

Wie Wirkungen zustande kommen

Eine wichtige Grundlage im Sinne einer Faktensammlung ist mein Vortragsmaterial

Unerklärbarkeit von Verstärkern und Oszillatoren [0]

Es ist herunterladbar von: aes.cs.tu-berlin.de/voelz/PDF/Verstaerker.pdf

Es sind neue, z. T. wesentliche Fakten hinzugekommen

Wichtige Grundlagen sind auch meine Bücher

Völz, H.: Wissen - Erkennen - Information. Shaker Verlag Aachen 2001

Völz, H.: Handbuch der Speicherung von Information Bd. 1 bis 3. Shaker Verlag Aachen 2003 bis 2008

Alle 4 Bände sind auch vollständig auf der CD enthalten:

Völz, H.: Wissen - Erkennen - Information. Digitale Bibliothek Bd. 159, Berlin 2007

Weitere Literaturangaben befinden sich am Ende

Bei Angabe der Quelle ist das Material zum privaten Gebrauch voll nutzbar
Bei kommerzieller Nutzung bzw. in Publikationen usw. ist eine Abstimmung mit mir notwendig
Bilder sind in höherer Qualität ca. 2000x3000 Pixel oder *.cdr Version 12 verfügbar

Dieses Material wurde heruntergeladen von
aes.cs.tu-berlin.de/voelz/PDF/Wirkungen.pdf
Email: [hvoelz\(at\)pk.tu-berlin.de](mailto:hvoelz(at)pk.tu-berlin.de) bzw. [h.voelz\(at\)online.de](mailto:h.voelz(at)online.de)
Prof. Dr. Horst Völz, Koppenstr. 59, 10243 Berlin, Tel./Fax 030 288 617 08

0. Einführung, Problem

1. Auslöse-Effekte

2. Verstärker

3. Oszillatoren

4. Verallgemeinerung, Schlussfolgerungen

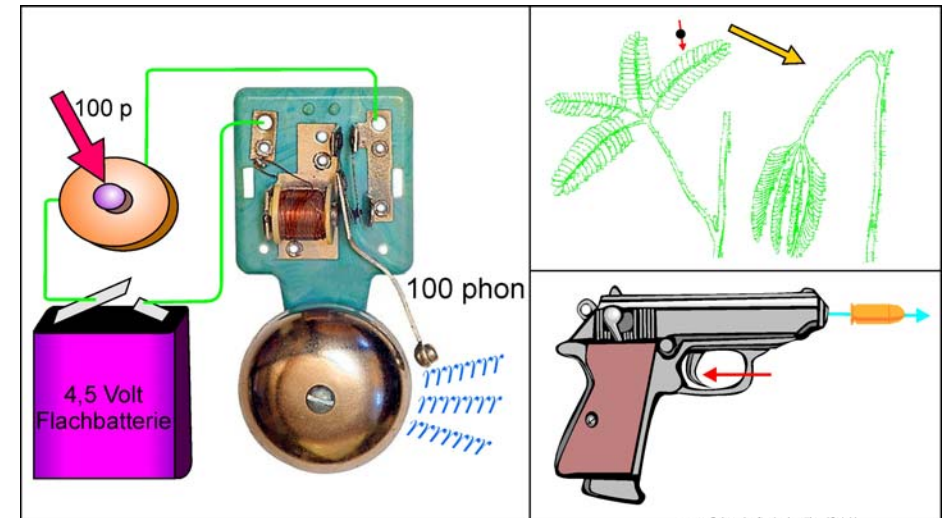
Auslösung – Verstärkung – Schwingungen

Oft kann eine extrem kleine oder gar keine Ursache sehr große Wirkungen auslösen
Dabei sind zu unterscheiden:

- einmalige Auslösungen**
Druck auf den Lichtschalter – das Zimmer ist gut beleuchtet
Kleiner Druck auf den Abzug einer Pistole – und der Schuss tötet
Ganz leichtes Berühren einer Mimose – ihre Blätter fallen schlaff herunterfallen
- ablaufende (gesteuerte, verstärkte) Vorgänge**
Abspielen einer Schallplatte (CD) – wir hören lautstark ein Sinfoniekonzert
Geringste elektromagnetische Antennensignale – wir können mit dem Handy telefonieren
Betätigen von Lenkrad, Gaspedal und Bremse – wir fahren zielgerichtet durch die Stadt
- automatisches (periodisches) Geschehen**
Eine kleine Batterie genügt – unsere Armbanduhr geht damit viele Jahre
Kleine Bewegungen auf einer Schaukel – herrliches Hinundherschwingen mit großer Amplitude
Rotation der Erde und Gestirne – sie erfolgen ohne Energiezufuhr über viele Jahrmillionen

Derartiges **erleben wir ständig**. Daher sind uns diese Erscheinungen bzw. **Fakten sehr gut vertraut**
Wir **glauben zu wissen**, wie sie funktioniert, können sie beschreiben
Aber gut **begründen** können wir sie meist nicht. Oft hat es sogar den **Anschein**,
dass sie gegen die **Hauptsätze der Thermodynamik** und den **Energieerhaltungssatz verstoßen**

Ganz wesentlich, vielleicht sogar ausschließlich bestimmen sie jedoch den **Fortschritt und die Entwicklung**



Folgeschwere Auslöse-Fehler

Dies ist die *negative Seite* der Geschehnisse, Beispiele sind:

- **Brücken** zerbrechen durch Resonanz einer darüber *marschierenden Truppe*
- Ein **Knopfdruck** kann *vernichtende Atomraketen auslösen* und so ganze Landschaften zerstören

Historische Beispiele

- 1986: **Tschernobyl**: Ein Notfallknopf, der den Reaktor des Atomkraftwerkes eigentlich abschalten soll, bewirkt das genaue Gegenteil: Der Reaktor überhitzt und es kommt zu einer Explosion
- 2008: **Formel-1-Panne**: Ein Mechaniker drückt zu früh auf die Startampel beim Boxenstopp
Fahrer Felipe Massa zieht beim Losfahren einen Tankschlauch hinter sich her, kostet den Sieg
- 2008: **Nerpa-Unfall**: Testfahrt des Atom-U-Boots "Nerpa", ein Matrose spielt an den Temperaturreglern
Durch Knopfdruck aktiviert er die Feuerlöschanlage. Das austretende Gas erstickt 20 Menschen
- 2010: **Wasserschaden**, Bei einer Theaterprobe in Düsseldorf werden Spezialeffekte getestet
Ein Mitarbeiter erwischt dabei den falschen Knopf und löst die Löschanlage aus
10 000 Liter Wasser fluten das Gebäude

Vertiefung der Probleme

Um die Problem deutlicher werden zu lassen, sind zunächst einige Fakten aus drei Gebieten einzuführen

- I. **Kybernetik**, insbesondere bzgl. Regelung, Steuerung, Rückkopplung und Auslöse-Effekt; Information folgt später
- II. **Wissenschaftstheorie** vor allem bzgl. der Begriffe: Erklärung, Begründung, Beweis, Ableitung usw.
- III. **Physikalisch-chemische Grundlagen**, bereits hier müssen die 3 Erscheinungen „Vorläufer“ haben

Zusätzlich sei erwähnt, dass sich der 3. Fakt: *automatisches (periodisches) Geschehen* als *Spezialfall* von 2. *Verstärkung* und z. T. von 1. *einmalige Auslösung* erweisen wird
Wesentlich ist hierbei die Einführung der *Rückkopplung*

Das Gebiet wird daher erst gegen Ende behandelt.

Weiter sei betont, dass die Aussagen *auf fast alle Gebiete übertragen* werden können

So beruht u. a. der *technische Fortschritt* ganz wesentlich auf derartige Effekte

Noch deutlicher ist das bei den Anwendungen der *Informatik*

Ferner ergeben sich neue Erklärungen für *Evolution, Zivilisation, Kultur usw.*

Die Aussagen können sogar auf den *Mehrwert* von KARL HEINRICH MARX (1818 - 1883) angewendet werden

I. Kybernetik

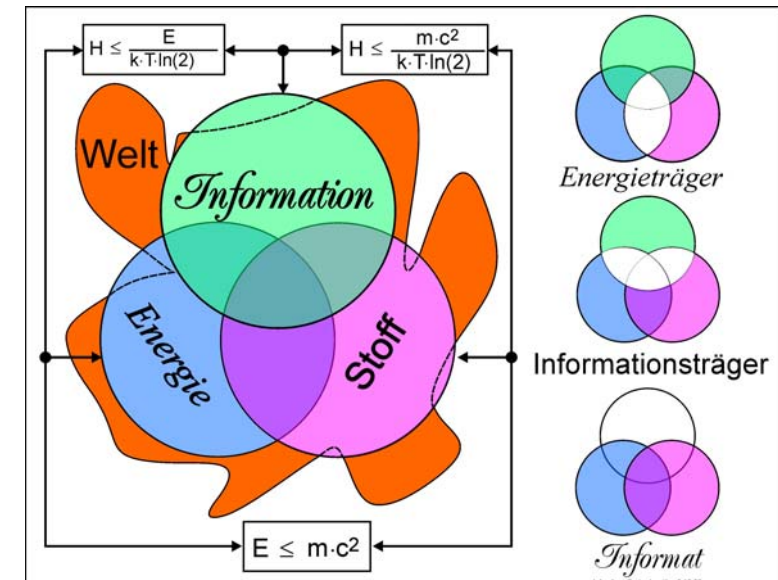
Begriff und Wissenschaft wurden 1943 von NORBERT WIENER (1894 - 1964) auf einer Konferenz eingeführt
Ursprünglich sollte es *Analogie* heißen, dann wurde aber ein griechischer Ursprung vorgezogen
Griechisch *kybernetes*, Latein *gubernator*, englisch *governer* Steuermann, Lotse ≈ Steueremannskunst

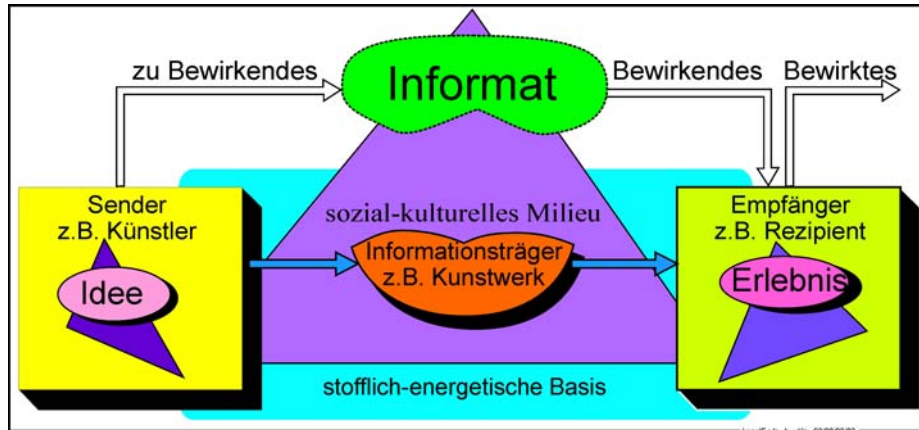
Zentral, jedoch fast immer stark verkürzt, ist die ins Deutsche übersetzte Aussage von S. 192 [1]

„Als *Schlüßbemerkung* darf ich andeuten, daß eine große Rechenmaschine, entweder in Form eines mechanischen oder elektrischen Gerätes oder in der Form des Gehirnes selbst, eine beträchtliche Energiemenge verbraucht, die insgesamt als Wärme abgegeben und verschwendet wird. Das Blut, das das Gehirn verläßt, ist ein Bruchteil eines Grades wärmer als jenes, das in das Gehirn eintritt. Keine andere Rechenmaschine erreicht die Wirtschaftlichkeit des Gehirnes. In einer großen Maschine wie der Eniac oder Edvac verbrauchen die Heizdrähte der Röhren einen Energiebetrag, der gut in Kilowatt gemessen werden kann, und wenn nicht hinreichende Ventilations- und Kühlvorrichtungen vorgesehen sind, wird das System unter etwas leiden, was das mechanische Äquivalent zum Fieber ist, bis die Konstanten der Maschine durch die Wärme radikal geändert werden und ihre Funktion zusammenbricht. Trotzdem ist die Energie, die für die einzelne Operation verbraucht wird, beinahe verschwindend gering und bildet sogar nicht einmal ein angemessenes Maß der Funktion selbst. Das mechanische Gehirn scheidet nicht Gedanken aus »wie die Leber ausscheidet«, wie frühere Materialisten annahmen, noch liefert sie diese in Form von Energie aus, wie die Muskeln ihre Aktivität hervorbringen. **Information ist Information, weder Materie¹⁾ noch Energie.** (hervorgehoben H. V.) Kein Materialismus, der dieses nicht berücksichtigt, kann den heutigen Tag überleben.“

¹⁾ Leider ist der englische Text „*Information is information, not matter or energy*“ (1948, p. 155) bzw. (1961, p. 132) *unglücklich übersetzt*. Hierauf wies ich spätestens 1982 im Vorwort von [2] hin
Matter Gegenstand, Angelegenheit, Sache, Thema, von Bedeutung sein, Inhalt, Stoff, Substanz, Satz, Ding, Grund
Gemäß dem Kontext erschien und erscheint mir **Stoff** am besten geeignet zu sein

Kalter Krieg! ⇒ Widerlegungsversuch des dialektischen Materialismus bzgl.: Materie ⇔ Bewusstsein [3]





Inhalte

Alle vorhergehende Wissenschaft bezog sich auf Objekte, Strukturen, z. B. Physik, Chemie, Medizin, Biologie
Die Kybernetik berücksichtigt dagegen bevorzugt **Funktionen und Verhalten** von Systemen
Die wichtigsten neuen Aspekte waren

- **Information** später teilweise Übergang zur **Informatik**
- **Regelungs-, Steuerungstechnik**, Automatisierung: Konstanthaltung, vorgegebene Zeitabläufe, Fließgleichgewicht usw.; ein Hauptziel Konstanthaltung von Werten
- **Rückkopplung** \approx Ursache-Wirkungs-Gefüge: Wirkung wird wieder Ursache \Rightarrow Linearisierung, Stabilität, Rekursion, Fraktale, Dissipation, Selbsterregung usw.
- **Auslöse-Effekte** extrem kleine Ursachen rufen sehr große Wirkungen hervor
- **Automat**, der etwas von sich aus – ohne äußeren Anlass – tut
- **Systemklassifikationen \approx Modelle**, u. a. multistabil, autonom, stochastisch, hysteretisch
- **Black-Box-Methode** mit Input und Output und Übergängen zur Gray- und Whitebox

Kybernetik besitzt – ähnlich Naturwissenschaft – **zu große Breite**

Ermöglicht daher keine zusammenhängende Forschung und Lehre \Rightarrow kein **Lehrstuhl**, Berufung
Deshalb ist sie seit etwa 1990 kein eigenständiges Gebiet, hinzu kommt Verunglimpfung von WIENER [3]

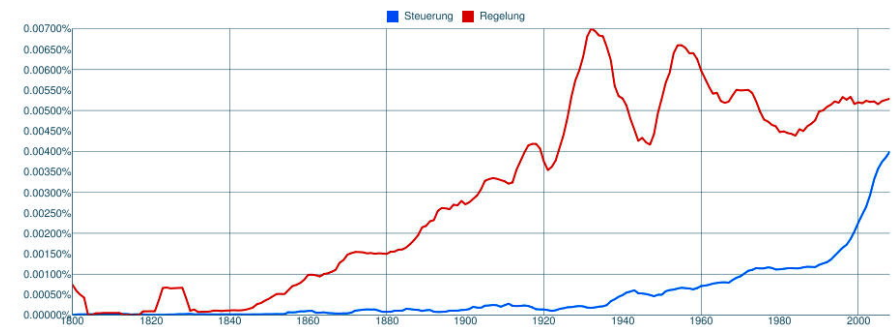
Es entsanden aber **viele neue Teilgebiete**, z. B.:

Automatisierung, Bionik, Chaos-Theorie, Dissipation, Emergenz, Fuzzy-Logik, Informatik, Katastrophentheorie, Künstliche Intelligenz, Künstliches Leben, Neuronale Netze, Optimierung, Rekursion, Roboter, Selbstorganisation, Selbstregulation, Synergetik

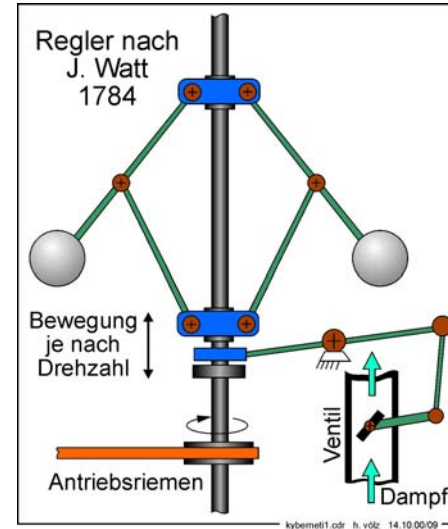
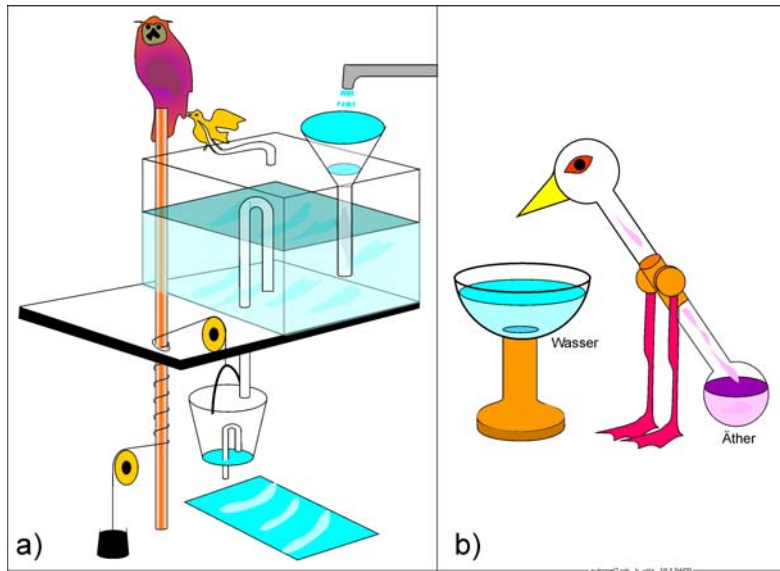
Regelungs- und Steuerungstechnik

Viele Aspekte reichen bis in die **Antike** zurück
Als Fachgebiet wurde sie unabhängig 1941 von HERMANN SCHMIDT (1894 - 1968) in Deutschland eingeführt [4]

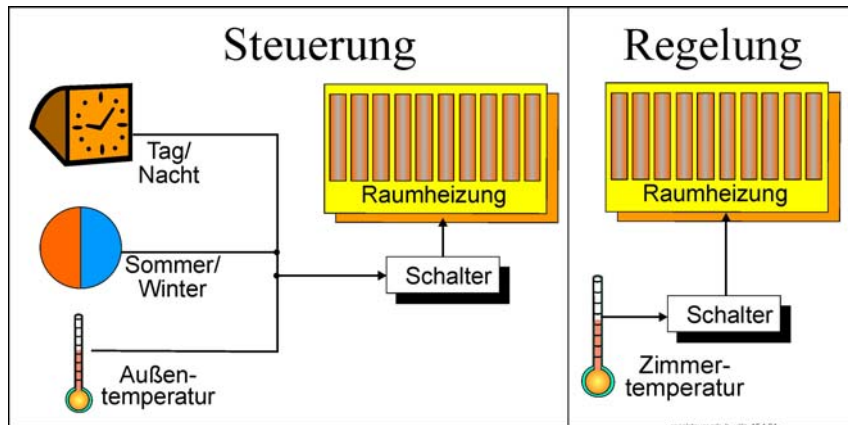
≈ 300 v.Chr.	erste Regleranwendungen, Öllampe usw.
≈ 50	HERON VON ALEXANDRIA ($\approx 20 - 62$) automatisches Theater, Türöffner, Programmwalze
≈ 1000	jüdische Sage von Golem als Synagogendiener der Prager Rabbi Löw
13. Jh.	WILHELM VON OCKHAM ($\approx 1284 - 1350$) Vereinfachung durch „Modelle“
16./17. Jh.	Nockensteuerung, einfache Regelungen
18. Jh.	Musikautomaten, programmierte Ente usw.
1784	Fliehkraftregler von JAMES WATT (1736 - 1819) konstante Drehzahl, bei wechselnder Last
1805	Joseph-Maria Jacquard (1752 - 1834): Lochbandsteuerung für Webstühle
1925	WAGNER beschreibt biologische Regelung
1930	W. R. HESS: Die Regelung des Blutkreislaufes
1933	FRISCH: Volkswirtschaftliche Regelkreise
1940/48	CL. SHANNON Arbeit zur Kommunikation
1941	H. SCHMIDT : Denkschrift: Gründung eines Instituts für Regelungstechnik
1942	N. WIENER : „Kybernetik, Steuerung und Informationsübertragung in Lebewesen“
1944	R. OLDENBOURG u. H. SARTORIUS: Dynamik selbsttätiger Regelungen
1950	J. TINBERGEN, N. F. MOREHOUSE und H. MITTELSTAEDT: Regelkreise in der Wirtschaft
1959	H. ROHRACHER: Psychologische Regelprobleme



Steuerung beginnt eigentlich erst mit der Massenanwendung des Computers

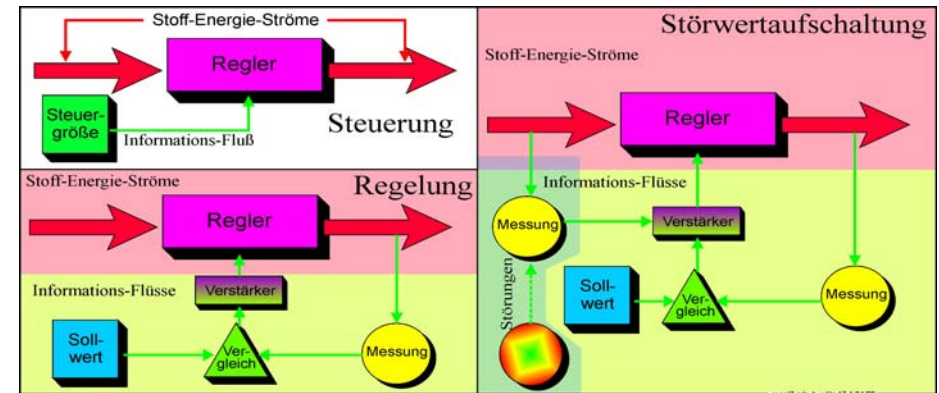


Viele Maschinen einer Fabrik wurden von einer Dampfmaschine über Transmission angetrieben. Ein- und Ausschalten einzelner Maschinen führte zu erheblichen Drehzahl-Änderungen.



Steuerung versucht alle *Störungen* zu erfassen und dann durch Ein-Aus-Schalten auszugleichen. Dabei können im Prinzip *alle Abweichungen vom Sollwert ausgeschaltet* werden.

Regelung *misst den vorhandenen Wert* und vergleicht ihn mit dem Sollwert. Erst *Abweichungen* führen zum Ein-Aus-Schalten, sie sind her *immer vorhanden*. Für *Kühlschränke* gilt daher der typische Bereich von 10 ± 2 °C.



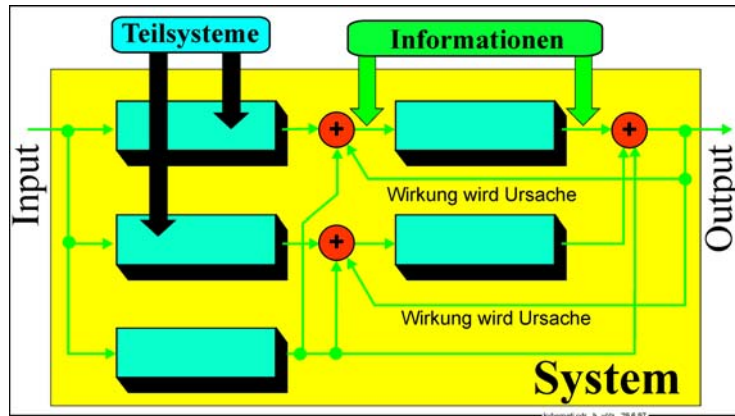
Durch **Störwertaufschaltung** werden zusätzlich *Störungen gemildert*, z. T. *ausgeschaltet*. Es werden *Energie-Stoff-* und *Informations-*Ströme unterschieden.

Gesteuert und **geregelt** werden *Energie bzw. Stoff*.

Bewirkt wird das durch die *Information*, die sehr geringe Stoff-Energie-Mengen benötigt. Auch so kann u. a. Information erklärt werden \Rightarrow WIENER-Zitat.

Rückkopplung

Englisch *feed back*, tritt heute vielfältig auf, ist z. T. älter, s. u.
Typische *kybernetisch* sind *rückwirkende Verknüpfungen* von Wirkungen \Rightarrow werden wieder zur Ursache
Bezogen auf (Teil-) Systeme und Information = *Ursache-Wirkungs-Gefüge*

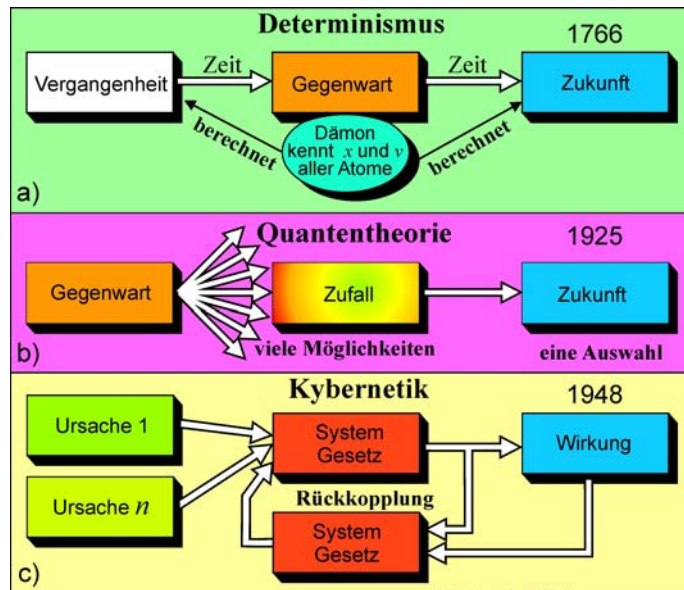


Auswirkungen in der Wissenschaft

1. Bereits in Griechenland entstand der **Determinismus**: eine jede Erscheinung hat (eine) Ursache
Höhepunkt ist der **LAPLACE'sche Dämon** von 1766 (PIERRE SIMON LAPLACE 1749 - 1827)
Er ist *technisch nicht realisierbar*, würde auch *freien Willen und Verantwortung ausschließen*
2. ab 1900 Beginn der **Quantentheorie**: im Mikroskopischen wirkt der Zufall
Zu jedem (diskreten) **Zeitpunkt** wählt die die **Wirklichkeit** eine der unendlich *vielen Möglichkeiten* aus
Dennoch sind die **Gesetze** der Quantentheorie bestens *in der Realität bestätigt*
Erst im Makroskopischen erfolgt ein Übergang zur Verknüpfung von **Ursache und Wirkung**
3. **Kybernetik** führt u.a. **Rückkopplung** (Wirkung wird wieder Ursache), **Multistabilität** und **Auslöse-Effekt** ein

Wir müssen uns damit abfinden

Vieles ist mit einer gewissen, aber oft *kalkulierbaren Unsicherheit* behaftet
Ich weiß, dass ich nichts weiß \Rightarrow Ich weiß um die Unsicherheit meines meist erfolgreichen Wissens
Dies ist notwendig, um die Gefahr von Agnostizismus und Mystizismus zu vermeiden.



