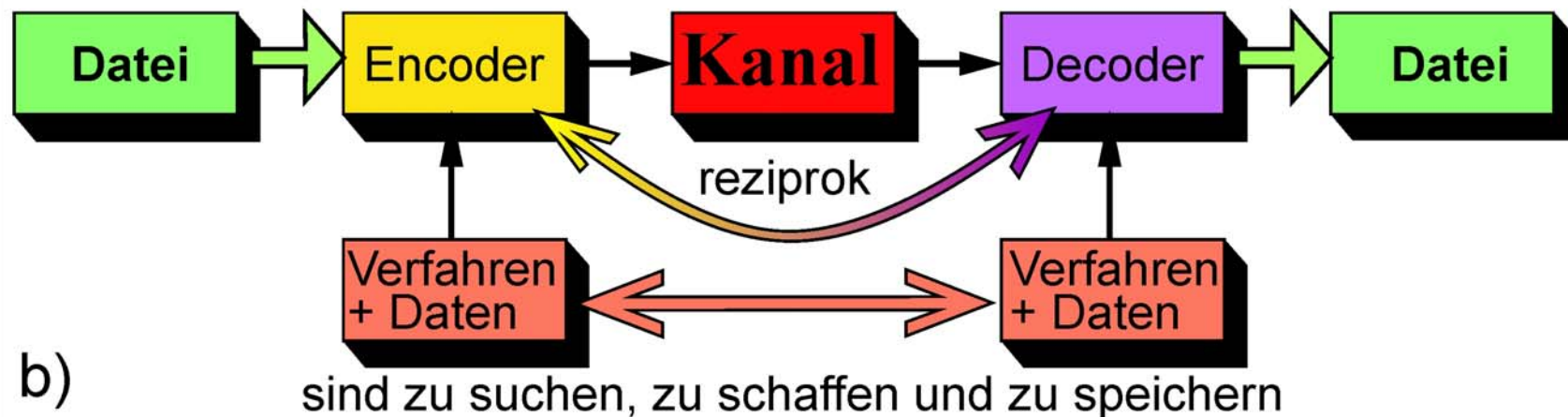
verlustbehaftete Komprimierung

nur empfänger-relevante Daten müssen berücksichtigt werden



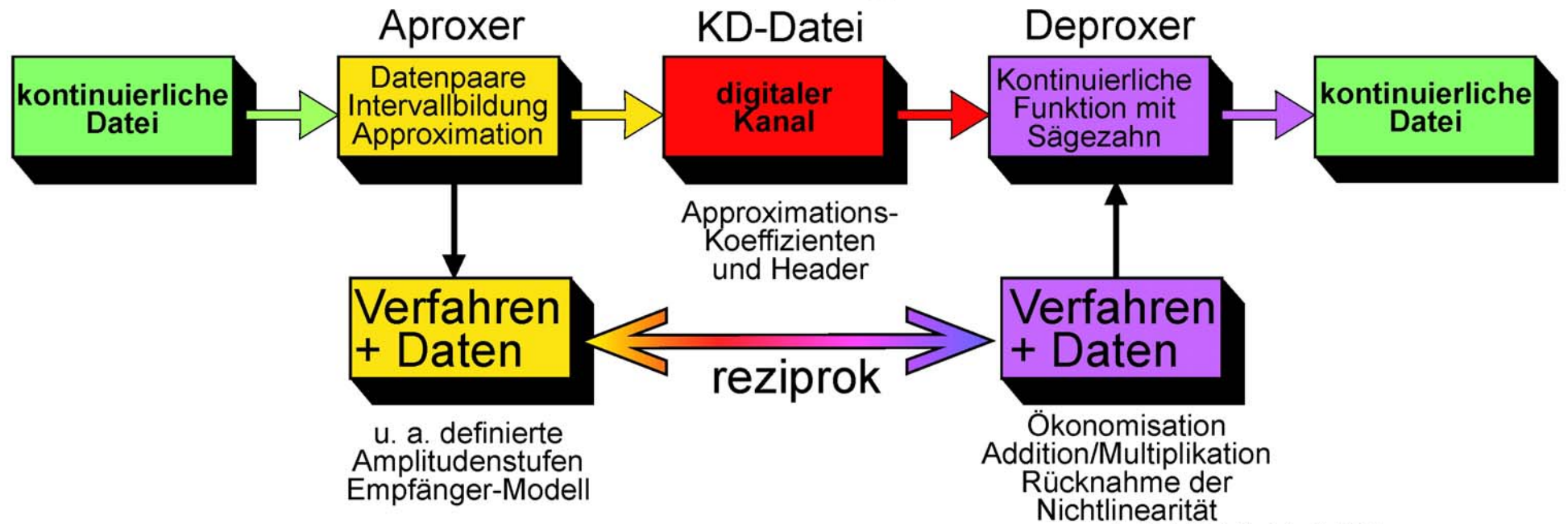
verlustfreie Komprimierung

Senkung der Datenmenge im Kanal (**Redundanz**)



komprimiERG.cdr h. vöLz 21.11.00/07

Kontinuierliche Digitaltechnik



kontinuerlichVergleich.cdr h. völk 7.8.08

verlustfreie Komprimierung Original wieder fehlerfrei herstellbar	verlustbehaftete Komprimierung Original ist nicht wieder herstellbar
Redundanz Betrifft fast ausschließlich den Informations- <i>Träger</i>	Relevanz Entspricht etwa dem <i>Informat</i>
• Sowohl durch <i>Datei</i> als auch <i>Verfahren</i> bestimmt. • Spezielle: SHANNON: folgt aus Codeaufwand und Entropie. • Förderliche: notwendig für Fehlerbehandlung, Kryptographie, Steganographie	• Durch den <i>Empfänger</i> bestimmt, daher teilweise subjektiv. • Absolute = Grenzen der Aufnahmefähigkeit des Empfängers, z.B. Hören 20 Hz - 20 kHz. • Relative berücksichtigt u. a. Bedürfnisse und Interessen, Uninteressantes usw. wird weggelassen > absolute
• beliebig komplexe Algorithmen und aufwändige Datenspeicherung bei Sender und Empfänger. • Zeit für Komprimieren oft groß; Analyse der Datei. • Dekomprimierung schneller. • Bei <i>endlichen</i> Dateien Grenze 1 Bit prinzipiell erreichbar	• Beschreibung durch ein Modell. • Irrelevanz ist oft schwer zu ermitteln, besitzt keine <i>Nutzanwendung</i>. • Oft sind angepasste Signaltransformationen notwendig. • Bei Welt und kontinuierlichen Signalen fast immer notwendig

Redundanz

*D*s *st *n T*xt*

keine Vokale

Dies ist ein Text

es genügt die obere Hälfte

Dies ist ein Text

Störungen sind unwirksam

Irrelevanz

von Font und Auszeichnung

Dies ist ein Text

Dies ist ein Text

Dies ist ein Text

Dies ist ein Text

Dies ist ein Text

Dies ist ein Text

Dies ist ein Text

ocr2.cdr h. vözl 30.1.94

Verlustfreie Komprimierung

Komprimierung unendlicher Folgen.

Es gilt der **Satz** (1975) von GREGORY J. CHAITIN (*1947).

Von **unendlich langen Ketten** lassen sich **endlich viele verkürzen**, aber **unendlich viele nicht**.

Vor allem **Zufallsfolgen** sind nur selten zu verkürzen.

Dieser Satz gilt nicht für **endliche Ketten** (Dateien), sie lassen sich **immer irgendwie verkürzen**.

Es gilt auch die **Kolmogorow-Komplexität**.

ANDREI NIKOLAJEWITSCH KOLMOGOROW (1903 - 1987).

Es gibt.

- eine **universelle TURING-Maschine** M .
- ein **Programm** p .
- eine auf dem Speicherband stehende **Inscription** i .
-

Sie **erzeugen** die **Folge** $s = M(p, i)$.

Es seien alle Programme p_i bekannt, die auf dem Speicherband s erzeugen.

Hierunter ist p_k mit der Länge $L_M(s)$ das **kürzeste (bekannte) Programm**.

Diese Länge ist die (aktuelle) Kolmogorow-Komplexität bezüglich s .

Auf einer anderen universellen Turing-Maschine U wird M simuliert.

Für die Länge des Simulationsprogramms gilt dann $L_M(s) \leq L_U(s) + K_{M, U}$.

Beispiele zur Verkürzung unendlicher Folgen.

33333...	$\Rightarrow$ wiederholen und anhängen von 3.
01010101...	$\Rightarrow$ wiederholen und anhängen von 01.
01001000100001...	$\Rightarrow$ Startkette $s_0=01$, $s_0 = 0$ & s_0 : $s_{n+1} = s_n \& s_0$.
1 4 2 5 0 3 6 1 4 7 2	$\Rightarrow s_0 = 1$; $s_{n+1} = (s_n + 3) \text{ Mod } 8$.
2 3 5 7 11 13 17	= Primzahlfolge $\Rightarrow$ Primzahl-Algorithmus.
π	$\Rightarrow$ Algorithmus (Formel) für π .

Endlich viele endliche Dateien

Dateien und Folgen können recht *unterschiedlich strukturiert* sein.

Daher kann es *keinen universellen Algorithmus* zum Komprimieren geben.

Beim Empfänger wird auch der *reziproke Algorithmus benötigt*; daher sind nicht alle Algorithmen anwendbar. Vor dem Senden ist die Datei (abschnittsweise) daraufhin zu *analysieren*, welcher Algorithmus am besten ist. Das kann *viel Zeit* in Anspruch nehmen, *Dekomprimieren* geht daher meist *viel* schneller.

Mit der Übertragung/Speicherung der komprimierten Datei ist also auch der *Algorithmus mitzuteilen*.

Werden n Algorithmen festgelegt, so genügen hierfür $\{\text{ld}(n)\}$ Bit ($\{\}$ bedeutet die nächstgrößere ganze Zahl).

Bei Sender und Empfänger können *heute viele Algorithmen und Daten gespeichert* werden.

Kommen nur m *unterschiedliche Dateien* in Betracht, so lässt sich die Entscheidung mit $\{\text{ld}(m)\}$ Bit treffen.

Als *theoretischer Grenzfall* ist für *2 Dateien* die Komprimierung auf **1 Bit** möglich.

Auf diese Weise bestimmt die *SHANNON-Entropie nicht mehr die Grenze* der Komprimierung.

Sie *verlangt* die Verwendung von *Präfix-Code* (s. u.).

Bei Archiven usw. werden die *Dateien* beim Empfänger oft nur *ergänzt*.

Dann ist der *Hinweis* auf das *Vorhandene* nur um das *Neue* zu ergänzen.

Nach diesen Prinzipien sind heute *extrem hohe Komprimierungs-Raten* möglich (s. u.).

Alle entsprechenden Möglichkeiten sind bisher *längst nicht ausgeschöpft*.

Sehr aufwändig kann die *notwendige Analyse* der Datei für die *bestmögliche Kodierung* werden .

Voraussetzungen

Für jede Komprimierung sind spezifische **Strukturen** der Datei auszuwählen. Sie betreffen u. a.:

- Einzelne **Zeichen** (Zahlen, Buchstaben).
- **Zeichenfolgen** (Silben, Wörter).
- **Pixel** bei Bildern (Helligkeit, Farbe).
- **Strukturen** (Linien, Bögen, Kreise, Figuren).
- **Noten** (Tonhöhe, Lautstärke).

Achtung! Bei **mehrdimensionalen** Gebilden, z. B. Bildern, muss eine zunächst eine **serielle** Anordnung geschaffen werden (s. Bilder verlustbehaftet).

Auch bzgl. der benutzten **Merkmale** gibt es mehrere Möglichkeiten, wichtig sind u. a.:

- Häufigkeiten, Wahrscheinlichkeiten.
- Wiederholungen.
- Aufeinanderfolge.
- Räumliche Anordnung.

Komprimierung per Wahrscheinlichkeit

Bereits SAMUEL FINLEY BREESE MORSE (1791 - 1872) verwendete **Häufigkeiten** der Zeichen. Hierzu hat er in einer Druckerei die Nachbestellung der Typen analysiert. Sie benutze er für unterschiedliche **Längen** seines **MORSE-Codes**.

CLAUDE ELWOOD SHANNON (1916 - 2001) stellt für die Übertragungs-**Technik** generell fest. Es interessiert **nicht der Inhalt**, sondern **nur die Häufigkeit** der Zeichen. Daher enthält seine **Entropie-Formel** nur die Wahrscheinlichkeiten p_i und Anzahl n unterscheidbarer Zeichen.

$$H = - \sum_{i=1}^n p_i \cdot \lg(p_i) \text{ in Bit/Zeichen}$$

Für die **Codierungen** benutzt er den **Präfix-Code**, er benötigt nämlich keine zusätzlichen Start-, Stopp-Zeichen. Er kann durch Code-Bäume mittels der **endständigen Knoten** dargestellt werden. Die **beste bekannte Kodierung** hierfür stammt 1952 von DAVID A. HUFFMAN (1925 - 1999). Der notwendige **Code-Aufwand** ergibt sich aus den erforderlichen Code-Längen l_i und Häufigkeiten zu .

$$A = \sum_{i=1}^n l_i \cdot p_i$$

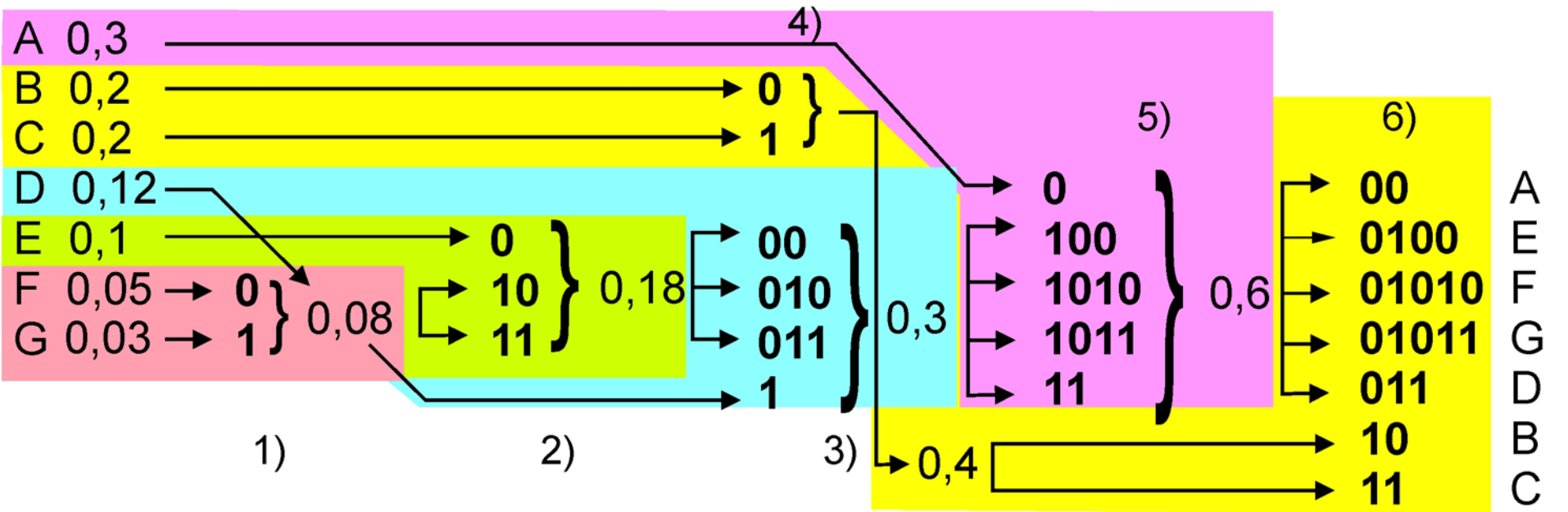
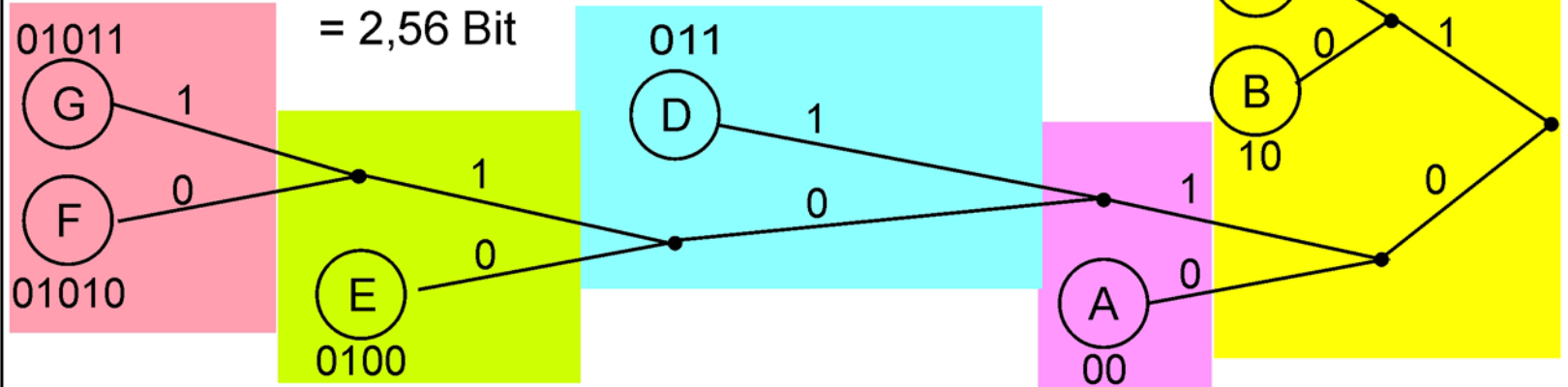
HUFFMAN-Codierung

1. Jedem Zeichen wird ein leerer Code-Vektor zugeordnet.
2. Die Zeichen werden nach *fallender* Wahrscheinlichkeit sortiert.
3. Die beiden Zeichen mit der kleinsten Wahrscheinlichkeit werden mit **0** bzw. **1** codiert und dem Code-Vektor *vorne* angefügt.
4. Die beiden codierten Zeichen werden gemeinsam als neues Hilfszeichen mit ihrer Summenwahrscheinlichkeit eingeführt
Die beiden ursprünglichen Zeichen erscheinen nicht mehr direkt im Zeichenvorrat.
5. Mit dem neuen Zeichenvorrat wird bei Schritt 2 solange fortgefahren, bis nur zwei Hilfssymbole existieren
Das Vorsetzen der Codes **0** bzw. **1** erfolgt immer für alle Zeichen, die in den Hilfszeichen zusammengefasst sind.
- 6.

