Informatik · Kybernetik · Rechentechnik

Herausgegeben von der Akademie der Wissenschaften der DDR
Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse

Band 4

Information II

von Horst Völz

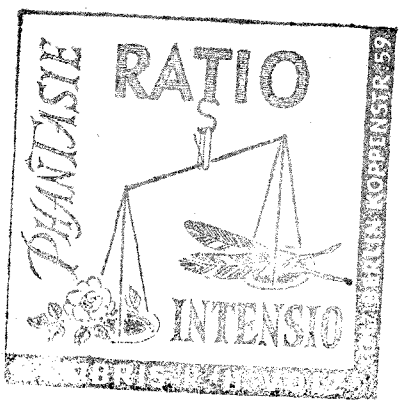
Information II

Ergänzungsband zur Vielfalt
und Einheit der Information

Theorie und Anwendung
vor allem in der Biologie, Medizin und Semiotik

von Horst Völz

Mit 184 Abbildungen und 60 Tabellen



Akademie-Verlag · Berlin · 1983

Verfasser: Prof. Dr. Horst Völz,
Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse der Akademie der Wissenschaften der DDR, Berlin

Erschienen im Akademie-Verlag, DDR-1086 Berlin, Leipziger Str. 3—4
© Akademie-Verlag Berlin 1983
Lizenznummer: 202 · 100/512/83
Einband und Schutzumschlag: Dietmar Kunz
Gesamtherstellung: VEB Druckerei „Thomas Müntzer", 5820 Bad Langensalza
Bestellnummer: 762 969 0 (6244/II) LSV 1075
Printed in GDR
DDR 72,— M

ISSN 0232-1351

Vorwort

Mit den fundamentalen Arbeiten von SHANNON wurde Information zum Fachbegri
Vor allem drei Ergebnisse haben sehr breite Anwendungsmöglichkeiten eröffnet:
der zentrale Begriff der Negentropie, die damit gekoppelte Maßeinheit des Bit und d
generellen, neuen Denkansätze.

Sie hatten zur Folge, daß Information schnell und erfoglreich in fast alle Fac
gebiete eindrang. Dabei erfuhr ihr Inhalt jedoch oft spezifische und z. T. neuarti
intuitive Interpretationen. Heute fehlt daher eine einheitliche, konstruktive Theor
der Information, und zuweilen existieren sogar Widersprüche in der Anwendung d
klassischen Informationstheorie. In der Studie [V15] wurde einmal versucht, d
Grundlagen, Hauptaussagen und wichtigsten Ergebnisse der Informationstheorie f
möglichst alle Anwendungsgebiete zusammenzufassen und einen neuen, möglich
generellen Ansatz für die Definition der Information zu entwickeln. Des Umfang
wegen mußten dabei Biologie/Medizin und Kommunikation/Semiotik ausgespa
werden. Der vorliegende Band befaßt sich mit diesen Disziplinen. Er stellt dam
einen Ergänzungsband zur Studie [V15] dar, ist aber darüber hinaus, ähnlich wie d
Studie, verhältnismäßig selbständig. Die Gebiete werden relativ komplex in Übe
sichtsdarstellungen behandelt. Dabei wurde weitgehend versucht, eine Sprache z
finden, die allgemein verständlich ist, insbesondere sollte der Text für Information
und Nachrichtentechniker leicht lesbar sein. Hierfür lassen sich drei Gründe anführe

1. Einmal ist für den Techniker die Natur ein interessantes Vorbild. Sind doch dur
sie in einem extrem langen Evolutionsprozeß viele Varianten erprobt und selektie
worden. Als Beispiel werden dazu u. a. oft die Fledermäuse angeführt. Benutzt
sie doch das Echolot (auch Radar im weitesten Sinne) lange Zeit bevor, unabhäng
hiervon, der Mensch entsprechende Ideen entwickelte und verwirklichte. So b
steht die Hoffnung, aus der Natur neue Ideen und Anregungen zu erhalten.
2. Heute haben Techniker ihre Geräte dem Menschen mit seinen physiologischen u
psychologischen Eigenschaften anzupassen. Dies ist jedoch auch nur möglic
wenn dazu ein ausreichendes und hinreichend verständliches Material bereitsteh
3. Schließlich sind alle technischen Informationsgeräte in gesellschaftlichen Verhäl
nissen mittelbar wirksam. Sie greifen in den Prozeß der gesellschaftlichen Ko
munikation ein, ja z. T. ermöglichen sie erst den Menschen, die heute notwendige
komplexen Kommunikationsprozesse zu realisieren. Hierbei muß ein Technik
aber verstehen, wie die gesellschaftliche Kommunikation funktioniert. Dabei b
sitzen semiotische Prozesse einen entscheidenden Einfluß.

Insgesamt liefert der vorliegende Band zu diesen drei Problemkreisen wohl erstmals ein relativ vollständiges Basismaterial. Insofern ist die Trennung des ursprünglichen Gesamtvorhabens zur Information in zwei Bände von Vorteil. Für die noch bessere Selbständigkeit dieses Bandes wurden in einem Anhang die wesentlichen Ergebnisse der Studie ohne Ableitung und stark verdichtet thesenhaft zusammengestellt.

Durch die Trennung des Gesamtvorhabens in zwei Teile haben sich natürlich auch Nachteile ergeben. Wie schon erwähnt, wurden in der Studie [V15] alle wesentlichen quantitativen Werte zusammengefaßt, die aus den Anwendungen der Informationstheorie auf außernachrichtentechnischen Gebieten entstanden. In dem Ergänzungsband sind die informationstheoretischen Bezüge nur noch schwach zu erkennen. Er ist viel eher zu einer Faktensammlung und allgemeinverständlichen Darstellung der Gebiete Biologie, Medizin, Kommunikation und Semiotik geworden. Dieses Zahlenmaterial wurde für die informationstheoretischen Betrachtungen und Berechnungen der Studie [V15] verwendet. So liegen Tabellen vor, die oft mühevoll aus vielen Einzeldarstellungen zusammengetragen wurden. So interessant, wie diese Fakten auch an sich sein mögen, ihre Bedeutung wird erst voll im Zusammenhang mit der Studie verständlich.

Zwischen Technik und vor allem Biologie und Medizin bestehen vielfältige Querbeziehungen. So entsprechen sich z.B. die Automatisierungskette: Messen, Übertragen, Verarbeiten, Stellen und die Reizverhaltenskette bei Pflanzen und noch mehr bei Tieren in vielen Fakten. Weitere Bezüge bestehen bezüglich der Informationsverarbeitungen in Rechnerstrukturen und Gehirnen sowie beim rechnergestützten Entwurf und bei der Genetik der Zelle. Diese und weitere Querbeziehungen sowie Analogien einschließlich dabei vorhandener Unterschiede sind jetzt nur mittelbar erkennbar. Die entsprechenden Fakten sind nämlich getrennt in Band I und dem vorliegenden Band enthalten. Querbezüge können deshalb nur mittelbar vom Leser nachvollzogen werden. Sie ließen sich nicht explizit ausweisen.

Der dritte Nachteil der Teilung betrifft die Semiotik. Mit der in diesem Band vorliegenden Darstellung wird wohl erstmalig eine relativ vollständige Analyse und Darstellung ihrer geschichtlichen Entwicklung und ihrer Anwendungen auf den verschiedensten Gebieten versucht. Dies zeigt, wie wenig es eine einzige Theorie der Semiotik und einen geschlossenen Inhalt gibt. Es wird bei aller positiven Bedeutung der Semiotik auf den verschiedensten Gebieten indirekt erkennbar, wie wenig sie für die Entwicklung einer allgemeinen Informationstheorie geeignet ist. Lediglich die semantischen Netze lassen sich konstruktiv verwenden. Doch auch dies wird hier nicht ausgeführt. Andererseits muß es aber bei der inhaltlichen Begründung der neuen Informationskonzeption in der Studie [V15] vorausgesetzt werden. In diesem Fall klafft also zwischen beiden Teilen eine Lücke, die nur der Leser bei gutem Willen und der Lektüre beider Teile schließen kann. Es sei erwähnt, daß der Autor in älteren Arbeiten, z.B. [V6], sich selbst, dem allgemeinen Trend folgend, bemüht hat, eine semiotische Informationstheorie zu entwickeln. Solche Gedanken wurden international ja mit den Arbeiten von PEIRCE [P4; P5] und MORRIS [M16 bis 18] und insbesondere durch die Betrachtungen von WEAVER in [S34] angeregt. Es gibt auch heute noch viele Autoren, die meinen, mit einer semiotischen Informationstheorie alle Probleme der klassischen Informationstheorie zu lösen. Der Verfasser hofft, daß mit dem Vergleich der Ergebnisse beider Bände deutlich wird, daß dies nicht möglich ist. Deshalb sein neuer Weg in der Studie [V15].

Schließlich sei noch auf einen möglichen Mangel dieses vorliegenden Teils verwies
Er kann eventuell fachlich nicht ganz exakte Formulierungen enthalten. Ich muß
mir nämlich die mir fremden Fachgebiete erst selbst erarbeiten, bevor ich sie darstell
konnte. In mehreren Vorstudien hatte ich dabei vielfältigen Kontakt zu verschieden
Kollegen dieser Disziplinen. Sie gaben mir stets hilfreich Auskunft und Hinweise. I
endgültige und geschlossene Darstellung mußte ich jedoch selbst gestalten. Ich hof
daß die vorhandenen Mängel von den Experten toleriert werden mögen, wobei i
natürlich für Hinweise stets dankbar bin.

Zum Abschluß dieses Vorworts möchte ich meinen Dank abstatten. Er kann h
etwas kürzer als in der Studie ausfallen. Insbesondere möchte ich mich bei d
Kollegen der anderen Fachgebiete bedanken, die mir stets zu Auskünften und D
kussionen bereitwillig Zeit opferten. Vor allem sind dies die Professorin Frau LIND
KEIT, Berlin, und die Herren Professoren KIRSCHE, Berlin; MÜNTZ, Gaterslebe
RÜDIGER, Berlin; TEMBROCK, Berlin, sowie WINKELMANN, Leipzig. Weiter habe i
meiner schon über siebzigjährigen Sekretärin Frau ERNA KRAUSE zu danken, welc
die wesentlichen Teile des Manuskriptes schrieb. Ferner gilt meinem ehemalig
Mitarbeiter Herrn LAUX Dank, der mich bei der Bearbeitung der Abbildungsunt
lagen sehr unterstützt hat. Auch die fleißige Arbeit unserer Kolleginnen aus Biblioth
und Vervielfältigung muß erwähnt werden. Schließlich gilt mein Dank Frau HEL
Frau LAGOWITZ und Fräulein REIHER vom Akademie-Verlag, welche das mehrfa
veränderte Konzept immer helfend berieten und auch die Geduld aufbrachten,
das endgültige Manuskript sehr verzögert vorlag. Infolge der vielen Änderung
hatte es leider nicht mehr jene Qualität, wie sie Druckereien zu fordern berecht
sind. Hier bin ich schließlich auch den Setzern zu Dank verpflichtet.

Februar 1981 H. Vö

Inhalt

Teil I: Biologie und Medizin .....

1. Einleitung .....

2. Genetik der Zelle .....

2.1. Etwas Chemie .....
2.2. Proteine .....
2.3. Nukleinsäuren .....
2.4. Biologische Zellen .....
2.5. Wichtige Zellorganellen .....
2.6. Zellkern .....
2.7. Proteinsynthese .....
2.8. Regulationsprozesse .....

3. Neuronen .....

3.1. Reizphysiologie .....
3.2. Prinzipieller Aufbau des Neurons .....
3.3. Membraneigenschaften und Zellpotential .....
3.4. Reizbarkeit der Membran und Reizleitung .....
3.5. Synaptischer Komplex .....

4. Nervensystem — Gehirn .....

4.1. Allgemeines .....
4.2. Evolution der Gehirne .....
4.3. Einteilung des Nervensystems der Wirbeltiere .....
4.4. Maße der Entwicklungshöhe .....
4.5. Evolution des Wirbeltiergehirns .....
4.6. Gehirn des Menschen .....
4.7. Einfache Neuronenschaltungen, Reflexe, Rückenmark, motorische Bahnen 1
4.8. Kleinhirn 1
4.9. Großhirn 1

5. Sehen ... 136

5.1. Allgemeines zu Sinneszellen ... 136
5.2. Allgemeines zum Sehen ... 139
5.3. Facettenaugen ... 142
5.4. Das menschliche Auge ... 145
5.5. Funktion der Sehzellen ... 153

6. Hören ... 158

6.1. Allgemeines zum Schall ... 158
6.2. Aufbau des menschlichen Hörorgans ... 159
6.3. Außen- und Mittelohr ... 159
6.4. Innenohr ... 166
6.5. Wanderwellentheorie des Hörens ... 168
6.6. Hörbahn ... 169

7. Gedächtnis ... 179

7.1. Allgemeines ... 179
7.2. Phänomenologie ... 180
7.3. Einige Störeinflüsse ... 181
7.4. Hypothesen auf molekular-biologischer Ebene ... 182

Teil II: Kommunikation und Semiotik ... 185

8. Kommunikation ... 186

8.1. Zur Geschichte des Begriffs ... 186
8.2. Kommunikationsmodelle ... 188
8.3. Einteilungen ... 190
8.4. Beispiele aus dem sozialen Bereich ... 192
8.5. Zur Massenkommunikation ... 194
8.5.1. Etwas zur Geschichte ... 195
8.5.2. Relation Nutzer — Erzeuger ... 198
8.5.3. Heutiges Zusammenwirken der Medien ... 199
8.5.4. Einige Ergänzungen ... 204

8.6. Kunst ... 204
8.6.1. Einige Aussagen von KAGAN ... 204
8.6.2. Iterativer Prozeß, vor allem bei NAKE ... 207
8.6.3. Zum Kitsch ... 209
8.6.4. Theater ... 210
8.6.5. Musik ... 210

9. Semiotik ... 21

9.1. Allgemeine und philosophische Entwicklung ... 21
9.1.1. Antike ... 21
9.1.2. Charles Sanders Peirce ... 21
9.1.3. Charles Morris ... 21
9.1.4. Adam Schaff ... 22
9.1.5. Georg Klaus ... 22
9.1.6. Lasar Ossipowitsch Resnikow ... 23

9.2. Sprache ... 23
9.2.1. Aspekte bei Sprachen ... 23
9.2.2. Geschichtliches ... 23
9.2.3. Prinzip generativer Grammatiken ... 24
9.2.4. Möglichkeiten und Probleme generativer Grammatiken ... 24
9.2.5. Semantik und Bedeutung ... 24
9.2.6. Bedeutung und Begriff ... 25
9.2.7. Komponentenanalyse und sprachliches Feld ... 25
9.2.8. Antinomien, Objekt- und Metasprache ... 25
9.2.9. Averbales Denken und „Sprechen" ... 26

9.3. Mathematik und Physik ... 26
9.3.1. Grundlagen der Mathematik ... 26
9.3.2. Rechentechnik ... 26
9.3.3. Physik ... 27

9.4. Biologie, Medizin, Psychologie ... 27
9.4.1. Zoosemiotik ... 27
9.4.2. Medizinische Semiotik ... 27
9.4.3. Allgemeine Semantik ... 27
9.4.4. Psychologie ... 27

9.5. Information und Dokumentation ... 28

9.6. Ausgewählte Gebiete der Wirtschaft ... 28
9.6.1. Ökonomische Semiotik ... 28
9.6.2. Innerbetriebliche Aufgaben ... 28
9.6.3. Absatz und Werbung ... 29

9.7. Kultur, Ästhetik, Kunst ... 29
9.7.1. Semiotische Theorie der Kultur ... 29
9.7.2. Ästhetik ... 30
9.7.3. Allgemeines zur Kunst ... 30
9.7.4. Musik ... 31
9.7.5. Literatur ... 31
9.7.6. Räumliche Künste (Computergraphik) ... 31
9.7.7. Reine Mime ... 31
9.7.8. Film ... 32
9.7.9. Theater ... 32

Teil III: Anhang 322

10. Thesen zur Information 322

10.1. Shannonsche Theorie 322
10.2. Definition der Information 325
10.3. Wechselwirkende Systeme 327
10.4. Träger und getragene Information (Getragenes) 329
10.5. Quantität und Qualität 331
10.6. Kompliziertheit 334
10.7. Bedeutung der Zeit 338

11. Literaturverzeichnis 340

12. Namenverzeichnis 353

13. Sachwortverzeichnis 356

Teil I: Biologie und Medizin

1. Einleitung

Die *Abgrenzung* der belebten von der unbelebten Natur ist nicht immer ganz einfach Ein Beispiel sind die *Viren*, ein weiteres ergibt sich bei der *Evolution des Lebens* aus de toten Materie. Heute werden meist drei Merkmale anerkannt, die gemeinsam erfüll sein müssen:

- *Stoffwechsel* mit den Attributen der Selbstorganisation und Selbstregulation sowi dem Wachstum als wesentliche Folge,
- *Fortpflanzung* (Vermehrung) mit den Attributen Vererbung (Strukturerhaltung und Mutation (Strukturwandel),
- *Höherentwicklung* durch Selektion von jeweils bestangepaßten Varianten au einer großen Vielzahl.

Von der kybernetischen Seite wird das Problem der Abgrenzung gegenüber imme komplexer werdender *technischen Einrichtungen* immer deutlicher. Hier kann di Abgrenzung dadurch geführt werden, daß biologische Systeme von den kleinste Struktureinheiten stetig aufwärts zu komplexen Gebilden *definiert strukturiert* sind Technische Gebilde werden dagegen von oben herab zu immer kleiner werdende Strukturen definiert erzeugt, dürften dabei aber kaum jemals die Molekülgrenzen e reichen. Bei der heutigen, am weitesten fortgeschrittenen Mikroelektronik ist gerad ein Bereich in µm-Abmessungen erreichbar.

Durch die gewaltigen Fortschritte in der Molekularbiologie in den letzten Jahre ist das spezifische Informationssystem in der belebten Natur allgemein stärker be kannt geworden. Ein bedeutender Fakt besteht darin, daß es für das gesamte Lebe auf der Erde auf einem einzigen, also universellen Kode beruht. Bei höher entwickel ten Tieren existiert ein weiteres bedeutsames Informationssystem, welches vo Nervenzellen gebildet wird und in den überwiegenden Fällen, d. h. bei allen komplexe Formen, zu Konzentrationen an wenigen Körperstellen, also u. a. zu Gehirnen, führ Neben diesen beiden Informationssystemen existieren bei vielen Tieren und beir Menschen zumindest noch zwei Informationssysteme: das Hormonsystem und da immunbiologische System. Die *vier* wichtigsten *Informationssysteme der Biologie sin* demnach:

- Genetik der Zelle,
- Nervenzelle und Gehirn,
- Hormonsystem,
- immunbiologisches System.

Schon hier sei betont, daß bei diesen Systemen *zwei Aspekte* zu unterscheiden sind:

- ein konstruktiver und
- ein funktioneller.

Der *konstruktive Aspekt* wird besonders beim genetischen System deutlich. Es dient verknappt dargestellt dazu, aus einer sehr kleinen Menge Erbinformation der DNS (wird noch genauer erklärt) immer wieder neue Organismen aufzubauen. Die DNS trägt also sozusagen alle potentiellen Möglichkeiten des Organismus.

Der *funktionelle Aspekt* ist besonders deutlich beim Nervensystem ausgeprägt. Es dient dem fertig entwickelten Organismus dazu, optimal auf Einflüsse aus der Umwelt zu reagieren. Von Teilen dieses Aspektes macht der technische Computer, ja selbst der Roboter Gebrauch.

Das *Hormonsystem* verwendet spezielle Makromoleküle, die Hormone, und transportiert sie mit dem Blutstrom an die entsprechenden Organe, wo diese Moleküle dann spezifische Wirkungen auslösen. Bei den Wirbeltieren und dem Menschen wird das Hormonsystem letztlich durch das Gehirn gesteuert, wesentlich greift hierbei der Hypothalamus (ein Teil des Gehirns) ein. Die entscheidende Verbindung zwischen Gehirn und Hormonsystem bildet die Hypophyse, eine Drüse, die mit dem Gehirn unmittelbar räumlich und funktionell gekoppelt ist. Von hier aus werden hierarchisch und rückgekoppelt die anderen Hormondrüsen, insbesondere Schilddrüse, Pankreas, Nebennieren, Keimdrüsen und Zirbeldrüse, beeinflußt. Sie schütten ihrerseits wiederum Hormone aus, welche die vielfältigsten Lebensprozesse beeinflussen. Der Angriffspunkt der Hormone sind meist spezielle Rezeptoren in den Membranen der entsprechenden Zellen (Erfolgsorgane). Die diffuse Verteilung der Hormone wird also durch Eigenschaften der Zielzellen (-organe) spezifisch. Hier können die Hormone bis in das molekulare Geschehen der einzelnen Zelle eingreifen. Sie erlangen daher, von der einzelnen Zelle aus betrachtet, gewisse Ähnlichkeit mit der Wirkung von Enzymen, auf die noch eingegangen wird. Verknappt werden Hormone oft als Regulatoren und *Enzyme* als Katalysatoren des Organismus bezeichnet. Die Trennung zwischen beiden ist aber nicht immer eindeutig möglich. Hormone besitzen auch außerhalb der Wirbeltierreihe beachtliche Bedeutung. So sind für die Umwandlung von der Raupe zur Puppe und zum Schmetterling vor allem zwei spezifische Hormone, das Pteredin und Ecdyson, verantwortlich. Auch im *Pflanzenreich* existieren *Hormone*, z. B. solche, die das Wachstum steuern. Da die Entstehung der Hormone ebenfalls vielfältig ist, werden zuweilen *Drüsen-*, *Neuro-* und *Gewebshormone* unterschieden.

Insgesamt sind die Hormone Makromoleküle, die von bestimmten Zellen erzeugt, dann mit dem Flüssigkeitsstrom transportiert werden und schließlich an anderen Orten, an speziellen Rezeptoren, über ihre chemische Struktur wirksam werden. Die Funktion der Hormone ist prinzipiell rein chemisch beschreibbar. Damit ist aber nicht erklärt, warum die einen Zellen (bzw. Zellorganellen) das Hormon erzeugen und andere darauf in definierter Weise reagieren. Diese Zusammenhänge haben sich im Verlauf der Evolution herausgebildet und bewährt. Ihr heutiger Funktionsmechanismus ist besonders übersichtlich, wenn auch nicht notwendig, als Informationsprozeß zu beschreiben. Gerade dieses Sowohl-als-auch bezüglich der Information besitzt bei allen biologischen Informationsprozessen besondere Aktualität. Das *hormonelle System* entspricht, ins Technische übertragen, am ehesten dem Rundfunk:

Mehrere Sender (*Hormondrüsen*) strahlen auf verschiedenen Frequenzen (*Hormone*) ihre Information diffus in die Atmosphäre (Körper). Es existieren viele Empfänger (Erfolgsorgane, Zellmembranen), die auf bestimmte Frequenzen (Hormone) abgestimmt sind und so aus der Fülle der Informationen nur die für sie jeweils wichtigen auswählen.

Das *immunbiologische System* dient der *Vernichtung von Fremdstoffen*, die ins Blut gelangen. Das bis heute im wesentlichen ungeklärte Problem besteht darin, wie festgestellt wird, was *körpereigen* und was *körperfremd* ist. Die in die Blutbahn eingedrungenen Fremdstoffe, *Antigene* genannt, sind u. a. Bakterien, Viren, Polysaccharide und Proteine (Eiweißstoffe). Da sie für den Organismus eine Gefahr bedeuten, müssen sie vernichtet werden. Hierzu werden spezielle *Antikörper* (Proteine) von speziellen Zellen erzeugt, und zwar für jedes spezielle Antigen ein ganz spezieller, genau angepaßter. Hier gibt es ein zweites Problem für das immunbiologische System. Beim erstmaligen Eindringen eines Antigens benötigt der Körper ca. 3 Tage, bis spezifische Antikörper gebildet werden können. Eine maximale Synthese liegt meist am 9. Tage vor. Beim erneuten Eindringen desselben Antigens kann der Körper sofort die richtigen, passenden Antikörper erzeugen, Die spezifische chemische *Struktur des Antigens* wird also irgendwie *gespeichert* und ist schnell wieder abrufbar, und dies gilt für Millionen unterschiedliche Antigene. Es gibt bis heute nur Hypothesen, wie der genetische Apparat der Knochenmarkzellen dies realisiert.

Während sich die Prozesse zur Vernichtung des Antigens im Blut abspielen, ist ursächlich für das immunbiologische System das *Lymphsystem* verantwortlich. Hierzu gehören u. a.: Thymusdrüse, Milz, Knochenmark, Wurmforsatz des Blinddarms, die Lymphknoten, Lymphbläschen (-follikel) und die Lymphozyten. Im Prinzip funktioniert das immunbiologische System so, daß zunächst jeder Fremdstoff als nicht körpereigen erkannt wird. Dann prüfen Thymus und Knochenmark, ob schon einmal passende Antikörper produziert wurden, wenn ja, werden diese in großer Zahl zur Vernichtung erzeugt. Ist dies dagegen nicht der Fall, dann werden mit schrittweiser Verbesserung immer besser angepaßte Antikörper gebildet. Sobald optimale Antikörper vorliegen, werden sie in großer Zahl produziert, und die entsprechende Struktur bleibt für die Zukunft gespeichert. Indirekt beruhen hierauf auch *Impfungen*, die mit kleinen Dosen oder abgewandelten Fremdstoffen das immunbiologische System anregen und es so für einen eventuellen Ernstfall vorbereiten, sofort die richtigen Antikörper bereitstellen zu können.

Folgende drei Systeme durchziehen also vollständig den Körper eines höheren Wirbeltieres:

Nervensystem,
Blutkreislauf,
Lymphsystem.

Alle anderen spezifischen Funktionen sind jeweils auf ein oder mehrere spezielle Organe lokalisiert.

Das hormonelle System wirkt diffus über den ganzen Körper, und das genetische System ist vollständig (potentiell) in jeder einzelnen Zelle enthalten.

2. Genetik der Zelle

In der Studie [V15] wurden als dialektische Paare zum System die *drei Objektklassen*:

Stoff, Energie und Information

eingeführt. Alle drei besitzen bei der biologischen Zelle ihre spezifische Bedeutung und Ausprägung. Dies versucht verallgemeinert Abb. 2.1a zu zeigen, dabei sind die Unterschiede von Pflanzen und Tieren zunächst bewußt verwischt. Sie sind gesondert in Tab. 2.1 ausgewiesen.

Mittels der *Fotosynthese* erzeugt die pflanzliche Zelle aus den drei Komponenten:

Energie des Lichts, Wasser und Kohlendioxid

sowohl die *energiereiche Grundsubstanz* Glucose als auch den allgemeinen Energieträger ATP aus ADP (Abb. 2.1 b). Ferner entsteht als „Abfallprodukt" Sauerstoff.

Tabelle 2.1 Vergleich wichtiger und typischer Unterschiede zwischen Pflanze und Tier [D4]

Pflanze	Tier
besitzt Chlorophyll, daher direkte Ausnutzung der Sonnenenergie (Folge: autotroph),	besitzt kein Chlorophyll (Folge: heterotroph),
benötigt nur anorganische Nährstoffe, d. h. vollständige Synthese aller biologischen Substanzen,	benötigt vor allem organische Nährstoffe, Synthesemöglichkeiten z. T. erheblich beschränkt, essentielle Substanzen,
nimmt bei Licht CO_2 auf und gibt O_2 ab,	atmet nur O_2,
ortsfest eingewurzelt,	frei beweglich,
beliebige Größe möglich, da keine Bewegung notwendig und da an den Spitzen und anderweitig ständig embrionale Zellen vorhanden,	begrenzte Größe wegen Bewegung,
Wachstum erfolgt bis zum Tode (Folge: mögliche Stechlingsvermehrung,	Wachstum nur bis zum adulten Organismus,
starre Zellwände,	nackte Zellen,
Vergrößerung der Oberfläche für Stoffwechsel nach außen verlagert (Blätter, Wurzeln).	Vergrößerung der Oberfläche für Stoffwechsel nach innen (Darmzotten usw.) verlagert.

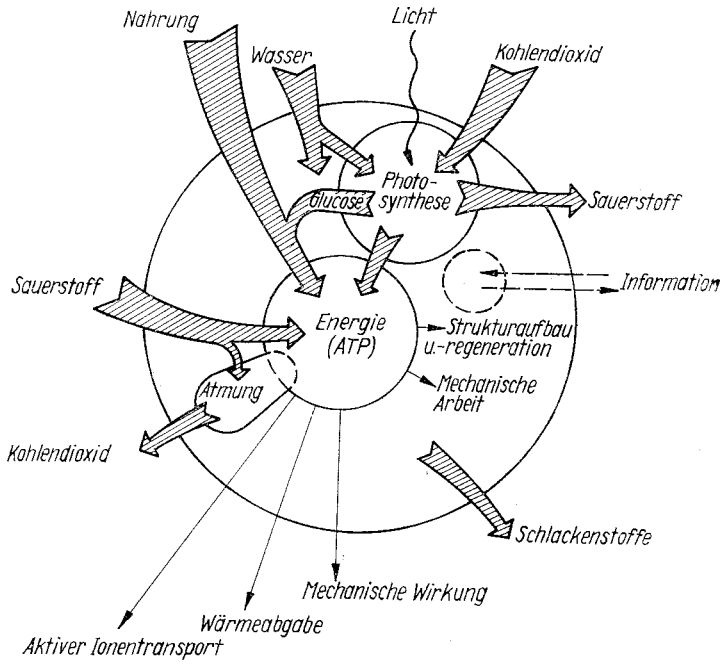


Abb. 2.1 Die wichtigsten Transport-, Energie- und Informationsprozesse in starker Vereinfachung (a) und wichtige Zusammenhänge beim Hauptenergieträger ATP (b) [R10; R19].

Dieses System hat für alles Leben auf der Erde eine fundamentale Bedeutung, denn die Tierwelt ist voll auf die Nahrung Pflanze und den Sauerstoff angewiesen. Zum *Stoffstrom* der Zelle gehört ferner die Nahrung. Sie wird mittels Sauerstoff zur Energieerzeugung in Pflanze und Tier verbrannt, dabei entstehen Kohlendioxid und Schlackenstoffe, die aus der Zelle heraustransportiert werden müssen. Einen *Großkreislauf* des Stoffes, bezogen auf 100 kg "Rind,,, zeigt Abb. 2.2.

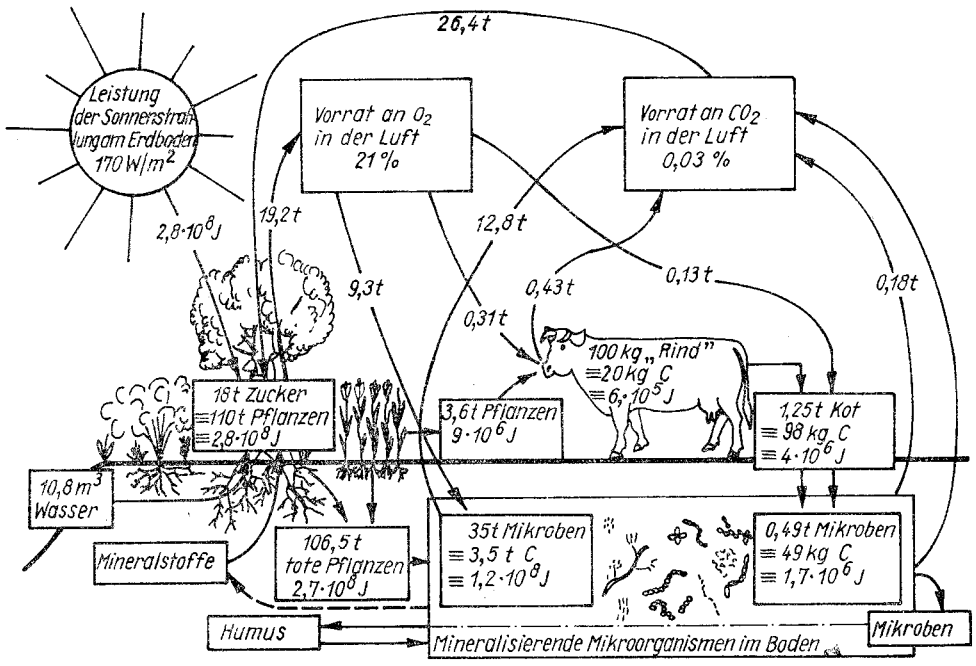


Abb. 2.2 Energie- und Kohlendioxidumsätze in der Wechselwirkung zwischen Rind und Umwelt (auf 100 kg „Rind" bezogen [S15]).

Ein großer Teil des *Energie*haushalts der Zelle wird für ihren Strukturaufbau und dessen Regeneration benötigt. Nach außen wird Energie vor allem durch Wärme, mechanische Wirkung und aktiven Ionentransport (über die Zellmembran) abgegeben.

Der *Informations*fluß in der Zelle sowie nach und von außen kann erst später beschrieben werden. Die Zusammenfassung der Zellprozesse kann insgesamt unter dem Gesichtspunkt des Stoffwechsels (*Metabolismus*) erfolgen. Dabei entsteht ein Schema, wie es Abb. 2.3 zeigt. Entsprechend den einführenden Bemerkungen interessieren hier nur die Aufbauprozesse, d. h. der Anabolismus oder die Biosynthese. Hierbei sind vor allem die Proteine (Eiweiße), Nukleinsäuren und Enzyme von zentraler Bedeutung. Nur sie werden daher weiter betrachtet. Zu ihrer Beschreibung ist es jedoch sinnvoll, zunächst einige spezifische Aspekte aus der Chemie zu behandeln. Sie betreffen die Spezifik der chemischen Reaktion, wie sie im Organismus ablaufen.

2.1. Etwas Chemie

Chemische Reaktionen erfolgen in der Regel so, daß von zwei Ausgangsstoffen A und B zwei neue Stoffe C und D gebildet werden. Mit stöchiometrischen Koeffizienten a bis d gilt also

$$aA + bB \rightleftarrows cC + dD\,. \tag{1}$$

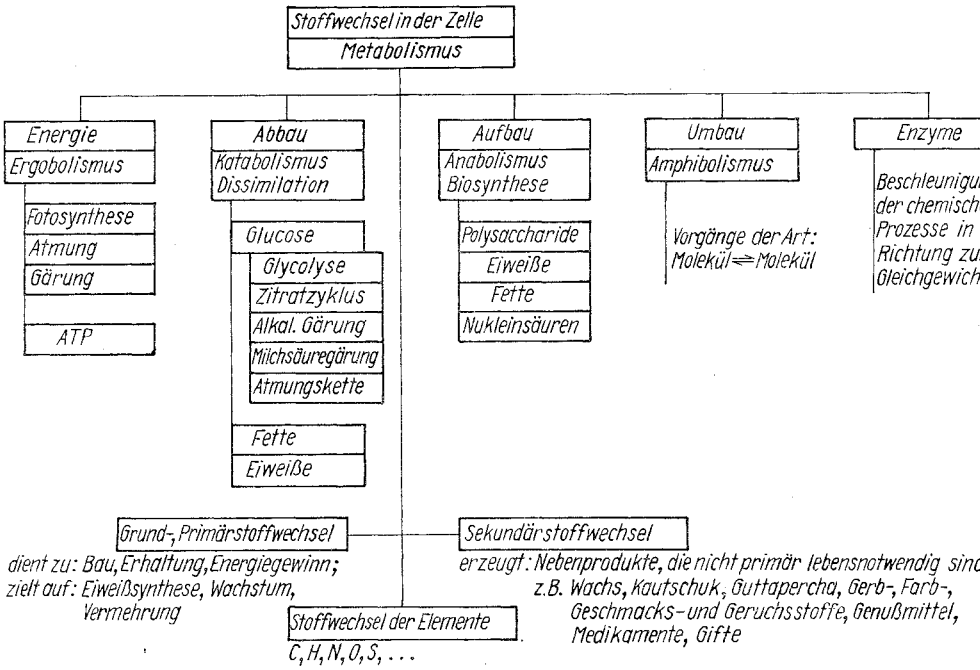


Abb. 2.3 Einteilung der wichtigsten Stoffwechselprozesse der Zelle [M21; R9]

Der Doppelpfeil in der Mitte deutet an, daß Reaktionsabläufe *in beiden Richtungen möglich* sind. Ferner sei erwähnt, daß die obige Formel prinzipiell auch den Zerfall einer Verbindung bzw. den Aufbau einer Verbindung darstellt, dann steht links bzw. rechts nur eine Komponente. Prinzipiell verlaufen chemische Reaktionen *nie vollständig in einer Richtung*, sondern streben einem *Gleichgewichtszustand* zu, der durch das *Massenwirkungsgesetz* beschrieben wird. Werden die Konzentrationen durch eckige Klammern ausgedrückt, so gilt mit einer Konstante K

$$\frac{[A]^a \cdot [B]^b}{[C]^e \cdot [D]^d} = K\,. \tag{2}$$

Die *Geschwindigkeit*, mit der sich dieses Gleichgewicht einstellt, hängt von der (absoluten) *Temperatur* und der *Aktivierungsenergie* E_A ab. Sie sei vereinfacht an dem Modell von Abb. 2.4 betrachtet. Es wird also ein gegenüber Gl. (1) vereinfachter Reaktionstyp ausgewählt. Die Abstände zwischen den drei Komponeneten A, B und C seien r_1 und r_2. Infolge der verschiedenen Bindungskräfte zwischen den Komponenten entsteht bei verschiedenen Abständen ein Potentialfeld, wie es Teilbild d zeigt. Der Zustand b ist also energetisch günstiger als a. Dennoch muß beim Übergang nach b eine *Energiebarriere* E_A, wie dies schematisch Teilbild e zeigt, überwunden werden. Diese Energien besitzen thermodynamisch aber nur eine geringe Anzahl N der N vorhandenen Reaktionspartner. Hierfür gilt die Boltzmann-Statistik:

$$N = N_0 \cdot \mathrm{e}^{E_A/RT}\,, \tag{3}$$

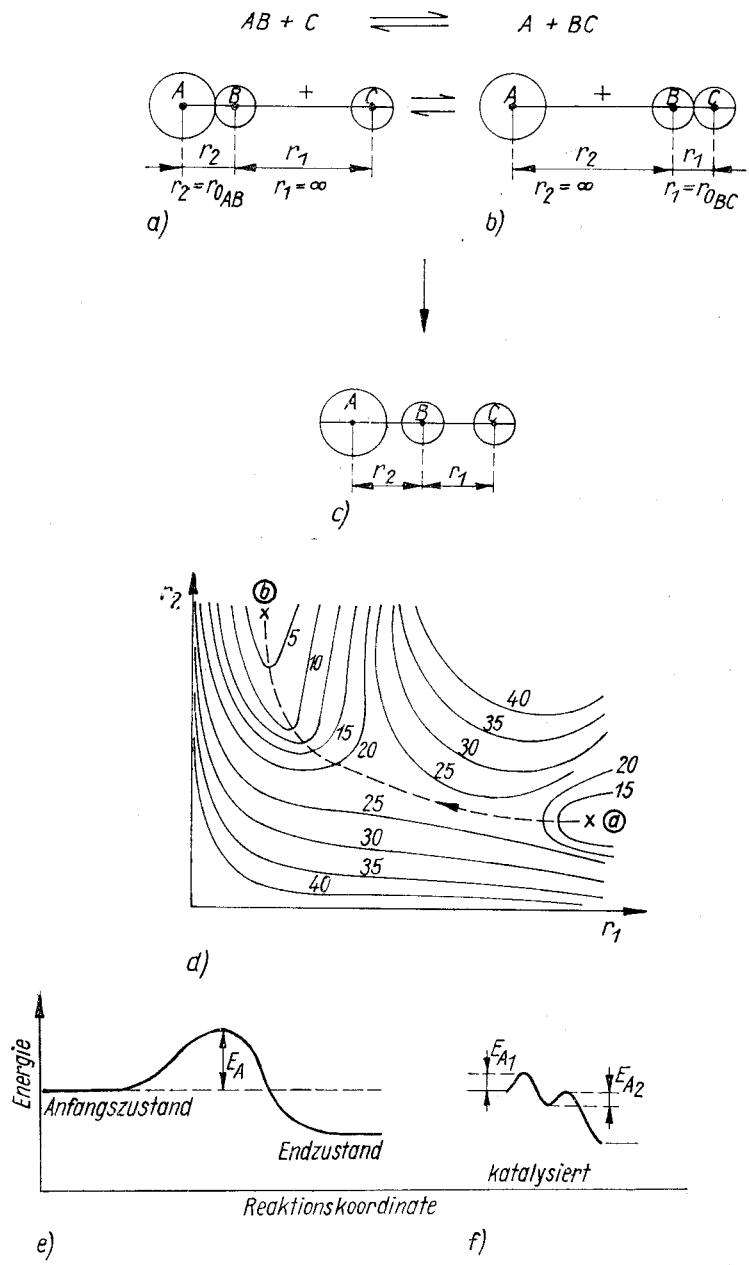


Abb. 2.4 Zur Dynamik einer chemischen Reaktion. Oben chemische Reaktion zwischen den drei Reaktionspartnern A, B und C. Räumliche Lage der Reaktionspartner vor (a), nach (b) und während (c) der Reaktion. Teilbild d zeigt die Linien gleicher Energie für verschiedene und beliebige Abstände r_1 und r_2. Den Reaktionsablauf zeigt die gestrichelte Linie und die dazugehörige Energiekurve als Funktion der Zeit Teilbild e, während f für den stufenweisen Energieverlauf bei Anwendung eines Katalysators gilt [A11; K40; P9].

wobei R die universelle Gaskonstante mit 8,32 $JK^{-1}\,mol^{-1}$ ist. Nur diese Reaktionspartner können die Aktivierungsschwelle überschreiten und sind zur Reaktion fähig. Ihre relative Anzahl bestimmt die Reaktionsgeschwindigkeit, also die Zeit, mit der sich der Gleichgewichtszustand einstellt. Meist wird die Zeit angegeben, bei der die Hälfte der Stoffe umgesetzt wird. Mit einer Konstanten $T_c \approx 10^{-13}$ bis 10^{-14} Sekunden gilt dann

$$t = T_c e^{E_A/RT} . \tag{4}$$

Hierzu gibt Abb. 2.5 einen Überblick.

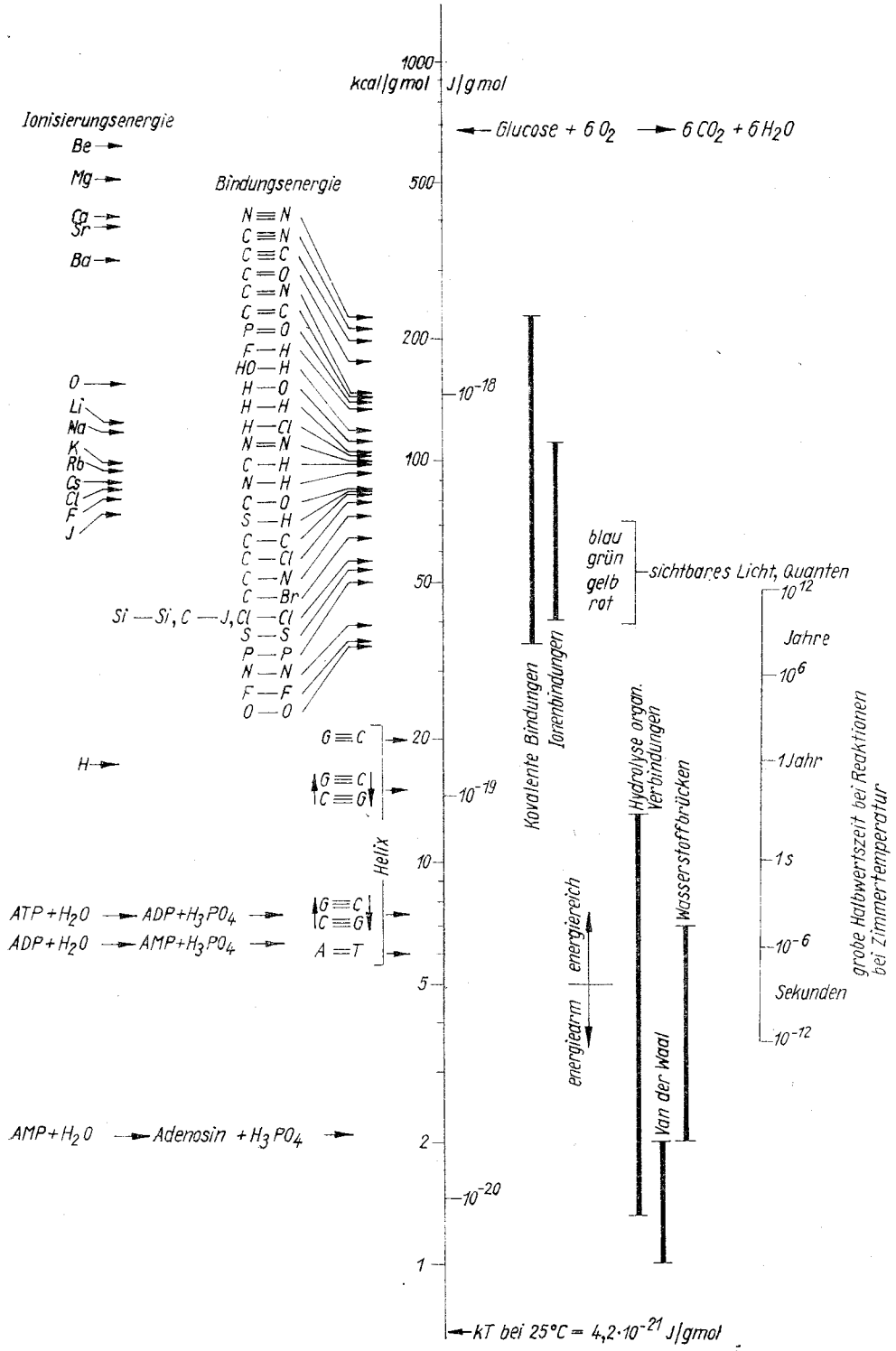
Für die *biologischen Prozesse* muß die Temperatur konstant und gleich der *niedrigen Zelltemperatur* sein. Dies bedeutet, daß für akzeptable Zeiten die Aktivier*ungsenergie* unterhalb von etwa 10^{-19} J/gmol liegen muß. Dies ist nur für wenige Verbindungen, der Fall. Deshalb wird in der *lebenden Zelle* fast ausschließlich ein anderer Weg, nämlich der über Katalysatoren bzw. Enzyme (Biokatalysatoren), beschritten.

Ein *Katalysator* bildet im Reaktionsablauf *nur zwischenzeitlich* ein *Reaktionsprodukt* und steht am Ende der Reaktion wieder unverändert zur Verfügung. Der *chemische Prozeß läuft* mit Katalysatoren, also *in Stufen* ab, wie dies Abb. 2.4f andeutet. Die Energie wird geteilt. Da sie aber im Exponenten von Gl. (3) steht und die Zeit umgekehrt proportional zu N ist, wird so die Zeit zum Einstellen des Gleichgewichtes erheblich verkürzt. In der *Biologie* steht für einen Reaktionsablauf ein ganzes *Enzymsystem* mit vielen Komponenten bereit. Dies bewirkt einen *Vielstufenprozeß* mit beträchtlicher Zeitverkürzung. Außerdem sind die Enzyme (als Biokatalysatoren) meist hoch spezifisch für bestimmte Substanzen und dann sehr stark wirksam. Tab. 2.2 zeigt

Tabelle 2.2 Katalytische Schaltung von H_2O_2 bei 25 °C. Von der Katalyse werden je Molekül $5 \cdot 10^6$ Substratmoleküle in der Minute gespalten. Noch effektiver ist die Azetylcholinesterase, sie spaltet je Minute sogar $2 \cdot 10^7$ Azetylcholinmoleküle. (Die Klammerwerte in Spalte 1 gelten in kcal/mol.) [F17]

Katalysator	Aktivierungsenergie in J/mol H_2O_2	Zunahme der Reaktionsgeschwindigkeit
ohne Katalysator	$7{,}5 \cdot 10^4$ (18)	1
Jodid	$6 \cdot 10^4$ (14)	$8 \cdot 10^2$
Platin	$5 \cdot 10^4$ (12)	$2 \cdot 10^4$
Katalase	$8 \cdot 10^3$ (2)	$3 \cdot 10^{11}$

für die Spaltung von H_2O_2 bei 25 °C einige Beispiele der Beschleunigung des Reaktionsablaufes durch Katalysatoren. Doch auch mit der spezifischen Enzymwirkung ist die Spezifik der biologisch-chemischen Reaktion noch nicht erschöpft. Einmal laufen mehrere (meist sogar viele) Reaktionen gleichzeitig und eng miteinander verkoppelt, und zwar solche, die Energie freisetzen, und solche, die sie verbrauchen. Weiter funktionieren fast alle *biologischen Reaktionen weit entfernt vom Gleichgewicht.* Dies ist nur dann möglich, wenn dabei ständig alle Komponenten unverändert und somit aktiv auf etwa gleichen Konzentrationen gehalten werden. Deshalb wird vom *Fließgleichgewicht* (engl. steady state) gesprochen. Ein simples Modell hierfür ist ein Wassergefäß mit einem Abfluß, aus dem ständig aus einer kleinen unteren Öffnung


1000
kcal/gmol
J/gmol
Glucose + 6 O2
6 CO2 + 6 H2O
Ionisierungsenergie
Be
Mg
Ca
Sr
Ba
Bindungsenergie
500
200
100
50
20
10
5
2
1
O
Li
Na
K
Rb
Cs
Cl
F
J
H
N≡N
C≡N
C≡C
C=O
C=N
C=C
P=O
F—H
HO—H
H—O
H—H
H—Cl
N=N
C—H
N—H
C—O
S—H
C—C
C—Cl
C—N
C—Br
Si—Si, C—J, Cl—Cl
S—S
P—P
N—N
F—F
O—O
G≡C
G≡C
C≡G
Helix
G≡C
C≡G
A=T
ATP+H2O → ADP+H3PO4
ADP+H2O → AMP+H3PO4
AMP+H2O → Adenosin + H3PO4
10-18
10-19
10-20
Kovalente Bindungen
Ionenbindungen
blau
grün
gelb
rot
sichtbares Licht, Quanten
Hydrolyse organ. Verbindungen
Wasserstoffbrücken
Van der Waal
energiereich
energiearm
10^12
Jahre
10^6
1 Jahr
1 s
10^-6
Sekunden
10^-12
grobe Halbwertszeit bei Reaktionen bei Zimmertemperatur
kT bei 25°C = 4,2·10^-21 J/gmol

eine bestimmte Menge Wasser ausströmt. Wird von oben Wasser definiert zugeführt, so läßt sich unter bestimmten Bedingungen der Wasserspiegel im Gefäß auf gleicher Höhe (dem Fließgleichgewicht) halten. Auf diese Weise fließt durch das Gefäß zwar ständig Wasser, und dennoch enthält es ständig eine genau definierte Menge Wasser. Es kann dabei die Zeit bestimmt werden, in der im Mittel einmal die vorhandene Wassermenge das Gefäß durchflossen hat. In diesem Sinne gibt es für alle *Substanzen in Organismen* gewisse *Halbwertszeiten.* Einige wenige Beispiele zeigt Tabelle 2.3.

Tabelle 2.3 Halbwertszeiten von Substanzen bei Lebewesen [B7; B8; V5]

Mensch	
Hämoglobin in den Erythrosyten	0,5 Jahre
Muskeln	158 Tage
Gesamteiweiß	80 Tage
Plasma und Eingeweide	10 Tage
Cholesterin	10 Tage
Methionin	40 Minuten
Ratte	
Epidermis	25 Tage
Muskeln	21 Tage
Dünndarm	1,5 Tage
Glucose	1,2 Stunden
Glykogen	1 Tag
Blutzucker	50 Sekunden

Es sei noch ergänzt, daß die *Enzyme* überwiegend *Proteine* sind. Sie besitzen, wie im nächsten Abschnitt erklärt wird, eine *dynamisch veränderbare Struktur.* Aus diesem Grunde können sie für eine bestimmte Reaktion je nach ihrem Zustand *aktiv oder inaktiv* sein. Dies kann durch bestimmte Substanzen (Effektoren) erreicht werden, die sich dem Enzym anlagern und dadurch seine Struktur verändern. Solche Enzyme heißen *allosterisch.* Je nachdem, ob dadurch das Enzym aktiv oder inaktiv gemacht wird, heißen diese Substanzen Aktivatoren oder Inhibitoren. Zum Teil sind Vitamine solche Substanzen. Auf den Enzymen gibt es meist spezielle aktive Zonen, die genau dem Substrat angepaßt sind und so durch die mögliche enge Bindung die Aktivierungsenergie beeinflussen.

Im Menschen sollen etwa 20000 Enzyme wirksam sein. In den Zellen höherer Tiere sind jeweils mehrere Enzyme für einen komplexen Reaktionsablauf auch örtlich zusammengefaßt. Bei den Mitochondrien (Abschn. 2.1.5.) wirken etwa 25 Enzyme zusammen. Heute sind etwa 2000 Enzyme bekannt, über hundert kristallin dargestellt und ca. 150 kommerziell verfügbar. Die Molekularmassen der Enzyme liegen bei 10^3 bis 10^6. Alle Zellen besitzen eine Grundausstattung von Enzymen. Es gibt keine Zelle, die alle Enzyme enthält.

◀ Abb. 2.5 Überblick zu einigen Bindungs- und Ionisierungsenergien. Ferner sind der Energiebereich verschiedener Bindungstypen und die Halbwertszeiten bei entsprechenden Aktivierungsenergien aufgetragen [G5; G18; H9; P9; R9].

Die Beschreibung in der Biologie muß auf mehreren hierarchischen Niveaus erfolgen. Eine mögliche Einteilung dieser Niveaus zeigt Tab. 2.4. Es ist daraus ersichtlich, daß die chemischen Beschreibungen nur bis zu einem gewissen Niveau, zu den Makromolekülen, brauchbar sind, darüber hinaus müssen andere Methoden angewandt werden. Eine davon ist die der Information, wie sie in diesem Zusammenhang interessiert. Zunächst sollen die für die Informationsbetrachtung wichtigen Aminosäuren und Nukleinbasen sowie die sich daraus aufbauenden Proteine und Nukleinsäuren (DNS — RNS) beschrieben werden. Ergänzend zeigt Abb. 2.6, daß noch viele andere chemische Substanzen in der Zelle vorhanden sind und daß vielfältige andere chemische Prozesse in ihr ablaufen.

Tabelle 2.4 Eine mögliche Hierarchie zur Strukturbeschreibung in der Biologie [A9; G2; R10]

Komplexität	Beispiele
chemische Elemente	H, C, N, P, O, S
anorganische Verbindungen	H_2O, CO_2, NO_3^-, SO_4^{--}, PO_4^{---}
organische Grundbausteine	Aminosäuren Nukleidbasen Fettsäuren Kohlehydrate
Makromoleküle	Proteine Nukleinsäuren Polysaccharide Lipide
Zellorganellen	Membranen Zellkerne Mitochondrien Ribosomen
Zellen	Einzeller Muskel- oder Nervenzelle (Zelldifferenzierungen)
Organe	Lunge Magen Gehirn Auge
Organismen (Individuen)	Arten (Erscheinung und Verhalten)
Population	Verhalten der Individuen untereinander und zur Umwelt
Gesellschaft	Gesellschaftsordung Soziologie

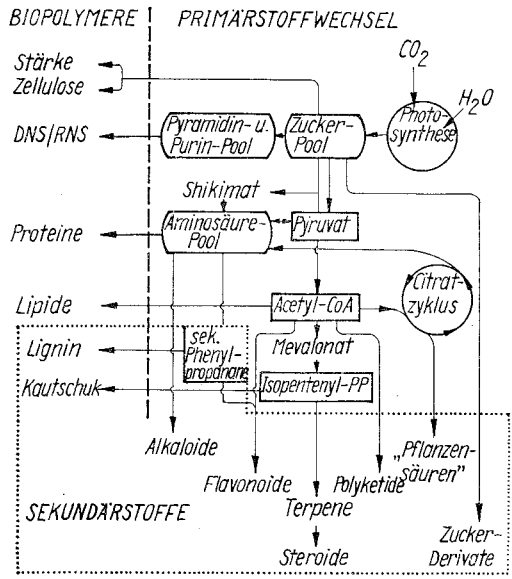


Abb. 2.6 Metabolische Beziehungen zwischen Grundstoffwechsel, Biopolymeren und Sekundärstoffen einer Zelle bzw. eines Organismus [P9]

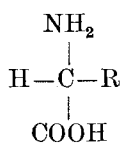
2.2. Proteine

Schon ENGELS nannte die Eiweiße wesentliche Substanzen für die besondere Bewegungsform des Lebens. Wenngleich damals der Begriff Eiweiß (Protein) keineswegs im heutigen Sinne zu verstehen war, so gilt dennoch heute seine Aussage. Die Eiweiße sind die wichtigsten Substanzen der lebenden Zellen. Sie machen zwar nicht immer mengenmäßig den Hauptanteil aus, greifen jedoch als Bausteine für die Struktur und noch mehr bei den ständigen Prozessen der Erhaltung und Entwicklung ihres Leben steuernd ein.

Der hierarchischen Aufbau der Proteine beginnt mit zwei typischen Gruppen:

Aminogruppe: $-NH_2$
Carboxilgruppe: $-COOH$.

Lagert sich an der freigelassenen Bindung irgend ein *Radikal* an, so entstehen *Amine* bzw. *Carbonsäuren*. Aus beiden Gruppen bildet sich mit einem zunächst beliebigen Radikal R die Grundstruktur der *Aminosäure*



Sie besitzt also sowohl *basische* als auch *saure* Eigenschaften und existiert in zwei unterschiedlichen räumlichen Konfigurationen, die spiegelbildlich sind. Dies zeigt Abb. 2.7. Beide Konfigurationen verhalten sich gegenüber polarisiertem Licht unter-

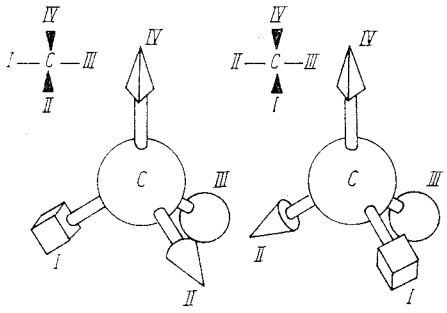


Abb. 2.7 Die beiden sterischen Bindungsanordnungen an einem Kohlenstoffatom

schiedlich, die eine dreht die Polarisationsebene nach links, die andere rechts. Aminosäuren sind also sterisch aktiv. Das „zentrale" C-Atom wird α-C-Atom genannt.

In den biologischen Eiweißen kommen meist 20 *unterschiedliche Aminosäuren* vor. Sie faßt Abb. 2.8 zusammen. Von der obigen Formel weicht dabei lediglich Prolin

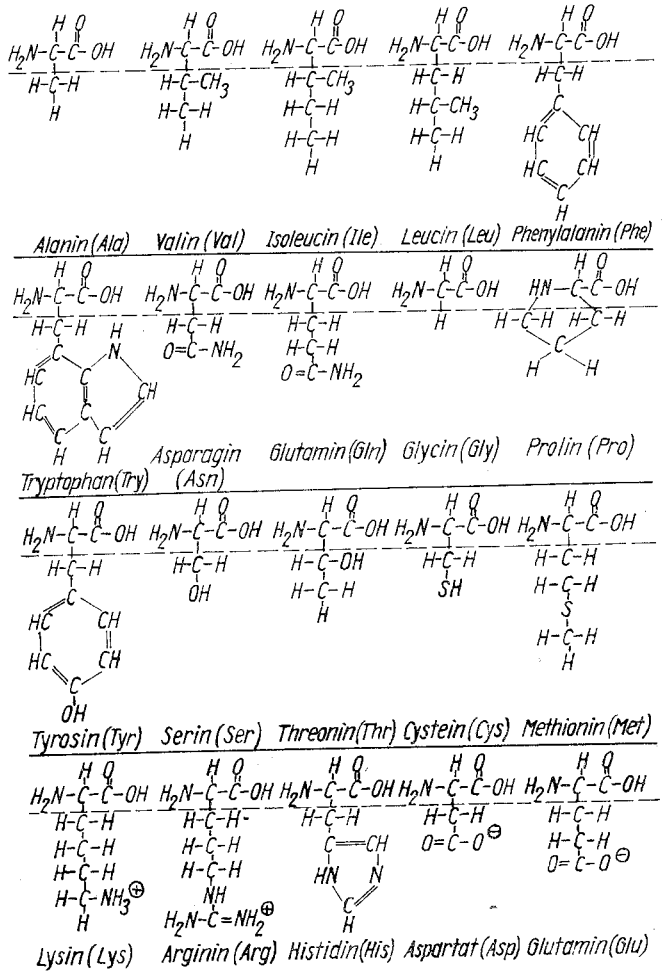
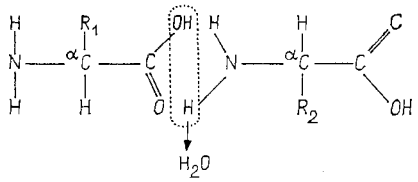


Abb. 2.8 Zusammenstellung der Strukturen der 20 wichtigen Aminosäuren [A11; M9; M21; R9; W23].

durch eine zusätzliche innere Bindung zum Stickstoff ein wenig ab. Alle biologisch *natürlichen Aminosäuren* sind sterisch vom L-Typ.