Geschichte

Auch **Rückwirkungen** bei Beeinflussungen und **rekursive Methoden**; Funktionen der Mathematik gehören dazu

- 1888 DEDEKIND: Einführung der **primitiv-rekursiven Funktionen**, Beginn der Berechenbarkeitstheorie
- 1904 LORD KELVIN OF LARGS (William Thomson): **Rückkopplungsprinzip** für Verstärker
- 1912 - 1914 viele Vorschläge, Patente für Rückkopplungen mit Trioden-Röhre für **Empfänger, Sender**:
ALEXANDER MEISSNER (1883 - 1958); EDWIN HOWARD ARMSTRONG (1890 - 1954), S. STRAUSS;
WILHELM SCHLOEMILCH, LEE DE FOREST, E. REISZ, C. S. FRANKLIN, H. J. ROUND und I. LANGMUIR
- 1919 WILLIAM HENRY ECCLES (1903 - 1997) und F. W. JORDAN entwickeln bistabile Kippschaltung, **Flipflop**
- 1920 EDWIN ARMSTRONG erfindet **Pendelrückkopplung** = Pendel-Audion
- 1928 ACKERMANN: Beispiel einer **nicht berechenbaren**, primitiv-rekursiven Funktion
- 1934 HERBRAND und GÖDEL definieren **Klasse rekursiver Funktionen**
- 1936 ALAN MATHISON TURING (1912 - 1954) definiert **TURING-Automat** (Rekursivität)
- 1967 ROGERS: **Theorie der Rekursion** und effektiven Programmierung
- 1992 PEITGEN definiert die Rückkopplungsmaschine zur Iteration von **Fraktalen**

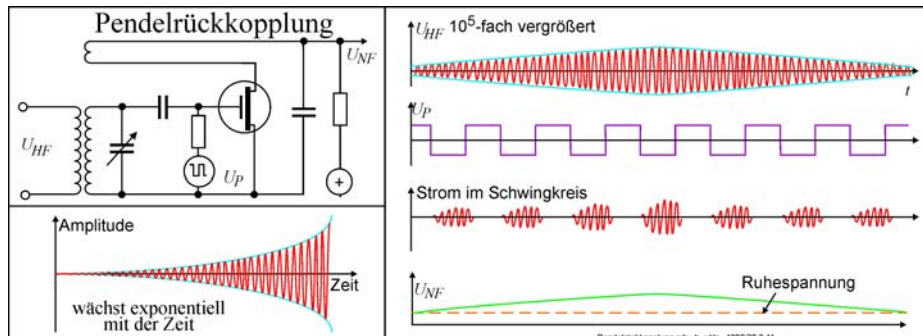
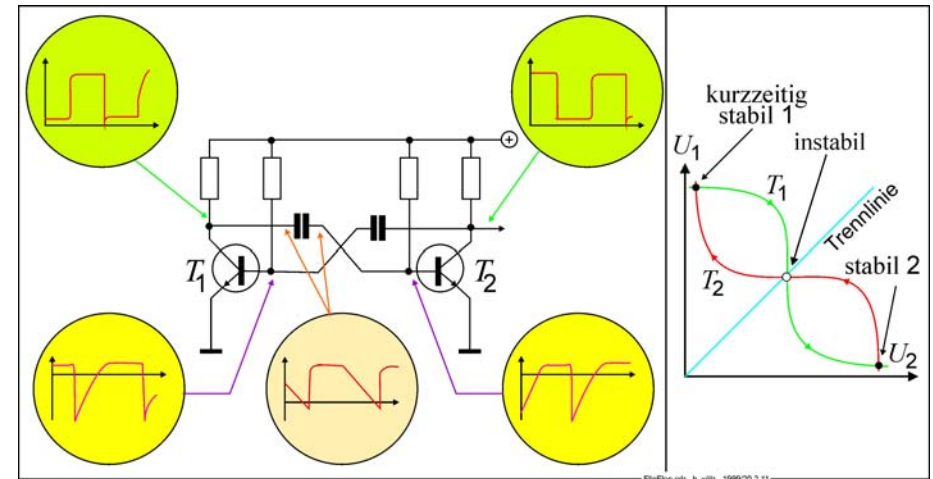
Rückkopplungs-Schaltungen

Besonders in der Elektronik und Nachrichtentechnik werden drei Fälle unterschieden:

- **Gegenkopplung** wirkt der Eingangsspannung entgegen reduziert die Verstärkung, wirkt meist *stabilisierend* auf alle Systemeigenschaften oft ist die *Linearisierung* der Kennlinien besonders wichtig \Rightarrow geringe Verzerrungen
- **Mitkopplung** wird zur Eingangsspannung addiert *erhöht die Verstärkung* und ist insbesondere für *Schwingungserzeugung* wichtig zunächst wächst dabei die Amplitude *exponentiell* an und verharrt bei einer *Sättigung*
Durch *gemischte Gegen- und Mitkopplung* sind u. a. extrem kleine oder große Innenwiderstände möglich, es können ideale Spannungs- oder Stromquellen erzeugt werden (s. u.)
- **Blindkopplung** führt das Ausgangssignal mit Phasenverschiebung zurück es lassen sich u. a. steuerbare und/oder große Blindwiderstände erzeugen = Kapazitäten, Induktivitäten

Flipflop = Multivibrator (deutsch \approx Vielfachschwinger)

erzeugt eine **Rechteckschwingung** mit vielen **Oberwellen**; ist besonders **schwer zu erklären**



Die Rechteckspannung schaltet die Rückkopplung periodisch für Δt ein und dann aus
Bei eingeschalteter Rückkopplung wird das Eingangssignal exponentiell mit Δt verstärkt $u_a = u_e \cdot e^{k \Delta t}$
Durch Wahl von Δt und der Konstanten k können vieltausendfache Verstärkungen erreicht werden

Iteration und Rekursion

Latein iterato abermals; *Latein recursus* Rücklauf, Ebbe, Heimkehr, *recurso* ich kehre zurück

Im Gegensatz zur Rückkopplung betreffen sie vor allem *mathematische* Operationen und Funktionen
Genauer bedeutet *Iteration* = *etwas wiederholen* und *Rekursion* = *sich selbst aufrufen*
Rekursion ähnelt der *Münchhausen-Erzählung*: sich selbst am eigenem Schopf aus dem Sumpf zu ziehen
Rein formal kann jede Rekursion auf eine (lineare) Iteration *zurückgeführt werden*
Dabei wird der *algorithmische Aufwand* aber meist wesentlich größer
Hierfür steht eine *Anekdote* die das typische Verhalten von *Physikern und Mathematikern* betrifft
Beiden lehren in Handlungsschritten Wasser zum Kochen zu bringen:

Nimm einen Topf, gehe zur Wasserleitung, fülle ihn, gehe zum Gasherd, zünde das Gas an, setze den Topf auf und warte, bis das Wasser kocht.

Beide erlernen diesen Handlungsablauf gleich schnell und gut
Beim Leistungstest werden daher die Bedingungen leicht geändert
Man gibt ihnen einen mit Wasser gefüllten Topf, und nun unterscheidet sich ihr Verhalten wesentlich:

- Der **Mathematiker schüttet das Wasser aus** und hat damit die Anfangsbedingungen für das Wasserkochen wieder hergestellt. Den restlichen Weg kennt er ja!
- Der **Physiker geht zum Gasherd** und setzt von diesem Punkt an den Handlungsablauf fort. Er will ja kochendes Wasser haben!

Umkehrung des Auslöse-Effektes

Sie erzeugen aus dem Chaos, Zufall Strukturen und *Neues*
Ein Beispiel hierfür ist die *Schöpfungslegende* u. a. der Bibel
Wissenschaftlich sind hierfür 3 Begriffe gebräuchlich

- **Evolution** (latein *evolvere* entwickeln, hinauswälzen)
- **Emergenz** (latein *emergentia* das Hervorkommende)
- **Synergetik** (griech. *synergetikós* zusammen, mitwirkend), und gesprochen

Damit Zusammen hängt auch die **Rückkopplung** und mathematische, rechentechnische **Rekursivität**

Sowohl die **Auslöse-Effekte** als auch die **Umkehrungen** lassen sich zwar **beschreiben** aber **nicht erklären**, Es klafft eine Theorie-Lücken) s. u.

Preisausschreiben 1887 vom König Oskar II von Schweden

Mit 2500 Goldkronen dotiert sollte die Frage beantwortet werden „*Ist das Planetensystem stabil?*“
Den Preis gewann 1903 JULES HENRI POINCARÉ (1854 - 1912), obwohl er das Gegenteil bewies:

„Die kanonischen Gleichungen der Himmelsmechanik besitzen kein (außer bei speziellen Anfangsbedingungen) geschlossenes analytisches Lösungsintegral außer dem Energieintegral.“ ... „Eine sehr kleine Ursache, die wir nicht bemerken, bewirkt einen beachtlichen Effekt, den wir nicht übersehen können, und dann sagen wir, der Effekt sei zufällig. Wenn die Naturgesetze und der Zustand des Universums zum Anfangszeitpunkt exakt bekannt wären, könnten wir den Zustand dieses Universums zu einem späteren Moment exakt bestimmen. Aber selbst wenn es kein Geheimnis in den Naturgesetzen mehr gäbe, so könnten wir die Anfangsbedingungen doch nur annähernd bestimmen. Wenn uns dies ermöglichen würde, die spätere Situation in der gleichen Näherung vorherzusagen – dies ist alles, was wir verlangen –, so würden wir sagen, daß das Phänomen vorhergesagt worden ist und daß es Gesetzmäßigkeiten folgt. Aber es ist nicht immer so; es kann vorkommen, daß kleine Abweichungen in den Anfangsbedingungen schließlich große Unterschiede in den Phänomenen erzeugen. Ein kleiner Fehler zu Anfang wird später einen großen Fehler zur Folge haben. Vorhersagen werden unmöglich, und wir haben ein zufälliges Ereignis.“

Diese Aussagen hatte er bereits zuvor am **Dreikörperproblem** gefunden
Kleinste Änderungen in den Parametern können zu unvorhersehbaren Bahnen führen
Seine Untersuchungen haben noch heute bei den **Satellitenbahnen** Bedeutung.

Schmetterling in China

1961 benutzt der Meteorologe EDWARD NORTON LORENZ (1917 - 2008) die üblichen Wettergleichungen
Er findet, dass oft erhebliche Instabilitäten auftreten. Daraufhin macht er die Aussage:

„*Der heutige Flügelschlag eines Schmetterlings in China kann morgen einen Orkan in den USA bewirken*“

Sie ist als Butterfly- bzw. Schmetterlingseffekt bekannt geworden

1972 entwickelt R. THOM dann die eigentliche Katastrophentheorie

1978 findet MITCHELL FEIGENBAUM in praktisch allen chaotischen Systemen übereinstimmende Muster
Sie hängen mit der Periodenverdopplung bei den Fraktalen zusammen
Als Kenngrößen findet er die universelle FEIGENBAUM-Konstante $F = 4,6692016090...$

II. Ergänzungen aus der Wissenschaftstheorie

Bei der Wissenschaft lassen sich inhaltlich und z. T. zeitlich **drei grobe Etappen** unterscheiden:
Weitere, ergänzende Details u. a. in [5]

1. Erkundung

Praktisch: erfahren, beobachten, erkunden, erfassen, entdecken, messen,

Geistig: sammeln, ordnen, systematisieren, klassifizieren

2. Darstellung

Unmittelbar \approx einfach: beschreiben, erklären, begründen, berechnen

Theoretisch: glauben, behaupten (Postulat), vermuten (Hypothese), schließen (schlussfolgern, Analogschluss)

Folgernd: abstrahieren, verallgemeinern, definieren, axiomatisieren, Gesetz, Theorie \Rightarrow Vorhersage

3. Überprüfung, Nutzung

Praktisch: Experiment, Messung; langfristige Bewährung

Geistig (Gewissheit, Wahrheit): Beweis, Paradigma, Verifikation, Falsifizierung

Angewandt: Lehre, Technik

Drei typische Fragen-Klassen

In der Wissenschaft sind nicht nur *Aussagen* wichtig
Häufig führen erst „*richtige*“ *Fragen* zum gewünschten *Ergebnis*
Dabei kann eine Klassifizierung der Fragentypen wichtig sein

Entscheidungsfragen
<p>Methode: Ja/Nein-Antworten</p> <p>Beispiele: Ist England eine Insel? Ist der Schnee weiß? Sind Viren Lebewesen?</p> <p>Probleme: Binäre Logik kann zu <i>Widersprüchen</i> führen, z. B.: Kretaer Lügner bedürfen oft einer Präzisierung, z. B: Viren sind keine selbständigen Lebewesen</p>
Ergänzungsfragen
<p>Methode: mittels Entscheidungstabellen, in Entscheidungsfragen überführbar</p> <p>Beispiele: Wo liegt Dresden? Welche Farbe hat der Schnee? Wie lang ist die Küste Englands?</p> <p>Probleme: <i>Unvollständigkeit</i> von Entscheidungstabelle</p>
Begründungs-, Erklärungsfragen
<p>Methode: Es gibt keine Regeln zur Beantwortung</p> <p>Beispiele: Was ist eine Insel? Warum ist Schnee weiß? Was ist Leben?</p> <p>Probleme: Es ist von (subjektivem) <i>Vorwissen</i> auszugehen, ähnelt teilweise einer <i>Definition</i></p>

Wirkungen.doc h. völg angelegt am 8.4.11 aktuell 29.04.2011 Seite 33 von 167

Beschreibung ↔ Erklärung

Für die weiteren Betrachtungen sind nur Aussagen für bereits *be-* bzw. *erkannte Wirkungen* wichtig
Sie können vor allem *beschrieben, erklärt, begründet* und *berechnet* werden

Beschreibung	Erklärung ≈ Begründung
<p><i>erfolgt</i> sprachlich, schriftlich, bildlich, mimisch, gestisch</p> <p><i>dient</i> der Informationsweitergabe</p> <p><i>betrifft</i> Erlebnisse, Tatbestände, Personen, Sachen, Ideen</p> <p><i>erfolgt</i> phänomenologisch, deskriptiv</p> <p>Schilderung, Erzählung, Mitteilung</p>	<p><i>Ableitung</i> aus Gesetzen, Theorien, Hypothesen, Zusammenhängen</p> <p><i>Abbildung</i> eines Sachverhaltes in einer Theorie</p> <p><i>Deutung und Begründung</i> der Zusammenhänge</p> <p>Logisches Denken, Verstehen, Lehren</p>
<p>Beschreibungs-Sprachen der Rechentechnik für Programme und Geräte</p> <p>Achtung: spottet jeder Beschreibung</p>	<p>Mitteilung = (offizielle) Äußerung: z. B. Kriegs-, Liebes-, Willens-, eidesstattliche, bindende, feierliche Erklärung</p>
<p>Im Gegensatz zur Beschreibung sollen Erklärung und Begründung zum Wesen bzw. Zusammenhang der Sachverhalte (Wirkungen) vordringen und so u. a. wissenschaftliche Voraussagen ermöglichen</p>	

Erklärung bei:

IMMANUEL KANT (1724 - 1804): „Ableitung aus einem deutlich angebbaren Prinzip“

GEORG WILHELM FRIEDRICH HEGEL (1770 - 1831): „Rückführung von Erscheinungen auf vertraute Verstandesbestimmungen“

Wirkungen.doc h. völg angelegt am 8.4.11 aktuell 29.04.2011 Seite 34 von 167

Mathematische Theorie, Formel, Berechnung

Meist werden mathematische Formeln für die *beste Erfassung der Inhalte* angesehen
Ermöglicht sie doch eine genaue *Überprüfung* der Fakten und sogar *Vorhersagen* der *Wirklichkeit*
Doch damit muss *keineswegs* die Wirklichkeit *inhaltlich „verstanden“* sein
Hierzu sind *Interpretation* der Zusammenhänge und Herausarbeiten der eigentlichen *Ursachen* nötig
Eine Formel *kann* diese *Inhalte enthalten*, ist aber unmittelbar der *menschlichen Auffassung unzugänglich*
Zudem ermöglicht die *Mathematik eine formale Anpassung an alle erdenklichen Zusammenhänge*
Deutlich ist bei den *Planetenbewegungen* erkennbar, die schließlich zum Inhalt der *Gravitation* führte
Weiter wurden schrittweise die *vier Grundkräfte* herausgearbeitet
Das Ziel der Physik ist eine einheitliche Erfassung im Sinne einer *Weltformel*
Die Frage bleibt aber: *was ist damit von der Wirklichkeit verstanden?*

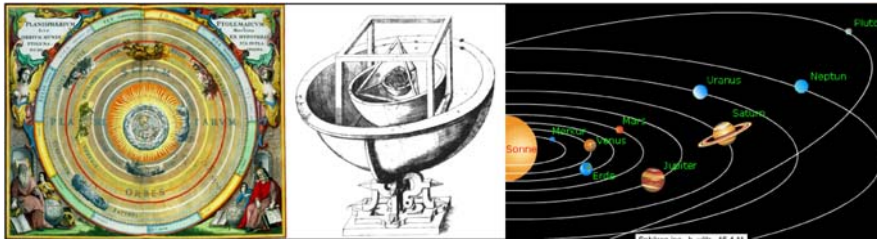
Wirkungen.doc h. völg angelegt am 8.4.11 aktuell 29.04.2011 Seite 35 von 167

Beispiele aus der Physik

Wirkungen.doc h. völg angelegt am 8.4.11 aktuell 29.04.2011 Seite 36 von 167

Himmelsphären

Im *Altertum* ruhte die Erde im Zentrum; Sonne, Mond, Planeten, Fixsterne umkreisten sie auf ewigen Bahnen. Wegen rückläufiger Bewegungen schlug EUDOXOS (~410 ~355v.Chr.) rotierende konzentrische Sphären vor. ARISTOTELES (384 - 322 v.Chr.) erweiterte das Modell auf 55 hierarchisch angeordnete, sich berührende Sphären. Er nahm einen abstrakten „Beweger“ an, der später für das Christentum und die islamische Welt wichtig wurde. CLAUDIUS PTOLEMÄUS (87 - 150) kompliziertes System aufeinander abrollender Kreise, Erde im Zentrum. NIKOLAUS KOPERNIKUS (1473 - 1543) heliozentrisch, Sonne steht im Zentrum. JOHANNES KEPLER (1571 - 1630), GALILEO GALILEI (1564 - 1642) endgültige Gesetze Planetenbewegung. ISAAC NEWTON (1643 - 1727) Einführung Gravitation, Anziehung der Himmelskörper. Folgerungen von PIERRE SIMON DE LAPLACE (1749 - 1827) Universum als große Uhrwerk: LAPLACE Dämon.



PTOLEMÄUS

KEPLER

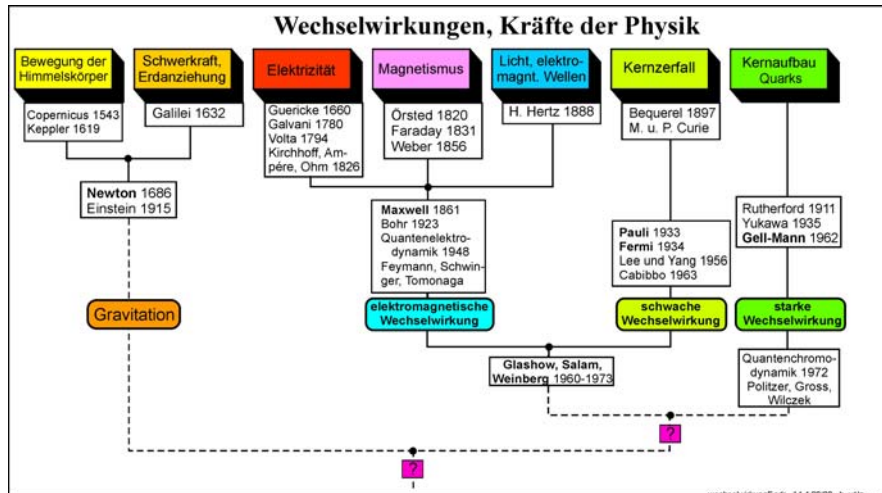
NEWTON

Die vier Grundkräfte

Kraft, Wechselwirkung	Reichweite	relative Stärke	wirkt auf	Austauschteilchen	Ruhemasse	Ruheenergie
Gravitation	∞	10^{-39}	jede Materie	Graviton	0	0
elektromagnetische Kraft	∞	1/137	geladene Teilchen (Chemie)	Photon	0	0
schwache entdeckt ≈ 1930	$< 10^{-18}$ m	10^{-5}	alles außer Photonen (β -Zerfall)	W- und Z-Bosonen	$1,5 \cdot 10^{-25}$ kg	100 GeV
starke entdeckt ≈ 1970	$< 10^{-15}$ m	1	Hadronen, Quarks (Kernreaktionen)	Gluon	$1,5 \cdot 10^{-27}$ kg	1 GeV

Relativitätstheorie und *MAXWELL-Gleichungen* gelten für Gravitation und elektromagnetische Kraft. *Quantenmechanik* beschreibt die schwache und starke Wechselwirkung.

Wechselwirkungen, Kräfte der Physik



Beispiele weiterer Natur-Gesetze

Gesetz der *Trägheit*: Ohne äußeren Einfluss bleibt Bewegung erhalten.

OHM'sches Gesetz: Strom und Spannung sind proportional. GEORG SIMON OHM (1789 - 1854)

MAXWELL'sche Gleichungen der Elektrodynamik, JAMES CLERK MAXWELL (1831 - 1879)

Vakuum-Lichtgeschwindigkeit ist unabhängig von Bewegung der Körper im Raum

Hauptsätze der Thermodynamik

Thermische *Zustandsgleichung* idealer Gase

Evolution: Durchsetzen des Fittesten

Genetische Information fließt von DNA nach RNA und nicht umgekehrt

Achtung!

Mathematische Gesetze sind keine Naturgesetze

Empirische Gesetze erklären nichts, sondern funktionieren einfach erfahrungsgemäß und gut genug

Zurück zum Thema

0. Einführung, Problem

1. Auslöse-Effekte

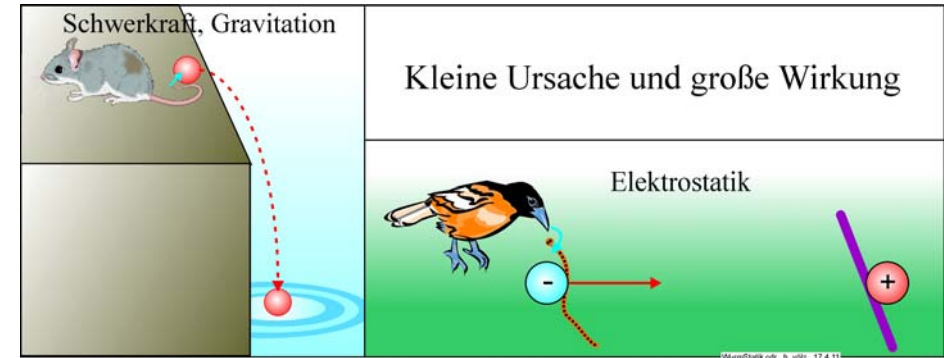
2. Verstärker

3. Oszillatoren

4. Verallgemeinerung, Schlussfolgerungen

Zwei einfache Beispiele

Bei der Gravitation und dem Elektromagnetismus lassen sich einfache makroskopische „Versuche“ angeben. Wesentlich ist in beiden die **Beschleunigung auf dem Weg!** Sowie die dann schließlich auftretende **Wirkung**. Bei großer Höhe und Masse könnte eventuell sogar Tsunami (*japanisch* hohe Wellen im Hafen) auftreten. Für die schwache und starke Wechselwirkung existieren „einfache“ Versuche nur im Mikrokosmos.



Erste Schlussfolgerung

Ein **Auslöse-Effekt** verlangt ein **System** mit folgenden Eigenschaften:

1. Es kann Stoff oder Energie **gespeichert** werden
2. Sie müssen durch eine „**Sperre**“ festgehalten werden können
3. Die Sperre muss mit wenig Energie oder Stoff **aufgehoben** werden können

Die **Auslösung** kann als **Information** (-Träger) angesehen werden.

Sie ruft **im System** die wesentlich **größere Wirkung** hervor (s. WIENER).

Das **Modell der Information** erfasst daher „vereinfacht“ die oft **sehr komplexen Zusammenhänge**.

So ermöglicht uns das Modell ein „**durchsichtiges**“ **Verstehen**.

Sogar der **Schmetterlings-Effekt** und die **Instabilität des Planetensystems** werden so „verständlich“.

Dass der **Mensch** derartige **Systeme aufbauen** kann, zeigt die Technik, z. B. Revolver.

Auch die **Biologie** hat solche Systeme geschaffen, z. B.: Mimose.

Doch wie solche Systeme **ursprünglich** (physikalisch, nach dem Urknall) entstehen, ist **ziemlich unklar**.

Häufig wird für das Entstehen der „unerklärte“ Begriff **Emergenz** benutzt.

Latein emergere auftauchen, *emergentia* das Hervorkommende.

Eine weitere **Vertiefung** ermöglichen **Maser, Laser** zunächst nur Sperre Aufheben, *weitere Details s. u.*

Bändermodell

Zu jedem Atom gehören **Energie-Zustände**, entsprechen **Kreis-, Ellipsen-Bahnen** der Elektronen.

Vereinfachung lineares **Energie-Orts-Bild**.