Entropie =
2,52 Bit/Zeichen

A = 0,3
B = 0,2
C = 0,2
D = 0,12
E = 0,1
F = 0,05
G = 0,03

Ablauf der Huffman-Codierung



HuffmanF.cdr h. vözl 30.1.94/09

Redundanz und Komprimierungsfaktor

Es gilt immer $A \geq H$. Der Wert $R = A - H$ wird als **Redundanz** der Codierung bezeichnet.

SHANNON zeigte, dass der Übergang $A \rightarrow H$ zumindest theoretisch immer möglich ist.

Hierzu müssen **Zeichen zu Zeichenkombinationen** zusammengesetzt werden.

Dabei entstehen natürlich zusätzliche „Zeichen“ und Häufigkeiten mit neuem Code-Aufwand.

Nur im ungünstigsten Fall ist dabei ∞ Speicherkapazität bei ∞ Signalverzögerung erforderlich.

Heute gilt die **Entropie als Grenze** für die Komprimierung mit (binären) **Präfix-Code**.

Auch **iterative Verfahren** mit zusätzlichen Zeichenkombinationen brachten wider Erwarten wenig Erfolg.

Für den **Komprimierungsfaktor** ist die „**sonst übliche**“ **Übertragung** der Zeichen entscheidend.

Am günstigsten ist eine direkte **binäre Codierung**, die $\bar{U} = \{\lg(n)\}$ Bit/Zeichen erfordert.

Dieser Wert entspricht dem Aufwand ($\geq$ Entropie) bei **Gleichverteilung**.

Die Präfix-Codierung bewirkt daher nur dann Komprimierung, wenn keine Gleichverteilung vorliegt.

Arithmetische Codierung

wurde um 1985 von P. ELIAS bei IBM entwickelt und patentiert [Witten87].

arbeitet mit fortlaufenden **Intervall-Schachtelungen** entsprechend den Häufigkeiten.

liefert Codierungen, die weitgehend der **Entropie entsprechen**, sind also meist besser als HUFFMAN.

Codierung arbeitet jedoch **wesentlich langsamer** und mehr verzögernd.

Wegen der fälligen **Lizenzgebühren** wird sie selten angewendet.

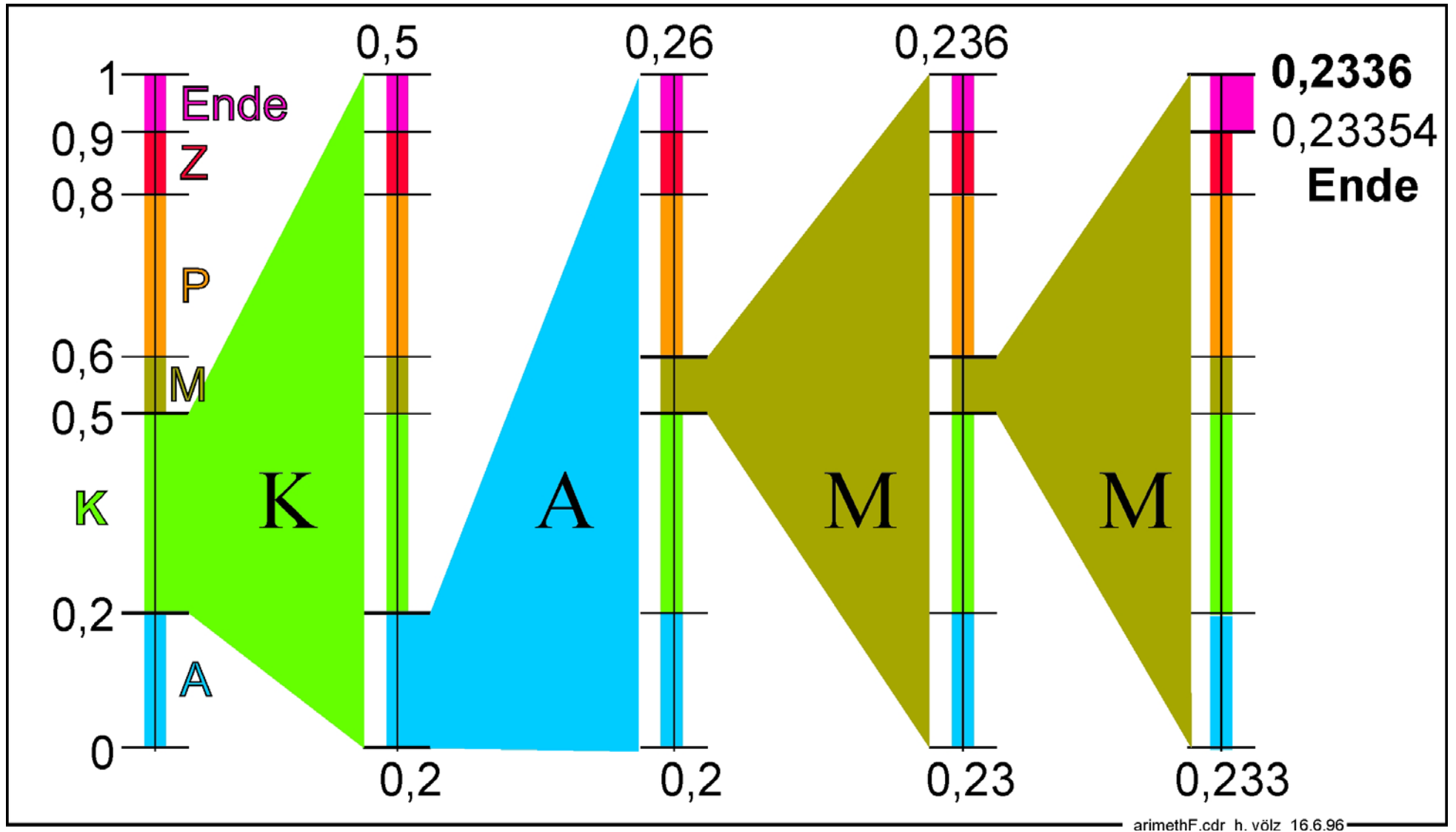
Vereinfachtes **Beispiel** erfolgt in dezimaler Schreibweise nur mit den Zeichen A, K, M, P und Z.

! = zusätzlich notwendiges Abschluss-, Ende-Zeichen.

Es wird das Wort „KAMM“ codiert.

In zeitlicher Abfolge werden die jeweils gerade gültigen gewordenen Ziffern des Intervalls ausgegeben.

Zeichen	Häufigkeit	erstes Intervall	Text-Folge	Folge-Intervall	gültige Ziffern
A.	0,2.	0,0 - 0,2.	K.	0,2 - 0,5.	0,.
K.	0,3.	0,2 - 0,5.	KA.	0,20 - 0,26.	0,2.
M.	0,1.	0,5 - 0,6.	KAM.	0,23 - 0,236.	0,23.
P.	0,2.	0,6 - 0,8.	KAMM.	0,233 - 0,2336.	0,233.
Z.	0,1.	0,8 - 0,9.	Ende.	0,23354 -	0,2335.
!	0,1	0,9 - 1,0	Ausgabe	0,2336.	0,23358
				0,23358	



Wiederholung von Zeichen

Diese Verfahren können die SHANNON-Entropie teilweise *deutlich unterschreiten*.

1. Lauflängen-Codierung

Insbesondere bei Bildern *wiederholen* sich Pixelwerte (genutzt u. a. bei *.PCX).
Dann kann es nützlich sein, die Anzahl der Wiederholungen durch ein **Zähl-Byte** zu kennzeichnen.
Aufeinander folgen daher **Zähl**- und **Pixel**-Byte unterscheiden, z. B. .

CCCCCAABBBBAAAAEE $\Rightarrow$ **6C2A4B4A2E**.

Bei geringen Wiederholungen kann die *Datei sogar größer* werden, dann wird die *Original-Datei* benutzt.

2. Pointer-Verfahren

Es erfolgen *Verweise* auf Orte, wo die Zeichenfolge bereits existiert (teilweise bei *.Zip und *.Arc).
Es sind dann 2 Byte zusätzlich notwendig, nämlich für *Ort und Länge* der Zeichenkette „abrabrikadabra“.

ABR**ABRIKAD****ABRA**.

Ab dem vierten Buchstaben **ABR** $\Rightarrow$ Verweis <1, 3>.

Insgesamt $\Rightarrow$ **ABR**<1, 3>**IKAD**<1, 3>**A**.

Effektivität sinkt, wenn die *Verweis-Vektoren* sehr *groß* werden.

Daher wird meist in einem *gleitenden Fenster* gearbeitet.

Auch ***begrenzte Blocklängen*** für die Verweise sind vorteilhaft.

3. Code-Erweiterung

Eingeführt wurde das Verfahren 1977 von J. ZIV und A. LEMPEL [Ziv1977].

1984 erweitert von WELCH (LZW, PKZIP) [Welch1984].

Begonnen wird mit 256 verschiedenen **8-Bit-Zeichen**, z. B. ASCII.

Für **häufige Zeichen-Kombinationen** werden neue Codes / Symbole als **9-** oder gar **10-Bit-Zeichen** eingeführt.

Für optimale Festlegungen müsste die Datei erst vollständig analysiert werden, das dauert oft zu lange.

Für geringe Verzögerungen werden stattdessen **drei Vorgänge** benutzt:

- Ausgabe von Symbolen / Codes in die komprimierte Datei,.
- Erweiterung des Symbolsatzes (z. T. auch Reduzierung),.
- Verwendung des erweiterten Symbolsatzes.

Beispiel für Code-Erweiterung

„wieder□diese□Kinder□“.

Ablauf (□ = Leerzeichen; Courier = Code-Nr.):.

1. w wird ausgegeben und neu generiert wi = 256.
2. i wird ausgegeben und neu ie = 257.
3. e wird ausgegeben und neu ed = 258 *usw.*

Bei diese existiert bereits ie und wird als 257 ausgegeben.

Zusätzlich neu ies = 264 (alle niedrigeren sind inzwischen vergeben).

Am Ende der Zeichenkette existieren dann die neuen Codes.

256 (wi); 257 (ie); 258 (ed); 259 (de); 260 (er); 261 (r□); 262 (□d); 263 (di);
264 (ies); 265 (se); 266 (e□); 267 (□K); 268 (Ki); 269 (in); 270 (nd); 271 (der).

Ausgegeben wird die von 20 auf 16 verkürzte Kette:

wieder□d 257 se□Kin 259 261.

Dafür ist die Code-Länge jedoch von 8 auf 9 Bit/Symbol angestiegen.

Zusätzliche Maßnahmen ermöglichen, die erweiterte Codebasis (512) möglichst vollständig zu nutzen.

U. a. werden dazu zwischendurch erzeugte, aber nicht genutzte Codes wieder freigegeben.

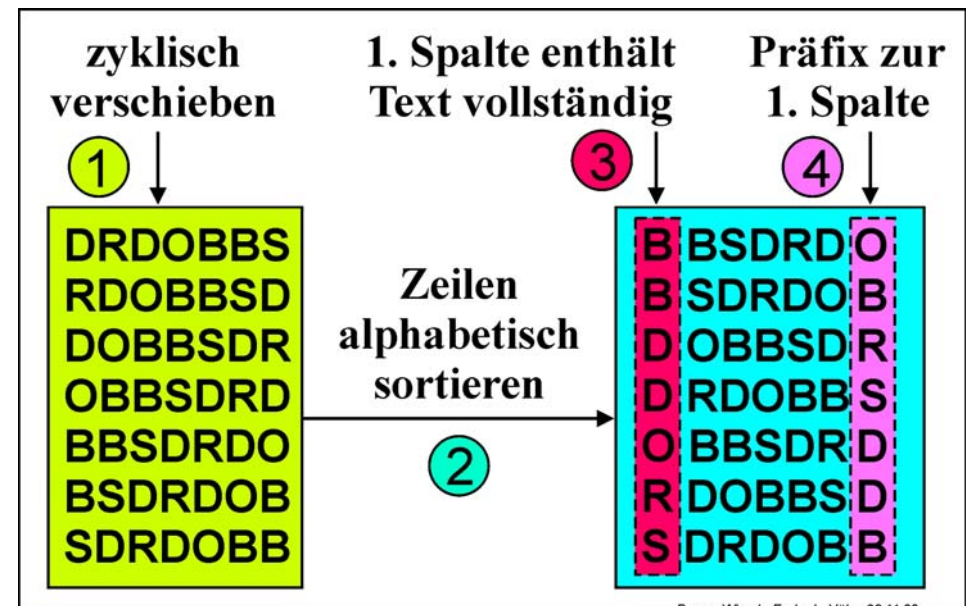
Kompression mit BURROWS-WHEELER-Transformation

1983 wird die BWT-Transformation intern M. BURROWS und D. J. WHEELER publiziert.

1994 erfolgt der erste Hinweis auf eine mögliche Kompression (heute u. a. b2zip).

Besonders anschaulich ist sie in [Kruger92] mit dem kurzen Text DRDOBBS beschrieben:.

- Zunächst wird er **zyklisch verschoben** in einer **Matrix** ① angeordnet.
- Die Zeilen der Matrix werden dann **alphabetisch sortiert** ② und erzeugen eine neue Matrix.
- Ihre **erste Spalte** ③ enthält – alphabetisch sortiert – den **vollständigen Text**, dadurch ist sie gut **lauflängenkompprimierbar**.
- Die **letzte Spalte** ④ enthält das **Präfix** zur ersten Spalte.
- Ihrer **Abfolge** wird zusätzlich mittels **Zahlen übertragen**.
- Darüber erfolgt das **Dekomprimieren**.



Insgesamt sind **Kompressionsraten** von fast zehn erreichbar.

HILBERG-Codierung für Texte

Texte besitzen eine **Syntax**. Dadurch können auf ein Wort nur einige ausgewählte **Wörter folgen**.

Ferner legt die **Grammatik** fest, wie sich die Wörter im **Kontext verändern**.

Diese Fakten nutzt WOLFGANG HILBERG (*1931, Erfinder der Funkuhr) zur **Komprimierung**.

Jedes i -te Wort erhält dazu **zwei Eingangs-Vektoren** x_i und y_i sowie einen **Ausgangsvektor** z_i .

Ein 4-Bit-Code erzeugt so mit der linken Tabelle die 16 Sätze der rechten Tabelle.

$y_1 x_1$	Wort 1	z_1
0 0	Rotkäppchen	1.
0 1	der Wolf	1.
1 0	trifft	0.
1 1	erkennt	0
$y_2 x_2$	Wort 2	z_2
0 0	Rotkäppchen	1.
0 1	der Wolf	1.
1 0	trifft	0.
1 1	erkennt	0
$y_3 x_3$	Wort 3	
0 0	den Jäger.	
0 1	die Großmutter.	
1 0	den Hänsel.	
1 1	die Gretel	

$y_1 x_1 x_2 x_3$	Sätze
0 0 0 0.	Rotkäppchen trifft den Jäger.
0 0 0 1.	Rotkäppchen trifft die Großmutter.
0 0 1 0.	Rotkäppchen erkennt den Jäger.
0 0 1 1.	Rotkäppchen erkennt die Großmutter.
0 1 0 0.	der Wolf trifft den Jäger.
0 1 0 1.	der Wolf trifft die Großmutter.
0 1 1 0.	der Wolf erkennt den Jäger.
0 1 1 1.	der Wolf erkennt die Großmutter.
1 0 0 0.	trifft Rotkäppchen den Hänsel.
1 0 0 1.	trifft Rotkäppchen die Gretel.
1 0 1 0.	trifft der Wolf den Hänsel.
1 0 1 1.	trifft der Wolf die Gretel.
1 1 0 0.	erkennt Rotkäppchen den Hänsel.
1 1 0 1.	erkennt Rotkäppchen die Gretel.
1 1 1 0.	erkennt der Wolf den Hänsel.
1 1 1 1	erkennt der Wolf die Gretel

Anwendung

Es soll der Satz „Der Wolf trifft die Großmutter“ komprimiert werden.