Infolge der basischen und sauren Eigenschaft können zwei Aminosäuren unter Abgabe von Wasser (Kondensation) eine Verbindung (*Peptidbildung*) eingehen. Hierzu ist es günstig, auch den NH_2- und COOH-Komplex mit Einzelbindungen darzustellen:



Das so entstandene *Dipeptid* hat wiederum ein saures und ein basisches Ende. Hier ist wiederum eine Peptidbildung durch Anfügen weiterer Aminosäuren möglich. So können sich *lange Ketten* aus Aminosäuren bilden. Sie werden je nach ihrer Länge unterschiedlich bezeichnet:

Ooligopeptide bis zu 10 Aminosäuren,
Polypeptide bis zu 100 Aminosäuren,
Makropeptide oder Proteine mit mehr als 100 Aminosäuren.

Die meisten Proteine enthalten 100 bis 10000 Aminosäuren. Dabei ergibt sich eine unübersehbar große Anzahl unterschiedlicher Eiweiße. Ist n die Kettenlänge, so sind aus den 20 biologischen Aminosäuren 20^n, also $10^{1,3 \cdot n}$ unterschiedliche Aminosäuren aufbaubar. Selbst bei einer Kettenlänge von nur 100 sind dies bereits mit 10^{140}, mehr als die Anzahl der Atome im Weltall. Bei einer Masse des Weltalls von etwa 10^{55} g sind nämlich nur etwa 10^{80} Atome vorhanden. Die Möglichkeiten des Aufbaus aller prinzipiell denkbaren Proteine sind schon allein aus diesem Grunde nicht realisierbar. Als andere Rechnung sei angenommen, daß der gesamte Atomvorrat der Welt nur für verschiedene Peptide verwendet werde und auch dementsprechend die Elemente verteilt seien. Dann reicht eine maximale Kettenlänge von 60 aus. RATNER [R5] schätzt ab, daß heute etwa insgesamt 10^7 ... 10^8 Proteinvarianten existieren. Dabei besteht z. T. eine beachtliche „Synomynität" (Gleichheit in der Funktion z. B. bei unterschiedlichen Arten von Pflanzen und Tieren). Deshalb dürften etwa 10^4 Protein-„familien" existieren. Unter Berücksichtigung der Evolution dürften ca. 10^9 ... 10^{10} Proteinvarianten existiert haben und 10^{15} erprobt worden sein. Das ist aber aus dem großen Vorrat der Möglichkeiten eine sehr kleine Zahl.

Abb. 2.9 zeigt die Winkelanordnung und die Abstände in einer Peptidkette. Dabei sind die dick gezeichneten Bindungen starr, und um die mit Doppelpfeilen gekenn-

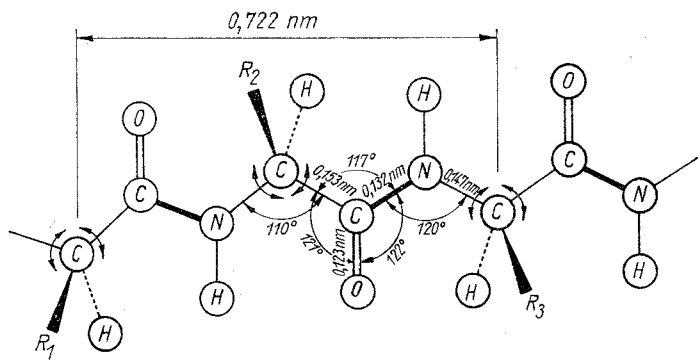
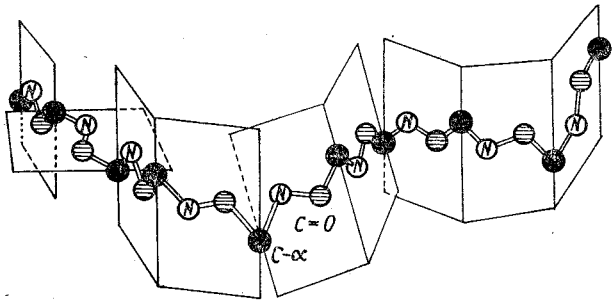
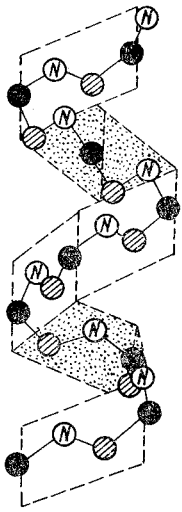


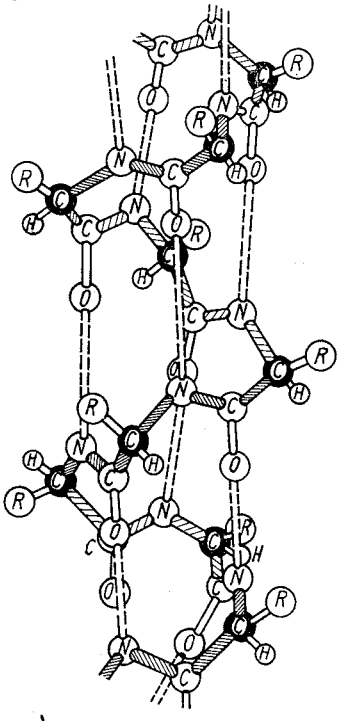
Abb. 2.9 Abmessungen und räumliche Anordnungen der Atome bei einer Peptidbildung [T6; W23].



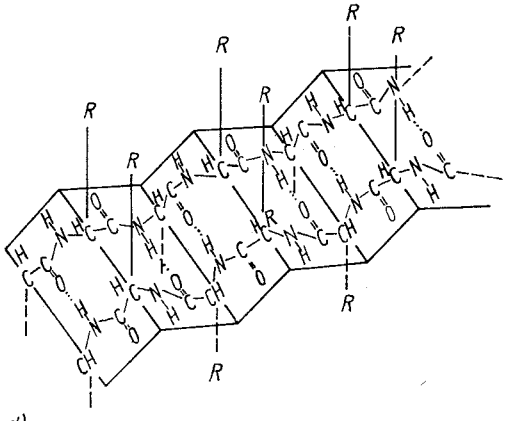
a)



b)



c)



d)

zeichneten Bindungen ist eine Drehung möglich. Deshalb gilt die bildliche *Gestalt* in Abb. 2.9 für die maximale Streckung der *Peptidkette*. In 2.10a ist dagegen eine Kette mit geringen Verdrehungen gezeigt. Es ist erkennbar, daß bei weiterer *Verdrehung* sich Atome soweit nähern können, daß *zusätzliche Verbindungen* auftreten, die dann eine *formstabilisierende Wirkung* hervorrufen. Besonders ausgeprägt ist dies bei einer schraubenförmigen Aufwicklung (2.10b), die schließlich zur *α-Helix* (2.10c) mit den zusätzlichen, gestrichelt gezeichneten Wasserstoffbrücken führt. In vielen Proteinen existieren gewisse Abschnitte (etwa 20 ... 80%) als α-Helix. Zu einer Windung der α-Helix gehören bei einer Ganghöhe von 0,54 nm etwa 3,3 Aminosäuren.

Neben der α-Helix gibt es eine zweite spezifische Struktur. Sie entsteht, wenn sich zwei Peptidabschnitte parallel lagern. Sie wird als *Doppelfaltblatt* bezeichnet und ist in Abb. 2.10d dargestellt.

Nach den angegebenen und vielen anderen Prinzipien kann sich ein Protein auf vielfältige Art und Weise falten und verbinden, z. T. ändern sich die einzelnen Verbindungen dabei auch unter verschiedenen Einflüssen, wie z. B. Temperatur, pH-Wert und Einfluß bestimmter Substanzen. Diese Änderungen der Struktur lassen die Proteine als dynamische Gebilde erscheinen, auf die noch einzugehen ist.

Die *Reihenfolge der Aminosäuren* in einem Protein heißt *Sequenz* und wird auch als dessen *Primärstruktur* bezeichnet. Sie ist für ein Protein fest gegeben. Die ersten einfachen Quer-Verbindungen bestimmen die *Sekundärstruktur* des Proteins. Die gesamte dabei entstehende Gestalt heißt *Tertiärstruktur*. Sie ist vor allem veränderlich. Werden die Proteine hohen Temperaturen oder anderen extremen Einflüssen ausgesetzt, so verlieren sie ihre reversiblen dynamischen und typischen Eigenschaften. Es wird dann von *denaturierten Proteinen* gesprochen. Sie können nicht mehr ihre biologischen Funktionen erfüllen. Dies läßt sich besonders anschaulich an dem von SEGAL entwickelten *Faltentrommelmodell* erkennen. Es ist vor allem für die vielfältigen globulären Proteine ein in einigen Fakten bestätigtes Denkmodell. Es wird in Abb. 2.11 gezeigt und in der Legende erklärt.

2.3. Nukleinsäuren

Nukleinsäuren bestehen aus drei Bestandteilen, und zwar je einem Molekül:

(P) Orthophosphorsäure H_3PO_4,
(Z) spezieller Zucker (eine Pentose),
(B) organische N-haltige Base.

◀ Abb. 2.10 Sekundärstrukturen von Peptiden [K32; M9; M21; R9; S1; W23]. In (a) und (b) sind die $^{\alpha}$C-Atome voll schwarz und die anderen C-Atome schraffiert gekennzeichnet
a) relativ einfache Verdrehungen an den $^{\alpha}$C-Atomen,
b) regelmäßige und stärkere Verdrehung kann zu einer Schraubenlinie (Helix) führen,
c) in einer Helix können sich zusätzliche (gestrichelte) Wasserstoffbrücken ausbilden, diese Struktur stellt die α-Helix dar,
d) diese Faltblattstruktur kann bei Aneinanderlagerung von zwei Peptidabschnitten entstehen.

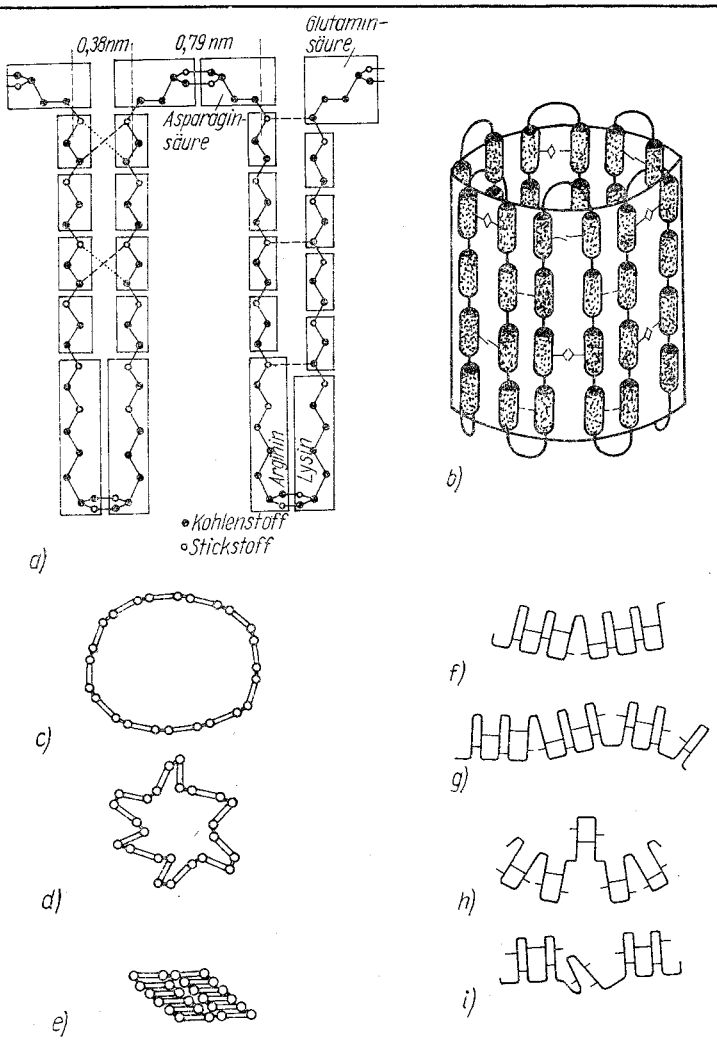
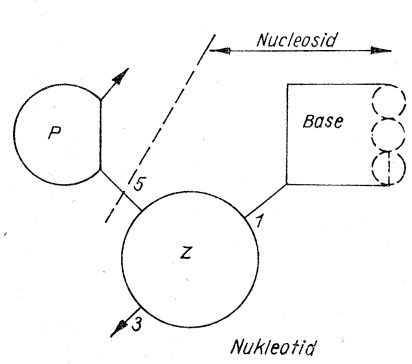


Abb. 2.11 Zum Faltentrommelmodell von SEGAL [K9; S33]
a) Teil eines Wandabschnitts. Es sind enge und weite Falten im Wechsel zu unterscheiden. In den engen Falten wirken Wasserstoffbrücken stabilisierend, in den weiten komplizierte, nicht gezeichnete Bindungen,
b) prinzipielles Aussehen der Faltentrommel. Sie ist leicht polarisiert, oben bei den weiten Falten, positiv unten bei den engen negativ,
c) bis e) unterschiedliche Packungen einer topologisch gleichwertigen Konfirmation aus 24 Peptidteilketten. Es werden verschiedene Stufen der Hydration gezeigt,
f), g) dynamische Veränderungen,
h), i) Denaturationen von Faltentrommelabschnitten.

►

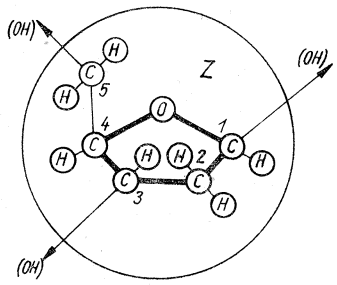
Abb. 2.12 Bestandteile und prinzipieller Aufbau von Nukleinsäuren. Gemäß links oben besteht ein Nukleotid aus einem Zucker (Z_i:Pentose), einem Molekül H_3PO_4 (P) und einer organischen Base. Die Basen leiten sich aus Pyrimidin und Purin gemäß der zweiten und dritten Zeile ab. Der Zucker (Pentose) existiert als Ribose und Desoxy-ribose, wobei beide Modifikationen sich lediglich durch die OH-Gruppe am 2. C-Atom unterscheiden [A11; G2; G3; G17; R9; T6].



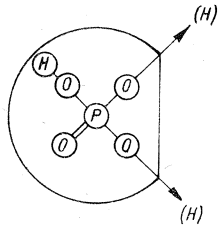
Nukleotid

DNS

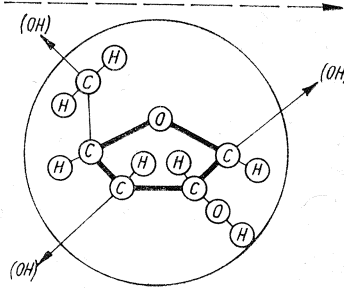
RNS



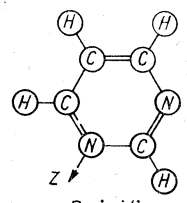
Desoxy-ribase



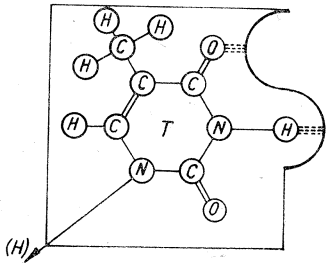
Orthophosphorsäure H_3PO_4

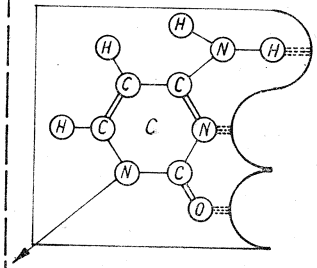


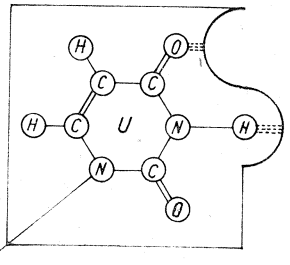
Ribose

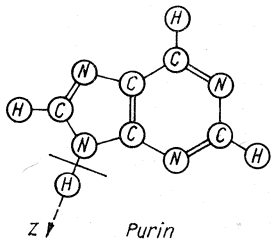


Pyrimidin

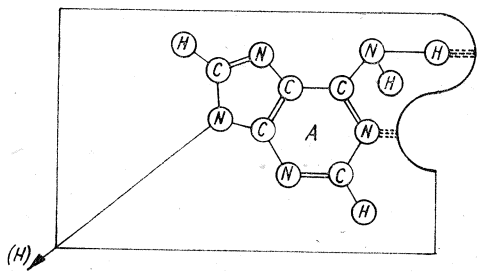


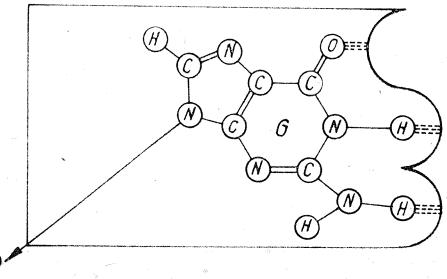


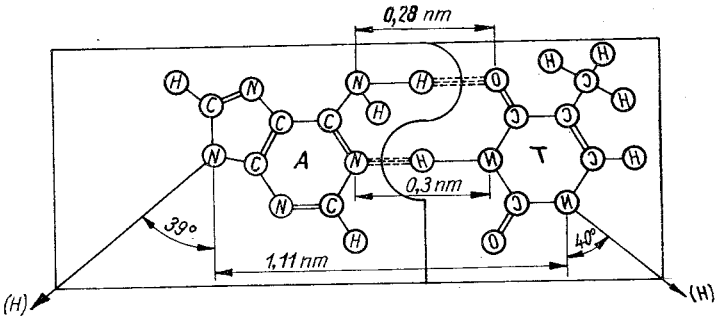




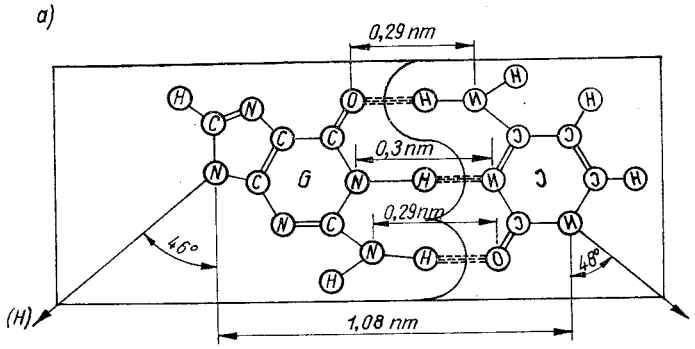
Purin



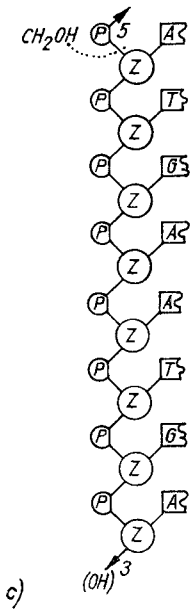



0,28 nm
A
T
0,3 nm
39°
40°
1,11 nm
(H)
(H)

a)


0,29 nm
G
C
0,3 nm
0,29 nm
46°
48°
1,08 nm
(H)

b)


CH2OH
5
3
(OH)

c)

Diese Grundbestandteile und den prinzipiellen Aufbau zeigt Abb. 2.12. Es sei mit der Erklärung des Grundaufbaues im Teilbild links oben begonnen. Die Pentose hat fünf Kohlenstoffatome. An das 1-Atom wird die Base gebunden und an das 5-Atom (außerhalb des Ringes) das Phosphorradikal. Das 3-Atom und eine weitere Valenz des Phosphorradikals dienen entsprechend den Pfeilen zum Kettenaufbau, auf den später eingegangen wird.

Die *Pentose* existiert je nachdem, ob eine RNS (Ribosenukleinsäure) oder DNS (Desoxy-ribosenukleinsäure) vorliegt, in zwei Varianten, die sich durch eine OH-Gruppe am 2-Atom unterscheiden. Die Basen leiten sich vom Pyrimidin bzw. Purin ab. Dies wird durch die zweite bzw. dritte Zeile in der Abb. betont. Dabei wird auch durch die Trennungslinien anschaulich betont, daß von den Pyrimidinderivaten jeweils nur zwei bei den DNS bzw. RNS auftreten.

Entsprechend den drei Möglichkeiten:

- organische Base allein,
- Base und Zucker = Nukleosid,
- Base, Zucker und H_3PO_4 = Nukleotid

tragen die jeweils möglichen von den 5 Basen *abgeleiteten Bausteine* unterschiedliche Namen. Zugeordnet zu den Abkürzungen in Abb. 2.12 gilt:

A: Adenin; Adensoin bzw. Desoxiadenosin,
C: Cytosin; Cytodin bzw. Desoxicytodin,
G: Guanin; Guanosin bzw. Desoxiguanosin,
T: Thymin; (Thyminribosid) bzw. Thymidin,
U: Uracyl; Uridin bzw. (Desoxiuridin).

Meist werden jedoch nur die Abkürzungen verwendet, und A, C, G, T treten demgemäß bei den DNS und A, C, G, U bei den RNS auf. Zwischen je einem Baustein der Derivate von Pyrimidin bzw. Purin können sich *Wasserstoffbrücken* ausbilden. Dies ist in Abb. 2.12 bereits durch die Puzzle-ähnliche Form angedeutet. Für die DNS entstehen dabei die beiden möglichen Kombinationen, wie sie Abb. 2.13 zeigt. Bei den RNS tritt anstelle von T dann lediglich U auf. Andererseits bilden die *Nukleotide* von Abb. 2.12 links oben relativ leicht *Ketten*, wie Abb. 2.13c zeigt. Gemäß Abb. 2.13a und b können sich dann wieder zwei solche Ketten zusammenfügen. Dabei entsteht die berühmte *Doppelhelix*, deren Schema Abb. 2.14 vermittelt, und zwar in der formalen Gestalt mit ihren Abmessungen im Teilbild b und mehr in Verbindung zu den vorangegangenen Bildern und in Gestalt eines senkrecht zur Achse stehenden Schnittes in Teilbild a. Hier ist deutlich eine enge und eine weite Furche zu erkennen.

◄ Abb. 2.13 Verbindungen zwischen Nukleotiden. Wasserstoffbrücken zwischen A und T (a) bzw. G und C (b). Zur Veranschaulichung sind sie wie beim Puzzle entsprechend den Formen von Bild 2.12 zusammengefügt. Dabei werden C und T bewußt spiegelbildlich gezeigt. (c) Aneinanderfügen von Nukleotiden, so daß eine Kette entsteht. Dabei ist auch am 3-Ende der mögliche OH-Abschluß und am 5-Ende der CH_2OH-Abschluß angedeutet, wobei 3 und 5 sich auf die Atome der Pentose beziehen.

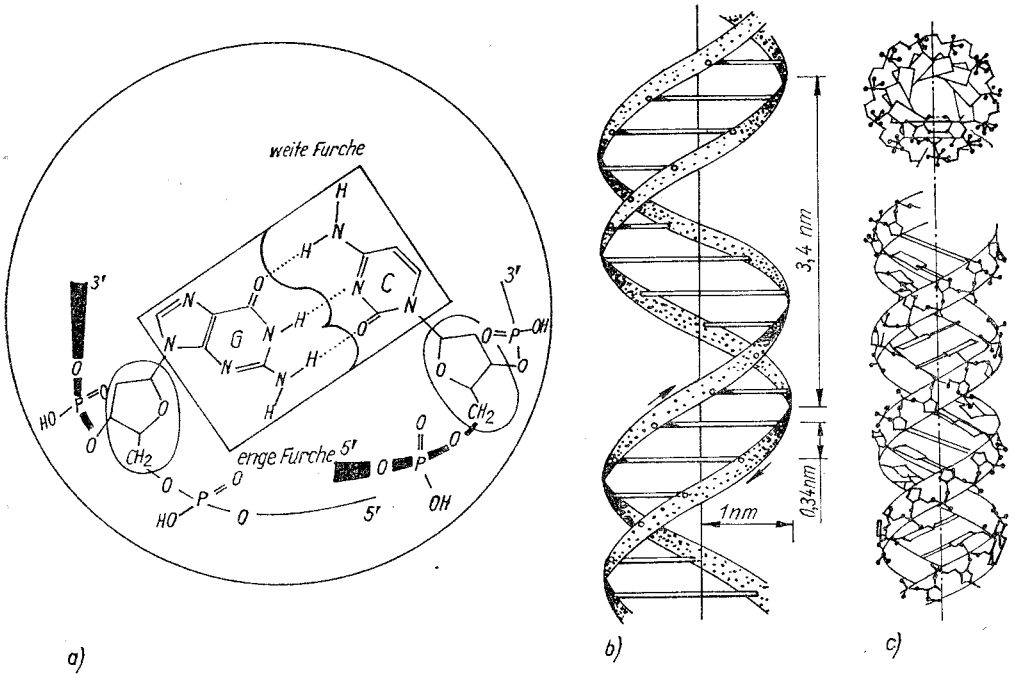


Abb. 2.14 Zum Aufbau der Doppelhelix [A11; R9; S33; T6; W19]
a) Schnitt senkrecht zur Achse, mit dem Versuch einer räumlichen Darstellung der Streben. Die jeweils dicker gezeichneten Enden sind weiter oben
b) zeitliche, stark vereinfachte Gestalt der Doppelhelix. Die Sprossen der gewendelten Leiter werden durch die Wasserstoffbrücken der Basen in Verbindung mit den zugehörigen Pentosen erzeugt. Die auffällige enge und weite Furche in der Doppelhelix ist auch im Teilbild c) gut zu erkennen.
Teilbild
c) vermittelt in anschaulicher Weise zwischen a) und b). Je Windung der Doppelhelix treten 10 Nukleotidpaare auf.

Bei den Proteinen war die Primärstruktur durch die Sequenz der unterschiedlichen Aminosäuren bestimmt. In ähnlicher Weise kann eine Sequenz bei den DNS und RNS betrachtet werden. Hier stehen jedoch nur die 4 Basen A, C, G, T bzw. A, C, G, U zur Verfügung. Bei einer Kettenlänge n sind jetzt also $4^n \approx 10^{0,6n}$ *Möglichkeiten* gegeben. Die DNS Moleküle sind nun aber viel länger (etwa 10^3 bis 10^{10} Nukleotidpaare). Die *kürzeste bekannte Nukleotidsequenz* besitzt die Bakteriophage MS 2 mit 3500 Paaren. Beim *Menschen* existieren etwa $5 \ldots 7 \cdot 10^9$ Paare. Dies ist aber noch nicht die größte Anzahl. Bei gewissen *Blütenpflanzen* und Tieren wird sie noch um fast eine Größenordnung *übertroffen*. Deshalb ist die Vielfalt der Möglichkeiten von mindestens gleicher Größenordnung. Abb. 2.15 gibt für beide Molekülarten einen Überblick. Die *Anzahl der Nukleotidpaare* müßte für gleiche Komplexität nämlich nur etwa 2,2 mal so groß sein wie die Anzahl der Aminosäuren im Protein, denn $4^{2,2}$ ist bereits 21,11. Bei einer Länge von nur 10^5 Nukleotidpaaren sind deshalb bereits 10^{60206} Kombinationen, also verschiedene DNS-Moleküle, möglich. Auf weitere Details der DNS und RNS wird später im Abschn. 2.7. eingegangen.

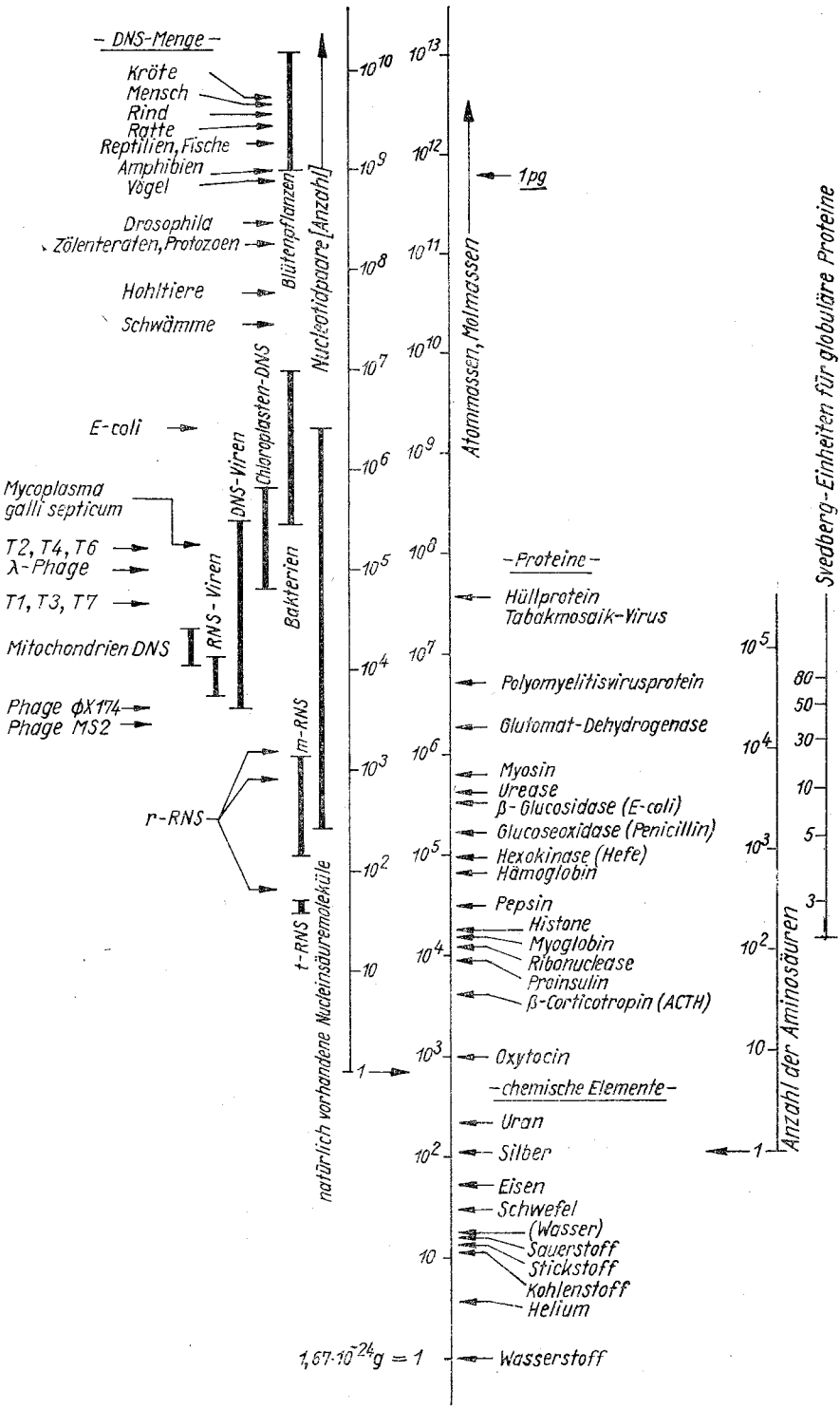


Abb. 2.15 Überblick zu den Größenordnungen der DNS- und RNS-Moleküle sowie der Proteine in Masseneinheiten, in Nukleotidpaaren und Anzahl der Aminosäuren. Zum groben Vergleich sind auch die S-(SVEDBERG)Einheiten aufgetragen [F17; G2; K32; M3; M9; N3; P1; R9; T6; W18].

2.4. Biologische Zellen

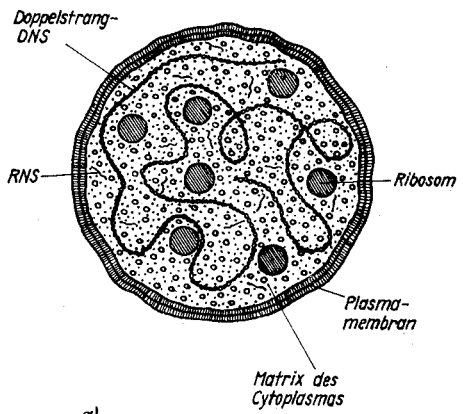
Die biologische Zelle ist die *kleinste Einheit des Lebens*. Die Lebewesen werden u. a. in Ein- und Mehrzeller eingeteilt. Allein von den Einzellern (Protozoen) gibt es etwa 20000 Arten. Bei den Vielzellern (Metazoen) existieren etwa 2.10^6 Tier- und $4 \cdot 10^5$ Pflanzenarten. Sie alle enthalten eine *Vielzahl* unterschiedlich strukturell gestalteter und funktionell wirkender *Zellarten*. Bei vielen Blütenpflanzen z. B. existieren ca. 80 Zelltypen. Die *Anzahl der Zellen* in einem Vielzeller ist sehr groß. Für den Menschen wird sie (ohne die reichlich 10^{13} Blutzellen) auf ca. 10^{14} geschätzt. Dabei werden jeweils innerhalb eines Tages 10^{10} bis 10^{11} Zellen durch Neubildung regeneriert. Allgemein besitzen höhere Tiere 10^{10} ... 10^{15} Zellen, während Bakterien meist in Klonen von 10^8 ... 10^{12} Zellen leben. In unserem Darm leben insgesamt etwa 10^{20} E-coli Bakterien.

Bei der Vielzahl unterschiedlicher Zellen ist es schwierig, einen typischen Zelltyp anzugeben. Ja nicht einmal die *Zellgröße* ist relativ einheitlich. Sie liegt zwar für die meisten Zellen im Bereich von 10 bis 100 μm Durchmesser, kann aber auch wesentlich kleiner oder größer sein. Eine untere Grenze dürfte bei etwa 0,1 μm dadurch liegen, da darunter nicht mehr alle Strukturen unterbringbar sind, die für die drei eingangs genannten Prinzipien des Lebens notwendig sind. *Nach oben* ist die Zellgröße durch mehrere Fakten begrenzt. Dazu gehören u. a. Grenzen der Diffusionsgeschwindigkeit, Steuerbarkeit der Vorgänge in der Zelle vom Zentrum aus, dann das Verhältnis von Oberfläche und Volumen bezüglich der Umweltbeziehungen der Zelle. Sinnvoll wird dagegen eine Zelle immer zur Speicherung von Nährstoffen vergrößert, wie es u. a. bei Eizellen der Fall ist. Die größte Zelle dürfte das Straußenei mit 7,5 cm Länge darstellen. Damit wird ein *Volumenbereich* von 10^{-3} bis 10^{14} μm^3 überstrichen. Eine weitere notwendige Vergrößerung von Zellen ergibt sich für die *Axone der Nervenzellen*, die ja z. T. Informationen sehr weit vermitteln müssen und daher *Längen bis zu Metern* erreichen können.

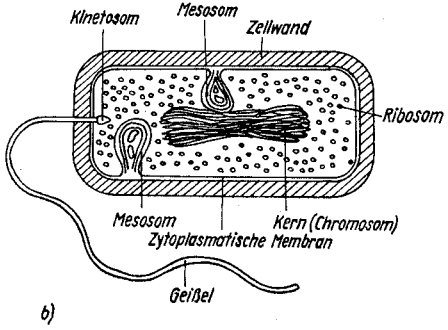
Von der *Funktion* her können folgende *Zelltypen* unterschieden werden:

- Zellen für Stoffwechsel, -transport und -speicherung; z. B. Plasma-, Endothel-, Blut- und Mastzellen,
- Zellen zur Erhaltung der Form und zum Schutz der Oberfläche; z. B. Bindege-

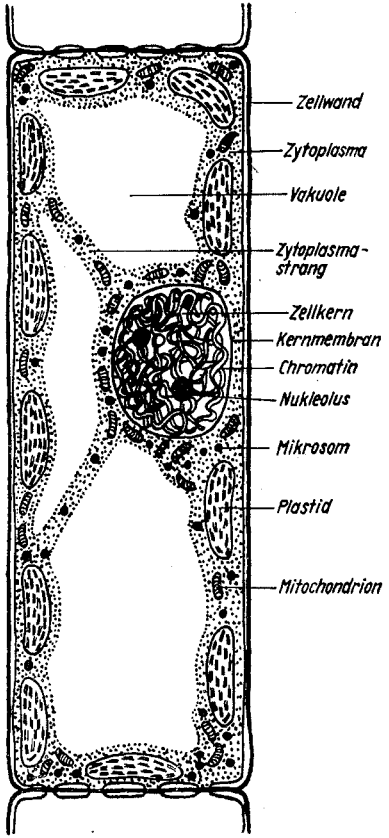
Abb. 2.16 Vier ausgewählte Zelltypen (Prinzipaufbau) ▶
a) Mycoplasmen zählen zu den kleinsten Zellen. Von einer Zellmembran eingeschlossen existieren in ihnen nur das DNS-Molekül, mehrere RNS-Fäden, Ribosomen und Proteine. Sie dürften etwa der Minimalzelle entsprechen.
b) Bakterienzelle mit Geißel. Bakterienzellen besitzen bereits mehrere weitere Strukturelemente, zum Teil formbeständige Außenwände oder Vorstufen von Mitochondrien und Chloroplasten. Sie besitzen aber noch keinen Zellkern.
c) Pflanzenzelle, die insbesondere durch die starre Zellwand gekennzeichnet ist, die durch den osmotischen Druck des Zytoplasmas straff gehalten wird. Sie besitzen ähnlich wie
d) die Tierzelle eine größere Anzahl von durch Membranen abgegrenzten Zellorganellen und insbesondere einen Zellkern.


Doppelstrang-DNS
RNS
Ribosom
Plasma-membran
Matrix des Cytoplasmas

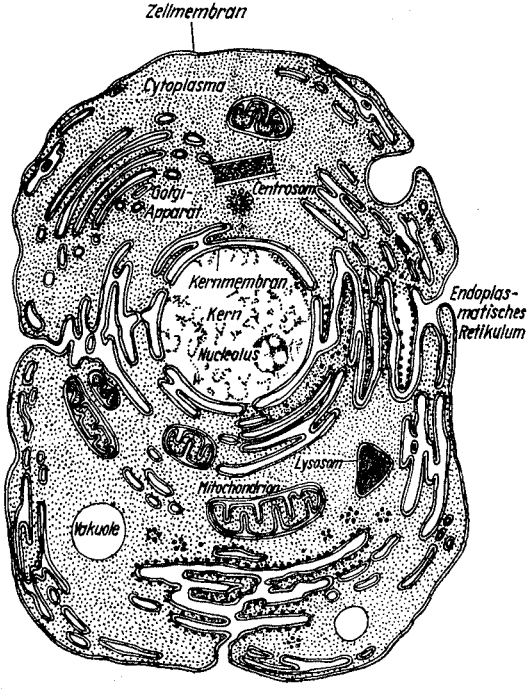
a)


Kinetosom
Mesosom
Zellwand
Ribosom
Mesosom
Kern (Chromosom)
Zytoplasmatische Membran
Geißel

b)


Zellwand
Zytoplasma
Vakuole
Zytoplasma-strang
Zellkern
Kernmembran
Chromatin
Nukleolus
Mikrosom
Plastid
Mitochondrion

c)


Zellmembran
Cytoplasma
Golgi-Apparat
Centrosom
Kernmembran
Kern
Nucleolus
Endoplas-matisches Retikulum
Lysosom
Mitochondrion
Vakuole

d)

webe-, Stütz- und Epithelzellen,
- Zellen zur Vermehrung; z. B. Ei- und Keimzellen,
- Zellen für die Bewegung; z. B. Muskelzellen,
- Zellen zur Sekretion; z. B. Drüsenzellen,
- Zellen zur Informationsaufnahme, -übertragung, -verarbeitung und -speicherung, z. B. Sinnes- und Nervenzellen, aber auch bedingt dazugehörig Gliazellen,
- Zellen zur Licht-Energiewandlung bei Pflanzen in den Plastiden.

Bedeutsam ist, daß sich alle die Zellen bei der Entwicklung eines Organismus aus der einen Eizelle durch Zellteilung und Zelldifferenzierung entwickeln und daß in einem gewissen Umfang (je nach dem Grad der schon eingetretenen Differenzierung) Zellen auch später umgestaltet und damit umfunktioniert werden können.

Aus der Vielzahl der möglichen Zellen sind in Abb. 2.16 vier typische Vertreter ausgewählt. Sie können nur das Prinzip des generellen Aufbaus andeuten. Wie weit die Abweichungen hiervon sein können, wird sich bei den Nerven- und Sinneszellen ergeben.

Grundbauelement aller Zellen sind *Membranen*. Jede Zelle besitzt zumindest eine *äußere Plasmamembran*, die das Innere der Zelle von der Umwelt der Zelle trennt. Diese alte, rein passive Vorstellung zur Zellmembran ist heute durch eine der aktiv wirkenden Membram ersetzt. Auf sie wird noch genauer im Abschnitt 3.3 und 3.4 im Rahmen der Neuronenaktivität eingegangen.

Neben der Plasmamembran gibt es in den meisten Zellen viele weitere Membranen. Sie bilden jeweils die Abgrenzungen für die Strukturelemente in der Zelle, z. B. die verschiedenen *Zellorganellen*. Alle Membranen gehen dabei von einem Grundaufbau aus, zeigen jedoch vielfältige Spezialisierungen. Wesentliche *Bausteine der Membranen* sind ungesättigte Carbonsäuren (Fettsäuren) und daraus aufgebaute Phosphorlipide (Lecitine). Sie sind gegenüber Wasser polar, eine Seite ist hydrophob (wasserabweisend), die andere hydrophil (wasserbindend). Meist sind in Membranen zur Versteifung und zur Aktivität der Membran die unterschiedlichsten Substanzen, u. a. Cholesterin, Proteine und Kohlehydrate eingebaut. Das Protein-Lipidverhältnis liegt etwa zwischen 20 und 30%, die *Dicke der Membranen* zwischen 4,5 und 11 nm.

Mit dem *Lichtmikroskop* lassen sich bei den meisten Zellen höherer Lebewesen drei Abgrenzungen erkennen:

- Zellmembran nach außen (Plasmalemma),
- Zellkern im Innern der Zelle (Abschnitt 2.6),
- Zytoplasma als Gebiet innerhalb der Zellmembran, jedoch außerhalb des Zellkernes.

Der *Zellkern* wird wegen seiner vielfältigen Besonderheiten, z. B. bei der Mitose und Meiose sowie bezüglich der Chromosomen und Nukleinsäuren besonders im Abschn. 2.6 behandelt. Im *Cytoplasma* sind noch Strukturen enthalten, die besonders durch das Elektronenmikroskop in vielen Details bekannt sind. Sie werden im nächsten Abschnitt behandelt. Die Zelle ist ständig bemüht, im Zytoplasma die für sie optimalen Verhältnissen, wie Ionen- und Molekülkonzentration, aktiv aufrechtzuerhalten.

2.5. Wichtige Zellorganellen

In jeder höher entwickelten Zelle existieren *im Cytoplasma* im wesentlichen folgende *Organellen und Gebilde*:

- Endoplasmatisches Retikulum (ER),
- Golgi-Apparat,
- Mitochondrien,
- Plastide, u. a. Leuko-, Chromo- und Chloroplasten,
- Lysosomen (Mikrosomen, Cytosomen),
- Mikrotubuli und Zentriolen,
- Ribosomen (Abschn. 2.7),
- Vakuolen.

Die *Plastide* treten nur in Pflanzenzellen auf. In den *Chloroplasten* ist das Chlorophyll enthalten. Dort erfolgt die Fotosynthese. Sie sind etwa 1 μm groß und stellen sozusagen (wie schon in der Einleitung gesagt) die Grundlage des Lebens auf der Welt dar. Mit ihrer Hilfe werden jährlich auf der Welt $4 \cdot 10^{14}$ kg Kohlendioxid in $2{,}7 \cdot 10^{14}$ kg Glucose umgewandelt und auf diese Weise rund 10^{18} J Sonnenenergie nutzbringend gespeichert. Die Chloroplasten verfügen über eine weitgehend eigenständige DNS und den zugehörigen Syntheseapparat. Sie macht etwa 1% ihres Trockengewichts aus und ist mit etwa $1{,}3 \cdot 10^5$ Nukleotidpaaren 45 μm lang.

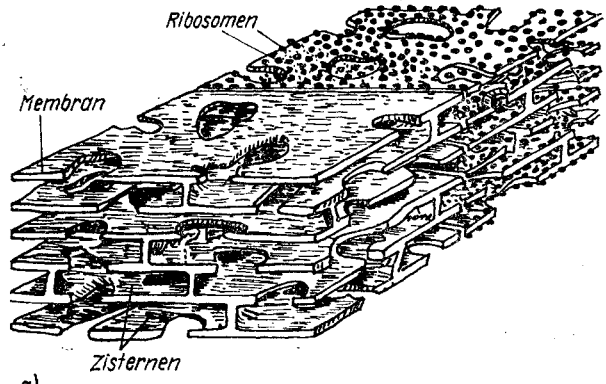
Die *Lysosomen* haben einen Durchmesser von etwa 0,4 bis 1 μm. Sie enthalten etwa 12 Enzyme in hoher Konzentration. Ihre Funktion ist die „Verdauung" von „verbrauchten" Zellbestandteilen und Fremdstoffen.

Die *Mikrotubuli* und Zentriolen sind lange, schlauchförmige Gebilde mit einem Durchmesser von 14 bis 30 nm. Sie sind aus globulären Proteinen von etwa 4 nm Durchmesser aufgebaut. Die *Zentriolen* besitzen bei der *Mitose* große Bedeutung. Jede höhere tierische Zelle besitzt zwei von ihnen. Sie bestehen aus 9 Gruppen zu je 3 Mikrotubuli. Ihr Durchmesser ist daher etwa 150 nm und ihre Länge 300 ... 500 nm. Sie können im engen Zusammenhang mit den Zilien, Wimpern und Geißeln von Zellen stehen.

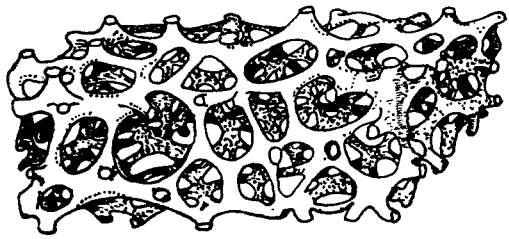
Die *Vakuolen* stimmen z. T. mit den Lysosomen überein, sind meist jedoch größer und haben keine bisher bekannt gewordenen Funktionen. Sie sind bei Pflanzenzellen besonders ausgeprägt und nehmen bei Pflanzen oft bis zu 90% des Zellvolumens ein.

Das *Endoplasmatische Retikulum ER* ist ein weit verzweigtes Membrannetz. Seine Form ist nicht einheitlich, zwei mögliche Strukturtypen deutet Abb. 2.17a und b an. Es kann kleine Bläschen (Vesikel bis etwa 0,1 μm), Kanäle (tubulär), abgeflachte Säckchen (Lamellen) und Zisternen enthalten. Häufig liegt es in Stapeln. In seinem Innern gibt es auch Teile, die blind sind, also über keine Ausgänge zum Plasma verfügen. Es existiert sowohl mit einer *granulären* (*Ergastaplasma*) als auch *granulafreien Oberfläche*. Die Funktion des ER ist der interzelluläre Transport, also der *Stoffaustausch*, aber auch die *Speicherung* für verschiedene *Zellsubstanzen*. Das *granuläre* ER ist *mit Ribosomen besetzt* und besitzt daher bei der Proteinsynthese große Bedeutung.

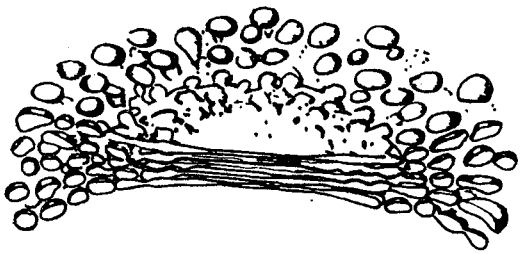
Der *Golgi-Apparat* (Abb. 2.17c) besteht aus mehreren, zum Zellkern hin gekrümmten Membransystemen. Sein Durchmesser beträgt meist 0,15 bis 2 (selten bis zu 5) μm. Die Dicke liegt bei 0,4 bis 1 μm. Der Golgi-Apparat erzeugt spezielle Zellsekrete, die



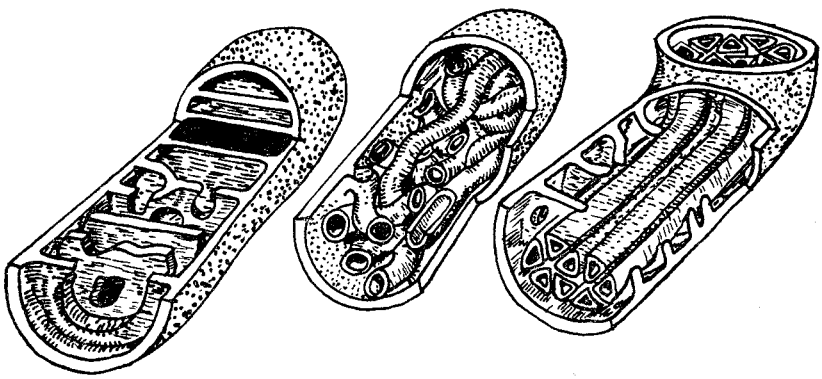
a)



b)



c)



d) e) f)

sich ständig in Form kleiner *Golgi-Vesikel* abschnüren. Hierzu gehören u. a. Neurosekrete, der Aufbau von Eidotter und Drüsensekrete. Die Aktivität des Golgi-Apparates kann dadurch eingeschätzt werden, daß z. B. eine Drüsenoberfläche von 1 μm^2 in der Stunde mehr als 100 μm^3 Schleim ausscheiden kann.

Die *Mitochondrien* sind die *„Kraftwerke" der Zellen.* Sie *speichern ATP,* was sie durch den Abbau energiereicher Kohlenwasserstoffe gewinnen. Hierzu tragen sie auf ihren Membranen die Enzyme der *Atmungskette* und des *Zitronensäurezyklus.* In einem Mitochrondrium können etwa 15000 solcher Einheiten existieren. Auf der Außenmembran sind die Enzyme für den *Fettsäurestoffwechsel* lokalisiert. Die Mitochondrien haben ähnlich wie die Plastide eine eigenständige DNS. Ihr Anteil im Vergleich zur Kern-DNS ist geringer als bei den Plastiden und macht etwa 0,1 bis 0,2% der Zelle aus. Bei Leberzellen werden je Mitochrondrium ca. 10^{-16} g angegeben. Bei pflanzlichen Mitochondrien liegt die DNS als lineares Molekül von etwa 5 nm Länge vor, bei tierischen Mehrzellern ist sie meist doppelsträngig und kreisförmig geschlossen. Für die Zusammensetzung der Mitochondrien gilt etwa

70% Protein (insgesamt 10^6 Moleküle je Mitochondrium, davon 50% Enzyme),
27% Phospholipide (Membrangrundstruktur),
3% Nukleinsäuren (DNS, m-RNS, t-RNS) (s. S. 17).

Im allgemeinen werden die drei inneren Gestaltungsprinzipien der Mitochondrien gemäß Abb. 2.17 d bis f unterschieden. Am häufigsten ist der Cristae-Typ. Funktionell scheinen zwischen den drei Typen keine Unterschiede zu bestehen.

2.6. Zellkern

Alle bisher betrachteten Zellstrukturen wurden wie statische Gebilde in einem quasistatischen Geschehen beschrieben. Dennoch ist das Plasma der Zelle ständig in Bewegung, und die besprochenen Strukturen vollziehen gegenüber der Zelle ihre funktionellen Aufgaben und bauen sie entsprechend dem Fließgleichgewicht ständig um, auf und aus. Auch für den *Zellkern* existiert eine ähnliche quasistatische *„Ruhepause"*, die als *Interphase* bezeichnet wird. In den Abb. 2.16 c und d ist der Kern in dieser Ruhephase zu sehen. Bis vor etwa 20 Jahren wurde ihr praktisch keine Aufmerksamkeit gewidmet, denn das dynamische und dazu gut sichtbare *Geschehen* in der relativ kurzen Zeit der *Mitose* ist faszinierend. Hier teilt sich die Zelle, und am Ende des Geschehens liegen zwei neue Zellen vor. Hier werden die *Chromosomen* sichtbar, die schon lange als Träger der Erbsubstanz galten. Einen Überblick zu den Zeiten der

◀ Abb. 2.17 Gestalt der drei wichtigsten Zellorganellen [A11; A14; D4; F15; F17; G1; K32; L10; M21; R9; S1]
a) endoplasmatisches Retikulum (ER), schichtförmig: links agranulär, rechts granulär,
b) endoplasmatisches Retikulum, netzförmig,
c) schematische Darstellung des Golgi-Apparats (vorn im Schnitt). Am Rande schnüren sich die Golgi-Vesikel ab,
d) bis f) Aufbauprinzip von Mitochondrien:
d) Cristae-, e) Tubuli-, f) Prismen-Typ

Tabelle 2.5. Richtwerte für die Zeiten des Zellzyklus bei höheren Zellen in Stunden [A9; F17; N3; S1; T6]

Phasen			Minimalzeit	Mittelwert	Maximalwert
Zell-	Inter-	G1-Phase	0	8 – 10	2000
zyklus	phase	S-Phase	0,3	5 – 8[2])	500
		G2-Phase	0,5	≈4	10
	Mitose	Prophase	0,05	1	5
		Metaphase	0,01	0,3	3
		Anaphase	0,02	0,2	2
		Teleophase	0,05	0,5	3
		Summe Interphase	1	20[2])	2000
		Summe Mitose	0,2	2[1])	10
		Summe Zyklus	2	24[3])	2000

[1]) Bei Säugetierzellen ist die Mitosezeit mit 25 bis 30 Minuten relativ konstant
[2]) Werte hängen von der DNS-Menge ab
[3]) Bakterien ca. 30 Minuten

einzelnen Phasen, die jeweils nochmals unterteilt sind, zeigt Tab. 2.5. Die Mitosezeit liegt bei etwa 0,5 bis 10% der Zeit eines Zellzyklus. Den Ablauf des Zellzyklus zeigt Abb. 2.18, während Abb. 2.19 das zugehörige dynamische Geschehen stark schematisiert zusammenfaßt.

In der *Interphase* des Kerns liegen die Hauptaktivitäten des Kerns. Hier steuert er das gesamte Geschehen in der Zelle. Eine *Zelle ohne Zellkern ist nicht lange lebensfähig.* Deshalb besitzen praktisch alle Zellen höherer Pflanzen und Tiere einen deutlich durch die Kernmembran abgetrennten Zellkern. Lediglich die Blutkörperchen (Erothrozyten) und Siebzellen der Pflanze haben ihn bei der Zelldifferenzierung eingebüßt. Bei mehreren Protozoen fehlt ein deutlich abgetrennter Zellkern. Hier liegen aber Äquivalente in Form von entsprechend frei angeordneten DNS-Molekülen vor. Sie stellen eine frühe Entwicklungsstufe der Zellen dar. Die *kleinsten Zellkerne* kommen bei einigen Pilzen mit etwa 0,5 μm Durchmesser vor. Bei den Eizellen werden die *größten Zellkerne* von etwa 5 bis 50 μm erreicht. Bei den Spermien ist der gesamte Kopf praktisch nur Zellkern. Ähnliches gilt für die Pollen der Blütenpflanzen.

Die *Kernmembran* enthält Poren mit einem Durchmesser von 30 bis 50 nm. Ihre Anzahl liegt zwischen 100 und 10000. Sie machen 10% der Membranoberfläche aus und sind für relativ große Moleküle (z. B. Teile von Ribosomen und m-RNS) von innen nach außen, aber nicht in umgekehrter Richtung durchlässig. In den Zellkern gelangen durch die Poren dagegen Substanzen, die zu seiner Ernährung und zur Regelung seiner Aktivität beitragen. Beim Interphasenkern sind sowohl licht- als auch elektronenmikroskopisch nur ein oder mehrere Kernkörperchen (Nukleoli) sichtbar. Sie werden bei den Chromosomen noch genauer beschrieben.

Für den *Übergang* von der Interphase zur Mitose sind nach den bisherigen unvollständigen Kenntnissen mehrere Einflüsse wirksam. Hierzu gehören u. a. Volumenverhältnisse, relative Anteile verschiedener Substanzen in der Zelle, Einflüsse von Nachbarzellen und vielleicht spezielle Proteine. Auf alle Fälle kann der Übergang zur Mitose erst dann erfolgen, wenn zuvor in der Interphase die im Kern enthaltene DNS-

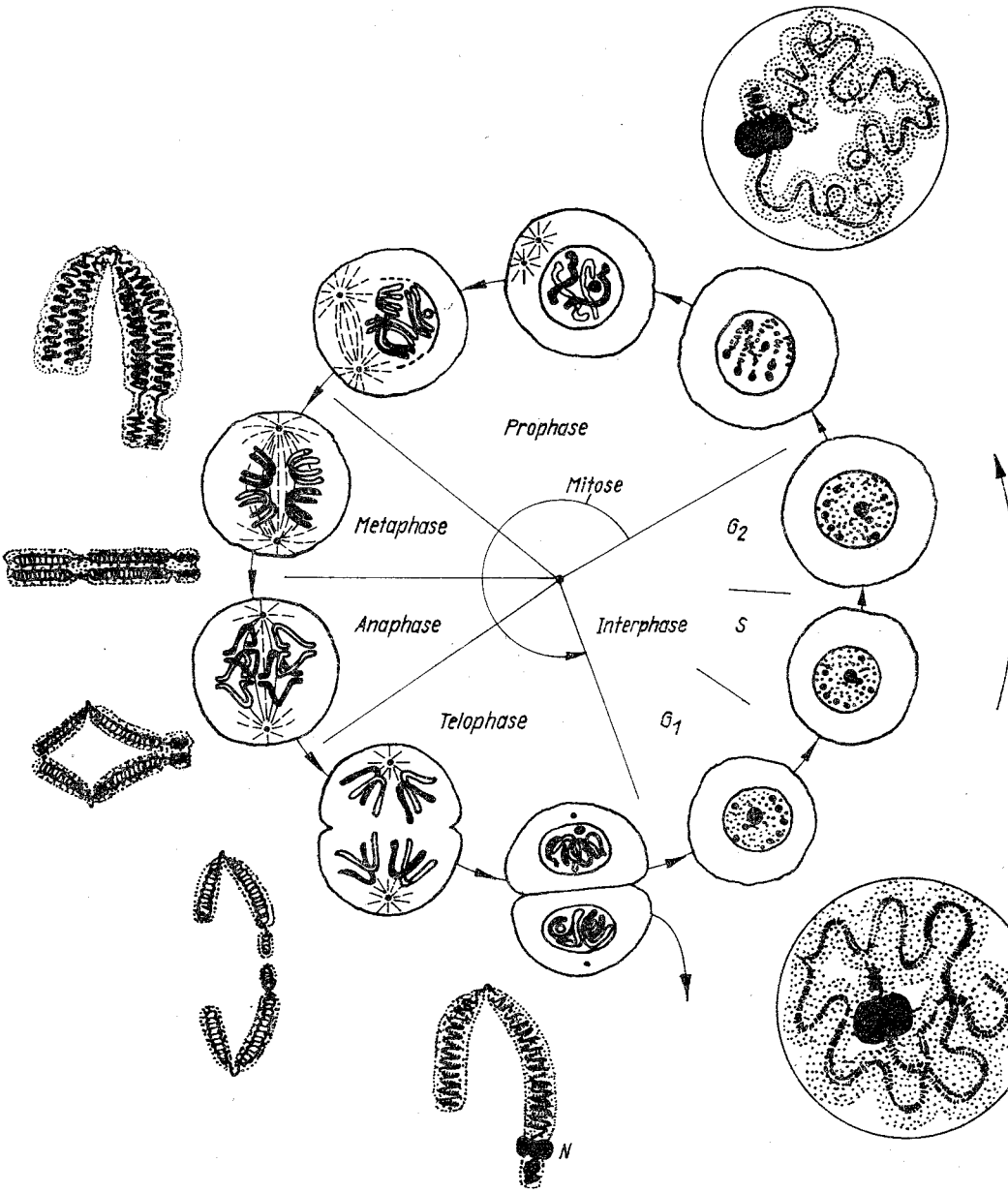


Abb. 2.18 Schematischer Ablauf der Mitose. Innen ist die Phaseneinteilung gezeigt, dann folgen auf dem Kreis die Prinzipbilder zum Aussehen einer Zelle in den einzelnen Phasen. Außen sind die Chromosomengestalten betont hervorgehoben. Der Zeitmaßstab für die Mitose ist etwa 50-fach gedehnt [A9; A11; D4; F15; K32; N3; N9; S1; T3; T6].