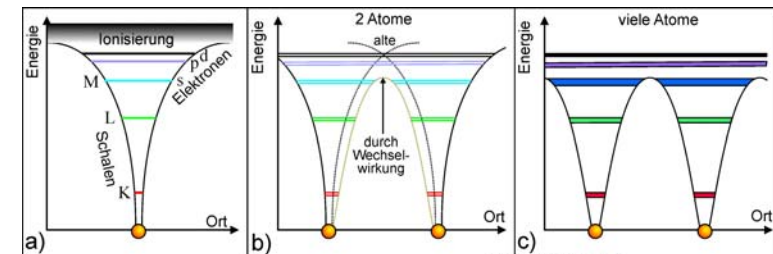
Bei mehreren Atomen im Kristall beeinflussen sich die Bahnen.

PAULI-Verbot (WOLFGANG PAULI; 1900 - 1958) es können keine „**gleich-energetischen**“ auftreten.

Energieteilchen verbreitern sich dadurch zu **Bändern**.

Ab einer bestimmten Energie (Bahn) gehören die **Elektronen** zu keinem einzelnen Atom.

Sie gehören zum gesamten Kristall, sind **frei beweglich = Leitungsband**.



Indirekter Übergang zur Speicherung

Bänder im Energie-Orts-Diagramm (Wellenzahl) sind oft nicht auf konstanter Höhe, sind *verbogen*

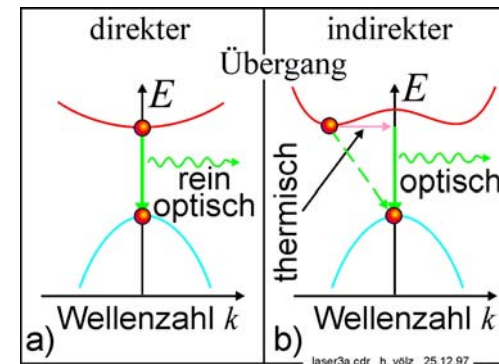
direkter Übergang

Minimum vom oberen und Maximum vom unteren Band befinden sich am gleichen Ort (Wellenzahl)
Entsprechend der Temperatur stellt sich eine stabile Belegungsichte beider mit Elektronen ein
Im Mittel werden gleichviel Elektronen auf das höhere Niveau gehoben wie herunterfallen
Belegungsichte gehorcht der thermodynamischen BOLTZMANN-Verteilung

Indirekter Übergang

Maximum vom unteren Band ist seitlich gegenüber Minimum vom oberen verschoben
Zum Herunterfallen wird eine „*seitliche*“ (*thermische*) *Energie* benötigt
Der *thermische Zufall* bestimmt, wann dies geschehen kann; Verzögerungen bis zu *Stunden* sind *möglich*
Ein solcher Zustand heißt *metastabil*, auf ihn können viele *Elektronen* „*gespeichert*“ werden
Typisch für diesen Effekt sind *Nachleuchten*, z. B. Lumineszenz, Phosphoreszenz
Das absichtlich durchgeführt Speichern der Elektronen im metastabilen Zustand heißt *Pumpen*
Er ist die entscheidende Voraussetzung für die Funktion des Lasers
Das beschleunigte und damit erheblich verstärkte Herunterfallen bewirkt die *stimulierte Emission*

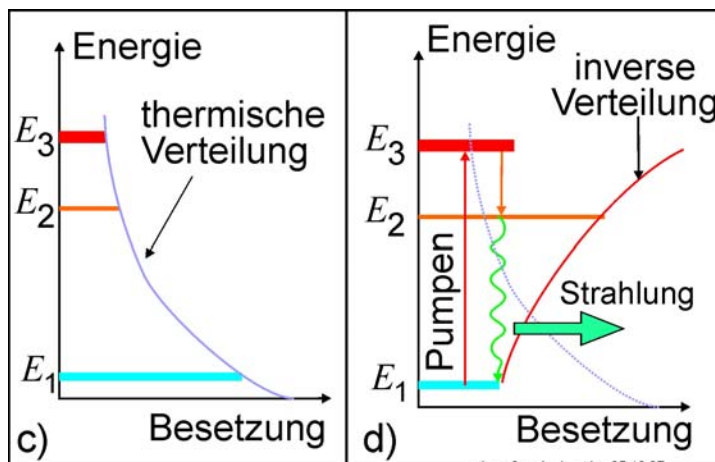
Wirkungen.doc h. völg angelegt am 8.4.11 aktuell 29.04.2011 Seite 45 von 167



Der *indirekte Übergang* entsteht vorrangig durch den *kristallinen Aufbau* und vorhandene *Störstellen*

Wirkungen.doc h. völg angelegt am 8.4.11 aktuell 29.04.2011 Seite 46 von 167

Energiespeicher 3-Term-System



E_2 ist metastabil und kann daher als Abweichung von der thermischen Verteilung Elektronen „speichern“

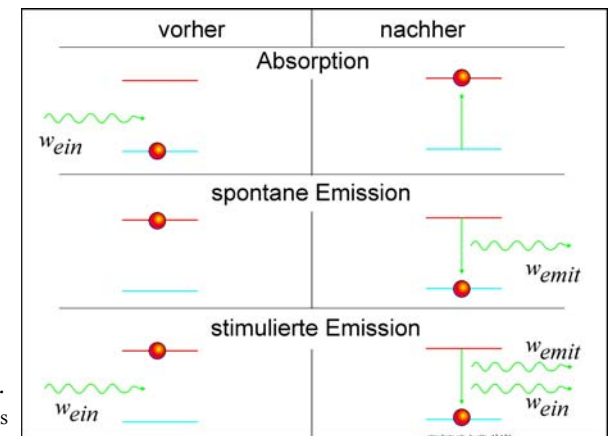
Wirkungen.doc h. völg angelegt am 8.4.11 aktuell 29.04.2011 Seite 47 von 167

Die Aufhebung der Sperre durch stimulierte Emission

Absorption: Licht (oder andere Energie) hebt ein Elektron auf eine höhere Bahn (Term, Band). Das Elektron bzw. Atom befindet sich dann im „angeregten“ Zustand

Spontane Emission: das angeregte Elektron geht zu einer Bahn mit niedriger Energie über. Die *Energie-Differenz* ΔE wird als *Photon* mit der Frequenz $\nu = \Delta E/h$ *abgestrahlt*

Stimulierte Emission: angeregtes Elektron mit ΔE wird durch ein Photon mit ΔE quasi resonanzartig in den Grundzustand überführt. So werden zwei Photonen *phasenstarr als ein Wellenpaket* abgestrahlt Das bedeutet *Lichtverstärkung*



1917 ALBERT EINSTEIN (1879 - 1955) sagt stimulierte voraus
1928 RUDOLF LADENBURG (*1882) und HANS KOPPERMANN (*1895) weisen sie bei Gasentladungslampen nach

Wirkungen.doc h. völg angelegt am 8.4.11 aktuell 29.04.2011 Seite 48 von 167

Zusammengefasste Wirkungsweise

Die **Pumpenergie** hebt eine **3-Term-Substanz** auf Term E_3
 Sie muss deutlich als die thermische Energie sein
 Es fällt sofort auf den metastabilen Term E_2 , der dadurch hoch belegt wird
 Zum Term E_1 (Grundzustand) führt **Energie $\Delta E = E_2 - E_1 = h \cdot \nu$** hierfür gibt es **zwei Möglichkeiten**

1. Ein **Signal** mit ΔE bewirkt **stimulierte Emission**
2. **Thermische Energie** erzeugt **zufällig** (spontan) eine Quasi-Signal mit ΔE

Damit **alle Ladungsträger** von E_2 herunterfallen, ist ein **auf ν abgestimmter Resonator** notwendig
 Geeignet sind hierfür u. a. **Interferrometer** oder **Hohlraum-Resonatoren**
 Durch ihn entsteht im Material eine **stehende Welle**, die **resonanzartig** alle angeregten Teilchen herabzieht
 Bei **1.** wird so das Signal **verstärkt** = Verstärker, bei **2.** wird eine **Schwingung erzeugt** = Oszillator

Durch **fortlaufendes Pumpen** ist ständige Verstärkung bzw. Schwingungserzeugung möglich

In beiden Fällen muss das **Ausgangssignal** aus dem Resonator **ausgekoppelt** werden
 Bei Interferrometer muss ein Spiegel für das Signal teilweise so (licht-) durchlässig sein,
 dass **die stehende Welle erhalten bleibt**

Beim **Maser** werden hierzu **Hohlleiter** oder **Koaxialkabel** verwendet
 Im Material ist daher stets eine höhere Schwingungsenergie vorhanden, als am Ausgang
 Das bedeutet eine hohe **Energiebelastung** des Materials \Rightarrow Begrenzung der **Lebensdauer**

Bemerkungen: Nebeneinander wird eine **quanten- und strahlenphysikalische Beschreibung** verwendet
 Beim Laser existiert keine Beschleunigung auf dem **Weg!** (weitere Details s. Verstärkung)

Begriffe

Interferrometer besteht aus zwei parallel angeordneten Spiegeln = **FABRY-PÉROT-Resonator**
 Wurde bereits weit vorher benutzt von CHARLES FABRY (1867 – 1945) und ALFRED PÉROT (1863 – 1925)

Interferometer: *lateinisch ferire* schlagen, treffen

Resonator: *lateinisch re-* wieder, zurück; *sonare* tönen, hallen; *resonare* wieder ertönen

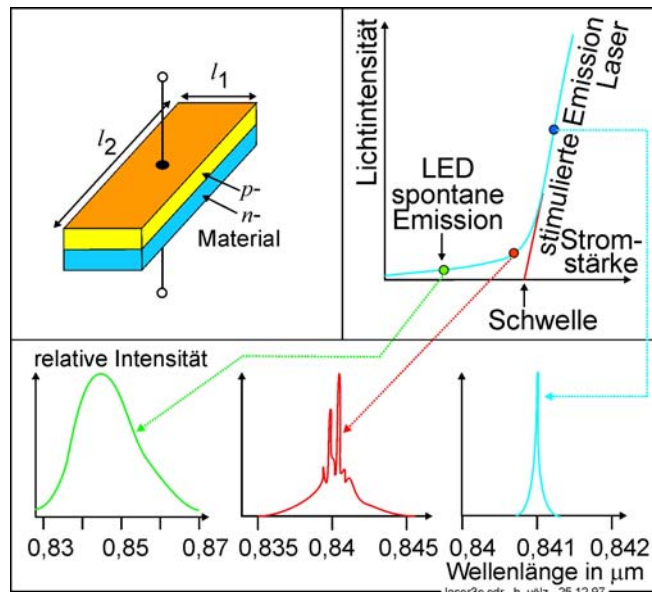
Spontan-Emission beim Halbleiterlaser

Das Pumpen erfolgt durch **Träger-Erzeugung** in einem **pn-Übergang**

Das **Interferrometer** wird durch Spiegel an den Seitenflächen hergestellt

Ihr Abstand l ist ein Vielfaches der erzeugten Wellenlänge, das ermöglicht **mehrere Moden** mit unterschiedlichen n gemäß $n \cdot l = \lambda$

Erst ab einer gewissen **Pumpenergie** (Stromstärke > Schwelle) entsteht stimulierte Emission = **Laser-Strahlung**



Themenwechsel

0. Einführung, Problem

1. Auslöse-Effekte

2. Verstärker

3. Oszillatoren

4. Verallgemeinerung, Schlussfolgerungen

Stärke teilweise \approx Verstärken \neq Verstärkung

- **körperliche Kraft**
- **Macht**
- **Funktions-, Leistungsfähigkeit**
- Besondere **Fähigkeiten, Begabungen**, seine Stärke ist Mathematik
- **Vorteilhaftes einer Sache** = wertvolle Eigenschaft, Vorzug
- **Gehalt; Konzentration** von etwas, z. B. die Stärke des Kaffees, eines Medikaments
- **Ausmaß, Größe, Grad der Intensität**: die Stärke des Verkehrs, der Schmerzen
- **Leistung, Wirksamkeit**, z. B. Stärke eines Motors
- **Anzahl** = zahlenmäßige Größe: die Stärke einer Armee
- **Dicke, Festigkeit** um Stabilität zu bewirken, z. B. bei Blechen, Papier
- **weiße, pulverige Substanz** aus verschiedenen Pflanzen (z. B. Kartoffel), u. a. zum **Stärken von Wäsche**



Varianten von Verstärkern und Verstärkung

Verstärker und damit Verstärkung existieren **auf fast allen Gebieten**
Ihre **Wirkungsweise** kann dabei **sehr unterschiedlich** sein:

- Sie können **einmalig** (\approx Auslösung) oder **fortwährend**, wirken s. u. bei Katalysator
- Die Verstärkung **wächst** mit der **Zeit, Weglänge, Laufzeit** usw., s. Fall, Anziehung und Pendel-Audion
- Eine **Größe** (Parameter) wird auf Kosten eines anderen „verstärkt“
- Bei den meisten **technischen Verstärkern** ist es wesentlich, dass der **Output verstärkt dem Input folgt**
- Es wird **Hilfsenergie** benutzt, die z. B. beim Signal-Verstärker **gesteuert** wird (s. Steuerung + Röhre)

Nichttechnische Verstärker

Ein **Katalysator** erhöht **Reaktionsgeschwindigkeit** bei chemischen Prozessen, senkt die **Energieschwelle**

In der **Genetik** gilt u. a. für Enzyme das **Schlüssel-Schloß-Prinzip**

Ein Prozess läuft nur dann ab, wenn das entsprechende **Enzym** vorliegt

Transkriptions-V. = Enhancer der Genetik bzgl. der DNA mit regulierender Funktion

Beim **Immunsystem** müssen erst die passenden **Antikörper** gebildet werden

Geschmacks-V. Glutaminsäure, dessen Verbindungen (E 620 bis E 625) kann bei empfindlichen Menschen Taubheitsgefühl in Nacken, Rücken und Armen, Kopfschmerzen, Herzklopfen, Schwächegefühl auszulösen

Psychologie: ein Reiz, der als Konsequenz eines bestimmten Verhaltens auftritt
Konditionierung, Belohnung, Motivierung, Bestrafung, Schmerz, Hunger
auch **Intelligenz-V.**: Computer \leftrightarrow Drogen

Konditionierung: Belohnung, Motivierung (positiv, z. B. Geld, Lob) bzw. unangenehmer Reize (negativ, z. B. Schmerz, Hunger) für wirksames **Lernen, Lerntheorien**

Medienwirkung: Hypothese: Massenkommunikation kann Verstärkung bestehender Einstellungen bewirken

Katalysator

Griechisch *katálysis* Auflösung, *katalýein* auflösen

Zugesetzte Katalysatoren senken in Chemie und Biologie die Energieschwelle für eine Reaktion

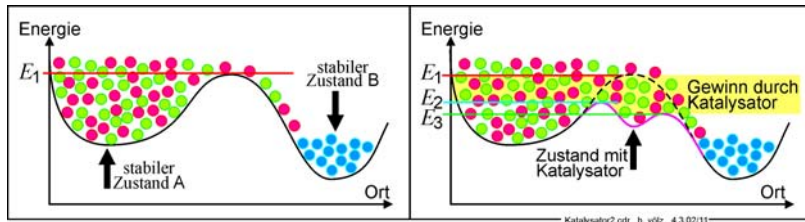
Das erhöht spontan ihre Intensität und damit Geschwindigkeit

In der **Genetik** gilt für Enzyme das **Schlüssel-Schloß-Prinzip**

der Prozess läuft nur dann ab, wenn das entsprechende **Enzym** vorliegt

Hormone wirken ähnlich

Beim **Immunsystem** müssen erst die passenden **Antikörper** gebildet werden



Wirkungen.doc h. vözl angelegt am 8.4.11 aktuell 29.04.2011 Seite 57 von 167

Beispiele für technische Verstärker

Kraft-, Druck-V., Es wird eine Größe auf Kosten anderer verstärkt, z. B. Hebel, Flaschenzug, Getriebe, Hydraulik s. u.

Elektrotechnik: Gerät zur Verstärkung elektrischer Signale, u.a. mittels **Relais, Röhren, Transistoren**, in vielen Varianten mit sehr **unterschiedlichen Funktionsweisen** s. u.

Optischer V.: Verstärkung optischer Signalen, u. a. **Laser** und Maser (s. o.)

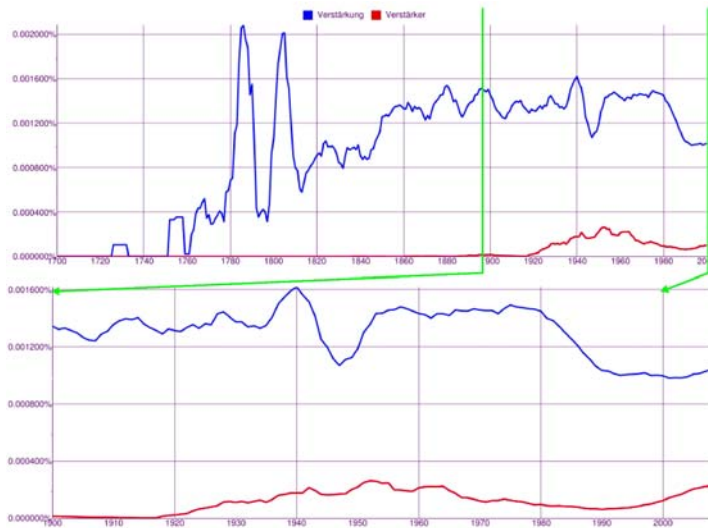
Bild-V.: Bilder werden (besser) sichtbar gemacht, z. B. Wandlung von Infrarot in sichtbares Licht, u. a. mittels **Elektronen-Vervielfacher**

Fotografie: **chemische Lösung** zum Verstärken von Negativen

Röntgenbilder: **Folie oder Zusatzstoff** zur Erhöhung der Wirkung von Röntgenstrahlen bei Bildern

Verkehr: Fahrplanleistung (Fahrzeuge) zur zeitweiligen Verdichtung eines Taktverkehrs

Wirkungen.doc h. vözl angelegt am 8.4.11 aktuell 29.04.2011 Seite 58 von 167



Das Maximum um 1800 liegt zeitlich vor dem elektromagnetischen Relais **Verstärker** im elektrisch-elektronischen Sinn beginnen erst nach 1900

Wirkungen.doc h. vözl angelegt am 8.4.11 aktuell 29.04.2011 Seite 59 von 167

Austausch von Parametern

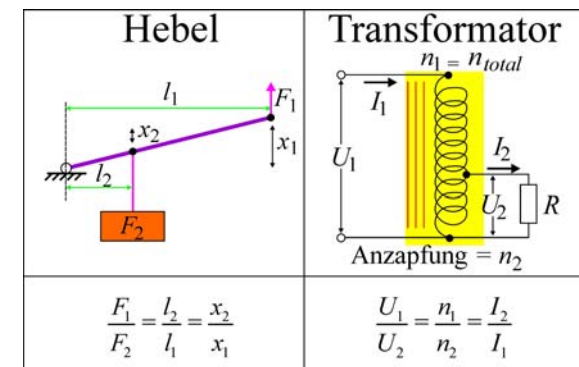
setzt Summe, Produkt usw. von Parametern in einer Formel voraus

Sie bleiben erhalten, z. B. **Energie-Erhaltungssatz** \Rightarrow **Trafo** die Spannungsverstärkung $N = U \cdot I = \text{konstant}$

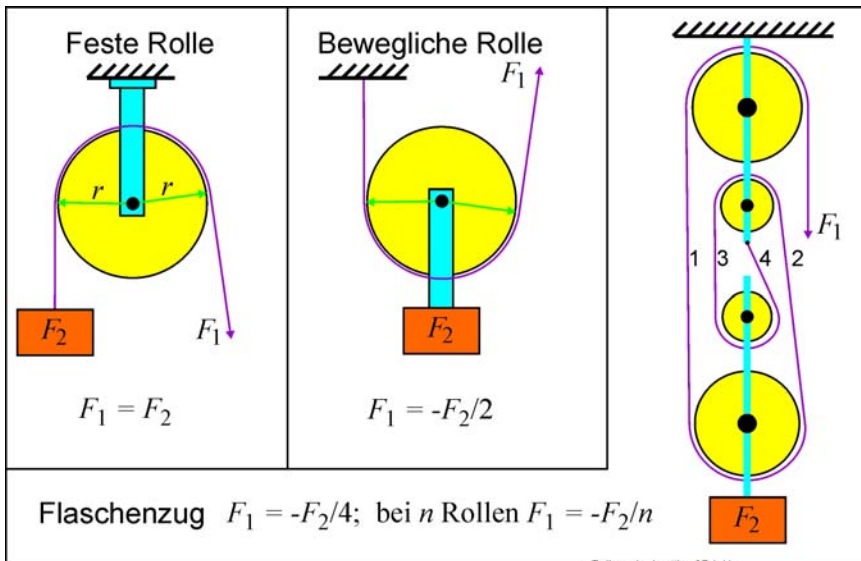
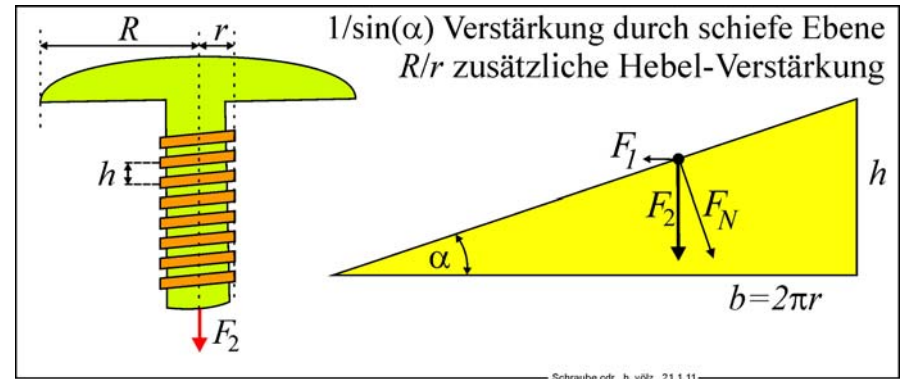
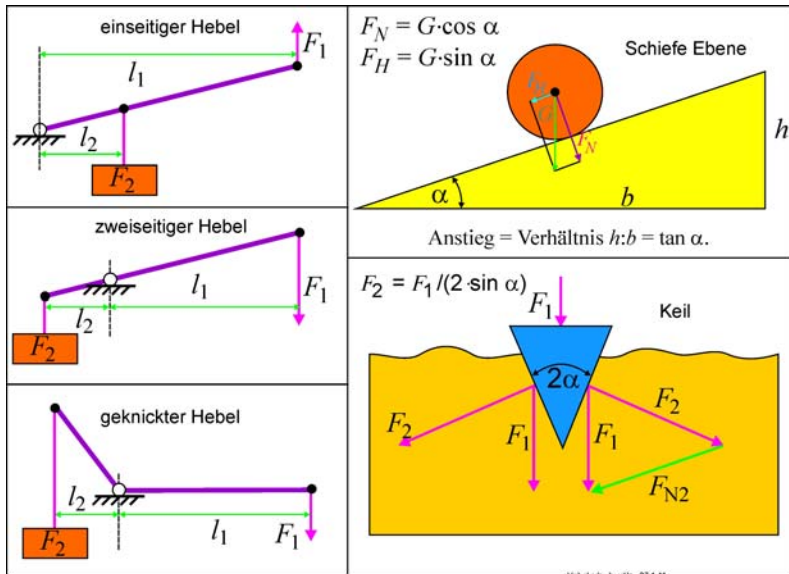
Je nach primär \leftrightarrow sekundär kann **Strom oder Spannung** verstärkt werden

Hebel, Keil, Schraube, Rollen, Flaschenzug usw. Produkt aus Druckkraft $F \times \text{Weg } l$

Sie ermöglichen die **menschliche Kraft zu vervielfachen** (s. ARCHIMEDES Dokument Verstärker)



Wirkungen.doc h. vözl angelegt am 8.4.11 aktuell 29.04.2011 Seite 60 von 167

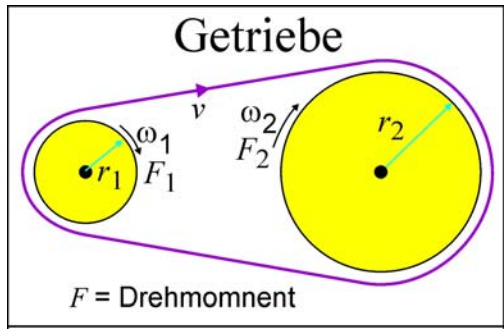
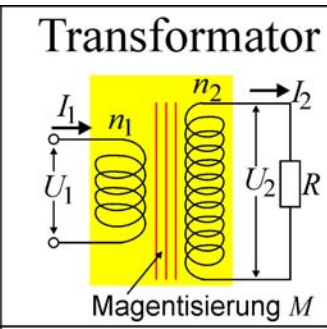


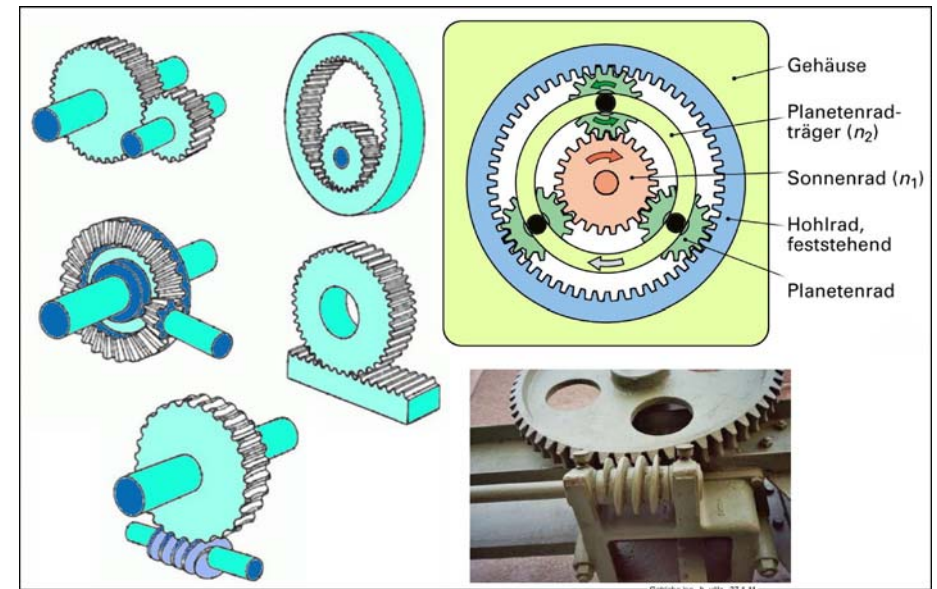
Getriebe

sind *mechanische Bauteile, Maschinenelemente*
 existieren u.a. als **Riemen-, Ketten-, Reibrad- und Zahnrad-**Getriebe
 ermöglichen vor allem die **Wandlung, Anpassung von**

- **Drehzahlen**
- **Drehmomenten**
- **Kräften**
- **Drehrichtungen**
- **Trägheitsmomenten**

Spezielle Getriebe sind u. a. Planeten-, Ausgleichs-, Differential- und Schalt-Getriebe,
 Besonders übersichtlich ist der *Analogie-Vergleich* mit einem **Trenntransformator**

<h2 style="text-align: center;">Getriebe</h2> 	<h2 style="text-align: center;">Transformator</h2> 
$\frac{1/\omega_1}{1/\omega_2} = \frac{r_1}{r_2} = \frac{F_2}{F_1}$	$\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{I_2}{I_1}$
<p>Es entsprechen sich</p> $v \Leftrightarrow M \quad r \Leftrightarrow n \quad 1/\omega \Leftrightarrow U \quad F \Leftrightarrow I$	



Hydraulik

ähnelt Hebel, setzt jedoch **Inkompressibilität** von Flüssigkeit voraus

Der **Druck** p überall gleich
Folglich gilt mit den Durchmessern D

$$p \sim F_1/D_1^2 = F_2/D_2^2$$

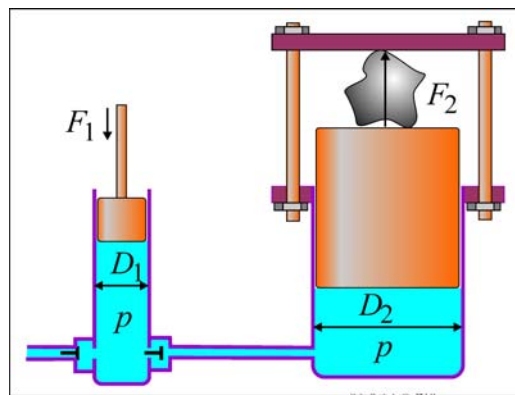
bzw.

$$F_2 = F_1 \frac{D_2^2}{D_1^2}$$

Für einen großen Hub bei F_2 muss ständig Flüssigkeit nachgeliefert werden.