„Der Wolf“ erzeugt den Code $x_1y_1 - z_1 = 01 - 1$.

Als zweites Wort kommt nur „trifft“ oder „erkennt“ in Betracht.

„trifft“ fügt eine 0 an (=010) und generiert den Ausgangsvektor $z_2 = 0$.

Als drittes Wort sind nun „den Jäger“ oder „die Großmutter“ möglich.

„die Großmutter“ verlängert den Code um die 1 auf 0101.

Auf diese Weise sind **alle 16 Sätze** der rechten Tabelle mit **4 Bit zu komprimieren**.

Es gelang HILBERG und MEYER [Lit] alle **Dissertationen** der NRT Darmstadt mit je **65 Bit** vollständig zu codieren.

Das entspricht einer **Entropie** $\approx 0,012$ Bit/Buchstaben bzw. $\approx 1,8$ Bit/Textseite.

Diese Aussagen haben viele bezweifelt und vermuteten z. T. fälschlich sogar Scharlatanerie oder gar Betrug.

Mit 65 Bit sind jedoch $2^{65} \approx 3,69 \cdot 10^{19}$ **unterschiedliche Arbeiten** zu generieren.

Versuche mit **Zufalls-Bits** von nicht vorhandenen Arbeiten zeigten dabei oft „**höheren Unsinn**“.

Sie besaßen aber stets korrekte Syntax und Grammatik.

Es muss betont werden, dass auf der **Empfänger-Seite** ein Speicher von **vielen MByte** notwendig ist.

Im Prinzip sind auf dieser Basis **viele neue Ansätze** möglich [Hilberg].

Z. Z. entwickelt auf diese Grundlage ein Diplomand von mir eine **hocheffektive Eingabe** u. a. für **Behinderte**.

Verlustbehaftete *digitale* Komprimierung

Abgrenzung gegenüber kontinuierlich

Gegenüber der „Kontinuierlichen Verdichtung“ werden hier ausschließlich digitale Verfahren behandelt. Hier wird stärker betont, dass von den **Verlusten möglichst wenig wahrgenommen** wird.

Bei **Bildern** und **Film/Video** sind zusätzliche Vorbereitungen notwendig, um die mehrdimensionalen und zeitabhängigen Signale in eine **lineare Folge** umzucodieren.

Generell sind außerdem **drei Methoden** zu unterscheiden, die allerdings **auch kombiniert** benutzt werden.

1. Verfahren, die mit **Modellen** arbeiten, sie betreffen vor allem Schall, Bild und Film.
2. Nutzung von **Transformationen**, u. a. FOURIER- und Wavelet-Transformationen.
3. Anwendungen **fraktaler Methoden**.
- 4.

Interessant ist, dass sie **verlustlose Komprimierung** zuweilen **höherer Komprimierungsraten** als zulässt. Hierfür können nämlich beim Sender und Empfänger große relevante Datenmengen **gespeichert werden**.

Hör-Modelle.

betreffen vor allem die verschiedenen **Flächen im Lautstärke-Frequenz-Diagramm**.

Die notwendigen Ausschnitte ergeben sich aus den Forderungen, Musik, künstlerischer Text und Sprachverstehen.

In dieser Fläche können wir Signale unterschiedlich genau unterscheiden $\Rightarrow \approx 375\,000$ „logons“.

Formal könnten sie per „OCR“ als **digitalisiert** werden, doch leider ist bisher kein Verfahren dazu bekannt.

Über **Frequenzkanäle** sind jedoch die unterschiedlich vielen Amplituden-Stufen ausnutzbar.

Hierzu ist vorher eine FOURIER-Transformation erforderlich.

Das dann zurück transformierte Signal ist im Kurvenverlauf dem Original überhaupt nicht mehr ähnlich.

Weiter kann das WEBER-FECHNER-Gesetz der **logarithmischen Amplitudenabstufung** ausgenutzt werden.

Es gilt für alle Sinneswahrnehmungen (ERNST HEINRICH WEBER 1795 - 1878; GUSTAV THEODOR FECHNER 1801 - 1887).

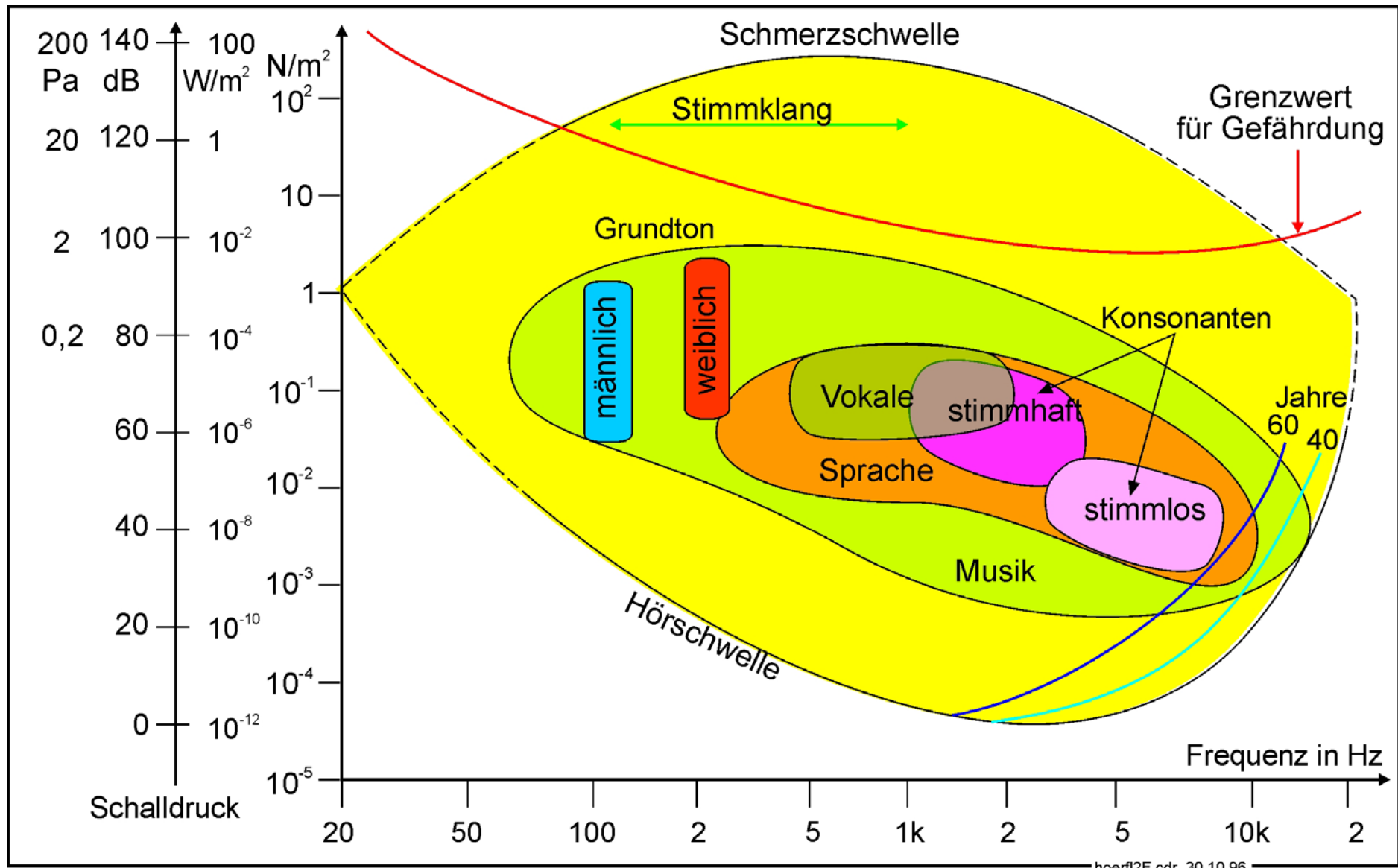
Lautstarke Töne **verdecken** leisere anderer Frequenz können $\Rightarrow$ dynamische Hörschwelle.

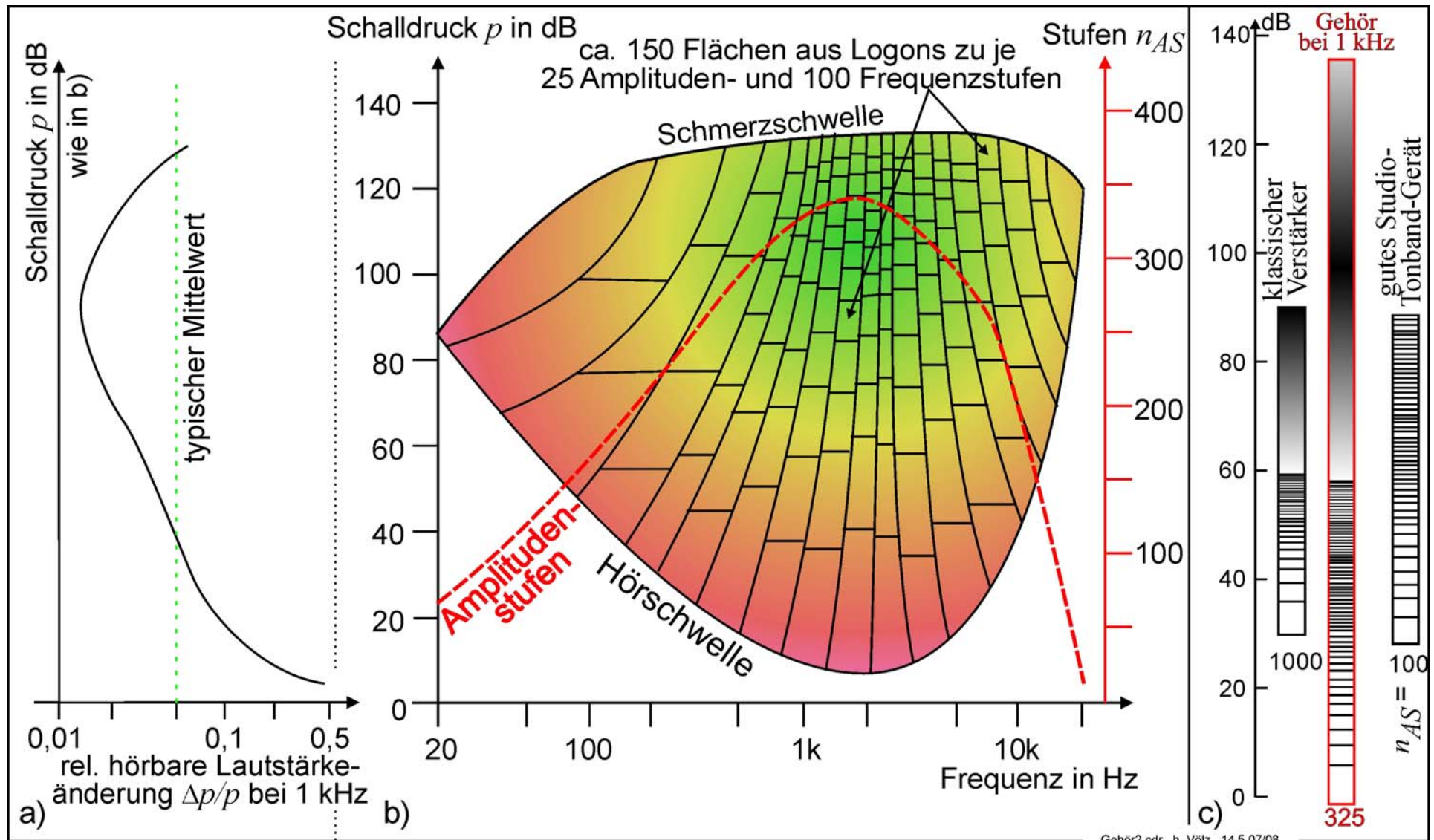
Auch gewisse Schwankungen der **Zeitskala** sind tolerierbar.

Hieraus resultieren u. a. auch **zeitliche Verdeckungseffekte**.

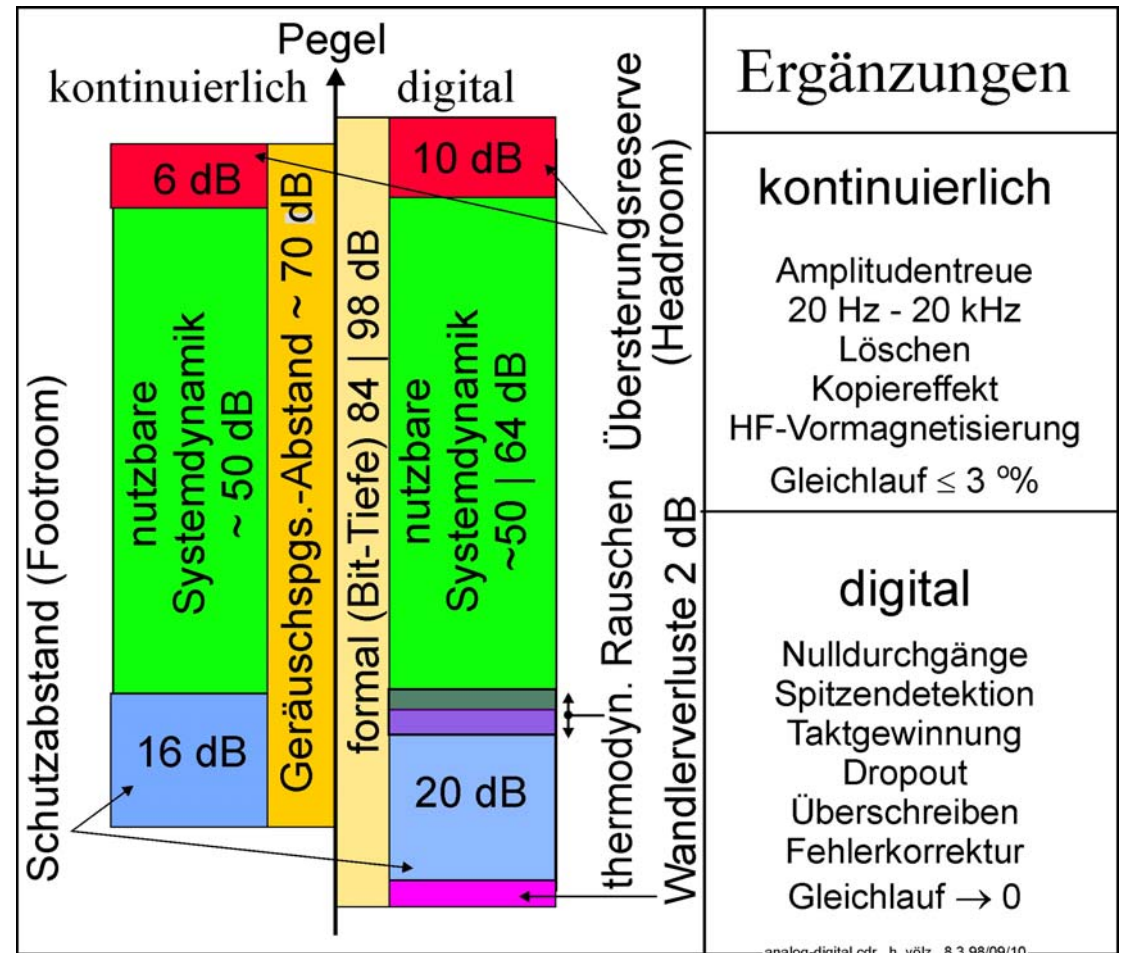
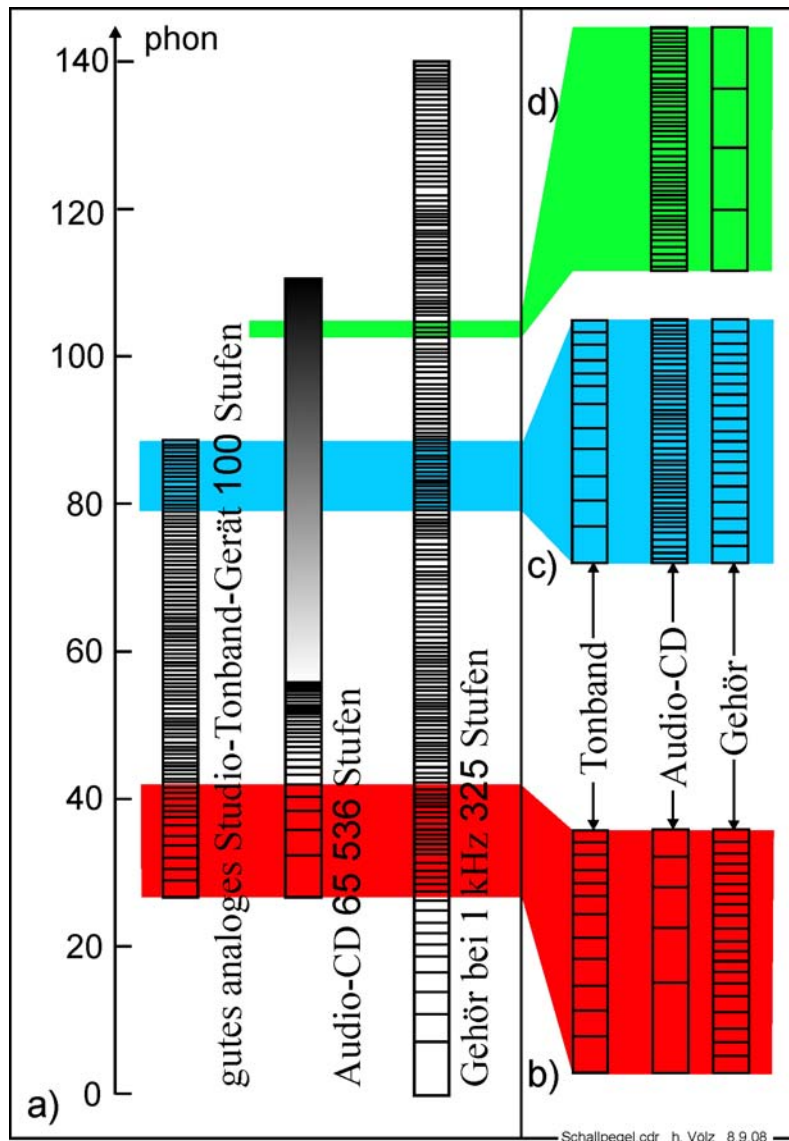
Weiter gibt es Grenzen in der **räumlichen Auflösung** u. a. für Stereo und Surround.