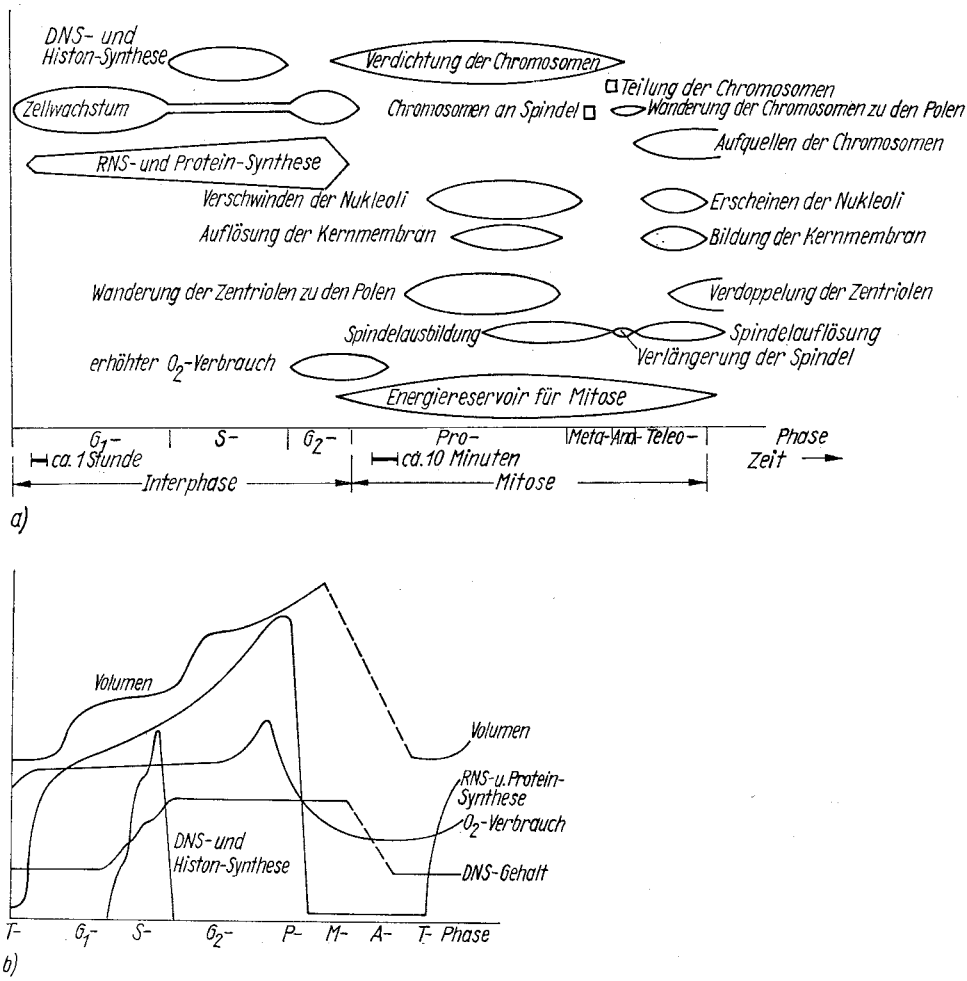


Abb. 2.19 Schematische Zusammenstellung der einzelnen Prozesse beim Zellzyklus. Teilbild a betont die sichtbaren Strukturen und Teilbild b quantitativ faßbare Größen. In beiden Bildern ist als Zeitmaßstab etwa der Mittelwert von Tab. 2.5 verwendet. Dabei wurde der Zeitmaßstab während der Mitose etwa zehnfach gedehnt [K32; W18].

Menge verdoppelt wurde, da sie bei der Teilung ja für beide Zellen wieder vollständig vorhanden sein muß.

Die *Mitose* ist eigentlich ein rein *mechanischer Vorgang*. Bei ihr müssen vor allem auf die beiden entstehenden Zellen die gleichen *Erbsubstanzen* übertragen werden. Dazu erfolgt ihre Verpackung in die Transportform als Chromosomen. Die sonst sehr langen und gleichmäßig über den Zellkern verteilten und daher nicht sichtbaren DNS-Moleküle werden dazu ähnlich einer Glühlampendoppelwendel mehrfach schraubend aufgewickelt und mit Histonen versehen, mechanisch stabilisiert zu Chromosomen umgeformt. Zunächst liegen dabei die beiden identischen Chromosomenpaare für die

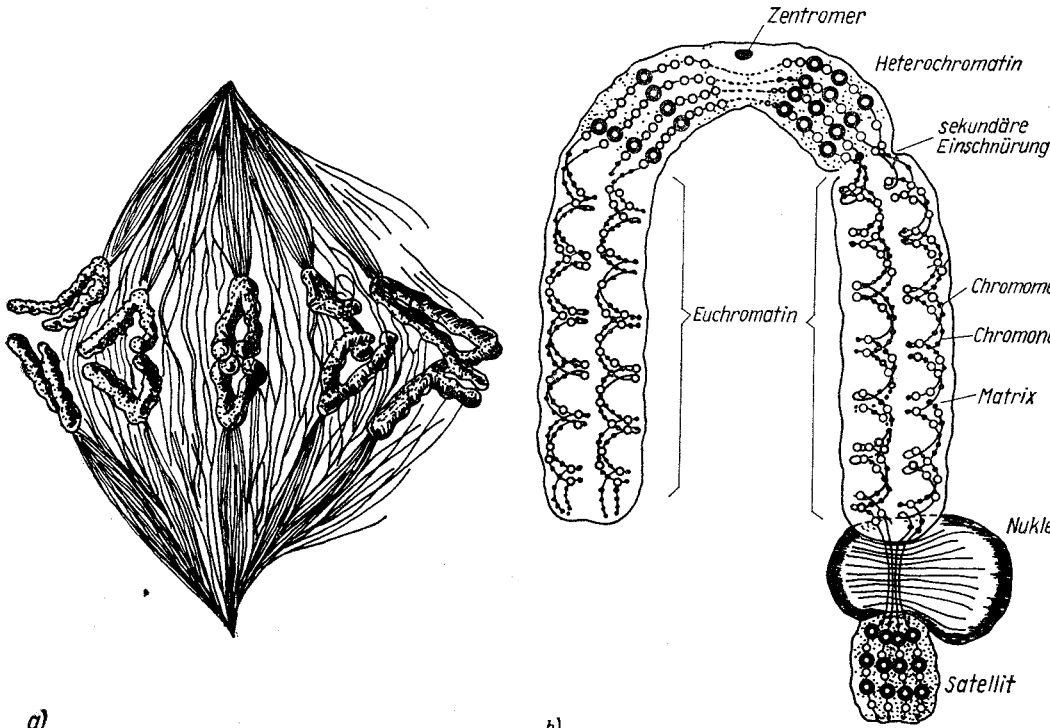


Abb. 2.20 Zeichnung einer besonders gut ausgebildeten Zentralspindel von Lilium (a) und typischer Aufbau eines Chromosomes (b) [D4; F15; G2; K32; M21; N3; N9; W18].

neuen beiden Zellen noch gepaart beieinander. Erst in der *Anaphase* werden sie deutlich getrennt. Für den ganzen Transportmechanismus dürften die *Spindeln* (spezielle Mikrotubuli) entscheidend sein. Sie bilden sich, ausgehend von den Zentriolen, bereits gegen Ende der *Prophase* aus, und zwar nachdem die Kernmembran aufgelöst wurde. Später greifen sie an dem Zentromer des Chromosoms an. Eine besonders gut ausgebildete Spindel zeigt Abb. 2.20a und das Prinzip eines Chromosoms Abb. 2.20b. Die *maximale Chromosomenbewegung* tritt in der Anaphase auf. Hier werden Geschwindigkeiten von 0,3 bis $1 \cdot 10^{-9}$ m/s (0,2 ... 0,5 μm/min) erreicht. In der *Teleophase* bilden sich die beiden Zellen durch Einschnürung der Zellmembran. Dabei verlaufen alle Prozesse etwa so rückwärts ab, wie sie bei den anderen Mitosephasen zuvor erfolgten. Schließlich liegen die beiden neuen Zellen als *Interphasenkerne* wieder vor. Hier werden die beiden G-*Phasen* (von englisch gap = Lücke) und die S-*Phasen* unterschieden. In der S-Phase (von Synthese) werden vor allem DNS und Histone synthetisiert. Ihre Dauer hängt demgemäß u. a. von der Menge der DNS der Zelle ab. Es werden im Mittel etwa je pg DNS 20 Minuten benötigt. Dies bedeutet, daß je Sekunde etwa 500 *Nukleotidpaare* gedoppelt werden. Übliche Zeiten der S-Phase liegen bei 1 bis 2 Stunden. Besonders kurze Zeiten gibt es u. a. bei der Drosophila mit 30 Minuten, besonders lange bei Pflanzenwurzeln mit 370 Stunden.

In der G1-Phase werden m- und t-RNS sowie Ribosomen gebildet. Sie besitzt dementsprechend einen besonders großen Nukleolus. In dieser Phase erfolgt vor allem Zellwachstum.

Die G2-Phase dient vor allem der Vorbereitung der Mitose. Hier liegt ein besonders großer Sauerstoffverbrauch der Zelle vor. Wahrscheinlich wird dadurch Energie für die mechanischen Vorgänge der Mitose erzeugt und gespeichert, denn während der Mitose ist der Sauerstoffverbrauch der Zelle sogar reduziert.

Neben der Mitose, die nur der Zellvermehrung dient, existiert noch ein ähnlicher vorwiegend mechanischer Zellvorgang, die *Meiose*. In ihr werden die Geschlechtszellen, z.B. Eizellen und Spermatozoen, gebildet. Sie ist noch weitaus komplizierter und kann stark vereinfacht als zwei aufeinanderfolgende Mitosen aufgefaßt werden. Dadurch wird das sonst in jeder Zelle doppelt vorhandene genetische Material auf nur einen Chromosomensatz reduziert. Erst durch die spätere Vereinigung von männlicher und weiblicher Geschlechtszelle entsteht wieder der doppelte Chromosomensatz. Während der Meiose werden zusätzlich aus diesen beiden Teilen noch Kombinationen gebildet. Es wird an die Geschlechtszelle also nicht der väterliche oder mütterliche Chromosomensatz, sondern eine Kombination aus beiden weitergegeben. In der Meiose erfolgt also eine *„Durchmischung" des Erbguts*. Dies dürfte der eigentliche biologische Sinn der Meiose und damit der Sexualität sein.

In den Chromosomen sind irgendwie die *Nukleinsäuremoleküle*, also die Erbsubstanz, fixiert. Die Form der Chromosomen wird meist entsprechend ihrer Gestalt in der Pro- bzw. späten Anaphase beschrieben. Hier sind sie besonders gut sichtbar und typisch ausgebildet. Für jede Tier- und Pflanzenart liegen individuell typische und unveränderliche *Chromosomensätze* vor. Sie sind u. a. durch die *Anzahl, Größe* und *Gestalt der Chromosomen* beschreibbar. Die Anzahl liegt zwischen 2 und mehreren Hundert, besonders häufig sind Werte um 20, für den Menschen z.B. 23. Die Größe der Chromosomen liegt zwischen 0,8 und 35 µm Länge sowie 0,1 bis 2 µm Durchmesser. Im Mittel sind Werte von wenigen µm Länge und 0,5 µm Durchmesser üblich. In der Form gibt es nahezu kugelige (besonders bei kleinen) bis sehr lange dünne Chromosomen. Die Zusammensetzung der Chromosomen beträgt etwa

5 ... 20% DNS,
50 ... 80% Proteine,
1 ... 17% RNS.

Das typische Aussehen eines Chromosoms zeigt Abb. 2.20b. Obwohl viele Details bis heute nicht ausreichend geklärt sind, wird diese Abbildung meist als Modell benutzt. An der primären Einschnürung (oben im Bild) befindet sich der *Zentromer*, auch Kinetochor genannt. Während der Mitose greifen hier die Spindelfasern an. Sein Oberflächendurchmesser beträgt ca. 0,2 µm. Hier ist das Chromosom meist gekrümmt. Die dadurch entstehenden Schenkel sind häufig unterschiedlich lang. Sie weisen zuweilen *sekundäre Einschnürungen* auf, die auch *Nukleolarfäden* heißen. An ihnen bilden sich nämlich teilweise in der Teleophase je ein Nukleolus, wobei später auch mehrere sich zu einem vereinen können. Befindet sich nach einer sekundären Einschnürung nur ein ziemlich kurzes Ende des Chromosoms, so wird das oft *Satellit* oder Trabant genannt.

Im Chromosom kann man Abschnitte unterschiedlich guter Färbbarkeit unterscheiden. Die gut färbbaren heißen *Heterochromatin*, die anderen *Eurochromatin*.

Zwischen beiden gibt es auch Übergänge. Die heterochromatischen Abschnitte bleiben z. T. auch beim Inter- und Prophasenkern sichtbar. Es wird vielfach angenommen, daß in diesen Abschnitten die Nukleinsäuren ständig aktiv sind.

In der gesamten Länge eines Chromosoms sind meist mehrere, z. B. 2, 4, 8 oder 16 schraubenförmige Gebilde zu erkennen. In der Abbildung sind die meist üblichen zwei gezeigt. Jedes Gebilde dieser Art heißt *Chromatid*. Es hat etwa 200 nm Durchmesser und ist damit hundertmal so dick wie die Doppelhelix der Nukleinsäuren. Ein Chromatid besteht seinerseits aus zwei *dünnen Fäden*, den *Chromena*, auf ihnen befinden sich *perlschnurartig Verdickungen*, die *Chromere*. Sie sind wahrscheinlich die genetischen Einheiten, *Gene*. In ihnen muß also in besonders kompakter Form ein langer Abschnitt des Nukleinsäuremoleküls verpackt sein. Meist enthält ein Chromomer 0,5 ... 2,5 · 10^4 Nukleotidpaare. Die *Verpackung der Nukleinsäure* ist also *im Chromosom* mechanisch ziemlich kompliziert und mehrfach hierarchisch. Bis heute ist auch nicht geklärt, ob die Chromatiden der Chromosomen nochmals von einer speziellen Substanz, der Matrix, umhüllt sind.

Von Chromosomen wird nicht nur in der hier geschilderten speziellen Gestalt gesprochen. Sie liegen jederzeit in der Zelle, insbesondere im Kern vor. Beim *Interphasenkern* sind sie jedoch soweit „abgewickelt" oder auseinandergezogen, verlängert, daß sie sich gleichmäßig über den ganzen Kern verteilen und daher nicht sichtbar sind. Neben der geschilderten typischen Gestalt treten auch noch Chromosomen mit völlig verändertem Aussehen auf. Es sind dies *Riesenchromosomen* und das *Lampenbürstenstadium*. Obwohl beide für die Funktion der Chromosomen besonders wichtig sind, können sie hier nur ganz kurz erwähnt werden (Abb. 2.21).

Die *Riesenchromosomen* treten besonders in den Speicheldrüsenzellen einiger Insekten (z. B. Fliegen und Mücken) auf. Hierbei haben sich die Chromosomen mehrmals (etwa bis zu 12mal) verdoppelt. Es liegen also bis zu $2^{12} = 4096$ Chromosomen zu einem dicken Bündel vereint zusammen. Mit jeder Verdopplung werden die Chromosomen dabei auf das etwa 1,5fache verlängert. Solche Riesenchromosomen erreichen Längen bis zu einem mm und Durchmesser bis zu 50 µm. An diesen Chromosomen sind deutlich die aktiven Stellen (Chromere, Scheibchen) zu erkennen. Sie stülpen sich stark aus und werden zu Puffs.

Lampenbürstenchromosomen treten besonders ausgeprägt in den Oozyten (Eizellen) einiger Tiere auf. Es wird angenommen, daß die Chromosomen aller Organismen ein mehr oder weniger ausgeprägtes Lampenbürstenstadium durchlaufen. Hierbei sind die Chromosomen sehr lang gestreckt, und seitlich symmetrisch ragen an jeweils für die Art und den genetischen Zeitpunkt typischen Orten große Schleifen weit heraus. Lampenbürstenchromosomen sind etwa 0,2 mm lang. Bei Amphibien, besonders bei Molchen, werden sogar Längen von 2 mm erreicht. Der Durchmesser des zentralen Chromosomenfadens entspricht mit 2 bis 5 nm dem der Doppelhelix mit angelagerten Proteinen. Generell existieren zwei solche Fäden als *Bivalente* der DNS, die am Zentromer zusammengefaßt sind und meist eine Überkreuzung (crossing over) zeigen. Die herausragenden Schleifen erreichen Längen bis zu einigen 10 µm (10^5 Nukleotide). An ihnen sind wiederum feine Fäden (*Fibrillen*) zu erkennen. Ihre Länge nimmt von einem zum anderen Ende der Schleife zu und erreicht maximal etwa 20 µm. Hierauf wird noch einzugehen sein. Lampenbürstenchromosomen lassen sich mit Mikromanupulatoren bis auf das 2,5-fache ihrer Länge ausdehnen. Dabei bleiben die individuellen Schleifenformen erhalten.

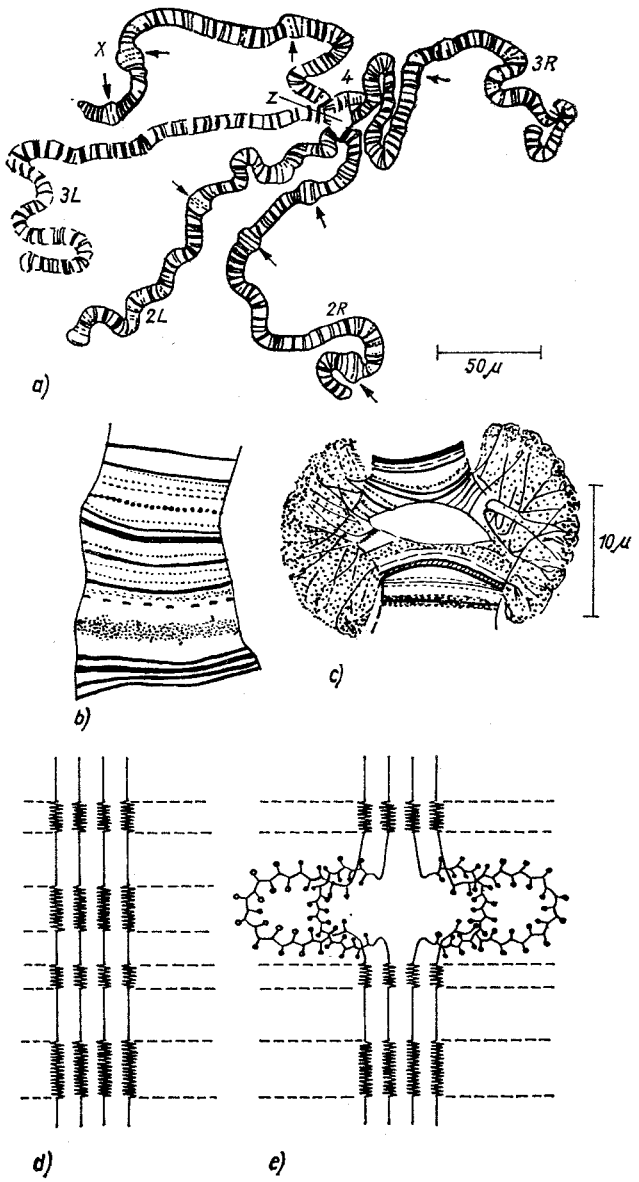
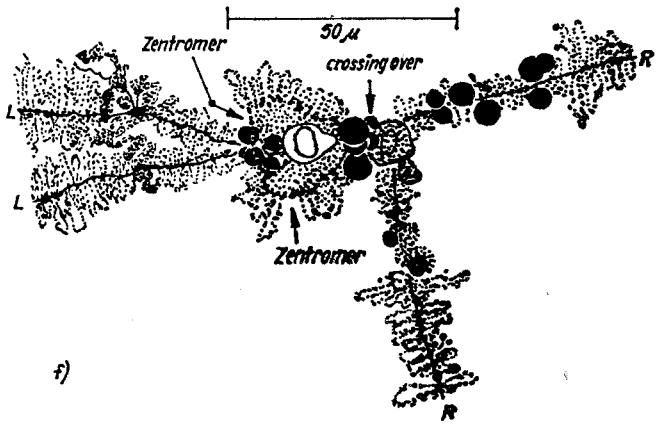
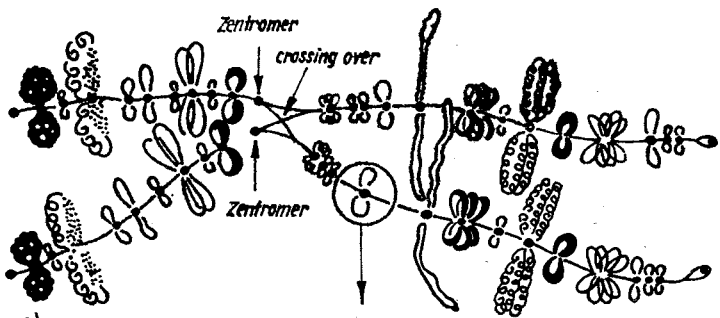
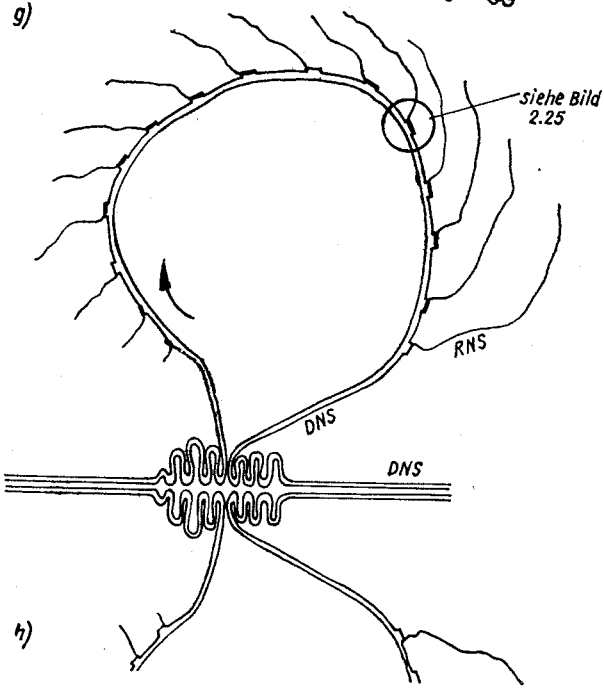


Abb. 2.21 Riesenchromosomen (links) und Lampenbürstenchromosomen (rechts) [A9; A11; G1; K32; L10; M3; N3; S1; T6; W3]

a) Chromosomensatz aus der Speicheldrüse der Larve der Taufliege. Auf Puffs weisen die Pfeile hin,
b) vergrößerter Ausschnitt aus einem Riesenchromosom mit deutlich erkennbaren Scheibchen,
c) Bild eines Puffs,
d) stark schematisiertes Modell für Riesenchromosomen mit allerdings nur vier Chromatiden,
e) Auflösung eines Scheibchens (Chromomer) zu einem Puff. Die dicken Punkte sollen Proteine andeuten,
f) Aussehen eines Lampenbürstenchromosoms,
g) stärker schematisiertes Bild eines Lampenbürstenchromosoms,
h) vergrößerter Ausschnitt aus einer Schleife.


50 µ
Zentromer
crossing over
L
L
R
Zentromer
R
f)


Zentromer
crossing over
Zentromer
g)


siehe Bild
2.25
RNS
DNS
DNS
h)

Schließlich sei noch erwähnt, daß *bei einfacheren Lebewesen keine eigentlichen Chromosomen* existieren. Hier sind die Nukleinsäuremoleküle entweder lose im Plasma bzw. an einer Zellwand angeheftet oder relativ einfach verpackt. Dies gilt auch für die DNS in den Plastiden und Mitochondrien. Auf die entsprechenden Besonderheiten sei hier verzichtet.

2.7. Proteinsynthese

Jede einzelne Zelle eines Lebewesens enthält in ihrem Kern *Nukleinsäuremoleküle,* welche im wesentlichen seine gesamten *Erbinformationen in kodierter Form* tragen. Sie enthalten den *Bauplan* und den zugehörigen *Ablaufplan für die Entwicklung des Organismus* aus der einen Eizelle *und* für die *Prozesse seines Lebens.* Das „Handwerkzeug" hierfür ist in der Zelle ebenfalls enthalten. Die Energie und das Rohmaterial wird von außerhalb der Zelle beschafft. Nach den Plänen der genetischen Erbsubstanz wird aus dem Rohmaterial Baustoff erzeugt. Bei allen diesen konstruktiven Prozessen sind Proteine die zentrale Substanz. Sie greifen als Enzyme steuernd in alle Prozesse ein und wirken als Baustoff an den meisten Strukturen wesentlich mit. Die *entscheidende informationelle Übermittlung* muß also *zwischen* den *Nukleinsäuremolekülen und Proteinen* erfolgen. Hierauf soll nun eingegangen werden. Einleitend faßt dazu Tab. 2.6 die in diesem Zusammenhang wichtigsten Fakten der beiden Substanzen zusammen. Theoretisch müßte also die Kettenlänge für Nukleinsäuremoleküle $\lg 20 : \lg 4 \approx 2{,}161$-*mal* so lang sein, wie die des zugehörigen Proteins. Wie noch genauer gezeigt wird, verwendet der genetische Kode, der zwischen beiden Substanzen vermittelt jedoch eine *„Wortlänge" von drei.* Dies bedeutet, daß jeweils genau drei aufeinanderfolgende Nukleotide, sogenannte *Tripletts,* eine Aminosäure kodieren. So ergibt sich eine beachtliche *Redundanz,* denn mit den 4 Nukleotiden könnten ja $4^3 = 64$ *statt* der 20

Tabelle 2.6 Vereinfachter Zusammenhang zwischen Proteinen und Nukelotiden mittels des genetischen Kodes

Nukleinsäuren (RNS, DNS)	Proteine (Eiweißstoffe)
hochdichter Speicherzustand für die verschiedenen Proteine und ihrer Anordnung in Organismen,	wichtigste Substanzen beim Aufbau von Organismen; stellen 50 bis 80% ihres Trockengewichtes dar,
Grundbaustein ist *Nukleotid.*	werden mittels *Peptidbildung* (CO—NH)
Es besteht aus je einem Molekül	aus Aminosäuren aufgebaut
• Orthophosphorsäure,	$NH_2-\underset{R}{\overset{H}{C}}-COOH$
• Zucker (Pentose),	
• organische Base,	
bestehen aus linearen *Ketten* von $n = 10^4 \ldots 10^{10}$ Nukleotiden mit Sekundärstruktur,	bestehen aus linearen *Ketten* von $m = 50$ bis 10000 Aminosäuren und bilden Sekundärstrukturen,
zum Aufbau werden (2 verschiedene Zucker und) 4 (5) organische Basen verwendet,	zum Aufbau werden bis zu 20 verschiedene *Aminosäuren* verwendet,
die Komplexität ist $4^n \approx 10^{0{,}6n}$,	die Komplexität ist $20^m \approx 10^{1{,}3m}$,

der *gentische Kode* vermittelt zwischen Dreiersequenzen der organischen Basen zu den Aminosäuren

Aminosäuren kodiert werden. Sie ist auch in der Tabelle des genetischen Kodes Abb. 2.22 deutlich zu erkennen. Meist wird die Redundanz des Kodes *auf das* jeweils *dritte Nukleotid* verlegt. Hier ist die Zuordnung also relativ unscharf, und es wird bezüglich des dritten Nukleotids auch von „*Wobbeln*" (engl. wobble = wackeln, schwanken) gesprochen. Bezüglich des ersten Nukleotids bestehen nur bei Arg, Leu und Ser zwei Möglichkeiten. Weiter sei noch darauf hingewiesen, daß es auch *spezielle Start- und Stop-Zeichen* im Sinne einer Interpunktion im genetischen Kode gibt. (Kurz sei angemerkt, daß kürzlich als Ausnahme bei der Phage φX 174 gefunden wurde, daß durch die Verschiebung um ein Nukleotid ein und dieselbe DNS-Sequenz zwei völlig verschiedene Substanzen kodieren kann [J3]).

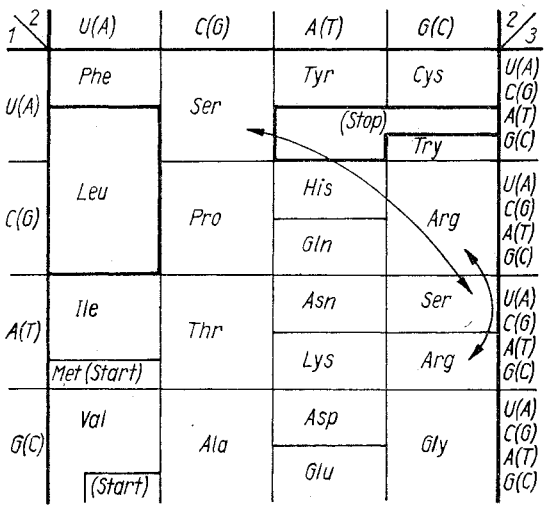


Abb. 2.22 Tabelle des genetischen Kodes, d. h. der Zuordnung zwischen den Dreiersequenzen der Nukleotide und den durch sie kodierten Aminosäuren. Die Kurzzeichen der Nukleotide gelten für die m-RNS, die in Klammern gesetzten für die DNS.

Auf den *genetischen Kode* kann die Shannonsche *Entropieformel* (siehe Anhang) angewendet werden. Hierzu möge die Tab. 2.7 dienen. Sie zeigt die Wahrscheinlichkeit für 21 (statt 20) kodierte Anminosäuren unter 2 Gesichtspunkten: einmal, wenn alle Tripletts gleich häufig wären. Dann ergeben sich die Wahrscheinlichkeiten der 3. Spalte für die einzelnen Proteine. Der zweite Fall ergibt sich aus experimentellen Daten. Die Entropien betragen entsprechend der letzten Spalte 4,21 bzw. 4,25 bit je Aminosäure. Bei Gleichverteilung der Aminosäuren ergäbe sich dagegen ein Maximalwert von 4,39 bit. Im Zusammenhang mit Betrachungen zum Zipfschen Gesetz [V15] sei noch erwähnt, daß nur ein Korrelationskoeffizient von $r^2 = 0{,}66$ erreicht wird und daß die Texttemperatur bei 1,84 liegt.

Die wirkliche *Umsetzung des genetischen* Kodes erfolgt über eine größere Anzahl von Stufen und Verzweigungen und ist mehrfach durch *Rückkopplungen* beeinflußt. Ein vereinfachtes Schema in zwei Darstellungen zeigt Abb. 2.23. Im folgenden werden zunächst die Teilprozesse und Zwischensubstanzen etwas genauer beschrieben.

Wie bereits im vorigen Abschnitt mitgeteilt, wird in der S-Phase des Interphasenkernes die DNS verdoppelt, von der ursprünglich vorhandenen wird also eine Genko-

Tabelle 2.7 Häufigkeiten von durch Tripletts des genetischen Kodes bestimmten Aminosäuren nach RATNER [R5]

Aminosäure	Entartung	Häufigkeit in %	
		bei Gleichverteilung der Triplets	wirklich auftretende Verteilung
Ser	6	9,36	7,66
Leu	6	9,36	7,17
Arg	6	9,36	3,83
Ala	4	6,24	7,95
Gly	4	6,24	7,46
Val	4	6,24	6,78
Thr	4	6,24	6,38
Pro	4	6,24	5,40
Fle	3	4,68	4,52
Ende	3	4,68	1,91
Lys	2	3,12	6,87
Glu	2	3,12	5,30
Asp	2	3,12	5,11
Asp N	2	3,12	4,71
Glu N	2	3,12	3,93
Phe	2	3,12	3,44
Tyr	2	3,12	3,34
Cys	2	3,12	3,34
His	2	3,12	2,16
Met (Start)	1	1,56	1,57
Try	1	1,56	1,18
Entropie in bit		4,21	4,25

pie hergestellt. Nur so erhalten beide Zellen, die nach der Mitose vorhanden sind, die gleiche Gensubstanz. Der Vorgang der Verdopplung der DNS heißt *Replikation*. Er muß irgendwie an der Doppelhelix ablaufen. Die Doppelhelix ist durch die zwei bzw. drei Wasserstoffbrücken zwischen A = T bzw. G = C weitgehend stabilisiert. Entsprechend Abb. 2.5 liegt die zugehörige Energie nur beim etwa 20-fachen der thermischen Energie. Gemäß Gl. (3) ist damit etwa jede 10^9-te Bindung thermodynamisch aufgebrochen. Dies gilt jedoch nicht für eine bestimmte, sondern nur dynamisch, einmal diese und einmal jene. Da die Bindungsenergien je nach der Art AT oder GC und deren Reihenfolge stark unterschiedlich sind, liegt dieser Wert sogar zwischen etwa 10^6 und 10^{18}. Hinzu kommt noch die so nicht erfaßte Aktivierungsenergie. Aus diesen Relationen hat SCHRÖDINGER [S19] Probleme der Stabilität der genetischen Substanz gefolgert, die in Wirklichkeit jedoch nicht auftreten. Dennoch *gibt* es eine *Temperatur, über die hinaus die Helix nicht mehr stabil ist.* Bei einigen zig Grad Celsius sind die Hälfte der Bindungen aufgebrochen. Bei langsamer und vorsichtiger Abkühlung bildet sich dann aber noch die Helix wieder aus. Ein solches *Aufbrechen und Wiederzusammenfügen* der Helix kann nun auch ohne Temperatureinflüsse durch spezielle *Enzyme* bewirkt werden. Weiter können an den beiden so aufgespaltenen Helixteilen (Einstrang-DNS) auch neue Bausteine aus der Zelle zusätzlich so ange-

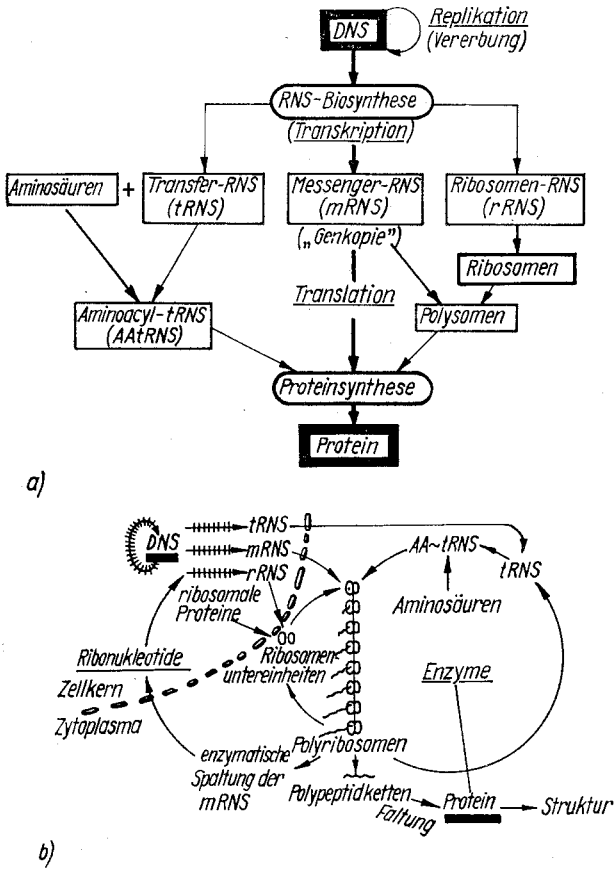


Abb. 2.23 Zusammengefaßte, schematische Darstellung der wichtigsten Prozesse und Strukturen, die bei der Realisierung des genetischen Kodes, also der Erzeugung von Proteinen nach den „Vorgaben" der DNS, mitwirken. In
a) wurde die Form eines Blockschaltbildes, in
b) eine Form, die mehr auf Bezüge innerhalb der Zelle hinweist, gewählt [A11; G17; H1; K31; K38; N3; R9].

lagert werden, daß am Ende zwei identische *Helixketten vorliegen.* Diesen Prozeß bewirkt das Enzym DNS-*Polymerase.* Es besteht wahrscheinlich aus zwei Untereinheiten und hat eine Molmasse um 100000. Schematisch ist dies in Abb. 2.24 angedeutet. Die *Geschwindigkeit* dieser Replikation ist mit etwa *2000 Nukleotidpaaren je Sekunde,* also 0,5 μm/s recht groß. Da die Länge der DNS-Moleküle (vgl. Abb. 2.15) zwischen wenigen 10^{-6} m und einigen m liegt, beträgt die Replikationsdauer einer vollständigen genetischen Ausstattung zwischen wenigen Minuten und einigen Tagen. Beispiele sind: bei der Phage φX 174 ist die (einsträngige) DNS 1,77 mm lang, und die Replikationsdauer liegt bei ein bis zwei Minuten. Beim Darmbakterium E-coli ist sie 1,1 mm lang, und die Zeit beträgt 30 Minuten. Beim Menschen werden insgesamt etwa 8 Stunden benötigt. Noch längere Werte von fast einem Tag existieren bei einigen Blütenpflanzen. Wahrscheinlich repliziert die DNS-Polymerase nur in Richtung 3′ → 5′

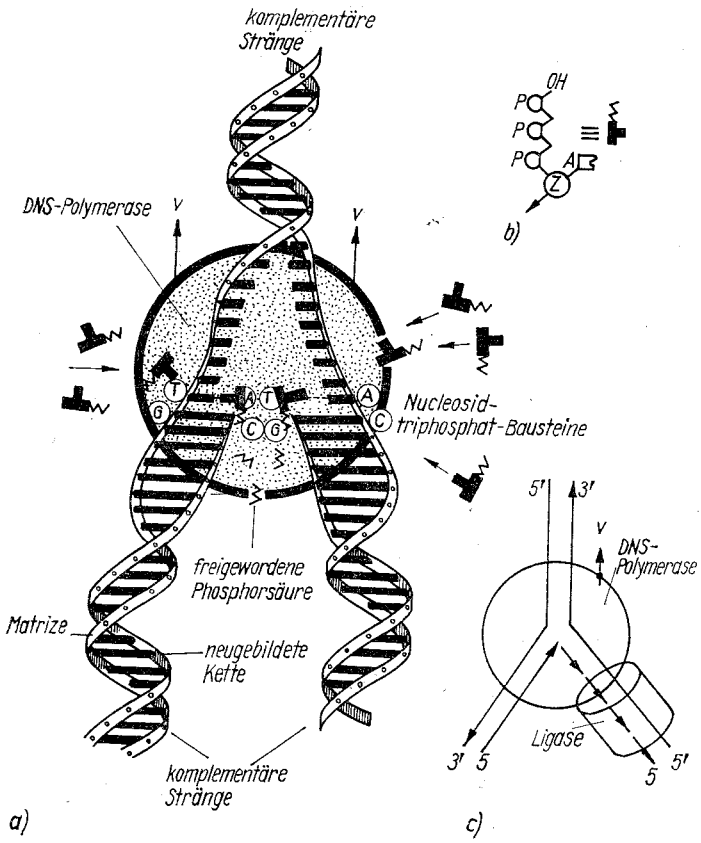


Abb. 2.24 Replikation der DNS-Doppelhelix [A11; G2; G17; K32; P1; R9; T6; W19]
a) Prinzip des Vorgangs,
b) vereinfachte Darstellung der Nukleotidbausteine im Anschluß an Abb. 2.12 und 2.13,
c) das Enzym Ligase vervollständigt wahrscheinlich im Anschluß an die DNS-Polymerase den 3′-5′-Strang.

fortlaufend. Für den zweiten, also den 5′ → 3′-Strang, vollzieht dies möglicherweise das Enzym Ligase stückchenweise anschließend. Dieses Enzym hat allgemeine Bedeutung bei der *Reparatur von Schäden* in der DNS. Die Länge der replizierten Stücke von DNS liegt bei kleinen Phagen um 2 ... 3 · 10 Paare[3] und steigt bis E-coli auf 10^6 Paare. Bei Säugerzellen liegen die Werte um 0,5 ... 1 · 10^3 Paare. Die Diskontinuität der Replikation des 5′-3′-Stranges liegt bei etwa 10^3 Paaren. Ungeklärt ist bei der Replikation noch, ob und wie die Rotation des langen DNS-Moleküls bei der Auftrennung vor sich geht. Es müßte ja der lange DNS-Strang mit etwa 200 Umdrehungen in der Sekunde rotieren. Hier gibt es bisher nur unbestätigte und z. T. seltsam anmutende Modellvorstellungen.

Gemäß Abb. 2.23 ist der erste Schritt für die Proteinsynthese die *Transkription* (RNS-Biosynthese). Sie führt nach einem einheitlichen Vorgang zu drei unterschied-

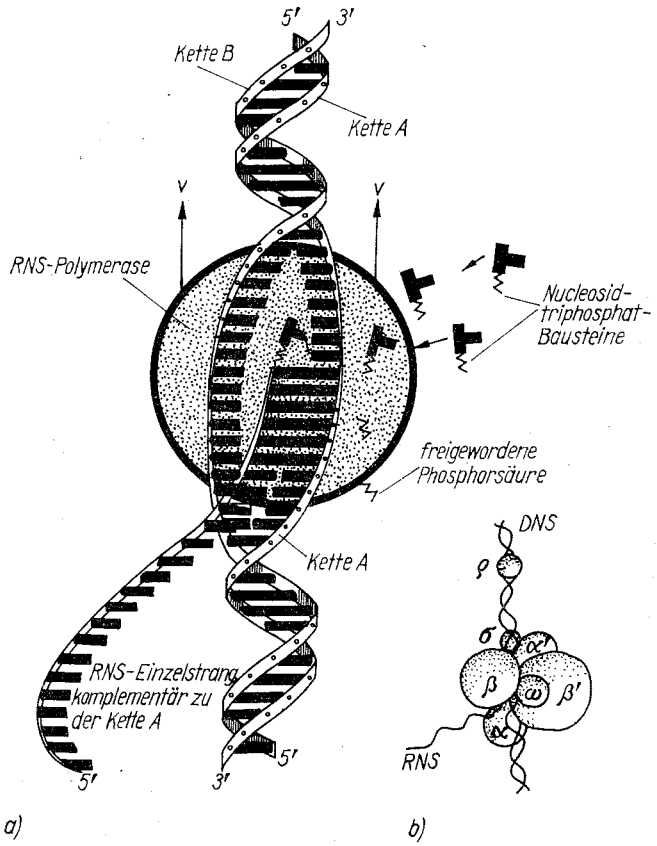


Abb. 2.25 Schema der Transkription von RNS am 5′-3′-Strang der DNS-Doppelhelix (a). Teilbild b zeigt den vermutlichen Teilaufbau des Enzyms RNS-Polymerase [A11; A14; G17; N3; P2].

lichen RNS-Arten. Zunächst sei daher der gemeinsame Vorgang, das *Herstellen einer* RNS-*Kopie* von Abschnitten auf einem Strang der DNS-Doppelhelix betrachtet. Alle RNS-Moleküle sind also kürzer als das DNS-Molekül. Übliche Längen liegen zwischen hundert und einigen tausend Nukleotiden, also 0,3 und einigen 10 μm (vgl. Abb. 2.15). Das Schema der Transkription zeigt Abb. 2.25. Der Vorgang läuft in 3 Teilschritten: Initiation, Elongation und Termination. Für die Initiation ist es notwendig, den Anfang eines (des) entsprechenden DNS-Abschnitts sowie den richtigen Strang (3′-5′-Richtung) zu erkennen. Hierzu dient der σ-Faktor. Die Anzahl der Startpunkte auf der DNS ist beträchtlich. Selbst bei Phagen wurden bereits um hundert festgestellt (z. B. T4-Phage 180; λ-Phage 30). Bei der *Elongation* wird jeweils ein kurzes Stück der DNS-Doppelhelix aufgetrennt und am richtigen Strang die entsprechende RNS-Kopie hergestellt und nachher freigesetzt. Gleichzeitig wird die DNS wieder zusammengefügt. Bei der Transkription gibt es folglich nicht die Probleme der Rotation der DNS. Das RNS-Polymerase-Molekül umfaßt dabei etwa 50 Nukleotide. Die *Geschwindigkeit* der Transkription ist mit 10 ... 50 *Nukleotiden in der Sekunde* wesentlich

langsamer als die Replikation. Die *Termination*, d. h. die Beendigung der Elongation, wird vom ϱ-Faktor erkannt.

Bei der Transkription ist es üblich, daß unmittelbar aufeinander *mehrere* RNS-*Polymerasen* folgen. So ist Abb. 2.21 h zu verstehen. Die dort an der Schleife hängenden Fäden sind transkripierte RNS-Stücke. Entsprechend den sich von links nach rechts (im Uhrzeigersinn) verlängerten Enden ist bereits der weiter links stehende Abschnitt transkripiert. Am rechten Ende der Schleife löst sich die RNS ab.

Die bei der Transkription erzeugten RNS lassen sich je nach ihrer Funktion im wesentlichen in 3 *Gruppen* teilen:

m-RNS (von messenger = Bote, Kurier),
t-RNS (von Transport),
r-RNS (von den Ribosomen).

Die m-RNS dient im weiteren als Kodemuster für die zu synthetisierenden Proteine. Sie *trägt* jetzt also die *Information*. Die t-RNS stellt im nächsten Schritt die *Vermittlung zwischen* der m-RNS und den *Aminosäuren* her. Sie ist sowohl *Dekodierer* (Übersetzer, Translator) zwischen den m-RNS-Tripletts und den Aminosäuren als auch *Transporteur* für die Aminosäuren zum Ort der Proteinsynthese. Die r-RNS hat schließlich wichtige Funktionen bei den Ribosomen, welche oft als „Werkbank" der *Proteinsynthese* bezeichnet werden. In der Tab. 2.8 sind einige Eigenschaften dieser drei RNS zusammengestellt.

Gemäß Abb. 2.23 b werden im Zellkern die verschiedenen RNS, aber auch die Proteineinheiten der *Ribosomen* synthetisiert, letztere besonders am Nukleolus. Es sei an Abschn. 2.5 erinnert, wonach die Ribosomen überall im Plasma der Zelle vorhanden sind und sich insbesondere an die Membranen des ER, der Plastiden und der Mitochondrien in größeren Mengen anlagern. Das Aussehen und die prinzipielle Struktur der Ribosomen zeigt Abb. 2.26. Sie bestehen also aus zwei Proteineinheiten und ver-

Tabelle 2.8 Biologische und physikochemische Eigenschaften verschiedener RNS-Moleküle [R9]

Eigenschaften	mRNS	rRNS	tRNS
biologische Funktion	Messenger	Ribosomen-aufbau; t-RNS-Bindung ?	Aminosäure-Akzeptor
seltene Basen	nein	ja, methylierte	ja, methylierte, thiolierte u. a.
Prozentsatz von der Gesamt-RNS einer Zelle	5 ... 10	75 ... 85	10 ... 15
Sedimentations-koeffizient	6S	16S, 23S, 18S, 28S	4S
Nukleotide je Molekül	10^2 ... $5 \cdot 10^3$	10^2 ... 10^5	70 ... 80
Molekulargewicht		$0{,}5$ ... $1{,}6 \cdot 10^6$	$2{,}5$ ... $3 \cdot 10^4$
helikale Bereiche	nein	ja	ja
Konformation	linear	linear, in sich zurückgefaltet, kompakt	Kleeblatt-struktur

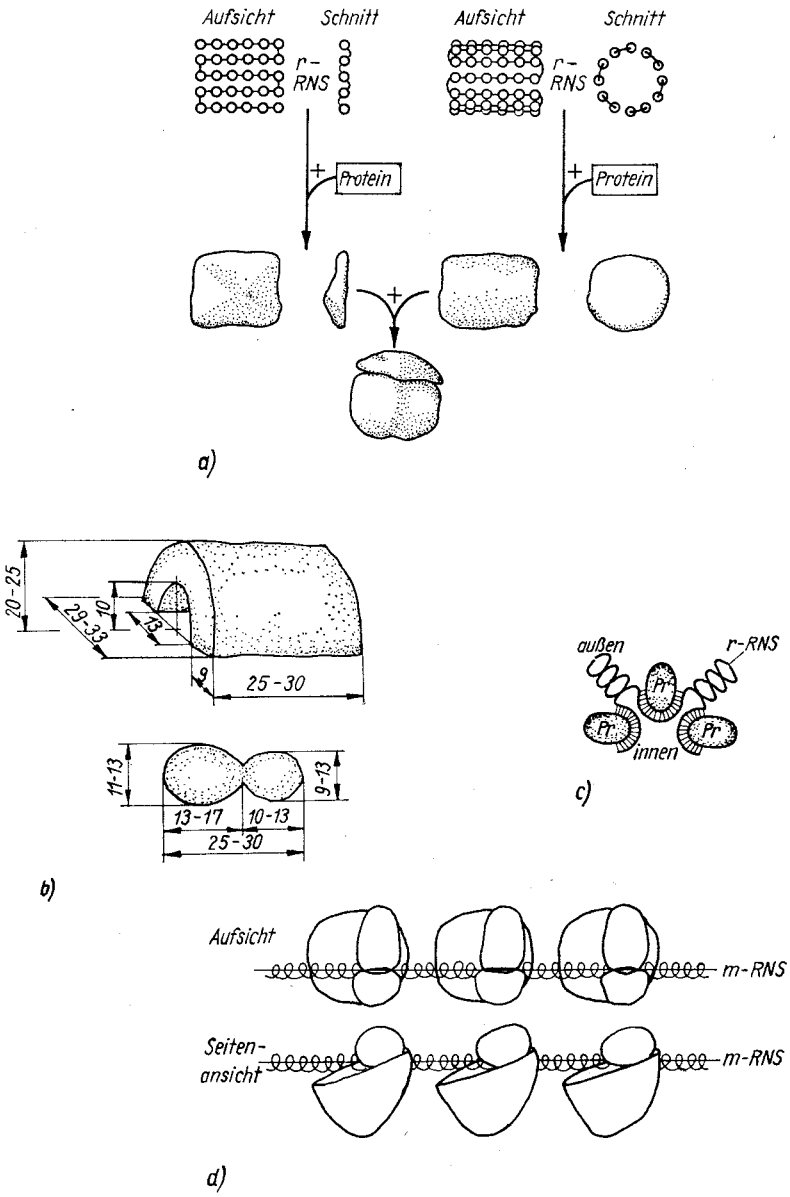


Abb. 2.26 Wahrscheinlicher Aufbau von Ribosomen [A14; B9; P2; T6; W15
a) Prinzip des Zusammenbaues aus der großen und kleinen Proteineinheit und der r-RNS,
b) genaueres Aussehen der beiden Proteineinheiten mit Maßangaben in nm,
c) Schema der Bindung zwischen den nichthelikalen Einheiten der r-RNS und den Oberflächen der verschiedenen Proteine in der großen und kleinen Ribosomeneinheit,
d) mögliche Kopplung zwischen den beiden Einheiten und der m-RNS bei der Proteinsynthese.

Tabelle 2.9 Ungefähre Daten von Ribosomen. In den Feldern stehen jeweils vier Werte. Die oberen gelten für Eukarionten, die unten für Bakterien, Chloroplasten und Mitochondrien. Die linken Werte geben die relative Molmasse und die rechten die Svedberg-Einheiten an. Der in Klammern gesetzte Wert 25 gilt für Pflanzen und 55 für Mitochondrien [G3; M21; R9; T6]

	RNS-Anteil		Proteine		gesamt	
kleine Einheit	$0{,}7 \cdot 10^6$	18	$1{,}2 \ldots 2{,}5 \cdot 10^4$	—	$1{,}3 \cdot 10^6$	40
	$0{,}6 \cdot 10^6$	16	$3 \cdot 10^4$	—	$0{,}9 \cdot 10^6$	30
große Einheit	$1{,}6 \cdot 10^6$	28 (25)	$1{,}2 \cdot 10^4$	—	$2{,}7 \cdot 10^6$	60
	$1{,}2 \cdot 10^6$	23	$3 \cdot 10^4$	—	$1{,}8 \cdot 10^6$	50
aktives Ribosom	—		—		$4 \cdot 10^6$	73 ... 80
	—		—		$2{,}7 \cdot 10^6$	70 (55)

schiedenen r-RNS, die in beiden Einheiten enthalten sind bzw. beide Einheiten zum Zusammenhalt bringen. Die Ribosomen sind für Pflanzen und Tiere, für niedere und höhere Lebewesen zumindest z. T. verschieden. Tab. 2.9 gibt hierzu einen groben Überblick. Die Anzahl der Ribosomen in einer Zelle ist *sehr groß*, bei Bakterien etwa 10^4, bei höheren Pflanzen und Tieren 10^6 bis 10^7. Die *Produktionsrate* liegt je Zelle und

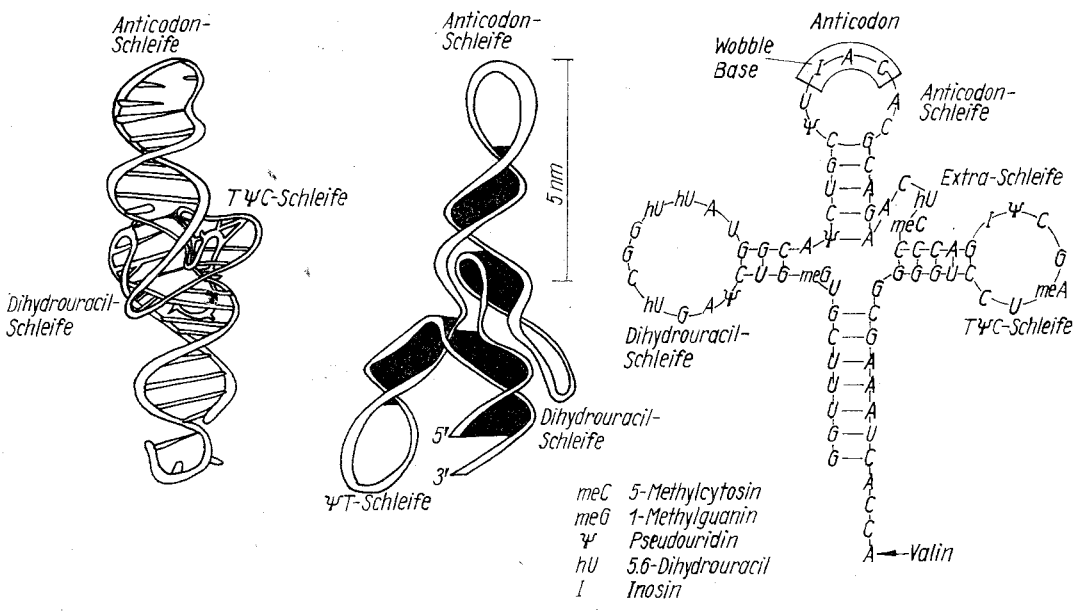


Abb. 2.27 Prinzip des Aufbaus von t-RNS-Molekülen [A11; G3; G8; G17; M21; P1; R9; S24; T6]
a) und b) mögliche räumliche Gestalt,
c) mehr als chemische Struktur und geebnet dargestelltes Molekül. Alle Symbole außer A, C, G, T und U bedeuten seltene Nukleotide.

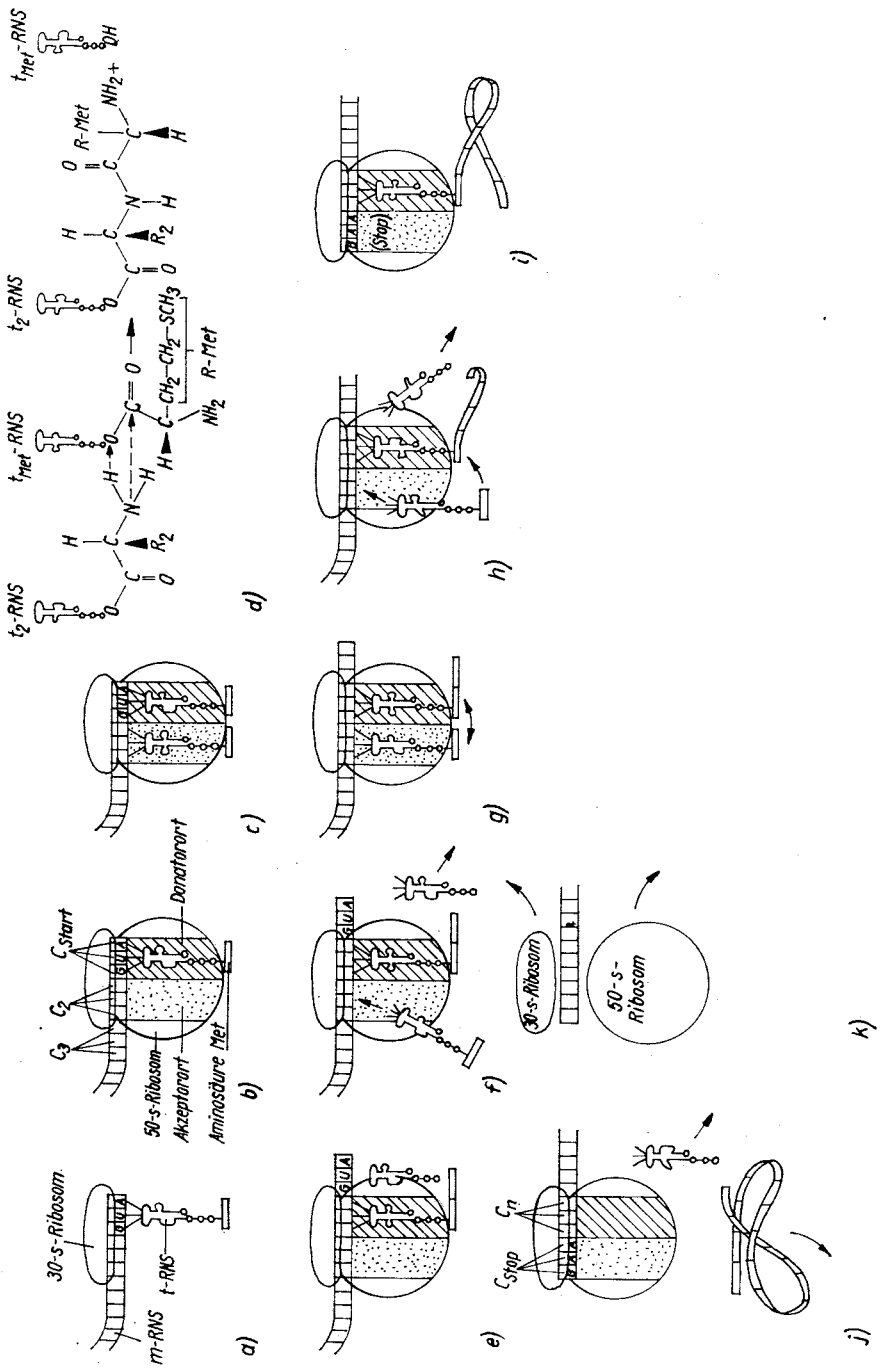
Sekunde bei etwa 5 Ribosomen für Bakterien und bei höheren Pflanzen und Tieren bis zu 100. Das Massenverhältnis zwischen Protein und r-RNS liegt bei ca. 6:4. In der großen bzw. kleinen Einheit sind bei Bakterien etwa 30 bzw. 20 (bei E-coli 34 bzw. 21) verschiedene Proteine enthalten.

Zur *Proteinsynthese* (Translation) legen sich, wie es bereits in Abb. 2.26d gezeigt ist, mehrere Ribosomen perlschnurartig an die m-RNS. So entstehen je nach der jeweiligen m-RNS verschiedene *Polysomen*. Für das Hämoglobin mit 150 Aminosäuren besteht das Polysom z. B. aus einem m-RNS-Faden von 150 nm Länge, an dem etwa 5 Ribosomen im Abstand von rund 90 Nukleotiden hängen.

Für die Translation ist die t-RNS von größter Bedeutung. Für *jede Aminosäure* existiert *zumindest eine*, oft mehrere individuelle t-RNS. Im Prinzip besitzen alle t-RNS etwa eine *Kleeblattstruktur* (s. Abb. 2.27) und sind u. a. durch folgende *Merkmale* gekennzeichnet:

- eine *Anticodonschleife*, welche die Verbindung zum Triplett der m-RNS übernimmt,
- eine TΨC-Schleife,
- eine Dihydrouracil-Schleife,
- ein ACC-Ende, an welches die zugehörige Aminosäure „angehängt" wird.
- Stabilisiert werden die t-RNS-Strukturen durch helikale Teilbereiche.
- In allen t-RNS kommen seltene, sonst nicht übliche Nukleotide (bis zu etwa 15 verschiedene sind bekannt) vor.

Für die *Proteinsynthese* ist eine beachtliche Energie notwendig. Sie wird zunächst durch *Aktivierung der Aminosäure* erreicht. Dazu werden mittels des Enzyms Aminoacyl-RNS-Synthetase, ATP und Aminosäure zum *Aminosäure-adenylat* verbunden. Dieser Komplex *trägt* im wesentlichen die *Energie* für die Proteinsynthese. Er wird dann mit dem ACC-Ende der t-RNS gekoppelt und gelangt so zum Polysom und wird dort an die schon z. T. vorhandene Peptidkette angefügt. Etwas detaillierter zeigt den entsprechenden Verlauf der *Translation* Abb. 2.28. Er dürfte in der Legende ausreichend beschrieben sein. Es sei wiederholt, daß an jeder m-RNS zugleich mehrere Translationskomplexe wirken und an das Startende sich immer wieder neue Ribosomen anlagern. Dennoch ist eine m-RNS in der Zelle *nur begrenzt haltbar*. Bei Mikroorganismen werden etwa 2 bis 60 Minuten, bei Pflanzen 2 bis 6 Stunden und bei Säugetieren 3 bis 400 Stunden als Halbwertszeiten erreicht. Die Geschwindigkeit, mit der die *Aminosäuren verknüpft* werden, beträgt etwa 100 je Sekunde. Bei der Translation als kompliziertestem Prozeß der Proteinsynthese wirkt eine größere Anzahl (weit über zehn) von Enzymen mit. Ferner wiederholen sich auf der DNS mehrere Abschnitte. Nur so ist wahrscheinlich die notwendige Syntheserate erreichbar. Einen Überblick hierzu gibt für das Beispiel der Maus Abb. 2.29. Tab. 2.10 soll einen groben Überblick vermitteln, in welchen Anteilen und Größenordnungen die einzelnen Molekülarten in einer Zelle vorhanden sind. Da diese Werte für eine Bakterienzelle gelten, können sie nur gewisse Anhaltspunkte für andere Zellen darstellen. Auch sei noch einmal mit Abb. 2.30 daran erinnert, daß zwar die *hauptsächlichsten und überwiegenden Erbanlagen in den Chromosomen* verankert sind, daß *aber auch andere Teile der Zelle Erbkomponenten tragen*, u. a. mit eigenem genetischen Apparat die Plastiden und die Mitochondrien.