Daher die **Ventile**

Kolben bei F_1 wird **periodisch** auf-/abbewegt



Kondensator-Mikrofon

Als Beispiel für die Vielfalt der Wandlungen mit Verstärkung

Die Ladung Q auf der Membran bleibt erhalten. Es gilt

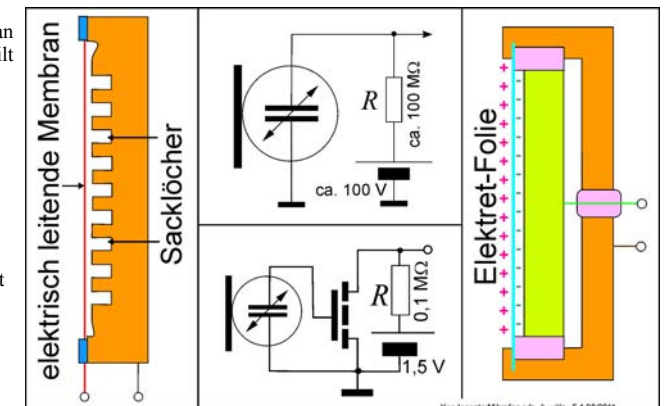
$$Q = C \cdot U = \text{konst}$$

Mit Dielektrizitätskonstante ϵ
Abstand d und Fläche A gilt

$$C = \frac{\epsilon \cdot A}{d}$$

Schwingungen der Membran ändern Abstand d um Δd und damit die Kapazität C . Das führt zur **Spannungsänderung**

$$\Delta U = \frac{Q \cdot \Delta d}{\epsilon \cdot A}$$



Mechanische Impulse

Umgangssprachlich sind auch **Wucht** bzw. **Schwung** gebräuchlich
Mit Masse m und Geschwindigkeit v gilt

$$p = m \cdot v \quad [\text{N} \cdot \text{s} = \text{kg} \cdot \text{m/s}]$$

Hierzu gehört die kinetische (Bewegungs-) **Energie**

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

Verwandt mit dem Impuls ist der **Kraftstoß** = Impulsänderung gemäß

$$I = F \cdot \Delta t$$

Unter Einhaltung des **Impuls-Erhaltungssatzes** kann der Impuls übertragen werden

Bei **Hammer**, **Axt** bzw. **Ramme** erfolgt das mit **indirekter Verstärkung** für $\Delta t \rightarrow 0$

Bei Hammer und Axt **sammeln** wir **auf einen längeren Weg** die Geschwindigkeit v

Ein Hammer kann auch mit einem Seil umgekehrt zum „**Herausziehen**“ von Nägeln usw. genutzt werden

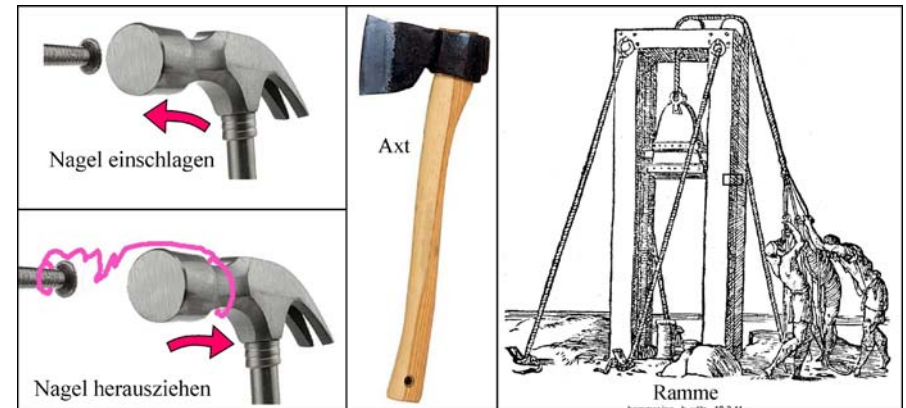
Bei der Axt wird zusätzlich die Wirkung eines **Keils** genutzt

Die **Ramme** nutzt die Fallgeschwindigkeit aus der Höhe h und die Erdbeschleunigung g

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad \text{und dem daraus folgenden Impuls } p = m \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

Daher wird die Energie übertragen

$$E_{\text{kin}} = m \cdot g \cdot h$$



Ergänzungen

Es gibt **verschiedene Rammen**, die sich durch den „Antrieb“ unterscheiden
u. a. Schlagramme, Dampf-, Explosions-, Pressluft-, Diesel- und Hydraulik-Ramme
Bei der **Vibrations-Ramme** werden die Schläge periodisch wiederholte

Geschichte

Die Wirkung des **Hammers** dürfte schon in der **frühen Steinzeit** genutzt worden sein

Für die (**Stein-**) **Axt** liegen Funde aus mindesten **6000 v. Chr.** vor

Die **Ramme** ist **relativ** spät erfunden worden, erstmalig erwähnt wurde sie 1475

Ursprünglich dürfte sie in Kriegen zur Zerstörung von Festungen eingesetzt gewesen sein

Photon

Hier gilt $m = 0$ und $v = c =$ Lichtgeschwindigkeit. Der Impuls beträgt

$$p_{\text{Photon}} = h/\lambda$$

Elektrische, elektronische Verstärker

Es gibt drei historisch wichtige Varianten: Relais, Elektronen-Röhre und Transistor

Das **Relais** war für die Telegrafie entscheidend, ermöglicht jedoch nur Ein-Aus-Schalten

Röhre und **Transistor** sind dagegen primär für kontinuierliche Signale wesentlich

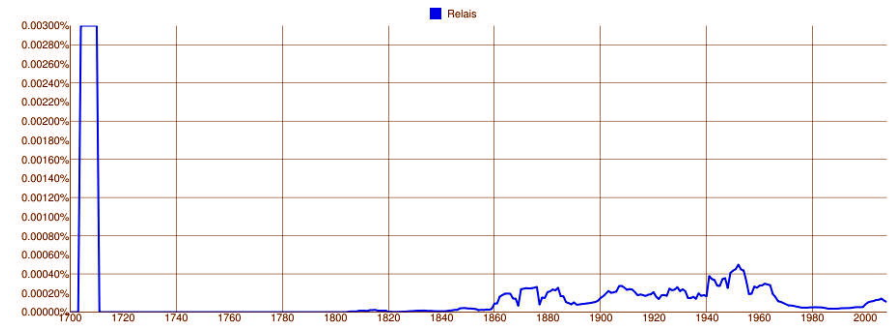
Alle drei ermöglichen es **gleichermaßen** mit geringer Energie weitaus größer Leistungen zu „steuern“

Deshalb werden sie als die **fundamentalen Bauelemente** der Elektrotechnik und Elektronik angesehen

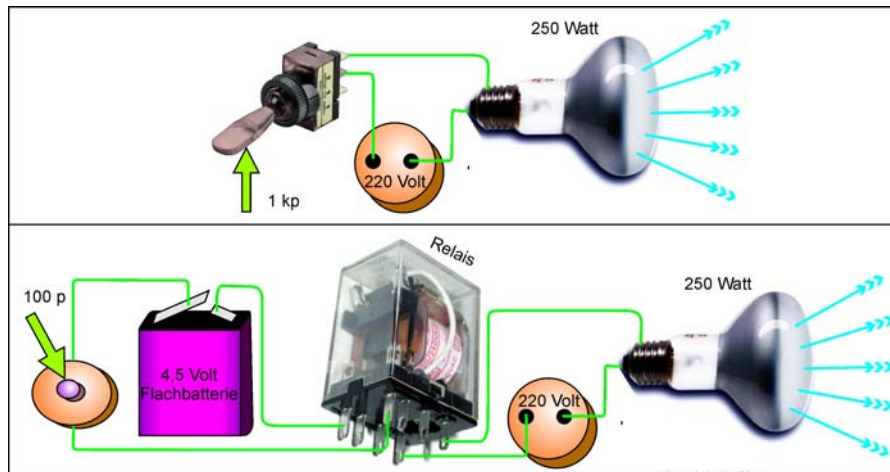
Zur Geschichte von Relais

Französisch relaier zurücklassen, *relais* Relais, Poststation, Umspann-Ort, Zwischenstation
 Ursprünglich (Relais-) Station für Pferdewechsel (Postverkehr, Militär)
 Auch an bestimmten Orten aufgestellte Reiter, die der Überbringung von Befehlen, Nachrichten dienten
 Außerdem: Weg zwischen Wall und Graben einer Festung.

- 1837 SAMUEL FINLEY BREESE MORSE (1791 - 1872) baut das erste Relais
- 1838 CHARLES WHEATSTONE (1802 - 1875) baut Relais für *Telegrafie*
- 1883 Industrielle Anwendungen von Relais
- 1908 Erstes Relais der *Fernsprechtechnik*
- 1925 *Thyratron* eingeführt
- 1927 Das *Flachrelais* wird eingeführt
- 1936 *Relais-Rechner* Z1 von KONRAD ZUSE (1910 - 1995) in der elterlichen Wohnung fertig gestellt
- 1936 *Reed-Kontakt* von W. B. ELWOOD (Bell Laboratories) wird patentiert, aber erst seit 1950 produziert
- 1957 *Thyristor* entsteht



Das auffällige Maximum um 1710 hat offensichtlich nichts mit dem elektromagnetischem Relais zu tun
Relais Schwerpunkt zunächst um 1870 für Telgrafie, ab etwa 1940 für Computer

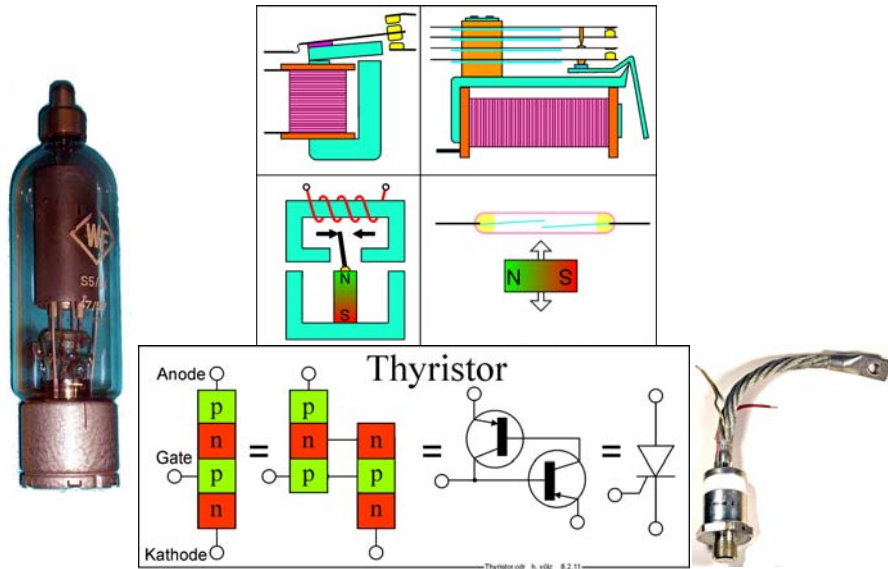


Varianten von Relais

Die wichtigsten sind

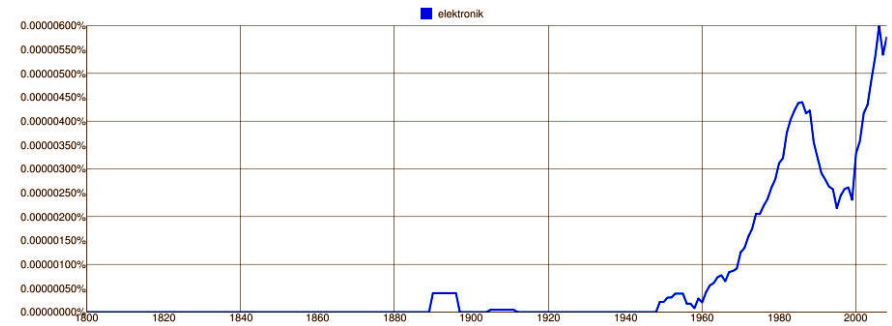
1. die nur bei Strom-Erregung *ein- bzw. ausschalten*
2. die durch Strom-Impulse *umschalten*, z. B. *Telefon-Relais*
3. die durch Fremdeinflüsse, z. B. *Magnetfelder ein- bzw. aus-* oder umschalten, z. B. *Reed-Kontakte*
4. mit ein oder *mehreren Kontakten*
5. *Elektronische* Relais, u. a. Thyratrons, *Thyristoren*
 Griechisch *Thyra* Tor, großer Stein als Tür vor den Eingang gelegt, großer türförmiger Schild
6. Bei *großen elektrischen Leistungen* werden *Schütze* benutzt, enthalten u. a. zusätzlich Funkenlöschkammern

Thyratron entstand um 1925 = mit Gitter steuerbarer, gasgefüllter Röhrengleichrichter mit Glühkathode
 Ähnelt einer Triode jedoch mit Füllgas: Quecksilberdampf, Xenon, Neon, Krypton oder Wasserstoff
 Es gab mehrere Sonderausführungen z. B. Ignotron
 Wird ab etwa 1960 durch **Thyristor** auf Halbleiterbasis ersetzt, von Thyatron und Resistor abgeleitet
 1957 begann Entwicklung bei General Electric, Vorarbeiten von SHOCKLEY, EBERS, MOLL bei Bell Laboratories
 hießen zunächst SCR (Silicon Controlled Rectifier) Begriff Thyristor setzte sich erst in den 60er Jahren durch
 Schaltet mehrere 100 A bis zu 1000 Volt
 Ähnlich: *Triac*, *IGBT*, *IGCT* (Integrated Gate xxx Thyristor), GTO-Thyristor (Gate Turn Off, abschaltbar) usw.



Elektronik

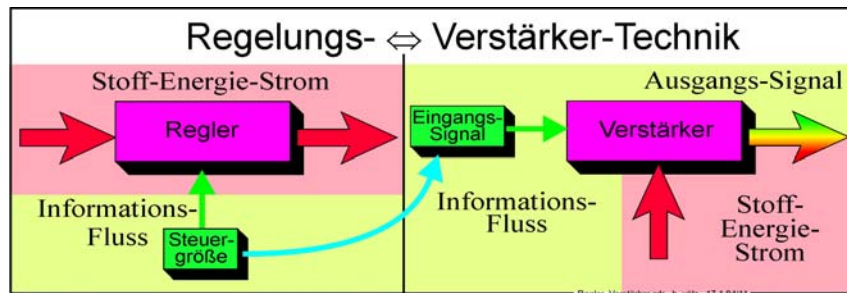
Sie ist wesentlich für die meisten technischen Verstärker und benutzt immer beeinflusste, gesteuerte Elektronen



Inhalt des *Gebrauchs um 1900* ist unklar
Für die *Lücke um 1990* ist kein Grund erkennbar

Elektronenröhre

Beruhet auf der Steuerung frei beweglicher Elektronen
Kann daher auch als Abwandlung der Steuerung angesehen werden



Kohle-Mikrofon als Verstärker

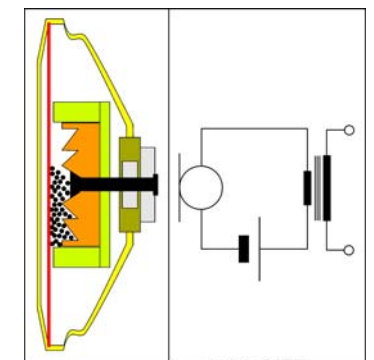
Kann als indirektes, analoges Pendant zur Röhre angesehen werden

- 1860 JOHANN PHILIPP REIS (1834 - 1874) Widerstandsänderung (Platinkontakt) als Mikrofon für sein Telephon
- 1877 EMILE BERLINER (1851 - 1929) Patent: Telefon-Mikrofon = loser Kontakt zwischen zwei Kohlestücken
- 1877 THOMAS ALVA EDISON (1847 - 1931) unabhängige Entwicklung des Kohle-Mikrofons

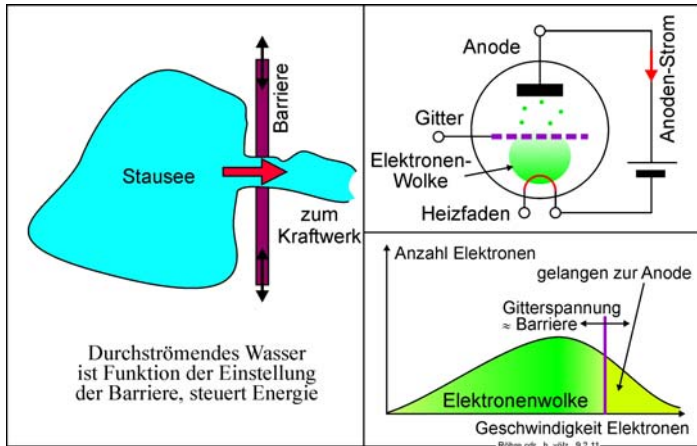
Die *Kontaktflächen* zwischen den Kohlekörnern bestimmen den *Widerstand* des Mikrofons.

Ihre Summe wird über die Bewegung der Membran geändert

Zur Leistungssteuerung entstand später der *Kohleldruckregler*, bei dem viele Kohlescheiben zu einer Säule aufgereiht sind er wurde u. a. zur *Steuerung von Motoren* eingesetzt



Prinzip Röhre



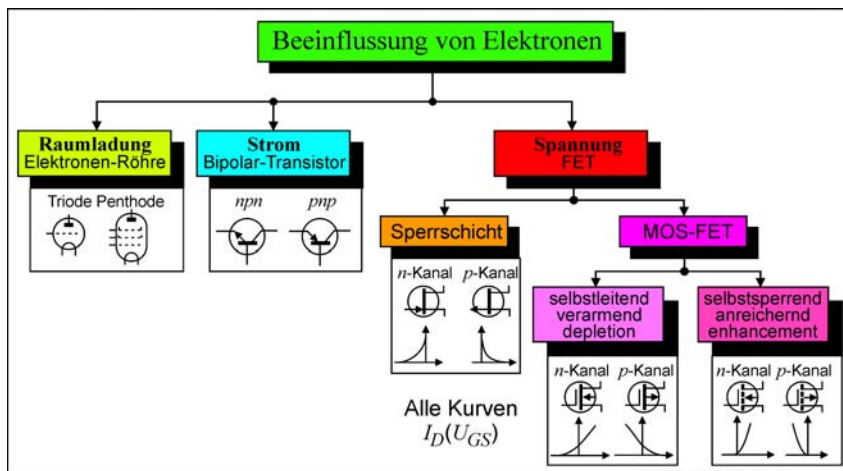
Warum wird so gut wie keine Energie zur Verstellung der Barriere benötigt?
 Warum steuert die negative Gitterspannung praktisch leistungslos den Anodenstrom?
 Es können nur Elektronen mit einer größeren Bewegungs-Energie die negative Spannungsbarriere überwinden

Geschichte der Elektronenröhre

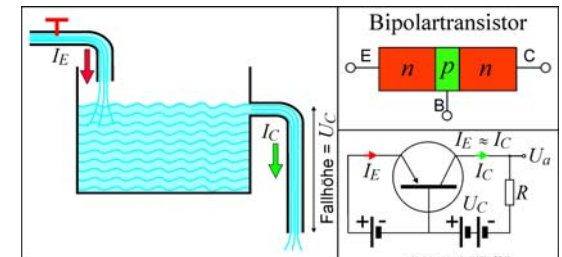
- 1883 THOMAS ALVA EDISON (1847 - 1931) entdeckt **Glüh-effekt**, Elektronenausstritt, Zusatzelektrode (Diode)
- 1879 WILLIAM CROOKES (1832 - 1919) beschreibt wesentliche Eigenschaften der **Katodenstrahlen**
- 1897 KARL FERDINAND MARQUIS DE BRAUN (1850 - 1918) erfindet mit JONATHAN ZENNECK die **Katodenstrahlröhre**
- 1901 OWEN WILLIAMS RICHARDSON (1879 - 1959) Gesetz der **Glühemission**
- 1906 ROBERT VON LIEBEN (1878 - 1913) Patent **quecksilbergefüllte Verstärkeröhre, 2 Elektroden**, elektrische oder magnetische Beeinflussung
- 1902 PETER COOPER-HEWITT patentiert **Quecksilberdampfgleichrichter**
- 1904 JOHN AMBROSE FLEMING (1849 - 1945) patentiert **Vakuum-Diode**
- 1906 LEE DE FOREST (1873 - 1961) meldet **gasgefüllte Audionröhre** mit zusätzlichem Gitter zum Patent an
- 1912 FOREST von Bell Telephone Laboratories stellt **Röhrenverstärker** vor
- 1913 Röhrenverstärker für **Telefonverbindungen** zwischen New York und Baltimore
- 1914 Röhrenverstärker für **Atlantik-Seekabel**
- 1916 Bei Siemens & Halske entwickelt WALTER SCHOTTKY (1886 - 1976) **Tetrode** (Schirmgitterröhre)
- 1924 Französische Firma Métal produziert **Doppelgitter-Röhre** als Mischröhre für Radioempfänger
- 1926 BERNARD D. H. TELLEGEN (1900 - 1990) entwickelt bei Philips die **Pentode** zur Serienreife
- 1926 MANFRED BARON VON ARDENNE (1907 - 1997) mit SIEGMUND LOEWE Mehrsystemröhren = **Dreifachröhre**
- 1928 RICHARDSON **Nobelpreis** für Physik (Glühemission)

Transistoren

Hier sind mehrer Varianten der Steuerung entstanden

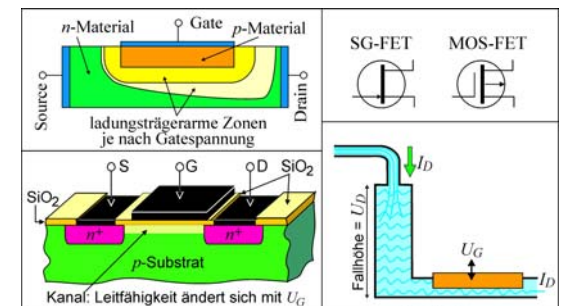


Bipolar-Transistor
 Der Strom I_E wird eingeschleust dann nahezu vollständig zu I_C übernommen
 Die Leistungs-Verstärkung erfolgt mittels $U_C \sim$ Fallhöhe



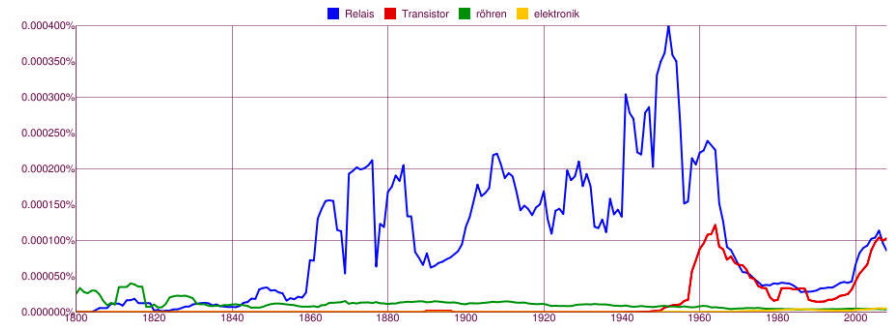
Feldeffekt-Transistoren

Die Steuerung von I_D erfolgt über U_G gemäß dem Kanal-Widerstand



Transistor Geschichte

- 1925 JULIUS EDGAR LILIEFELD (1881 - 1963) meldet elektronisches Bauelement (**FET**) an
1934 OSKAR HEIL konstruiert und patentiert ersten **FET mit isoliertem Gate**
1948 JOHN R. PIERCE prägt **Begriff Transistor**
1942 HERBERT MATARÉ experimentiert bei Telefunken mit **Duodiode** für Doppler-Funkmeß-Systeme (RADAR)
1947 William Bradford SHOCKLEY (1910 - 1989) und John PEARSON (1908 - 1991) funktionierenden **Bipolar-Spitzen-Transistor** Bell Labs
1948 Patentanmeldung für europäische Erfindung „**Transistron**“
1955 Beginn der **Planartechnik**
1956 SHOCKLEY, JOHN BARDEEN (1901 - 1991) und WALTER Houser BRATTAIN (1902 - 1987) **Nobelpreis für Physik**
1962 P. WEIMER entwickelt **Dünnschichttransistoren** (thin film transistor, **TFT**)
1966 CARVER MEAD entwickelt **Feldeffekttransistor** (MESFET) mittels **GaAs**



Geschichte der **Röhren** ist nicht über den Begriff erkennbar, jedoch **Transistor**
Der Begriff **Elektronik** ist dagegen recht aussagekräftig