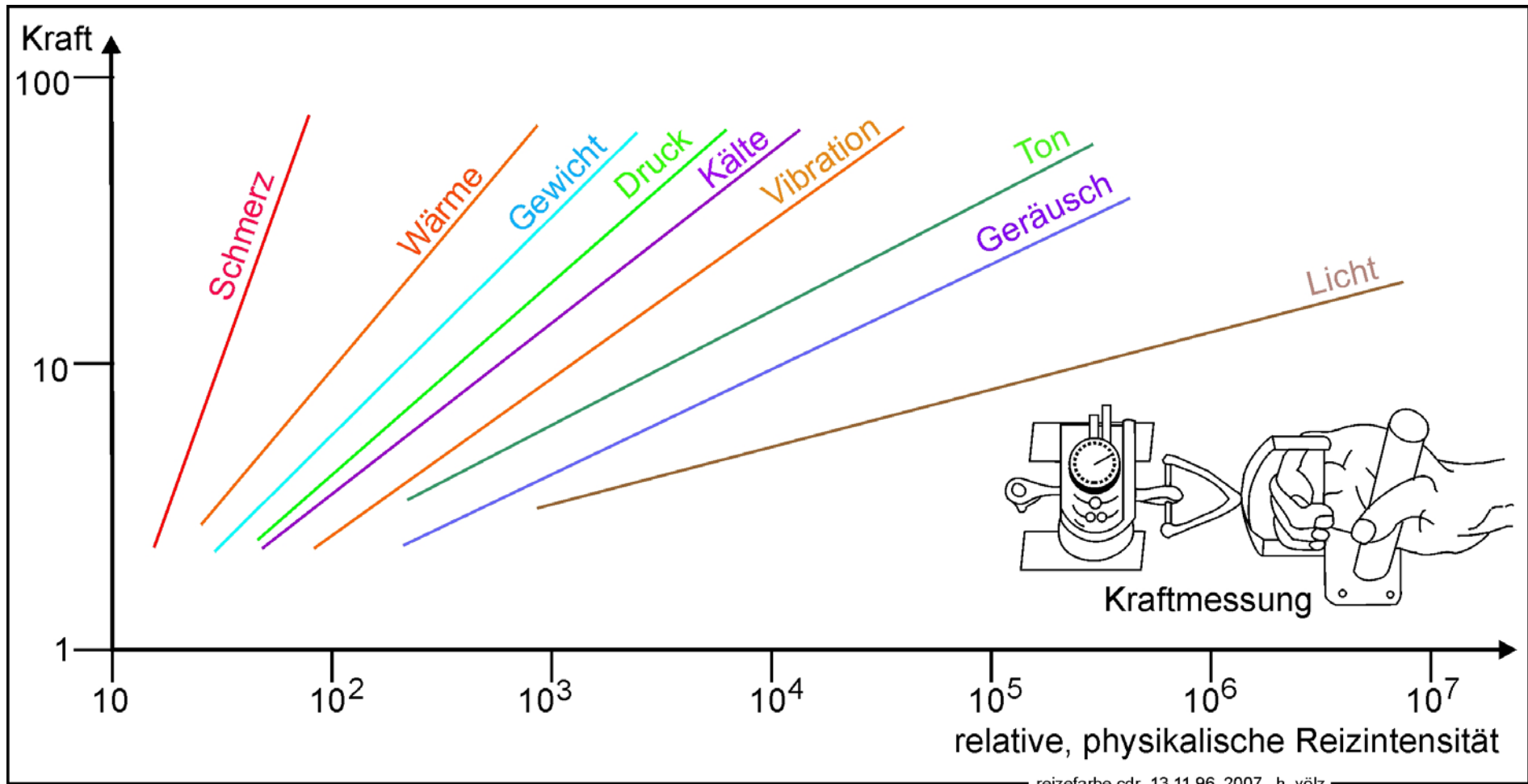
Im Laufe der Entwicklung sind auf dieser Basis u. a. ATTRAC, JPEG, MPEG usw. bis MP 3.

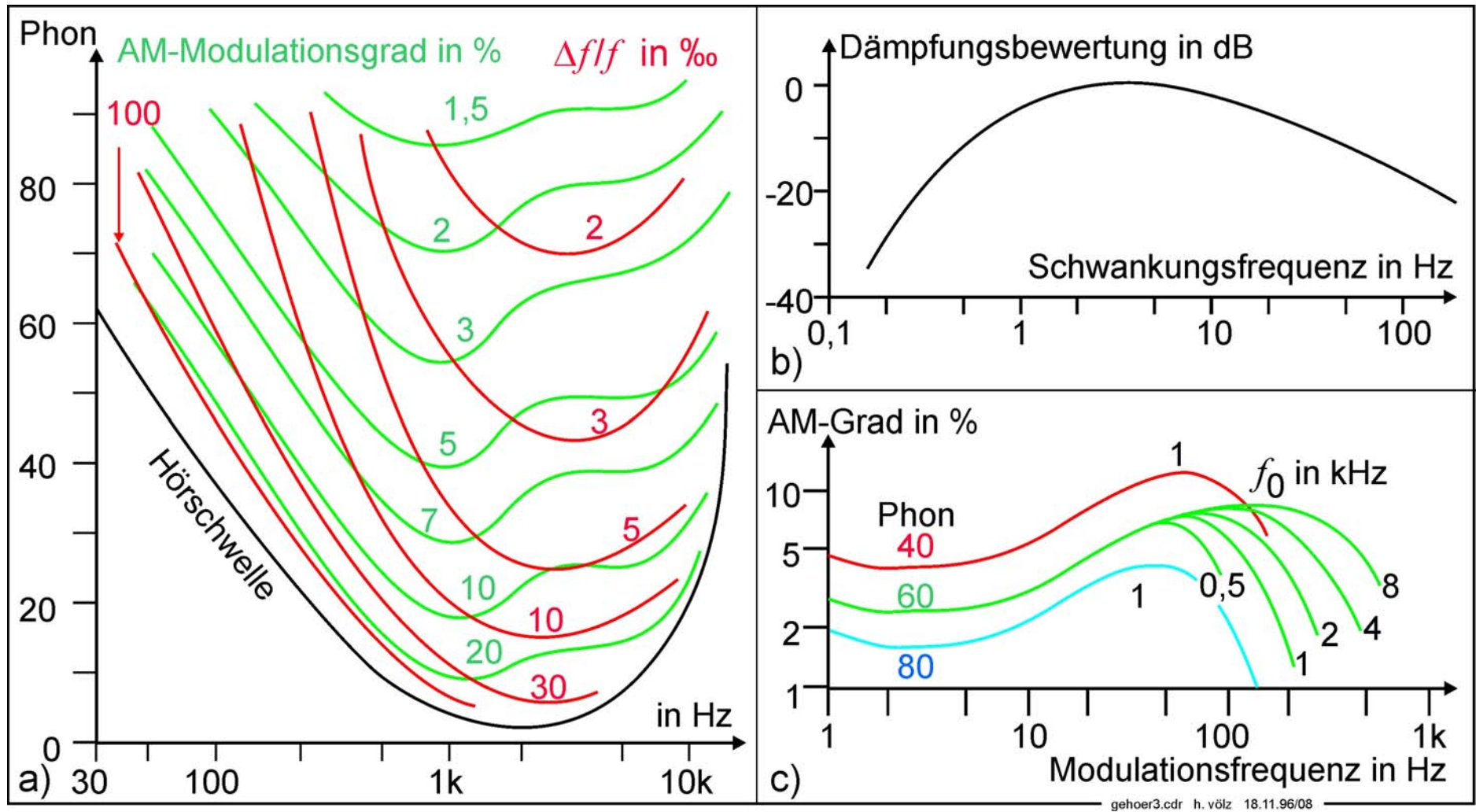


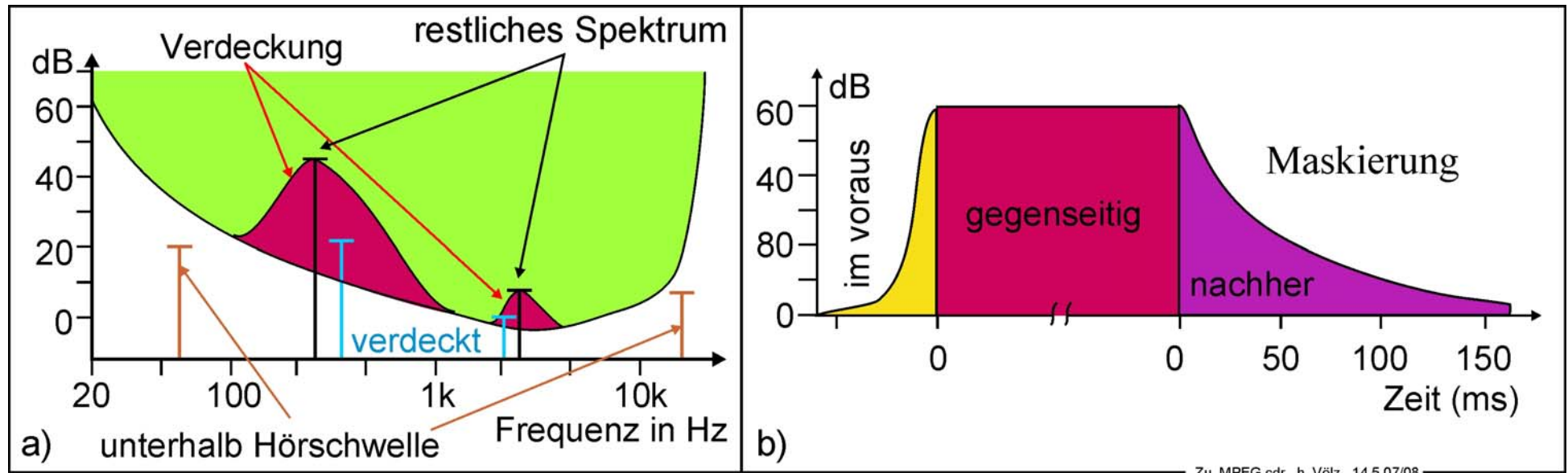


Gehör2.cdr h. Völz 14.5.07/08

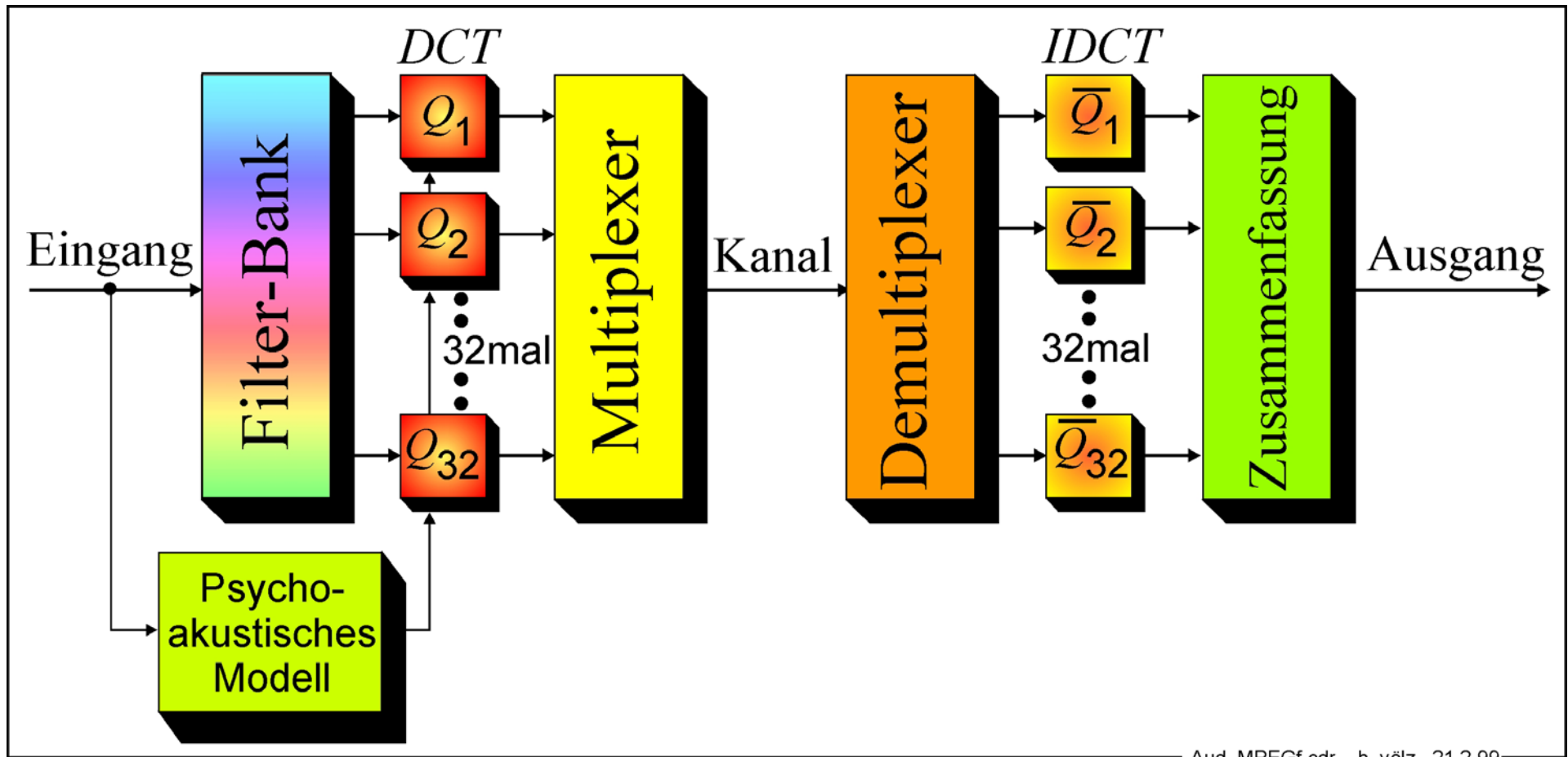








Zu_MPEG.cdr h. Völz 14.5.07/08



Aud_MPEGf.cdr h. völg 21.2.99

Komprimierungen von Bildern

Besonderheiten bei Bildern.

Bilder besitzen ein ***zwei- oder mehrdimensionale*** Struktur.

Sie muss für fast alle Übertragungen und Komprimierungen, meist auch Speicherung ***seriell*** gemacht werden.