30-s-Ribosom
m-RNS
t-RNS
a)
50-s-Ribosom
Akzeptorort
Aminosäure Met
Donatorort
b)
c)
d)
e)
f)
g)
h)
i)
j)
k)
(Stop)
30-s-Ribosom
50-s-Ribosom

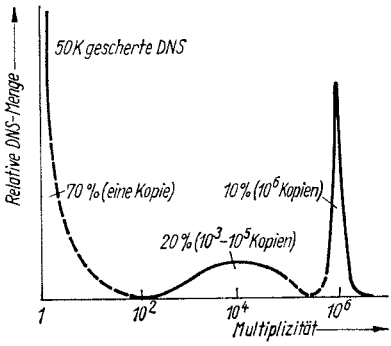


Abb. 2.29 Multiziplität der Genome bei der Maus. Die punktierten Abschnitte sind unsicher [M3].

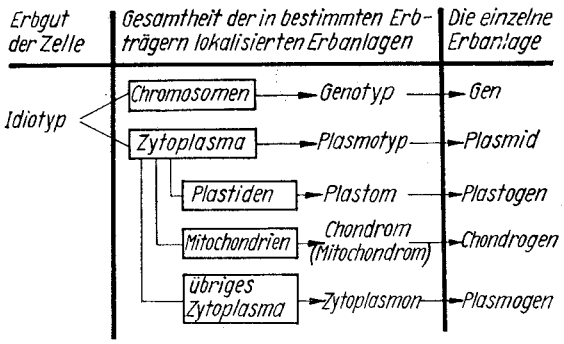


Abb. 2.30 Übersicht zu allen möglichen Erbfaktoren. Der Hauptanteil geht über die Chromosomen. Die Plastide vermitteln im Vergleich dazu nur etwa 10^{-4} der Erbinformationen und die Mitochondrien noch weniger. Beim Plasma fehlen bisher sogar jegliche konkrete Vorstellungen [G3; H1].

◀ Abb. 2.28 Einzelne Teilschritte der Proteinsynthese (Translation) [G2; K32; M21; P1; T6]

a) die m-RNS hat sich mit ihrem Start-Ende an die kleine Einheit des Ribosoms gelegt und die entsprechende t-RNS mit der Aminosäure Met passend angefügt,
b) die große Einheit des Ribosoms fügt sich ebenfalls an und auf ihr entstehen der Donator- und Akzeptorort. Sie werden auch Peptid-Donator (P-Haftstelle) und A-Haftstelle genannt,
c) auf den Rezpetorort kann sich jetzt die zweite zum nächsten m-RNS-Triplett passende t-RNS einfügen,
d) durch Peptidbildung werden danach die beiden Aminosäuren verbunden,
e) das Ribosom gleitet jetzt um drei Schritte auf der m-RNS weiter. Dadurch wird die erste t-RNS frei, und die zweite gelangt an den Donatorort,
f) der Akzeptorort ist für die nächste t-RNS frei.
g) und h) die Vorgänge c) bis f) wiederholen sich solange, bis
i) am Akzeptorort die Stoppsequenz liegt, dann
j) fallen zunächst die Peptidkette und die letzte t-RNS vom Translationskomplex ab. Das Polypeptid faltet sich jetzt und wird so zum Protein,
k) schließlich trennen sich m-RNS sowie große und kleine Ribosomeneinheit.

Tabelle 2.10 Zusammensetzung einer Bakterienzelle von der Gesamtmasse ca. 10^{-12} g (Klammerwerte sind auf Trockenmasse bezogen) [F17; M9; R9; W3]

Bestandteile	Prozent des Gewichts	mittlere Molekularmasse	Anzahl der Moleküle in der Zelle	verschied. Arten von Molekülen	Syntheserate in Moleküle/s	Verbrauch an ATP-Molekülen/s	relativer Energieaufwand in %
Wasser	70	18	10^{10}	1			
anorganische Ionen (Na, K, Mg, Ca, Fe, Cl, PO_4, SO_4 usw.)	1 (3,5)	40	$3 \cdot 10^8$	20			
Polysaccharide	2 (7)	10^4	$1{,}5 \cdot 10^7$	200	33	$6{,}5 \cdot 10^4$	2,7
Aminosäuren	0,4 (1,5)	120	$3 \cdot 10^7$	100			
Nukleotide	0,4 (1,5)	300	$1{,}5 \cdot 10^7$	200			
Lipide	2 (7)	750	$2 \cdot 10^7$	50	$1{,}3 \cdot 10^4$	$8{,}8 \cdot 10^4$	3,7
andere kleine Moleküle	0,2 (0,7)	150	10^7	200			
Proteine	15 (60)	$4 \cdot 10^4$	10^6	2500	$1{,}4 \cdot 10^3$	$2{,}1 \cdot 10^7$	88,0
DNS	1 (3,5)	$2{,}5 \cdot 10^9$	4	1	$3{,}3 \cdot 10^{-2}$	$6 \cdot 10^5$	2,5
RNS	6 (20)				12,5	$7{,}5 \cdot 10^4$	3,1
16-S-RNS		$5 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^4$	1 (?)			
23-S-RNS		10^6	$3 \cdot 10^4$	1 (?)			
t-RNS		$2{,}5 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^4$	40			
m-RNS		10^6	10^3	1000			

2.8. Regulationsprozesse

Aus Tab. 2.10 geht hervor, daß die *Proteinsynthese* 88% der *Energie einer Bakterienzelle verbraucht.* Bei anderen Zellen sind die Verhältnisse nicht wesentlich anders. Dabei ist anzumerken, daß der *Energiewirkungsgrad* von biologischen Zellen bei 60 bis 70% liegt und dies trotz der endlichen Zeit, die für alle Prozesse nur zur Verfügung steht. Bei technischen Wärmekraftmaschinen beträgt der Wirkungsgrad dagegen nur wenige Prozent. Andererseits muß sich jeder Organismus im z. T. sehr harten Kampf mit der Umwelt ständig bewähren, sich dabei entwickeln und fortpflanzen. Er muß deshalb über anpassungsfähige Prozesse verfügen, die nur gerade den jeweils notwendigen Bedarf befriedigen. Dies bedeutet, daß es eine lebensgefährliche Verschwendung wäre, z. B. Stoffe zu synthetisieren, die aus der Umgebung unmittelbar bezogen werden können. Alle biologischen Prozesse bedürfen also einer *vielfältigen Regulation.* Hier können nur einige einfache beschrieben werden. Andererseits bestehen über viele Regulationsprozesse noch Unklarheiten.

Ein besonders *einfacher Regulationsprozeß* sei zunächst am Beispiel von Abb. 2.31a betrachtet. Er entspricht etwas vereinfacht der Umwandlung von Asparaginsäure (Asp = Substrat I) in Cytosintriphosphat (CTP = Endprodukt VI) und verläuft über fünf Enzyme, von denen das erste allosterisch ist. Sobald viele CTP im Zellplasma vorliegen, legen sie sich als Effektoren an die Enzyme 1 (Aspartatcarbonyl — transferase) und machen sie inaktiv. Es kann dann kein Substrat (Asp) mehr in CTP verwandelt werden. Es liegt also eine (*negative*) *Rückkopplung* (engl. feed back = „Rück-

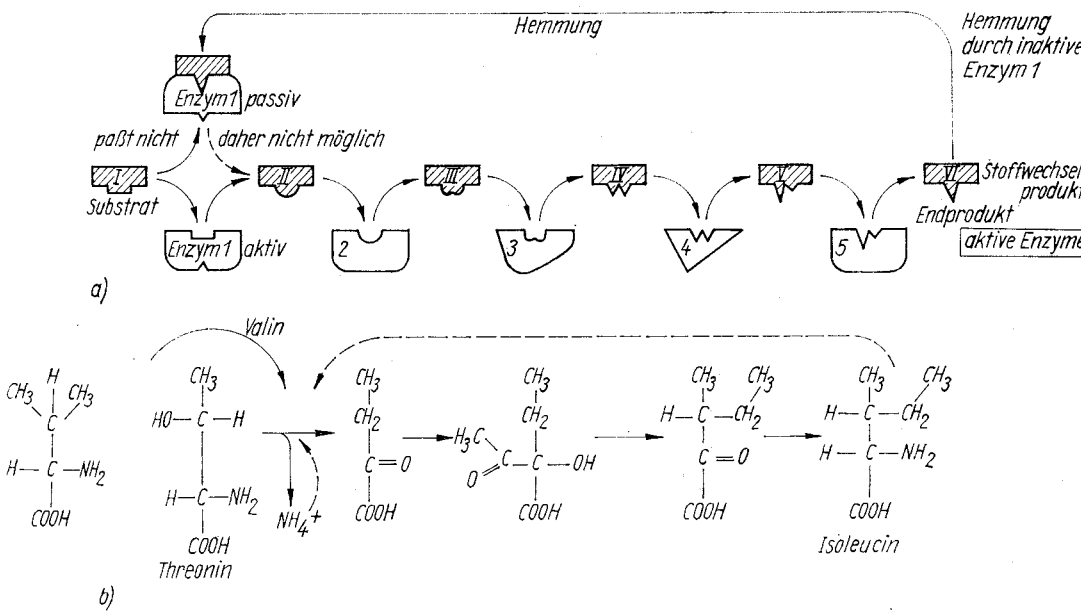


Abb. 2.31 Zur Beeinflussung der Enzymaktivität [M9; P1; R9]
a) Hemmung des Enzyms 1 durch das Endprodukt VI. Hierdurch wird die Konzentration von VI in der Zelle auf gleichem Niveau gehalten,
b) bei der Synthese von Isoleucin kann das erste Enzym durch NH_4 (ein Nebenprodukt) und das Endprodukt gehemmt, jedoch durch Valin aktiviert werden.

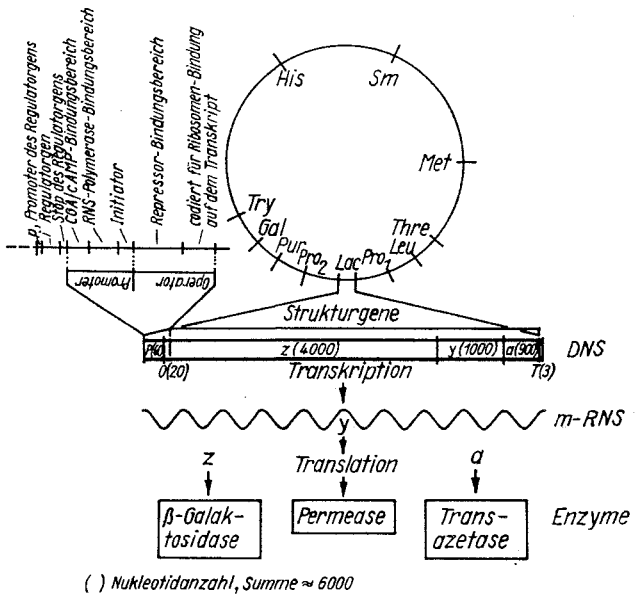


Abb. 2.32 Beispiel des Aufbaus eines Operons beim Bakterium Escherichia Coli. Oben ist die kreisförmige DNS mit den verschiedenen Operons dargestellt. Das Lac-Operon ist dann gerade und vergrößert darunter dargestellt. Es enthält etwa 6000 Nukleotide (das sind weniger als 10^{-3} der ganzen Länge der DNS) für die drei Substanzen, die darunter in Kästchen stehen. Ihnen entsprechen die Abschnitte z, y und a. Zu Beginn des Operons befinden sich eine Operator- und Promotor-Region, die links darüber nochmals vergrößert dargestellt sind. Am Ende ist das Terminal-Triplett T vorhanden [M21; P1; R9; T6].

fütterung") vor. Sie bewirkt, daß immer eine bestimmte Konzentration CTP in der Zelle vorhanden ist. Sinkt diese unter den Sollwert, so lösen sich Effektoren vom Enzym 1 und machen es dadurch wieder aktiv. Für die ganze Kette genügt hier *ein* allosterisches Enzym, denn die weiteren können ja nur wirksam werden, wenn das jeweils für sie passende Substrat vorliegt.

Eine etwas komplizierte Variante zeigt Abb. 2.31 b. Sie betrifft die *Umwandlung von Threonin* in Isoleucin, wie sie in Hefezellen erfolgt. Hierbei wirken 4 Enzyme. Das erste, Threomindehydratase, wird sowohl durch das Endprodukt gehemmt als auch von Valin aktiviert. Es kann ferner von NH_4-Ionen (ebenfalls ein Reaktionsprodukt) gehemmt werden. Die Regulation ist hier also vielfältig, und die Summe der Umstände legt fest, was geschieht.

Die bisher beschriebene Beeinflussung von Enzymaktivitäten ist jedoch noch nicht die optimale. Viel effektiver ist es, die Enzyme bereits nur nach Bedarf zu translatieren bzw. sogar die zugehörige m-RNS zu transkribieren. Genauere Kenntnisse wurden vor allem bei den Bakterien erkannt. Die Gene (auch Cystrons genannt) sind bei ihnen relativ kurz, aber dennoch so lang, daß mehrere Proteine gleichzeitig synthetisiert werden. Üblich sind etwa 500 bis 2000 Nukleotide. Zusätzlich enthalten diese Gene Sequenzen für Hilfs-Zwecke. Dies sei mit Abb. 2.32 am *Beispiel des Lac-Operons* erklärt. An den *Promotor* (spezieller Ort auf der DNS) lagert sich die RNS-Polymerase zum *Start* für die Transkription an. Bei der *Operatorstelle* kann sich ein für diese Se-

quenzen typisches *allosterisches Enzym*, der *Repressor*, anlagern. Dann kann die RNS-Polymerase nicht vorbei. Die Transkription ist also gestoppt. Vor dem Promotor liegt schließlich noch ein Regulatorgen. Es muß mit einem spezifischen Enzym besetzt sein, wenn die RNS-Polymerase wirksam werden soll. An anderen Stellen der DNS werden Repressor und Aktivator transkribiert. Damit liegt insgesamt ein relativ komplexer Zusammenhang vor. Dabei lassen sich zwei Grundprinzipien, *Induktion und Repression*, erkennen (s. Abb. 2.33).

Bei der *Induktion* erzeugt das Regulatorgen R einen aktiven Repressor, der sich sofort am Operator anlagert. Es erfolgt dann keine Transkription. Ein bestimmtes Substrat, der Induktor, kann sich aber mit dem Repressor verbinden und ihn inaktiv machen. Dann werden die Enzyme synthetisiert und wandeln das Substrat um. Die Enzyme mit ihrer zugehörigen m-RNS werden also nur solange erzeugt, wie Substrat vorhanden ist. Induktion liegt z. B. beim in Abb. 2.32 gezeigten Lac-Operon von E-coli vor. E-coli ist meist auf Glucoseverwertung eingestellt. Wenn es diese jedoch nicht erhält, sondern nur Lactose, muß es diese spalten. Hierzu wird die β-Galactosidase benötigt. Lactose wirkt also als Induktor. Die außerdem dann produzierte Permease macht dazu noch die Zellmembran für Lactose durchlässiger. Die Bedeutung des dritten Enzyms ist in diesem Zusammenhang noch nicht geklärt.

Bei der *Repression* wird primär ein induktiver Repressor, der Apo-Repressor, synthetisiert. Dadurch bleibt der Operator unbesetzt, und es werden Enzyme produziert, die ein Substrat umwandeln. Das dabei entstehende Endprodukt ist zugleich der Co-Repressor, welcher den Apo-Repressor aktiv macht. Sobald eine gewisse Menge des Endproduktes (Co-Repressors) vorliegt, ist damit der Operator mit dem aktiven Holo-Repressor besetzt, und es werden keine Enzyme über deren m-RNS mehr

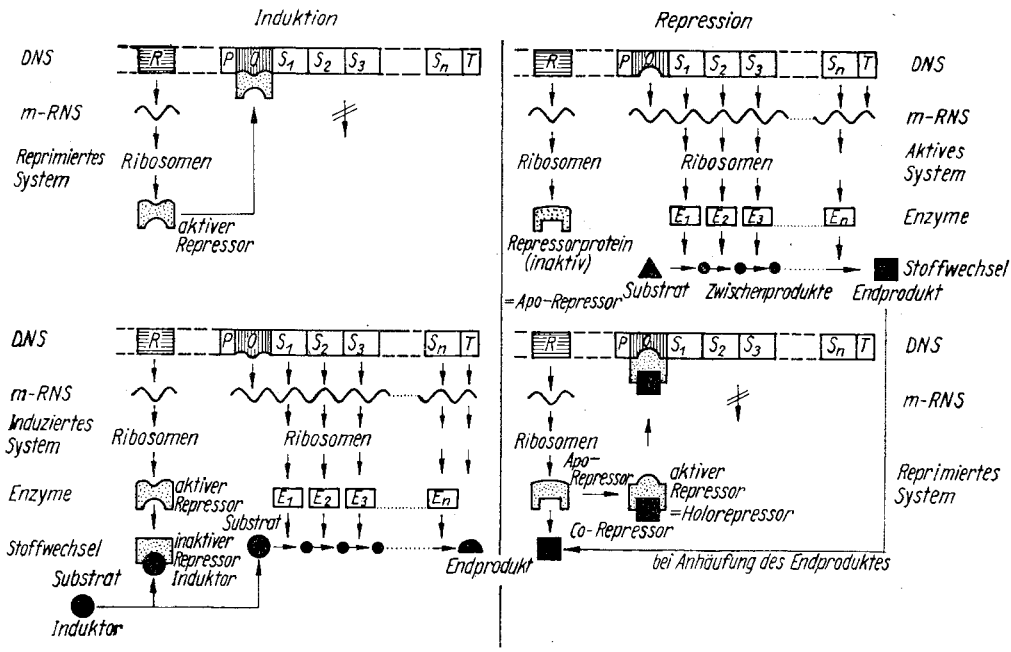


Abb. 2.33 Prinzipien der Induktion und Repression [A11; G2; K31; K32; M3; M9; M21; P1; R9; T6; W19].

synthetisiert, die das Substrat umwandeln können. Ähnlich wie bei Abb. 2.31a wird hier also immer eine definierte Konzentration des Endproduktes (des Co-Repressors) eingestellt. Nun kann wiederum auf das Lac-Operon von Abb. 2.32 eingegangen werden. Solange für E-coli genügend Glucose vorhanden ist, braucht es ja eventuell ebenfalls vorhandene Lactose nicht erst zu spalten. Die zweite Abbaustufe von Glucose, die Allolactose, kann sich nämlich ebenfalls an den Repressor anlagern. Sie macht ihn dabei noch aktiver. Der Induktion von Lactose ist also eine Repression von Allolactose überlagert. E-coli ernährt sich also mit minimalem Aufwand.

Ergänzt sei noch, daß die notwendigen Grundenzyme einer Zelle natürlich kontinuierlich synthetisiert werden. In *höheren Zellen* liegen sehr *viel kompliziertere, mehrfach hierarchische Regulationen* vor. Sie betreffen vielfältige Möglichkeiten von der Replikation über die Transkription und Translation bis zur Enzymaktivität. Beeinflußt werden dabei die verschiedensten Prozesse der Zelle und des Organismus. Hierzu gehören u. a. auch die vielfältigen Möglichkeiten der Zelldifferenzierung. Bei den *Eucaryoten* gibt es *zusätzliche Besonderheiten*:

- Die DNS ist in den Chromosomen weitgehend über Histone inaktiv. Nur etwa 5 ... 10% sind frei.
- Durch die Kernmembran erfolgen Transkription und Translation räumlich getrennt.
- Zusammengehörende Gene sind nur noch selten räumlich nahe, zuweilen befinden sie sich sogar auf verschiedenen Chromosomen.
- Das Regulatorsystem ist insgesamt so komplex und hierarchisch, daß eventuell mehr Sequenzen für die Regulation als für Enzyme und Strukturproteine vorhanden sein könnten. Zuweilen wird abgeschätzt, daß auf die 0,5 ... $5 \cdot 10^4$ Basenpaare eines Chromomeren nur ca. 1000 für Strukturgene entfallen.
- In den Gesamtprozeß wirken wahrscheinlich auch Hormone ein.

Als Beispiel seien einige Zahlenwerte angefügt: Der *Mensch* verfügt z. B. über $3 \cdot 10^{-12}$ g DNS, das sind rund $3 \cdot 10^9$ Nukleotidpaare je Zelle. Es werden etwa zwischen 84 (bei Proinsulin) und 1600 (Fibrinogen) Aminosäuren zur Polypeptidkette verknüpft. Werden im Mittel daher 500 Nukleotidpaare für ein Gen angesetzt, so müssen etwa $6 \cdot 10^6$ Gene existieren. Es sind aber nur etwas über 1000 Strukturgene für Enzyme und Strukturproteine bekannt. Allgemein werden aber dennoch $4 \cdot 10^4$ bis 10^5 Struktur- und Regulatorgene angenommen, d. h., es wird nur um 1 bis 2% der DNS in Proteine übersetzt. Dieser kleine Teil ist auch nicht mit den etwa 10% immer mehrfach vorhandenen Genen zu erklären. Es bleibt offensichtlich ein großer Teil der DNS „stumm".

Alle geschilderten Prozesse sind in komplizierter Weise mit der Evolution entstanden und entwickeln sich langsam weiter. Dabei spielen spontane Änderungen durch *Mutation* und deren Bewährung gegenüber der Umwelt eine entscheidende Rolle. Im Mittel kann eine Mutationsrate von 10^{-9} Mutationen je Triplett und Jahr angenommen werden. Ein anderer Bezug ergibt sich mit 10^{-4} Mutationen je Triplett, Gamete und Generation für letale Änderungen und 10^{-5} für nicht letale Mutanten. Beim Menschen werden für die Änderung seiner Erbsubstanz etwa 10 Mutationen während seines Lebens geschätzt. Alle Werte können aber um 1 bis 2 Zehnerpotenzen falsch sein.

Weiter sei darauf hingewiesen, *wie effektiv die genetische Information* Lebewesen steuert. Von jeder Transkriptionseinheit der DNS werden im Mittel 10 bis 100 (z. T. noch mehr) m-RNS-Kopien hergestellt. Sie werden wiederum in 10 bis 100 Proteine übersetzt. Ein Enzymmolekül führt etwa pro Minute 10^4 katalytische Prozesse durch. Bei einem höheren Lebewesen entstehen aus der Zygote etwa 10^{10} bis 10^{15} Zellen. Damit werden durch einen Abschnitt der DNS der Zygote etwa 10^{18} bis 10^{23} Metabolitenmoleküle kontrolliert. Die entsprechende Masse liegt also bei einem Mol (Loschmidtsche Zahl $6{,}6 \cdot 10^{23}$). RATNER nennt diesen Zusammenhang *Verstärkerprinzip der Genetik.*

3. Neuronen

3.1. Reizphysiologie

Der vorige Abschnitt galt dem genetischen Speicher, und seine Aufgabe ist es, die Erzeugung der Struktur von Organismen und deren Leben zu bestimmen. Im Gegensatz dazu steht die *Steuerung des Verhaltens* von Organismen. Unter diesem Gesichtspunkt ist es verständlich, daß entgegen den drei wesentlichen Kennzeichen des Lebens, Stoffwechsel, Fortpflanzung und Höherentwicklung, unter dem hier interessierenden Gesichtspunkt die drei Kennzeichen

Stoffwechsel,
Fortpflanzung (Vermehrung),
Reizbarkeit

gewählt werden. Die ersten beiden entsprechen den im Kapitel 2 behandelten Gebieten. Auf die Evolution (Höherentwicklung) mußte im gesamten Buch des Umfanges wegen verzichtet werden. Damit stellen *Reiz und seine Auswirkungen* Schwerpunkte dar. Es können etwa 5 *Qualitätsstufen* gemäß Abb. 3.1 unterschieden werden:

Taxis,
Reflex,
Instinkt,
Lernen,
Denken.

Ihr relativer (nicht absoluter) Anteil nimmt in der Tierwelt mit der Entwicklungshöhe der Lebewesen in Richtung zu den höheren Qualitätsstufen zu. Dabei erreicht der Instinkt bei den Insekten und niederen Wirbeltieren ein Maximum. Ansätze zum Denken treten erstmalig bei den Säugetieren auf. In der Pflanzenwelt existieren nur Verhaltensweisen, die Taxien ähnlich sind und als Tropismen und Nastien bezeichnet werden. Von seltenen

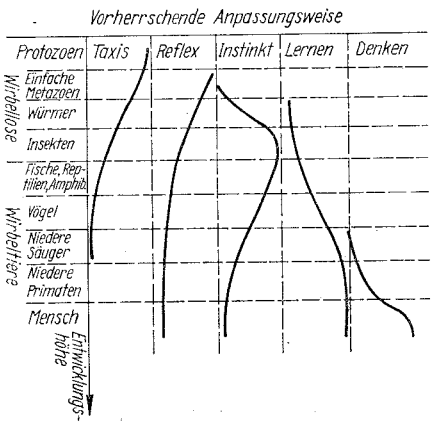


Abb. 3.1 Schematische Darstellung des relativen Anteils der verschiedenen Verhaltensweisen von Tieren in Abhängigkeit von ihrer Entwicklungshöhe [A9].

Ausnahmen abgesehen sind ja Pflanzen nicht frei beweglich, sondern können nur Teile bewegen. Hierzu existieren zwei Wirkmechanismen:

- *Nutation* als Wachsen bestimmter Stellen, wodurch Krümmungen entstehen,
- *Turgur*, wobei Dauergewebe mittels Osmose Erschlaffen bzw. Versteifen von Gelenken bzw. Zellen bewirken.

Der *Turgur* ist besonders eindrucksvoll bei den Blättern der *Mimose*. Die *Nutation* tritt dagegen bei *Ranken* auffällig in Erscheinung. Insgesamt sind einige Pflanzen dabei zu beträchtlichen Empfindlichkeiten gegenüber Reizen fähig. So reagiert die Ranke Siyos bereits auf Wollfäden von nur $2{,}5 \cdot 10^{-7}$ g. Die Reizfortleitung erreicht bei der Mimose Geschwindigkeiten bis zu 30 mm/s, bei schweren Verletzungen sogar 10 cm/s. Auch die *Latenzzeit* kann recht kurz sein. Bei Staubblättern der Berberitze werden 40 ms und bei der Mimose 80 ms gemessen. Dies gilt für die Erschlaffung des Turgurs. Die Straffung erfolgt dagegen viel langsamer, bei der Mimose z. B. in ca. 15 min.

Da weiterhin nicht auf Pflanzen eingegangen werden soll, wurden diese wenigen Aussagen hier vorangestellt, um einen gewissen Vergleich zu besitzen.

Allgemein gilt für die *Reiz-Reaktions-Beziehung* Abb. 3.2. Der Begriff Reiz ist dabei sehr alt. Heute dürfte vielfach statt dessen Information gewählt werden. Dabei entspricht der objektive Reiz dem Informationsträger. Die *Reizaufnahme* kann in recht vielfältiger Weise passiv und aktiv erfolgen. Sie bewirkt in der Rezeptorzelle oder im

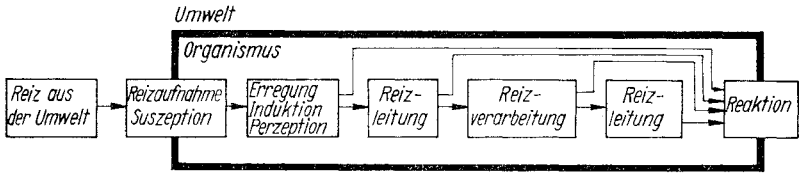


Abb. 3.2 Zum Ablauf des Reizgeschehens in vereinfachter linearer (also rückwirkungsfreier und von inneren Zuständen unabhängiger) Darstellung. Die Kette kann entsprechend den gezeichneten Nebenwegen auch verkürzt werden.

Organismus eine Erregung (Induktion, Perzeption). Diese wiederum führt unmittelbar oder aber unter Zwischenschaltung von *Reizleitung* und/oder *Reizverarbeitung* zur *Reaktion* des Organismus auf den Reiz. Die Reaktion wird dann ihrerseits (zumindest bei höheren Lebewesen) von speziellen Organellen, Zellen oder Organen realisiert. Ein entscheidender Fakt der Reizphysiologie besteht darin, daß die *Energie des Reizes* fast immer *sehr viel geringer als die der Reaktion* ist. Beim Reiz-Reaktionsgeschehen muß der Organismus also auf innere Energien zurückgreifen. Deshalb wird oft von *Auslösemechanismen* gesprochen. Technisch analoge Beispiele sind Mechanismen, wie Mausefalle, Gewehr und Klingelanlage. Eine kleine Ursache (Reiz) hat eine große Wirkung (Reaktion). Jenes Verhalten, das bei Reizen nur Veränderungen und Prozesse im Innern des Organismus ablaufen läßt, gehört nicht zur Reizphysiologie. Daher ist das Paar: Information und Verhalten, wie es KLIX wählt, hier wesentlich geeigneter.

Von der Vielfalt im Reiz-Reaktionsablauf bzw. Information-Verhalten-Geschehen kann hier wiederum nur ein sehr kleiner Ausschnitt behandelt werden. Dabei werden

vor allem drei Ausschnitte erfaßt:

- Neuronen (in diesem Kapitel),
- Nervensysteme und Gehirne (Kapitel 4),
- Sinneszellen und -organe (Kapitel 5 und 6).

Auch hier kann keine Vollständigkeit angestrebt werden. Bezüglich der Reizaufnahme werden z. B. nur akustischer und optischer Sinn behandelt. Ferner sind die spezifischen Reaktionsmechanismen ausgespart. Ins Technische übertragen werden also nur die Gebiete Informationsaufnahme, -übertragung, -verarbeitung und -speicherung behandelt und nicht die *Stellglieder*. Deshalb seien gleich hier einige Bemerkungen zu ihnen gegeben. Bei einem Organismus sind *folgende Reaktionen* möglich:

- Bewegung von Teilen des Organismus
  - zur Orientierung des Organismus im Raum,
  - zur Ortsveränderung des gesamten Organismus,
- Sekretion von Stoffen an die Umwelt, wie z. B.:
  Gifte, Duftstoffe, Farbstoffe, Hormone und Schleime,
- Erzeugung von elektrischen Potentialen zum Abschrecken oder Töten von Feinden oder auch zur eigenen Orientierung,
- Erzeugung von Licht,
- Erzeugung von Schall.

Insbesondere bei der *Bewegung* haben sich im Laufe der Evolution mehrere Varianten herausgebildet. Es seien nur Kriechen, Laufen, Schwimmen und Fliegen genannt. Andererseits ist auffällig, daß keine Reaktionen thermischer oder magnetischer Art bekannt sind. Für alle Reaktionen mit Ausnahme des Schalles haben sich spezifische Zellen bzw. Zellorganellen ausgebildet. Beim Schall sind nur mehr oder weniger komplizierte Organe und Mechanismen bekannt, die aber immer mechanisch über Muskeln betätigt werden. Insgesamt ist es überhaupt bedeutsam, daß die Muskelzelle von gewissen Einzellern (z. B. Glockentierchen oder die Geißel vieler Einzeller) bis zu den hochentwickelten Organismen nach einem kaum veränderten Prinzip funktioniert und auf Reaktion von Actin und Myosin zurückgeht. Wesentlich gesteigert wurden im Laufe der Evolution aber die Wirkeigenschaften. Dabei traten auch Differenzierungen auf, z. B. Halte- und Reaktionsmuskeln (glatte und quergestreifte). Der *Energie-Wirkungsgrad von Muskeln* liegt bei 20 bis 40%, das Verhältnis von ausgelöster zu auslösender Leistung bei ca. 10^6.

3.2. Prinzipieller Aufbau des Neurons

Die meisten Zellen von Vielzellern sind auf spezielle Leistungen hin differenziert: Beispiele sind die Muskelzelle auf Kontraktivität, die Drüsenzelle auf Sekretion, die Blutkörperchen auf Sauerstofftransport und die Sinneszellen auf Reizbarkeit gegenüber Licht, Wärme, Druck usw. Das Neuron oder die *Nervenzelle* ist spezialisiert *auf Reizverarbeitung und Weiterleitung*. Wie weit ihre Differenzierung dabei getrieben wurde, geht u. a. daraus hervor, daß sie nach ihrer Differenzierung nicht mehr zur Teilung (Mitose) fähig ist. Dies bedeutet u. a., daß ein *Neuron, das stirbt, nicht wieder* für den Organismus *ersetzt* werden kann. Es gibt umstrittene Angaben darüber, daß

beim Menschen täglich ca. 10^5 Neuronen, also 1 je Sekunde absterben. Das würde auf das Leben umgerechnet ca. 10% ausmachen. Ferner gibt es von den Neuronen sehr vielfältige unterschiedliche Formen. Dies bedeutet, daß es kaum eine typische Gestalt gibt. Dies ist zu beachten, wenn bei der folgenden Beschreibung Abb. 3.3 zu Grunde gelegt wird. Auf einige spezielle Neuronarten wird im Abschn. 3.2 eingegangen. Ferner ist zu beachten, daß ein *Neuron nie frei im Raum* steht, *sondern in einer Vielzahl anderer Zellen* (meist Gliazellen bis zu 10-mal soviel) *eingebettet* ist. Das Neuron ist daher, wenn von speziellen Färbemethoden abgesehen wird, auf Fotografien (insbesondere von Elektronenmikroskopaufnahmen) für den Laien nicht leicht zu erkennen.

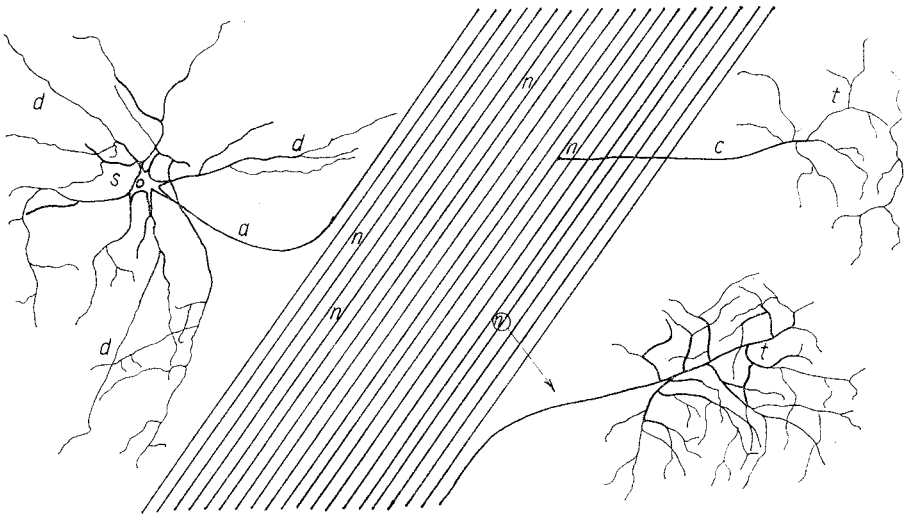
Es sei auch erwähnt, daß die Nervenzellen *bei Wirbellosen* z. T. erheblich anders aussehen, z.B. liegt der Zellkern oft weitab in einem abgetrennten Sack. Ferner besitzen sie meist keine Dendriten. Es liegt die Vermutung nahe, daß auf ihnen die Spezialisierung noch weiter getrieben wurde, so daß zwar speziellere „Verschaltungen" auftreten, aber die Universalität des Verhaltens der Zellen, insbesondere bezüglich des möglichen Lernens der Neuronverbände, erheblich reduziert ist.

Bei den Neuronen existieren, bedingt durch die Geschichte, aber auch durch das unterschiedliche Erscheinungsbild bei verschiedenen Präparationen und durch die licht- und elektronenmikroskopischen Bilder, viele Bezeichnungen für ein und dasselbe Gebilde. Deshalb gibt Tab. 3.1 eine Zusammenstellung etwa synonymer Begriffe.

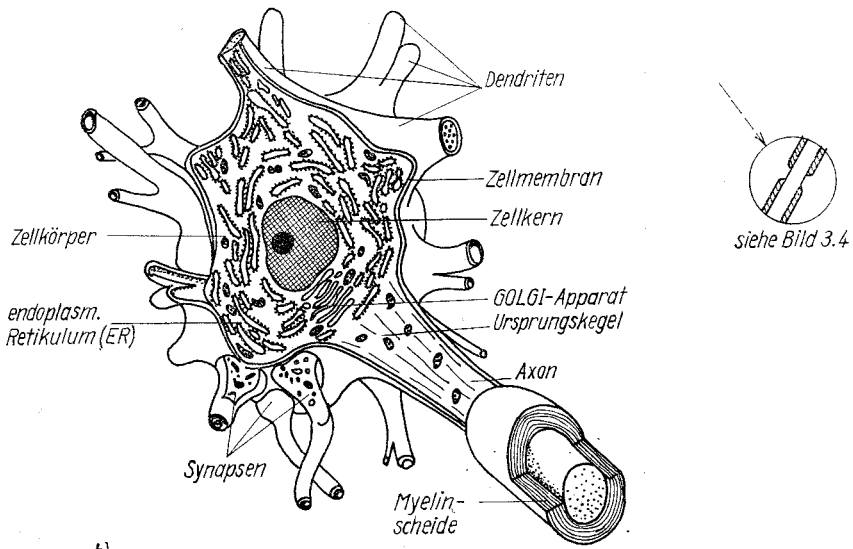
Tabelle 3.1 Zusammenstellung einiger Begriffe der Nervenzelle [W10; W11]

Nervenzelle	Neuron, Ganglienzelle, Neurozyt: besteht aus Zellkörper Dendriten, Axon und Synapsen,
Zellkörper	Perikaryon, Zelleib, Soma,
Zellmembran	am Zellkörper = Plasmalemm, am Axon = Axonlemm,
endoplasmatisches Retikulum	Ergastoplasma wird bei entsprechender Präparation mit Mitochondrien zu *Nissl-Granula*, -schollen, -körperchen. Summe dieser Schollen heißt *Trigorid*,
Mitochondrien	Neurosomen
Neurotubuli	Mikrotubuli (20 ... 30 nm ∅), Neurofilamente (6 ... 10 nm), beide zusammen ergeben bei entsprechender Präparation *Neurofibrillen*,
Zellplasma	Cytoplasma, Neuroplasma (im Axon Axonplasma)
Zellkern;	Nucleus,
Zentralkörperchen	Nukleolus, Kleinkern, (vom Geschlechtschromosom Nuklearsatellit)
Axon;	Neurit mit Umhüllung, z. B. Markscheide → Nervenfaser,
Ursprungskegel	Axonhügel, Initialsegment,
Axonverzweigungen	Kollateralen, Endbäumchen, Teledron,
Markscheide	Schwannsche Zellen, Myelinscheide, Schwannsche Scheide, Neurolemm, Nervenmark,
Ranvier-Knoten	Schnürring,
Synapse: (Präsynapse)	Terminale, Endung wie z. B. Endösen, -füßchen, -knöpfchen, -körbe, -kelche, Bouton, Boutontermineaux, synaptic knob. bei Muskeln = motorische Endplatte
Spines	Dornen (thorns), Gemmules, Kölbchen

Trotz der Vielfalt der Neuronen (auch bei den Wirbeltieren) ist ihr *Funktionsprinzip* sehr einheitlich. So gibt es kaum Aussagen, die Zusammenhänge zwischen den unterschiedlichen Gestalten und Funktionen erkennen lassen.



a)



b)

Abb. 3.3 Übersichtsbild zum prinzipiellen Aufbau einer Nervenzelle [B13; B21; E7; F2; G8; R3; S7; W16]
a) mit besonderer Betonung des Zellkörpers und seiner Detailstruktur,
b) mit besonderer Betonung der Größenrelationen. Das etwa 10 nm lange Axon ist in 20 Stücke zu je 0,5 nm Länge zerschnitten. Es bedeuten *a* — Axonbeginn; *c* — Kollaterale; *d* — Dendriten; *n* — Ranvierknoten; *s* — Zellkörper mit Kern und Kleinkern; *t* — Endverzweigungen des Axons; an jedem Endzweig befindet sich eine Synapse.

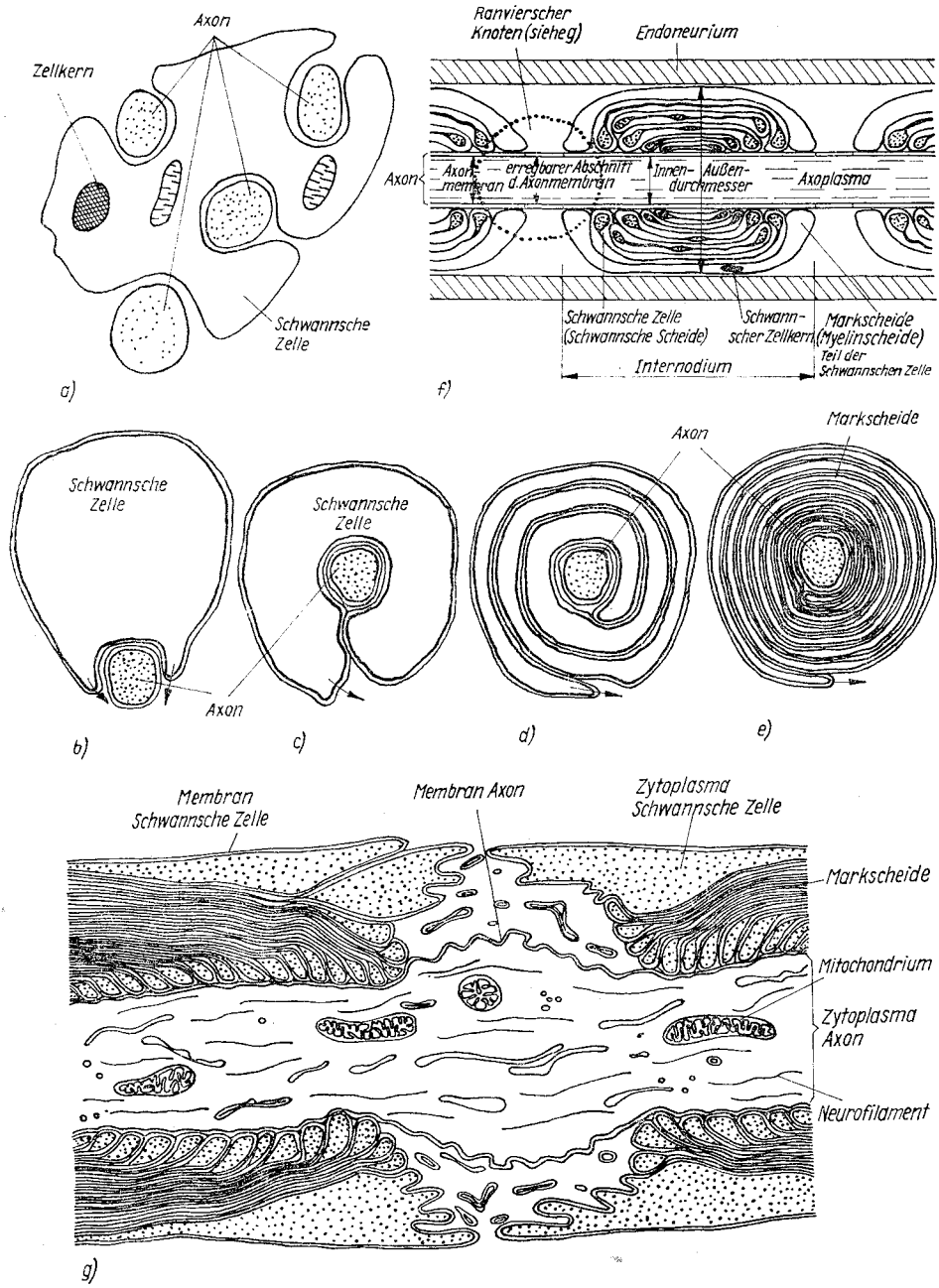
Für den *groben* äußeren *Aufbau* eines Neurons sind vor allem vier unterschiedliche Gebiete zu erkennen (Abb. 3.3):

Zellkörper,
Dendriten,
Axon,
Synapsen.

Wie jede andere Zelle ist auch das Neuron nach außen durch eine Membran abgegrenzt. Im Gegensatz zu den anderen Zellen ist diese Membran aber wie bei einer Kastanie (jedoch noch stärker) mit vielen Fortsätzen versehen, die spitz nach außen zeigen. Diese Fortsätze heißen *Dendriten*. Sie können sich auch weiter, z. T. baumartig, verzweigen. Sie vergrößern vor allem die *Oberfläche für die mögliche Reizaufnahme*. Die Oberfläche der Dendriten kann bis 90 ... 96% der Oberfläche des ganzen Neurons ausmachen. Der Teil des Neurons ohne Fortsätze heißt *Zellkörper*. Hier befindet sich u. a. der Zellkern, der wie bei allen anderen Zellen die Abläufe in der Zelle steuert. Wird daher ein entferntes Teil des Neurons abgetrennt, so stirbt er ab. Die *Größe* des Zellkörpers von Neuronen reicht von etwa 2 µm Durchmesser bei den kleinsten Körnerzellen im Kleinhirn bis zu reichlich 100 µm bei den Motorneuronen des Rückenmarks. (Bei Krebsen existieren Riesenneuronen von 0,2 mm und bei Schnecken bis zu 1 mm Durchmesser.) Die Länge der Dendriten liegt zwischen einigen Mikrometern bis zu Millimetern. Ihre Anzahl kann von Null bis zu mehreren Hundert betragen. Ihr Durchmesser liegt im Bereich der Mikrometer. Funktionell besteht zwischen den Dendriten und dem Zellkörper höchstens ein gewisser quantitativer Unterschied. Die *Membran dient* der *Reizaufnahme*, wozu auf ihr gemeinsam mit anderen Nervenzellen und Sinneszellen *Synapsen* (bis zu 50000 je Neuron) gebildet werden. Sie können bis zu 40% der Oberfläche des Zellkörpers und der Dendriten belegen. Sie werden im Abschn. 3.5 genauer besprochen.

Abb. 3.4 Schematische Schnittdarstellungen zur Ein- und Umhüllung von Axons durch Schwannsche Zellen [D8; G8; G19; H14; K16; K32; N18; S52; V5]
a) in einer Schwannsche Zelle sind mehrere Axons eingebettet,
b) bis e) Vorgang der Umhüllung des Axons,
b) Schwannsche Zelle und Axon haben Kontakt, lediglich das Axon bestimmt, ob und wie stark es eingehüllt wird,
c) die Schwannsche Zelle wickelt sich um das Axon,
d) Zustand mit drei Umwindungen,
e) Ungefähr zehn Umwindungen. Bis zu 100 werden zuweilen erreicht. Die Spalte zwischen den Windungen, die also die Verbindung über einen langen Weg des Axon zur Umgebung lassen (Mesoaxon), beträgt ca. 5 nm, während die Dicke einer Wicklung bei ca. 12 nm liegt. Jede Schwannsche Zelle kann nur eine bestimmte Länge des Axons von etwa 0,2 bis 2 mm bedecken. Deshalb sind die Längsschnitte f) und g) hinzugefügt,
f) Längsschnitt eines umhüllten Axons, wobei die Ranvier-Knoten als Grenzen zwischen zwei Schwannschen Zellen bewußt dichter gezeichnet sind. In Wirklichkeit beträgt das Verhältnis Axondicke zum Abstand der Ranvier-Knoten etwa 1:200,
g) vergrößerter Ausschnitt eines Ranvier-Knotens.

Das gesamte *Neuron* ist *eine funktionelle Einheit.* Es faßt in komplexer Form alle auf ihn einwirkenden Reize zusammen. Aus diesem Integral resultiert sein zeitabhängiger Erregungszustand.



Jedes Neuron besitzt neben den Dendriten einen ausgezeichneten Fortsatz, das *Axon* (Neurit). Es entspringt meist am Zellkörper, zuweilen aber auch an einem Dendriten. Während sich die Dendriten zu ihrem Ende zuspitzen, besitzt es über seine gesamte Länge einen nahezu gleichbleibenden Durchmesser im Bereich der Mikrometer. Es gibt aber auch dickere Axons, z. B. die Riesenfasern beim Tintenfisch mit mehreren Zehntel Millimeter Dicke. Im Gegensatz zum Zellkörper und zu den Dendriten dient das *Axon zur Reizfortleitung* des zeitlichen Erregungszustandes des gesamten Neurons. Die *Länge* des Axons kann zwischen 50 µm (bei den bipolaren Zellen der Retina des Auges) und reichlich einem Meter (zur Versorgung peripherer Körperstellen) liegen. Ein Axon besitzt oft Abzweigungen, die ebenfalls der Reizfortleitung dienen, sie heißen *Kollateralen*. Zuweilen geht ein Axon in bis zu einigen hundert Kollateralen über. Viele Axons, besonders jene bei höheren Tieren und mit größerer Länge, sind in komplizierter Weise und in kurzen Abständen mit einer *Myelinscheide* umhüllt. Sie wird durch mehrfache Umwicklung von (aus Gliazellen differenzierten) Schwannschen Zellen gebildet (s. Abb. 3.4). Ein mit Myelinscheide umhülltes Axon heißt *Nervenfaser*. Sie sieht im Gegensatz zu den grauen Nervenzellen weiß aus. Dementsprechend werden im Gehirn *graue Substanz* (Nervenzellen) und *weiße Substanz* (Nevenfasern) unterschieden. In der Regel ziehen nicht einzelne Nervenfasern durch den Körper, sondern ganze Bündel von ihnen, Sie heißen *Nerven*. Den Aufbau eines Nervs zeigt Abb. 3.5. Die Markscheide ist erst eine späte Errungenschaft des Neurons. Ursprünglich sind alle Axons marklos. Bei Menschen beginnt die Markscheidenbildung z. B. im 4. Embryonalmonat. Es gibt aber auch im entwickelten Organismus Nerven mit sehr dünnen Markscheiden. Sie werden fälschlicherweise zuweilen als marklose (graue) Fasern bezeichnet.

Die gesamte *Länge* der etwa 10^{12} *Nervenfasern* im Gehirn des Menschen beträgt ca. $5 \cdot 10^8$ m. Hinzu kommt etwa dieselbe Länge für das weitere Nervensystem.

Am Ende jedes Axons und jeder Kollateralen befindet sich eine Verdickung, die auf einem anderen Neuron oder einer Erfolgszelle, z. B. Muskel- oder Drüsenzelle, endet. Hier fehlt wieder die Umhüllung mit der Markscheide. Diese Verdickung des Axons bildet mit dem entsprechenden Gegenstück des anderen Neurons oder der Erfolgszelle eine *Synapse. Zwischen beiden besteht immer ein Spalt.* Die Einheit des einzelnen Neurons reicht nur bis zum präsynaptischen Teil.

Wird ein Axon vom Zellkörper abgetrennt, so stirbt es ab und wird vom umliegenden Gewebe resorbiert. Die Myelinscheiden bilden sich dabei zurück. Das Axon kann aber z. T. nachwachsen mit etwa 0,5 ... 4 mm je Tag. Der Weg wird dabei z. T. von den alten Schwannschen Zellen bestimmt.

Eine *Nervenzelle* besteht zu 40 bis 70% ihres Trockengewichts aus Proteinen, für ein typisches Neuron etwa 10^6. Proteine Die *Syntheserate* beträgt 10^4 ... 10^5 Proteinmoleküle je Sekunde, ist also sehr hoch. In 3 bis 25 Tagen ist das gesamte Protein der Zelle einmal umgesetzt. Auf gleiches Gewicht bezogen verbraucht Nervengewebe daher 20-mal soviel Sauerstoff wie ruhende Muskeln. Ferner sind u. a. im Neuron ca. 10^7 Lipidmoleküle, bis fast 10^9 RNS-Moleküle ($4 \cdot 10^{-11}$ bis $1{,}5 \cdot 10^{-9}$ g) und ca. 10^{12} Kaliumionen enthalten. Das Neuroplasma besteht zu 92% aus Wasser, 4% sind Proteine und 3 ... 4% Lipide. Insgesamt weisen die Neuronen in ihrem inneren Aufbau wenig Besonderheiten auf. Obwohl sich die Nervenzellen nicht mehr teilen, enthalten einige Purkinje- und einige Pyramidenzellen die doppelte DNS-Menge, sind also tetraploid. Es gibt auch Nervenzellen, die mehrere Kerne enthalten (z. B. in vegeta-

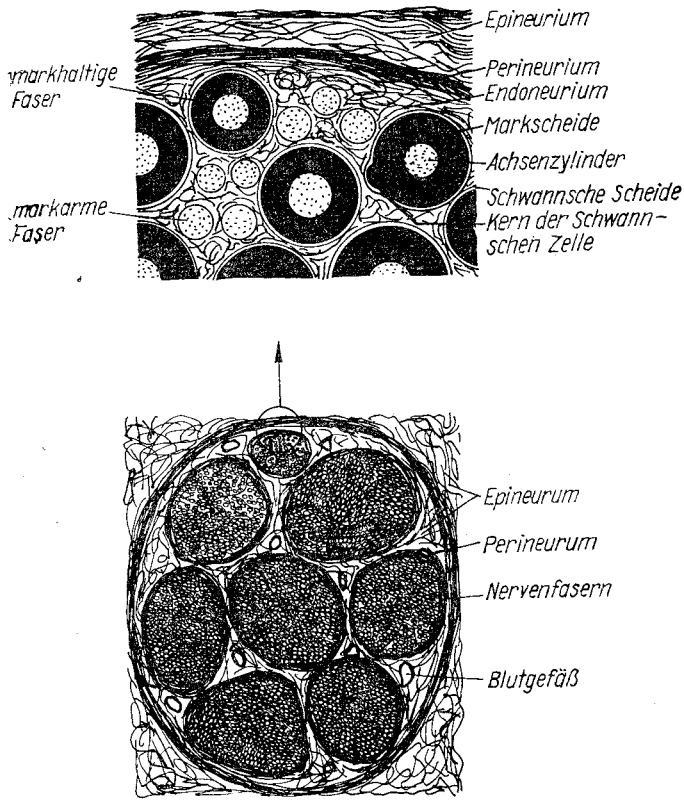


Abb. 3.5 Prinzipieller Aufbau eines Nervs. Unten: Querschnitt; Oben: vergrößerter Ausschnitt. Es sind Nervenfasern mit unterschiedlicher (bis zu extrem dünner) Dicke der Markscheide zu erkennen [G7; G8; L11].

tiven Ganglien). Der Nukleolus ist relativ groß und daher bereits im Lichtmikroskop sichtbar. Sein Durchmesser kann bis zu einem Drittel des Zellkernes betragen. Das endoplasmatische Retikulum (ER) ist bei der Nervenzelle reichlich ausgebildet und stark mit Ribosomen besetzt (granuläres ER), dennoch sollen sich etwa $^3/_4$ der Ribosomen im Plasma der Zelle z. T. als Polysomen befinden. An den Enden der Dendriten und im Axon befinden sich keine Ribosomen. Dieses typische Kennzeichen dient vor allem zur Identifizierung des Axons. Der Golgi-Apparat, die Lysosomen, Mitochondrien (ca. 10^4 in großen Zellen) und die Zentriolen weisen keine Besonderheiten auf. Besondere Zellorganellen stellen dagegen die *Neurotubuli* und *Neurofilamente* dar. Sie machen etwa 0,5% des Plasmas der Zelle aus. Sie sind aus globularen Proteinen mit einem Durchmesser von 3 bis 4 nm aufgebaut, die sich helixartig zu Röhrchen von ca. 20 bis 30 bzw. 6 bis 10 nm Außendurchmesser zusammenfügen. Sie dienen wahrscheinlich zur *mechanischen Stabilisierung* des Neurons, wirken aber wohl auch auf den *Stofftransport* besonders in Richtung zum Axon und im Axon selbst ein. Denn gerade beim Axonbeginn sind sie besonders deutlich und zugleich gut geordnet zu erkennen. Sie bilden hier regelrecht ein Bündel, wobei der gegenseitige Abstand etwa 25 nm

beträgt und sie gegeneinander durch Quersprossen aus Mikrotubuli fest verbunden sind. Die Dendriten enthalten meist keine Neurofilamente.

3.3. Membraneigenschaften und Zellpotential

Die Membran trennt den Innenraum einer Zelle von der Umgebung. Sie tut dies jedoch nicht nur passiv, sondern aktiv durch vielfältige Mechanismen. So wird u. a. ein relativ stabiles Milieu in der Zelle erreicht. Bei unterschiedlicher Konzentration innerhalb der Zelle gegenüber dem Außenmilieu entsteht ein *osmotischer Druck*, bei unterschiedlicher Ionenkonzentration ein *elektrisches Potential*. Bei Änderungen des Zellvolumens muß eine *Grenzflächenenergie* aufgebracht werden. Selbst kleinste Temperaturunterschiede zwischen außen und innen rufen große Wirkungen hervor. Den Konzentrationsunterschieden wirkt ein *Diffusionsausgleich* entgegen. Nun ist die *Membran* aber für verschiedene Substanzen *unterschiedlich permeabel*. Hierbei sind u. a. die Größen der Poren in der Membran und die hydradizierten Ionenradien von Einfluß, z. T. wirken aber auch bestimmte Substanzen für den Diffusionsausgleich katalytisch fördernd, andere hemmend. Alle diese Effekte sowie aktiven Mechanismen der Zellmembran bewirken die *verschiedenen Konzentrationen innerhalb und außerhalb der Zelle*. Sie werden in m mol/l angegeben (s. Tab. 3.2 und 3.3). Es werden im Innern der Zelle sowohl Erhöhungen als auch Verdünnungen der Konzentration bei den verschiedenen Substanzen wirksam. Dieses Verhältnis erreicht einen Extremwert bei Meeresalgen für Jod von $q = 10^{-6}$. Die verschiedenen Daten in den Tabellen sind durch vielfältige Einflüsse bestimmt. Daten ähnlich der Stabheustrecke treten nur bei verwandten Tieren auf und bilden eine Ausnahme. Als Bezugswerte für Berechnungen werden meist die Daten von Muskeln bzw. des Tintenfisch-Riesenaxons herangezogen.

Tabelle 3.2 Ionenkonzentration in m mol/l bei Skelettmuskeln (1) anorganisch) [D3; S16; S20]

Ionen	c_a	c_i	$q = c_a/c_i$
K^+	6,4	150	0,043
Na^+	150	16	9,4
Ca^{++}	3	4	0,75
Mg^{++}	1	34	0,03
Cl^-	119	5	23,8
HCO_3^-	29	12	2,4
HPO_4^{--}	2	40	0,05
organische Ionen total	—	120	
Phosphocreatin		37	
ATP		10	
Hexosephosphat		15	
Triosephosphat usw.		5	
säurelösliches Phosphat	2,3[1])	5,5	0,42
Anserin und Carnosin		33	
Protein	1	4	0,25
Aminosäuren	3	30	0,1
Lactat	1	3	0,33
Glucose	5	7	0,71

Tabelle 3.3 Ionenkonzentrationen c in m mol/l im Innern der Zelle, C_i, und in ihrer Umgebung, C_a, sowie das Verhältnis $q = c_a : c_i$ [B13; B23; D3; D11; G12; G22; L3; R19; S20; V5; W16]

Zelle	Na^+			K^+			Cl^-			Ca^{++}		
	c_a	c_i	q	c_a	c_i	q	c_a	c_i	q	c_a	c_i	q
Grünalge gegen Meerwasser	90	468	0,19	515	10	51,5	597	546	1,09	3,4	21	0,16
Armleuchteralge gegen Teichwasser	60	1,2	50	54	0,05	10^4	104	1,0	104	19	1,3	14,6
Erythrozyten gegen Blutplasma	18,6	145	1,3	95	3,6	26	78	102	0,77	0,9	4,8	0,19
Riesenaxon von Loligo	440	49	9,0	22	410	0,054	560	40	14			
Skelettmuskel	100 ... 150	12 ... 15	6,8 .. 12,5	2,5 ... 6	110 bis 150	0,017 bis 0,055	120	4	4			
Froschmuskel	120	10 ... 20	6 ... 12	2,5	130	0,019	120	2 ... 4	30 ... 60			
Herzmuskel	100 ... 160	16 ... 18	5,6 ... 10	2,5 ... 5	90 bis 150	0,017 bis 0,056	120	5	24	3	4	0,75
Stabheuschrecke Bauchmark	157	67	2,3	12	225	0,05			0,3	2,2	7,3	0,3
Schabe, Bauchmark	20	86	0,23	34	550	0,06			0,1	3,2	31	0,1
Krebs, Beinnerv	510	52	0,1	12	410	43	540	26	21			

Aus der *Membranpermeabilität* P und dem *Konzentrationsgefälle* $c_i - c_a$ kann der spezifische *Stoffstrom* gemäß

$$J = P(c_i - c_a) \tag{5}$$

aus dem 1. Fickschen Gesetz abgeleitet werden. Für normale Zellmembranen von Neuronen und Axons liegt P für Na^+ bei $2 \cdot 10^{-6}$ cm/s, für K^+ bei 10^{-8} cm/s. Für eine gleichdicke Wasserschicht liegt P für K^+ dagegen bei etwa 10 cm/s. Es ist bekannt, daß die Permeabilität für Na^+ von Membranen wesentlich durch positiv geladene Proteine beeinflußt wird. Fehlen sie, so kann die Permeabilität bis auf 10^{-12} cm/s absinken. Auch andere Einflüsse verändern die Permeabilität von Membranen erheblich. Im *Ruhezustand von Nervenzellen und -fasern* gilt für K, Na und Cl das Verhältnis von 1:0,04:0,45. Inj den aktiven Transport greifen ganz erheblich in der Membran eingelagerte Glykoproteine ein. Sie ragen außen um eine mehrfache Membrandicke (10 ... 30 nm) heraus. Die Größenordnung einiger *statischer Ionenflüsse* zeigt Tab. 3.4. Sie werden ständig von der Zelle *im Fließgewicht aktiv kompensiert*. Je Stunde und Gramm Nervenfaser sind dabei 0,5 ... 1,5 J notwendig. Dabei werden $3 \cdot 10^{-5}$ mol Na^+ herausgepumpt. Im Mittel sind also etwa 250 µW je g Zelle, das sind etwa 10% *des Zellruheumsatzes*, hierfür notwendig.