Leistungs-Bilanz

Es sind zwei Verstärker-Anwendungen zu unterscheiden

(Klein-) Signal-Verstärker

Weil die Ein- und Ausgangs-Signale **sehr klein** sind, ist die notwendige **Hilfsenergie unwesentlich**
Andere im Verstärker vorhandener Energieverluste bestimmen wesentlich stärker den Energie-Verbrauch

Leistungs-Verstärker

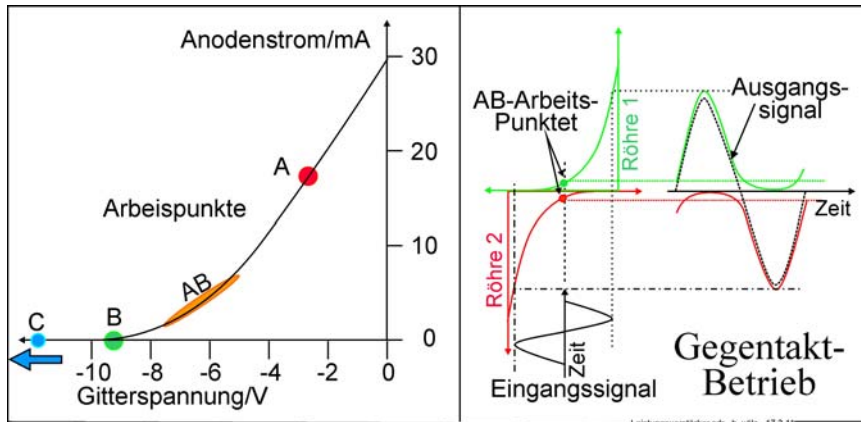
Sie sollen eine erhebliche **Energie des Ausgangssignals** bereitstellen
Andere Energie-Verluste im Verstärker sind dann gegenüber der geforderten Ausgangsenergie vernachlässigbar
Weiter ist zu beachten, dass alle Energie-Verluste in **Wärme umgesetzt** werden \Rightarrow zusätzliche **Kühlung**
Daher ist meist der **Wirkungsgrad** der Wandlung bezüglich Hilfs- zu Ausgangsenergie wesentlich
Das erfordert deutlich **andere Dimensionierungen und Schaltungen**

A-, B- und AB-Verstärker

Beim **A-Verstärker** liegt der Arbeitspunkt auf der **Mitte des geradlinigen Teils** der Kennlinie
Ohne Aussteuerung fließt der Ruhestrom I_0 , die maximale **Stromänderung beträgt** $\Delta I < \pm I_0$
Nur bei **Voll-Aussteuerung** ist ein Wirkungsgrad η von **nahezu 50 %** zu erreichen
Bei kleineren Aussteuerungen gilt $\eta \ll 50\%$, für sehr kleine sogar mit $\eta \rightarrow 0$

Der **B-Verstärker** legt den Arbeitspunkt in die Nähe von $I_0 = I_A = \rightarrow 0$
Dann treten aber starke **Signal-Verzerrungen** auf, es wird nur die **positive Halbwelle** des Signals verstärkt
Für die **negative Halbwelle** ist ein **zweiter „reziproker“ Verstärker** erforderlich
Beide Verstärkerteile werden anschließend im **Gegentakt-Betrieb** zum A-Verstärker zusammengefügt
Englisch push and pull = ziehen und schieben
Bei **Vollaussteuerung** gilt hier $\eta \rightarrow 1$
Zur Senkung von Verzerrungen ist auch im B-Betrieb ein **endlicher Ruhestrom I_0** erforderlich
Dadurch bleibt dann η deutlich kleiner als 1, und für kleine Aussteuerungen gilt weiter $\eta \rightarrow 0$

Der **AB-Verstärker** ist ein Mittelweg zwischen den Extremen A und B
Der Arbeitspunkt wird durch einen Ruhestrom $0 < I_{AB} < I_A$ bestimmt
Gegenüber B besitzt er **geringe Verzerrungen** bei einem schlechteren Wirkungsgrad



Der C-Verstärker

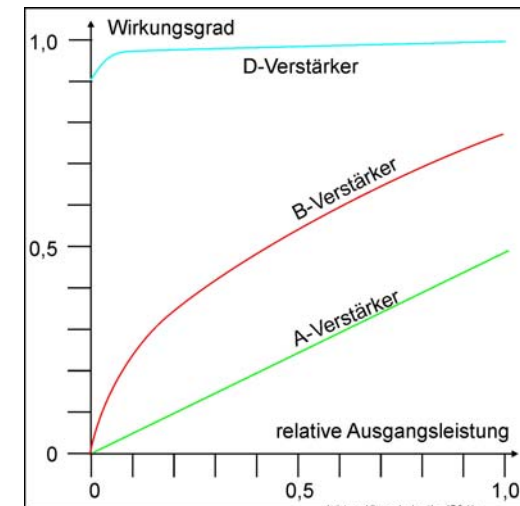
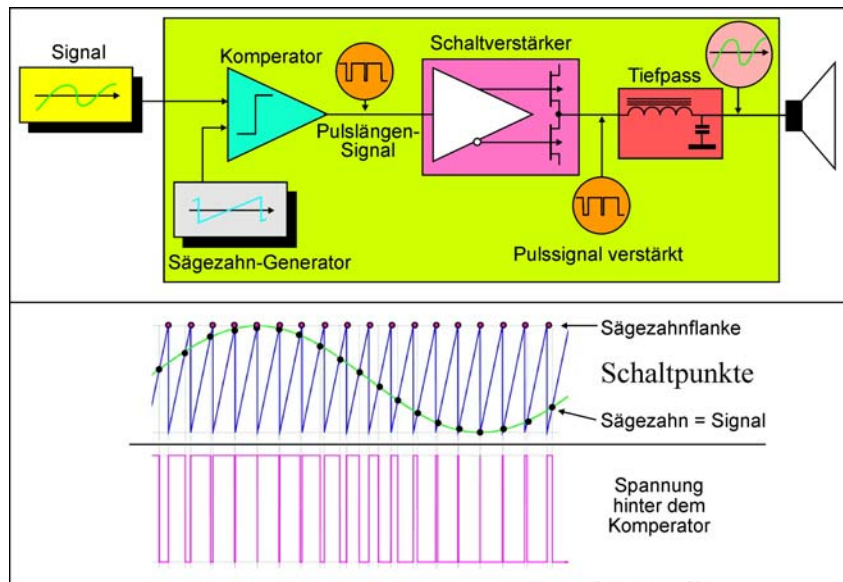
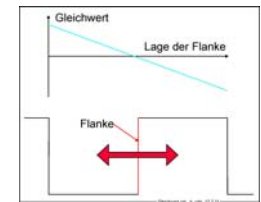
Sein Arbeitspunkt ist so weit *nach links* verschoben, dass nur *Signalspitzen* einen Ausgangsstrom bewirken. Dadurch treten sehr *starke Verzerrungen* auf, die z. B. bei *Sendern mit einer Trägerfrequenz* zulässig sind. Es wird dann eben nur die herausgefilterte Grundwelle genutzt. So ist fast immer ein Wirkungsgrad $\eta \approx 1$ erreichbar, heute werden C-Verstärker kaum noch angewendet.

Der D-Verstärker

Benutzt ein deutlich *anderes Verstärkerprinzip*. Obwohl es lange bekannt ist, wurde es erst mit der *Digitaltechnik* praktisch nutzbar. Insofern steht das *D nicht für digital* sondern ist eine schlichte Fortzählung von A über B und C.

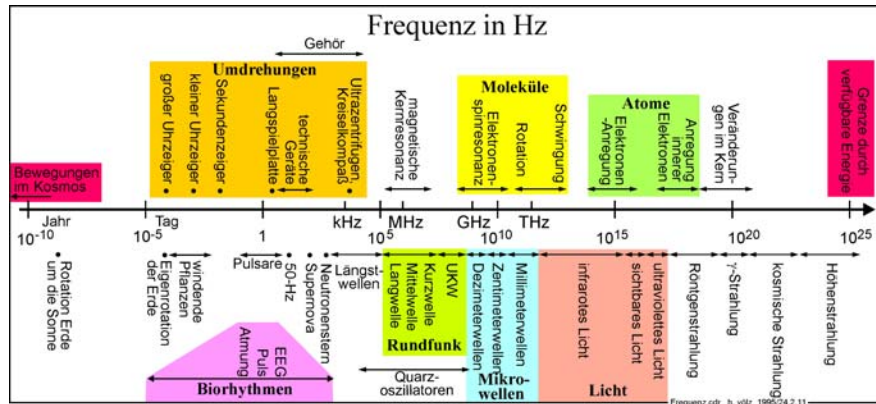
Bei einer Rechteckschwingung kann der *mittlere Übergang verschoben* werden. Dadurch ändert sich ihr *Gleichwertanteil*.

Beim D-Verstärker wird er mit der *Signalfrequenz* f_s verschoben. Dazu muss allerdings für die *Impulsfrequenz* $f_p \gg f_s$ gelten. Abgetrennt wird dann die Signalleistung mit einem *Tiefpass*.



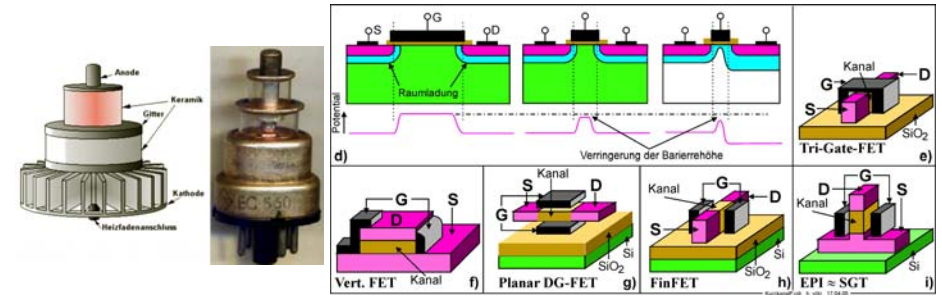
Frequenz-Bereiche

Verstärker müssen bei unterschiedlichen Frequenzen arbeiten, der gesamte Bereich ist sehr groß
Probleme treten besonders bei hohen Frequenzen auf



Frequenz-Grenzen

Bei **Röhren** wirkt sich die **Laufzeitverzögerung** auf dem Weg der Elektronen nachteilig aus
Bei **FETs** ist die notwendige **Kanallänge**, beide Effekte werden bei **Mikrowellen** störend
Zusätzlich begrenzen immer vorhandenen Kapazitäten und Induktivitäten
Daher kann oberhalb einiger GHz die Steuerspannung nicht mehr effektiv die Ausgangsgröße verändern



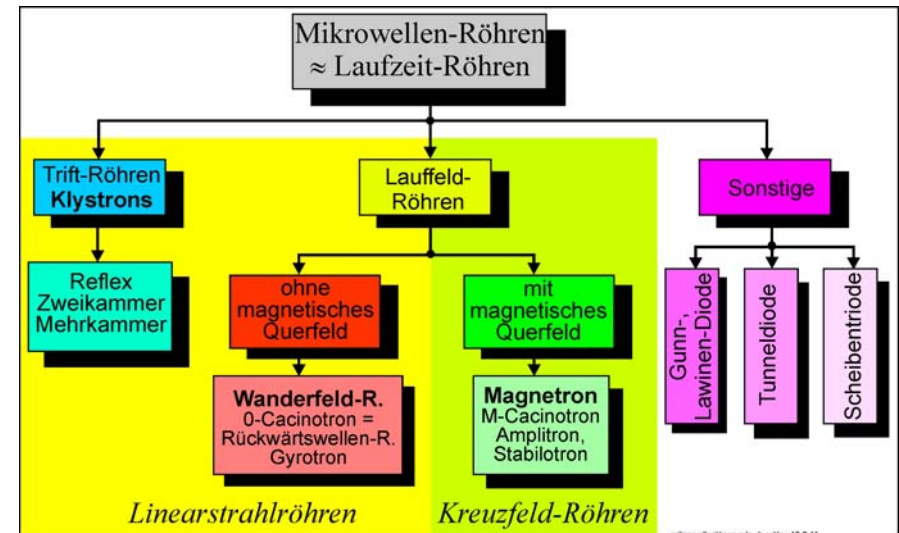
Scheiben-Trioden, $f_{ob} \approx 10$ GHz
Abstand Gitter-Kathode $< 10 \mu\text{m}$

Auswege bei FETs gegen Kurzkanal-Probleme,
vor allem 3-dimensionale Strukturen

Mikrowellen-, Laufzeit-Röhren

Wie auch sonst in der Technik üblich, lassen sich auch hier die **begrenzenden Effekt konstruktiv** nutzen
Das wird mittels der **Laufzeitröhren in unterschiedlichen Varianten** genutzt
Statt der üblichen Leitungen sind **Wellenleiter oder Koaxialkabel** erforderlich
In einigen Fällen kommen zur **zusätzlichen Verzögerung** auch **Drahtwendeln** vor
Die Schwingkreise werden durch **Hohlraum-Resonatoren** (auch als Schlitze oder Vertiefungen) ersetzt
U.a.: **Klystrons**, **Wanderfeldröhren**, **Magnetrons**, besondere Halbleiter, z. B. **Tunnel-**, und **GUNN-Elemente**

Eine spezielle, heute nicht mehr übliche Variante betrifft den **BARKHAUSEN-KURZ-EFFEKT**
HEINRICH BARKHAUSEN (1881 - 1956)
Das Gitter wird positiv, die Anode negativ geladen
Dadurch fliegen die Elektronen beschleunigt durch das Gitter zur Anode
Werden dort reflektiert zum Gitter, durch deren Lücken usw.



Zur Geschichte

- 1912 entwickelt HEINRICH GREINACHER (1880 - 1974) eine Röhre zur **Messung von e/m** bei Elektronen
- 1921 bestimmt hierauf ALBERT W. HULL die Theorie der Flugbahnen von Elektronen und baut das **Magnetron** ursprüngliches Ziel war allerdings ein **Verstärker**
- 1921 unabhängig bauen ERICH HABANN in Jena (100 MHz) und AUGUST ŽÁČEK in Prag (1 GHz) ein Magnetron
- 1935 meldet HANS ERICH HOLLMANN Patent für das Vielschlitz-Magnetron, erteilt 1938
- 1937 **Klystron** von RUSSELL und SIGURD VARIAN unter Mithilfe von WILLIAM WEBSTER HANSEN erfunden
- 1954 WILLIAM BRADFORD SHOCKLEY (1910 - 1989) vermutet Tunnel-Dioden
- 1957 LEO ESAKI (*1925) baut erste Tunnel-Diode mit hochdotierten Halbleitern
- 1963 GUNN-Diode wird von JOHN BATTISCOMBE GUNN (1928 - 2008) vorgestellt

Klystron = Triftröhre

*Griechisch **κλύζειν** anbranden; **-tron** = Suffix zur Bezeichnung eines Gerätes, Werkzeugs*

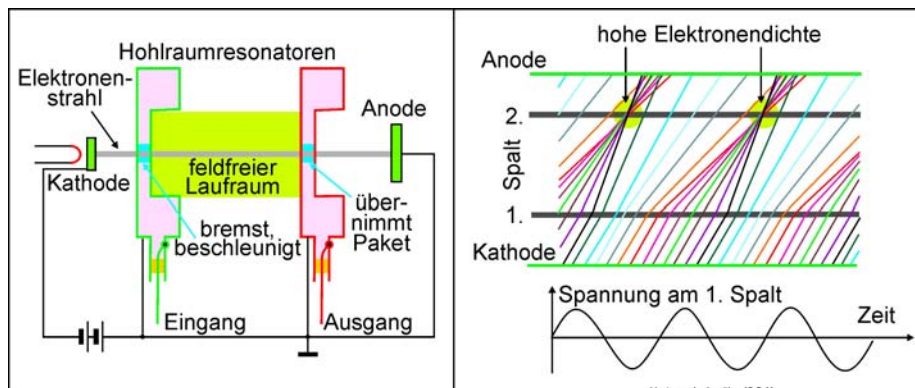
Es besteht im Wesentlichen aus einer **Elektronen-Strahl-Kanone** und **zwei Hohlraum-Resonatoren**
 Die Elektronen durchfliegen nacheinander beide Resonatoren
 Gemäß dem aktuellen **Feld im ersten Resonator** werden sie bzgl. ihrer Geschwindigkeit **beschleunigt, gebremst**
 Nach einer gewissen **Laufzeit** (= Driftstrecke) überholen die schnellen Elektronen die langsameren
 Es entsteht eine **Dichtemodulation** des Elektronenstrahls
 An bestimmten Orten bilden sich so **Elektronen-Pakete** (= bunche) aus, die von „Lücken“ getrennt sind
 Der **zweite Resonator** wird an den Ort der Pakete gelegt, und so zu **verstärkten Schwingungen** angeregt

Höhere Verstärkerleistung und größer Bandbreite ermöglichen **Mehrkammerklystrons**
 = Hintereinanderschalten von etwas unterschiedlich abgestimmten Resonatoren und Triftstrecken

Der **dichtemodulierte Elektronenstrahl** enthält viele Oberwellen
 Daher ermöglichen Klystrons auch leistungsfähige **Frequenzvervielfacher**

Klystrons sind für **Frequenzen** von 0,5 bis 500 GHz geeignet
 Dauerstrich-**Leistungen** reichen bis 1 MW, Impulsleistungen bis 100 MW

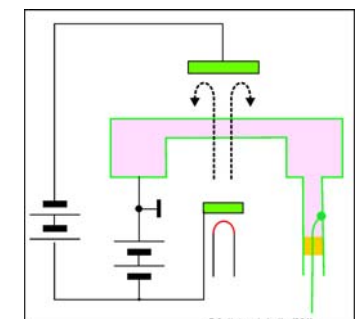
Zwei-Kammer-Klystron



Im ersten Hohlraum-Resonator werden die Elektronen zusätzlich beschleunigt bzw. gebremst
 Im feldfreien Raum überholen die schnellen die langsamen Elektronen
 So entstehen nach einer Laufzeit unterschiedlich dichte Elektronen-Pakete
 Sie geben im zweiten Resonator ihre (verstärkte) Energie ab

Reflex-Klystron

Es wird nur **ein Hohlraum-Resonator** verwendet
 Durch eine **Gegenspannung** werden die **Elektronen reflektiert**
 So erreichen die entstandenen Elektronen-Pakete wieder den Resonator
 Regen ihn dadurch verstärkt an und es entsteht **Selbsterregung**
 Das Reflex-Klystron ist also ein **Oszillator** für hohe Frequenzen
 Änderung der Reflektorspannung ermöglicht **Frequenzmodulation**
 Oft ist zusätzlich der **Hohlraum mechanisch verstimmbar**



Wanderfeld-Röhre

Englisch Travelling Wave Tube (TWT)

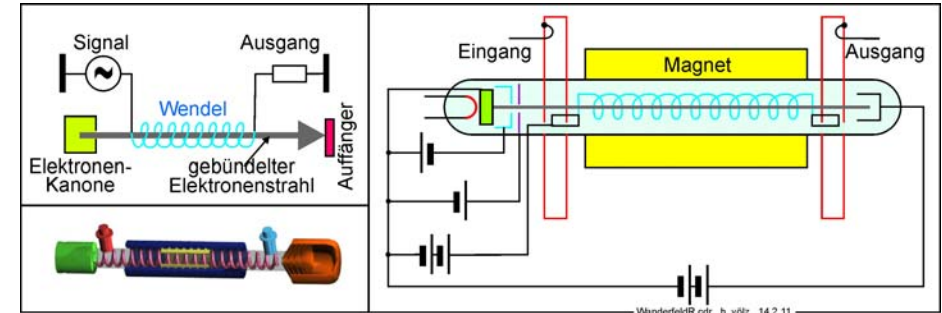
Entscheidend ist **Wechselwirkung** zwischen **Elektronenstrahl** und **bewegtem elektrischem Feld**
 Elektrische **Felder** breiten sich immer mit etwa **Lichtgeschwindigkeit** $\approx 3 \cdot 10^8$ m/s aus
 Elektronen fliegen wesentlich langsamer, 1 kV **beschleunigt** gilt $v_e \approx 7 \cdot 10^6$ m/s
 Feldausbreitung wird mittels einem **spiralförmigen Leiter** (Helix) auf v_h reduziert, das nur wenig kleiner als v_e ist
 Der **Elektronenstrahl** wird fein **fokussiert** durch Helix geleitet, hierzu dient ein statisches **Magnetfeld** $\approx 0,1$ Tesla
 Die bewegten Elektronen übertragen dann **Energie auf die Helix** und **verstärken** so ein dort **vorhandenes Signal**
 Wegen $v_e > v_h$ wirkt der **CERENKOV-Effekt**, infolge der Laufzeit treten nämlich wieder **Pakete** (bunches) auf
 Ein- und Auskopplung des Signals erfolgt mittels koaxialem Anschluss; Hohlraum-Resonator oder Hohlleiter

Wanderfeldröhren erzeugen im Bereich **von 1 bis 20 GHz** kleine bis mittlere Leistung
 Trotz **großer Verstärkung** > 20 dB sind sie sehr **breitbandig** ≈ 300 MHz

Die hohe Verstärkung der Wanderfeldröhre kann leicht zur **Selbsterregung** führen nämlich dann,
 wenn auf der Wendel **zurücklaufende Signale** wirksam werden
 daher wird oft in der **Röhrenmitte** ein **Dämpfungsglied** eingefügt

Verwandte Typen sind u.a.:

Carcinotron (Rückwärtswellenröhre) als Oszillator
Gyrotron starker Mikrowellengenerator bis zu Millimeterwellen



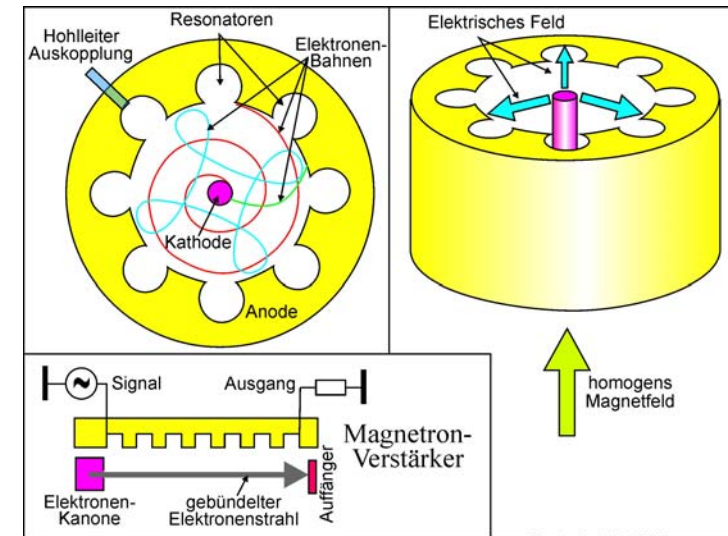
Magnetron

ist **keine Verstärkeröhre**, nutzt aber ebenfalls **Laufzeiteffekte** aus
 Dabei sind die **Hohlraum-Resonatoren**, Schlitze, Spalte usw. endlos **kreisförmig** angeordnet
 Sie bilden die **geerdete Anode**. Die **Kathode** ist **zentral** eingefügt, besitzt negative Spannung von **einigen kV**
 In Richtung der Achse wirkt ein homogenes Magnetfeld (**Permanentmagnet**)
 \Rightarrow Bezeichnung **Kreuzfeldröhren** (englisch crossfield amplifier = CFA) ab
 Zusammenwirken von radial elektrischen und axial magnetischem Feld zwingt Elektronen auf **Zykloidenbahnen**
 Nur Elektronen mit der „richtigen“ Geschwindigkeit erreichen die Resonatoren der Anode streifend
 Dabei bildet sich verstärkt die Oszillatorfrequenz aus, annähernd gilt $f \approx 20$ GHz·B[T]

Typische **Frequenzen** 0,3 bis 30 GHz, **Wirkungsgrad** sehr hoch bis zu 80 %, **Lebensdauer** 5000 h recht gering
 Im **Dauerbetrieb** werden bis zu 30 kW, im **Impulsbetrieb** (u. a. Radar-Anlagen) bis 10 MW erreicht
Dauerstrichmagnetrons mit 2,45 GHz (Industriefrequenz) kommen zur Anwendung:
Industriell (u.a. Trocknung ≤ 6 kW), **Haushalt** (Mikrowellenherde ≈ 1 kW), **Medizin** (Erwärmung ≈ 200 W)

Asynchronmotor, besser -generator ist ein mechanischer Vergleich

Das Magnetron-Prinzip ist auf **linear angeordnete Resonatoren** (Runzelleiter) übertragbar
 Dann entstehen **Verstärker**, die auch **Wanderfeld-Verstärker** genannt werden, u.a. das **Amplütron**
 Mittels Rückkopplung entstand das **Stabilotron**. Wegen **geringer Stabilität** erlangten sie alle keine Bedeutung



Bedeutung negativer Widerstände

Bei OHM-schen Widerständen ist der fließende Strom I der angelegten Spannung U proportional: $I = U/R$

Bei einigen Bauelementen gibt es **nichtlineare Zusammenhänge**

Typisch hierfür sind u. a. Tunnelioden, Gunn-Elemente und Gasentladungen

Dabei kann ein **Bereich** mit differentiellem **negativem Widerstand** vorkommen $U \uparrow \Rightarrow I \downarrow$: $R = -\Delta U / \Delta I$

Verluste auf Leitungen, bei Übertragungen usw. können durch **dämpfende Widerstände** erklärt werden

Daher können negative Widerstände diese **kompensieren** und so **indirekt** zu einer **Verstärkung** führen

Ihr **Vorteil** wird durch die historische **Gabelschaltung** der Nachrichtentechnik deutlich

Er wird einfach durch ein Bauelement mit negativer Kennlinie „ersetzt“, das der Leitung parallel geschaltet wird

Wird der negative Widerstand zu groß, so tritt **Selbsterregung** auf \Rightarrow **Oszillator**

Stabiles Verhalten wird meist dadurch erreicht, dass der **Strom** und nicht die Spannung **vorgegeben** wird