Hierfür gibt es mehrere Methoden, u. a.:

- ***Zeilenweises*** Abtasten, bringt Problem des ***Zeilen-Rücklaufes***, wird im Fernsehen für Zusatzdaten genutzt.
- ***Vor-Rückzeilen***-Abtasten, erspart den Rücklauf, es ist aber so gut wie keine Anwendung bekannt.
- ***Zickzack***-Abastung (patentiert), ist erst nach einer FOURIER-Transformation gebräuchlich, s. d.
- ***Spiralförmige*** Abtastung bietet die Möglichkeit, das wichtige Zentrum zu betonen (höhere Auflösung).
-

Bei vielen Anwendungen, z. B. ist es üblich ***nicht einzelne Pixel*** sondern Blöcke aus Pixel zu nutzen.

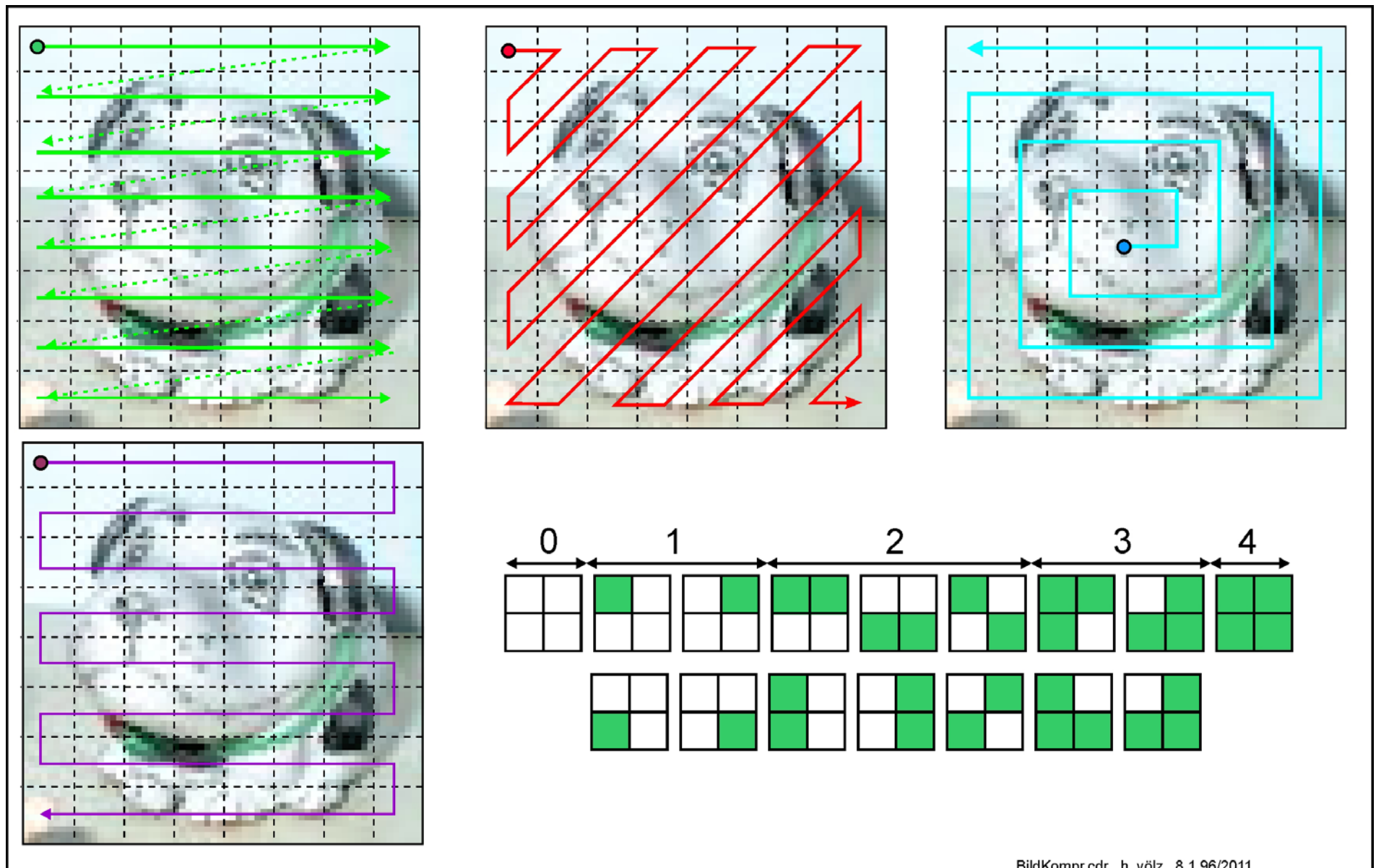
Dies hat Vorteil für ***verlustbehaftete Transformation***, bzgl. sich häufig ***wiederholender Blöcke***.

Es ist jedoch zu beachten, die ***Anzahl*** möglicher Blöcke wächst ***exponentiell mit Bit-Tiefe***.

Selbst bei nur 0/1 und Vierer-Blöcke sind bereits 16 Varianten vorhanden.

Üblich sind jedoch 8×8 Pixel-Blöcke mit 24 Bit Tiefe.

Eine gewisse Reduzierung ist allerdings durch ***Rotation*** um $\pm 90^\circ$ und 180° erreichbar.

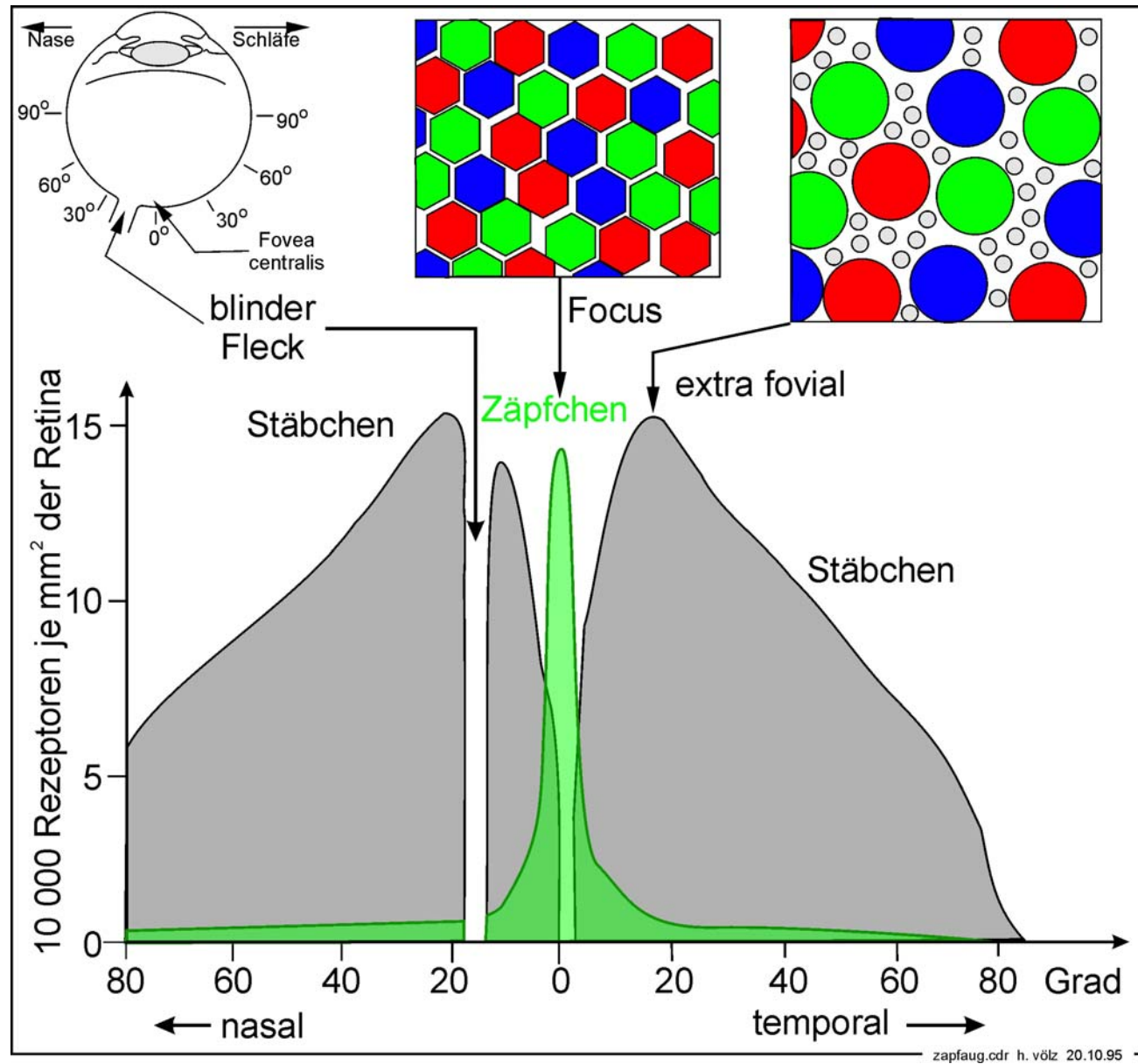


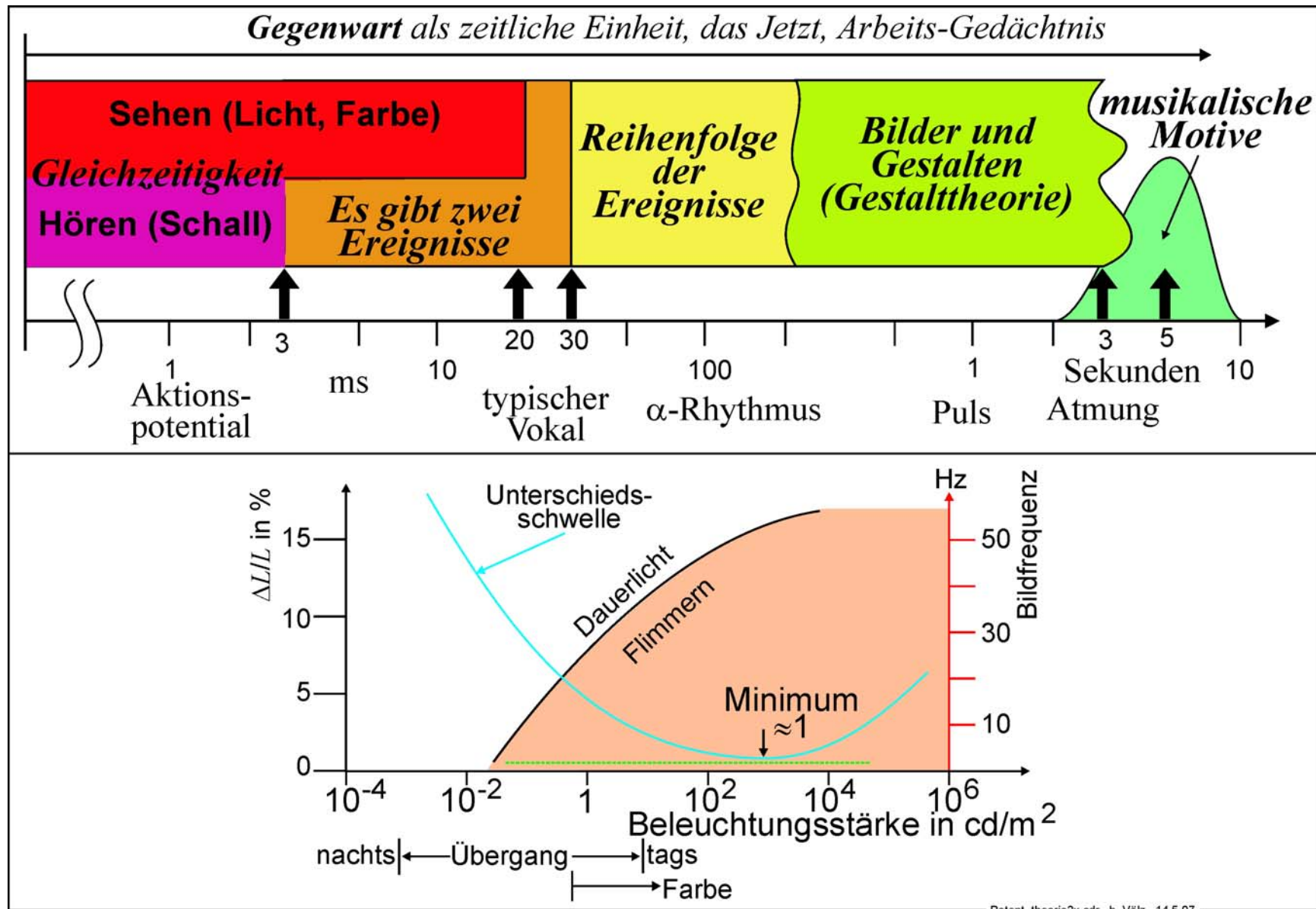
Modelle für das Sehen.

Sind weniger umfangreich und noch weniger nutzbar.

- **Dispersion der Linse**, wir fokussieren gewöhnlich auf Grün, sehen dann Rotes und Blaues weniger scharf ermöglicht u. a. **YUV**, bringt aber Probleme bei größeren roten oder blauen Flächen; weitere Modelle sind **RGB**: rot grün blau an Auge angelehnt, additiv aus drei monochromatischen Komponenten
CMG: cyan, magenta, gelb = subtraktives Modell für Druck
HSB: Hue (Farbton), Saturation (Sättigung), Brightness (Helligkeit) (Farbtüte)
YCC: Helligkeit und Farbdifferenzen.
- **Auflösung für monochromatisches Licht** variiert mit der Wellenlänge, ist einfacher als Logons.
- **Logons für Farben** = MACADAMS-Ellipsen (ca. 3000 Farben + Helligkeit), z. B. im **Farb-Dreieck** ermöglichen formal Digitalisierung, jedoch im Gegensatz zu Schall kaum nutzbar.
- Farberkennung nur in einem zentralen **Öffnungswinkel von $\approx 2^\circ$**
extrafoviales Sehen im Dunkeln.
- Weitere Forderungen entstehen durch **Stereo-Bilder** und **Hologramme**.
- **Zeitauflösung** ist nur für **Video** und **Film** nutzbar.
-

Allgemein gilt die Modelle sind **direkt kaum nutzbar**, es sind vorher **Funktions-Transformationen** erforderlich.





Bedeutung von Transformationen.

Transformationen **überführen** mathematische Eigenschaften, Zusammenhänge **in einen anderen „Raum“**.

Es sind also Original- und Arbeits- gleich Transformationsraum zu unterscheiden.

Im Arbeitsraum kann **mit anderen Regeln gerechnet** werden, danach erfolgt die **Rück-Transformation**.

Mit Transformationen sind **ungewöhnliche Operationen** für den Originalraum **erreichbar**.

Z. B. kann mittels **Logarithmieren** die Multiplikation durch eine Addition ersetzt.

Mit der **LAPLACE-Transformation** werden so **Differenzgleichungen** auf einfache Weise gelöst.

Mit jeder Transformation können immer nur bestimmte „Berechnungen“ erfolgen.

Für Modelle können so sonst nicht zugängliche Operationen erreicht werden.

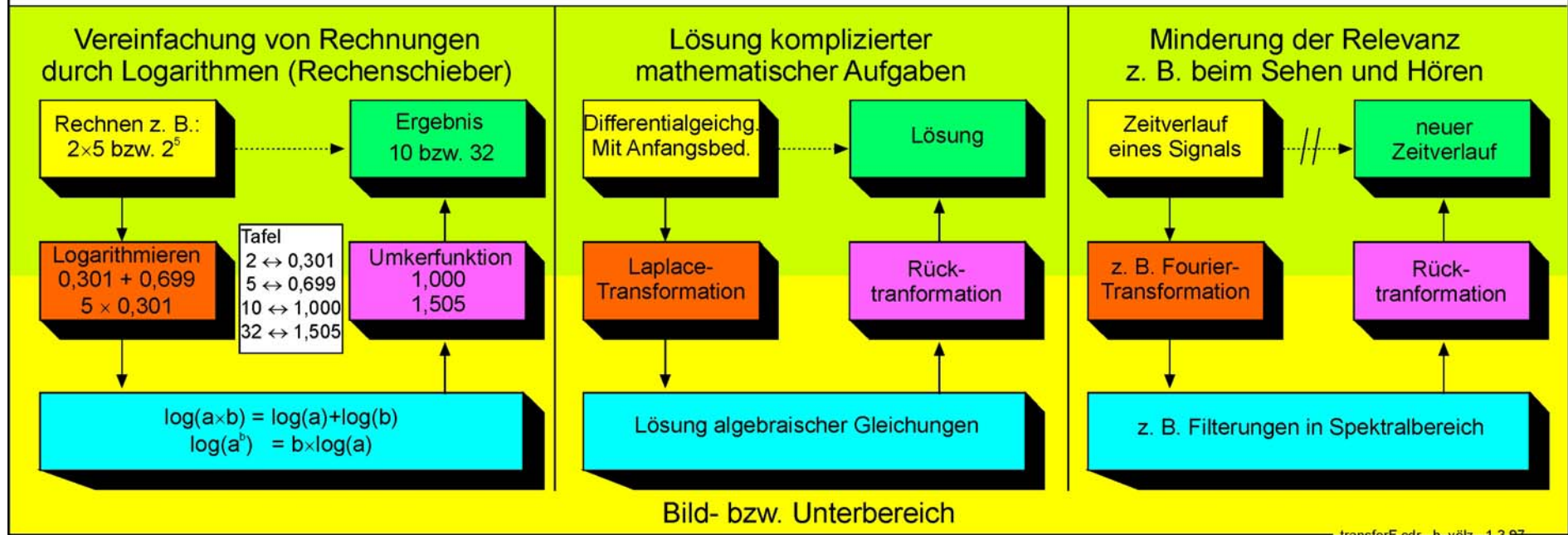
Für Bilder ist die **FOURIER-Transformation** wichtig, sie gestattet Frequenzbereiche auszufiltern.