Tabelle 3.4 Beispiele einiger Kationenflüsse in 10^{-14} mol cm^{-2} s^{-1} [D5]

Gewebe	Fluß	Temperatur in °C
Erythrozyten		
Mensch	3,87	37
Zehmuskel		
Frosch	985	17
Axon		
Tintenfisch	1200	19
Froschhaut	19 ... 700	20
Krötenblase	43 ... 700	27
elektrischer Aal	86 ... 100	23
Nervengewebe		
(geschätzt)	1000	37

Die Gibbsche Gleichung gilt allgemein für das *Differential der Arbeit* in Abhängigkeit der verschiedensten Einflüsse. Für die Berechnung des Potentials einer Zelle wird nun meist angenommen, daß den wesentlichen Einfluß die Ionenverteilungen innerhalb und außerhalb der Zelle besitzen. Wird weiter angenommen, daß die *Potentialbildung* auf reiner *Diffusion* beruht, dann gilt für ein Ion mit den Konzentrationen c_i und c_a die Nernstsche Gleichung für das Potential

$$\Delta U = \frac{RT}{zF} \ln \frac{c_i}{c_a} \tag{6}$$

Darin bedeuten: R die allgemeine Gaskonstante, T die absolute Temperatur, F die Faraday-Konstante und z die Ladungszahl der Ions. Dem Faktor RT/F entspricht

eine Spannung, die für 37 °C etwa 26,7 mV beträgt. Werden mehrere Ionen berücksichtigt, so müssen auch die *Ionenbeweglichkeiten* oder die *Permeabilitäten* der Membran einbezogen werden. Dann gilt die Goldmansche bzw. Hodgkin-Huxley-Katzsche Gleichung. Dabei deuten die eckigen Klammern auf die Ionenkonzentrationen hin:

$$\Delta U = \frac{RT}{F} \ln \frac{P_K [K]_a + P_{Na} [Na]_a + P_{Cl} [Cl]_i}{P_K [K]_i + P_{Na} [Na]_i + P_{Cl} [Cl]_a}. \tag{7}$$

Da alle Ionen einwertig sind, wurde der Faktor z fortgelassen. Für ein Neuron folgt hieraus ein *Ruhepotential* von -60 ... -90 mV (Inneres der Zelle ist negativ). Für die einzelnen Ionenarten gilt dagegen:

$$U_K = -100 \text{ mV}; \qquad U_{Na} = +70 \text{ mV}; \qquad U_{Cl} = -90 \text{ mV},$$

Generell gilt für tierische Zellen etwa -30 ... -100 mV und für pflanzliche Zellen etwa -50 ... -200 mV. Bei einer Membrandicke von 7 nm liegen damit die *Feldstärken* bei 10^5 V/cm vor. Feldstärken dieser Größenordnung wirken sich bereits auf die Zellmembran selbst aus und bestimmen so auch deren Eigenschaften. Das *Zellpotential folgt also aus* chemischen und biologischen Ursachen. Werden die *Membranpermeabilitäten* geändert, so entsteht auch ein anderes Diffusionspotential gemäß Gl. (7). Hierauf kann u. a. die *Reizbarkeit* von Zellen und deren Folgeerscheinungen zurückgeführt werden. Dies ist bei den elektrischen Ersatzschaltbildern der Neuronen zu beachten. Sie spiegeln zwar wesentliche Membraneigenschaften wider, weisen aber nicht auf Ursachen hin. Als Beispiel sei hier Abb. 3.6 angeführt. Dabei dient Teilbild a meist zur Berechnung von Kennwerten. Im Innern der Zelle besitzt das Plasma einen spezifischen Widerstand von 20 ... 200 Ω cm. Der Wert des extrazellulären Raumes ist meist etwa doppelt so groß. Beide Räume sind durch die Zellmembran von rund 8 nm getrennt. Ihr spezifischer Widerstand ϱ_M ist mit etwa 10^{10} Ω cm erheblich größer. Zum Vergleich seien Kupfer mit $1{,}78 \cdot 10^{-6}$ und Glas mit 10^{11} Ω cm genannt. Meist wird der Membranwiderstand auf eine spezielle Fläche (Oberfläche) der Membran be-

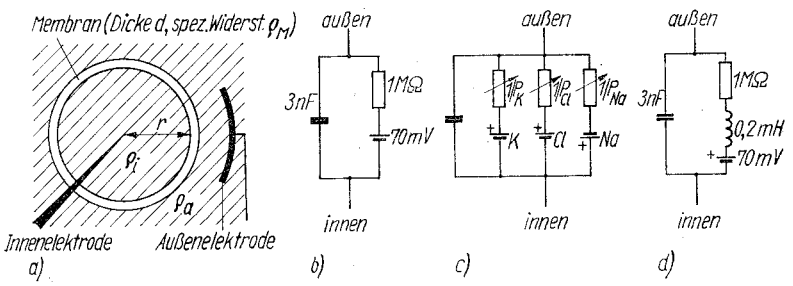


Abb. 3.6 Membranersatzschaltbilder eines üblichen Neurons [B29; N18; W16]
a) Anordnung zur Berechnung typischer, spezifischer Membranwerte,
b) einfaches übliches Ersatzschaltbild,
c) Berücksichtigung der drei wichtigsten Ionenarten und der zugehörigen Membranwiderstände,
d) Berücksichtigung von „induktiven" Komponenten.

zogen. Dann ist ein *Membranflächenwiderstand* mit der Membrandicke d zu

$$R_F = \varrho_M d \tag{8}$$

mit der Einheit $\Omega\,\mathrm{cm}^2$ gegeben. Der typische Wert liegt bei $10^3 \ldots 10^4\,\Omega\,\mathrm{cm}^2$. Er kann aber durchaus innerhalb des Bereichs von 10^1 bis $10^6\,\Omega\,\mathrm{cm}^2$ variieren. Für die noch zu behandelnde erregte Membran sinkt er auf etwa $2\,\Omega\,\mathrm{cm}^2$ ab.

In ähnlicher Weise kann auch die *Membrankapazität* bestimmt werden. Sie wird ebenfalls auf die Fläche bezogen, dann gilt

$$C_F = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r}{d}\,. \tag{9}$$

Die relative Dielektrizitätskonstante ε_r liegt bei etwa 10, die Flächenkapazität um $1\,\mu\mathrm{F/cm}^2$. (Eine Ausnahme bilden die Purkinje-Fasern des Herzens mit etwa $10\,\mu\mathrm{F/cm}^2$.) Werden nun diese Werte auf die für ein Neuron typische Oberfläche von etwa $10^{-5}\,\mathrm{cm}^2$ bezogen, so folgen technisch sehr unpraktische Werte von etwa 30 pF und $10^8\,\Omega$. Deshalb werden, um die Zeitkonstante der Schaltung

$$T = RC \tag{10}$$

beizubehalten, meist Werte gewählt, wie sie Abb. 3.6b und d zeigt. Mit den wirklichen Werten für die Nerzvenzelle läßt sich auch die *Ladungsmenge* berechnen, die zum Aufbau des Zellpotentials notwendig ist. Bei 100 mV ergeben sich $3 \cdot 10^{-7}\,\mathrm{C/cm}^2$ bzw. $3 \cdot 10^{-12}\,\mathrm{mol/cm}^2$ oder $2 \cdot 10^{12}\,\mathrm{Ionen/cm}^2$. Für ein *mittleres Neuron* mit $3 \cdot 10^2\,\mu\mathrm{m}^2$ Oberfläche folgen also insgesamt rund 10^7 Ladungen. Dieser Wert ist sehr klein im Vergleich zu den Konzentrationsunterschieden bei den Zellen (Tab. 3.3).

Für die großen Motorneuronen des Rückenmarks treten Membranwiderstände um $10^6\,\Omega$ und Kapazitäten um $3 \cdot 10^{-9}\,\mathrm{F}$ auf.

3.4. Reizbarkeit der Membran und Reizleitung

Die typische Eigenschaft des Neurons ist seine *Reizbarkeit*. Dabei ändern sich vor allem die *Membraneigenschaften*. In Gl. (7) kann dies durch die Membranpermeabilitäten und damit in Abb. 3.6 durch die entsprechenden Widerstände beschrieben werden. Als Folge werden die Ionenflüsse und damit das *Membranpotential* geändert. Besonders stark betroffen ist immer die Permeabilität für Na^+-Ionen. Sie genügt daher in erster Näherung für die weiteren Betrachtungen. Für derartige dynamische Betrachtungen sind einige Fakten zu unterscheiden:

- Einflüsse der Primärerregung,
- Ausbreitung unterschwelliger Erregungen,
- Impulsverhalten der Zelle,
- Fortleitung von Impulsen im Axon.

Auf die Primärerregung wird bei Sinneszellen bezüglich der für sie typischen Reize eingegangen. Die gegenseitige Erregung mittels Synapsen zwischen Zellen wird im Abschn. 3.5 beschrieben. Hier sollen also die anderen drei Fakten zuvor behandelt

werden. Dies erscheint auf den ersten Blick unlogisch, ist aber didaktisch besser. Als Reiz wird dabei irgendeine Art, meist ein elektrischer, angenommen. Er wirke zunächst als Dauerreiz, dann stellt sich bei schwachen Reizstärken nach wenigen Millisekunden ein stationärer Zustand ein, und zwischen Reizstärke und der als Folge sich einstellenden *Membranpotentialänderung* gilt Abb. 3.7a. Der Kurvenverlauf ist *nichtlinear*. Von

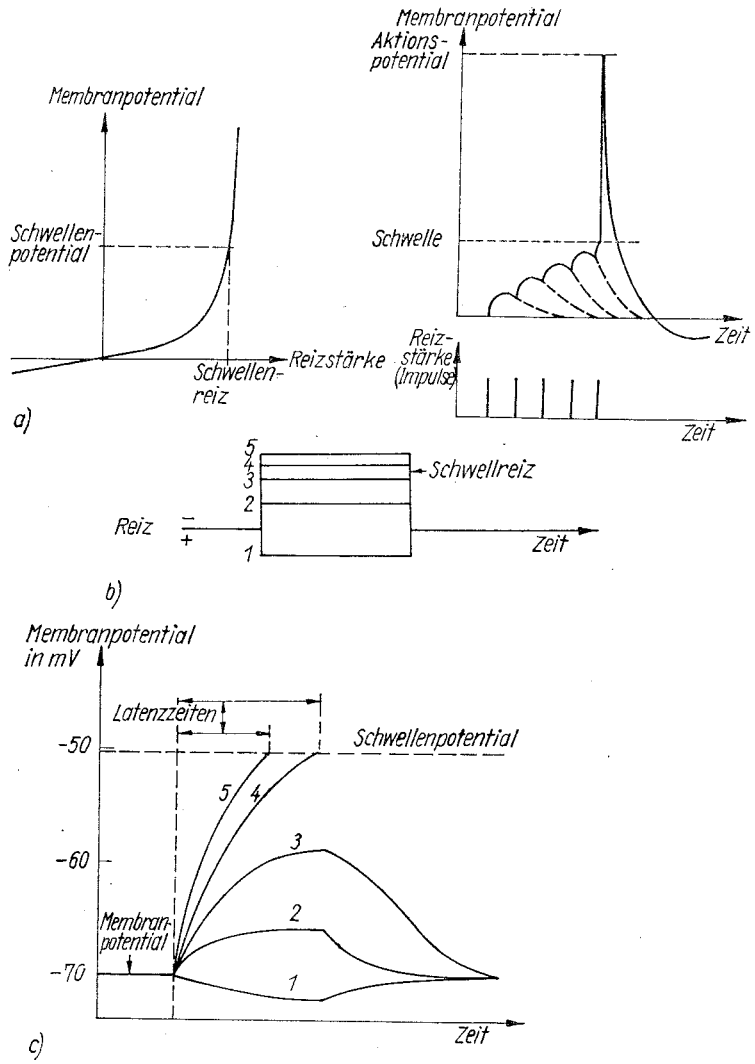


Abb. 3.7 Zusammenhänge zwischen Reizstromstärken und Potentialänderungen bei einer Nervenzelle [L10; N18; S20]
a) quasistatische Kennlinie für lang anhaltende Reize,
b) Reize unterschiedlicher Stärke von einer Länge im Millisekundenbereich,
c) zeitlicher Verlauf der Zellenpotentiale bei den Reizen gemäß Bild b,
d) zur Demonstration der Aufsummierung einzelner kurzer überschwelliger Reize.

einer *Schwellenreizstromstärke* an (ihr elektrisches Äquivalent heißt *Rheobase* und beträgt einige 10 μA/cm^2, am Ranvierknoten das 20-fache) erfolgt eine sprunghafte Änderung, der *instabile Erregungsumschlag*. Er ist mit zeitweiliger Depolarisation der Zelle verbunden. Es gibt auch „negative" Reize, die also die Polarisation der Zelle verstärken. Das gesamte Verhalten wird deutlicher im dynamischen Ablauf von Abb. 3.7 b und c sichtbar, wo eine Reizdauer um einige Millisekunden gewählt wird. Mit Beginn des Reizes ändert sich die Membranpermeabilität so, daß eine etwa exponentielle Änderung des Zellpotentials erfolgt (RC-Zeitkonstante). Sobald das Schwellpotential erreicht ist, ändern sich die Membraneigenschaften spontan. Die Verzögerungszeit zwischen dem Beginn eines überschwelligen Reizes bis zur Auslösung des Aktionspotentials heißt *Latenzzeit*.

Bereits aus Abb. 3.7 c ist die „integrierende" Funktion der Membran sichtbar. Sie wirkt aber auch bei mehreren kurzen und hinreichend dicht aufeinanderfolgenden Einzelreizen (s. Abb. 3.7 d).

Solange die Reize unterschwellig bleiben, pflanzt sich die Störung auf der Membranoberfläche gedämpft fort. Mit einer Konstanten λ, die bei Bruchteilen von Millimetern liegt, gilt dann für nicht erregte, um x entfernte Orte

$$\Delta U = \Delta U_0 \, e^{-x/\lambda} . \tag{11}$$

Diese Reizausbreitung heißt *elektrotonisch*.

Beim Schwellenwert ist die *Membranpermeabilität* so stark geändert, daß der dadurch erfolgende *Na^+-Ionen-Einstrom* größer als die Leitungsfähigkeit der *Aktivitäten der Membran* (Na-K-Pumpe) ist. Von hier ab wirkt der Na^+-*Ionen-Einstrom* selbst auf die Membranpermeabilität ein, und ihr Verhalten wird daher instabil. Die Permeabilität steigt sprunghaft auf das etwa 500-fache an und ist damit sogar 20mal größer als für K^+. Es gilt in diesem Moment das Verhältnis $P_K : P_{Na} : P_{Cl} = 1 : 20 : 0{,}45$. Dieser Zustand ist jedoch aus energetischen Gründen nicht lange aufrecht zu erhalten und klingt daher bald wieder ab. Zum *Potentialausgleich* fließt danach die gleiche Menge K^+-Ionen aus der Zelle heraus. Dies wird durch eine entsprechende Änderung der Permeabilität für K^+ unterstützt. Insgesamt ergibt sich so ein Verlauf, wie ihn Abb. 3.8 zeigt. Schließlich wird noch die Aktivität der Na-K-*Pumpe* auf das 6- bis

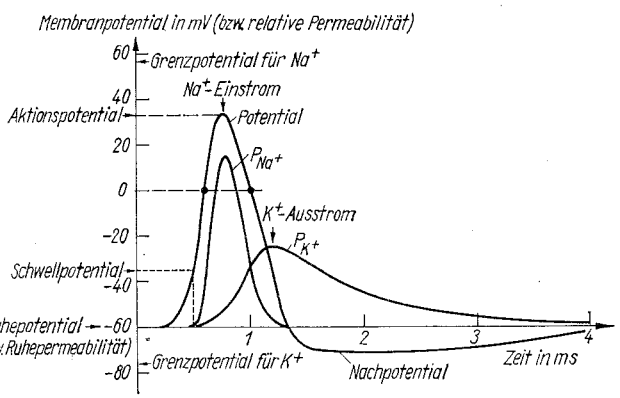


Abb. 3.8 Zusammenhang zwischen dem Änderungsverlauf der Membranpermeabilitäten und dem Potential der Zelle [L10; R19].

10-fache erhöht, so daß schnell wieder die ursprünglichen Verhältnisse hergestellt sind. Dennoch verbleibt zunächst bei den meisten Zellen ein stärker polarisiertes Nachpotential.

Bei *einer Entladung* (Spike, Erregungswelle, Impulsantwort) werden insgesamt etwa $4 \cdot 10^{-12}$ mol/cm² oder $2{,}5 \cdot 10^{12}$ Ionen je cm² ausgetauscht. Eine mittlere kugelförmige Zelle von 10 µm Durchmesser besitzt ein Volumen von rund $5 \cdot 10^2$ µm³ und eine

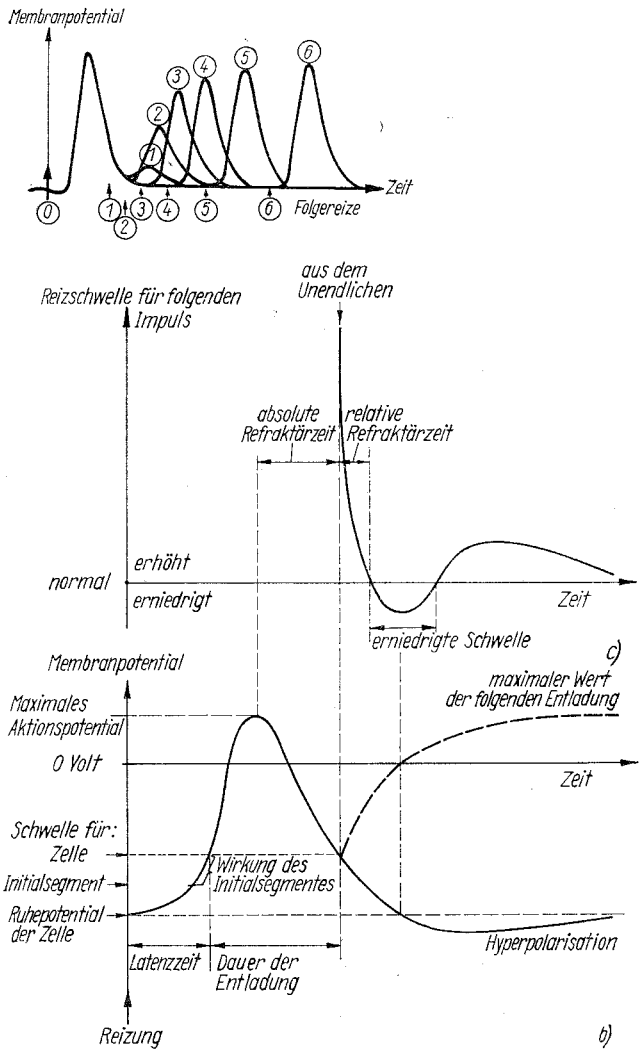


Abb. 3.9 Eigenschaften im Zusammenhang mit dem Aktionspotential [R19; S20]

a) Größe von Entladungen, die in unterschiedlichem Abstand von der ersten Entladung auslösbar sind,

b) Detaildaten zur Entladung und der Hüllkurve für das Maximum der Folgeentladungen,

c) Änderung der Schwelle für die Folgereize.

Oberfläche von etwa $3 \cdot 10^2\ \mu m^2$. Durch die gesamte Oberfläche werden also $1{,}5 \cdot 10^{-17}$ mol oder absolut rund 10^7 Ionen ein- bzw. ausströmen. Da die Zelle etwa $8 \cdot 10^{-14}$ mol oder $1{,}5 \cdot 10^{10}$ Na^+-Ionen besitzt, ist dies etwa nur der 10^{-3}-te Teil. Beim Riesenaxon des Tintenfisches mit etwa 1 mm Durchmesser ist es sogar nur der 10^{-6}-te Teil, während für dünne Axone von 0,5 µm Durchmesser gerade die 1%-Grenze erreicht wird.

Weitere Details zum Verhalten der Zelle zeigt Abb. 3.9. Darin sind verschiedene Kenngrößen definiert. Unter anderem ist ersichtlich, daß für das *Initialsegment* (Ursprungskegel des Axons) die Schwelle niedriger liegt und ein nachfolgender Reiz erst nach der *absoluten Refraktärzeit* wirksam wird. Ferner verändert die Schwelle nach einem Spike zeitweilig ihren Wert. Ebenso ist erst nach dem Abklingen der Hyperpolarisation der volle Aktionsimpuls zu erreichen.

Bei einigen Membranen übernimmt weitgehend Ca^{++} die Rolle des Na^+. Beispiele hierfür sind die Muskelfasern einiger Krebse und die Nervenzellen mancher Schnecken. Bei verschiedenen Pflanzenzellen treten ein Cl^--Austritt und Ca^{++}-Eintritt auf.

Die verschiedenen Teilzeiten für die einzelnen Zellen beim Aktionspotential sind z. T. recht unterschiedlich. Beispiele hierzu zeigen Tab. 3.5 und Abb. 3.10.

Tabelle 3.5 Typische Zeiten für Neuronen, Nervenfasern und Muskel in ms [L10; R19; S20]

Substrat	Latenzzeit	Aktionspotential	minimal möglicher Reizabstand	Nachpotential	
				negativ	positiv
Nervenfasern					
A — Fasern	0,2	0,2	1 ... 2	12 ... 20	40 ... 130
B — Fasern	0,2 ... 0,5	1,2 ... 2	>2		100 ... 300
C — Fasern	>2,5	>2,0	>7	50 ... 80	300 ... 2000
Riesenaxon					
Tintenfisch	2	1,5	3,5		
Mittleres Neuron	1	1	2		
Elektroplax					
Zitteraal	0,5	4	5		
Skelettmuskel					
Säugetier	2	5	7		
Skelettmuskel					
Frosch 6 °C	3	7	10		
Herzmuskel Hund	100	300	400		

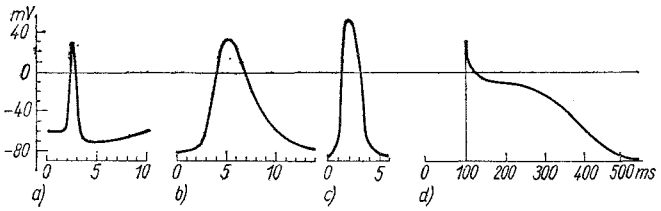


Abb. 3.10 Beispiele unterschiedlicher Impulsformen der Entladung [B13; L10; S20]
a) Riesenaxon des Tintenfisches Sepia,
b) Skelettmuskelfaser des Frosches bei 6 °C,
c) Elektroplax des Zitteraals,
d) Purkinje-Faser des Hundeherzens. Hier liegt ein vergrößerter Zeitmaßstab vor.

Mit Abb. 3.11 wird die *gerichtete Reizfortleitung in einem Axon* erklärt. Die in Abb. 3.9 gezeigten Kurven für das Aktionspotential und die Schwelle gelten hier örtlich und sind entsprechend eingezeichnet. Lediglich der untere linke Kurvenverlauf bedarf noch einer Erklärung:

In der Anstiegsphase der Erregung strömt Na^+ in das Zellinnere ein. Dadurch wird die elektrische Polarisation der Membran verändert. Das Na^+ breitet sich im Zellinnern nach allen Richtungen aus, also auch nach links im Bild zu den noch nicht erregten Stellen. Hier kompensiert es einen Teil der negativen Ladungen auf der Membran und senkt so die Schwelle.

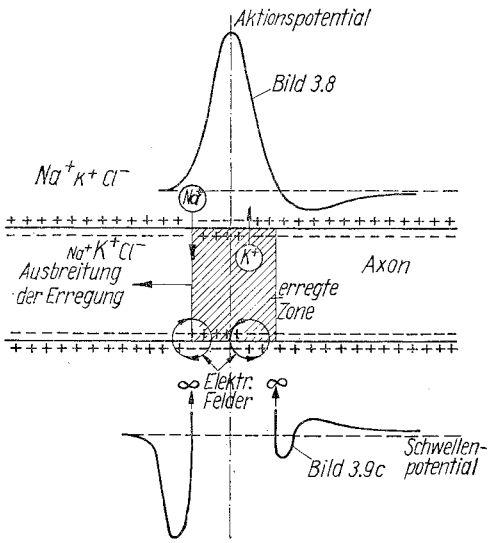


Abb. 3.11 Zur Erklärung der einseitigen (nach links gerichteten) Ausbildung eines Nervenimpulses im Axon. In Wirklichkeit ist die erregte Zone stets lang gegenüber dem Durchmesser des Axons. Sie liegt im Bereich von Zentimetern.

Das am Ende der Erregungsphase ausströmende K^+ erhöht in analoger Weise die Schwelle an den Stellen, an denen die Erregung abklingt. Die Erregungswelle kann sich also nur in einer Richtung ausbreiten. Da sie im *physiologischen Fall* immer, wie noch zu behandeln ist, von der Zelle ausgeht, entsteht die *Richtung Zelle — Synapse*. Lediglich bei unphysiologischer Erregung, z. B. in Nervmitte, breitet sich je eine Welle nach jeder Seite aus. Auf Grund dieses Prinzips kann auch eine Welle nicht reflektiert werden. Bedeutsam ist weiter, daß diese Reizfortleitung ohne jede Dämpfung mit konstanter Amplitude erfolgt. Wenn von der relativ unbedeutenden tektonischen Leitung abgesehen wird, gilt also für Nervenzellen und Axons das *Alles-oder-nichts-Gesetz*. Die Energie für diese Fortleitung wird von den K-Na-Pumpen aufgebracht.

Eine gewisse Abwandlung dieses eben geschilderten Prinzips liegt bei den *Nerven mit Markscheide* vor. Die Markscheide verhindert faktisch das Ein- und Ausströmen von Ionen. Dies kann nur an den Ranvier-Knoten erfolgen. Die Erregungswelle springt bei diesen Nerven also von Knoten zu Knoten (Abb. 3.12). Deshalb wird hier von *saltatorischer Leitung* gesprochen. Dieses Prinzip hat vor allem zwei Vorteile. Es wird

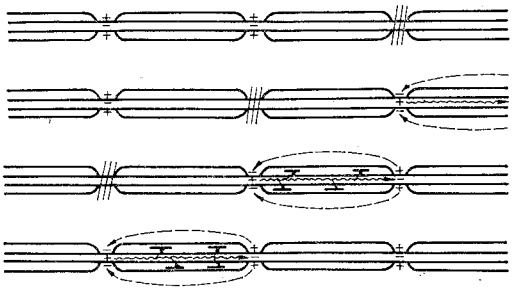


Abb. 3.12 Schematisches Prinzip der saltatorischen Nervenleitung. Die Erregungswelle wandert sprunghaft von rechts nach links. Die drei senkrechten Striche sollen andeuten, daß infolge der Vorgeschichte (K^+-Ausstrom) keine Erregung dieses Knotens möglich ist. Die anderen Pfeile deuten die Ionenströme und elektrischen Felder an [L10; S20].

weniger Energie verbraucht, und die Geschwindigkeit der Welle ist erheblich größer, denn die rein elektrische Leitungsgeschwindigkeit beträgt im Axon etwa $2 \cdot 10^7$ m/s. Für das saltatorische Prinzip genügt es, wenn am nächsten Ranvier-Knoten noch $^1/_5$ der Impulsstärke des eigenen Aktionspotentials ankommt. Auch hierdurch ist der Abstand zwischen Ranvier-Knoten begrenzt. Andererseits können von einer schwannschen Zelle bis zu 50 Markscheidenabschnitte an verschiedenen Axonen gebildet werden.

Die gesamte *Myelinmenge* im Zentralnervensystem des Menschen wird auf ca 150 g geschätzt. Bei der multiplen Sklerose werden die Myelinscheiden zerstört.

In Abb. 3.13 und Tab. 3.6 sind die *Leitungsgeschwindigkeiten* einiger Nervenfasern zusammengestellt. Sie liegen im Bereich von 0,5 bis 120 m/s, wobei die hohen Ge-

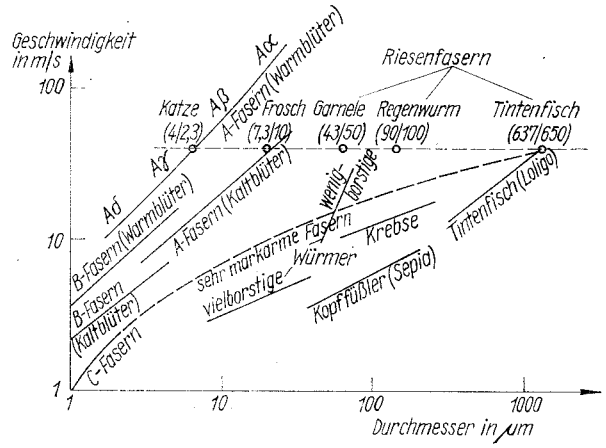


Abb. 3.13 Zusammenstellung einiger Leitungsgeschwindigkeiten von Nervenfasern als Funktion ihrer Dicke. Für eine Geschwindigkeit um 30 m/s wird der Einfluß vom Verhältnis Axondurchmesser zu Faserdurchmesser für ausgewählte Fasern dargestellt [B13; B29; K18; L10; N18; R19; S20; V5].

Tabelle 3.6 Einteilung und Eigenschaften von Nervenfasern bei Wirbeltieren [B20; R19; N13; N18]

Typ	Mark-scheide	Durch-messer in µm	Leitungsgeschwindigkeit in m/s		Beispiele des Vorkommens
			Kalt-blüter 20 °C	Warm-blüter 37 °C	
A (I)	+++	10 ... 20	20 ... 40	60 ... 120	efferente und afferente Fasern zur Muskulatur
A (II)	++	6,5 ... 15	15 ... 30	40 ... 90	Tastrezeptoren der Haut Muskelspindelefferenz
A (III)	++	4 ... 7,5	8 ... 15	30 ... 45	intrafusale Muskelfasern tiefe Schmerzrezeptoren
A (III)	++	2,5 ... 4,5	5 ... 9	15 ... 25	Thermo- und Schmerzrezeptoren der Haut
B	+	1 ... 3	2 ... 6	3 ... 15	präganglionäre vegetative Nervenfasern
C (IV)	–	0,5 ... 2	0,3 ... 2	0,5 ... 3	postganglionäre vegetative Nervenfasern und tiefe Schmerzfasern

Tabelle 3.7 Ungefähre Daten eines myelierten Froschnervs

Axondurchmesser r_i	7 µm
Myelindicke b	2 µm
Länge des Internodiums c	2 mm
aktive Fläche des Ranvier-Knotens	$2{,}2 \cdot 10^{-7}$ cm²
spezifischer Widerstand des Axons R_l	140 MΩ/cm
Längskapazität infolge der Myelinschicht	15 pF/cm
Kapazität des Ranvier-Knotens	1 pF
Membranwiderstand des Ranvier-Knotens	60 MΩ
Fortleitungsgeschwindigkeit	25 m/s

schwindigkeiten nur von markreichen Fasern erreicht werden. Auch die Nervenfasern sind durch *elektrische Ersatzschaltbilder* (u. a. Ketten bzw. Wellenleiter) darstellbar (Daten s. Tab. 3.7).

3.5. Synaptischer Komplex

Der synaptische Komplex besteht aus drei Hauptteilen, die zu zwei Zellen gehören:
Präsynapse: Verdicktes Ende des Axons, der ersten Zelle des Neurons, welches auf die zweite Zelle der Erfolgszelle, z. B. ein anderes Neuron (Dendrit bzw. Zellkörper), eine Muskel- oder Drüsenzelle (evtl. auch Sinneszelle), einwirkt. Andere Bezeichnungen sind: 1. Synapsenpol, terminaler Bereich oder Bouton.
Synaptischer Spalt (Cleft): Er ist 20 ... 30 nm weit und trennt beide Zellen, läßt aber den Erregungsfluß passieren.

Postsynapse: Es ist jener Teil der Erfolgszelle, welcher der Präsynapse gegenübersteht und für die Erregungsübertragung zweckmäßig gestaltet ist. Er heißt daher auch effektorischer Bereich oder 2. Synapsenpol.

Die *Synapse* ist damit eine *funktionelle Einheit*, die zwei Zellen bezüglich der Erregungsübertragung koppelt. In der Praxis werden vor allem zwei Synapsentypen unterschieden: *elektrische* und *chemische* Synapsen.

Die *elektrischen Synapsen* besitzen vor allem bei niederen Tieren Bedeutung und dann, wenn eine sehr schnelle unverzögerte Weiterleitung notwendig ist. Ihr Spalt

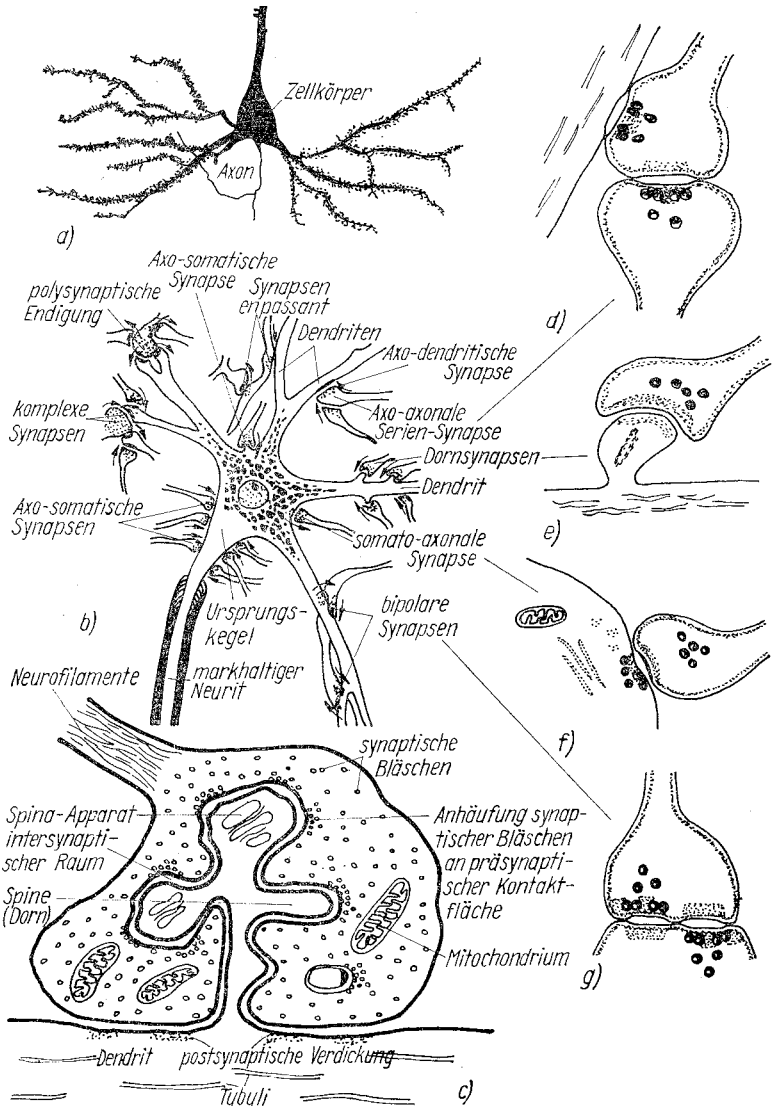


Abb. 3.14

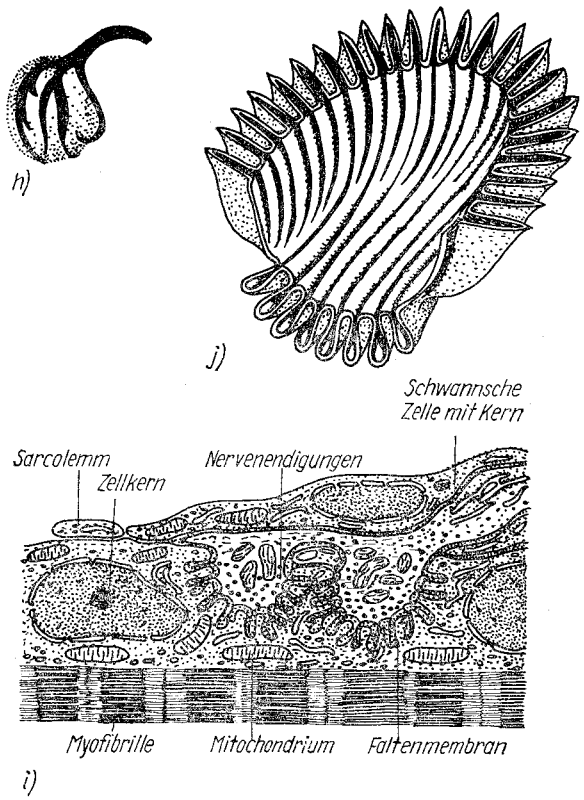


Abb. 3.14 Beispiele zur Vielfalt der Synapsengestalt [A4; E1; E4; F2; G8; H14; S5; S52; W10]

a) unterer Teil einer Pyramidenzelle. An den seitlichen Dendriten sind deutlich viele Dornen (Spines) zu erkennen. Jeder Dorn entspricht einer Synapse gemäß Teilbild e,
b) schematische Darstellung einer motorischen Vorderhornzelle. Die Pfeile geben die Übertragungsrichtung an (die bipolaren Synapsen existieren hier nicht, wurden also nur der Vollständigkeit halber ergänzt),
c) komplex umwachsener Dorn,
d) Serien-Synapsen. Die untere Synapse wirkt meist hemmend auf die obere ein, die direkt zur eigentlichen Erfolgszelle wirkt,
e) normale Form eines Spine-Apparats. Seine Größe liegt im Cortex bei 0,3 bis 3 μm Länge, 0,5 μm Stieldicke und 1 μm Köpfchendurchmesser,
f) somato-axonale Synapse, die als Ausnahme von der „Erfolgszelle" zum „Axon" leitet,
g) bipolare Synapse mit Anteilen zur Leitung in beiden Richtungen,
h) Heldscher Endkelch, wie er u. a. bei Fischen und Vögeln vorkommt,
i) Aufbau einer motorischen Endplatte, die als „Riesensynapse" für Muskelzellen aufzufassen ist,
j) herausgezeichnete Faltenmembran der motorischen Endplatte.

beträgt nur 2 ... 3 nm. Sie übertragen Erregungen in beiden Richtungen. Auf ihre Beschreibung sei hier verzichtet.

Bei den *chemischen Synapsen* werden oft Typ Gray I und Gray II unterschieden. Die entsprechenden Details sind hier unwesentlich. Deshalb wird im folgenden das

Grundprinzip der chemischen *Synapse* besprochen. Ihr Aussehen ist bereits auf Abb. 3.3 im Prinzip zu erkennen. Ihre *morphologische Vielfalt* ist aber ähnlich groß wie die der Neuronen selbst, wobei meist an einem Neuron viele Arten zugleich vorkommen. Eine gewisse Übersicht zu möglichen chemischen Synapsen zeigt Abb. 3.14. Dort sind in der Legende auch weitere Erklärungen enthalten.

Die chemischen Synapsen kommen in etwa gleicher Gestalt bereits bei Tintenfischen und Schnecken vor. Selbst Spines sollen im Ameisengehirn existieren.

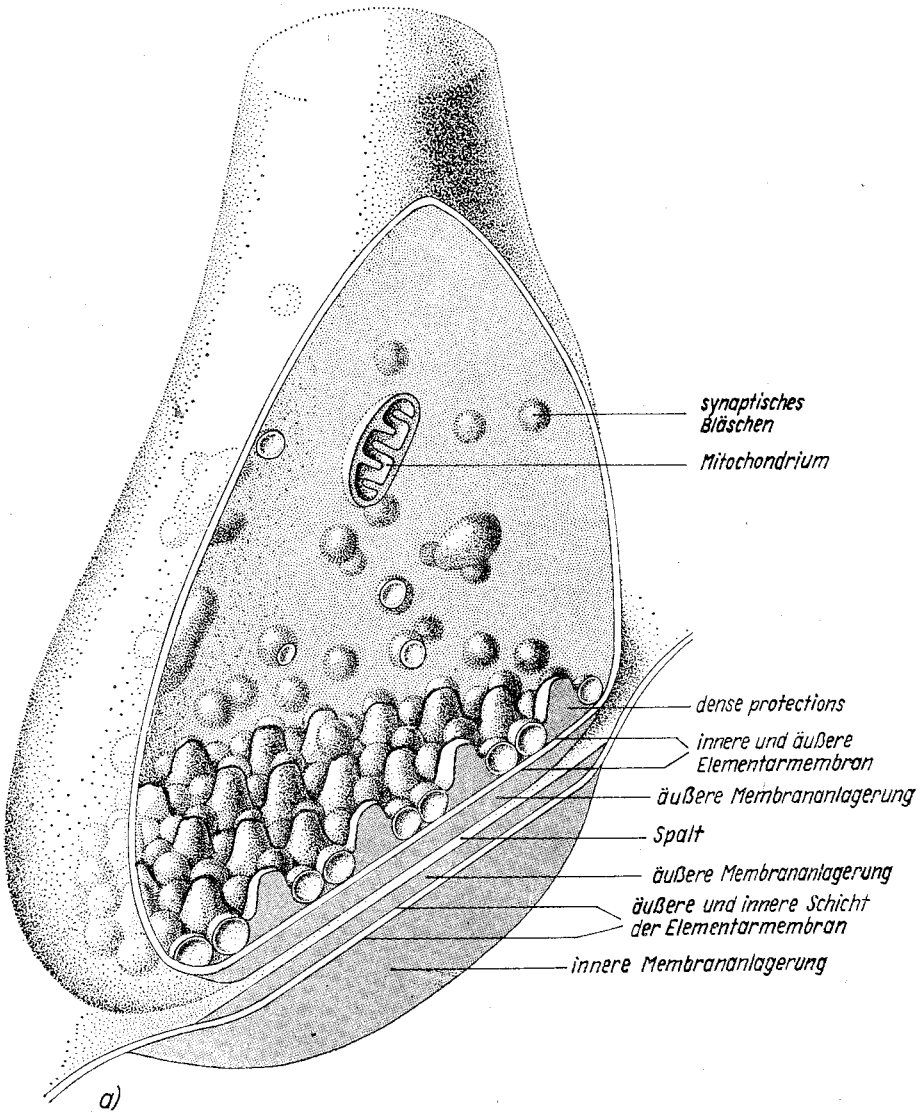


Abb. 3.15

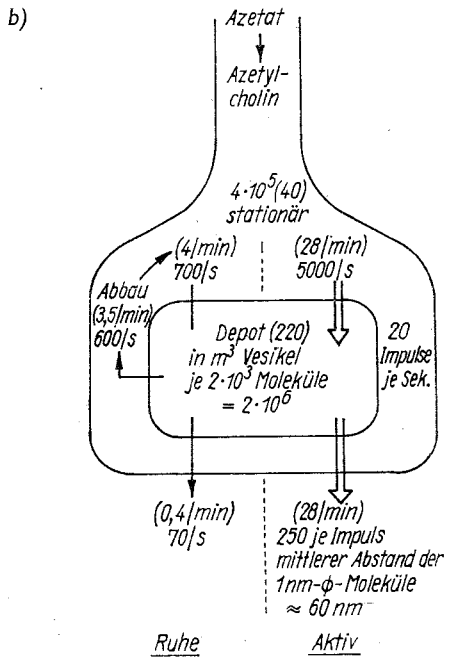


Abb. 3.15 Prinzipieller Aufbau (a) und Transmitterbestände sowie -flüsse der Synapse (b). Die Zahlenwerte in Klammern beziehen sich auf Literaturangaben in ng bzw. pg. Die anderen Zahlen sind vom Autor auf Moleküle umgerechnete Werte [A4; B13; E1; E7; F3; G8; S5; S23; V4; W10; W11; W16; Z2].

An ein Neuron im Gehirn greifen in etwa 10^3 bis 10^4 Synapsen an. Besonders bei Motorneuronen und Purkinje-Zellen des Kleingehirns kommen durchaus mehrere zehntausend vor.

Die Spinedichte bei Pyramidenzellen des Endhirns liegt etwa zwischen 30 ... 150 Spines/100 μm.

Der Durchmesser einer normalen Synapse liegt bei 0,8 bis zu einigen wenigen Mikrometern. Lediglich die Muskelzelle besitzt eine spezielle, extrem große Synapse, die motorische Endplatte mit etwa 1 mm². In Ausnahmefällen gibt es aber auch in Gehirnen Riesensynapsen (wenn auch nicht von dieser Größe). Ein Beispiel ist der Heldsche Endkelch.

Am übersichtlichsten ist es für die weiteren Betrachtungen, sich in etwa auf eine *Dornensynapse* gemäß Abb. 3.14e zu beschränken. Sie wird entsprechend vergrößert in Abb. 3.15 gezeigt. An der Membran der Erfolgszelle können innere und äußere Anlagerungen unterschieden werden. Der *präsynaptische Teil* enthält außen übliche Anlagerungen. Die *inneren Anlagerungen bilden jedoch Hügel (dense projections) in hexagonaler Anordnung.* Die Erhöhungen haben Abstände von ca. 80 nm. Sie sind gerade so gestaltet, daß sich um jeden Hügel sechs *synaptische Bläschen* als hexagonale Rosette mit Seitenlängen von 45 ... 50 nm anlagern können. In der Präsynapse sind diese Bläschen in größerer Zahl (ca. 10^3) vorhanden. Sie enthalten mit relativ großer Gewißheit die noch zu behandelnden *Transmittersubstanzen.* Sie besitzen meist einen Durchmesser um 40 ... 50 nm. Es gibt aber auch größere, wahrscheinlich komplexer zusammengesetzte Bläschen bis ca. 150 nm. Als Transmittersubstanzen sind heute etwa 20 chemische Verbindungen bekannt. Einige ausgewählte sind in Tab. 3.8 zusammengestellt.

Noch immer wird das 1933 von F. DALE formulierte *Prinzip* für gültig gehalten, wonach ein Neuron an alle seinen Präsynapsen nur einen Transmitter abgeben kann. Er wird wahrscheinlich direkt oder in Vorstufen im Zellkörper synthetisiert. Andererseits sind heute von etwa der Hälfte der morphologisch darstellbaren Komplexe noch nicht die Transmitter bekannt. Selbst bei einer so gut erforschten Nervenbahn wie der Sehbahn ist z. Z. der Transmitter noch unbekannt.

Tabelle 3.8 Zusammenstellung einiger chemischer Neuro-Transmitter

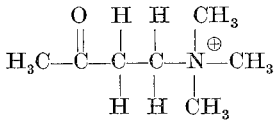
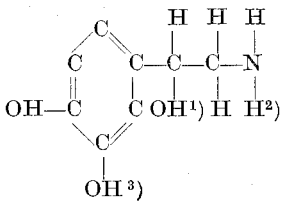
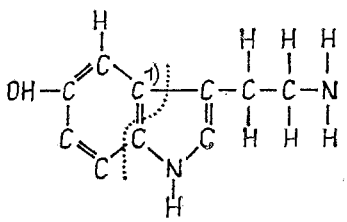
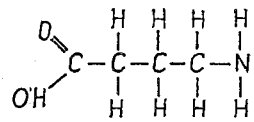
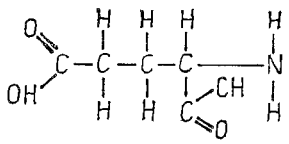
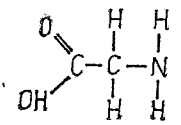
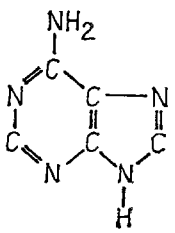
Substanzgruppe	Substanzbeispiele	Formel	Hauptsächliches Vorkommen u. Wirkung
Cholinester	Acetylcholin (Propionylcholin, Butyrylcholin)		überall im Tierreich, Motorneuronen, Renshaw-zellen motorische Endplatte, ZNS, erregend
Biogene Amine: Katecholamine	Noradrenalin		Ringelwürmer, Insekten, Wirbeltiere, ZNS, Nerven im Körper, sympathisches Nervensystem, erregend,
	Adrenalin	2) CH_3 für H	Amphibien, sympathisches Nervensystem, erregend oder hemmend.
	Dopamin	1) H für OH	viele Wirbellose Wirbeltiere, ZNS, erregend.
	Tyromin	1) H für OH und 3) H für OH	
Biogene Amine: Indolamine	Serotonin		viele Wirbellose, Wirbeltiere, ZNS, erregend.
	Histamin	1) statt Benzolring N für C	

Tabelle 3.8 (Fortsetzung)

Substanzgruppe	Substanzbeispiele	Formel	Hauptsächliches Vorkommen u. Wirkung
Aminosäuren	γ-Aminobuttersäure (GABA) (Asparaginsäure)		Wirbeltiere, bei Wirbellosen unsicher, ZNS, Purkinje-Zellen hemmend,
	Glutaminsäure		einige Wirbellose, Synapsen an Muskeln, erregend,
	Glycin		Säugetiere, Spinalganglien, hemmend.
Peptide	Neurohormone Releasing-Faktor Oxytocin (?) Angiotensin (?)		Wirbeltiere, bisher nur als Transmitter vermutet.
Nucleotide und Nucleoside	Adenosin		

Ein besonders *wichtiger Transmitter* ist das *Acetylcholin*. Ihn baut zugleich das wohl überhaupt wirksamste Enzym, die Acetylcholinesterase, ab. Von ihr werden je Minute $1{,}5 \cdot 10^6$ Acetylcholinmoleküle umgewandelt. Solche *Abbaumechanismen* sind für alle Transmitter bekannt. Sie sind notwendig, damit sich die synaptischen Übergänge nach der Reizung schnell wieder erholen und erneut wirksam werden können.

Für *Acetylcholin* gelten die Werte in Abb. 3.15b. Die Klammerwerte beziehen sich auf die Literatur und werden dort in ng bzw. pg ohne weiteren Bezug angegeben. (Sie gehen alle auf die Arbeit von BIRKS und MACINTOSH zurück.) Sie wurden unter folgenden Voraussetzungen auf die Molekülzahlen einer einzelnen mittleren Synapse umgerechnet. Sie soll etwa 10^3 Vesikel enthalten. In ihnen sollen nach der Literatur zwischen 300 und 45000 Moleküle vorhanden sein. Es werde ein Mittelwert von $2 \cdot 10^3$ gewählt. Je Synapse existiert damit ein Depot von $2 \cdot 10^6$ Moleküle, die den 220 (ng oder pg) entsprechen. Mit dem sich daraus ergebenden Umrechnungsfaktor wurden alle weiteren Zahlenwerte bestimmt. Schließlich wurde noch eine *mittlerere Aktivität* von 20 Impulsen je Sekunde gewählt, so daß dann auch die Moleküle je Impuls berechenbar waren. Die Werte erscheinen auf den ersten Blick sehr klein. Dennoch ist hier der Abstand der Moleküle, auf Synapsenfläche von etwa 1 μm^2 verteilt, mit ca. 60 nm recht klein. Weiter folgt eine andere Erkenntnis. Bei *nicht erregten Synapsen* werden *spontane Potentialschwankungen* um 0,4 ... 0,5 mV beobachtet. Sie wurden bisher als Hypothese für die Freisetzung des Transmitters aus Vesikeln angesehen. Nach dieser Betrachtung würden sie ziemlich gut einem Transmittermolekül entsprechen. Die 250 je Impuls würden dann nämlich zu den üblichen 100 mV Aktionspotential führen. Auch die Ergebnisse an der motorischen Endplatte stehen hiermit in brauchbarer Übereinstimmung. Bei ihr werden je Impuls etwa 10^{-18} bis 10^{-17} mol freigesetzt. Das sind rund $6 \cdot 10^5$ bis $6 \cdot 10^6$ Moleküle. Auf eine Fläche von 0,5 mm^2 bezogen ergibt sich etwa eine Moleküldichte, die rund $^1/_{10}$ des in Abb. 3.16 angegebenen Wertes entspricht. Bedeutsam ist an diesen Aussagen vielleicht noch, daß bei jedem Impuls nur ein Teil des Vesikelinhalts in den Spalt gelangt.

Für die Ausschüttung des Transmitters in den Spalt gibt es verschiedene *Hypothesen.* So sollen z. B. spezielle *kontraktile Fibrillen* (Neurostenine, ähnlich dem Actin-Myosin im Muskel) die synaptischen Bläschen beim Ankommen der Erregungswelle aufbrechen. Auch den einströmenden Na^+-Ionen wird oft eine ähnliche Wirkung zugesprochen.

Auch für die Wirkung der Transmitter auf die *postsynaptische Membran* gibt es verschiedene Vorstellungen. Sehr wahrscheinlich wird durch die erregenden Transmitter die Membran für die meisten Ionen permeabler, und zwar solange, bis die Schwelle erreicht wird und der Na^+-Einstrom erfolgt, ähnlich wie zuvor bei der Nervenleitung besprochen. Bei den *hemmenden Transmittern* werden dagegen der Cl^--Einstrom und K^+-Ausstrom verstärkt. Entsprechend den beiden Möglichkeiten: *Hemmung und Erregung* werden das IPSP (Inhibitorisches postsynaptisches Potential) und EPSP (Excitatorisches PSP) unterschieden. Sie treten beide bei unterschwelligen Reizen auf. Bei überschwelligen EPSP wird von AP (Aktionspotentialen) gesprochen, die wieder dem *Alles- oder Nichts-Gesetz* folgen (vgl. S. 73).

Für den *Transmitter* existieren auf der postsynaptischen Membran *Rezeptoren.* Für die motorische Endplatte werden ca. 10^7 angenommen. Mit ihnen verbindet sich der Transmitter und öffnet so direkt oder mittelbar Poren für den Ionen-Ein- bzw. Ausstrom. Bei der Hypothese mit der mittelbaren Porenöffnung wird oft ein *„second messanger"* (zweiter Wirkstoff) angenommen. Der Transmitter bindet sich an den Rezeptor, dadurch wird ein Enzym im Innern der Zelle aktiviert. Hierdurch wird cAMP synthetisiert. Dies lagert sich an einen inneren Rezeptor an. Dadurch wird ATP in ADP umgesetzt, und der freie Phosphatrest öffnet schließlich durch Verbindung mit einem weiteren Membranteil die Poren für die Ionen.

Auf der Basis des bisher Gesagten kann nun die *„integrierende" Wirkung* eines Neurons beschrieben werden. Auf ein Neuron wirken die verschiedenen EPSP und IPSP der einzelnen Synapsen, wobei einzelne Synapsen noch durch axonale Serien-synapsen gehemmt werden können. Die *Potentiale* breiten sich überwiegend *elek-*

trotonisch (s. Gl. 11, S. 70) über das gesamte Neuron aus. Sie überlagern sich dabei additiv an jedem Punkt der Oberfläche des Neurons. Wird an einer Stelle das *Schwellpotential* (vgl. z. B. Abb. 3.9b) erreicht, so wird an dieser Stelle eine aktive Erregung des Neurons bewirkt. Sie breitet sich aktiv nach dem Mechanismus von Abb. 3.11 in Millisekunden radial von diesem Punkt über das gesamte Neuron aus. Sie erreicht so auch den Ursprungskegel, um dann im Axon und den Kollateralen zu den Synapsen des erregten Neurons zu laufen und um dort auf die entsprechenden Erfolgszellen einzuwirken. In den meisten Fällen startet der soeben beschriebene Mechanismus jedoch am *Ursprungskegel*, da hier die Schwelle besonders niedrig ist.

Zuweilen sind die Summen der Erregung eines Neurons auch nach dem Abklingen eines Aktionspotentials noch überschwellig. Dann wird umgehend ein neues Aktionspotential ausgelöst. Das Neuron „feuert" dann *periodisch*. Seine Frequenz ist ein Maß für die Erregungs-„summe". Genauer wird auf diese Prozesse noch bei den Sinneszellen eingegangen.

Da in der *Präsynapse* ein beträchtlicher Energie- und Stoffverbrauch erfolgt, ist auch eine entsprechende Nachlieferung notwendig. Dies kann nicht der Diffusion über das lange Axon überlassen werden. Sie ist zu langsam. Bereits bei Millimeter-Entfernungen würden dazu schon Stunden bis Tage benötigt. Aus Untersuchungen folgt auch, daß nicht die in der Zelle neu synthetisierten Stoffe die älteren vor sich herschieben. Es liegt vielmehr ein *aktiver Transport* vor, der im Axon selbst bewirkt wird. Sehr wahrscheinlich besitzen die verschiedenen Stoffe *unterschiedliche Geschwindigkeiten*. Es ist üblich, einen langsamen und schnellen Axontransport zu unterscheiden. Der langsame Transport besitzt Geschwindigkeiten zwischen 1 und 10 Millimeter je Tag und macht 90% des gesamten Transports aus. Mit ihm werden vor allem Plasma, Proteine, Fette, Mitochrondrien, ER, Neurotubuli und Neurofilamente zum Axon bewegt. Der schnelle Axontransport besitzt dagegen Geschwindigkeiten von mehr als 10 cm/Tag bis zu maximal 10 m/Tag. Mit ihm werden u. a. Proteine, Lipide und vor allem niedermolekulare Metaboliten, aber auch Transmitterstoffe und deren Vorstufen bewegt. Im Axon werden u. a. nicht DNS und RNS sowie Ribosomen transportiert.

4. Nervensystem – Gehirn

4.1. Allgemeines

Spätestens seit der Arbeit von J. v. NEUMANN werden Nervenzellverschaltungen, also *Nervensysteme* und insbesondere Gehirne, immer wieder mit *technischen Automaten* verglichen. Dieser Vergleich ist jedoch recht problematisch. Noch wissen wir zu wenig über die genaue Funktion der Nervenzellen und die Verschaltungen im Gehirn. Aber dies sind keineswegs die einzigen Gründe. Denn im Gegensatz zum technischen Automaten ist die „Verschaltung" unserer Nervenzellen nicht statisch gegeben, sondern ändert sich laufend infolge der neuen Reize und Erfahrungen (vgl. Abschn. 3.4.). Hinzu kommt, daß unser Gehirn hochgradig parallel arbeitet, während fast alle Automaten noch rein sequentiell operieren. Ferner sind die Gehirne aktiv tätig, indem sie Informationen aktiv aus der Umwelt aufnehmen und eine aktive Einflußnahme des Organismus auf die Umwelt steuern. Diese wenigen Beispiele sind keineswegs vollständig.

Die Schwierigkeit bei den Untersuchungen an Gehirnen folgt u. a. aus ihrer großen *Komplexität*. Die Tab. 4.1 gibt hierzu einen Überblick. Während in der Technik stets beim Entwurf vom Einfachen zum Komplexen vorangeschritten wird und so hierarchische gegliederte Schalt- und Funktionsbilder entstehen, muß bei den Gehirnen mit der ganzen Komplexität begonnen werden, um dabei schrittweise zu Detailbildern zu gelangen. Natürlich ging auch die Natur in der Evolution den Weg vom Einfachen zum Komplexen. Aber die rezenten Lebewesen haben diesen Weg nur teilweise konserviert. Fast immer enthalten sie bereits zusätzliche Spezialisierungen. Zu all diesen Fakten kommt noch hinzu, daß trotz aller technischen und methodischen Fortschritte der Neurowissenschaftler jeder Eingriff ziemlich global wirkt. Es gelingt noch nicht in ausreichendem Maße, an die Einzelprozesse heranzukommen. Erst durch die Kombination vieler Methoden und Ergebnisse können indirekt solche Ergebnisse erreicht werden.

Für die *quantitative Betrachtung* von Gehirnen ergeben sich zwei widersprüchliche Tendenzen, indem einmal ihre *Strukturvielfalt* und zum andern das zugehörige *Gedächtnis* betrachtet wird. Auf das Gedächtnis wird später im Kapitel 7 eingegangen. Hierbei ergibt sich eine *Kapazität* von 10^6 ... 10^8 bit für intellektuelle Leistungen (Vgl. [N15]). Sie wird bereits um Größenordnungen von technischen Speichern übertroffen. Für die *Komplexität* des Gehirns liegen die *Verhältnisse* dagegen *genau umgekehrt*. Dies läßt sich daran demonstrieren, wenn z. B. ein Modell unseres Gehirns elektronisch aufgebaut werden sollte. Dabei werden vorausgesetzt, daß die genaue Schaltung bekannt sei, keine Probleme bei der Zulieferung von Bauelementen auftreten usw. Es wird einfach die Bauzeit für das Verschalten bestimmt. Dabei werden 10^{11} *Neuronen* mit im Mittel 10^3 *synaptischen Kontakten* vorausgesetzt. Je Lötstelle (Kontakt) werden nur 10 Sekunden angesetzt. Es müßten dann $3 \cdot 10^6$ Monteure 10 Jahre pausenlos Tag und Nacht arbeiten.