Infolge der Kleinheit der Bauelemente sind sie z. T. auch Mikrowellen geeignet

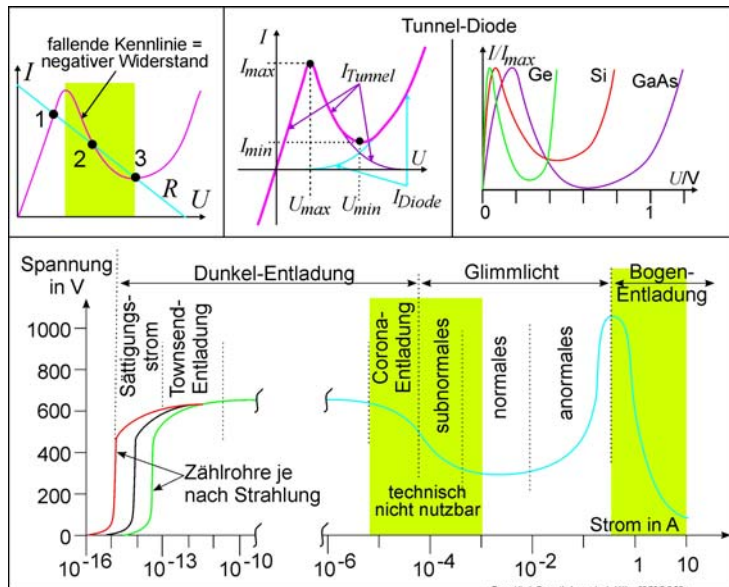
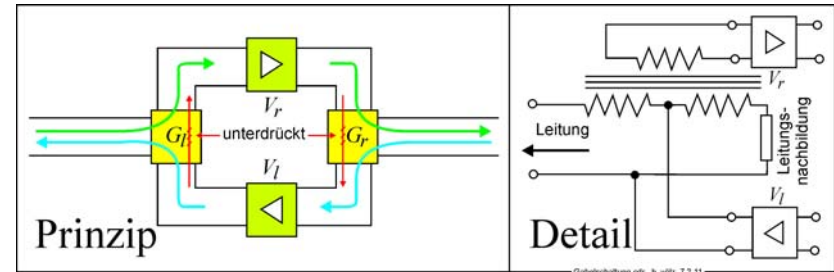
Gabelschaltung

Auf Telefonleitungen usw. wird gewöhnlich Information **gleichzeitig in beide Richtungen** übertragen
Infolge der Verluste (Dämpfungen) auf den Leitungen sind **Verstärker für beide Richtungen** notwendig

Hierbei besteht die Gefahr der gegenseitigen Rückkopplung und damit Schwingungserregung

Aus diesem Grund entstand die **Gabelschaltung**, welche das ausschließt

Inzwischen werden für die beiden Richtungen meist unterschiedliche Frequenzen benutzt



Gunn-Element

besteht nur aus unterschiedlich **n-dotierten Halbleiterbereichen**, vorwiegend GaAs, GaN, InP

Obwohl es also **keinen pn-Übergang** besitzt, ist auch der falsche Name **Gunn-Diode** gebräuchlich

Der zuständige **Effekt** wurde 1963 von JOHN BATTISCOMBE GUNN (1928 - 2008) an GaAs entdeckt

An der **mittleren, weniger stark dotierten Zone** ($\approx 10 \mu\text{m}$ lang), fällt die überwiegende Spannung ab

Hier nimmt die **Elektronenbeweglichkeit** mit steigender Feldstärke ($> 2 \text{ kV/cm}$) ab

Bei höherer Spannung wird der Strom geringer = **negative Kennlinie**, das bewirkt Instabilität

Ursache: Elektronen-Transfer vom Bandminimum geringer zum höherer Energie und kleiner Beweglichkeit

Als Folge **wandern Zonen** geringer Elektronenbeweglichkeit und hoher Feldstärke durch die Schicht

Je nach Kristallabmessungen usw. entstehen so Frequenzen von bis 150 GHz, bei GaN bis 3 THz, $\leq 300 \text{ mW}$

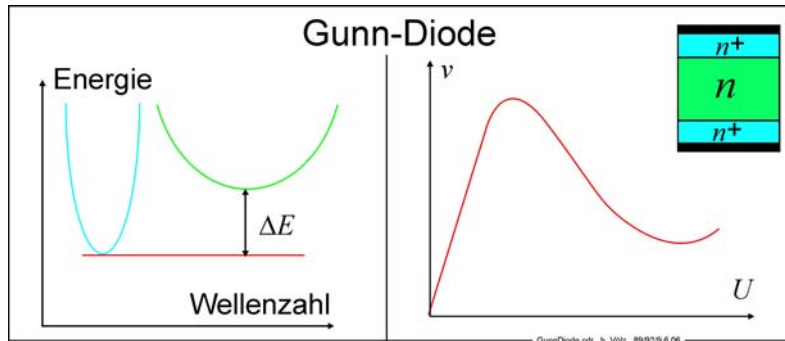
Weitere Halbleiter-Bauelementen für Mikrowellen

Das Baritt-Prinzip (Barrier injection transit time) entdeckte bereits 1934 J. MÜLLER

für Halbleiter wurde es 1954 WILLIAM BRADFORD SHOCKLEY (1910 - 1989) eingeführt

Das Lawinen-, Laufzeit-Prinzip wurde 1958 von W. T. READ gefunden

Die Tunnel-Diode (1958) geht auf LEO ESAKI (*1925) zurück, nutzt quantenmechanischem Tunneln. u. a. [6]



Indirekter negativer Widerstand

Es gilt die BARKHAUSEN-Beziehung aus Steilheit S , Durchgriff D und Innenwiderstand R_i
 HEINRICH BARKHAUSEN (1881 - 1956)

$$S \cdot D \cdot R_i = 1$$

Mit dem Arbeitswiderstand R_a folgt die Steuergleichung $i_a = S(u_i + D \cdot u_a)$ und $u_a = -i_a \cdot R_a$, somit gilt

$$V = \frac{u_a}{u_i} = \frac{1}{D} \cdot \frac{R_a}{R_a + R_i} = S \cdot \frac{R_a \cdot R_i}{R_a + R_i}$$

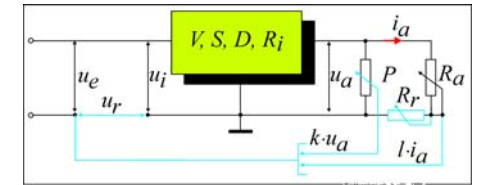
Es gibt Rückkopplungsfaktoren k für die Ausgangsspannung u_a und l für den Ausgangsstrom i_a

Mit der Rückkopplungsspannung gemäß $u_r = -k \cdot u_a + l \cdot i_a$ und

$$\begin{cases} \text{sign } k \\ \text{sign } l \end{cases} = \begin{cases} + \\ - \end{cases} \text{ bei } \begin{cases} \text{Mitkopplung} \\ \text{Gegenkopplung} \end{cases}$$

folgt dann für die Werte mit Rückkopplung

$$S^* = \frac{S}{1 - l \cdot S}; \quad D^* = D - k; \quad R_i^* = R_i \cdot \frac{1 - l \cdot S}{1 - k}$$



Es ist also leicht möglich den wirksamen **Innenwiderstand negativ**, **Verluste** von z. B. R_a unwirksam zu machen
 Auch so können indirekt Verstärkungen in beide Richtungen einer Leitung realisiert werden [7], [8]

Mechanische Analogie

Für den negativen Widerstand ist **leider keine gute Analogie** bekannt

Die Verluste einer Leitung können brauchbar mit **Reibungsverlusten** verglichen werden

Ein **negativer Widerstand** entspricht dann ihrer **Reduzierung**

Die ist z. B. durch **Ölen oder Schmieren** möglich, dann bleibt in Körper **länger in Bewegung**

Bei **mechanischen Schreibern** war es auch üblich, den Reibungswiderstand durch **Vibrieren** zu senken

Durch Bewegung der **Sinneshärchen im Gehör** können wir deutlich besser hören

Leider entsteht dadurch zuweilen auch Tinnitus, der dann durch entsprechenden Schall verschwindet

Das Bestreichen des **Geigenbogens mit Seife** wird im Theater benutzt, dieses Geigen wird dann unhörbar

Maser, Laser als Verstärker

microwave bzw. light amplification by stimulated emission of radiation
 Mikrowellen- bzw. Lichtverstärkung durch stimulierte Emission von Strahlung

Maser meist als **Verstärker**. **Laser** dagegen selten, meist als **Schwingungserzeuger**

Beim Maser auch Begriffe wie **Molekular-** oder **Quanten-Verstärker** gebräuchlich

Beide nutzen die **gleichen physikalischen Gesetze**, jedoch bei unterschiedlichen Frequenzen

stimulierte Emission + quantenphysikalisches **Bändermodell** + 3 Terme

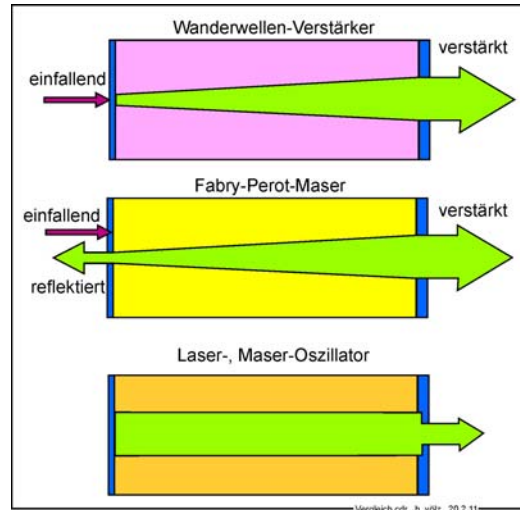
Maser \approx 100 kHz - 100 GHz, $\lambda \approx$ mm bis km

Laser vorwiegend im **sichtbaren** Bereich von 400 - 800 nm

Es gibt auch Laser für **Infrarot** und **UV**, sogar für **Röntgenstrahlung**

In den letzten Jahren sind analog funktionierende **Atom-** und **Molekulaser** entstanden
 kohärente Atom-, Molekülstrahlen = kohärente **Materiewellen**

Vergleiche



Als Verstärker: linker Spiegel wenig, rechter mehr durchlässig

Als Oszillator, linker Spiegel undurchlässig, rechter $\approx 1 - 10\%$

Laser-Varianten

Wichtige Unterscheidungen betreffen das **Lasermaterial** und z. T. die **Energie des Pumpens**

- **Festkörper-Laser** benutzen speziell dotierte Kristalle als Laser-Material, z. B. Rubin (694,3 nm) *Lateinisch rubeus* rot = Edelstein aus Korund ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$), durch geringe Mengen Cr_2O_3 tiefrot gefärbt YAG (Yttrium-Aluminium-Granat), Neodym (1,064 μm), Ytterbium (940 nm) und Titan (670 - 1100 nm) *Pumpen* erfolgt mittels energiereicher Blitzröhren
- **Gas-Laser**: Resonator mit Gas gefüllt, z. B. HeNe (632 nm), CO_2 (11 μm , wichtiger Industrie-Laser), CO (6 - 8 μm), N_2 (337 nm), Ar (mehrere Linien 450 - 500 nm), He (442 + 325 nm), $p = 10$ bis 10^6 Pa *Pumpen*: elektrische Gasentladung, seltener Mikrowellen, Spektralbereich reicht fernes IR bis UV
- **Farbstoff-Laser** nutzen organische Farbstoffe in alkoholischer Lösung (oft Methanol oder Ethanol) bzw. durchsichtigen Werkstoff mit Farbzentren. *Pumpen* mit Blitzröhren oder Stickstoff-Gas-Laser Sind zuweilen in einen Wellenbereich durchstimmbar
- **Chemische Laser** nutzen zum *Pumpen* von chemische Reaktionen
- **Halbleiter- = Injektions-Laser** nutzt den Stromfluss eines *pn-Übergangs* zum *Pumpen* besitzt negativen Temperaturkoeffizienten \Rightarrow Gefahr der Selbsterstörung \Rightarrow Strombegrenzung notwendig Problem der Intensitätssteuerung, oft nur ein- und ausschaltbar

Maser

Genutzt u. a. **Molekülschwingungen** oder **magnetische Dipolübergängen** in Atomen, Vorwiegend **paramagnetische Ionen**, u. a. **Cr-, Fe-, Gd- und Ni-Ionen** mit geringer Konzentration im **nicht magnetischen Kristall**, u. a. Al_2O_3 (Rubin). K-Co-zyanid und TiO paramagnetisches Ion = atomarer magnetischer Dipol, nur diskrete Stellungen zum Magnetfeld möglich Kristall in **Hohlraumresonator**, **Koaxialleitungskreis** auf f_s und f_p abgestimmt Abtrennung reflektierter Welle durch nichtreziprokes Dämpfungsglied, z. B. **Zirkulator** Tiefe Temperatur \Rightarrow z. B.: $f_s = 4$ GHz + $f_p = 30$ GHz. $E_3 < 5\%$ besetzt $\Rightarrow T < 3,2$ K $\Rightarrow < 4,2$ K flüssiges He \Rightarrow geringer Rauschpegel + kein Schrotrauschen (Röhre, Transistor) = Verstärkung extrem schwacher Signale

Beispiele

Rubin-Maser: $f_s = 3,7$ bis $4,2$ GHz, $f_p = 30$ GHz, $N_p \approx 100$ mW, Leistungsverstärkung 10^3 , Bandbreite 50 MHz, Magnetgleichfeld ≈ 3 kOe, muss längs des Kristalls auf 1° eingehalten werden Rauschtemperatur $\approx 3,5$ K, magnetisch durchstimmbar ≈ 350 MHz

H-Maser: **Hyperfeinstruktur bei atomaren H**: Atomkernspin parallel oder antiparallel zum Elektronenspin $\Delta E \approx 10^{-5}$ eV = **1,42 GHz** = **21-cm-Linie**, Lebensdauer ≈ 1 s; freie H-Atome in mit Teflon ausgekleideter „Speicherkugel“ aus Quarz, $\Delta f < 1$ Hz

NH₃-Maser; $\lambda = 12,7$ mm: H-Atom schwingt durch von 3 Wasserstoffatomen aufgespannte Ebene hindurch

Ein-Atom-Maser als nichtklassische Strahlungsquelle \Rightarrow **Quantencomputer**

Bemerkung: Maser erscheinen als künstliche Geräte, da die Besetzungsinversion erst erzwungen wird Überraschung: um 1960er mit **Radioteleskopen** Reststrahlung vom Urknall (Kosmos) entdeckt u. a. 18-cm-Linie des OH- und 1,35-cm-Linie des H-Moleküls

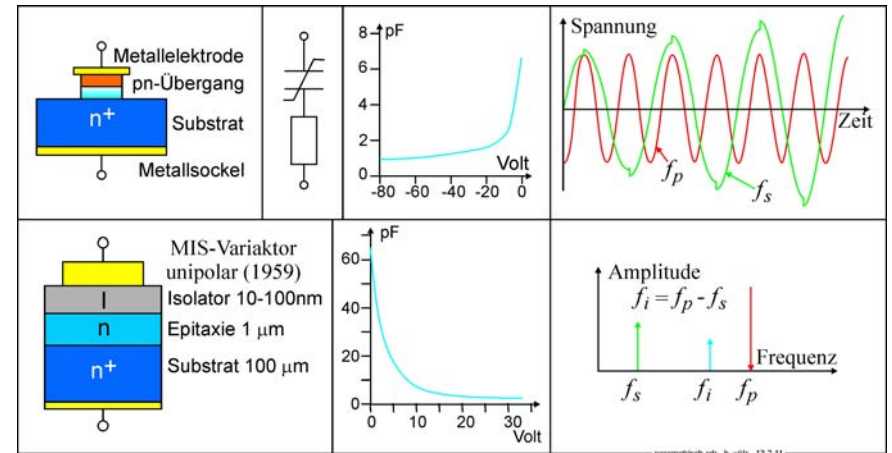
Zur Geschichte

1916 ALBERT EINSTEIN (1879 - 1955) sagt **Stimulierte Emission** voraus
 1928 RUDOLF LADENBURG (*1882) und HANS KOPFERMANN (*1895) weisen stimulierte Emission nach
 1951 CHARLES HARD TOWNES (*1915) **Idee des Lasers**, unabhängig auch JOSEPH WEBER
 1953 mit JAMES P. GORDON und HERBERT ZEIGER **Ammoniak-Maser** realisiert
 1956 NICOLAAS BLOEMBERGEN (*1920) **Festkörper-Maser**, 1957 von DERRICK SCOVIL realisiert
 1957 ARTHUR LEONARD SCHAWLOW (1921 - 1999) **Infrarot-Laser**
 1957 CHIHIRO KIKUCHI demonstriert **Rubin-Maser**
 1958 NIKOLAJ GENNADIJEWITSCH BASSOW (*1922) schlägt **Halbleiter-Laser** vor
 1959 GORDON GOULD (*1920) wesentliche **theoretische Arbeit** zur Definition des Lasers
 1960 NORMAN FORSTER RAMSEY (*1915) baut **Wasserstoff-Maser**
 1960 THEODORE HAROLD MAIMAN (*1927) Laser mit Rubin-Kristall und Blitzlampe für 694 nm
 1962 BASSOW realisiert Injektions-Halbleiter-Laser mit GaAs
 1964 TOWNES, BASSOW und ALEXANDER MICHAJLOWITSCH PROCHOROW (1916 - 2002) **Nobelpreis** für Physik.
 1978 **Laserdisk** mit He-Ne-Gaslaser
 1982 **CD-Spieler** mit Halbleiterlaser
 2004 weltweit $> 5 \cdot 10^8$ Laser **produziert**, $\frac{2}{3}$ für CD-/DVD-Laufwerke, $< \frac{1}{3}$ für Nachrichtentechnik

Anwendungen u. a. Werkstoffbearbeitung, Medizin, Messtechnik, Wissenschaft, Holographie, Daten- und Militärtechnik, speziell z. B. Laserpointer, Lasershow, RGB-Projektoren

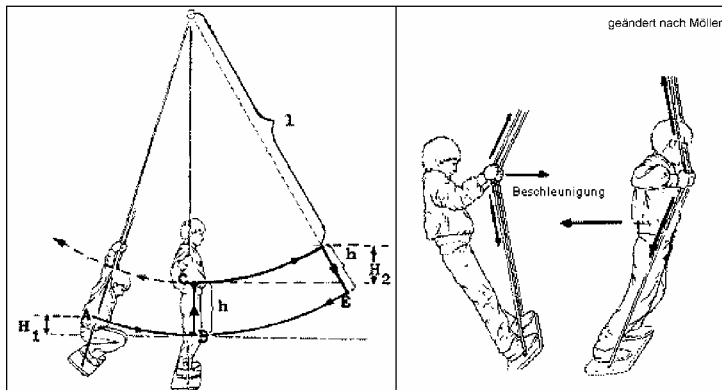
Parametrische Verstärker = Reaktanz-Verstärker

Es wird eine **Kapazität** (Induktivität) benutzt, deren Wert von der angelegten Spannung abhängt = Variaktor, z. B. pn-, Impatt-Diode, MIS-Variaktor (Metall Isolation Silizium) oder SCHOTTKY-Kontakt
 Sie wird in einem **Schwingkreis** benutzt, der auf die **Signalfrequenz f_s** abgestimmt ist
 Das Signal wird mit einer relativ kleinen Amplitude angelegt
 Zusätzlich wird die Diode mit einer **Pumpfrequenz $f_p \approx 2 \cdot f_s / 2$** und erheblich höherem Pegel angeregt
 Dadurch ändert sich die Resonanzfrequenz im Takt der Pumpfrequenz
 Infolge dieser periodischen **Parameter-Änderungen** wird die Signalfrequenz deutlich verstärkt
 Die Schaltung wirkt auf die Signalfrequenz wie ein **negativer Widerstand exponentieller** Anstieg, s. **Pendelrückkopplung**
 Insgesamt treten auch Vielfache **Summen- und Differenzfrequenzen** auf: $f_x = n \cdot f_p \pm m \cdot f_s$
 Am schlechtesten lässt sich die **Idler-Frequenz** (=Hilfsfrequenz) $f_i = f_p - f_s$ ausfiltern (englisch **idler** Müßiggänger)



Analogie-Model der Schaukel

Das in die Hockegehen und sich Ausstrecken entspricht der **Pumpfrequenz**
 Ausstrecken erfolgt im jeweils tiefsten Punkt (Mitte), Ausstrecken in den höchsten Punkten, rechts und links
 Die **Signalfrequenz** entspricht der **Schaukelschwingung** $\approx 1/2$ vom Wechsel Erheben \leftrightarrow Hocke
 Mit diesen Bewegungen kann jedoch die Schaukel nicht von der Ruhe in Bewegung gebracht werden [9]



Verstärkung im Raum

Hauptsächlich für Licht bekannt, erfolgt vor allem durch **Linse** und **Spiegel**
Energiedichte kann im „**Brennpunkt**“ beachtlich groß werden

Auch mit **Laufzeiteffekten** und **Wellenlängen-Dispersion** ist eine Energiekonzentration möglich
 Laufzeitverstärker, aber auch mittels **Impuls-Versichtung** für Kurzeitimpulse der Laser

Bild-Verstärkung = **Vergrößerung** eines **Bildes** bewirken einige optischen Instrumente,
 z. B. **Lupe**, **Mikroskop** und **Fernrohr** als

Ähnliche Prinzipien sind **für alle Wellen** möglich

In der **Akustik** u. a. Lausch-, bzw. Flüster-Ecken, -Bögen, Grammophon-Trichter usw.
 Antike z. B. „Ohr des Dionysos“ auf Sizilien

Zusammenfassung Verstärkung

Es gibt viele unterschiedliche Effekte, die eine Verstärkung bewirken

- **Auf Kosten anderen Größen** bei Energieerhaltungssatz (z. B. Hebel, Rolle, Keil, Getriebe, Transformator)
- **Impulsverstärker**, z. B. Hammer, Axt und Rammme
- **Auslösemechanismen**, u. a. Taster, Relais, Regler, Katastrophen
- **Steuerung von Elektronen**, vor allem Röhre, Transistor, wichtig Kennliniensteilheit $dy/dx + \text{Linearität}$
- **Negative Kennlinie**, negativer Widerstand (Rückkopplung), Bistabilität = Kompensation von Verlusten
- **Parametrische Verstärker** = systematische Änderung von Eigenschaften (aktiv wirkender) Bauelemente, auch Schaukel
- **Laufzeiteffekte** = räumliche Zusammenführung von z. B. Elektronen, u. a. Mikrowellen-Röhren
- **Nutzung metastabiler Zustände**: Maser, Laser; wichtig Quantenphysik
- **Resonanz-Verstärkung**, exponentieller Anstieg, Pendel-Rückkopplung, parametrische Verstärker
- **Konzentration bei Licht, Schall** usw. u. a. Lupe, Mikroskop, Fernglas und Abbildungen

Daneben wichtig: Die Unterscheidung von **Signal-** und **Leistungs-**Verstärkern

Ferner gibt es noch hier nicht behandelte, recht **spezielle Techniken**

Allgemein **fehlt** also eine gemeinsame **wissenschaftliche Grundlage**
Insbesondere gilt dies für die vielen und vielfältigen **Auslöse-Steuerungs-Effekte**

Themenwechsel

0. Einführung, Problem

1. Auslöse-Effekte

2. Verstärker

3. Oszillatoren

4. Verallgemeinerung, Schlussfolgerungen

Verstärker \leftrightarrow Oszillator

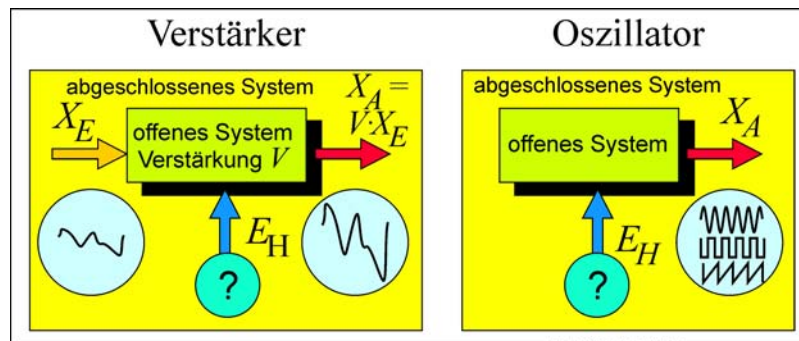
Verstärker und Schwingungen hängen recht eng zusammen

Verstärker sollen ein Geschehen, eine Wirkung vergrößern, (ver-) stärken, erhöhen

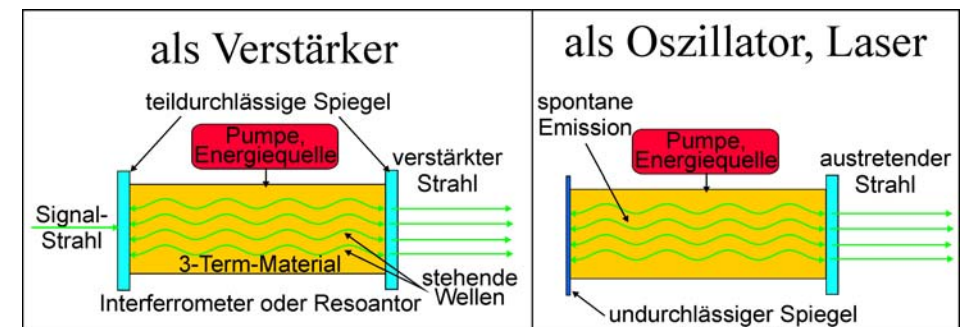
Oszillatoren erzeugen periodische **Schwingungen**, heißen daher auch Generatoren oder Schwingungserzeuger

Schwingungen treten oft infolge von **Rückkopplung bei Verstärken** auf

Periodisches Geschehen hängt oft **Resonanz-Erscheinungen** zusammen, die dann **verstärkend** wirken



Beim Maser bzw. Laser



Siehe auch oben Vergleich mit Wanderwellen-Verstärker

Vierpol als eine Verallgemeinerung

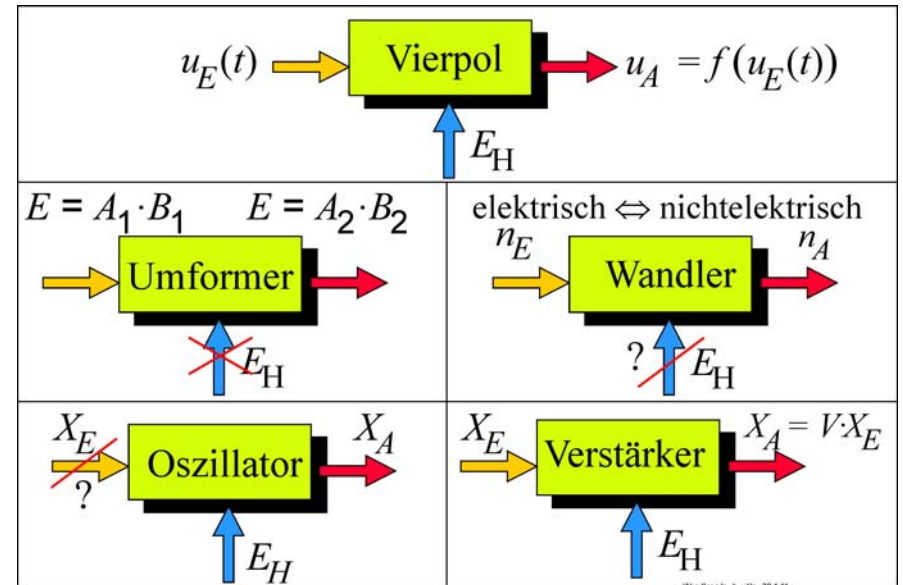
Der typische Vierpol tritt in der Nachrichtentechnik auf, sofern keine Hysterese oder Ähnliches auftritt, gilt zwischen den **Eingangssignalen** $u_A(t) = f(u_E(t))$