Wird u. a. bei **JPEG**-Format von 1991 angewendet (Joint **Photographic Experts Group**, 1986 gegründet).

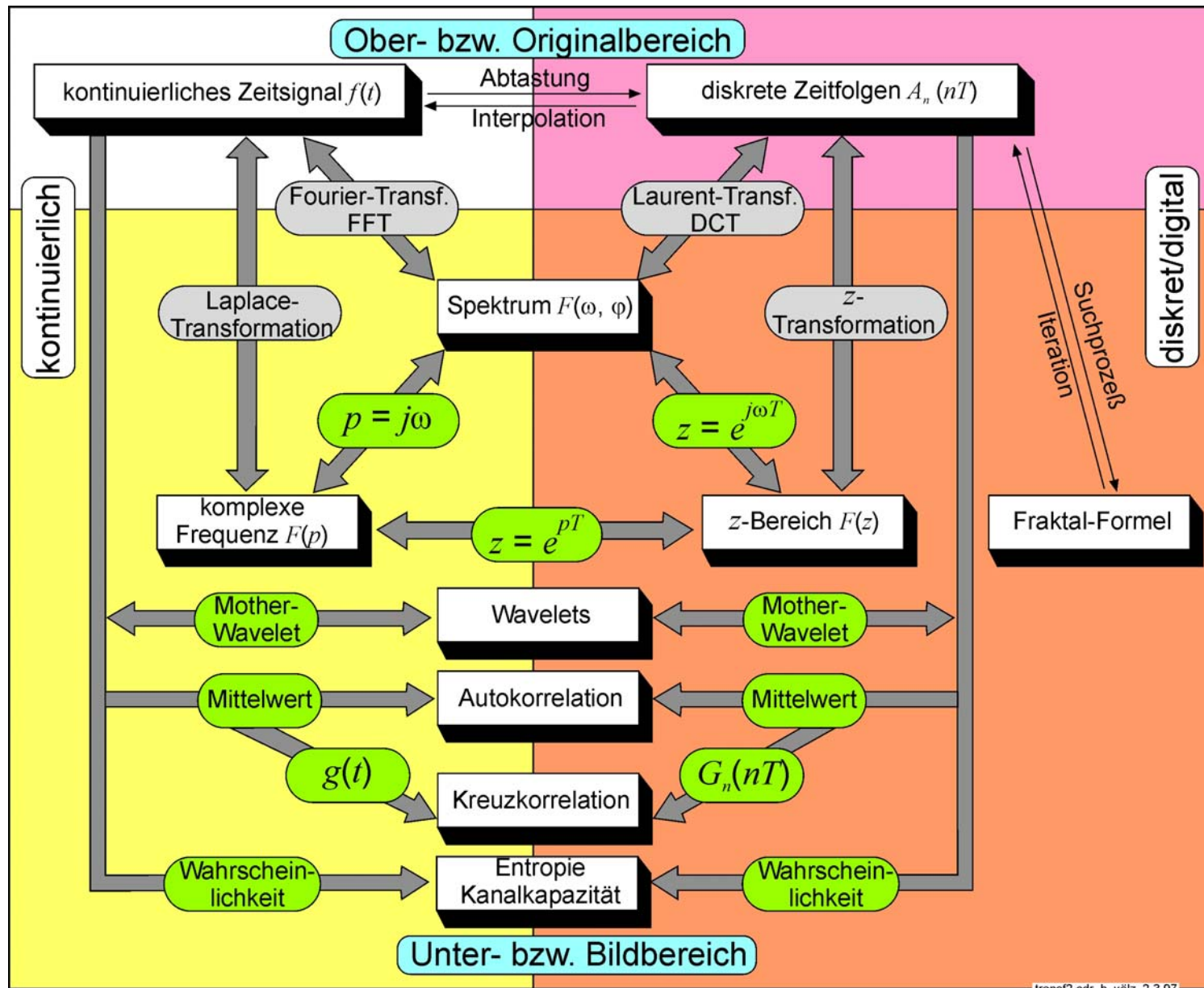
Da Block-Kodierung erfolgt entstehen oft **störende Artefakte**.

Lateinisch **arte** mit Geschick (von **ars** Kunst, Geschick) und **factum** das Gemachte .

Beispiele zur Anwendung von Transformationen



transforF.odr h. völg 1.3.97



Pixelbild

a_{00}	a_{01}	...	...	a_{07}
a_{10}	a_{11}	...	...	
.				
.				
.				
.				
a_{70}	...		...	a_{77}

→ **FDCT** →

$$c_{mn} = C(m)C(n) \sum_{i=0}^7 \sum_{j=0}^7 a_{ij} \cos\left(\frac{(2i+1)m\pi}{16}\right) \cos\left(\frac{(2j+1)n\pi}{16}\right)$$

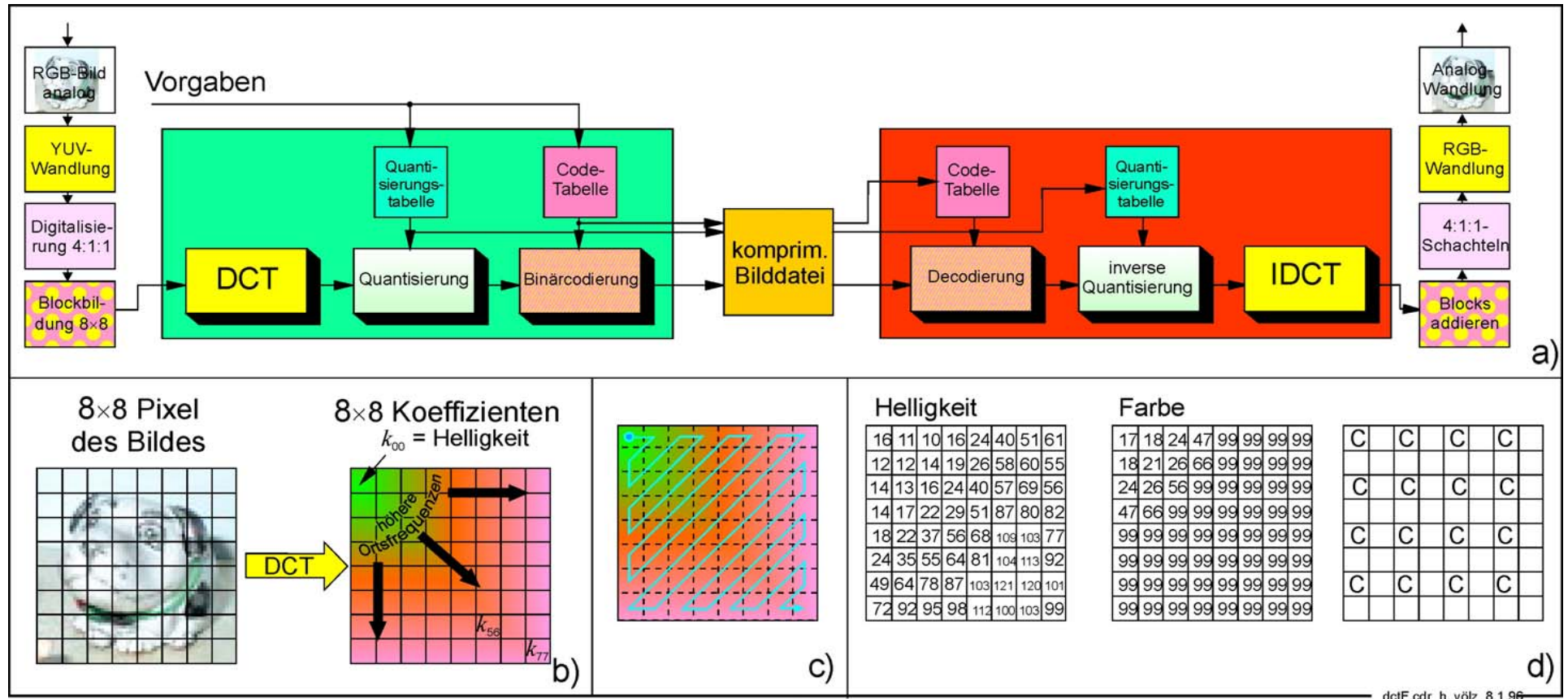
$$a_{ij} = \frac{1}{4} \sum_{m=0}^7 \sum_{n=0}^7 C(m)C(n)c_{mn} \cos\left(\frac{(2i+1)m\pi}{16}\right) \cos\left(\frac{(2j+1)n\pi}{16}\right)$$

← **IDCT** ←

Koeffizienten

c_{00}	c_{01}	...	...	c_{07}
c_{10}	c_{11}	...	...	
.				
.				
.				
.				
c_{70}	...		...	c_{77}

dctform.cdr h. vözl 8.3.96



Übergang zu Wavelets.

Zwischen **Zeitfunktion** (Δf) und **Spektrum** (Δt) gibt es mehrere Übergänge.

Sie lassen sich durch die Länge der Einzelsignale und ihre Frequenz charakterisieren.

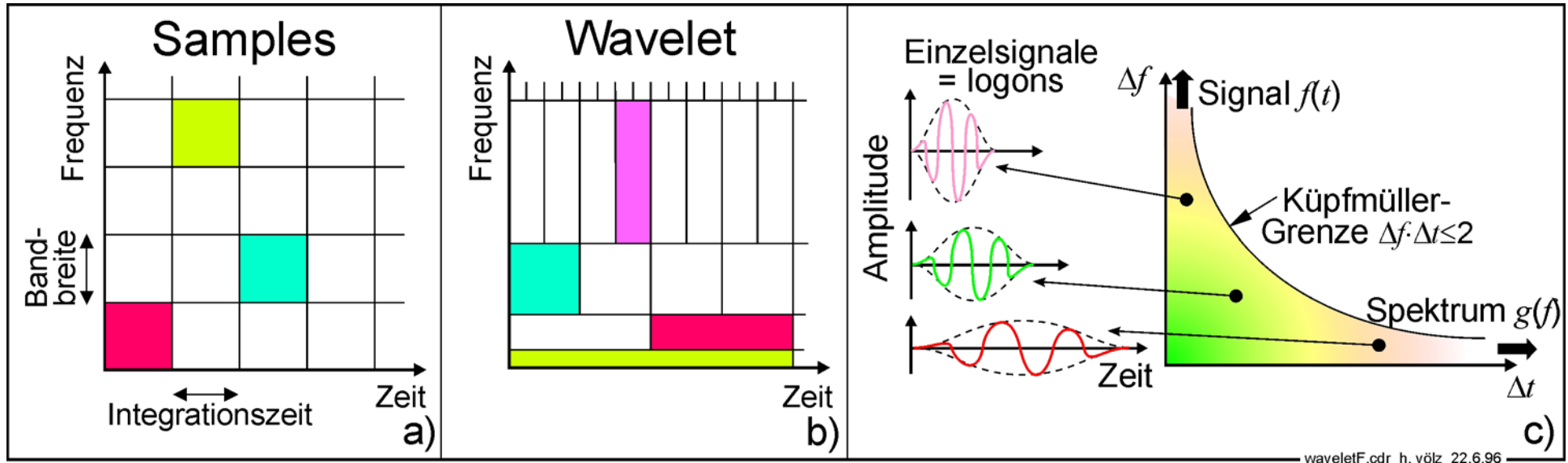
Ein **Sonderform** sind die **Wavelets** (englisch etwa Wellchen) .

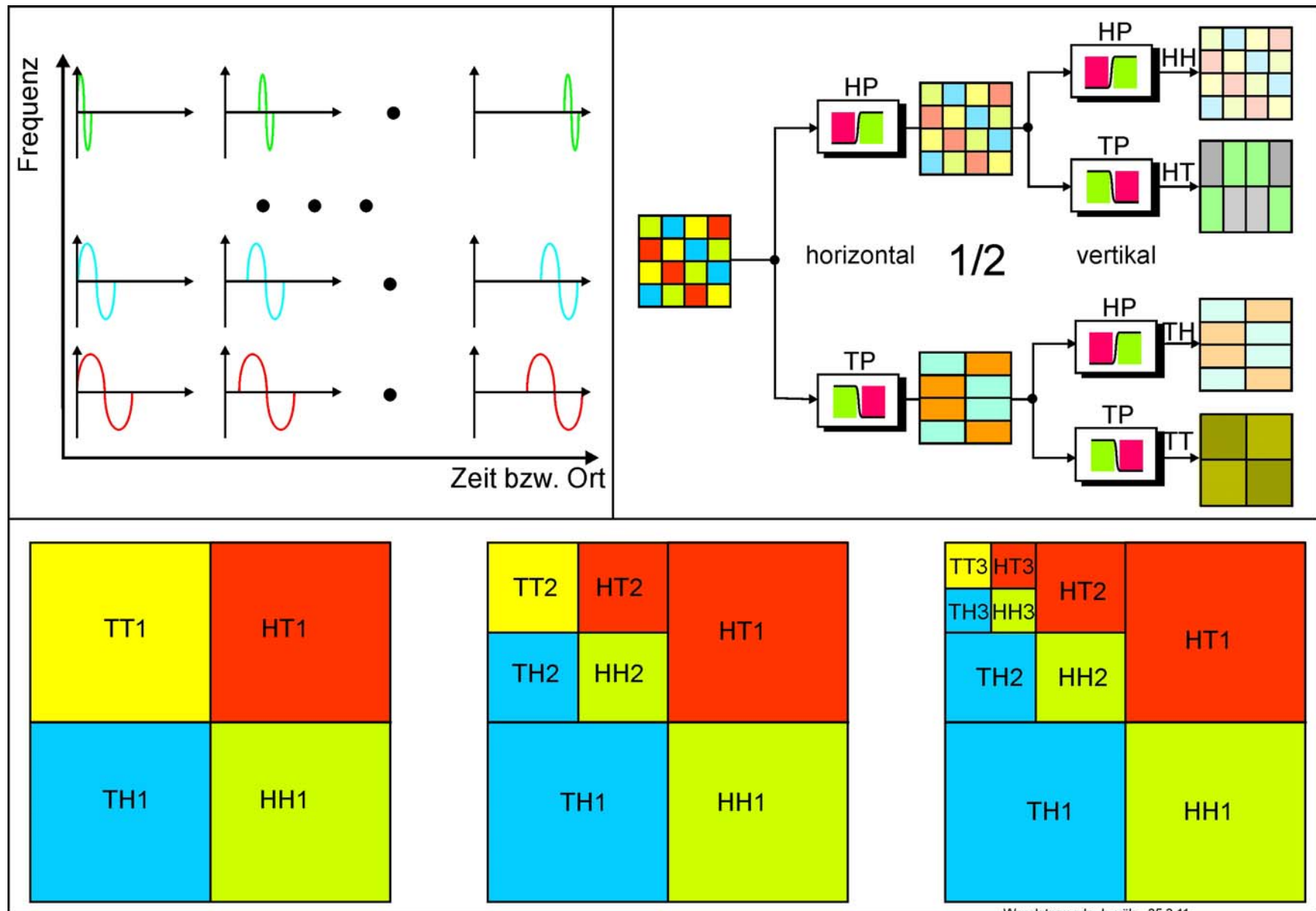
Das erste Wavelet und wurde 1909 von ALFRED HAAR vorgeschlagen. Er benutzte eine Rechteckschwingung.

Später wurden viele Schwingungsformen untersucht, z. Z. ist **keine ideale Form gesichert**.

Angewendet werden Wavelet bei **JPEG 2000** es Gremium der International.

Die Artefakte fallen deutlich geringer als bei JPEG aus.





Waveletneu.cdr h. vözl 25.3.11

Fraktale.

1968 beschreibt ARISTID LINDENMAYER (1925 – 1989) *genetische Algorithmen* (heute als **L-System**) für Pflanzen.

[Prusinkiewicz, Lindenmayer].

1971 beobachtet auch BERTALANFFY die Ausbildung *rekursiver Zweige* bei Organismen.

1977 BENOÎT B. MANDELBROT (*1924) führt in „Fractals: Form, Chance and Dimension“ den **Begriff** ein.

1978 entdeckt M. FEIGENBAUM die (natur-) Konstante für die *Periodenverdopplung* $F=4,6692016090..$

1980 erhält er am 1.4. auf dem Bildschirm das „*Apfelmännchen*“.