Tabelle 4.1 Zur Komplexität von Nervensystemen und einige Vergleichsdaten [B13; B17; D10; L11; W16; W20; Y1]

Tier	Neuronen	Synapsen je Neuron
Hohltier	ca. 10^2	sehr wenige
Fadenwurm (Ascaris)	162	
Plattwürmer	ca. 400	
Meeresschnecke Aplysia	ca. $5 \cdot 10^4$	ca. 50
Anneliden (z. B. Regenwurm)	ca. $5 \cdot 10^5$	
Insekten	ca. 10^5 ... 10^6	
(optische Ganglien ca. 30 ... 90%)		
Biene[1])	ca. 10^5	10 ... 100
Stubenfliege[2])	ca. 10^6	
Tintenfisch (Octopus)[3])	ca. 10^8	
davon optische Ganglien	ca. $6 \cdot 10^7$	
Eidechse: total	$1{,}7 \cdot 10^6$	
Archikortex	$7 \cdot 10^5$	
Zwischenhirn	$8 \cdot 10^4$	
Neokortex	$5 \cdot 10^4$	
Frösche und Kröten:		
total	4 ... $7 \cdot 10^6$	
Vorderhirn	2 ... $4 \cdot 10^6$	
Zwischenhirn	4 ... $9 \cdot 10^5$	
Mittelhirn	1,5 ... $2{,}5 \cdot 10^6$	
Rautenhirn	2 ... $3 \cdot 10^6$	
verlängertes Mark	5 ... $9 \cdot 10^5$	
Spitzmaus (Zwischenhirn)	$6 \cdot 10^5$	
Maulwurf (Zwischenhirn)	$1 \cdot 10^6$	
Igel (Zwischenhirn)	$1{,}2 \cdot 10^6$	
Maus:		
Großhirn	$3{,}6 \cdot 10^7$	
Mittelhirn	$1{,}5 \cdot 10^7$	
Zwischenhirn	$1{,}7 \cdot 10^7$	
Kleinhirn[4])	$4 \cdot 10^7$ ($3 \cdot 10^5$)	200 ... 10^4 [5])
Halbaffe (Tarsius) Großhirn	$3{,}8 \cdot 10^8$	
Meerkatze (Großhirn)	$2{,}5 \cdot 10^9$	
Schimpanse (Großhirn)	$5{,}5 \cdot 10^9$	
Wal, Delphin, Elefant:		
Großhirn	ca. 10^{10}	
Mensch:		
Großhirn	$1{,}5 \cdot 10^{10}$	10^3 ... 10^4 [6])
Kleinhirn[4])	ca. 10^{11} ($2 \cdot 10^7$)	10^4 ... $6 \cdot 10^4$ [5])
Hirnstamm	$2{,}5 \cdot 10^7$	
Zwischenhirn	ca. 10^6	
Rückenmark	$1{,}5 \cdot 10^7$	10^1 ... 10^4 [7])

[1]) Eine Literaturstelle nennt für Ameisen 250 und für Bienen 900 Neuronen. Diese kleinen Zahlen gelten vielleicht nur für den Pilzkörper (komplexester Teil des Gehirns).
[2]) Wert erscheint zu groß.
[3]) Noch stark in der Evolution.
[4]) Die Zahlenwerte betreffen die Körnerzellen. Sie sind bezüglich der Funktion extrem redundant. Hierfür sind die Purkinje-Zellen (Werte in Klammern) entscheidender.
[5]) Auf Purkinje-Zellen bezogen.
[6]) An einer Beetzschen Zelle bis zu $5 \cdot 10^4$ Synapsen.
[7]) An einem Motorneuron bis zu fast 10^5 Synapsen.

Tabelle 4.1 (Fortsetzung)

***Vergleichswerte*:**

Atome im Weltall	10^{80}	
Atome des Menschen	10^{28}	
Sterne im Weltall	10^{20}	
Körperzellen des Menschen	10^{14}	
Größter technischer Speicher (bit)	10^{13}	
Telefonnetz der Welt (Kontakte)	$5 \cdot 10^{10}$	Kontakte je Bauelement: 2 ... 20
Großrechner (aktive Bauelemente)	10^4 ... 10^6	fan out: 2 ... 50
Taschenrechner/Mikroprozessoren (Logische Bauelemente)	$3 \cdot 10^3$ ... $3 \cdot 10^4$	fan out: 2 ... 50

Um auf den modernen Stand der *Mikroelektronik* dasselbe Modell aufzubauen, sei angenommen, daß sich Schaltkreise der Komplexität 10^4 verwenden lassen. Auch sie mögen unverzögert zur Verfügung stehen, ebenso die Leiterplatten usw. Je Schaltkreis werde eine Einbauzeit einschließlich der entsprechenden Verdrahtungen der Leiterplatten von ca. 30 Sekunden gewählt. Selbst dann sind noch 10^4 Monteure 1 Jahr allein mit dem Zusammenbau beschäftigt. Allein die notwendige Siliziumoberfläche der Chips belegt dabei bereits mehr als einen km². Mit der notwendigen Redundanz (Wärme, Verdrahtung usw.) ergäbe sich ein Volumen von ca. $3 \cdot 10^5$ m³, also ein stattliches Hochhaus. Werden im Schaltplan je Kontakt 3×3 mm² angesetzt, so würde der gesamte Schaltplan eine Fläche von rund 10^4 km² benötigen. Dies entspricht der Insel Rügen.

Nach diesen Betrachtungen erhebt sich die Frage, wie die genetische Substanz der Zelle ein so komplexes Gebilde *determiniert*. Bei der Maus ist bekannt, daß rund $3 \cdot 10^5$ Nukleotidsequenzen, also mehr als 10% aller Sequenzen das Gehirn betreffen. Beim Menschen dürfte der relative Anteil noch höher liegen [L5]. Auf alle Fälle kann das *Gehirn* damit niemals vollständig, bestenfalls in wesentlichen *Grundprinzipien* bestimmt sein. Gerade diese Grundprinzipien gilt es zu erkennen. Hierzu macht BRAITENBERG [B21] einige Aussagen. Eine Vielfalt von Organen, z. B. Lunge, Leber usw., besteht aus einer Wiederholung von Teilstrukturen. Daher werden in Anatomiebüchern nur die Teilstrukturen und ihre Zusammensetzung beschrieben. Ähnlich dürfte die Steuerung der Genetik wirken. Er schätzt dementsprechend den *Inhalt eines Anatomielehrbuches* auf 10^6 bit, während der *Genetik* bis zu 10^{10} bit zur Verfügung stehen. Ein weiterer Teil dürfte für individuelle Besonderheiten, wie Knochenbau, Form der Nase, Haaransatz usw., benötigt werden. Für das Gehirn liegen ähnliche Abschätzungen nicht vor. Er meint aber, daß in der Zukunft für das Gehirn ein Lehrbuch von gleichem Umfang wie die Anatomielehrbücher notwendig sei. In jedem Fall besteht das *Gehirn aus einer Vielzahl strukturell und funktionell unterschiedlicher Teile*. Sie sind *z. T. genau* genetisch *determiniert*. Dies weist BRAITENBERG für das Insektenauge nach. Sie sind in anderen Fällen nur funktionell determiniert. Dies gilt für das noch zu besprechende Kleinhirn. Schließlich gibt es auch Gebiete, die erheblich durch Erfahrung (zumindest in Details) strukturiert werden. Hierzu ist nur der Grobaufbau, z. B. Zellart, Schichtung, Faserverlauf ganzer Bündel usw., genetisch festgelegt. Dies gilt für weite Gebiete des Großhirns. Es muß aber auch beachtet werden, daß der Anteil des genetisch Bestimmten und des Erworbenen im Verhalten, das vom gleichen Gehirn und z. T. auch von gleichen Teilgebieten gesteuert wird, recht unterschiedlich sein kann. Hierzu gibt Abb. 4.1 einen Überblick.

4.2. Evolution der Gehirne

Für die Entwicklung aller Gehirne gibt es einen fast einheitlichen Ablauf, der in Abb. 4.2 dargestellt ist. Er dürfte in nur wenig abgewandelter Weise bei den einzelnen Tiergruppen vollzogen sein. Die *rezenten Tiere* sind dabei *mit zusätzlichen Spezialisierungen* an verschiedenen Stellen des Schemas stehen geblieben. Lediglich in drei

Stämmen, bei den Glieder-, Weich- und Chordatieren wurde die höchste Stufe, insbesondere bei den *Insekten*, *Kopffüßlern* und *Säugetieren*, erreicht. Ein solches hochentwickeltes Nervensystem war nur bei entsprechender Differenzierung in den Stämmen möglich war. Hohe Differenzierung der Arten und hochkomplexes Nervensystem

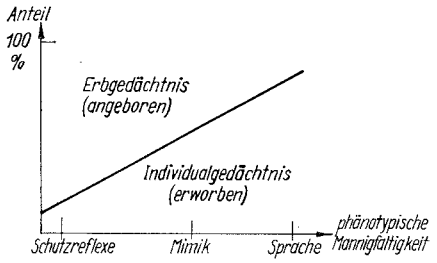


Abb. 4.1 Qualitativer Anteil vom Erb- und Individualgedächtnis bei verschiedenen Verhaltensweisen des Menschen [J2].

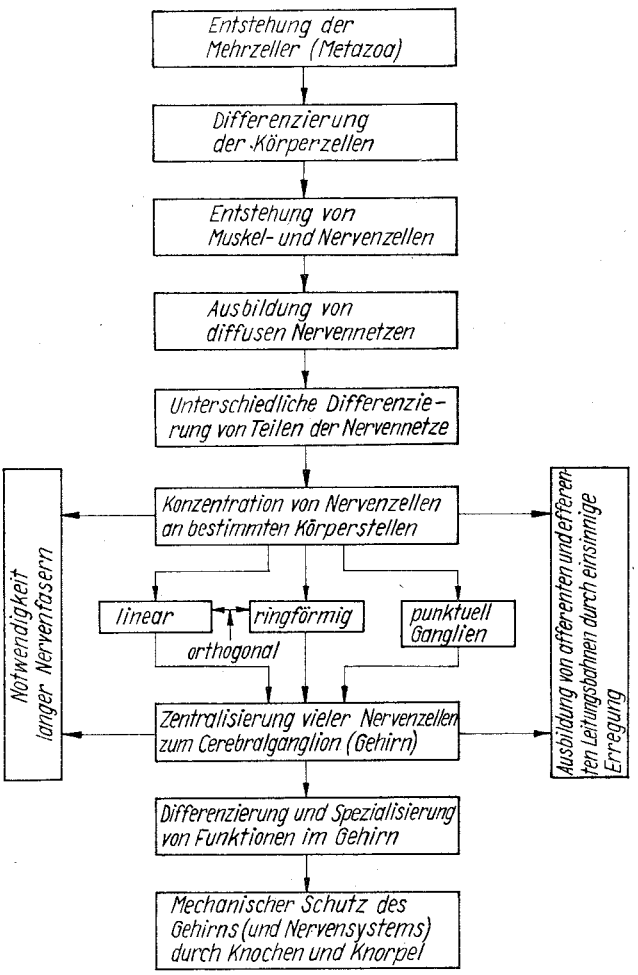


Abb. 4.2 Allgemeiner Entwicklungsweg bei Nervensystemen [B13].

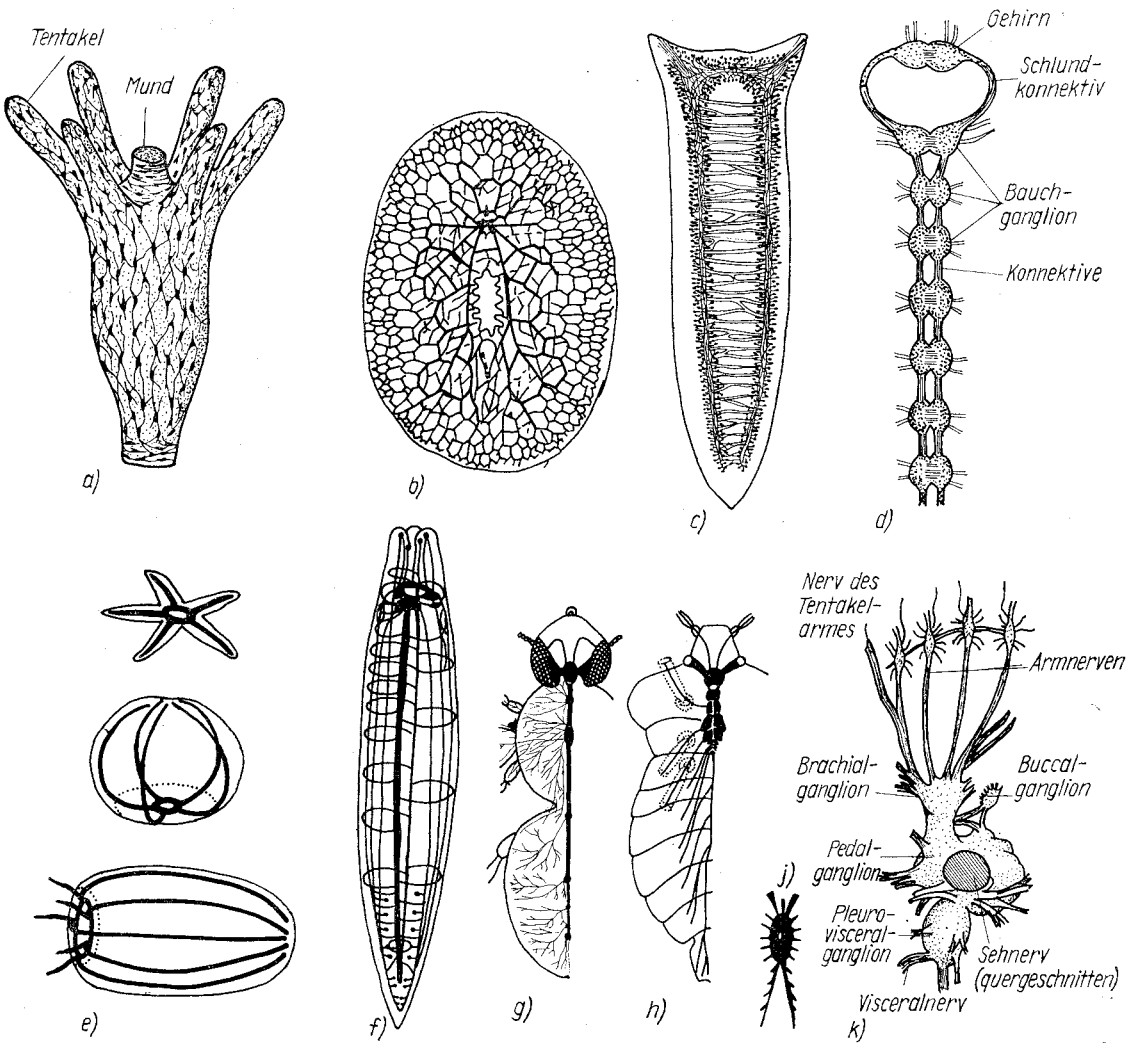


Abb. 4.3 Vergleichende Darstellung einiger Nervensysteme (außer Wirbeltiere), die besonders den Trend zur Höherentwicklung erkennen lassen [B13; E7; G8; K42; L3; R10; S7; W24]

a) diffuses Nervennetz des Polypen,
b) differenziertes Nervennetz eines Strudelwurms,
c) Nervensystem einer Planarie,
d) Strickleitersystem eines Ringelwurms,
e) Nervensystem von Stachelhäutern (untereinander Seestern, Seeigel, Seegurke)
f) Nervensystem eines Fadenwurms,
g) Honigbiene,
h) Schildwanze,
j) Ruderfußkrebs,
k) Kopffüßler.

bedingen sich also gegenseitig. An den Beispielen der Nervensysteme rezenter Tiere von Abb. 4.3 sei das Schema von Abb. 4.2 erklärt.

Mit dem *Mehrzeller* beginnt die *Differenzierung* der *einzelnen Körperzellen*. Dabei bilden sich u. a. erstmalig bei den *Hohltieren*, noch nicht bei den Schwämmen, auch *Muskel- und Nervenzellen* aus. Sie sind zunächst diffus und gleichmäßig über den ganzen Organismus verteilt. So entstehen diffuse *Nervennetze*, wie sie noch heute bei den Hohltieren (Abb. 4.3) im wesentlichen anzutreffen sind. Dieses System leitet gleichmäßig nach allen Seiten die Erregungen, so daß die stärkste Reaktion am Reizort entsteht. Insgesamt ist über die Verarbeitung in Nervennetzen noch wenig bekannt und das, obwohl sie an bestimmten Stellen auch bei höheren Lebewesen existieren, z. B. im Fuß der Schnecke oder im Darm und Herz von Wirbeltieren.

Bei solchen Nervennetzen existieren noch keine sensiblen oder motorischen Bahnen. Bei den rezenten Hohltieren ist dem diffusen Nervennetz aber bereits ein zweites schnelles Nervensystem mit speziellen Neuronen überlagert. Es leitet bestimmte Reize gezielt weiter. Dieses „durchleitende" System existiert z. B. bei Medusen zu den Schwimmmuskeln und bei den Tentakeln der Seeanemone.

Eine weitere Spezialisierung des Nervennetzes führt zu verschiedener Dichtigkeit an unterschiedlichen Körperstellen. Dies ist in Abb. 4.3b für einen Strudelwurm zu erkennen. Hieraus erfolgt dann der Übergang zur *Konzentration an bestimmten Körperstellen*. Sie kann linien-, ring- oder punktförmig erfolgen. Meist erfolgt sie in Kombination dieser Typen. Dies zeigt sich besonders deutlich bei den Stachelhäutern und Fadenwürmern (Abb. 4.3e und f). Hieraus wurde die *Theorie des Orthogons* bei Nervensystemen abgeleitet. Da viele Tiere *bilateral* sind, folgt das Nervensystem auch diesem Körperaufbau, und es entsteht das *Strickleitersystem*. Bei der Planarie (Abb. 4.3c) ist es gerade andeutungsweise ausgebildet und ermöglicht so, gut den Übergang vom Nervennetz zu verstehen. Beim Ringelwurm ist, es ähnlich wie bei vielen Insekten, recht deutlich ausgebildet. Insbesondere bei den Insekten erfolgt dann aber ständig eine weitere *Zentralisierung zum Gehirn*, wobei jeweils die ersten drei Ganglien zusammengefaßt und vergrößert werden (Abb. 4.3d). Außerdem schmelzen auch weitere Ganglien zusammen (Abb. 4.3g und h). Insbesondere bei den Krebsen entstehen so vielfach stark verdichtete Nervensysteme (Abb. 4.3j). Konzentrationen anderer Art erfolgen bei den Weichtieren. Ein Beispiel zeigen hierfür die besonders hochentwickelten Kopffüßler, Abb. 4.3k. Bei den *Wirbeltieren*, auf die später noch eingegangen wird, existiert *primär die Wirbelsäule* (Neuralrohr, Rückenmark) und an deren einem Ende (Kopf) entwickelt sich schrittweise durch Vergrößerung der Neuronenzahl und schrittweise Spezialisierung seiner Teilgebiete das *Gehirn*.

Bereits diese kurze Schilderung zeigt, daß die Entwicklung in allen Tierstämmen im Prinzip ähnlich verlief, aber dennoch jeweils spezifische Ausprägungen erfuhr. Deshalb werden Tiere auch nicht nach den Gehirnen, sondern nach anderen Merkmalen klassifiziert.

In Abb. 4.2 sind rechts und links herausgezogen zwei Konsequenzen der Konzentration von Nervensystemen herausgestellt, nämlich die Notwendigkeit der *langen Nervenfasern* und die *Ausbildung von afferenten und efferenten Leitungsbahnen*. Auf die funktionelle Differenzierung und Spezialisierung von Strukturen in den konzentrierten Gehirnen wird beim Säugetiergehirn eingegangen. Hier muß betont werden, daß auch zumindest in den höheren Insekten- und Weichtiergehirnen solche Spezialisierungen bestehen. Durch Reizung einzelner Gebiete läßt sich u. a. Singen von Grillen, Beißen

bei Schnecken und vieles andere definiert auslösen. Wahrscheinlich ist sogar, zumindest bei den Insekten, die spezialisierte Festlegung z. T. einzelner Neuronen weitaus definierter als bei den Weich- und Wirbeltieren, denn ihr Verhalten ist weitgehend genetisch determiniert. Der *mechanische Schutz* des Gehirns ist umso wichtiger, je mehr die Steuerung des Gehirns für den Organismus wirksam ist, denn Nervensubstanz kann nicht regeneriert werden.

4.3. Einteilung des Nervensystems der Wirbeltiere

Das *Nervensystem der Wirbeltiere* und des *Menschen* durchzieht *den ganzen Körper*. Von jeder Stelle gehen von mehr oder weniger dicht liegenden Sinneszellen afferente Nervenfasern aus, die zum zentralen Nervensystem (Rückenmark oder Gehirn) gelangen. Umgekehrt gehen vom zentralen Nervensystem efferente Nervenfasern zur Steuerung der Muskeln, Drüsen usw. aus. In diesem Sinne werden gemäß Abb. 4.4

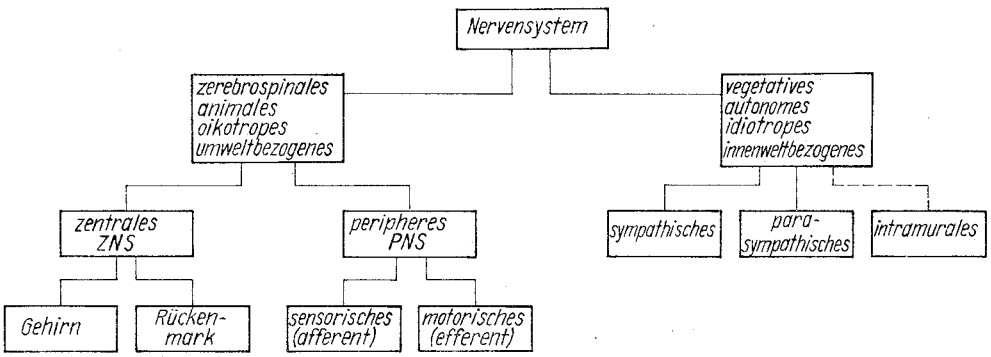


Abb. 4.4 Funktionelle Einteilung des Nervensystems beim Menschen und bei höheren Wirbeltieren [G19; V5; V16].

zentrales und peripheres Nervensystem (ZNS und PNS) unterschieden. Beide zusammen ergeben das umweltbezogene (zerebrospinale, animale oder oikotrope) *Nervensystem*. Daneben gibt es noch ein Nervensystem, das vor allem der Ernährung und Fortpflanzung, allgemeiner zur Koordinierung der körpereigenen Funktionen dient und daher *vegetatives* (innenweltbezogenes, autonomes, idiotropes) *Nervensystem* heißt (zuweilen auch Visceralgehirn genannt). Es besteht aus zwei antagonistisch arbeitenden Teilsystemen, dem *sympathischen* und dem *parasympatihischen System*. Beide sind eng mit den Gefühlen gekoppelt und wurden daher früher gemeinsam „mitleidendes" (sympathisches) System genannt. Beide Teilsysteme wirken, von wenigen Ausnahmen abgesehen, erregend bzw. hemmend auf alle inneren Organe ein. Dabei dient der *Sympathikus* vor allem zur Schaffung schnell verfügbarer Energie. Er hemmt folglich u. a. Verdauung, Fortpflanzung und negative Gefühle. Der *Parasympathikus* schafft vor allem potentielle Energie, indem er für den schnelleren Abbau der Nahrung sorgt. Er sorgt auch für innere Ruhe und Entspannung. Das vegetative System ist nicht vom Willen des Menschen abhängig. Es *arbeitet autonom*.

Es bestimmt dementsprechend auch nicht den Inhalt und die Form unseres Denkens, ist dafür aber bedeutsam für das Handeln, denn hierfür sind Entschluß- und Tatkraft notwendig. Die zentrale *Beeinflussung* des vegetativen Nervensystems erfolgt *vom Zwischenhirn* (Hypothalamus). Dort besteht auch über die *Hypotphyse* ein Zusammenhang mit dem *hormonellen System*. Die Hauptzentren befinden sich im Rückenmark. Von dort besteht Verbindung zu den rechts und links von der Wirbelsäule befindlichen *Grenzstränge* (s. Abb. 4.13b, S. 108). Sie bestehen aus Ganglien, die den einzelnen Wirbeln zugeordnet sind und so ein strickleiterähnliches Gebilde darstellen. Von hier werden die Organe durch efferente und afferente Fasern z. B. über zusätzliche Ganglien versorgt. Im Grenzstrang treffen beim Menschen etwa $0{,}5 \ldots 1{,}3 \cdot 10^4$ präganglionäre Fasern ein. Ihn verlassen $0{,}8 \ldots 1 \cdot 10^6$ postganglionäre Fasern.

Zum vegetativen Nervensystem werden oft auch die relativ selbständigen Nervengeflechte von Hohlorganen, wie Herz, Magen, Darm, Blase und Uterus, gezählt. Sie werden häufig unter dem Namen *intramurales Nervensystem* zusammengefaßt.

Die soeben geschilderte hohe Differenzierung des Nervensystems ist z. T. auch bei Gliederfüßlern und Weichtieren nachzuweisen, jedoch besteht dort das vegetative Nervensystem offensichtlich nicht aus zwei Antagonisten. Neben dieser Differenzierung liegt bei den Wirbeltieren noch eine hohe Differenzierung des ZNS vor. Auf sie soll im folgenden eingegangen werden. Dabei steht im Zentrum natürlich der Hauptteil, nämlich das Gehirn.

4.4. Maße der Entwicklungshöhe

Es ist eine alte und berechtigte Annahme, daß die Entwicklungshöhe der Lebewesen sich irgendwie durch das Gehirn widerspiegeln muß. Dabei zeigt sich aber sofort, daß nicht die Hirnmasse allein hierfür verantwortlich sein kann, denn die großen Tiere, wie Wal, Elefant und Delphin haben eine weitaus größere Masse als der Mensch (vgl. Tab. 4.2). Auch die sehr schwer abzuschätzenden Neuronenzahlen dürften nicht entscheidend sein, denn hier sind die quantitativen Unterschiede zu gering (vgl. Tab. 4.1). Unter der Annahme, daß ein der Körpermasse proportionaler Anteil des Gehirns für die Steuerung des Organismusses benötigt wird, wurde dann der *Quotient Körper- zu Hirnmasse* $K : H$ gebildet. Auch hierbei wird noch nicht die richtige Reihenfolge erhalten. Kleine und hochentwickelte Tiere, wie einige Vögel und die Maus schneiden zu günstig ab. Es zeigte sich, daß zumindest bei vielen Wirbeltieren der Zusammenhang

$$H \sim K^{3/4} \tag{1}$$

besteht. Dieser Wert erweist sich auch relativ günstig, wenn einige Zahlen der Evolution gemäß Abb. 4.5 herangezogen werden. Entsprechend dem Zusammenhang von Gl. (1) wurde der weiter verbesserte *Cephalisationskoeffizient* gemäß

$$C = \frac{H}{2{,}8 \cdot K^{0{,}56}} \tag{2}$$

Tabelle 4.2 Gehirndaten einiger ausgewählter Tiere [B13; B17; G8; H4; H14; J1; T4; N10]

Lebewesen	Körpermasse K in g	Hirnmasse H in g	Quotient K/H	Cephalisations-koeffizient C	Hirnmantel-index	kallosо-bullärer Index	Grauzell-index
Mensch	$7{,}5 \cdot 10^4$	$1{,}5 \cdot 10^3$	50	1	170	3,12	50
Delphin	$4{,}5 \cdot 10^5$	$2{,}5 \cdot 10^3$	150	0,61	120	0,93	
Rhesusaffe	$4 \cdot 10^3$	100	40	0,34			30
Elefant	$3 \cdot 10^6$	$4 \cdot 10^3$	750	0,34	104	1,11	
Schimpanse	$6{,}5 \cdot 1:^4$	$4{,}5 \cdot 10^2$	150	0,32	49	1,79	
Löwe	$1{,}5 \cdot 10^5$	$2{,}8 \cdot 10^2$	550	0,13	20	0,67	35
Nebelkrähe	450	7,9	60	0,09	15		
Sperling	15	1	15	0,08	9		
Rotkehlchen	12	0,72	17	0,06	8		
Amsel	85	1,9	45	0,06	5		
Stockente	1200	6,5	180	0,04	5,7		
Rebhuhn	350	2	170	0,03	3,0		
Känguruh	$2 \cdot 10^4$	40	500	0,06			20
Kaninchen	$2{,}2 \cdot 10^3$	10	220	0,05	5,1		15
Meerschweinchen	500	3,5	140	0,04	7		10
Weiße Maus	20	0,3	70	0,02	1,9		8
Spitzmaus (kleinstes Säugetiergehirn)	4,5	0,1	45	0,015	2		
Blauwal (größtes Säugetiergehirn)	$1{,}5 \cdot 10^8$	$7 \cdot 10^4$	$1{,}7 \cdot 10^4$	0,07			
Karpfen	2000	2	1000	0,01			
Krokodil	$1{,}5 \cdot 10^5$	15	10^4	0,007			
Eidechse	50	0,12	400	0,003			
Schildkröte	300	0,3	1000	0,004			
Viper	60	0,1	600	0,004			
Frosch	50	0,1	500	0,004			
Gecko	17	0,043	400	0,003			

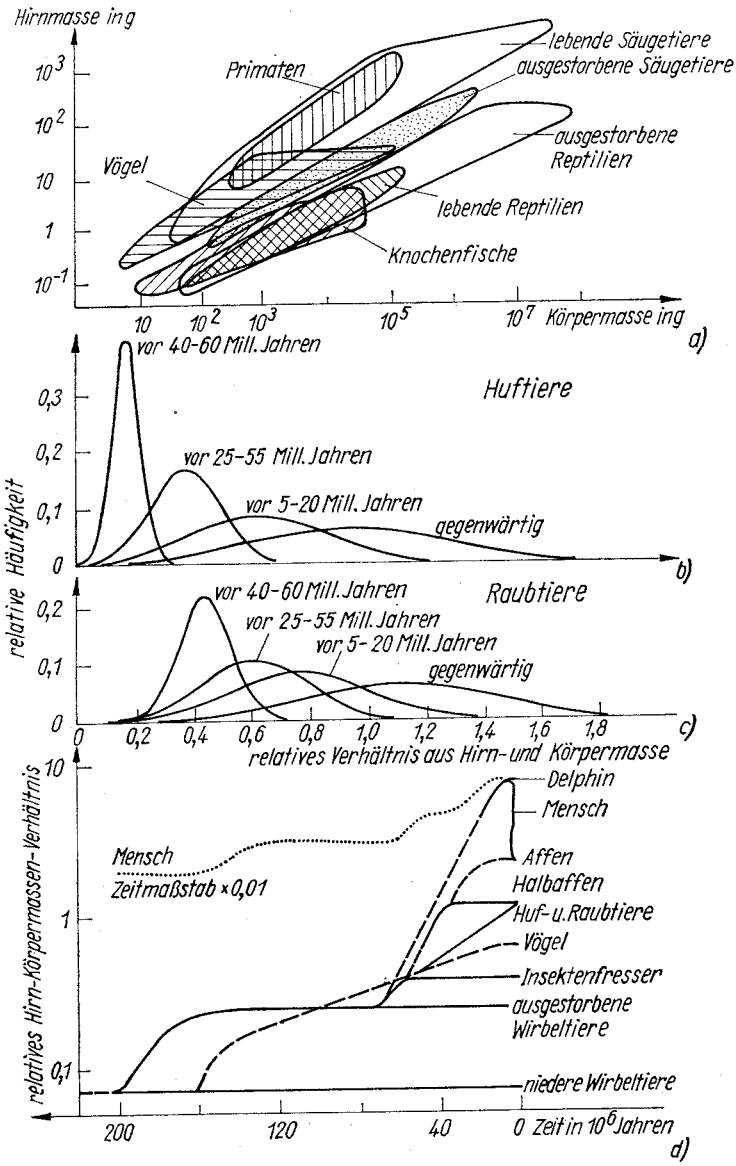


Abb. 4.5 Evolutionsdaten zum Verhältnis von Körper- zu Hirnmasse. Es sei ergänzt, daß das Neuron etwa 10^9 Jahre, die Hohltiere etwa $6 \cdot 10^8$, die Wirbeltiere (Fische), Insekten etwa $4 \cdot 10^8$, die Kriechtiere $3 \cdot 10^8$, die Säuger und Vögel etwa $2 \cdot 10^8$ Jahre alt sind, der Mensch ist dagegen nur rund 10^6 Jahre alt [J1; V5]

a) Diagramm für rezente und ausgestorbene Tiergruppen,
b) geschichtliche Entwicklung bei Huftieren,
c) bei Raubtieren, die Verteilung wird in beiden Fällen breiter und der wahrscheinlichste Wert verlagert sich zum größeren Verhältnis,
d) evolutionärer Verlauf für die Mittelwerte. Für den Menschen ist die Zeitskala noch zusätzlich einmal um den Faktor 100 gedehnt, punktiert gezeichnet.

gebildet. (Der Faktor 2,8 normiert C für den Menschen auf 1.) Auch mit ihm werden nur im wesentlichen richtige Werte erreicht. Weitere Ansätze dieser Art, wie z. B.

$$C_2 = \frac{1}{32}\frac{H^2}{K} \tag{3}$$

führen zu keinen wesentlich besseren Ansätzen. Es wurde deshalb die Oberfläche O des Gehirns, also die *Rindenmenge* (s. Abschn. 4.9) zum Vergleich heranzuziehen versucht. Sie ist aber bereits schwerer bestimmbar und ergab die Beziehung

$$O \sim K^{0,5}\,. \tag{4}$$

Selbst hiermit ließen sich keine wesentlich besseren Werte erreichen.

Ein weiterer Ansatz betrachtet das Verhältnis von Großhirn zu den anderen Hirnteilen. Er geht davon aus, daß die restlichen Teile der Grundausstattung des Lebewesens dienen. Dieser *Hirnmantelindex* scheint in etwa die richtigen Werte zu geben. Jedoch die Werte für Delphine und Schweinsaale liegen hier zu nahe bei denen des Menschen, während die Werte für die Schimpansen zu weit entfernt sind. Weiter sei noch erwähnt, daß auch der *Querschnitt des Balkens* (Verbindung beider Hirnhälften) *zum Querschnitt der Medulla oblongata* (Verbindung Gehirn — Rückenmark) ins Verhältnis gesetzt wurde und zum *kallusobulbären Index* führte. Hiervon stehen jedoch nur wenige Werte zur Verfügung. Schließlich sei noch der *Grau-Zell-Index* (Ecomono-Koeffizient) erwähnt. Er gibt das Verhältnis von Volumen der grauen Substanz (meist in der Rinde) zum Volumen der Zellkörper an. Er ist also so etwas wie ein Maß für die Verschaltungskomplexität der Neuronen. Leider ist er nur schwer zu bestimmen und von Rindengebiet zu Rindengebiet recht unterschiedlich. Für den Menschen werden Werte zwischen 10 und 80 angegeben. Einige Beispielwerte enthält ebenfalls Tab. 4.2.

Allen diesen und anderen Versuchen zur quantitativen Bestimmung der *Entwicklungshöhe des Wirbeltieres aus einfachen Gehirnwerten haften offensichlich Mängel an.* Es ist also ähnlich wie bei technischen Systemen. Die Leistungsfähigkeit ist nicht unmittelbar aus einfachen Werten, wie etwa Masse, Stromverbrauch oder Strukturkomponenten, zu bestimmen. Selbst Komplexität der Struktur und funktionelle Leistungsfähigkeit müssen nicht unmittelbar miteinander verkoppelt sein. Schließlich gibt es auch für die Kompliziertheit von Algorithmen noch kein Maß (vgl. [V15]). Für die Entwicklungshöhe durch das Gehirn müssen also mehrere Fakten berücksichtigt werden. Hierzu dürften u. a. gehören:

- Anzahl der Neuronen,
- Komplexität der Neuronenverschaltung (u.a. Synapsen je Neuron) und Komplexität der Rindenstrukturen,
- Organisation im Sinne von Arbeits-(Funktions-)teilung im Gehirn,
- Größe des zu versorgenden Körpers (z. B. Anzahl der Muskelfasern),
- Reichhaltigkeit und Spezifik der Sinnesorgane,
- Beweglichkeit und Bewegungsvielfalt des Organismus, z. B. Leben im Wasser, auf dem Lande oder in der Luft.

4.5. Evolution des Wirbeltiergehirns

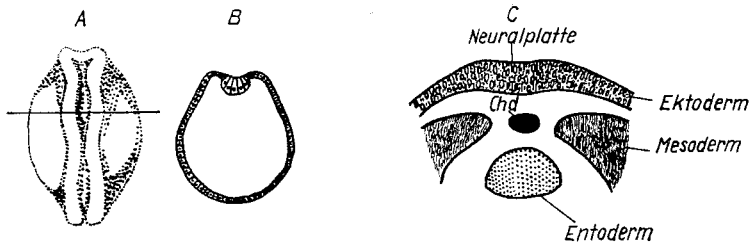
Das ZNS der Wirbeltiere ist sehr kompliziert. Seine Einteilung erfolgt sowohl nach morphologischen, evolutionsbedingten als auch vergleichend-anatomischen Merkmalen. Hierdurch existiert eine beträchtliche *Bezeichnungsvielfalt*. Sie wird von der anatomischen Seite noch dadurch erschwert, daß drei Nomenklaturen: die Baseler von 1895, die Jenenser von 1936 und die Pariser von 1955 z. T. nebeneinander und vermischt verwendet werden. Hier werden deshalb soweit wie möglich deutsche, also nicht die spezifischen Begriffe verwendet. Einen gewissen Überblick über die folgenden Betrachtungen gibt Tab. 4.3 S. 98 (leicht geändert nach STIEVE-KIRSCHE).

In Abb. 4.6 sind die ersten Phasen der ontogenetischen Gehirnentwicklung bei den Wirbeltieren angedeutet. Ursprünglich ist das Gehirn ein Riech- bzw. Geschmack-, also chemisch orientiertes Gehirn. Dies gilt auch für die Gehirne der meisten Nichtwirbeltiere. Erst später gewinnen allgemein die optischen und noch später (jedoch nur bei Insektn und Wirbeltieren) die akustischen Signale Bedeutung. Die *drei Sinne* sind primär den Gehirnteilen zugeordnet, die sich aus den *drei Gehirnbläschen* bilden. Die weitere Differenzierung entsprechend dem Fünfbläschenstadium ist durch die starke Umrandung in Abb. 4.6i angedeutet. In den Kästchen sind, soweit das in kurzer Form möglich ist, auch die wichtigsten Funktionen angedeutet. Ursprünglich ist das *Mittelhirn* führend. Mit der weiteren Entwicklung geht die Führungsfunktion schrittweise *zum Großhirn* und schließlich zur *Großhirnrinde* und von dort im wesentlichen zu den *Stirnlappen* über. Dem gesamten *Hirnstamm* verbleiben so immer mehr die Steuerfunktionen für die Körpererhaltung und der mehr oder weniger automatisierten Motorik. Das *Kleinhirn* ist dann für die Feinmotorik verantworlich.

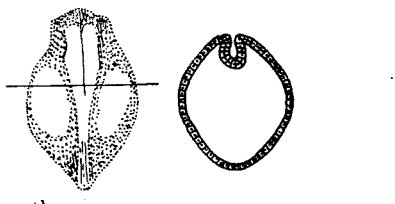
Morphologische Details zu o. g. Entwicklung zeigt Abb. 4.7. Dabei ist auffällig, daß die relative Größe und die Gestalt der fünf Hirnteile erheblichen Schwankungen unterliegen. Bei den Knochenfischen überwiegt noch das Mittelhirn. Von den Reptilien an ist dagegen das Endhirn am größten. Es überdeckt schließlich von den höheren Säugern an fast die gesamten anderen Gehirnteile. Hierdurch wird verständlich, daß diese dann als Hirnstamm zusammengefaßt werden. Lediglich das Kleinhirn ragt noch gut sichtbar hervor. Seine Größe wird generell von der Bewegungsvielfalt und -kompliziertheit der jeweiligen Art bestimmt. Es ist daher vor allem bei Raubfischen, Vögeln und vielen Säugern recht groß.

Abb. 4.7 zeigt auch, wie sich das Wirbeltiergehirn im Laufe der Evolution ständig weiterentwickelt und damit verändert hat. Die zunächst noch annähernd linear angeordneten Hirnteile (bis etwa zum Frosch) werden schrittweise vom Endhirn überwuchert und dabei gegeneinander geknickt. Ferner erfolgen zur Vergrößerung der wichtigsten Rindenflächen Faltungen. Sie treten zuerst beim Kleinhirn und dann beim Großhirn auf. Beim Kleinhirn verlaufen dabei die Falten aus noch zu erörternden Gründen (Abschn. 6.3.7.) ausschließlich wohlgeordnet quer. Beim Großhirn gibt es dagegen keine bevorzugten Richtungen. Von wenigen, genau definierten Falten (Furchen) abgesehen hat jedes Großhirn seine individuelle Faltenstruktur. Die Tendenz zu Faltungen ist als *„Oberflächennot"* des Gehirns erklärbar. Das Volumen eines Körpers wächst mit der dritten Potenz seiner Abmessungen, die Oberfläche dagegen nur mit der zweiten. Durch Knickungen und Furchungen läßt sich dies kompensieren, ja sogar überkompensieren.

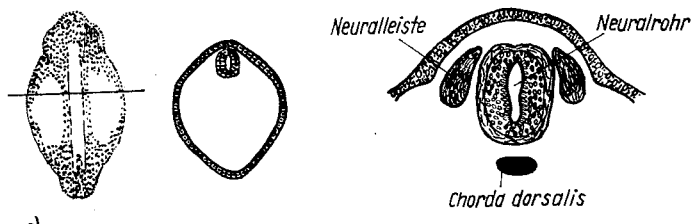
Die Mehrzahl der *Nerven des Gehirns* (Hirnnerven 5 bis 12) zweigen vom Nachhirn ab. Sie betreffen u. a. Kopf, Gesicht, Hals, einige Augenmuskeln, Schlund, Zunge,


A
B
C
Neuralplatte
Chd
Ektoderm
Mesoderm
Entoderm

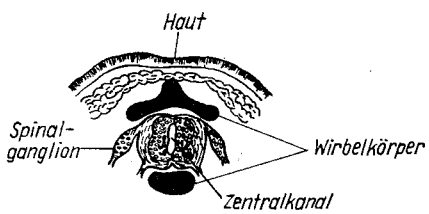
a)


Neuralgrube
Chorda dorsalis

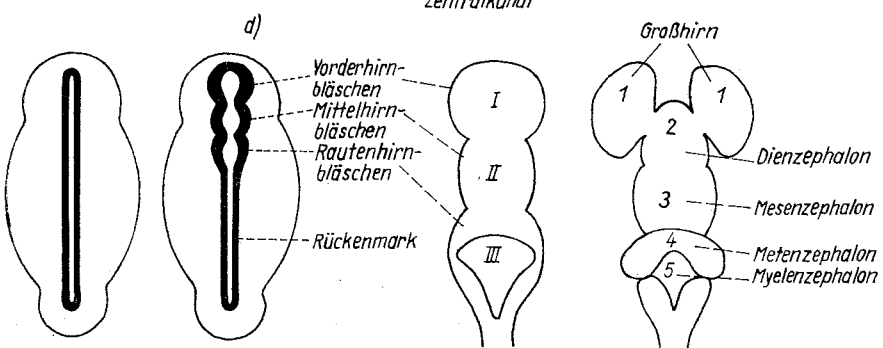
b)


Neuralleiste
Neuralrohr
Chorda dorsalis

c)


Haut
Spinal-
ganglion
Wirbelkörper
Zentralkanal

d)


Vorderhirn-
bläschen
Mittelhirn-
bläschen
Rautenhirn-
bläschen
Rückenmark
I
II
III
Großhirn
1
1
2
Dienzephalon
3
Mesenzephalon
4
Metenzephalon
5
Myelenzephalon

e) f) g) h)

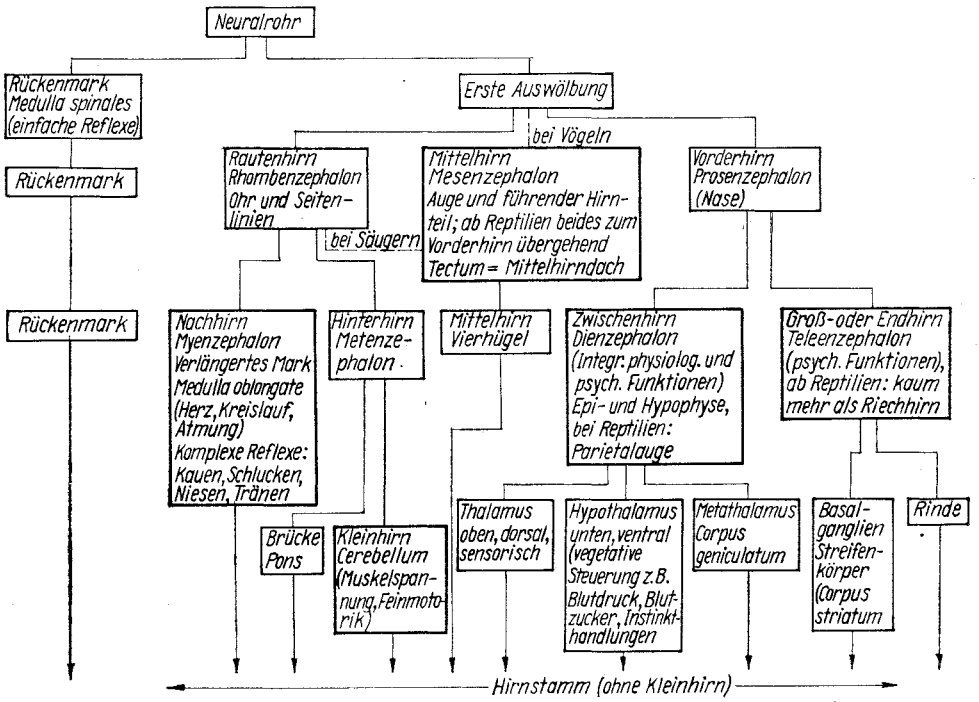


Abb. 4.6 Die ersten Stadien der Hirnentwicklung bei Wirbeltieren. (Für a bis c bedeuten die Reihen: A = Aufsicht, B = Schnitt und C = detaillierter Schnitt für höhere Wirbeltiere) [E1; S3; S5; S50; W10]

a) es verdichtet sich das Ektoderm (Anlage zur Haut) zur Neuralplatte, die sich rillenförmig einsenkt. Aus dem Mesoderm bildet sich dabei bereits die (Chd) Chorda dorsalis als Anlage für den späteren Wirbelkörper,
b) die Neuralplatte senkt sich weiter ab und wird zur Neuralgrube,
c) aus der Neuralgrube entstehen das Neuralrohr und die Neuralleiste. Beim Gehirnteil entstehen hier bereits zusätzliche Differenzierungen (e bis h),
d) Übergang zum endgültigen Aufbau des Rückenmarks,
e) vereinfachte Aufsicht auf das Neuralrohr in seinem ersten Stadium,
f) Ausbildung der Gehirnbläschen für das Vorder-, Mittel- und Rautenhirn,
g) verdeutlichter Ausschnitt des Hirnteils von Teilbild f. Diese Stufe tritt genau genommen nur bei Vögeln auf. Bei Säugern fehlt zumindest im Innern die Differenzierung zwischen den Bläschen II und III,
h) weitere Differenzierung zum Fünfbläschenstadium, das deutlich die fünf wichtigen Hirnabschnitte hervorhebt. Die beiden Hemisphären des Großhirns aber auch die des Kleinhirns (Metenzephalon) sind bereits hier zu erkennen,
i) Entwicklungsgang und Differenzierung des Gehirns höherer Säugetiere. Unterhalb des Kästchens sind die drei Abschnitte angeordnet, die dem Dreibläschenstadium entsprechen. Dick umrandet sind die Abschnitte, die dem Fünfbläschenstadium zugeordnet werden können.

Zähne, Kehlkopf, Speicheldrüse, Geschmack, Gehör, Gleichgewicht sowie das vegetative Nervensystem. Als Hauptausgang kann das Rückenmark aufgefaßt werden. Dennoch bestehen im Rückenmark vielfältige Verschaltungen über in ihm enthaltene

Tabelle 4.3 Gliederung des Gehirns nach entwicklungsgeschichtlichen und vergleichend-anatomischen Gesichtspunkten [S48; V16]

1) Teleencephalon (Endhirn)	Pars dorsalis	Archicortex	Gyrus Paraterminalis (G. subcallosus)	
			Area subcallosa (A. adolfactoria)	
			Induseum griseum	
			Gyrus fasciolaris	
			Gyrus dentatus	
			Hippocampus	
			Größter Teil des Gyrus parahippocampalis (G. hippocampi)	
			Gyrus cinguli	
		Basalganglion	Nc. caudatus	
			Putamen	
			Claustrum	
			Corpus amygdaloideum (Nc. amygdalae)	
	Pars ventralis	Palaeocortex (Cortex basalis)	Bulbus olfactorius	
			Tract. olfactorius, Trigonum olfactorium	
			Substantia perforata anterior (Area olfactoria)	
			Stria olfactorira lat.	
2) Diencephalon (Zwischenhirn)			Thalamus	
			Epithalamus	Corpus pineale
				Habenula
				Trigonum habenulae
				Nc. habenulae
				Commissura habenularum
			Metathalamus	Corpus geniculatum mediale et laterale
			Subthalamus	Globus pallidus = Pallidum
				Nc. subthalamicus (LUYSI)
			Hypothalamus	Nuclei hypothalamici, Infundibulum
			Corpus mamillare	
			Vesicula optica mit	
			Fasciculus (N.) opticus	
3) Mesencephalon (Mittelhirn)			Lamina tecti (quadrigemina)	
			Tegmentum	Pedunculus cerebri
			Crura cerebri	
4) Metencephalon (Hinterhirn)			Cerebellum; Pons	
5) Myelencephalon (Nachhirn)			Pons	
			Medulla oblongata	

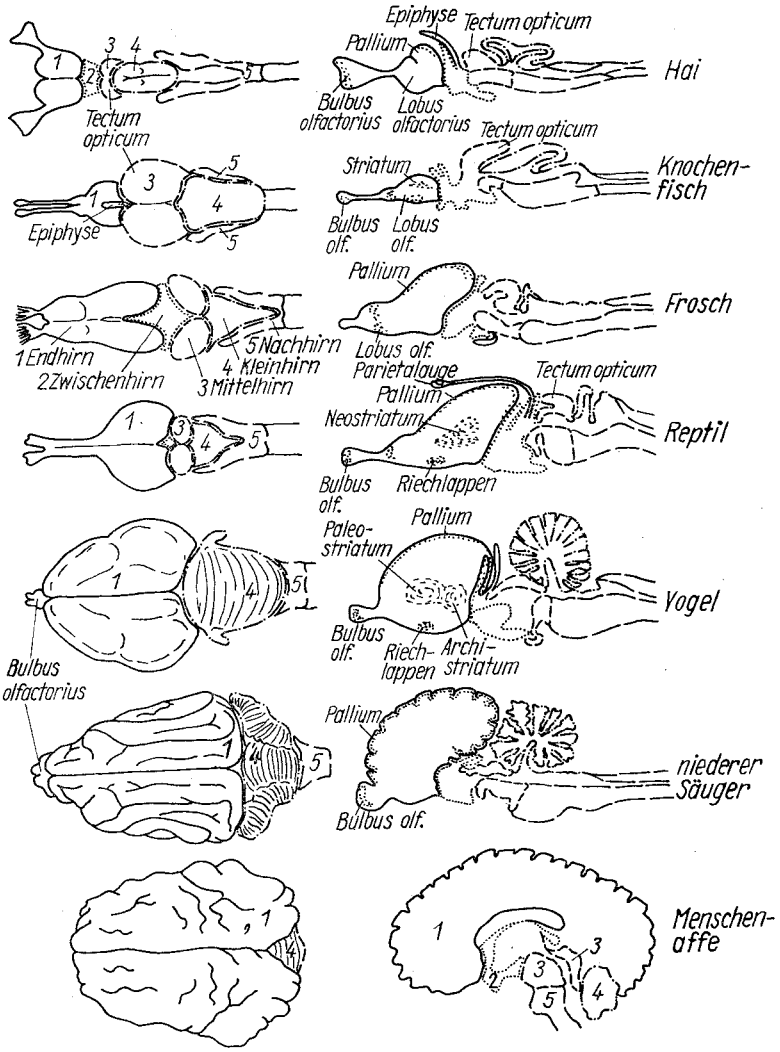


Abb. 4.7 Zur Entwicklung der Wirbeltiergehirne. Die Zahlen 1 bis 5 beziehen sich auf die 5 Gehirnteile (siehe beim Frosch). Die Gehirne sind alle etwa auf gleiche Größe umgezeichnet [C10; F2; G8; S3; S7; S50].

Neuronen. Vom Mittelhirn zweigen die Hirnnerven 3 und 4 ab. Sie versorgen die weiteren Augenmuskeln. Der Sehnerv entspringt dem Zwischenhirn und der Riechnerv dem Endhirn.

4.6. Gehirn des Menschen

Das menschliche Gehirn ist besonders komplex und am meisten gefurcht und gefaltet. Infolgedessen ist es in seiner vollständigen Struktur schwierig zu durchschauen. Hierzu sind räumliche Modelle oder eine Viehlzahl von Schnitten in verschiedenen

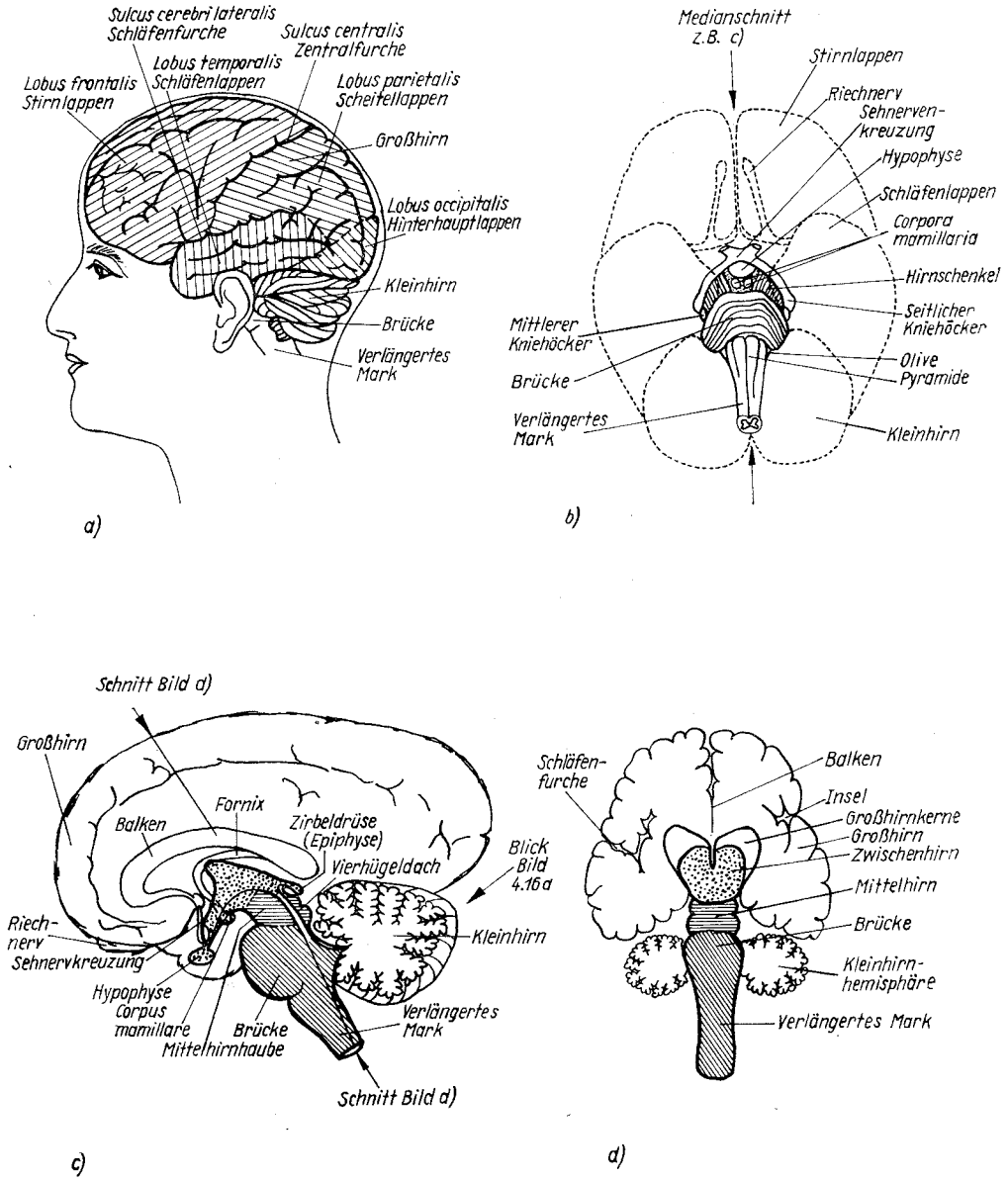


Abb. 4.8 Überblick zum Aufbau des menschlichen Gehirns [C10; F3; G19; L5; S7; S50; V16; W20]

a) Überblicksbild von der Seite mit Lappeneinteilung und Kontur des Kopfs,

b) Blick von unten auf das Gehirn mit Hervorhebung des Hirnstamms. Teile der Hirnschenkel und die Kniehöcker sind in Wirklichkeit durch die Schläfenlappen verdeckt,

c) Medianschnitt durch das Gehirn. Auch hier ist der Hirnstamm wieder hervorgehoben und wie folgt gekennzeichnet: gepunktet = Zwischen-; waagrechte Schraffur = Mittel- und schräge Schraffur Nachhirn (verlängertes Mark). Der Balken verbindet die beiden Großhirnhemisphären,

d) Schräger Längsschnitt, der die Ausdehnung des Hirnstamms deutlich macht.

Richtungen notwendig. Da hier aber ohnehin eine große Übersicht genügen muß, sei von den vier Teildarstellungen der Abb. 4.8 ausgegangen. Die Lage des Gehirns deutet Teilbild a an. Hier sind auch die *vier Lappen* (Seiten-, Schläfen, Scheitel und Hinterhaupt) durch unterschiedliche Schraffur angedeutet. Sie werden vor allem durch die *Zentralfurche* und die *Schläfenfurche* (Sylvische) getrennt. Lediglich für den Hinterhauptlappen liegt keine so deutlich trennende Furche vor. Die Schläfenfurche geht besonders weit in die Tiefe und läßt dort eine zusätzliche Oberfläche des Gehirns, die *Insel* (Abb. 4.8d), entstehen.

Der Blick von unten auf das Gehirn (Teilbild b) läßt vor allem das Kleinhirn und Teile des Mittel- und Zwischenhirns erkennen. Das *Zwischenhirn* ist der kleinste Hirnteil beim Menschen. Es wird erst bei Schnitten (Teilbild c und d) relativ deutlich. Um annähernd die auch beim Menschen innere Anordnung der Hirnabschnitte zu erkennen, muß ein spezieller geneigter Schnitt gemäß Teilbild d vorgenommen werden. Da das Rückenmark und Kleinhirn sowie die Rindenstruktur des Großhirns noch getrennt besprochen werden, genügt es hier, im weiteren zunächst auf den *Hirnstamm* einzugehen. Er wird räumlich betont und etwas vereinfacht in Abb. 4.9 dargestellt (s. a. Abb. 4.8). Die Bezeichnung wichtiger Strukturen faßt Tab. 4.4 zusammen. Auf einige Details des Hirnstammes wird beim Hören und Sehen zurückzukommen sein.

Das Nach- bzw. *Rautenhirn* geht fast kontinuierlich aus dem Rückenmark hervor. Hier beginnt die bis zum Zwischenhirn reichende *Formatio reticularis*, allgemeines retikulares aktivierendes System (ARAS) genannt. Es hat für viele zum Gehirn auf-

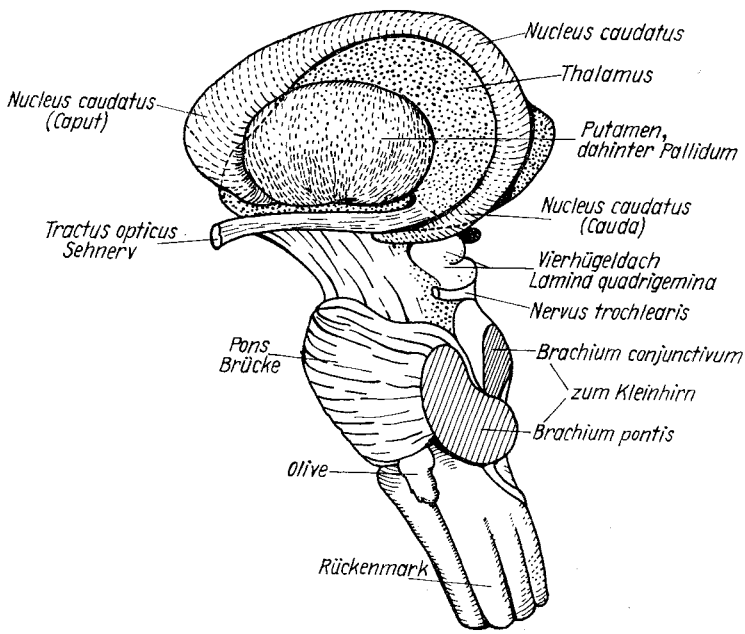


Abb. 4.9 Anschauliches (räumliches) Bild des Hirnstamms. Das Großhirn und Kleinhirn sind abgetragen. Es ist zu beachten, daß die Großhirnkerne: Nucleus caudatis und Putamen auch paarig sind [F3; S7].