Passive Vierpole kommen ohne Zusatz-Energie E_H aus, **aktive** verlangen sie

Zu den Vierpolen gehören u. a. die folgenden **vier Varianten**

Sie sind dadurch gekennzeichnet, dass einige Größen nicht vorkommen

- **Umformer** wandeln eine **Energieart** in eine andere. Sie benötigen meist **keine Hilfsenergie** E_H . Typisch sind z. B. Wechselrichter, Transformatoren, Spannungswandler, mechanische Hebel und Getriebe
- **Wandler** bewirken Umsetzungen: **nichtelektrische Größen** $n_E \leftrightarrow$ **elektrische Signale** u_A , Beispiele sind für Schall Mikrofone und Lautsprecher, für Bilder Fotoapparate und Monitore. Sie benötigen oft E_H . Sie werden hier nicht weiter behandelt, da kein direkter Bezug zum Thema besteht [11]
- **Verstärker** vervielfachen den **Input** X_E mittels zugeführter **Energie** E_H zum größeren **Output** X_A ,
- **Oszillatoren** erzeugen aus zugeführter Energie E_H einen **periodischen Output** X_A nur in Sonderfällen besitzen einer Input X_E , der dann aber nur Parameter der Schwingung steuert



Grund-Begriffe

Oszillator

= selbsttätiger **Schwingungserzeuger, Generator** für Wechselstrom
Lateinisch. *oscillare* sich schaukeln, *oscillum* Schaukel

Generator

Lateinisch *generator* Erzeuger

- **Maschine, Gerät** wandelt mechanische in elektrische Energie um, erzeugt elektrische Spannung/Strom
- **Schachtofen, Apparat** erzeugt Gas aus festen Brennstoffen wie Kohle u. Koks

Schwingung

Deutsch 8 Jh. Zusammenhang mit Schwang, Schwank, schwanken, schwenken

- **Physik:** periodische Änderung einer oder mehrerer Größen (Wellen), u.a. als Sinus, Rechteck, Sägezahn
- **Allgemein:** annähernd regelmäßig wiederkehrende Bewegung, Erscheinung
- **Psychologie:** durch einen Anlass bewirkte Regung, Reaktion, etwa seelische Schwingung
- **Räumlich, Architektur:** bogenförmiger Verlauf: die Brücke besitzt eine eleganter Schwingung

Wichtige Schwingungs-Begriffe

Periode: griechisch *periodos* Umhergehen, Gang um etwas herum, Kreislauf der Zeit und der Gestirne, regelmäßige Wiederkehr in der Zeit, Zeitabschnitt, abgerundeter Redesatz, Abteilung im Vers.
lateinische *periodus* Kreislauf, gegliederter Satz und Satzschlusszeichen

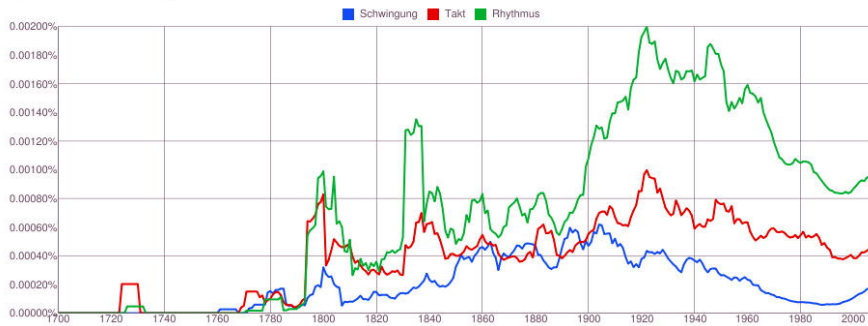
Resonanz: lateinisch *resonare* widerschallen, widerhallen, von *re-* wieder, zurück, *sonare* tönen, hallen

Rhythmus: griechisch *rhythmós*, latein. *rhythmus* gleichmäßige Bewegung, Takt, Gleichmaß, Tonfall der Rede
zu griechisch *rhein* fließen strömen

Synchronisation: griechisch *synchronos* gleichzeitig, von gleicher Dauer und Zeit; griechisch *chronos* Zeit

Takt: Lateinische *tactus* Berührung, Gefühlssinn, Gefühl, *tangere (tactum)* berühren, beeindrucken, zurück

Zyklus Griechisch *kyklos* Kreis, Umkreis, Rad, kreisförmiger Gegenstand, Kreislauf
Lateinische *cyclus* Kreis, astronomischer Zeitkreis, Erd-, Sonnen-, Mondkreis



Dieses Beispiel ermöglicht kaum nützliche Rückschlüsse!

Rhythmus und Takt

LUDWIG KLAGES (1872 – 1956) hat als erster den Unterschied deutlich herausgearbeitet [10]

Bezug	Takt	Rhythmus
Frequenz	so konstant wie möglich besten Wert: Cs-Uhr $\Delta f/f \approx 10^{-14}$	stark schwankend um einen Mittelwert, den Takt
Eigenschaften	wiederholt stur	erneuert, anpassungsfähig, kreativ, ergibt Sinn
Anwendung	Vor allem in der Technik Taktgenerator, Viertaktmotor, Stimmgabel, Uhr Synchronisation	Auf das Leben, den Menschen bezogen Metrum der Musik (aber Taktstrich), Betonung im Gedicht Bewirkt musikalischen, künstlerischen Genuss und Erleben Gefühl für Anstand und Schicklichkeit
Gefahren Probleme	Senkung des thermischen und Quantenrauschen, der Störungen Resonanzkatastrophe, z. B. Kolonne marschiert über eine Brücke Für Menschen ist der Takt ermüdend, anstrengend, bei Herzinfarkt schlägt Herz vollständig regelmäßig Klapperverse	

Taktik bei Spielen und beim Militär?!

Hier lassen sich kaum inhaltliche Folgerungen ableiten

Feder und Masse bzw. Schwingkreis

An einer **Spiralfeder** hänge eine **Masse m**

Sie **wird herabgezogen**, dadurch wird die Feder gespannt, sie besitzt eine (potentielle) **Federkraft F**

Lässt man die Masse los, so zieht diese Kraft die **Masse nach oben und beschleunigt** sie

Wenn die Masse bei ihrem **ehemaligen Ruhepunkt** angekommen ist, besitzt eine **Geschwindigkeit v**

Dazu gehört die **Energie $E_{kin} = \frac{1}{2}m \cdot v^2$** . Sie bewirkt, dass sich die **Masse weiter nach oben** bewegt

Sie muss dabei **gegen die Schwer- und Federkraft** wirken, das geht solange **bis E_{kin} aufgebraucht** ist.

Dann ist sie zu **Ruhe** gekommen und wird **durch Schwer- und Federkraft heruntergezogen**

Dadurch erlangt **Geschwindigkeit** und wird so **beschleunigt**, dass wieder über den **Ruhepunkt hinausschwingt**

Dies Spiel wiederholt sich theoretisch **periodisch unendlich lange**

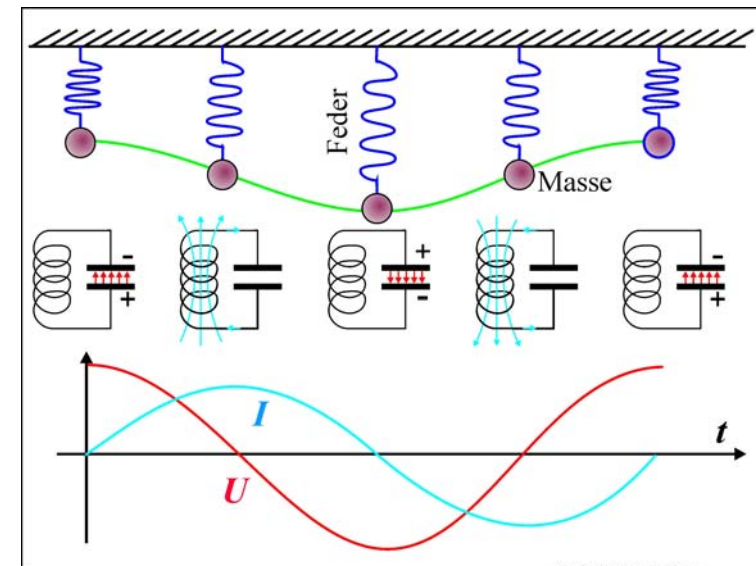
Es bedarf der **Luftreibung und Verluste** in der Feder damit die Schwingamplitude abnimmt

Bei einem elektrischen **Schwingkreis aus Induktivität und Kapazität** geschieht Äquivalentes

Die **Energie wechselt** hier zwischen der **magnetischen** in der Spule und der **elektrischen** im Kondensator

Verluste in der Spule (ohmscher Widerstand, Wirbelstrom usw.) und im Kondensator lassen die

Schwingungsamplitude abnehmen



Gesetz der Trägheit

Es gibt *nur* zwei *elementare Bewegungszustände*:

1. **Ruhe**
2. **gleichförmige Bewegung**

Von sich aus kann ein *passiver Körper* den jeweiligen **Zustand nicht ändern**, dazu bedarf es *äußerer Kräfte*

- Um einen **ruhenden Körper** zu **bewegen**, muss ihm ein **Impuls** erteilt bzw. eine Energie zugeführt werden
- Um **Bewegung zu verändern** bedarf es äußerer Kräfte
- Durch **Verluste**, z. B. Reibung wird **Bewegung verringert** und schließlich **beendet**

Wesentlich sind hierzu Erkenntnisse von Galileo GALILEI (1564 - 1642) und ISAAC NEWTON (1642 - 1727)

Sie folgerten sie u.a. aus den **Planetenbewegungen** und dem **freien Fall**

und führten zur **Gravitation** als Ursache der Schwerkraft, den Gesetzen der Planetenbewegung usw. (s. o)

Verallgemeinerung und Folgerungen

Eine *einmalige äußere Kraft* kann eine *periodische Schwingung auslösen*

wenn in einem System z. B. *zwei gegeneinander austauschbare Energien* auftreten bzw. möglich sind

Periodische Schwingungen klingen durch *unterschiedliche Verluste* unterschiedlich schnell ab

Die **Frequenz f_0** der Schwingung ist durch **Parameter des Systems**, z. B. ihrer Elemente bestimmt

Die **Schwingungsenergie E_S** des Systems und die **Energieverluste E_V** bestimmen die Dauer der Schwingung

Werden die **Verluste E_V** durch sich **wiederholende Energiezufuhr** ausgeglichen, so tritt **Dauerschwingen** ein

Ein **Sonderfall** liegt dann vor, wenn auch die Energiezufuhr **mit der Frequenz f_0** erfolgt

Die dann benötigte Energie braucht für **Dauerschwingungen nur die Verluste auszugleichen**

Da oft $E_S \gg E_V$ gilt, ist dann das Verhältnis E_S/E_V als **Verstärkung** interpretierbar

Eine andere Ausdrucksweise hierfür ist **Resonanz** (-Verstärkung)

Wird eine Energie $E > E_V$ **zugeführt**, so **vergrößert** sich die Schwingamplitude und -Energie **exponentiell**

E_S kann aber nicht beliebig wachsen, sie wird durch nichtlineare Effekte begrenzt

In anderen Fällen kann durch Resonanz auch das **System zerstört** werden

Diese **Resonanz-Katastrophe** kann z. B. auftreten, wenn Truppen im Gleichschritt über eine Brücke marschieren

Anwendung von Resonanz

Resonanz ist bei allen **schwingfähigen Gebilden**, z. B. Schwingkreis, Pendel, Saite usw. möglich

Die Resonanzwirkung (Verstärkung) ist proportional E_S/E_V .

In technischen Systemen ist auch der Begriff **Güte G** gebräuchlich (s.u.)

Durch Resonanz wird aus vielen Frequenzen (Störungen) die **Resonanzfrequenz** herausgefiltert

Das entspricht bzw. bewirkt **hoch selektive Verstärkung**

Typisch sind z. B. Rundfunk, Fernsehen, Handy, Laser, Schaukel, auch Biorhythmen

Leider wird der Begriff auch **nicht ganz korrekt** benutzt, z. B. beim **Resonanzboden** von Musikinstrumenten

Die Saite der Violine wird per Bogen zur Resonanz angeregt

Doch sie kann wegen ihrer **geringen Oberfläche** keinen gut hörbaren Schall abstrahlen

Deshalb wird über den Steg das **Holzgehäuse** zum Mitschwingen gebracht

Eigentlich geht dabei **sogar Energie der Saite zusätzlich verloren**, die Resonanz E_S/E_V wird geschwächt

Mathematische Zusammenhänge

Die Auslenkung x einer Masse m , dem Reibungskoeffizienten R und der Federkonstante D gilt die Differentialgleichung

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + R \frac{dx}{dt} + Dx = \text{Anregung } f(x)$$

Bei elektrischen Schwingkreisen aus der Induktivität L , dem Widerstand R und der Kapazität C wird am besten die **Ladung Q** und die **Anregungs-Spannung $U(t)$** benutzt

$$L \frac{d^2Q}{dt^2} + R \frac{dQ}{dt} + \frac{Q}{C} = U(t)$$

Zur Lösung ist der **Ansatz $Q = A \cdot e^{pt}$** geeignet, er führt zur **quadratischen Gleichung** mit den Lösungen

$$p_{1,2} = -\frac{R}{2L} \pm \sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{LC}}$$

Das sind **komplexe Frequenzen** gemäß $\delta \pm j\omega_0$ mit

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}} \text{ und } \delta = -\frac{R}{2L}$$

Stoß-Anregung

Zu einem Zeitpunkt $t = 0$ werde die Spannungsquelle von Null auf U umgeschaltet. Das entspricht einer einmaligen Stoßanregung (Rampenfunktion), als Folge sind drei Fälle zu unterscheiden.

Eine **gedämpfte Schwingung** entsteht, wenn gilt

$$\frac{R^2}{4L^2} < \frac{1}{LC} \quad \text{bzw.} \quad R\sqrt{\frac{C}{L}} < 2$$

Es gibt einen ausgezeichneten **aperiodischen Grenzfall** bei

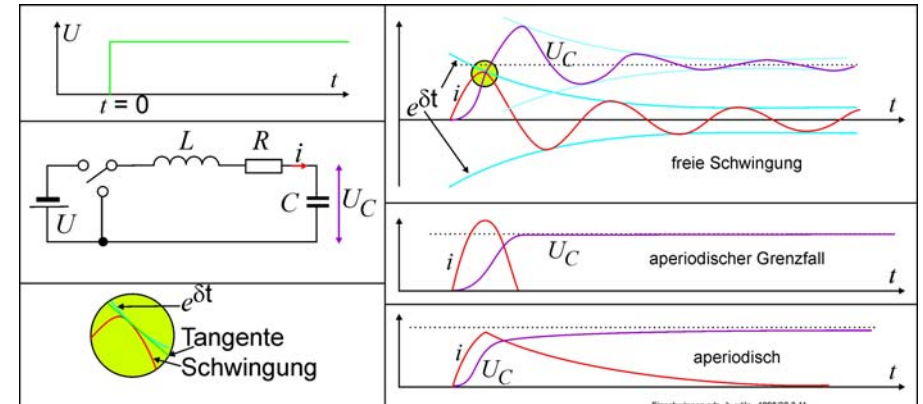
$$\frac{R^2}{4L^2} = \frac{1}{LC} \quad \text{bzw.} \quad R\sqrt{\frac{C}{L}} = 2$$

Hier kommt nach dem einmaligen Sprung von U das System **in der kürzestmöglichen Zeit zur Ruhe**. Dieser Wert ist z. B. für **Messinstrumente** usw. wichtig, für den **Menschen** ist er weniger vorteilhaft. Eine **Bahn bremst**, der Mensch wird nach vorn bewegt; Die Bahn kommt zur Ruhe, der Mensch fällt zurück.

Hier ist der **überaperiodisch Fall** günstiger

$$\frac{R^2}{4L^2} > \frac{1}{LC} \quad \text{bzw.} \quad R\sqrt{\frac{C}{L}} > 2$$

Es **dauert** zwar bis Ruhe einkehrt **länger**, dafür treten aber **weniger starke Beschleunigungen** auf. Er wird daher nach Möglichkeit bei **Stoßdämpfen** benutzt.



Achtung! Erster Spannungs-Sprung bei der Schwingung beträgt $\pm U = 2U$.
Im aperiodischen Fall wird nur U erreicht.

Übersichtliche mechanische Schwingungserzeugung

Andauernde Sinusschwingungen sind mit **verstärkender Rückkopplung** über einen **Schwingkreis** zu erzeugen.

Es gibt aber auch deutlich **andere Möglichkeiten** s. u.

Der **Energieverlust** E_V des schwingfähigen Gebildes wird so ständig erneut zugeführt.

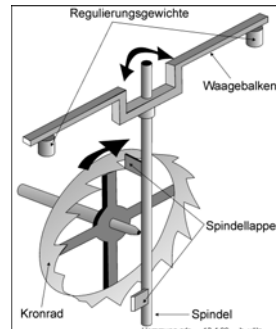
Die zurückgeführte **Menge muss dabei exakt eingehalten** werden.

Zuviel würde die Schwingung **exponentiell anwachsen**, zu wenig sie **abklingen lassen**.

Deshalb sind **zusätzliche Mechanismen**, Schaltungen oder Regelungen erforderlich.

Für eine **Pendel-Uhr** benötigt man z. B.

1. eine **Energiequelle** = das sinkende Gewicht
2. ein **schwingungsfähiges Gebilde** = das Pendel
3. einen **Rückkopplungsmechanismus** = Anker und Steigrad welche die benötigte Energie in den **richtigen Augenblicken** mit der **richtigen Energiemenge** aus der Quelle dem Pendel zuführt.



Die entsprechende **Hemmung** entstand erst um 1270.

Rückkopplung

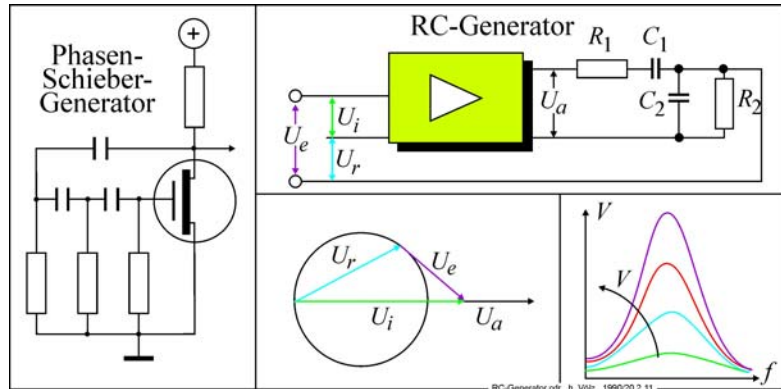
Die notwendige Energiezufuhr kann durch Rückkopplung (Rückführung, englisch feed back) bewirkt werden. Es ist unklar, wann Rückkopplung erstmalig benutzt oder verstanden wurde. Für die Elektronik sind historisch bedeutsam (s. o.):

- 1913 EDWIN HOWARD ARMSTRONG (1890 - 1954) Rückkopplungsschaltung mit Triode \Rightarrow **Audion und Oszillator** = Empfänger- bzw. Senderschaltung u.a. auch ALEXANDER MEIBNER (1883 – 1958), LEE DE FOREST (1873 – 1961), WILHELM SCHLOEMILCH
- 1919 WILLIAM HENRY ECCLES (1903 - 1997) und F. W. JORDAN erfinden bistabile Kippschaltung = **Flipflop** = digitale Rückkopplung, heute Fundament vieler elektronischen Speicher
- 1927 HAROLD STEPHEN BLACK (Telefoningenieur) **verbessert Qualität** eines Signalverstärkers, indem er eine **Gegenkopplung** einführt

RC- und Phasenschieber-Generatoren sowie Flipflop

erzeugen **Sinusschwingungen ohne Resonanz-Anteile**, z.T. wurden „virtuelle“ Induktivitäten angenommen
 Durch **Rückkopplung** wird eine **hohe Selektivität erzeugt**, die zur **Resonanzüberhöhung** genutzt wird
 So wird aus sehr schwachen **thermischen Rauschen** eine schwankende **Sinusschwingung $f_0 \pm \Delta f$**

Eine schwache ankommende Schwingung wird mit **zeitbegrenztem exponentiellem Anstieg** >1000 fach verstärkt
 Ähnliches geschieht bei RC-, und Phasenschieber-Generator, doch mit Amplituden- statt Zeitbegrenzung



Wirkungen.doc h. völz angelegt am 8.4.11 aktuell 29.04.2011 Seite 141 von 167

Rotierende Bewegungen

Auch sie erfolgen meist **streng periodisch, ohne** dass sich **Energien** abwechseln, **Resonanzgebilde** existieren
 Typische Beispiele sind: **Planetenbewegungen**, Erde um die Sonne, Elektronen um Atomkern usw.

Es erfolgt lediglich eine **anhaltende gleichförmige Geschwindigkeit**, gemäß dem **Trägheitsgesetz**

Es stehen lediglich **Zentrifugalkraft** und **Anziehung** zum Zentrum im ständigen Gleichgewicht

Die entstehende **Frequenz** ist durch den **Abstand** zum Zentrum und die beiden Massen bestimmt

Die **Umlaufbahn** kann auch elliptisch sein, dann **variiert** auch die **Geschwindigkeit** in der Bahn periodisch

Bezüglich der Frequenz entspricht dies **zusätzlichen Oberwellen**

Die im System **vorhandene Energie** kann durch **Reibung** gemindert oder **von Außen erhöht** werden

Dann **ändern sich** u.a. die **Geschwindigkeit** in der Bahn, die **Periode** und der **Abstand**

Wirkungen.doc h. völz angelegt am 8.4.11 aktuell 29.04.2011 Seite 142 von 167

Quantentheorie

Der **Umbruch zur neuen Physik** erfolgte 1900 durch MAX KARL ERNST LUDWIG PLANCK (1858 - 1947)

Mit seinem **Vortrag am 14.12.1900** in der Physikalischer Gesellschaft zu Berlin

Als **neue Naturkonstante** musste er die PLANCKsche Konstante $h=6,626... \cdot 10^{-34}$ J-s einführen

Seitdem gilt für **jegliche elektromagnetische Strahlung** für **Energie ΔE** und **Frequenz ν** der Zusammenhang

$$\Delta E = h \cdot \nu$$

Was das inhaltlich bedeutet bzw. wie dabei die Schwingungen im Detail entstehen, ist nach wie vor unklar

Die Quantentheorie sagt schlicht: „**Es ist so!**“

Wirkungen.doc h. völz angelegt am 8.4.11 aktuell 29.04.2011 Seite 143 von 167

Wellen

Schwingungen breiten sich im **Raum als Wellen** aus, für elektromagnetische Transversalwellen gilt dann

$$\frac{d^2 E}{dt^2} = \frac{1}{\epsilon_0 \mu_0} \nabla E \quad \text{und} \quad \frac{d^2 H}{dt^2} = \frac{1}{\epsilon_0 \mu_0} \nabla H$$

Hierin bedeuten E und H die elektrische bzw. magnetische Feldstärke und t die Zeit

∇ (sprich nabla) ist der Operator der zweifach partiellen Ableitung nach den Raum-Koordinaten

Bei der Wellen-Ausbreitung entstehen **Periodizitäten im Raum**, die sich allerdings **fortbewegen**

U.a. können durch **Interferenz** auch **räumlich feststehende** Periodizitäten entstehen

Typisch dafür sind der **Doppelspalversuch** und Anwendungen der **Holografie**

Materiewellen verhalten sich anders, sie existieren nur indirekt für bewegte Teilchen

Für sie gilt die SCHRÖDINGER-Wellengleichung (ERWIN SCHRÖDINGER 1887 - 1961)

$$\nabla^2 \psi = (E - U) \cdot \psi \cdot \frac{2 \cdot m}{h^2}$$

Darin sind E die Gesamt- und U die potentielle Energie, m die Masse und h die PLANCK-Konstante

Die Wellenfunktion ψ entspricht **nur indirekt einem Ort**

vielmehr der **Aufenthaltswahrscheinlichkeit** W des Teilchens im Volumen V gemäß

$$dW = |\psi|^2 \cdot dV$$

Wirkungen.doc h. völz angelegt am 8.4.11 aktuell 29.04.2011 Seite 144 von 167

Materie-Wellen

1923 Dissertation LOUIS-VICTOR PIERRE RAYMOND DE BROGLIE (1892 – 1987) „Recherches sur la théorie des Quanta“. Aus $E = m \cdot c^2$ folgt die DE-BROGLIE-Wellenlänge

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$$

Die Idee ist so ungewöhnlich, dass Gutachter PAUL LANGEVIN (1872 – 1946) um ein zweites Exemplar bat, das er an EINSTEIN weiterleitete, der es positiv befürwortete

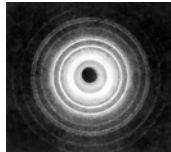
1927 These wird mit Röntgenstrahlen durch Interferenzmuster an Kristallen bestätigt, CLINTON JOSEPH DAVISSON (1881 – 1958), LESTER HALBERT GERMER (1896 – 1971), GEORGE PAGET THOMSON (1892 – 1975)

1931 Nutzenanwendung u.a. Elektronen-Mikroskop ERNST AUGUST FRIEDRICH RUSKA (1906 – 1988) Später sogar Protonen- oder Neutronen-Mikroskop

1957 CLAUD JÖNSSON weist mit Metallfolien, Spaltbreite von 0,5 µm Elektronen-Interferenz (Doppelspalt) nach

Wellenlängen in nm

Spannung	1 V	10 V	100 V	1 kV	10 kV	100 kV	1 MV
Elektron	1230	388	123	38,8	12,2	3,7	0,87
Proton	28,6	9,05	2,86	0,905	0,286	0,0905	0,0286



Synchronisation

Ein System mit der **Resonanz-Frequenz** f_0 wird von außen durch eine **Schwingung** $f_a \neq f_0$ **angeregt**. Dabei kann **Synchronisation** auftreten, d. h. dem System wird die Frequenz f_a aufgezwungen. **Anderenfalls** treten **unregelmäßige Schwingungen** auf.