1982 MANDELBROT überarbeitete Monographie: „*Die fraktale Geometrie der Natur*“.

1982 entstehen Fraktale Modelle in Ökologie (HASTINGS u. a.), für Wolkenmuster (LOVEJOY).

1985 M. F. BARNSLEY erzeugt mit *iterativen Gleichungssystemen* den Farn.

1987 BARNSLEY findet die fraktale Transformierte zur **Bildkompression**.

1992 PEITGEN definiert die *Rückkopplungsmaschine* für Iteration.

Wiederholung $\Leftrightarrow$ Iteration $\Leftrightarrow$ Rekursion.

lateinisch **iterum** abermals, wieder, **inducere** hineinführen, **recursio** das Zurücklaufen.

vorwiegend bzgl. mathematischer Operationen.

Wiederholung eine Operation wird gleichartig wiederholt angewendet wird, z.B. Addition, Multiplikation usw.

Iteration = Wiederholung unter Benutzung von zuvor berechneten Werten; entspricht sie einer endlich oft durchlaufenen Schleife (For – Next oder ähnlich); z. B. Multiplikation = Iteration von Addition, Potenzierung = Iteration von Multiplikation.

Rekursion = rückbezügliche Anwendung auf sich selbst. Im Gegensatz zur Iteration werden hier nicht nur Werte wiederholt, sondern auch Operation auf sich selbst angewendet. Wichtig: **Abbruch-Kriterium**.

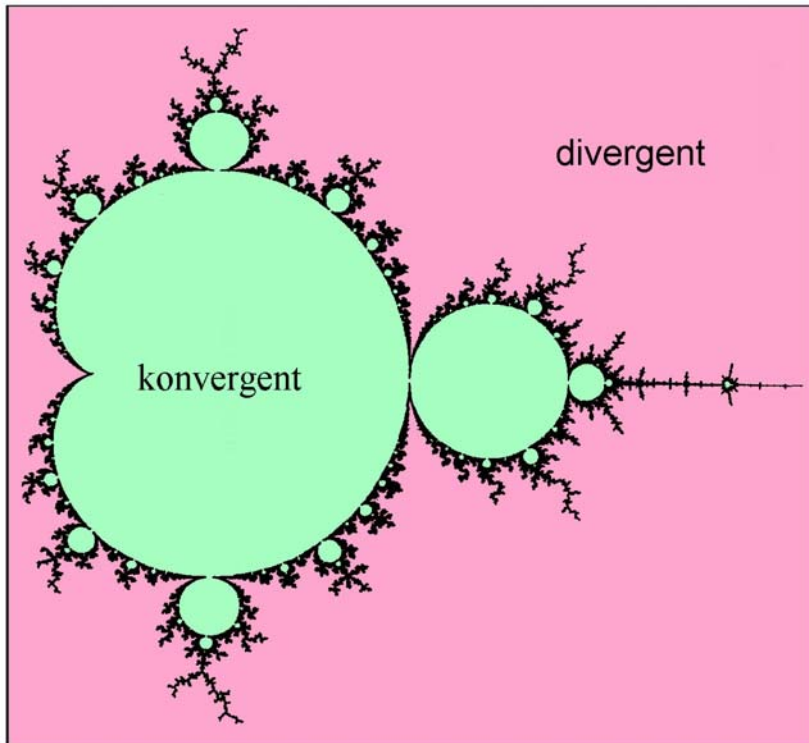
Beispiel: $x = \sqrt{\sqrt{\sqrt{\cdots \sqrt{x}}}}$.

Für alle Startwerte mit $x > 0$ folgt $x \rightarrow 1$.

Teilweise **verwandt** auch **Induktion**.

1. *Mathematik* (vollständige) = Beweismethode als Schluss $n \rightarrow n+1 \Rightarrow$ gültig für alle.
2. *Logik*: vom Einzelfall zum Allgemeinen, Gegenteil ist Deduktion.
3. *Elektrizität*: Strom im Leiter, der im Magnetfeld bewegt.

Das Apfelmännchen.



Der Name stammt von Computer-Freaks.

Es besteht ein Bezug zum sächsischen Pflaumenmännle (90°).

MANDELBROT fand es bei der Suche nach dem Konvergenzradius der komplexen Funktion: .

$$x := x^2 + c.$$

reell geschrieben:.

$$\begin{aligned} x &:= x^2 - y^2 - c. \\ y &:= 2 \cdot x \cdot y - d. \end{aligned}$$



Sie werden fortlaufend iteriert.
Dabei entsteht.

- Zur Abgrenzung der Gebiete von Konvergenz und Divergenz eine **einzigste, stark verkrümmelte Kurve**.
- Die gesamte, komplexe Figur wiederholt sich mehrfach (∞ oft) **verkleinert und gedreht** (selbstähnlich).
-

Aus einer **einfachen Formel** folgt eine hoch **komplexe Struktur**.

Die **Umkehrung** entspricht einer **Kompression**, die BARNSLEY und andere versucht haben.

Sie führt zu **anderen Artefakten** als JPEG und JPEG 2000.

L-Systeme.

In der einfachsten Variante gelten folgende **Regeln**:

- | | |
|----------|--|
| F | Cursor vorwärts, Linie zeichnen. |
| + | Richtung im Uhrzeigersinn drehen um n Grad. |
| - | Richtung gegen Uhrzeigersinn drehen um n Grad. |
| [| Speichert Ort und Winkel vom Cursor. |
|] | Geht an gespeicherte Stelle und Richtung zurück. |

Definition einer Pflanze:.

ANGLE 12 REM $360/12 = 30^\circ$, positiver Drehsinn $\square$.

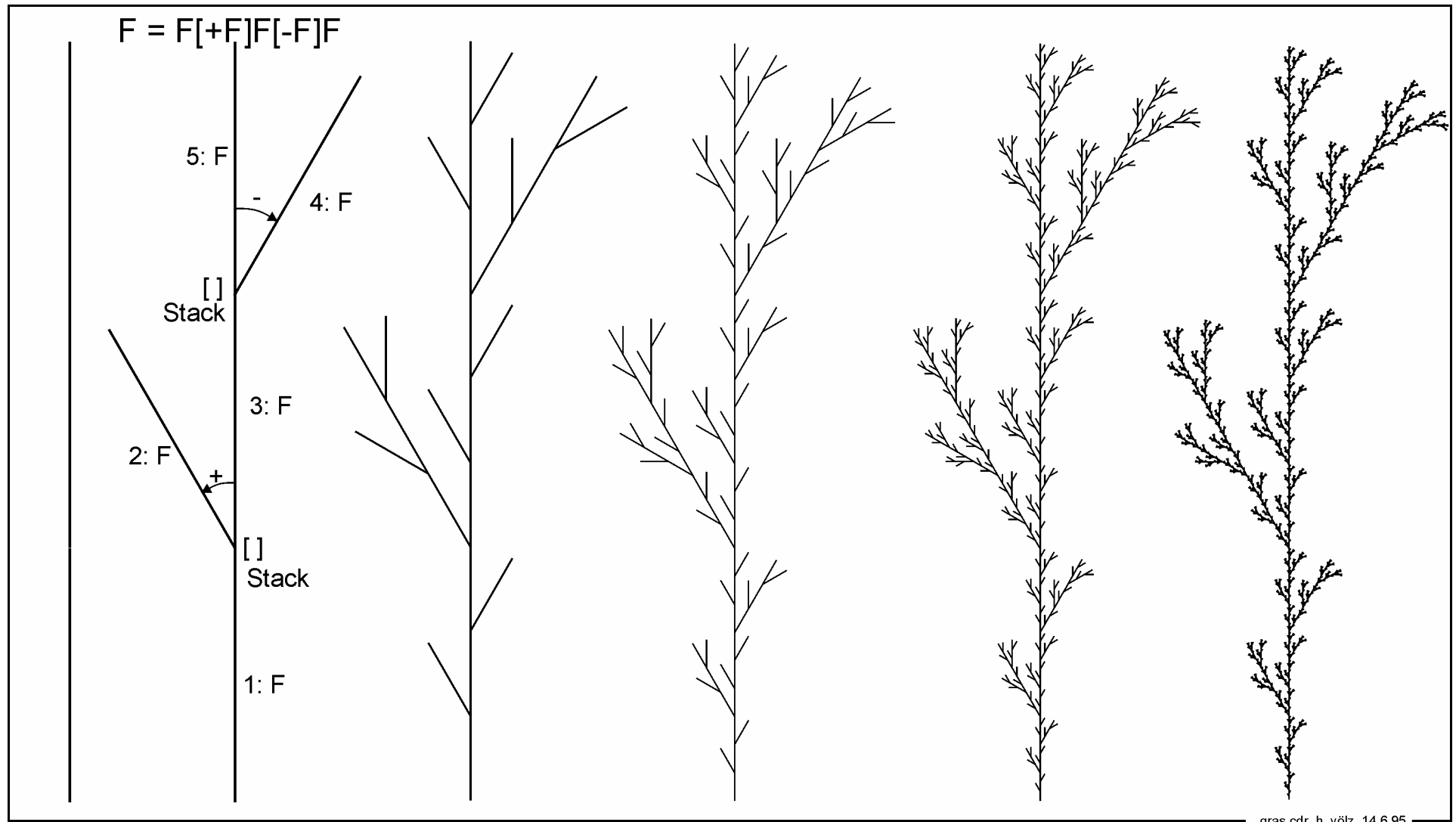
AXIOM F REM F als Linienzug.

$$F = F[+F]F[-F]F.$$

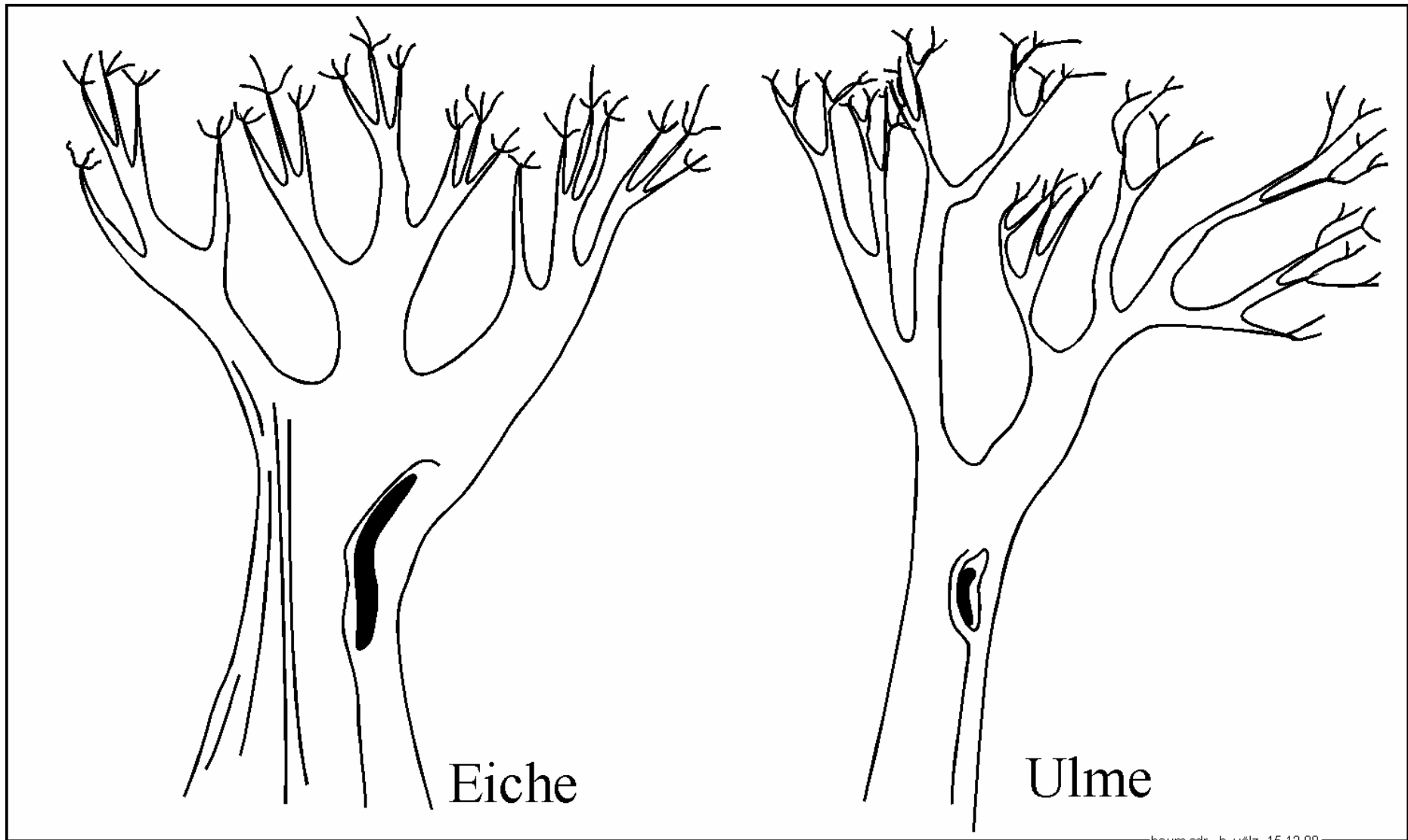
- [illegible]

Es gibt auch Mehrdeutigkeit, z. B. erzeugen die folgenden Formeln ein gleiches Bild:

$$F = F[+F]F[-F]F = FF[+FF]FF[-FF] = F[+F][+F]F[-F]F.$$



gras.cdr h. völg 14.6.95



baum.cdr h. vözl 15.12.98



Eigenschaften von Fraktalen.

- *verkrümpelte Kurven*, fraktale Dimension.
- *Hohe Komplexität, Strukturreichtum* des Bildes.
- *einfacher rekursiver Algorithmus* mit kleiner KOLMOGOROFF-Komplexität.
- *Selbstähnlichkeit*.
- Ähnlichkeit mit Gebilden und Geschehen *in der Natur* $\neq$ EUKLID'sche Geometrie.
- Ähnlichkeit mit *Bildern* von MAURITS CORNELIS **ESCHER** (1898 - 1972): Unendlichkeit und unmöglichen Perspektiven.
- Verquickung von *Zufälligkeit und Gesetzmäßigkeit*.
- *Ästhetische Wirkung* fraktalen Bilder, Beziehungen zur Computerkunst.
-

Rekursion ist recht neu

1936 ALAN MATHISON TURING (1912 – 1954) Turing-Maschine definiert erstmalig **Rekursion**.

1936 ALONZO CHURCH (1903 – 1995) definiert damit Grenzen der Berechenbarkeit; Church'sche These.

1950 Beginn der elektronischen Rechner.

1970 Beginn der fraktalen Grafik.

EUKLIDische Geometrie	Fraktale Geometrie
• über 2000 Jahre alt. • geeignet zur Beschreibung von Objekten, die von Menschen erzeugt wurden. • beschreibbar durch eine Formel, oder Zirkel und Lineal. • Grundelemente von bestimmter Größe	• ca. 80 Jahre alt. • geeignet zur Beschreibung von natürlichen Objekten. • rekursiver Algorithmus. • gut skalierbar. • wahrscheinlich erkennen wir so u. a. Gesichter

Geometrien und Objekte.