Tabelle 4.4 Wichtige Strukturen des Hirnstammes [C9; G12; V5]

Basalganglien (Stammganglien, *Endhirn*kerne)

- Claustrum (Vormauer)
- Nucleus caudatus (Schweifkern) } Corpus Striatum
- Putomen (Kissen, Schale) } (Streifenkörper)
  + Globus pallidis } Nucleus lentiformis
  (Pallidum, blasse Kugel gehört Zwischenhirn) } (Linsenkern)
- ● Nucleus amygdalae (Mandelkern)

Zwischenhirn, hauptsächlich Thalamus (Sehhügel) mit folgenden Teilen:

- Hypothalamus mit
  - ● Corpus mallimare
  - ● Hypophyse
- Subthalamus mit:
  - ● Pallidum
- Metathalamus, bestehend aus:
  Corpus geniculatum mediale et laterale
  (mittlerer und seitlicher Kniehöcker)
- Epithalamus, bestehend aus:
  - ● Habenuale
  - ● Corpus pineale (Zirbeldrüse, Epiphyse)

Mittelhirn

- Lamina tecti (Tectum, Lamina quadrigemina, Vierhügelplatte)
- Tegmentum (Mittelhirnhaube)
- Crus cerebri (Großhirnschenkel)
- Colliculus superior et inferior
  (Vierhügelkerne: obere — Sehen, untere — Hören)
- Nucleus ruber (Roter Kern)

Rautenhirn (Nachhirn)

- Medulla oblongata (Verlängertes Mark)
  - ● Olive
  - ● Pyramide
- Pons (Brücke)

steigende und von dort kommende Erregungen eine integrierende Funktion. Im Gegensatz zu anderen Hirngebieten existieren hier relativ langsame Impulsfolgen von etwa 3 bis 5 je Sekunde. Es stimuliert aus den integrierten Erregungen die *Bewußtseinshelligkeit* (Aktivität) des Großhirns. Es wirkt wesentlich auf den *Wach- und Schlafrhythmus* ein und beeinflußt die Tonusverteilung der Muskeln. Zum Rautenhirn gehört auch die *Brücke* (Pons). Sie stellt die Verbindungen zum Kleinhirn her. Die Mehrzahl der Fasern zwischen Rückenmark und Gehirn durchqueren das Rautenhirn unbeeinflußt.

Das *Mittelhirn* ist bei den niederen Wirbeltieren am größten. Dort ist es zugleich der führende Teil. Beim Menschen (wie bei den höheren Wirbeltieren) ist diese Funktion zum Großhirn übergegangen. So stellt es beim Menschen den kleinsten Teil des Gehirns dar und besitzt die Funktion einer *allgemeinen Umschaltstelle*. Die in Tab. 4.4

gezeigte Strukturvielfalt zeigt seine dennoch große Bedeutung. So werden u. a. in der *Vierhügelplatte* die Eindrücke der Hör- und Sehnerven über verarbeitende Neuronen beeinflußt. Die Hirnschenkel stellen ein starkes Nervenfaserbündel dar, welches Groß- und Zwischenhirn mit dem Rautenhirn bzw. Rückenmark verbindet.

Das *Zwischenhirn* besteht aus den verschiedenen Teilen des *Thalamus*. Es ist ein recht alter Hirnteil. Mit Ausnahme des Sehens besitzt er keine direkten Ein- und Ausgänge von und zur Peripherie des Körpers. Er wird aber von allen Bahnen erheblich indirekt beeinflußt und wirkt auch so auf sie zurück. Eine große funktionelle Bedeutung erlangt er von den Säugern an. Im seitlichen Kniehöcker kreuzt dabei der Sehnerv. Generell ist der Thalamus die zentrale Umschaltstelle aller sensorischen Fasern. Er ist so etwas wie das „Vorzimmer" des Endhirns. CLARA drückt das so aus: „Im Zwischenhirn sitzt sozusagen der Spieler, der auf der Klaviatur der Großhirnrinde spielt". Hier wird entschieden, welche Erregungen weiter zum Endhirn gelangen. Dazu werden alle Reize irgendwie integrierend bewertet, und es existieren auch rückläufige Verbindungen zu den peripheren Erregungsstellen. Der Thalamus steht also auf indirekte Weise mit allen Außenreizen im ständigen Wechselspiel. So entsteht seine beherrschende Funktion, die zugleich seine strukturelle Komplexität bedingt. Es lassen sich dabei drei Arten von Verbindungen unterscheiden:

- *Punkt-für-Punkt-Verbindungen*, die mit genauen Orten bestimmter Gebiete der Peripherie mit bestimmten Punkten im Großhirn verbunden sind. Hierzu gehört z. B. die Sehbahn. So bewirkt ein Ausfall einiger Thalamusgebiete einen scheinbar blinden Fleck auf der Retina.
- *Projektionsverbindungen* mit bereits im Thalamus relativ unscharfer Abbildung peripherer Gebiete,
- *Assoziationsverbindungen*, die völlig diffuse Beziehungen zum Endhirn (z. B. Stirnlappen), aber keine zu untergeordneten Hirngebieten besitzen.

Der *Hypothalamus* gilt schließlich als *Ursprungsort aller Emotionen*. Natürlich wirken dabei vielfältige Erregungen anderer Gebiete, auch des Großhirns mit. Durch elektrisches Erregen des Hypothalamus kann Lust und Unlust erzeugt werden. Auch komplexes, emotional betontes Verhalten, wie Futtersuche, Hunger, Durst, Aggression, Erbrechen, Niesen, Sexualverhalten sind auslösbar. Zum Hypothalamus gehört auch die *Hypophyse*, die zentrale Steuerstelle des Hormonsystems.

Die *Basalganglien* besitzen für die *motorische Bewegung* eine zentrale Bedeutung. Sie gehören zum *extrapyramidalen System* (s. Rückenmark). Hier wird offensichtlich der Bewegungsablauf in der „persönlichen Note" festgelegt, der dann lediglich vom Endhirn ausgelöst wird. Aber auch alle *Ausdrucksbewegungen*, wie das Mienen- und Gestenspiel, werden von hier bestimmt. Eine Zerstörung des Streifenkörpers führt u. a. zu einer Bewegungswut (Veitstanz) oder zur Parkinsonschen Schüttelkrankheit.

4.7. Einfache Neuronenschaltungen, Reflexe, Rückenmark, motorische Bahnen

Einfache Neuronenschaltungen

In Kapitel 3 wurde das Neuron behandelt, im bisherigen Teil die Grobstruktur der Gehirne. Jetzt kommt es darauf an, die Verbindung beider Beschreibungsniveaus zu erreichen. Dazu seien zunächst einzelne Neuronenverschaltungen, die in Abb. 4.10

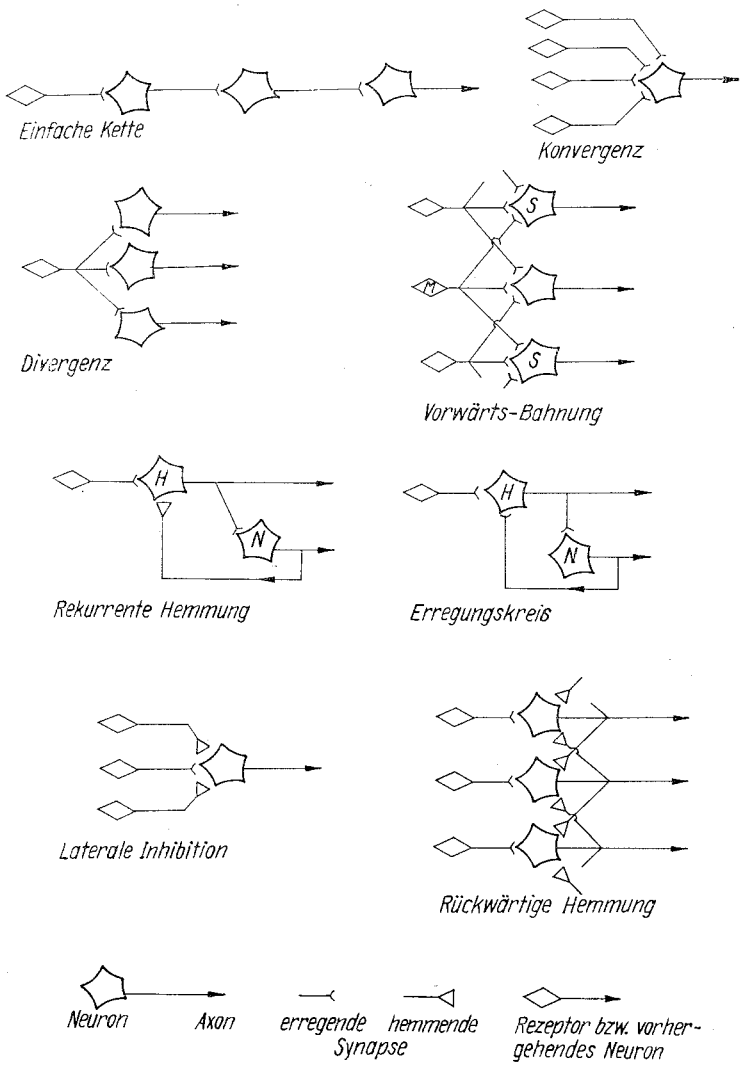


Abb. 4.10 Beispiele für einfaches Zusammenwirken von Neuronen [R10].

gezeigten Grundschaltungen, beschrieben. In der Wirklichkeit kommen sie jedoch nie allein vor, sondern nur in Kombination miteinander.

Bei der *einfachen Kette* durchläuft die Erregung die Neuronen nacheinander. An jedem Neutron wird sie dabei um die jeweils typische und z. T. von der Reizintensität abhängige Zeit verzögert.

Bei der *Konvergenz* wirken mehrere Neuronen gemeinsam auf ein Neuron ein. Je nach der Schwelle dieses Neurons und der Wirksamkeit der einzelnen Synapsen entsteht ein Aktionspotential erst dann, wenn gleichzeitig mehrere Reize eintreffen.

Bei der *Divergenz* wirkt ein Neuron über Kollateralen auf mehrere ein. Je nach ihrer sonstigen Erregung können sie alle die Erregung des einen Neurons weiterleiten.

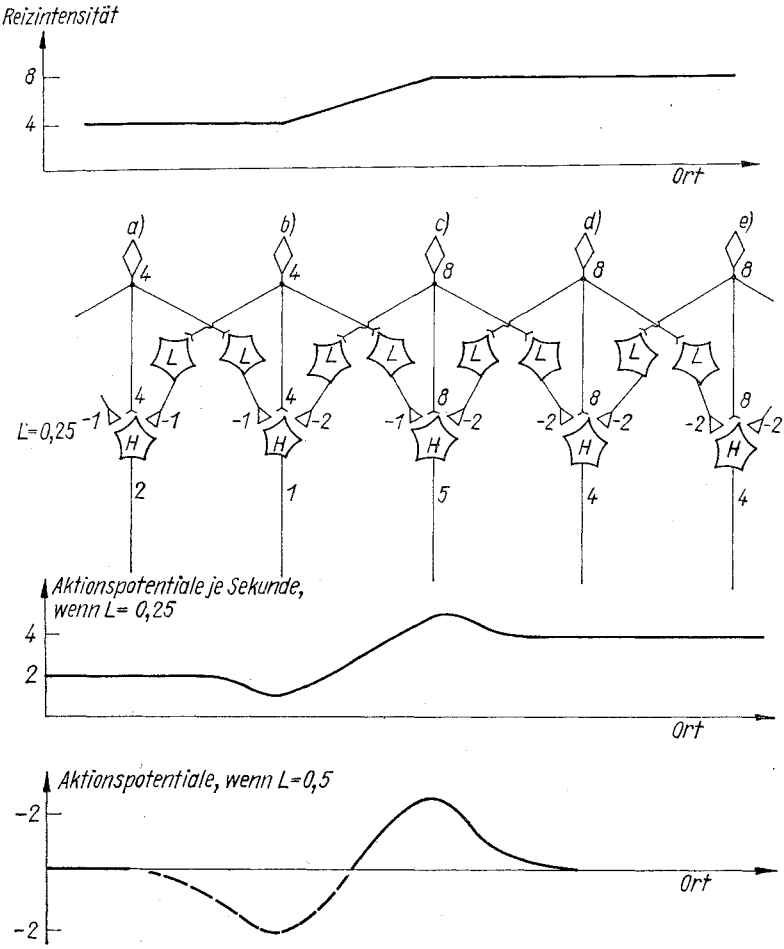


Abb. 4.11 Prinzip der lateralen Inhibition. Oben Reizverlauf, in der Mitte eine mögliche Neuronenschaltung mit hemmenden Lateralneuronen L. Besitzen sie ein Viertel der Erregung des Hauptwegs, so entsteht die Kurve unterhalb der Schaltung. Besitzen sie dagegen ein relatives Übertragungsmaß von 0,5, so bildet sich die untere Kurve aus [N18; W16].

Überlagern sich mehrere Divergenz- und Konvergenzschaltungen, so kann die *Vorwärtsbahnung* entstehen. Die aus einem Neuron M stammenden Erregungen beeinflussen dabei auch die seitlichen Neuronen. Sie können dadurch leichter von den ihnen vorgelagerten Neuronen erregt werden. Diese Schaltung taucht zuweilen auch zweidimensional auf. Die Erregungsmuster laufen dann häufig räumlich auseinander, werden also unschärfer.

Bei den weiteren Schaltungen ist auch die Hemmung hinzugenommen. Die *rekurrente Hemmung* bewirkt, daß erst dann ein zweiter Reiz wirksam werden kann, wenn auch die verzögerte Erregung des hemmenden Neurons N abgeklungen ist. Das Gegenteil liegt beim *Erregungskreis* vor. Er verstärkt Impulse, die entsprechend der Ver-

zögerungszeit aufeinander folgen. Die *rückwärtige Hemmung* ist das schaltungsgemäße Gegenteil der Vorwätsbahnung. Sie bewirkt eine Versteilerung von örtlich begrenzten Erregungsmustern. Sie kann auch als eine Kombination von rekurrenter Hemmung und der im folgenden behandelten lateralen Inhibition aufgefaßt werden.

Die *lateriale Inhibition* wurde 1959 von RATCLIFF und HARTLINE am Facettenauge des Pfeilschwanzkrebses Limulus experimentell gefunden. Sie gilt noch immer als Musterbeispiel von einfachen Neuronenschaltungen. Wegen des Daleschen Gesetzes ist die reale Verschaltung allerdings meist komplizierter als in Abb. 4.10. Es sind für die Hemmung Zwischenneuronen notwendig. So entsteht eine Prinzipschaltung, wie sie Abb. 4.11 zeigt. Für das Verhalten der Schaltung ist dabei die Reizverstärkung bzw. -schwächung an den einzelnen Neuronen entscheidend. In Abb. 4.11 wird angenommen, daß die hemmenden Lateralneuronen L nur ein Viertel der Energie des direkt erregenden Weges liefern. Die *örtliche Steilheit der Erregung wird* dann erheblich (1,5fach) *verstärkt*, und es entstehen an den Grenzen Reizüberbetonungen, so wie wir sie auch als *Machsche Streifen* wahrnehmen. Wird die Wirkung der Lateralneuronen auf 0,5 erhöht, so erscheint überhaupt nur eine Erregung beim Helligkeitssprung. Die formal berechnete gestrichelte Kurve wird als reine Hemmung nicht wirksam.

Reflexe

Die einfachsten vollständigen Schaltungen von der Sinneszelle bis zur Muskelerregung bestehen bei verschiedenen Reflexen. Wie beim Regenwurm wird dabei nur ein Zwischenneuron verwendet (Abb. 4.12). Derartig einfache Reflexschaltungen sind relativ selten. Selbst beim Regenwurm bestehen genau genommen mehrere parallele Erregungswege, die sich so gegenseitig beeinflussen. Meist sind jedoch bei den Reflexen zumindest einige Neuronen nach mehreren Prinzipien von Abb. 4.10 *komplex und mehrfach hierarchisch verschaltet.* Die Bedeutung solch relativ einfacher Neuronen-

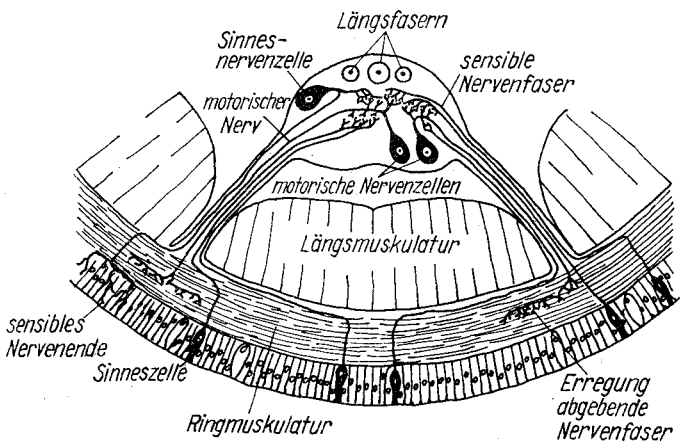


Abb. 4.12 Schaltung des besonders einfachen Reflexes bei Regenwürmern. Es ist ein Querschnitt gezeigt. Von der Hautoberfläche nimmt eine Sinnesnervenzelle Reizungen auf und überträgt sie auf eine motorische Nervenzelle. Sie bewirkt eine Kontraktion der Ringmuskulatur. Daneben gibt es noch Sinneszellen, die in der Haut eingelagert sind und so unmittelbar die motorischen Nervenzellen beeinflussen [G6; K42].

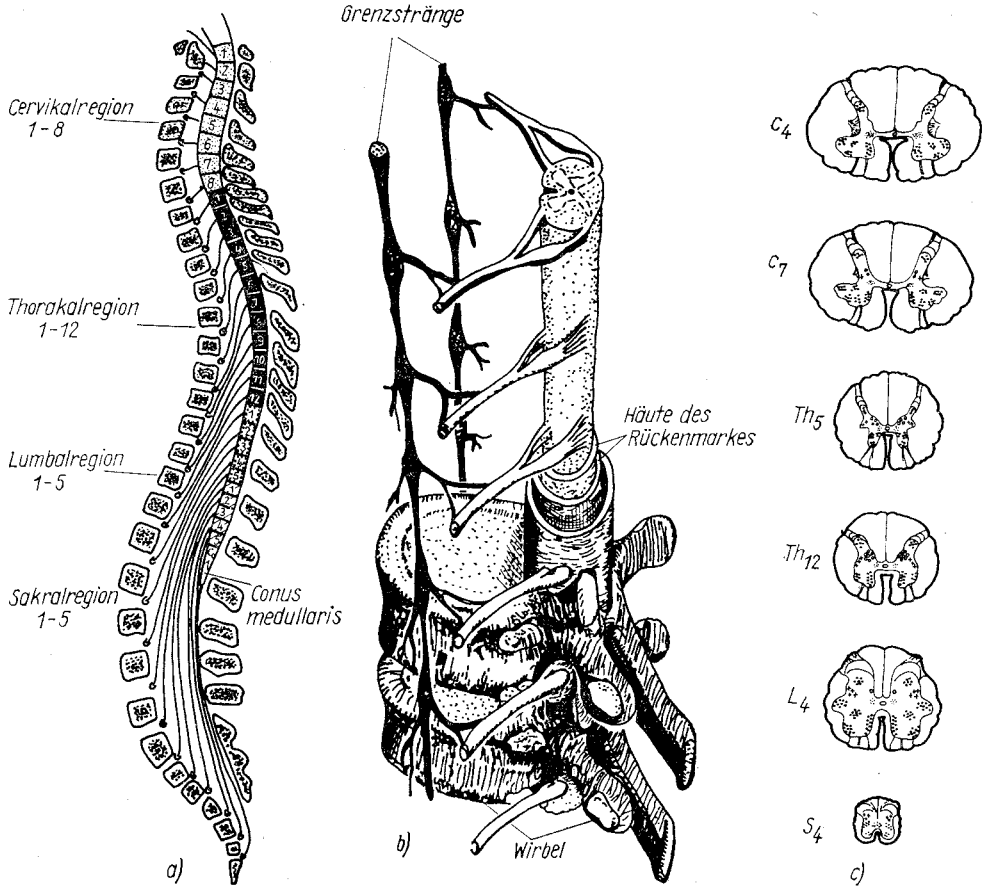
schaltungen wird andererseits dadurch ersichtlich, daß beim Menschen mehr als 20000 Reflexbahnen existieren. Sie betreffen in jedem Fall phylogenetisch ältere Teile des Nervensystems. Fast alle Reflexe sind auch mehr oder weniger durch andere Einflüsse veränderbar, und zwar umso mehr je höher entwickelt das Lebewesen ist. Ein Musterbeispiel für Reflexe ist der Patellar-(Kniescheiben-)reflex des Menschen. Er kann trotz seiner simplen Verkopplung gerade noch willentlich unterdrückt werden. Im allgemeinen laufen alle *Reflexe relativ selbständig* ab. Ein Fisch, dem z.B. das Gehirn am Rückenmark abgetrennt wurde, vollführt nach geeigneter Aufhängung im Wasser einen gleichmäßigen ruhigen Flossenschlag. Wenn bei einem Frosch die Vorderbeine nur noch mit dem zugehörigen Rückenmarkabschnitt verbunden sind, vollziehen sie bei Hautreizung die Umklammerungsbewegung, wie sie beim Geschlechtsakt zum Weibchen hin erfolgt. Bei Säugetieren haben die meisten komplexen Reflexe ihre so weitgehende Selbständigkeit bereits eingebüßt.

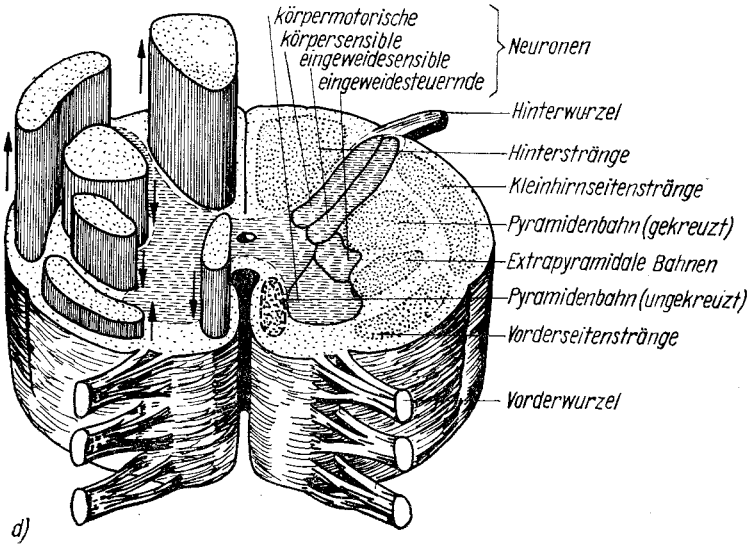
Rückenmarkreflexe

Die Leistungen des Rückenmarks werden oft unterschätzt. In Tab. 4.5 sind einige Daten zusammengestellt. Wie schon Tab. 4.1 auswies, entspricht die Neuronenzahl

Tabelle 4.5 Einige Daten des Rückenmarks des Menschen [B17]

Masse	ca. 30 g
Durchmesser	8 ... 15 mm
Länge	ca. 40 cm
Länge der Wirbelsäule	ca. 65 cm
Neuronenzahlen:	
Rückenmark total	$1{,}5 \cdot 10^7$
darunter je Vorderhorn	ca. 10^5
bei Th 7 nur	ca. 1500
alle Spinalganglien zusammen	$1{,}5 \cdot 10^6$
je Spinalganglion	$2 \ldots 7 \cdot 10^4$
bei S5 nur	3000
Zelldichte	$10^3 \ldots 10^4$ mm^{-3}
Faserzahl:	
hintere (dorsale) Wurzeln total	$0{,}65 \ldots 2 \cdot 10^6$
je Segment	$2 \ldots 6 \cdot 10^4$
bei S5 nur	3000
vordere (ventrale) Wurzeln total	ca. $2 \cdot 10^5$
je Segment	$0{,}4 \ldots 1{,}5 \cdot 10^4$
bei S5 nur	1400
Pyramidenbahn total	ca. 10^6
Vorderseitenstrang	2000
motorische je 1 g Muskelgewebe:	
Halssegmente	ca. 100
Brustsegmente	ca. 65
Lendensegmente	ca. 20
Vom Rückenmark beeinflußte Muskelfasern	ca. 10^7
Faserdichte im Rückenmark	$6 \ldots 7 \cdot 10^4$ mm^{-2}
relativer Querschnitt der Pyramidenbahn von der weißen Substanz	30%
Vorderhornzellen:	
max. Größe	ca. 100 µm
mittlere Größe: Durchmesser:Länge	ca. 25:50 (µm)
Oberfläche Dendriten:Zellkörper	ca. 2:1


Grenzstränge
Cervikalregion 1-8
Thorakalregion 1-12
Lumbalregion 1-5
Sakralregion 1-5
Conus medullaris
Häute des Rückenmarkes
Wirbel
a)
b)
C_4
C_7
Th_5
Th_{12}
L_4
S_4
c)


körpermotorische
körpersensible
eingeweidesensible
eingeweidesteuernde
Neuronen
Hinterwurzel
Hinterstränge
Kleinhirnseitenstränge
Pyramidenbahn (gekreuzt)
Extrapyramidale Bahnen
Pyramidenbahn (ungekreuzt)
Vorderseitenstränge
Vorderwurzel
d)

des Rückenmarks nahezu der des gesamten Hirnstamms. Außerdem werden von dem Rückenmark die meisten Körperpartien und Eingeweide versorgt. Seine wichtigen Strukturen sind in Abb. 4.13 zu erkennen. Es ist selbst etwas kürzer als der Wirbelkanal. In seinem Querschnitt sind deutlich die außen liegenden Leitungsbahnen (weiße Substanz) und die zentral (Form eines Schmetterlings) befindlichen Neuronen (graue Substanz) zu erkennen. Auch die Zuordnung der einzelnen Leistungsbahnen und Neuronengruppen bleibt etwa über die ganze Länge der Wirbelsäule hin konstant. Die einzelnen Fasern treten je rechts und links als vordere bzw. hintere Wurzeln zwischen den Wirbeln aus.

Eine Funktion des Rückenmarks soll am Beispiel des Kniescheibenreflexes und dann bezüglich einfacher Motorik beschrieben werden. Für den *Kniescheibenreflex* wird zunächst von einem sehr vereinfachten Schema (Abb. 4.14a) ausgegangen. Im Oberschenkelmuskel befinden sich Spindeln. Sie werden von sensiblen Neuronen im Spinalganglion innerviert und geben so Auskunft über den Spannungszustand. Die Impulse des sensiblen Neurons wirken auf eine *Vorderhornzelle* ein, die ihrerseits auf den Muskel zurückwirkt. So bildet sich ein *stabiler Spannungszustand* aus, der u. a. vom Gehirn gesteuert wird. Wird nun die *Sehne* unterhalb der Kniescheibe durch einen Schlag *gedehnt*, so wird kurzzeitig das vorhandene Gleichgewicht gestört, und über das sensible Neuron wird die motorische Vorderhornzelle anders angeregt. Sie bewirkt, daß sich der Muskel verkürzt und das Bein nach vorn schnellt.

In Wirklichkeit sind die Zusammenhänge erheblich komplexer. So besteht der Muskel aus einem phasischen Anteil, der durch besonders große α-Vorderhornzellen versorgt wird. Sie geben nur vereinzelte Impulse zur schnellen Korrektur des blassen Muskels ab, der zwar schnell reagiert, aber auch schnell ermüdet. Der tonische (rote) Muskel hält die Spannung auf einen Mittelwert und empfängt dazu von kleineren α-Motorneuronen periodische (im Mittel 10 bis 20) Impulse je Sekunde. Die verschiedenen *Muskelspindeln* (im Teilbild b) können durch eine interfusale (in der Spindel befindliche) Muskulatur in der Vorspannung verstellt werden. Hierzu existieren im Vorderhorn die kleinen γ-Neuronen. Ferner existieren noch *Sehnenspindeln*. Sie geben über die Gesamtspannung des Muskels Auskunft. Im Rückenmark existieren dann noch sensible Zwischenneuronen und vor allem Renshaw-Zellen, die für die tonischen α-Motorneuronen im Sinne der *rekurrenten Hemmung* von Abb. 4.10 wirken. Während bei den α- und γ-Neuronen Acetylcholin als Transmitter wirkt, verwenden sie das

◀ Abb. 4.13 Zur Struktur des Rückenmarks. Bei den Teilbildern a und b ist die Vorderseite des Körpers links auf dem Bild [B13; B20; C9; F3; F5; G1; G6; G8; R6; S7; S52; V16]
a) Längsschnitt mit Bezeichnung der Wirbel,
b) räumlich betonte Darstellung, unten mit Wirbeln umgeben, nach oben schrittweise bis zur völligen Freilegung. Ganz oben ist Schmetterlingsform des Querschnittes zu erkennen,
c) die verschiedenen Querschnittsformen in unterschiedlicher Höhe. Es bedeuten ... motorische und sensible Neuronen des peripheren Systems (Vorder- bzw. Hinterhornzellen), + + + Sympathische und ... parasympathische Zellen, ... Zellen des Nucleus dorsalis,
d) ungefähre Lage der einzelnen Leitungsbahnen und Neuronentypen.

hemmende Glycerin. Das Renshaw-Neuron verfügt mit bis zu 2500 Impulse je Sekunde über die wahrscheinlich höchste Impulsrate im Nervensystem.

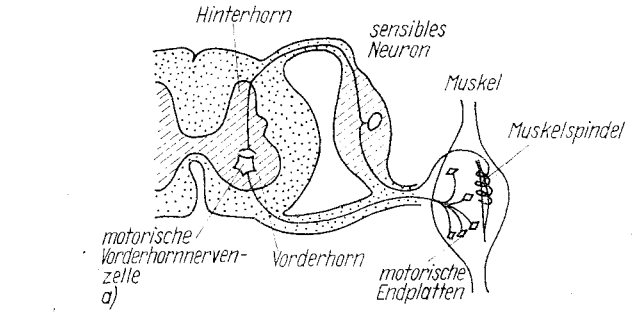
Insgesamt ist somit der Reflexbogen ein mehrfach vermaschter Regelkreis mit positiver und negativer Rückkopplung. Sein Ziel ist vor allem die Aufrechterhaltung von definierten Spannungen. Ihre Größe wird u. a. vom Endhirn und Hirnstamm vorgegeben und vom Kleinhirn beeinflußt. Dies ist sinnbildlich durch die Pfeile in Abb. 4.14b angedeutet.

Der bisher betrachtete Kniescheibenreflex ist ein *Eigenreflex*. Er wirkt auf die beeinflußte Stelle unmittelbar zurück. Bei den *Fremdreflexen* sind dagegen Erregungsart und Wirkung getrennt. Sie sind meist komplexer. Dies sei am Beispiel von Abb. 4.14c beschrieben. Dabei gehe ein Reiz von der Fußsohle aus. Er gelangt über ein sensibles Neuron im Spinalganglion zu sensiblen Neuronen im Hinterhorn, die ihrerseits auf verschiedene motorische Vorderhornzellen wirken. (Diese Neuronen befinden sich im Gegensatz zum Bild auf verschiedener Höhe in der Wirbelsäule.) Dadurch werden der Beuger des gleichseitigen Oberschenkels und der Strecker des gegenseitigen Beines verkürzt. So wird insgesamt eine Art Fluchtreflex ausgelöst, der den Körper nach vorn bewegt. Durch wechselseitiges Berühren der Fußsohlen wird bereits annähernd eine Laufbewegung ausgelöst. An diesem Beispiel wird auch eine gewisse Eigenständigkeit der komplexen Reflexbewegungen verständlich, wie sie zuvor beim enthirnten Fisch bzw. Frosch genannt wurden. Andererseits muß betont werden, daß beim koordinierten Laufen und Springen der Mensch praktisch alle seine 500 Skelettmuskeln mehr oder weniger stark und zwar in genau definierter Weise einbezieht. Dies bedarf natürlich einer hochkomplexen Steuerung durch vielfältige Hirnpartien. Es sei in aller Kürze im folgenden erläutert.

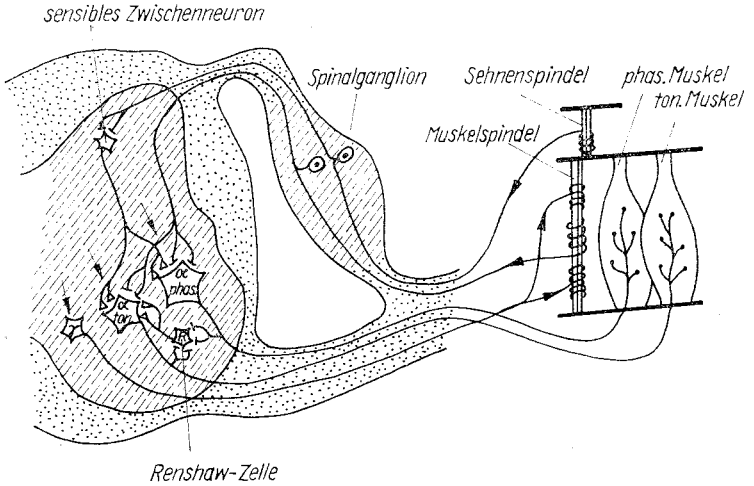
In Abb. 4.13d sind eine größere Anzahl von *Faserbündeln des Rückenmarkes* herausgestellt worden. Ihre Anzahl wirkt zunächst verwirrend. Übersichtlicher werden die Verhältnisse jedoch dadurch, daß alle Fasern zu drei *Leitungsbögen* gehören, die in Tab. 4.6 und Abb. 4.15 zusammengefaßt sind. Die *Seitenstrangbahnen* sind nur sensibler Natur und führen zum Kleinhirn. Die anderen beiden sind sensorischer und motorischer Natur, bilden also Regelkreise. Ihre Bezeichnung rührt daher, ob sie zur Pyramide gehören oder nicht (vgl. Abb. 4.8b). Von der Pyramidenbahn kreuzen hier außerdem ca. 80% der Fasern von links nach rechts und umgekehrt. Beide Systeme ergänzen einander bezüglich der Motorik. Der *extrapyramidale Bogen* ist der ältere und verfügt daher über vorwiegend genetisch fixierte oder bereits über Lernen automatisierte Bewegungsabläufe. Sein Handeln wird uns nur dumpf bewußt. Der *Pyramidenbogen* ist dagegen jüngeren Ursprungs. Mit ihm erfolgen die feinen und durch das Bewußtsein gesteuerten *Bewegungsabläufe*. Sie erfolgen vom Großhirn aus und sind

▶

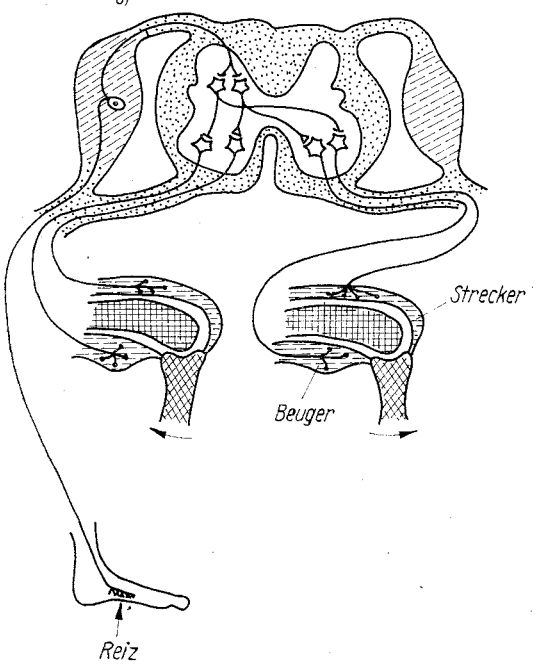
Abb. 4.14 Schemata zu motorischen Reflexen über das Rückenmark [B13; B17; B20; E7; F3; G7; G12; K2; K42; N18; R18; R19; S7; V5; V16; W16]
a) starke Vereinfachung zum Kniescheibenreflex,
b) mit Berücksichtigung einiger weiterer Wege,
c) Prinzip des Bewegungsreflexes. Zur Vereinfachung wurden die Motorneuronen für Strecker und Beuger in das gleiche Segment eingezeichnet und verschiedene Zwischenneuronen fortgelassen.


Hinterhorn
sensibles Neuron
Muskel
Muskelspindel
motorische Vorderhornnerven-zelle
Vorderhorn
motorische Endplatten

a)


sensibles Zwischenneuron
Spinalganglion
Sehnenspindel
phas. Muskel
ton. Muskel
Muskelspindel
α phas
α ton
Renshaw-Zelle

b)


Strecker
Beuger
Reiz

c)

Tabelle 4.6 Fasersysteme des Rückenmarks [B20; F3; G8]

Nervenbögen und Stränge	Alter, Ziel, Kreuzung	Aufgaben
Kleinhirnseitenstränge Tracturs spino-cerebelloris posterior (anterior im Vorderseitenstrang) nur sensorisch	alt, schon bei Fischen Kleinhirn ungekreuzt	Spannungszustand der Muskeln
Extrapyramidaler Leitungsbogen sensor.: Vorderseitenstrang Tractus spino-thalamicus motor.: Extrapyramidale Bahn Fasciculli subcorticospinales (Tractus rubro-spinales)	alt, schon bei Fischen Stammhirn (sens. auch Kleinhirn) (bei Säugern nur noch bis Thalamus) Kreuzung sens.: Rückenmark mot.: Mittelhirn	Temperatur-, Schmerz-, grobe Tast- und Berührungsempfindungen (protopathisch) erlernte und genetisch fixierte unwillkürliche Bewegung entlastet pyramid. System
Pyramidenbogen sensor.: Hinterstrangbahn Fasciculus dorsalis motor.: Pyramidenbahn (gekreuzt und ungekreuzt) Tractus cortico-spinalis	jung, ab Reptilien motorisch erst ab Säugern Endhirn (sensor. auch Kleinhirn) Kreuzung: Pyramide, verlängertes Mark (motor.: Hauptteil = Seitenstrang, Nebenteil kreuzt im Rückenmark)	Tiefensensibilität, feines Druck- und Tastempfinden (epikritisch) durch Bewußtsein, Absicht und Wille gesteuert, psychisch anstrengend, Feinmotorik dämpft Bewegung von extrapyram. System

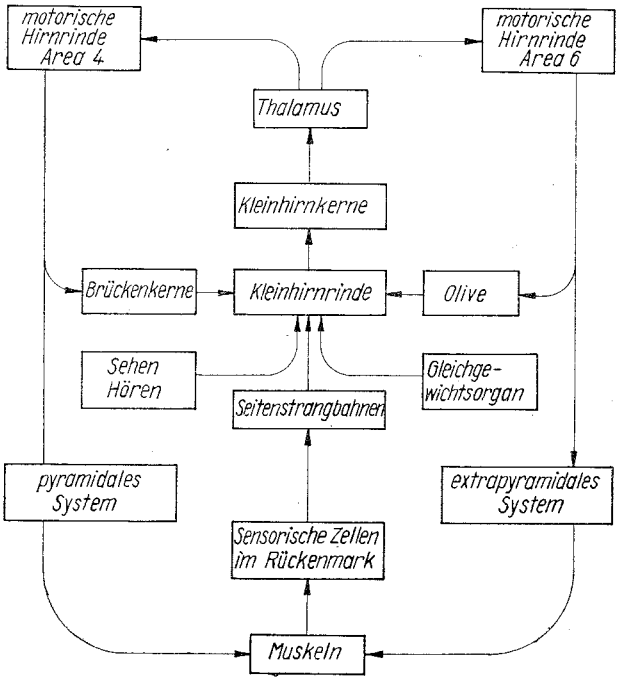


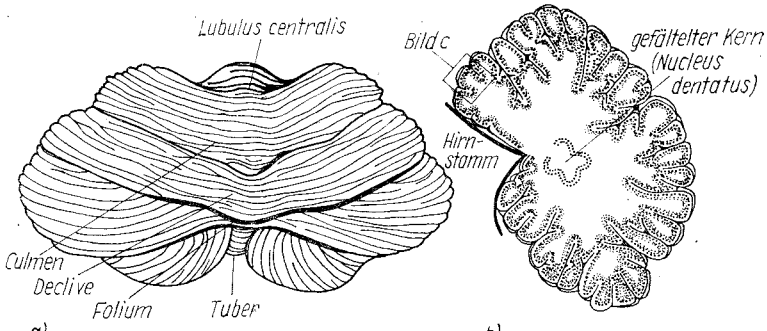
Abb. 4.15 Stark vereinfachtes Schema der drei Bahnensysteme für die Fasern des Rückenmarks und ihr Zusammenhang mit weiteren Hirnteilen [B13; B14; G12; V5].

weil sie Absicht und Willen benötigen, psychisch anstrengend. Das pyramidale System dämpft so aber auch die etwas groben Bewegungsabläufe des extrapyramidalen Systems.

Der Anteil des pyramidalen Systems an der Fasersubstanz des Rückenmarks wächst von der Gazelle mit 3% über die Katze mit ca. 6% bis zum Menschen auf 30%. Dabei steigt die Faserzahl von wenigen tausend über etwa 10^5 bis zu 10^6 beim Menschen. Die Faserdichte liegt immer um einige 10^5 je mm^2. Die Anzahl der *sensorischen Fasern* im Rückenmark übertrifft etwa um den Faktor 8 die der *motorischen Fasern.* Die sensorische Zellenanzahl im Rückenmark ist 80mal so groß. Ein Teil der Pyramidenbahn gelangt ohne Umschaltung vom Endhirn direkt zu den Vorderhornzellen. Die sensorischen Fasern werden dagegen alle mehrfach umgeschaltet (vgl. Abschn. 4.8 und 4.9).

4.8. Kleinhirn

Das Kleinhirn zählt zu den am besten erforschten Hirnteilen. Dies hat verschiedene Gründe. Es ist in der ganzen Wirbeltierwelt am konservativsten. Lediglich in seiner Form entwickelte es sich von der einfachen Platte bei den niedrigen Wirbeltieren bis zum stark, aber nur in Querrichtung gefalteten Organ. Natürlich nahm dabei auch etwas die Differenzierung seiner Zellen zu. Dennoch existieren in ihm immer annähernd


Lobulus centralis
Culmen
Declive
Folium
Tuber
a)
Bild c
gefältelter Kern
(Nucleus
dentatus)
Hirn-
stamm
b)

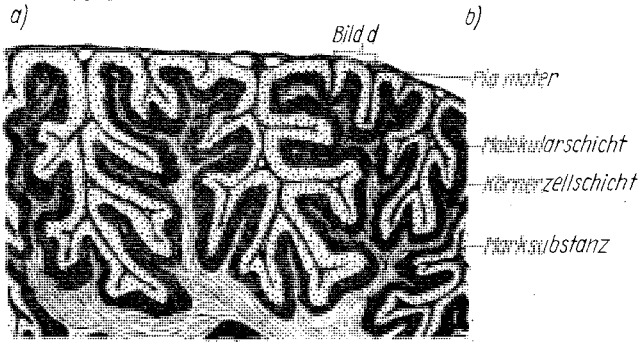
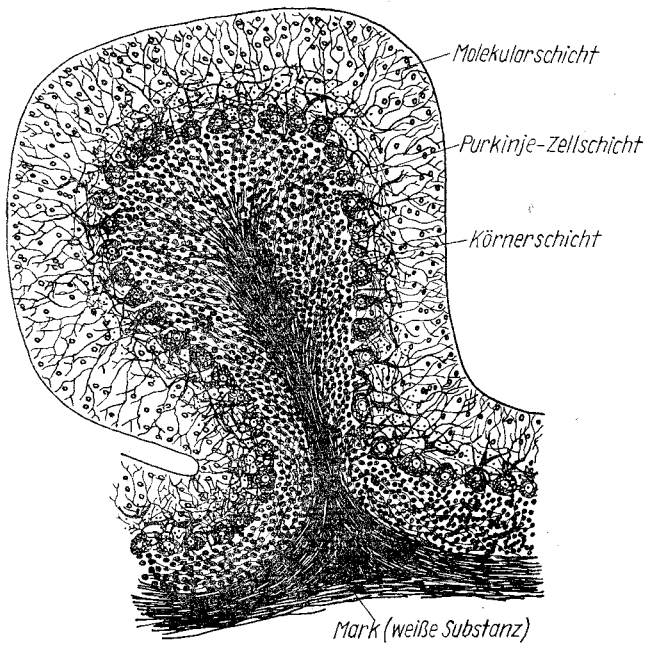


Bild d
Pia mater
Molekularschicht
Körnerzellschicht
Marksubstanz

c)


Molekularschicht
Purkinje-Zellschicht
Körnerschicht
Mark (weiße Substanz)

d)

Tabelle 4.7 Ungefähre Werte des Kleinhirns des Menschen [B17; E7]

Masse	150 g
Breite der Rinde	12 cm
Entfaltete Rindenlänge	1 m
Rindenoberfläche	1200 cm^2
davon in Furchen	90%
Rindendicke	1 mm
Rindenvolumen	100 cm^3
Volumen der Hirnkerne	2 cm^3
Kleinhirnanteil am Gesamtgehirn	11%
Molekularschichtdicke (Dendritenbäume der PZ)	300 ... 400 µm
Körnerzellschichtdicke	200 ... 400 µm

die gleichen Nervenzelltypen. Eine von ihnen ist die Purkinje-Zelle. Sie ist zugleich die größte Nervenzelle überhaupt und bestimmt ganz wesentlich die Funktion des Kleinhirns.

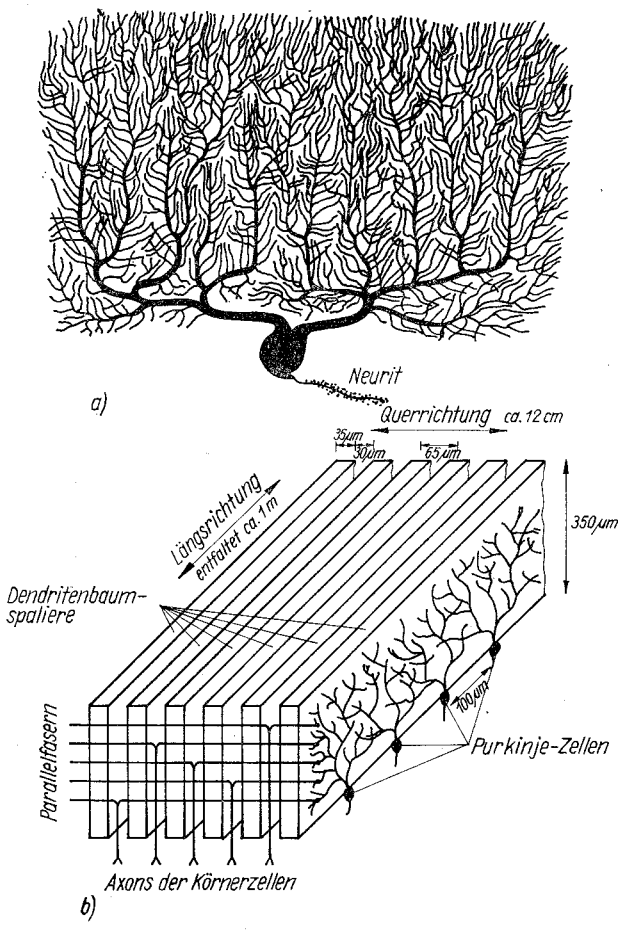
Der relative Anteil des Kleinhirns am Gesamthirn liegt immer um 10%. Lediglich bei den Fischen werden bis zu 15% erreicht.

Die wichtigsten Daten des Kleinhirns faßt Tab. 4.7 zusammen, das Aussehen und den Aufbau zeigt Abb. 4.16. Wenn von leichten und daher unwesentlichen Verbiegungen abgesehen wird, ist aus Teilbild a deutlich zu erkennen, daß die *Faltung nur in einer Richtung* erfolgt. Würde die Faltung aufgehoben werden, so entstünde aus der Rinde eine Schärpe von etwa 1 m Länge und ca. 12 cm Breite. Dies läßt sich noch besser an dem Schnitt von Teilbild b erkennen. Von der Rinde befinden sich ca. 90% in den Falten. Die Faltung ist damit noch stärker als beim Großhirn. Ferner sind im Teilbild b jene Gebiete weiß, in denen sich nur Fasern befinden. Zentral im Gehirn liegt der aus Neuronen bestehende gefaltete Kern.

Ein Ausschnitt der gefalteten Rindenstruktur zeigt vergrößert Teilbild c und davon einen weiter vergrößerten Ausschnitt Teilbild d. Er läßt die einzelnen Neuronen und die dadurch bedingten drei Schichten erkennen: Molekular-, Purkinje-Zell- und Körnerschicht. Die auffälligste, da größte Zelle, ist die Purkinje-Zelle.

Das Aussehen einer einzelnen Purkinje-Zelle sowie ihre prinzipielle Anordnung und stark vereinfachte Grundfunktion geht aus Abb. 4.17 hervor, während Tab. 4.8 einige Daten zusammenfaßt. Vom Zelleib der Purkinje-Zelle gehen 2 bis 3 Hauptdendriten ab, die sich dann stark weiterverzweigen. Der *Dendritenbaum* jeder Purkinje-Zelle füllt ein etwa rechteckiges Volumen von $350 \times 350 \times 35\ \mu m^3$ aus. Da der Abstand der Purkinje-Zelle etwa 100 bzw. 65 µm beträgt, bilden sie ein spalierobstähnliches Feld, wobei die Dendritenbäume in der Längsrichtung stark ineinandergreifen und in der Querrichtung immer auf Abstand stehen. Gerade dieser Abstand ist funktions-

◀ Abb. 4.16 Zum Aussehen des Kleinhirns [F3; G6; G8; G12; S7; V16]
a) Blick von hinten oben auf das Gehirn (vgl. Bild 4.8c),
b) Schnitt durch das Kleinhirn. Es sind die gefaltete Rindenstruktur und der Nucleus dentatus (gefalteter Kern) in der Mitte zu erkennen,
c) senkrechter Schnitt durch das Kleinhirn in Lupenstruktur,
d) weiter vergrößerter Schnitt einer Falte.


Neurit
a)
Querrichtung ca. 12 cm
35 µm
30 µm
65 µm
Längsrichtung
entfaltet ca. 1 m
350 µm
Dendritenbaum-
spaliere
100 µm
Purkinje-Zellen
Parallelfasern
Axons der Körnerzellen
b)

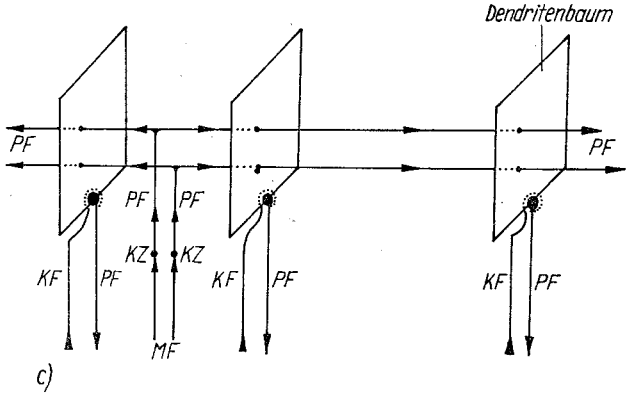

Dendritenbaum
PF
PF
PF
PF
KZ
KZ
KF
PF
KF
PF
KF
PF
MF
c)

Tabelle 4.8 Daten der Purkinje-Zelle des Menschen [B17; E7]

Anzahl	$1{,}5 \cdot 10^7$
Affen	10^6
Ratten	$5 \cdot 10^5$
Zellkörper	ca. 40 µm
Axon	ca. 4 µm
Dendritenbaum auf Kuppel	$350 \times 350 \times 35$ µm³
in Furche	$300 \times 500 \times 35$ µm³
Oberfläche Zellkörper + Dendriten	ca. $2 \cdot 10^5$ µm²
Abstände der Purkinje-Zellen	100×65 µm²
Dichte der Zellen:	
Mittelwert	300 mm^{-2}
Kuppel	413 mm^{-2}
Furche	226 mm^{-2}
Entladung je Impuls der Kletterfaser:	
normal	3 ... 5
stark gehemmt	1
Impulsdichte bis zu	300 ... 500 s^{-1}

wichtig. Die Faltung ist daher so gelegt, daß er nicht verändert wird, also senkrecht dazu. Deshalb wird die Größe der Dendritenbäume mit der Faltung auch nur in der Richtung geändert, in der die Dendritenbäume ineinandergreifen. Bei allen Faltungen behält die *Dicke der Molekularschicht* (also die Höhe der Dendritenbäume) immer den gleichen Wert. Die notwendigen Dickenänderungen erfolgen ausschließlich in der Körnerschicht, machen dort aber auch nur +8 bis −5% vom Mittelwert aus. Die Dicke der Molekularschicht schwankt in der ganzen Wirbeltierreihe nur sehr wenig und zwar etwa mit dem Logarithmus von der Tiergröße zwischen 150 µm bei der Maus und 500 µm bei den größten Tieren.

Die Grundfunktion des *Kleinhirns* sei mittels Abb. 4.17c erklärt. Von den *Moosfasern* MF werden die *Körnerzellen* KZ beeinflußt. Sie senden ihre Axone als etwa 3 bis 10 mm lange *Parallelfasern* PF T-förmig durch die Dendritenbäume. Jeden Dendritenbaum durchziehen so etwa 250000 Parallelfasern. Jede Parallelfaser durchquert etwa 200 Dendritenbäume und besitzt so ca. 50 synaptische Kontakte. Die *Parallelfasern* sind *sehr dünn*, 0,2 bis 0,5 µm, und besitzen keine Markscheide. Sie leiten daher die Erregung sehr langsam mit etwa 30 cm/s weiter. Dies ist für die Funktion wesentlich, denn im Kleinhirn wird diese Verzögerung funktionell genutzt. Sie beträgt zwischen zwei Dendritenbäumen etwa 0,2 ms.

◀ Abb. 4.17 Zum Aussehen, zur Anordnung und Hauptfunktion der Purkinje-Zelle [B21; C9; E7; G6; G8; S5]
a) Isolierte Purkinje-Zelle mit Dendritenbaum. Senkrecht zur Bildebene hat der Dendritenbaum nur eine sehr geringe Ausdehnung,
b) Anordnung der Dendritenbäume der Purkinje-Zellen. In der Längsrichtung überlappen sie sich stark. In der Querrichtung besteht aber zwischen den Spalierreihen immer ein gewisser Abstand,
c) zum Grundfunktionsschema des Kleinhirns. Von den Moosfasern MF werden die Körnerzellen KZ erregt. Sie senden ihre Axons als Parallelfasern PF durch die Dendritenbäume der Purkinje-Zellen PZ. Die Purkinje-Zellen werden über die Kletterfasern KF auf ihre Erregung durch die Parallelfasern abgefragt.

Mit den *Parallelfasern* werden also die einzelnen Purkinje-Zellen zu unterschiedlichen Zeiten unterschwellig vorerregt. Dieser Zustand kann über die *Kletterfasern* KF abgefragt werden. Sie erregen die Purkinje-Zellen sehr stark, und die Purkinje-Zellen geben je nach der Vorerregung durch die Parallelfasern bei jeder Erregung mittels der Kletterfasern etwa 1 bis 5 dicht aufeinanderfolgende *Impulse* ab. Die maximale Impulsdichte, zu der eine Purkinje-*Faser* PF fähig ist, liegt bei 300 bis 500 Impulsen je Sekunde. Die Kletterfaser kann damit bis zu etwa 100 mal in der Sekunde eine Purkinje-Zelle abfragen.

Die Funktion des Kleinhirns besteht nun darin, alle Bewegungen fein abzustufen. Dies läßt sich besonders gut an Hand von Abb. 4.18 erklären. Der dort im Querschnitt gezeigte Fisch hat eine Abweichung von seiner Normallage. Sie kann durch Schläge der

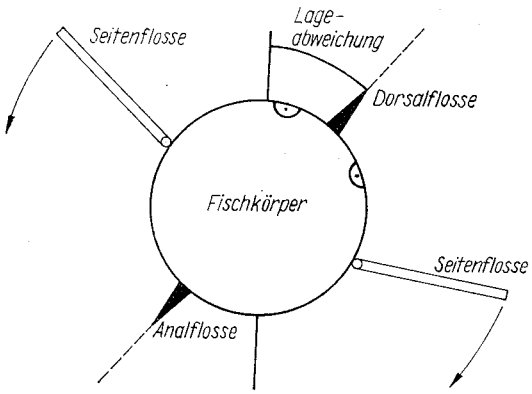


Abb. 4.18 Querschnitt durch einen Fischkörper zur Erklärung der Funktion des Kleinhirns [B21]

Seitenflossen ausgeglichen werden. Dann wäre ein kleiner, entsprechend der Größe der Lageabweichung genau definierter Flossenschlag sinnvoll. Nach dem Flossenschlag wäre wieder die Lageabweichung zu prüfen usw. Bei diesen kleinen Flossenschlägen würden aber alle zufälligen Störungen, z. B. durch Strömungen des Wassers, neu zu kompensieren sein. Mit dem Kleinhirn ist ein ganz anderes, etwa digitales Prinzip möglich. Zunächst führt die eine Flosse einen kräftigen Schlag aus, der den Fischkörper schnell in Richtung zu richtigen Lage führen würde, jedoch weit darüber hinaus. Doch zuvor erfolgt in genau definierten zeitlichen Abstand ein genauso kräftiger Schlag der anderen Flosse, der den ersten Schlag aufhebt, und der Fisch ist in der richtigen Lage. Die *Zeitverzögerung* ist hierbei das *Maß für die Lageweichung*, und sie wird vom Kleinhirn bestimmt. Ein solches Prinzip ist zugleich schneller und weniger störanfällig gegenüber Störungen aus der Umwelt.

Weitere Details zur Verschaltung *der Zellen* zeigt Abb. 4.19. Hier sind auch die weiteren Zelltypen eingezeichnet. Ihre Wirkung besteht vor allem darin, eine *zusätzliche Kontrastbildung* zur bisher geschilderten Funktion zu erzeugen. Dies läßt sich u. a. aus der *Verkopplungsmatrix* von Tab. 4.9 erkennen und wird mittels zusätzlicher räumlicher Beziehungen zwischen den Zellen unterstützt. Tab. 4.10 ergänzt dazu einige Zahlenwerte. Hieraus wird besonders die *hohe Redundanz der Körnerzellen* KZ ersichtlich. Sie ist notwendig, da jede der dünnen *Parallelfasern* PF die Purkinje-Zellen PZ nur wenig beeinflussen kann. Funktionell dient der hohen Parallelität der synaptische Komplex. Er verkoppelt eine Moosfaser mit vielen Körnerzellen. Ins-

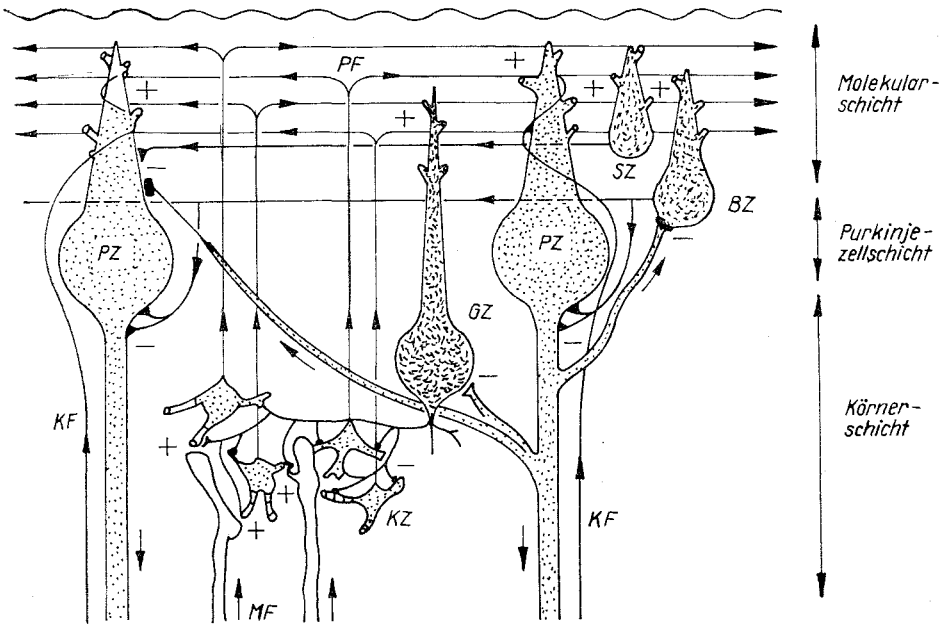


Abb. 4.19 Prinzipielle Verschaltung und Anordnung der 5 Zelltypen in der Kleinhirnrinde. Es bedeuten: PZ — Purkinje-Zellen; GZ — Golgi-Zelle; SZ — Sternzelle; BZ — Korbzelle (von englisch basket); KZ — Körnerzelle; PF — Parallelfasern; KF — Kletterfasern; MF — Moosfasern [B21; C10; E7; G1; G8; G12; S5; S52; V5].