Für die Synchronisation sind **zwei Bereiche** zu unterscheiden:

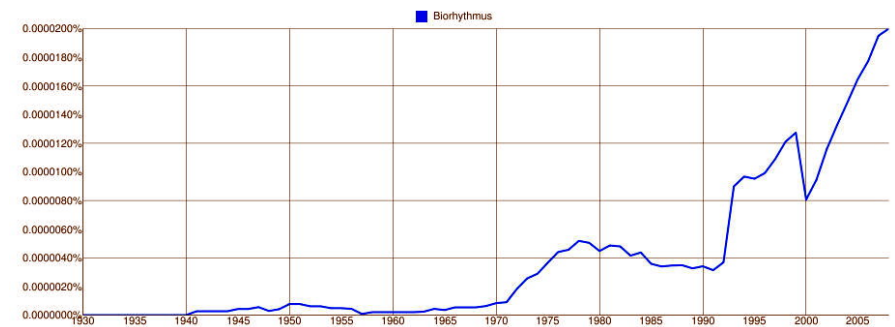
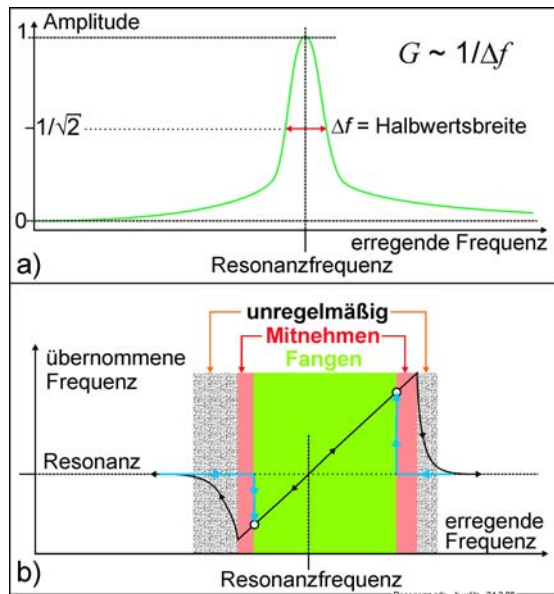
- **Fangbereich** $f_0 \pm \Delta f_F$: Sobald f_a auftritt, erfolgt sofort die Synchronisation
- **Mitnahmebereich** $f_0 \pm \Delta f_M$ mit $\Delta f_M > \Delta f_F$: wenn bereits Synchronität vorlag, System befand sich im Fangbereich, dann bleibt sie erhalten

Es ist leichter mit **höherer Frequenz** $f_a > f_0$ zu synchronisieren = Synchronimpuls zu früh (s. Jetlag). Eine Synchronisation ist auch für **ganzzahlige Verhältnisse** bzgl. f_a und f_0 möglich: $n \cdot f_a = m \cdot f_0$

Synchronisation ist in vielen Bereichen wichtig, **von Natur über Leben bis zur Technik**. Durch sie wird Ordnung hergestellt.

Die **Uhr** war ein besonders wichtiges Instrument zur Synchronisation des gesellschaftlichen Lebens.

Für das Leben sind oft **Biorhythmen** entscheidend.



Untersuchungen zu Biorhythmen waren erst mit **statistischen Methoden der Computertechnik** möglich. **Die Möglichkeiten äußerer „Taktgeber“** werden jedoch erst ab 1990 richtig deutlich.

Biorhythmen

Es müssen zwei Arten unterschieden werden

Kaum durch äußere Einwirkungen beeinflussbar

Sie werden intern erzeugt, treten einfach auf und entsprechen daher *Oszillatoren*

Ihre Periodendauer beginnt bei *Sekunden* und endet bei etwa zwei *Stunden*

Beispiele sind *EEG-Wellen*: *Wachsein*: $\beta > 13$ Hz, $\alpha = 7 - 13$ Hz, *Schlaf*: $\theta = 4 - 6$ Hz, $\delta = 1 - 3$ Hz

REM-Schlaf: 90 bis 120 Minuten

Synchronisierbare Rhythmen

Ermöglichen *Anpassungen an Umwelt* mit sehr *kleiner Energie*

Tagesrhythmus (diurnal, circadian) synchronisiert durch *täglicher Hell-Dunkel-Wechsel*

Interner Taktgeber bei Frühaufsteher ≈ 25 Stunden; bei Nachtteulen ≈ 26 Stunden

Störung erfolgt bei *Schichtarbeit* und bei *Flug* über mehrere Zeitzonen als *Jetlag*

Es wird eine „falsche“ Taktung mit vegetativen Störungen bewirkt

Intensität ist abhängig Flugrichtung, nach Osten geringer

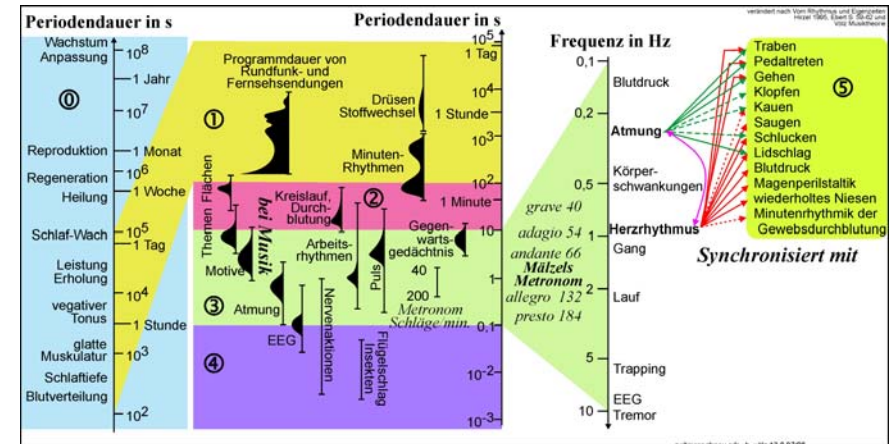
Bei **14 Tage im Dunkeln** entkoppeln sich sogar Schlaf- und Körpertemperatur-Rhythmus

≈ 33 Stunden für Schlafen/Wachen und ≈ 25 Stunden für die Temperatur

Weitere Synchronisationen erfolgen u.a. bei *Gang-/Herz*-Rhythmus = 1:1

Atmung-/Herzfrequenz = 1:4 \Rightarrow $\frac{4}{4}$ -Takt der *Marschmusik*, weiches Schweben $\frac{3}{4}$ -Takt beim *Walzer*

Weiter bekannt: *Wochen- und Jahres*-Rhythmus, evtl.: *Monat \approx Mond = Ebbe-Flut*, Menstruation



Geschichte chemischer, biologischer Oszillationen

1750 ca. JEAN JACQUES D'ORTOUS DE MAIRAN von täglichen *Blattbewegungen der Mimose*

1751 KARL VON LINNÉ entwarf den *Blumen-Taktgeber*

1759 JOHANN GOTTFRIED ZINN beschreibt *circadianen* Rhythmus der Gartenbohne

1825 JOHANN FRIEDRICH HERSCHEL entdeckt Periodische Oszillationen *Eisen-Salpetersäure* (1834 publiziert)

1828 Publikation oszillierender *chemische Prozesse* durch GUSTAV THEODOR FECHNER

1842 CHRISTIAN FRIEDRICH SCHÖNBEIN. 1844 JAMES PRESCOTT JOULE berichten über oszillierende Reaktionen

1910 ALFRED JAMES LOTKA periodische *Populationsdynamik* (LOTKA-VOLTERRA-REGELN, *Räuber-Beute*) s. u.

1921 WILLIAM C. BRAY oszillierende Reaktion im *homogenen Medium* Wasserstoffperoxid + Iodat

1925 ALFRED LOTKA: „The Elements of Physical Biology“ = *Räuber-Beute-Verhalten* s.u.

1927 VON DER POL entdeckt am Röhrenoszillator *chaotische Schwingungen*

1940 NORBERT WIENER (1894 - 1964) bemerkt bei seinen Forschungsarbeiten über Flugabwehrmethoden im 2. Weltkrieg, dass *Rückkopplung fundamental für die Automatisierung* ist.

1950 BORIS PAWLOWITSCH BELOUSSOW entdeckt zufällig BELOUSOV-ZHABOTINSKY-Reaktion

1953 ASERINSKI und KLEITMAN entdecken etwa 2-stündigen Rhythmus von *REM-Schlaf*

1970 KONOPKA stellt bei der *Taufliege* *Drosophila melanogaster* circadiane *Schlüpf-Rhythmen* fest

1977 ILYA PRIGOGINE Nobelpreis: Thermodynamik, vom Gleichgewicht entfernte (dissipative) Systeme

Zu den chemischen Frequenzen

Sie sind *bis heute im Detail unklar* und wurden immer zufällig gefunden

Oszillationen erfolgen nicht nur in der *Zeit*, sondern auch (zusätzlich) im *Raum*

Es lassen sich *kaum allgemeine Erklärungen* geben

Oft sind *viele Reaktionsschritte* beteiligt

Meist werden folgende *Voraussetzungen* genannt

- Das System muss *weit vom thermodynamischen Gleichgewicht* entfernt sein
- Es besitzt mindestens einen Reaktionsschritt, mit *Rückkopplung* z. B. bzgl. Bildungsgeschwindigkeit, Temperatur, Konzentration, Elektrodenzustand usw.
- **Bistabilität**: Es existieren *mindestens zwei stationäre Zustände*.
- **Offenes System**: Für Stoff und Energie muss eine Austauschmöglichkeit mit der Umgebung bestehen

Zuweilen wird noch hinzugefügt

- **Nichtlinearität**: mindestens einen Reaktionsschritt muss nichtlinearen Verlauf zeigen

Zu biologischen Frequenzen

Allgemein wird hier von *inneren Uhren* gesprochen
z.T. wurden (indirekt) ihre *Orte* gefunden
Der eigentliche Mechanismus ist aber *kaum erklärt*
Grob gilt die folgende *Aufstellung*

Einzeller Seit den 1940er Jahre ist bekannt, dass sie eine „Innere Uhr“ besitzen

Pflanzen bisher konnte keine zentrale Steuerung (Uhren, Schrittmacher) gefunden werden,
die Bewegungen werden von mehreren, über die ganze Pflanze verteilten Uhren gesteuert

Tiere im Zentralnervensystem ist ein Schrittmacherzentren lokalisiert, der oft mit Licht assoziiert

Insekten im optischen Loben

Weichtiere Basis der Retina

Wirbeltiere über Kreuzung der Sehnerven: Nucleus suprachiasmaticus und/oder Zirbeldrüse (Pinealorgan, Epiphyse)

Festkörper als „Schwingungen“ im Raum

Atome bzw. Moleküle können sich zu Festkörpern zusammenfügen
Dabei kann eine Vielzahl von *Kristallstrukturen* entstehen
Hierzu gehören unterschiedliche *Elementarzellen*
Zwischen ihnen bilden sich *optimale richtungsabhängige Abstände* aus
Sonderfälle sind besonders *dichte Packungen*, z. B. kugeldicht
Ferner sind bei Festkörpern, aber nicht nur bei diesen, einige *Symmetrien* bedeutsam

Weitere räumliche Strukturen

Sie gibt es nicht nur bzgl. Kristallen, sondern generell *in großer Vielfalt*
Ein typisches Beispiel ist die HENRY **BÉRNARD-Zelle**, die beim *Wärmetransport* durch eine Flüssigkeit entsteht
Und zwar dann, wenn die thermodynamisch molekulare Bewegung nicht mehr genügt (gefunden 1900)
Dabei *rotieren kleine Gebiete* der Flüssigkeit abwechselnd links und rechts herum
Die charakteristische Länge einer *Zelle* liegt meist im Millimeterbereich
Das ist ein Millionenfaches der mittleren *Reichweite* der intermolekularen Kräfte von etwa 10^{-10} m
Eine einzige Zelle enthält daher **$\approx 10^{21}$ Moleküle**. Zur ihrer Ausbildung ist also *Emergenz* erforderlich

Strukturen durch Wiederholung

treten vor allem in der Natur auf
Hängen dort offensichtlich mit Rekursion zusammen, es besteht Analogie zu Fraktalen
Wichtig sind L-Systeme von 1968 (ARISTID LINDENMAYER 1925 - 1989) und „Kopierverfahren“
Es könnte daher gelten dass Vervielfältigung generell mit „Schwingungen“ zusammenhängt
Vielleicht besteht sogar Bezug zu Wiederholungen beim Lernen

Soziale, gesellschaftliche Rhythmen

Auch hier existieren viele Beispiele
u.a. bzgl. Epidemien, Moden, Traditionen, Populationen, Angebot-Nachfrage
Bei Technik-Entwicklungen sind die 85%-Regel und die Hype-Kurve bedeutsam
Zwei einsichtige Beispiele sind **Räuber-Beute-Verhalten** und **KONDRATIEFF-Zyklen**

Räuber-Beute-Verhalten

1925 schrieb ALFRED JAMES LOTKA (1880 - 1949) das Buch: „The Elements of Physical Biology“

Darin wurde das Räuber-Beute-Verhalten bezüglich zweier Tierarten behandelt

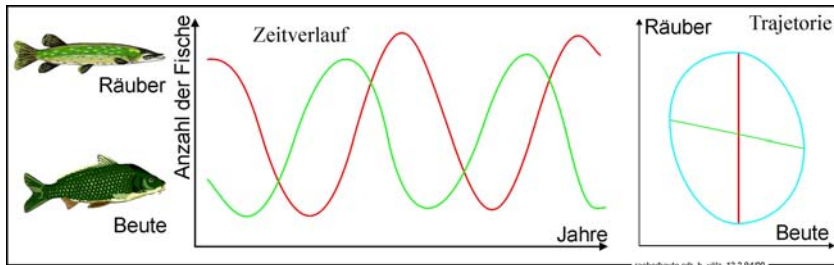
In einem Revier (Teich) leben **Hechte als Räuber und Forellen als Beute** für die Hechte

Bzgl. der Anzahl Forellen und Hechte tritt ein deutlich periodischer Verlauf auf

Viele Forellen \Rightarrow **Hechte** haben gute Nahrungsquelle; ihre Anzahl nimmt **schnell zu**

Forellenbestand drastisch **reduziert** \Rightarrow vielen Hechte haben **nicht** mehr **ausreichende Nahrung**

Anzahl Hechte nimmt ab = **weniger Feinde** \Rightarrow Anzahl **Forellen nimmt zu** usw.



Wirkungen.doc h. völz angelegt am 8.4.11 aktuell 29.04.2011 Seite 157 von 167

Kondratieff-Zyklen

Ein wichtiges Beispiel wurde 1926 von NIKOLAI DMITRIJEWITSCH KONDRATIEFF (1892 - 1938) publiziert
Er fand, dass es große Wirtschaftszyklen in Wellen von 40 bis 50 Jahren ablaufen.

Sie beginnen mit **Basisinnovationen**, führen über **Wohlstandszuwachs** und **Konsolidierung** zur **Stagnation**
Damals stellte er nur 3 solche Zyklen fest, heute werden mindestens 4 bis 6 (letzter vermutet) angenommen

Z. Z. gilt Zyklus 4, sein Maximum ist aber bereits überschritten
Zuweilen wird auch für England ein 0. Zyklus als Vorläufer behauptet

Zyklus	Zeitraum	Basis-Innovationen	Bedürfnisse
1.	1780 - 1849	Dampfmaschine, Textilindustrie	Bekleidung
2.	1849 - 1890	Eisenbahn, Stahl	Transport
3.	1890 - 1940	Elektrotechnik, Maschinenbau, Chemie	Massenkonsum
4.	1940 - 1980	Automobil, IC, Kernenergie	Individuelle Mobilität
5.	1980 bis ?	Informations- und Kommunikationstechnik	Globalisierung, Kommunikation
6.	20?? bis ?	Biotechnologie, Ökologie	Ganzheitliche Gesundheit

Wirkungen.doc h. völz angelegt am 8.4.11 aktuell 29.04.2011 Seite 158 von 167

Zusammenfassung zu Schwingungen

Auch bei der Schwingungserzeugung treten **vielen unterschiedliche Effekte** auf

- **Periodischer Energieaustausch**, z. B. Pendel, Feder-Masse, elektrischer Schwingkreis
 \approx **schwingfähige Gebilde** mit genau definierter Energie-Zufuhr wegen Verluste
- Achtung!: Dämpfung und Synchronisation
- **Quantentheorie**: $\Delta E = h \cdot \nu$, (wie funktioniert die Umwandlung?) \Rightarrow Materie-Wellen
- **Rotierende Bewegungen**, u. a. Eigenrotation (Erde), Planeten, Galaxien-Rotation (Gleichgewicht Anziehung - Fliehkraft)
- **Chemische Oszillationen** (eigentliche Ursachen immer noch unklar)
- **Bio-Rhythmen** (was ist mit den Taktgebern, wie funktionieren sie)
- Es gibt auch **räumliche Periodizitäten**, z. B. Kristalle, Wellen, Biologie, Fraktale
- **Population**, z. B. Räuber-Beute-Zyklus
- **Gesellschaftliche, soziale Prozesse**, z. B. Hype-Kurve, 85%-Regel, Kondratieff-Zyklen

Auch hier **fehlt** also eine **einheitliche Theorie**

Wirkungen.doc h. völz angelegt am 8.4.11 aktuell 29.04.2011 Seite 159 von 167

Themenwechsel

0. Einführung, Problem

1. Auslöse-Effekte

2. Verstärker

3. Oszillatoren

4. Verallgemeinerung, Schlussfolgerungen

Wirkungen.doc h. völz angelegt am 8.4.11 aktuell 29.04.2011 Seite 160 von 167

Versuch einer Zusammenfassung

Die drei Erscheinungen, Vorgänge, Effekte

- (Einmalige) **Auslösung**
- **Verstärkung**, gesteuerte Vorgänge
- **Schwingungen**, automatisches Geschehen

erleben wir häufig, sie sind uns daher *äußerst vertraut* und erscheinen daher *selbstverständlich*

Sie *widersprechen* aber zumindest dem Grundsatz der *klassischen Physik* (\approx Kausalität)

Kleine Ursache \Rightarrow kleine Wirkung

Teilweise widersprechen sie auch dem **2. Hauptsatz der Thermodynamik** bzgl. wachsender Entropie
Er gilt jedoch nur statistisch und für abgeschlossene Systeme

Ohne die drei Effekte gäbe es *keine Evolution*, keinen kulturellen und technischen **Fortschritt**

Nur sie ermöglichen, dass *mehr bewirkt* wird als zuvor einleitend *geleistet wurde*

Sie sind **Grundlage für** „Gewinne“ jeglicher Art, u. a.

Entstehen von Elementarteilchen, über Moleküle, Lebewesen bis zum menschlichen Mehrwert

Z. T. sind sie auch entscheidend für eine *gerichtete Zeit*

Insgesamt sind sie also *wesentlich für das Erklären unserer Welt*

Bedeutung spezieller System

Zur **Vereinfachung** sei angenommen:

der **Auslöse-Effekt** ist auch wesentlich für Verstärkungen und Schwingungen
Dann zeigen die oben ausgewählten Beispiele:

Zunächst muss ein **System entstehen** und dann vorhanden sein, das eine **Auslösung ermöglicht**

Die **Auslösung** kann dann als **Informationsträger** angesehen werden

Er ruft im System mit dessen (eigener) Energie die Wirkung, **das Getragene hervor**

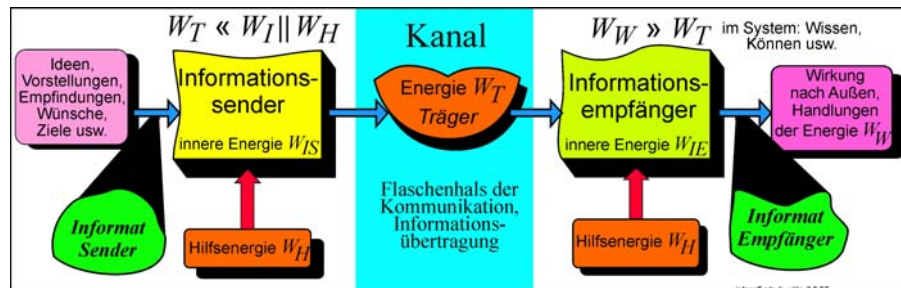
Dann bleibt aber die **entscheidende Frage**: **wie entstehen solche Systeme?**

So etwas wird vor allem als **Evolution, Emergenz und Synergetik** behandelt

Doch auch hier existieren **nur Beschreibungen** und **keine Erklärungen**

Letztlich müsste auch hierfür **wieder ein Auslöse-Effekt** angenommen werden

So ein **Zirkelschluss** ist aber völlig unbefriedigend



Für den Auslöseeffekt interessiert **nur der rechte Teil** hinter dem Kanal
Der **Informations-Träger** kommt über den Kanal zum **Empfangssystem**
In ihm wird dadurch der **Auslöse-Effekt** mittels innerer und Hilfs-Energie wirksam
So tritt das **Informat** als „verstärkte“ **Wirkung** auf

Zum Entstehen der Systeme mit Auslöse-Effekt

Quanten-Fluktuationen sollen beim Urknall für den **Beginn der Welt** wesentlich sein

Es wird dann ausschließlich eine riesige Energie angenommen, die sich gemäß $E = m \cdot c^2$ in Stoff wandelt

Dabei treten u. a. Kernfusionen auf, z. B. $H \Rightarrow He$

Diese sind eher Behauptungen und Beschreibungen als Erklärungen

Waren dabei vielleicht **Raum und Zeit** das **System**, in dem sie wirksam wurden?

Sobald **Elementarteilchen**, u. a. Elektronen, Protonen und Neutronen vorhanden sind

Können sich daraus unter Energiegewinn **Atome und Moleküle** bilden

Sie können sich weiter unter Energiegewinn zu **Kristallen** zusammenfügen

Doch was ist hier der Auslöse-Effekt?

Dennoch müssten bereits auf dieser Ebene derartige Systeme entstehen und existieren

Ein „brauchbares“ Beispiel ist eine **unterkühlte Flüssigkeit**

Hier genügt ein **Kristall-Keim** um sie unter Energiegewinn zu kompakten Kristall werden zu lassen

Es muss **nach weiteren Beispielen gesucht** werden

Der **Mensch kann erfahrungsgemäß und systematisch geeignete Systeme antizipieren**,
dann bauen und benutzen

Die Entwicklung von **Röhre und Transistor** zeigt jedoch, wie schwierig das ist

Die Vergabe der entsprechenden **Nobel-Preise** macht das sehr deutlich

Folgerungen für die drei Effekte

Gemäß ihren **Beschreibungen** (phänomenologisch) gibt es **viele Varianten**
Einige Varianten **bedingen** sich dabei **gegenseitig**
Nur sehr selten sind **Erklärungen aus den Naturgesetzen** möglich
Teilweise sind sogar die vorhandenen **Begriffsbildungen** ziemlich **unscharf**
Es könnte sein, dass sie nur eine **unsystematische Zusammenfassung der Einzelheiten** sind
Grundsätzlich fehlt (z. Z.) eine **gemeinsame Erklärung**
Scheinbar hilft der Begriff **Information** gemäß NORBERT WIENER weiter
Doch dann verlangt Information eine „**tieferere**“ **inhaltliche Erklärung**
Das würde eine **Neubegründung der Kybernetik**, vielleicht als **Wirkungs-Wissenschaft** bedeuten
Wegen der fundamentalen Bedeutung wäre eigentlich sogar eine **einheitliche „Theorie“** notwendig
Sie sollte möglichst einen **grundlegenden Ausgangspunkt**, ähnlich den vier Kräften, u. a. Gravitation haben
Die vorgestellten Fakten, Aussagen zeigen, dass z. Z. hierfür keine Voraussetzung vorhanden ist
Es ist sogar fraglich, ob dieses **Ziel überhaupt erreichbar** sein dürfte

So verbleibt momentan **nur Unbehagen**



Literatur

- [0] aes.cs.tu-berlin.de/voelz/PDF/Verstärker.pdf vom 27.2.11
- [1] Wiener, N.: "Cybernetics or control and communication in the animal and the machine" Hermann, Paris 1948
„Regelung und Nachrichtenübertragung in Lebewesen und in der Maschine“, Econ - Verlag, Düsseldorf - Wien 1963, dito
Econ - Verlag, Düsseldorf - Wien - New York - Moskau, 1992
- [2] Völz, H.: „Information I – Studie zur Vielfalt und Einheit der Information“. Akademie Verlag, Berlin 1982
- [3] Völz, H.: „Ist Kybernetik nur noch Nostalgie?“ In: Abhandlungen der Leibniz-Sozität, Band 11. Georg Klaus zum 90.
Geburtstag. trafo verlag Berlin 2004, S. 73 – 83
- [4] Schmidt, H.: „Regelungstechnik. Die technische Aufgabe und ihre wirtschaftliche, sozialpolitische und kulturpolitische
Auswirkung“. Z. Verein Deutscher Ingenieure 85 (25.1.1941) Nr. 4; 81 - 88
- [5] Völz, H.: Wissen - Erkennen - Information. Allgemeine Grundlagen für Naturwissenschaft, Technik und Medizin. Shaker
Verlag, Aachen 2001; *ditto*: Digitale Bibliothek Bd. 159, Berlin 2007
- [6] Haruth, W. u. Claassen, M.: „Aktive Mikrowellendioden“. Springer Verlag, Berlin - Heidelberg - New York 1981
- [7] Völz, H.: „Beitrag zum Verstärker mit extrem kleinem Innenwiderstand“. Frequenz 13 (1959) 7, 212 - 222
- [8] Völz, H.: „Elektronik - Grundlagen - Prinzipien - Zusammenhänge“. 5. Aufl. Akademie Verlag, Berlin 1989
- [9] Möller, H.: „Physik des Schaukelns und parametrische Verstärkung“, aus: „Wege in der Physikdidaktik“. Band 2. Verlag
Palm & Enke, Erlangen 1991 von www.solstice.de, download am 2.2.11
- [10] Klages, L.: „Vom Wesen des Rhythmus“. Niels Kampmann Verlag, Kampen 1934
- [11] Völz, H.: „Das Mensch - Maschine - System“. Expert-Verlag, Renningen - Malmshheim 1999

Für die **Zeitkurven** von Begriffen: [downloads mit entsprechenden Eingaben](http://www.culturomics.org/home) 2.2.- 20.4.11
<http://www.culturomics.org/home> und <http://ngrams.googlelabs.com/graph>

Vertiefung zur Kybernetik: [aes.cs.tu-berlin.de/voelz/PDF/ als Information1.pdf](http://aes.cs.tu-berlin.de/voelz/PDF/als%20Information1.pdf), [Kybernetik.pdf](http://aes.cs.tu-berlin.de/voelz/PDF/Kybernetik.pdf) und [InforKybern.pdf](http://aes.cs.tu-berlin.de/voelz/PDF/InforKybern.pdf)