In der Natur vorhanden

- **Kugelförmige** Objekte durch Reibung entstanden.
- **Fraktale Gebilde**, durch **viele** (zufällige) **Einflüsse** entstanden (Gelände, Grenzen, Flüsse, Küsten usw.).
- **Fraktale Strukturen** durch **Evolution** (rekursiv) insbesondere Leben.
- **Gerade** Flächen, sehr selten, nur bei kristallinen Strukturen (spaltbar)

Von Menschen geschaffen

- Zielgerichtet **systematisch Konstruiertes**, aus Einfachen (**wiederholt oder mathematisch**) zusammengesetzt, im Großmaßstab oft **recheckförmig** (Zirkel und Lineal).
- **Objekte mit „Sinn“**, u.a. Technik, Kultur, Kunst, Mystik, (deutlich) geringere Komplexität als in Natur.
- **Kugelflächen** mit einfachen Apparaturen, u.a. Linsenherstellung, eher selten

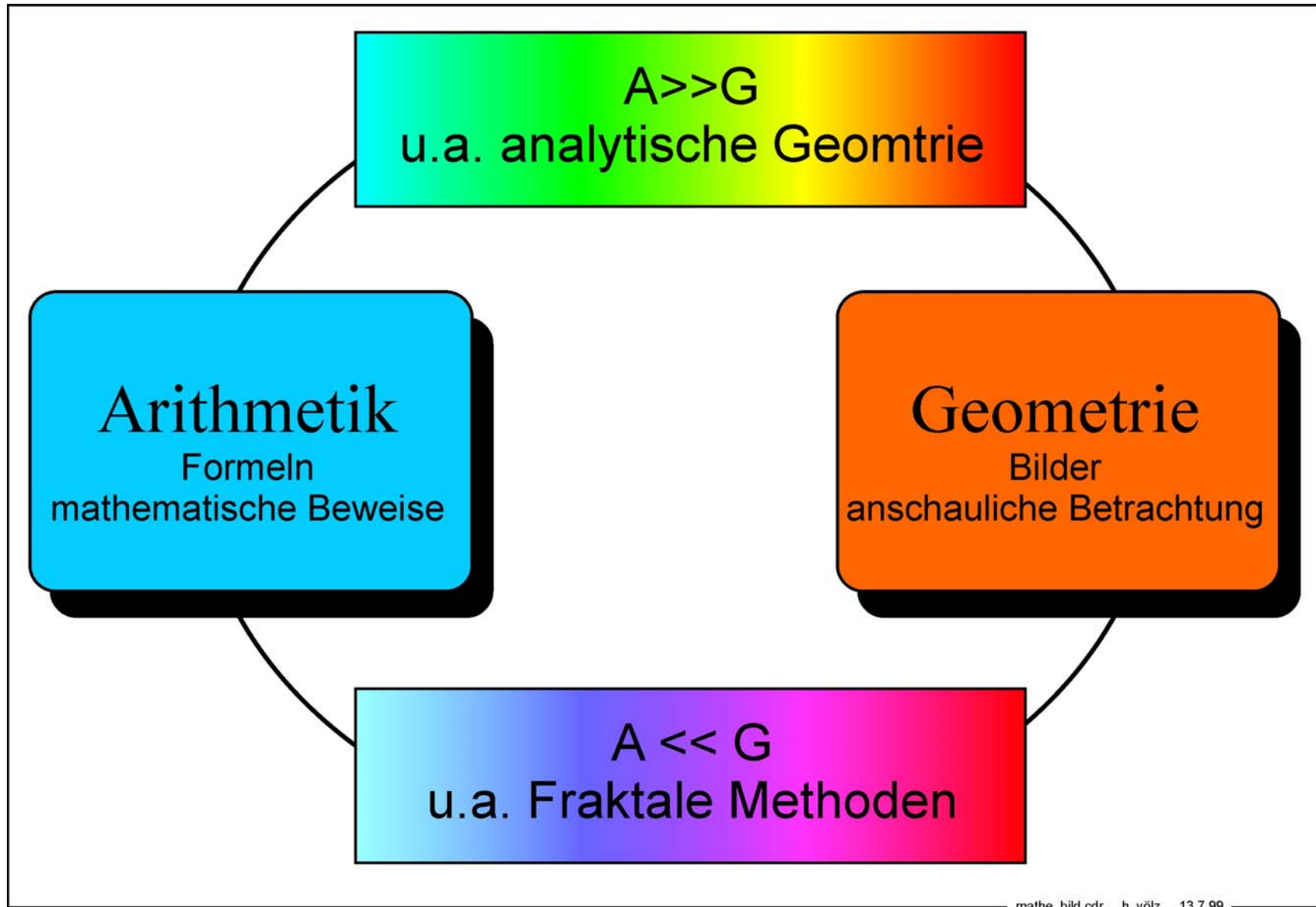
Geometrie und Arithmetik

Bis 1637 blieben Geometrie und Arithmetik streng getrennt.

Änderung durch RENÉ DESCARTES (Cartesius, 1596 - 1650) mit Buch: „le geometrie“.

Formel $\Leftrightarrow$ **Bild** teilweise einfacher oder komplizierter.

Arithmetik. <i>Rechnen mit Formeln</i>	Geometrie. <i>Betrachtung von Bildern: Zirkel und Lineal</i>
• Zahlen, Funktionen, Gleichungen, Berechnungen, Beweise. • Differential-, Integral-, Variationsrechnung, Funktionentheorie, Wahrscheinlichkeit. • Entwicklung der Informatik	• Darstellende Geometrie: Projektionen, Technisches Zeichnen. • Planimetrie = Flächenmessung: Punkt, Gerade, Strahl, Winkel, Parallele, orthogonal, Dreieck, n-Eck, Parallelogramm, Kreis, Ellipse, Hyperbel, Symmetrie, Ähnlichkeit,. • Stereometrie = Körpermessung: Würfel, Quader, Kugel, Pyramide, Kegel, Regelmäßige Körper, Oberfläche, Symmetrie = Kristallsysteme,. • Topologie: Eigenschaften geometrischer Figuren

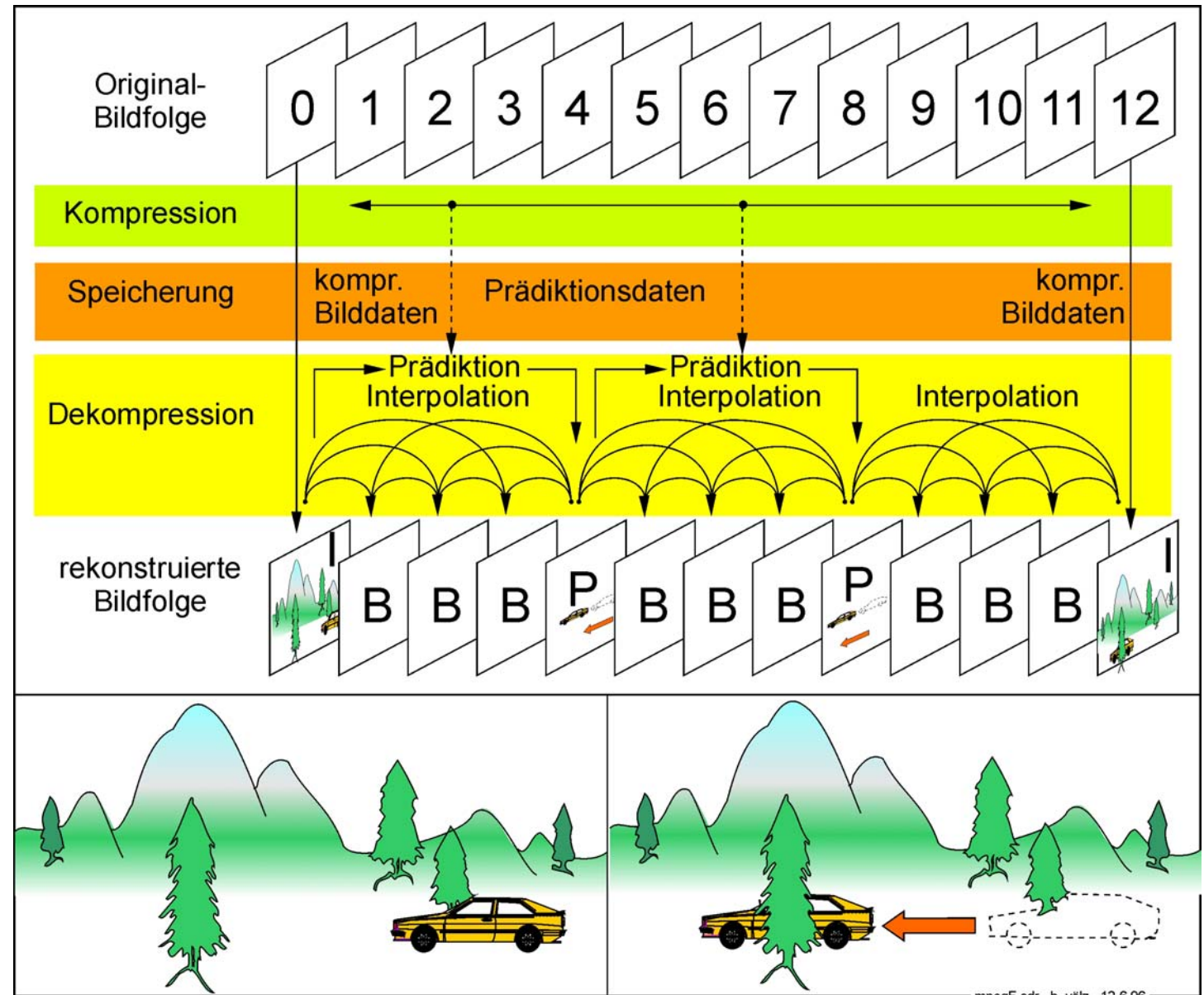


Video, Film .

Zunächst wurde **bewegtes JPEG** = MJPEG
(englisch moving =
bewegtes) versucht.

Dabei bewirkten die ständig
wechselnden **Artefakte**
erhebliche Störungen.

So entstand **MPEG**, mit nur
wenigen ganzen und
dazwischen **berechneten**
Bildern.



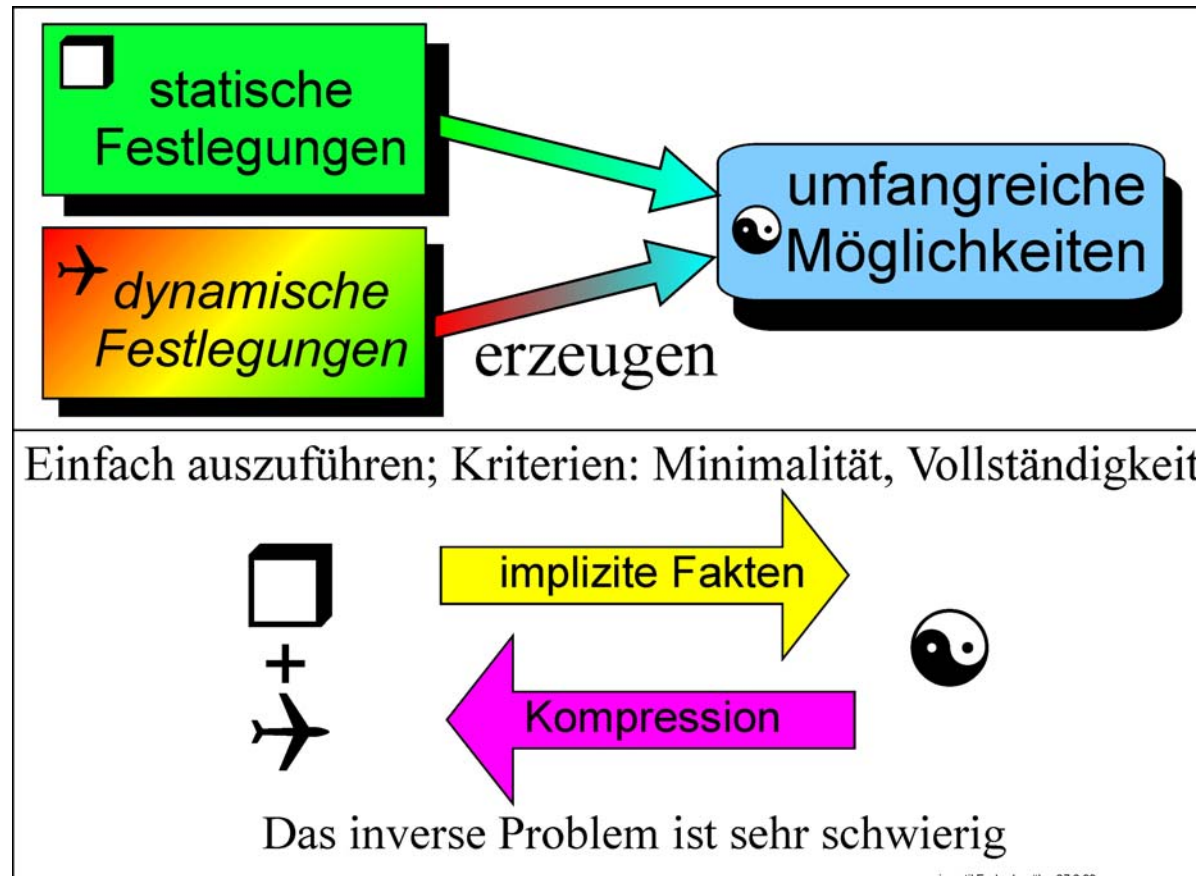
Verallgemeinerung.

Kompression in der *Wissenschaft* ist ähnlich.

Eine Formel, ein Modell *beschreibt viele Einzelfälle* zusammengefasst.

Die Formel enthält zwar alles, muss aber für die Anwendung und das Verstehen interpretiert werden.

Die Verdichtung zu finden ist weitaus schwieriger als die Nutzung.



Literaturauswahl.

- Arndt, W.: Tanz- und Bewegungsschrift. Dresdner Verlag, Dresden 1951.
- Barnsley, M. F.; Hurd L. P.: Fractal Image Compression, AK Peters Ltd., Wellesley, MA, 1993.
- Burrows, M.; Wheeler D. J.: A Block-sorting Lossless Data Compression Algorithm. Digital Equipment Corp, Sys Res Ctr SRC-124.ps. Z (74K) SRC Research, Report 124.
- Chaitin, G.: Randomness and Mathematical Proof. Scientific American 1975, Mai.
- Dewdney, A. K.: Karikaturen. Computer - Kurzweil; Sonderheft Spektrum der Wissenschaft.
- Ernst, B.: Der Zauberspiegel des M.C. Escher Taco 1986.
- Fano, R. M.: Informationsübertragung. Oldenbourg, München - Wien 1966. (engl. Original 1961).
- Hilberg, W.: Die texturale Sprachmaschine als Gegenpol zum Computer. Verlag Sprache und Technik, Groß-Bieberau, 1990.
- Huffman, D. A.: A method for the Construction of Minimum Redundncy Codes. Proc IRE 40 (Sept. 1952) 1098 - 1101.
- Hüther, G.: Die Macht der inneren Bilder. 3. Aufl. Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen. 200.
- Kruger, A.: Block Truncation Compression. Dobb's Journal (1992),4, 48-107.
- Kientzle, T.: Internet-Dateiformate. Thomson Publishing, Bonn u.a. 1996; S. 270.
- Mandelbrot, B. B.: Die fraktale Geometrie der Natur, Birkhäuser 1987.
- Meyer, J.: Die Verwendung hierarchisch strukturierter Sprachnetzwerke zur redundanzarmen Codierung von Texten. Dissertation, Technische Hochschule Darmstadt, 1989.
- Prusinkiewicz, P. Lindenmayer, A.: The Algorithmic Beauty of Plants, Springer, ISBN 0-387-94676-4.
- Shannon, C. E.: A Mathematical Theory of Communication. Bell System Technical J. 27 (July 1948) 379 ff., 623 ff.
- Shannon, C. E.: Communication in the Presence of Noise. Proc. IRE 37(1949) 10 ff.

- Völz, H.: Wissen - Erkennen - Information. Allgemeine Grundlagen für Naturwissenschaft, Technik und Medizin. Shaker Verlag, Aachen 2001.
- Völz, H.: Handbuch der Speicherung von Information. Bd. 1 Grundlagen und Anwendung in Natur, Leben und Gesellschaft. Shaker Verlag, Aachen 2003.
- dito Bd. 2 Technik und Geschichte vorelektronischer Medien. Shaker Verlag, Aachen 2005.
- dito Bd. 3 Geschichte und Zukunft elektronischer Medien. Shaker Verlag, Aachen 2007.
- Alle 4 befinden auf der CD:
- Völz, H.: Wissen - Erkennen - Information. Datenspeicher von der Steinzeit bis ins 21. Jahrhundert. Digitale Bibliothek Bd. 159, Berlin 2007.
- Völz, H.: Kontinuierliche Digitaltechnik. Shaker-Verlag, Aachen 2008.
- Völz, H.: Beitrag zur reziproken Dynamikregelung. Hochfrequenztechnik u. Elektroakustik 67 (1958) 2, 87 - 94.
- Völz, H.: Zur Steigerung der Registriergenauigkeit bei der Magnetbandaufzeichnung. Wiss. Zeitschr. d. Universität Greifswald, Math.-Nat. Reihe, VIII (1958/59), 277 - 281.
- Völz, H.: Zur Registriergenauigkeit der Magnetbandaufzeichnung. Elektron. Rundschau 14 (1960) 1, 23 - 25.
- Völz, H.: Was könnte ein effizienter Bild-Code für die Animation Neues bieten? Tagungsband der 3. Fachtagung „Computeranimation“ 6./7.2.1991 in Magdeburg. S. 8 - 13 (vorgetragen am 6.2).
- Völz, H.: Komprimierung von Bilddateien. Teil 1 bis 3. Nachrichtentechnik - Elektronik 43 (1993) H. 2, S. 72 - 74 / H. 3, S. 126 - 128 / H. 4, S. 168 - 171.
- Völz, H.: Grundlagen der Information. Akademie-Verlag, Berlin 1991.
- Welch, T. A.: A Technique for high-performance data compression. IEEE Computer J. (1984), 10, 8ff.
- Witten, I. H., Neal, R. M., Cleary, J. G.: Arithmetic Coding Data Compression. Communications ACM 30 (1987) 6, 520 - 540.
- Zemanek, H.: Der Geist in der Flasche. Informationstechnik 30(1988) 1, 3 - 10.
- Ziv, J., Lempel, A.: IEEE Trans IT-23 (1977) 337 - 343.