Tabelle 4.9 Matrix der Verschaltungen im Kleinhirn. Es bedeuten:
+ erregend; — hemmend; 0 ohne Kontakt
d greift am Dendriten, s greift am Sona an

von	zu					
	KZ	PZ	GZ	BZ	SZ	Nucleus dentatus
Moosfasern MF	+	0	0	0	0	(—)
Kletterfasern KF (aus Olive)	0	+ (d, s)	0	0 (—)	0 (—)	0
Parallelfasern (Körnerzellen KZ)	0	+ (d)	+	+	+	0
Purkinje-Zellen PZ	0	— (s)	—	—	0	—
Golgi-Zellen GZ	—	0	0	0	0	0
Korbzellen BZ	0	— (s)	0	0	0	0
Sternzellen SZ	0	—	0	0	0	0

Tabelle 4.10 Zahlenwerte der Zellen und Fasern des Kleinhirns [B17]
+) bei Affen ca. 10^3, Ratten 250 und Fröschen 20
++) bei Affen ca. $2 \cdot 10^6$, Ratten $3{,}2 \cdot 10^6$ und Fröschen $8 \cdot 10^5$
+++) bei Affen ca. 500, Ratten 1000 und Fröschen 4500

	absolute Zahl	bezogen auf 1 PZ	Zelldichte mm^{-4}	Durchmesser µm
Purkinje-Zellen (PZ)	$1{,}5 \cdot 10^7$	$6 \cdot 10^4$ Synapsen	300^{+++})	40 (Axon 4) Kern ca. 10
Körnerzellen	ca. 10^{11}	$1{,}6 \ldots 7 \cdot 10^{4+}$)	$7 \cdot 10^{6++}$)	2 ... 5
Interneuronen	(ca. 10^7)	8 ... 50		5
Zellen des Nucleus dendatus	$10^6 \ldots 10^7$	(0,1)	2000	
Zellen der Olive	(ca. 10^6)	0,1		
Gliazellen	ca. 10^9	50	30 in Molekularschicht 600 in weißer Substanz	
Synapt. Komplex	—			5
Moosfasern	10^8	(7) ca. 1/500 Körnerzellen		
Kletterfasern	$1{,}5 \cdot 10^7$	1 selten 2 ca. 2000 Synapsen		
Parallelfasern	ca. 10^{11} jede Parallelfaser durchquert ca. 200 PZ und hat dabei mit ca. 50 Synapsen Kontakt	$2{,}5 \cdot 10^5$ je Dendritenbaum		0,2 ... 0,5

gesamt entspricht das Kleinhirn also einer *Matrix mit zeitverzögerter Kopplung*. Sie hat mit den Kletterfasern KF etwa 10^6 Abfrageeingänge und von den Purkinje-Zellen ca. 10^6 bis 10^7 Ausgänge. Der Zustand dieser Matrix wird von den *Moosfasern* MF über die Körnerzellen eingestellt. Die Ein- und Ausgänge sind dadurch zeitlich unterschiedlich über die Länge der Parallelform mit jeweils 50, also insgesamt einigen 10^7 Koeffizienten verkoppelt.

Die *Kletterfasern* als Abfrageeingänge haben ihren Ursprung in der *Olive* des verlängerten Marks (Abb. 4.8b und 4.9). Je eine, ganz selten zwei umranken den Dendritenbaum einer Purkinje-Zelle und geben dabei ca. 2000 synaptische Kontakte. Dadurch entsteht die starke und dennoch genau definierte Abfrage der Vorerregung der Purkinje-Zellen. Ihre Ausgänge werden z. T. in den Kleinhirnkernen umgeschaltet und dann weitergeleitet.

Die *Korbzellen* BZ haben ihren Namen deshalb, weil ihre Axone den Zelleib der Purkinje-Zellen wie ein Korb (engl. basket) umflechten. Dabei wirkt eine Korbzelle auf 8 bis 50 Purkinje-Zellen ein. Die dabei eingehaltene Richtung ist senkrecht zu den Parallelfasern. Die Axons der Korbzellen heißen daher *Tangentialfasern*. Durch sie wird also eine gewisse Strecke von im Dendritenspalier zusammenhängenden Purkinje-Zellen gehemmt (Abb. 4.20). Da die Korbzellen ihrerseits von den Parallelfasern

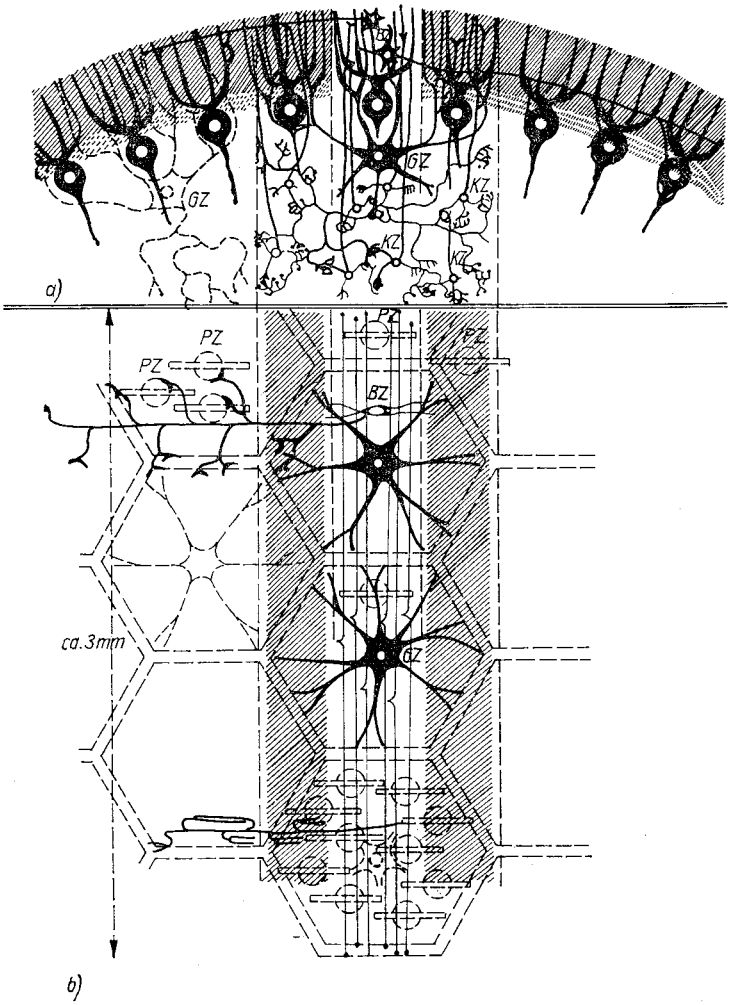


Abb. 4.20 Zur Wirkung der Korbzellen (BZ) und Golgi-Zellen (GZ) [E2]
a) Querschnitt,
b) Aufsicht mit Andeutung der Hemmzonen. In der Mitte sind die Parallelfasern erregt. Rechts und links davon folgt eine gestrichelte Zone. In ihr wirken die Korb- und Golgi-Zellen hemmend; noch weiter links und rechts nur noch die Korbzellen.

erregt werden, entsteht durch die Korbzellen jeweils links und rechts von den Parallelfasern eine etwa 3 mm breite *Hemmzone*.

Die Golgi-Zellen GZ sind in der Rinde *hexagonal* angeordnet. Sie werden ebenfalls von den Parallelfasern erregt, hemmen aber über die synaptischen Komplexe Körnerzellen und bewirken so eine *weitere Kontrastverschärfung*.

Mit Abb. 4.21 wird der Versuch unternommen, das *komplexe Zusammenwirken* der verschiedenen Gehirnkomponenten einschließlich des Kleinhirns *auf die Motorik* darzustellen. Alle Steuerungen enden schließlich direkt oder mittelbar an den Vorder-

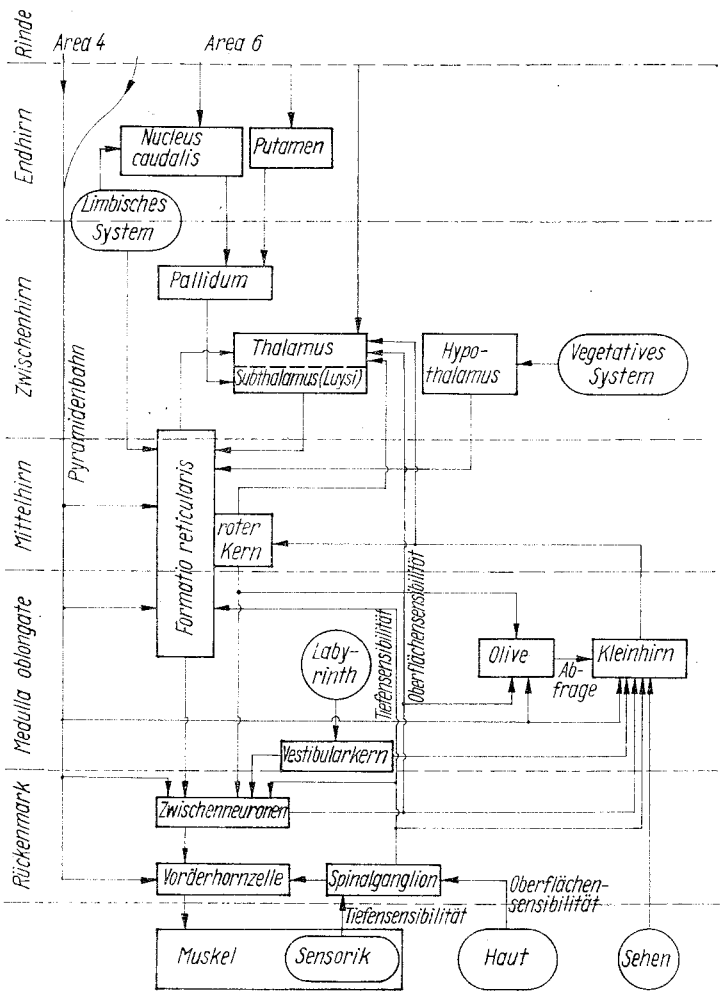


Abb. 4.21 Schematisch vereinfachte vollständige Darstellung des motorisch-sensorischen Systems. Letztlich kommen alle steuernden Einflüsse vom Großhirn. Auf unteren Ebenen sind aber Reflexe und ähnliches möglich [A12; B20; C9; F2; F3; H6; H14; R6; R18; S7; T3; T4; V16].

hornzellen des Rückenmarks. Sie sind sozusagen die Stellglieder für die Muskeln. Leider kann hier auf dieses Schema nicht weiter eingegangen werden. Die Steuerung vom Großhirn wird im folgenden Abschnitt behandelt. Es sei aber auf die verschiedenen Wege hingewiesen, die nicht über das Kleinhirn führen. Dies ist deshalb wichtig, weil die Purkinje-Zellen sehr empfindlich sind. Auf sie wirkt u. a. stark Alkohol, und dies führt dann zu weniger präzisen motorischen Handlungen und längeren Reaktionszeiten. Außerdem sterben die Purkinje-Zellen selbst unter normalen Lebensbedingungen relativ früh. Ein hundertjähriger Mensch besitzt nur noch etwa 50%. Daher kommt u. a. die etwas schwerfällige Altersmotorik.

4.9. Großhirn

Das *Endhirn* hat in der Wirbeltierreihe die meisten Veränderungen und Entwicklungen erfahren. Sie betreffen nicht nur seine Größe. Sobald es den bestimmenden Anteil des Gehirns ausmacht, also insbesondere beim Menschen, heißt es auch *Großhirn*. Tab. 4.11 faßt einige Daten des menschlichen Gehirns zusammen. Während die anderen Hirnteile, insbesondere Rückenmark und Kleinhirn, relativ konservativ blieben und dabei sogar noch an Spezialisierung in Struktur und Funktion zunahmen, weist das Großhirn keine wesentliche Spezialisierung auf. Dies zeigt sich immer wieder darin, daß bei Ausfall einiger Gebiete andere zumindest teilweise imstande sind, die Funktionen zu übernehmen. Wie wenig das Großhirn sich in seiner Struktur weiter spezialisiert hat, geht z. B. aus dem folgenden hervor. Den meisten Anatomen ist es bei einem histologischen Kortex-Präparat nicht ohne weiteres möglich, bezüglich der Herkunft z. B. zwischen Kuh oder Mensch zu unterscheiden. Dementsprechend gibt es erst recht nur sehr wenige Anatomen, die imstande sind, zwischen Stückchen aus Rinde von verschiedenen Gebieten zu unterscheiden. *Im Kortex überwiegt eben das Gemeinsame*. Ferner gibt es kaum typische Verschaltungen im Endhirn. Sie liegen dann noch eher in seinen älteren als in den neueren Teilen vor. Das Großhirn ist also, in der Sprache der Rechentechnik ausgedrückt, *eher ein Universal- denn ein Spezialrechner*. (Das Kleinhirn ist in dieser Hinsicht gerade, wie im vorigen Abschnitt gezeigt wurde, eine Spezialmaschine.) Erwähnt sei, daß die Spezialisierung offensichtlich auch für alle Nichtwirbeltiergehirne gilt. Sie sind wahrscheinlich z. T noch spezialisierter und komplexer als das Kleinhirn und dürften viel weniger Wiederholstrukturen besitzen.

Im Rückenmark liegen um den Zentralkanal zunächst die Nervenzellen, und dann folgen nach außen die Fasern. Beim Kleinhirn (und bei den anderen Hirnteilen) ist es umgekehrt. Dieser Umbruch läßt sich besonders deutlich bei der Entwicklung des Endhirns zeigen. Er hängt vor allem mit der bereits im vorigen Abschnitt geschilderten *Raumnot* zusammen. Hierzu gehört auch die *Rindenbildung* beim Gehirn. Sie hat offensichtlich einige erhebliche Vorteile für komplexe Gehirne. Läßt sich so doch eine gute *Ordnung* zwischen vielen *Nervenzellen* und horizontalen *Assoziationsfasern* sowie vertikalen *Projektionsfasern* erreichen. Auch in der *Technik* ist eine ähnliche Entwicklung erkennbar: Ursprünglich lag die freie Verdrahtung vor, dann folgten *Kabelbäume*, die Einlagen- und schließlich die *Mehrlagenleiterplatte* (Assoziationsfasern), während zum Zusammenbau im Gerät noch die Rückverdrahtung (Projektionsfasern) hinzukommt.

Das Großhirn besteht im Gegensatz zum Kleinhirn aus zwei äußerlich gleichen, voneinander getrennten Teilen, den beiden *Hemisphären*. Sie sind über die Fasern des *Balkens* verkoppelt. Das Großhirn besitzt eine Vielzahl unterschiedlicher Neuronentypen. Für das menschliche Großhirn ist die *Pyramidenzelle* besonders typisch. Sie tritt erstmals bei den Reptilien auf, mit denen generell ein Umbruch in der Entwicklung des Endhirns auftrat.

Im *Großhirn* können von dem Aufbau her *vier Gebiete* unterschieden werden:

- Mantelteil (im wesentlichen unmittelbare Oberfläche),
- Stammteil (weiter innen liegende Oberflächen, insbesondere Riechhirn, Hippocampus und Insel),
- Kerne (Basalganglien),
- Fasern (weiße Substanz oder Mark).

Tabelle 4.11 Einige Daten des menschlichen Gehirns, mit Betonung des Großhirns [B13; B17; F3; G8; K2; S7; V16] Werte z. T. umgerechnet

Gehirnmasse	1050 ... 2000 g; Mittelwert ca. 1300 g	
Graue Substanz	37,7 ... 39%, davon ca. 6% Kerngebiete	
Großhirn	1100 g	ca. $1{,}5 \cdot 10^{10}$ Neuronen davon $5 \cdot 10^9$ (30%) kleine Pyramidenzellen und $7 \cdot 10^8$ (4,6%) große Pyramidenzelle dazu etwa 10^{11} Gliazellen
Großhirnrinde	250 ... 560 g; enthält fast alle Neuronen	
Großhirnoberfläche	1500 ... 2200 cm²	
(zum Vergleich: Schimpanse	500 cm²	
Halbaffe	100 cm²	
Hai	12 cm²	
Schildkröte	5 cm²)	
Relative Rindenanteile		
Hinter-, Scheitel-, Schläfenlappen		12:24:17: 24%
(zum Vergleich: Orang-Utan		22:18:5: 14%
Meerkatze		24:17:1: 10%
Katze, Schläfenlappen		3%)

darunter etwa:

Area:	1	3	4	6	8	9	10	17	18	41	44
Zellzahl × 10^7:	10	7	5	50	20	40	50	55	75	3	10

Nervenzelldichte: je mm²	Großhirn im Mittel etwa	10^4
	Feld 4	$3 \cdot 10^3$
	Feld 8	$5 \cdot 10^3$
	Feld 17	$11 \cdot 10^3$
	Kerne der Hirnnerven	$1 \ldots 5 \cdot 10^4$

Synapsendichte[1])	10^4 je mm²
Großhirn im Mittel	10
Corpus geniculatum mediale	3,7
Corpus geniculatum laterale	80
Sehrinde	16
Hörrinde	32
Feld 4	45
Feld 9	200
Palaeokortex	1750

Spinedichte an Pyramidenzellen 50 ... 150 je 100 µm

Hirnstamm	150 g	ca. $2{,}5 \cdot 10^7$ Neuronen
darunter:		
Corpus geneculatum laterale		10^6
Formativ reticularis		$2 \cdot 10^6$
colliculus caudatis		$6 \cdot 10^5$
Rückenmark	30 g	ca. $1{,}5 \cdot 10^7$ Neuronen
Balken Querschnitt		7,5 cm²
Faserdichte		$3{,}5 \cdot 10^5$ mm^{-2}
Faserzahl		$2{,}5 \cdot 10^8$
zum Vergleich Katze		$5 \cdot 10^6$
Maus		$2 \cdot 10^6$
Kleinhirn	150 g	ca. 10^{11} Neuronen darunter etwa $1{,}5 \cdot 10^7$ Purkinje-Zellen

Diese Gebiete lassen sich ähnlich wie der schon erwähnte Wechsel von Neuronen (zuerst innen, dann außen) aus der *Entwicklung* verstehen. Hierzu möge Abb. 4.22 dienen. Besonders aus Abb. 4.22g, welche die Vorgänge schematisch zusammenfaßt, geht folgendes hervor: Zunächst spezialisieren sich die Basalganglien und das Archipallium. Danach bilden sich etwa im oberen Drittel der Rinde immer spezialisiertere neue Rindenstrukturen aus. Sie drücken dadurch die älteren Teile zu den oberen und unteren, inneren Teilen der Hemisphären. In diesem Bild wurde auch bewußt zwischen den nach phylogenetischem Alter bezeichneten Mantelteilen (Pallium = Mantel) und den nach ihren Strukturen unterschiedlichen Rinden (Kortex = Rinde) unterschieden. Oft werden dagegen *Pallium* und *Kortex* fast synonym verwendet. Aus der aufgezeigten Entwicklung wird verständlich, daß der Schichtenbau des Periallokortex überwiegend im Neo- aber auch im Palaeo-, Archipallium vorkommt. Bei der Manteleinteilung sind auch Afferenzem zum Thalamus bedeutsam. Hierauf wird noch genauer im Kapitel 5 beim Sehnerv eingegangen. In Abb. 4.22 ist dies nur angedeutet.

Bei der Entwicklung des Gehirns ist der zugehörige *Funktionswechsel* zu beachten. Ursprünglich war nämlich das Endhirn *Riechhirn* (Palaeopallium). Dies war deshalb bedeutsam, weil so vielfältige, lebenswichtige Sinneswahrnehmungen möglich waren. Andererseits ging dabei aber die Ortientierung im Raum verloren. So wurde das Riechhirn immer mehr auf Kosten von umgeschalteten *Hör- und Sehwahrnehmungen* relativ zurückgedrängt. Es ist aber dennoch heute relativ komplex verschaltet und absolut gesehen umfangreich.

Die ursprüngliche *Rindenstruktur gehört zum Allokortex.* Er wird auch als *Urrinde* bezeichnet und enthält meist zwei relativ primitiv aufgebaute Schichten. Die höchst differenzierte Struktur liegt beim Isokortex vor, er enthält sechs Schichten, die noch genauer beschrieben werden. *Periallokortex* und *Proisokortex* stellen, wie bereits ihre Namen aussagen, Übergänge dar. Der *Koniokortex* (Staubrinde) enthält besonders viele dicht gedrängte Nervenzellen. Er ist eine Weiterentwicklung des Isokortex und tritt vor allem in den sensorischen Spezialrinden, z. B. in der Sehrinde, auf.

Den typischen *Aufbau* einer Rinde des *Isokortex* zeigt Abb. 4.23. Die sechs Schichten werden teils mit arabischen und teils mit römischen Ziffern bezeichnet und z. T. noch in a, b, c untergliedert. Nach oben (zur Oberfläche hin) ist die Rinde durch das Bindegewebe und nach unten durch die weiße Substanz (Fasern) abgegrenzt. Die eigentliche Rinde wird auch graue Substanz genannt.

In der *1. Schicht* (Lamina zonales, Molekular- oder Gliaschicht) herrschen die *Gliazellen* vor. Bis hier dringen die Dendriten tiefer liegender Zellen vor und haben dabei synaptische Kontakte zu den das Bild bestimmenden *Tangentialfasern.* Vereinzelt existieren hier auch Cajalsche bzw. Retziussche Zellen. Ihre Dendriten und Kollateralen verbleiben im wesentlichen in dieser Schicht.

In der *2. Schicht* (Lamina granularis, äußere Körnerschicht) herrschen, wie auch ein Name für sie sagt, die *kleinen Pyramidenzellen* (10 ... 12 µm) vor. Ihre Dendriten gehen in die erste Schicht, die Axone in die weiße Schicht, in seltenen Fällen in die 1. Schicht.

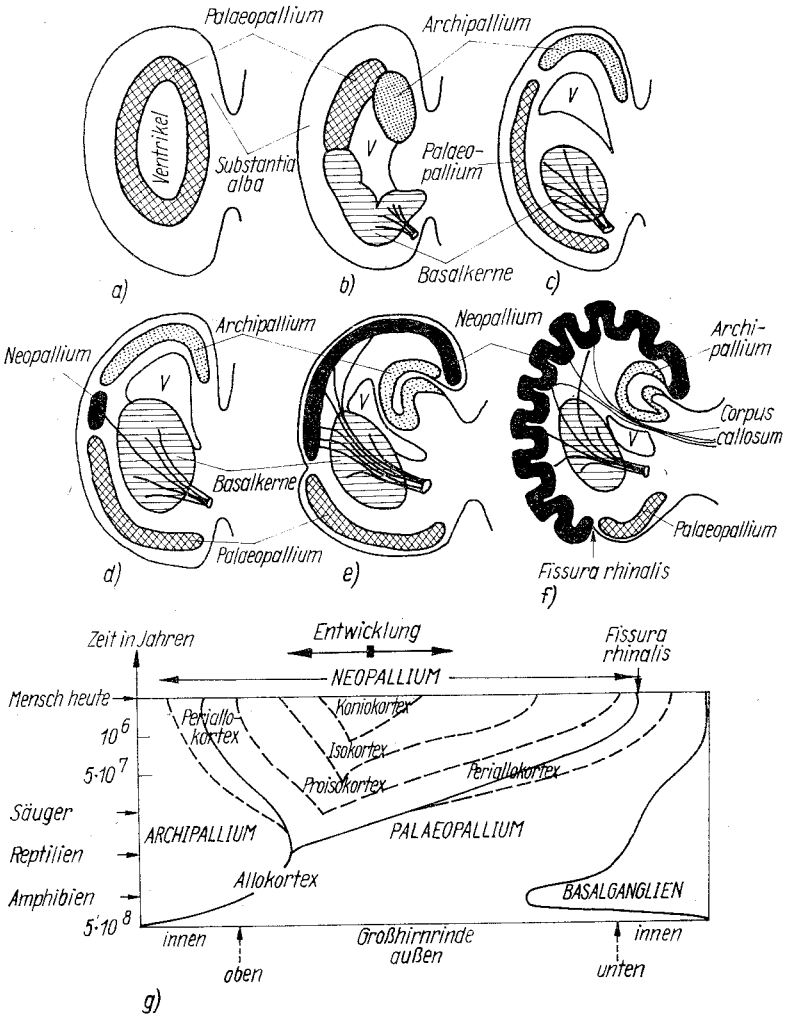
Die *3. und 5. Schicht* (Lamina pyramidales bzw. ganglionares) enthalten, wie auch ihre Namen äußere und innere Pyramidenschicht sagen, vor allem die *mittleren und großen Pyramidenzellen* (20 ... 40 µm). Insbesondere die Dendriten der 3. Schicht verzweigen sich sehr weit. Die 5. Schicht enthält meist relativ wenige, aber dafür oft besonders große Pyramidenzellen. In der motorischen Zentralwindung (S. 131) exi-

stieren hier u. a. die Betzschen Riesenpyramidenzellen (um 100 μm). Die Axons der Pyramidenzellen der 3. und 5. Schicht gehen in die weiße Substanz.

Die *4. Schicht* (Lamina granularis interna, interne Körnerschicht) ist in den verschiedenen Rindenfeldern sehr verschieden stark ausgebildet (besonders schwach beim Proisokortex). Die *Nervenzellen* sind hier sehr klein, vielgestaltet und reichlich vorhanden.

Die *6. Schicht* (Lamina multiformes) enthält, wie auch ihr Name sagt, viele *spindelförmige* oder andere vielgestaltige *Zellen*. Die ältesten Rinden entsprechen annähernd den Schichten 3, 6 und z. T. noch 4.

Entsprechend Abb. 4.24 gibt es *drei* deutlich unterscheidbare *Fasersysteme*. (Neben Fasern werden auch die Begriffe Bahnen, Systeme und Strahlungen fast synonym verwendet.)



- *Assoziationsfasern.* Sie verbinden unterschiedliche Teile der Rinde in einer Hemisphäre. Neben den im Bild gezeigten langen Assoziationsfasern gibt es kurze zwischen eng benachbarten Gebieten.
- *Kommissurenfasern.* Sie verbinden die beiden Hemisphären. Der bedeutendste Teil ist der *Balken* (Corpus callosum). Er entwickelt sich relativ spät. Ein 10 Wochen alter Fötus besitzt etwa 10^4, ein Neugeborenes unter 10^8 und ein Erwachsener ca. $2,5 \cdot 10^8$ Fasern. Sie sind meist dünner als 5 µm, und 50% besitzen keine Markscheide. In den beiden nächstwichtigen Kommissuren verlaufen ca. 10^6 Fasern.
- *Projektionsfasern.* Sie stellen die Verbindung zu anderen Hirnteilen und dem Rückenmark her.

Die Einteilung der Rinde in die vier wichtigsten Lappen erfolgte bereits im Zusammenhang mit Abb. 4.8a. Hier wird auf funktionelle und damit weiter detaillierte Gebiete eingegangen. Es gab eine Zeit, in der versucht wurde, möglichst fein gestufte *Gehirnkarten* zu zeichnen. Ein bereits erheblich reduziertes Schema zeigt Abb. 4.25b. Heute ist es üblich, die Rind eentsprechend Teilbild a nach *Area* (*Feldern*) mit bestimmten Zahlen zu belegen. Dabei werden diese Felder nur selten von den Furchen begrenzt. Vielmehr bestimmt der *Schichtenaufbau* die Felder. Dabei lassen sich nur einigen Feldern

◀ Abb. 4.22 Zur Phylogenie des Endhirns (Blick von links entspricht Blick auf Bild 4.8a) [G1; K42; R10; S3; S7; V5]
a) Primitivstadium mit einheitlicher ventrikelnaher grauer Nervenzellsubstanz (Palaeopallium),
b) bei den typischen Amphibien liegt bereits eine Dreiteilung vor, wobei sich das Archipallium (Vorläufer vom Hippocampus) und die Basalkerne (Corpus striatum) weiter spezialisiert haben. Die Nervensubstanz liegt auch hier noch ventrikelnahe,
c) bei den primitiven Reptilien wandern die Basalkerne nach innen, während Archi- und Palaeopallium zur Oberfläche drängen,
d) beim hochentwickelten Reptil entsteht das sich künftig besonders stark entwickelnde Neopallium,
e) beim primitiven Säuger dehnt sich das Neopallium über einen Großteil der äußeren Hirnoberfläche aus. Gegenüber dem Palaeopallium wird es durch die Fissura rhinalis getrennt. Das Archipallium wird durch diese Entwicklung nach innen gedrängt, bleibt jedoch im Gegensatz zu den Basalkernen in seiner Rindengestalt bestehen,
f) beim hochentwickelten Säuger dehnt sich das Neopallium weiter aus, dazu beginnt noch eine starke Furchung und das Palaeopallium wird ebenfalls weitgehend nach innen, wo sich die beiden Hemisphären berühren, gedrängt. Zur Verbindung zwischen den beiden Hemisphären entsteht der Balken (Corpus callosum) als starkes Faserbündel,
g) vereinfachte und schematische Zusammenfassung der Entwicklung. Dazu ist die Oberfläche der Rinde gestreckt gezeichnet. Als Zeitachse wurde die Ordinate gewählt. Von dem ursprünglichen einheitlichen Paleopallium trennen sich zunächst die Basalganglien und das Archipallium. Die relativ größte Winkelausdehnung besitzen die Basalganglien etwa bei den Amphibien, das Archipallium bei den Reptilien. Hier entsteht auch das Neopallium, in dem sich schrittweise immer höher spezialisierte Rinden vom Periallokortex bis schließlich zum Koniokortex ausbilden.

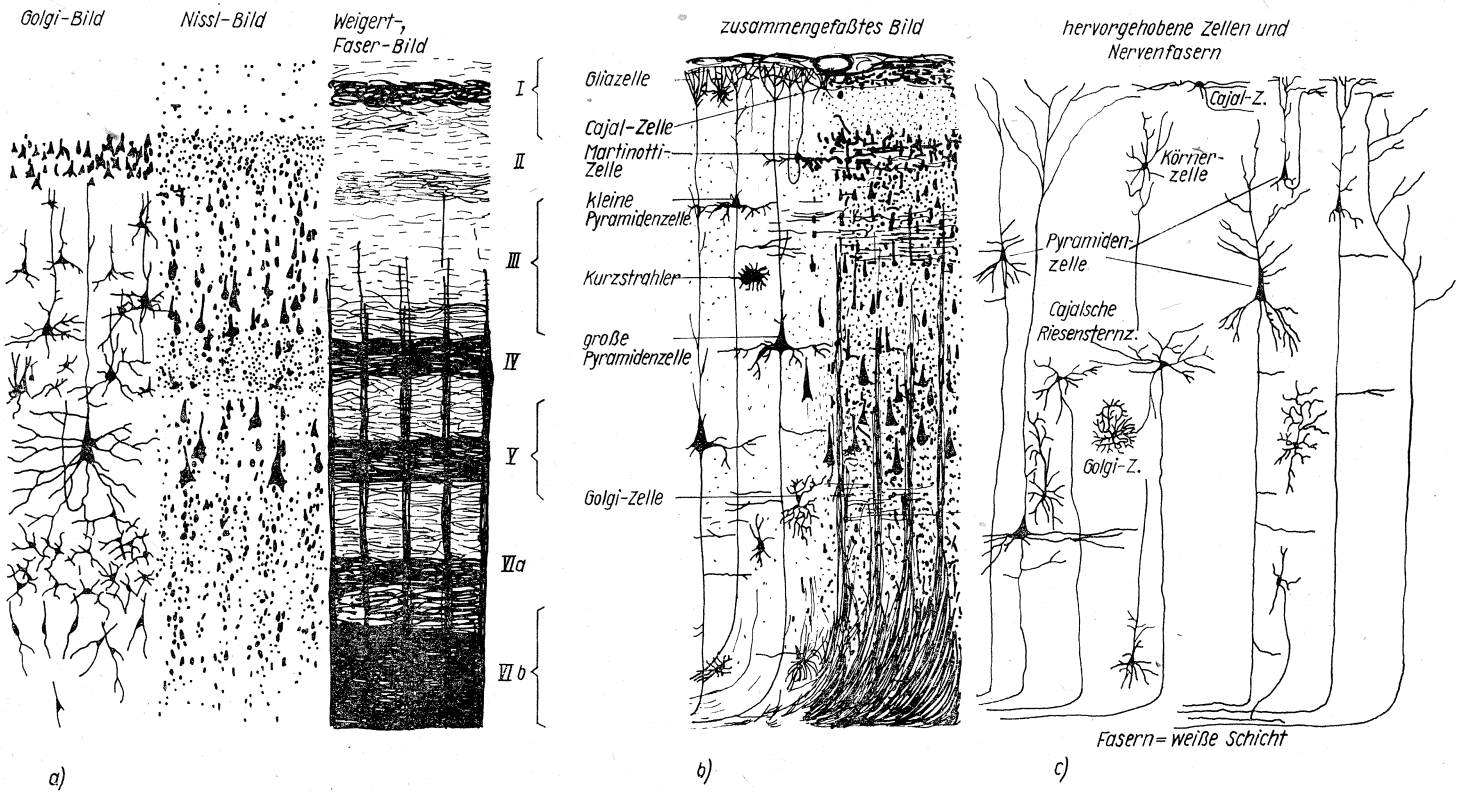


Abb. 4.23 Zur typischen Schichtstruktur der Großhirnrinde
a) in den drei unterschiedlichen Präparationsmethoden mit Betonung der Nervenzellen, der Zellkörper bzw. der Fasern (Axons),
b) aus verschiedenen Bildern zusammengefaßter Feinaufbau bei einer Katze,
c) Hervorhebung der wichtigsten Zelltypen und ihrer Axons am Beispiel der Aria striata des Menschen [C9; F3; G1; G8; S7; S23; S52].

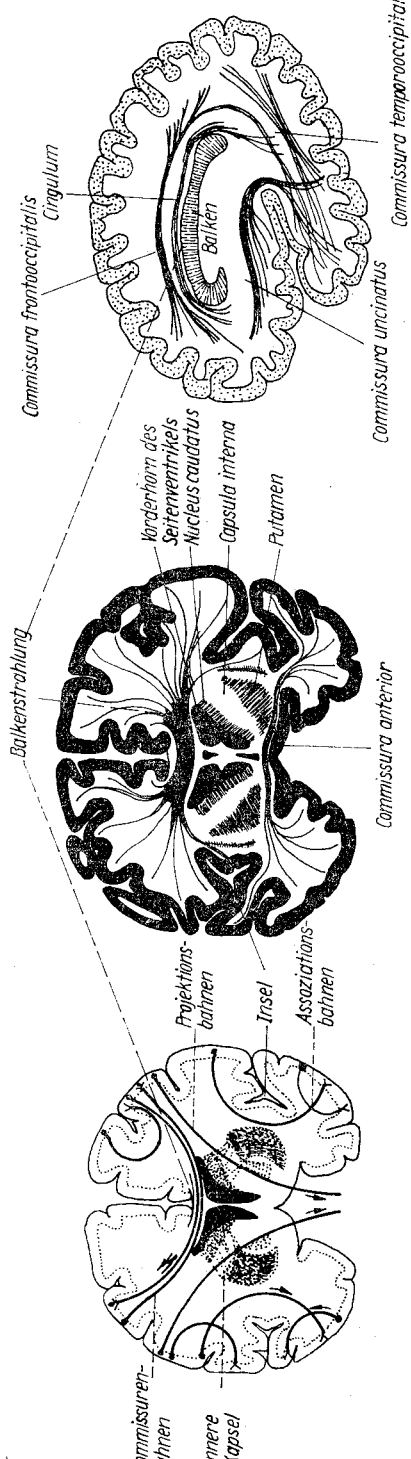


Abb. 4.24 Zur Einteilung der Fasern des Großhirns.

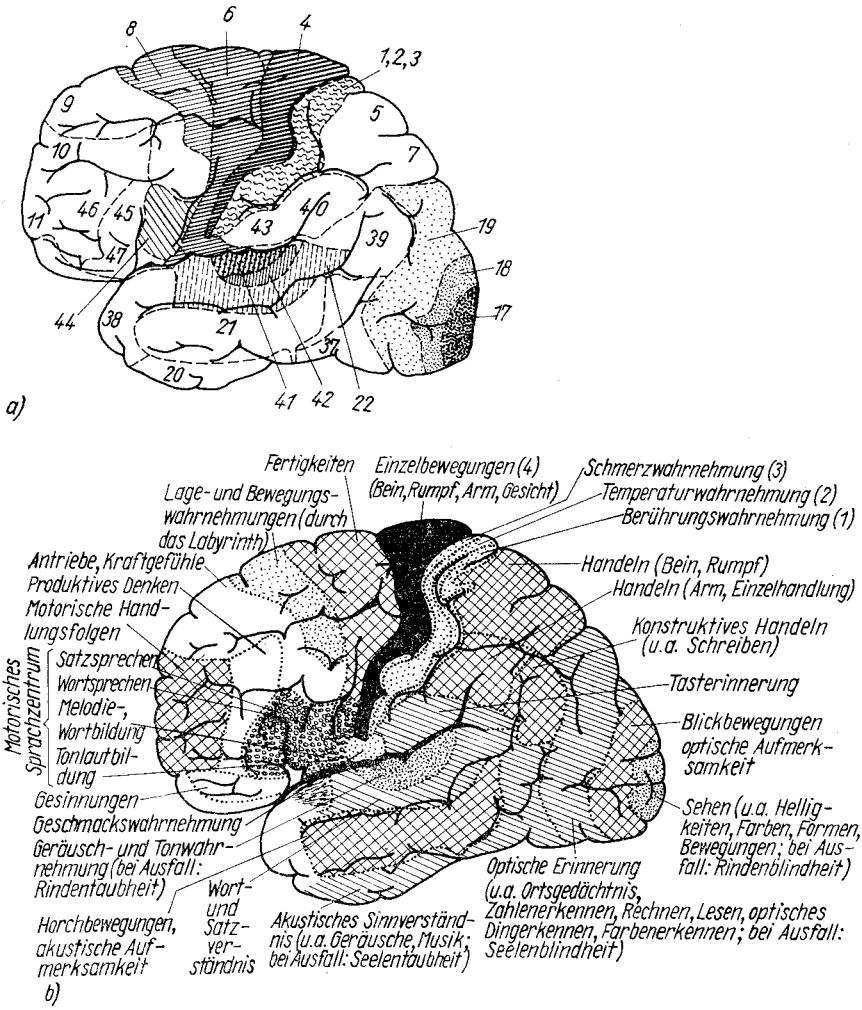


Abb. 4.25 Zur Einteilung des Mantels des Gehirns [B20; C9; E7; F2; G12; L5; S7; V5; W20; W24]

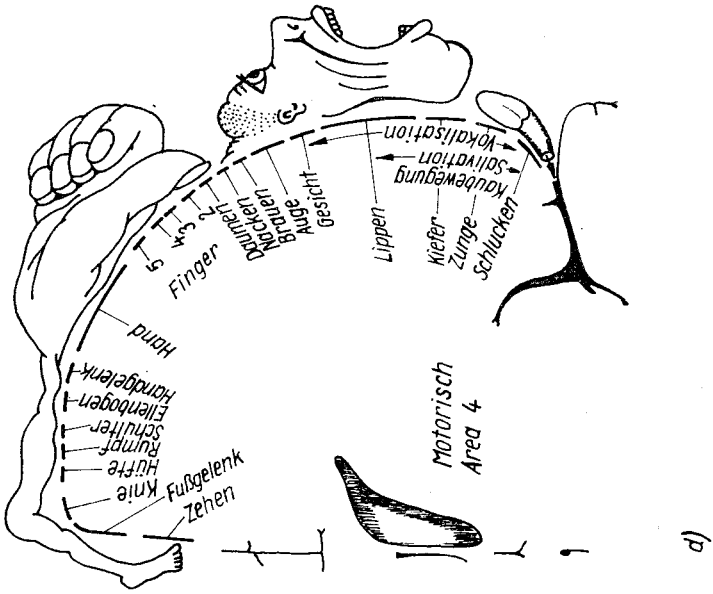
a) moderne Area-Einteilung (Zahlen, Felder), die auf Unterscheidung vom Schichtenaufbau der Rinde zurückgeht. Es sind Felder mit echt lokalisierter Funktion hervorgehoben: 1, 2, 3, 5 — sensorische Felder (Haut- und Muskelsinn) 4, 6, 8-motorische Felder der willkürlichen Bewegung (4-Pyramidenbahn, 6 und 8-extrapyramidal) 17,18,19-Sehzentrum. 22,41,42-Gehörzentrum und Bereich des sprachlichen Verstehens (in der Regel nur links), 44-motorisches Sprachzentrum,

b) ältere, bereits zu weit ins Detail getriebene Einteilung der Gehirnfunktionen. Es bedeuten

- Wahrnehmungsfelder,
- primäres motorisches Gebiet,
- abgeleitete motorische Felder,
- höhere psychische Felder,
- Erinnerungsfelder,
- motorisches Sprachzentrum,

c) Einteilung der Area 1 bis 3 für die sensorische Wahrnehmung,

d) Einteilung der Area 4 fürdie Motorik. Bei elektrischer Reizung dieser Gebiete zucken die entsprechenden Muskel.


Motorisch
Area 4
Finger
Hand
Handgelenk
Ellenbogen
Schulter
Rumpf
Hüfte
Knie
Fußgelenk
Zehen
Daumen
Zeigefinger
Mittelfinger
Ringfinger
Kl. Finger
Augenlid
Auge
Gesicht
Lippen
Kauen
Schlucken
Vokalisation
d)
Sensorisch
Area 1 bis 3
Bein
Fuß
Zehen
Genitalien
Rumpf
Hals
Kopf
Oberarm
Unterarm
Nase
Oberlippe
Unterlippe
Zähne, Kiefer, Gaumen
Zunge
Schlund
Bauch
Eingeweide
c)

(etwa ein Drittel der Oberfläche) eindeutig bestimmte Funktionen zuordnen. Die höchste Detaillierung wird dabei für die *sensorischen und motorischen Felder* 1 bis 4 erreicht. Hierzu wird oft der verzerrte Homunukulus gemäß den Teilbildern c und d angegeben. Es ist bemerkenswert, daß sich solche Humunkuli teilweise auf allen Zwischenstationen der entsprechenden Fasersysteme bis zum Rückenmark hin angeben lassen.

Bei den *Stirnlappen* und Teilen der *Schläfenlappen* fehlen echte Funktionszuordnungen völlig. Dabei nimmt das Stirnhirn beim Menschen fast ein Drittel der gesamten Rindenoberfläche ein und ist im wesentlichen erst vor etwa 250000 Jahren von den motorischen Funktionen weitgehend frei geworden. Da unmittelbar kein Nachweis für die Funktionen des Stirnhirns möglich war, wurde es noch in den 50-er Jahren als *stumme Zone* bezeichnet. Außerdem liegt hier, wie verschiedene Anatomen annehmen, noch der wesentliche *Evolutionsdruck*, denn immer, wo er zuvor vorlag, zeichneten sich die Windungen im Schädel ab. Dies gilt beim Menschen aber nur noch für das Stirnhirn. Aus all diesen Fakten ist es sehr naheliegend, daß im Stirnhirn die *komplexen geistigen Funktionen* verankert sind. Faktisch sprechen hierfür die seltenen Fälle, bei denen Kinder ohne Stirnhirn geboren werden. Sie besitzen praktisch keine Fähigkeit zum Lernen. Bewiesen ist bisher vor allem, daß vom Stirnhirn die Persönlichkeit des Menschen stark beeinflußt wird. Hierzu existieren einige Fakten:

Im September 1848 erlitt der amerikanische Eisenbahnvorarbeiter PHINEAS GAGE einen Unfall infolge einer falsch angelegten Sprengung. Dabei durchdrang eine Eisenstange von 1 m Länge und 4 cm Durchmesser von der Stirn her seinen Kopf und verließ ihn an der Schädeldecke. GAGE lebte danach noch 12 Jahre in jeder Hinsicht voll leistungsfähig. Doch seine Persönlichkeit wurde zunehmend oberflächlicher. Ähnliches wurde später im Zusammenhang mit Gehirntumoren im Stirnhirn festgestellt. Seit etwa 1935 erfolgte bei Menschen mit starken und sonst nicht zu beeinflussenden Zwangsneurosen usw. die *Leukotomie*. Dabei wurde das Stirnhirn entsprechend Abb. 4.26 abgetrennt. Diese Operationen erwiesen sich zunächst als sehr erfolgreich. Erst später wurden die Nebenwirkungen bekannt. Der Leukotomierte lebt in einer sorglosen Gegenwart. Er hat weder für die Vergangenheit noch für die Zukunft Interesse. Er besitzt ein stark herabgesetztes Pflicht- und Verantwortungsbewußtsein. Sowohl Hemmungen als auch Zielorientierungen fehlen ihm. Physisch ist er robust bis schwerfällig. Er liebt ein bequemes, ruhiges Leben. Folglich vermittelt das Stirnhirn zwischen Emotionalität und Rationalität. Es ist wesentlich für Ethik und Moral.

Bis vor kurzer Zeit wurde angenommen, daß die beiden Hemisphären (mit Ausnahme) der Sprache gleichwertig sind und dieselben Funktionen (aus Sicherheitsgründen also) ausführen. Hierfür sprachen auch einige spezielle Fälle. Wenn z. B. im

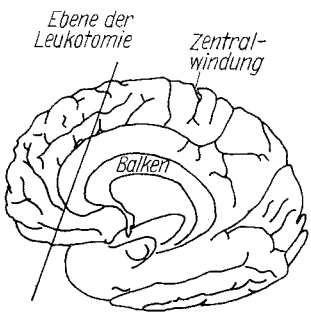


Abb. 4.26 Lage der Ebene der Leukotomie (Abtrennung wesentlicher Teile des Stirnhirnes [G7; G8; L5].

frühen Kindesalter eine Hemisphäre fehlte, konnte die andere noch alle Funktionen übernehmen. Es trat lediglich ein Verlust in einer Hälfte des Gesichtsfeldes auf, und die Extremitäten der entgegengesetzten Seite waren etwas schwerfälliger. Ansonsten wurde der Betroffene zu einer voll wahrnehmenden, denkenden, fühlenden und sich mitteilenden Persönlichkeit mit fast unverminderter Intelligenz. In der Literatur sind weiter etwa 17 Fälle beschrieben, wo der *Balken* als Verbindung zwischen den Hemisphären *von Geburt an fehlte*. Auch sie hatten zu Lebzeiten keine Besonderheiten gezeigt. So entschlossen sich amerikanische Mediziner in den dreißiger Jahren, bei Epileptikern den Balken zu durchtrennen, damit die Anfälle auf eine Hemisphäre beschränkt blieben. Bis in die fünfziger Jahre wurden hierbei keine feststellbaren Folgen bemerkt. Erst sehr ausgeklügelte Experimente brachten Ergebnisse. Hiernach dürfte heute feststehen, daß den beiden Hemisphären doch unterschiedliche Aufgaben bereits genetisch (z. T. sogar bei den Primaten) zugeordnet sind. Stark vereinfacht und verdichtet faßt die Fakten Tab. 4.12 zusammen. Nur die linke Hemisphäre verfügt über

Tabelle 4.12 Verschiedene spezifische Leistungen der beiden getrennten Großhirnhemisphären [S45]

Linke Hemisphäre	Rechte Hemisphäre
Verbindung zum Bewußtsein	keine Verbindung zum Bewußtsein
verbale Sprache	nur averbale Sprache
Begriffe	Musikalität
Analyse	Bild- und Formgefühl
logische Folgerungen	Synthese
Arithmetik und Rechnen	Ganzheitserfassung
	Geometrie und Raumerfassung

die verbale Sprache und das Bewußtsein, was die Aussage der Klassiker des Marxismus – „die Sprache und mit ihr das Bewußtsein" — auf neue signifikante Weise präzisiert. Der moderne Mensch vernachlässigt vielfach zu seinem Nachteil, die Fähigkeiten der rechten Hemisphäre effektiv auszubilden und zu nutzen. Hier liegen offensichtlich noch erhebliche Reserven.

Es sei erwähnt, daß bei den „hirngespaltenen" Personen in den Experimenten die beiden Hirnhälften echt in Widerstreit geraten können. Der *Balken integriert* das Gehirn also so, daß eine *Gesamtpersönlichkeit* entsteht.

Insgesamt ist das Großhirn vor allem für die höheren psychischen Funktionen verantwortlich. Bei niederen Wirbeltieren bedeutet ein *Verlust des Endhirns* daher keine wesentliche Beeinträchtigung ihres Verhaltens. Alle *lebenswichtigen Funktionen* werden ja *vom Stammhirn* realisiert. Selbst bei Hunden ohne Endhirn sind noch alle wesentlichen psychologischen Funktionen erhalten. Sie zeigen Hunger, Durst, Freude, Zufriedenheit, Wut und Müdigkeit. Bezüglich der Umwelt verhalten sie sich aber fast völlig teilnahmslos. Obwohl sie sehen und hören können, besitzen sie kein Vermögen zu lernen. Auch lassen sie jeden Antrieb vermissen. Noch stärker tritt dies natürlich bei menschlichen Mißgeburten ohne Großhirn auf. Dies darf aber nicht dazu führen, die Bedeutung des Großhirns überzubewerten, denn ohne Hirnstamm und Rückenmark vermag das Endhirn so gut wie nichts. *Erst das Zusammenwirken aller Hirnteile*, also auch die *Einheit von Emotionalität und Rationalität*, macht eine Persönlichkeit aus.

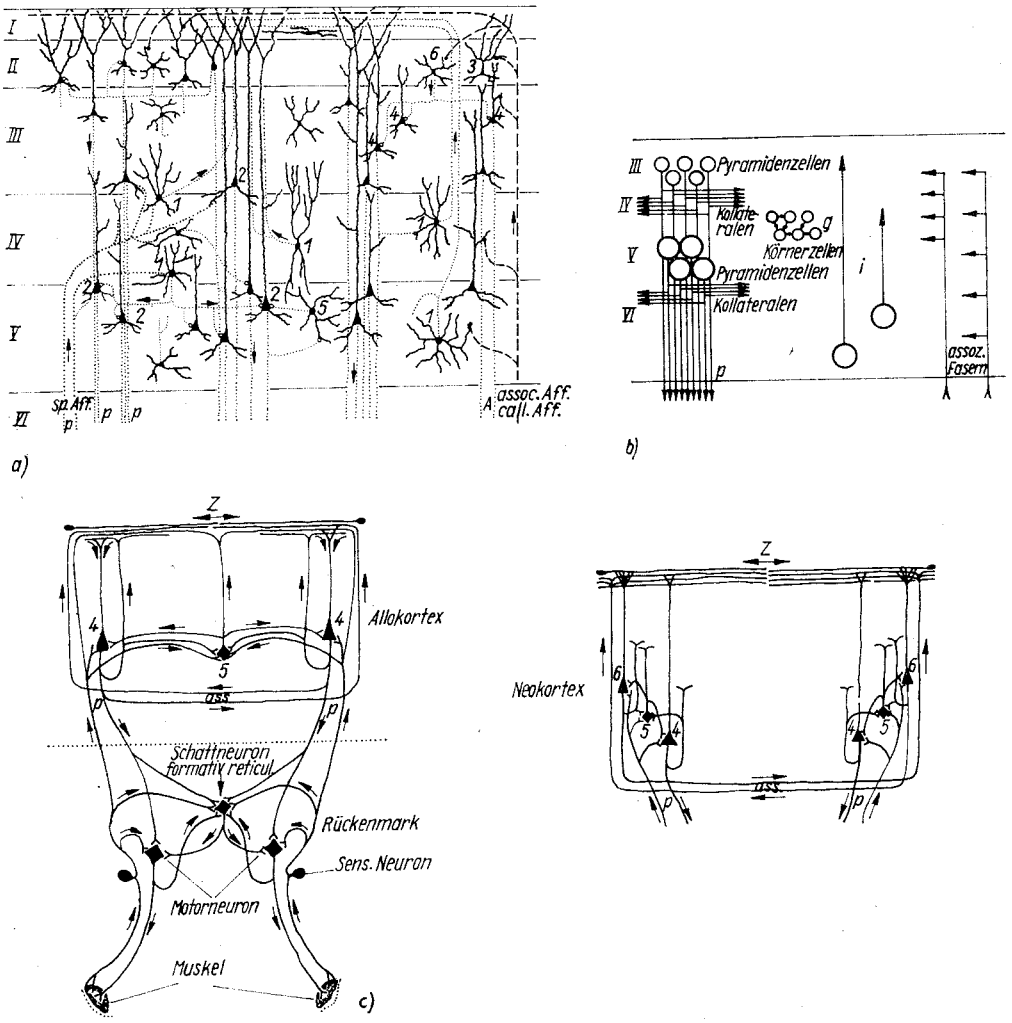


Abb. 4.27 Verschaltung von Nervenzellen im Kortex [B13; B20; B21; K16; R3; S23; V5; W16]

a) Darstellung, die noch weitgehend Abb. 4.23 entspricht, jedoch bereits die prinzipiellen Verschaltungen betont. Die speziellen Afferenzen (*Projektionsfasern* P) kommen von anderen Hirngebieten und dem Rückenmark. Sie greifen an die horizontalen Dendritenbäume von Pyramidenzellen der Schicht III und V aber auch an Sternzellen (1) an, die dann ihrerseits auf die Pyramidenzellen (2) einwirken. Die *Assoziationsfasern* aus anderen Gebieten des Großhirns steigen u. a. in die höheren Schichten auf und greifen dort an die oberen Dendritenzweige der Pyramidenzellen (3) bzw. an Körnerzellen (6) an, die ihrerseits auf Pyramidenzellen einwirken. Weiter sind Zellen (i) mit aufsteigenden Axons und eine rekurrent hemmende Zelle 5 aufgeführt,

b) stark vereinfacht, entsteht diese schematische Anordnung,

c) Beim Übergang vom Allo- zum Neokortex entstehen u. a. zusätzliche Rückkopplungskreise infolge der kleinen Pyramidenzellen. In diesem Bild ist rechts (dieser Teil ist wie links ergänzt zu denken) der Zusammenhang der Projektierungsfasern in dem speziellen Fall der Motorik gezeigt.

Zum Abschluß sei kurz auf wenige, prinzipielle *Verschaltungen im Kortex* eingegangen. Hierfür gibt Abb. 4.27 eine sehr kleine Zusammenstellung. In ihr werden nebeneinander gezeigt: die allgemeine Anordnung von Nervenzellen und deren Verschaltung (a) das stark vereinfachte Prinzip der Ausstrahlung der Axons (b) und die Zusammenschaltung der motorischen Projektionsfasern mit der Formatio reticularis und dem Rückenmark sowie die Unterschiede von Allo- und Neurokortex. Leider gibt es z. T. kaum Vorstellungen darüber, wie das generelle Zusammenwirken der Neuronen im Kortex erfolgt. Einige wenige Hinweise werden noch in den folgenden Abschnitten gegeben. Außerdem ist hier die Entwicklung z. Z. stark im Fluß, so daß bald mehr Details bekannt sein dürften.

5. Sehen

5.1. Allgemeines zu Sinneszellen

Bereits zu Anfang von Kapitel 3 wurde auf die Rezeptoren (Sinneszellen) zur Reizaufnahme hingewiesen. Obwohl dieser Abschnitt bevorzugt dem Gesichtssinn (also dem Sehen) gewidmet ist, soll eine kurze Einführung zu den *Sinneszellen* erfolgen.

Mit den Sinneszellen nimmt jeder Organismus eine große Vielfalt von Reizen auf. Dementsprechend vielgestaltet sind auch die Sinneszellen. Im weiteren werden nur zwei spezielle, die Sehzellen und Hörzellen, behandelt. Ein Mechanorezeptor, die Muskelspindelzelle, wurde bereits kurz im Zusammenhang mit Abb. 4.14 erfaßt. Auch die Anzahl von Sinneszellen ist groß. Säuger besitzen etwa insgesamt 10^8.

Die Vielfalt der Sinneszellen erschwert ganz wesentlich ihre Systematik. Hier seien sie nach fünf im wesentlichen unabhängigen Gesichtspunkten eingeteilt:

- *Innen- bzw. außenweltbezogene Rezeptoren* (Intero- bzw. Exterorezeptoren). Bei den innenweltbezogenen erfolgt meist eine weitere Einteilung in *Eingeweide-* (Viscero-) und *Bewegungsrezeptoren* (Propriro-). Die *Schmerzrezeptoren* nehmen eine gewisse Sonderstellung ein.
- *Modalität.* Die Rezeptoren reagieren meist auf *spezifische Reizarten,* vor allem auf *chemische* (Geruch, Geschmack, Luftfeuchte usw.), *thermische* (heiß-kalt), *mechanische* (Druck, Schwerkraft, Vibration, Schall usw.), *elektromagnetische* (Licht) und seltener auf *elektrostatische* (z. T. Seitenlinienorgan der Fische und Amphibien) Reize. Teilweise werden noch magnetische Rezeptoren vermutet. Die Modalität ist also vielfältiger, als es den „fünf Sinnen" entspricht. Prinzipiell sind die Sinneszellen besonders für die jeweils spezifischen Reizarten empfindlich. Sie sind aber auch mit nicht adäquaten Reizen beeinflußbar, allerdings sind sie dann weniger unempfindlich. Empfunden wird aber vom Organismus stets ein adäquater Reiz, z. B. bei elektrischer Reizung der optischen Nerven oder mechanischen Schlag auf das Auge stets Licht.
- *Morphologie bzw. Ontogenese.* Hier werden *drei Typen* unterschieden (s. Abb. 5.1).
- *Einzelne Sinneszellen oder* ihre Zusammenfassung zu einem *Sinnesorgan.* Beim Sinnesorgan wird der entsprechende Reiz zunächst über eine spezielle Reizleitung vorbeeinflußt (Auge: dioptrischer Apparat; Gehör: Trommelfell, Gehörknöchelchen, Schnecke), dann den Sinneszellen zugeführt und in unmittelbarem Anschluß, meist noch im Sinnesorgan selbst, bereits vorverareitet.
- *Reiz-Reaktions-Verhalten.* Es kann unter zwei Gesichtspunkten beschrieben werden: einmal in Form einer Kennlinie zwischen Reizstärke und Impulszahl und zum anderen bezüglich des zeitlichen Ablaufs (s. Abb. 5.2). Bei der Kenn-

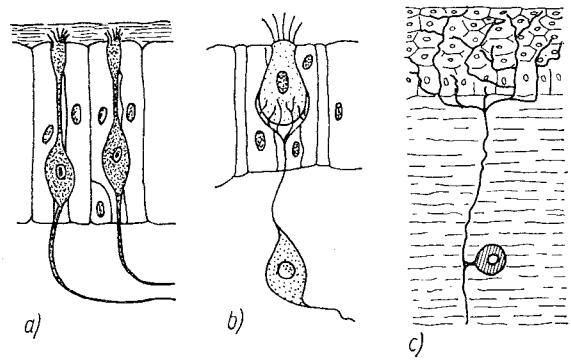


Abb. 5.1 Die drei Rezeptortypen [B13; K32; K42; R10; V5]
a) primäre Sinneszellen sind umgewandelte Nervenzellen,
b) sekundäre Sinneszellen sind umgewandelte Epithelzellen. Sie stehen über Synapsen mit Dendritenverzweigungen bzw. afferenten Nervenfasern eines Neurons in Verbindung. Diese Sinneszellen waren bis vor kurzem nur bei Wirbeltieren bekannt. Inzwischen wurden sie auch für mehrere Wirbellose beschrieben.
c) *Sinnesnervenzellen.* Hierbei verzweigen sich die Dendriten eines Neutrons im Epithel als freie Nervenendigungen. Es liegt meist keine spezifische Reizmodalität vor. Dadurch sind die Sinnesnervenzellen auch relativ unempfindlich.

linie sind in etwa drei Fälle zu unterscheiden:

- *Linearer Kennlinienteil.* Er tritt vor allem bei Innenweltrezeptoren auf,
- *logarithmischer Kennlinienteil,* der für fast alle außenweltbezogenen Rezeptoren typisch ist. Hier liegt nämlich eine viel größere, z. T. über viele (Auge und Ohr reichlich 6) Zehnerpotenzen gehende Reizabstufung vor,
- *Kennlinien mit Maxima,* z. B. bei Kalt- und Warmfasern.

Bei den ersten beiden Kennlinien können als typische Kennwerte eine *Ruheaktivität* und eine *Schwelle* auftreten. Die Ruheaktivität folgt oft unmittelbar aus der hohen Empfindlichkeit der Rezeptoren und ist dann z. T. thermodynamisch, also statistisch begründet. Die Schwelle ist der kleinste Reizwert, welcher noch biologisch feststellbar ist. Er liegt z. T. sehr niedrig, z. B. beim Gehör zwischen 0,8 und $4 \cdot 10^{-17}$ Watt und beim Auge bei $6 \cdot 10^{-17}$ Watt. Es wird bereits auf Schwingungsamplituden weit unterhalb eines Atomdurchmessers bzw. auf einzelne Photonen reagiert. Da andererseits die Leistung eines Aktionspotentials bei 10^{-11} Watt liegt, erfolgt in der Sinneszelle eine *beträchtliche Verstärkung.* Die hierzu *notwendige Hilfsenergie* stammt aus dem Stoffwechsel der Zelle.

Bezüglich des Zeitverlaufs kann man fünf Fälle unterscheiden:

- *tonischer Verlauf.* Hier folgt der Impuls annähernd dem zeitlichen Verlauf des Reizes. Die Kennlinien gelten also unabhängig von der Zeit,
- *tonischer Verlauf mit Verzögerung.* Es existieren Zeitkonstanten, die ein zusätzliches Ein- bzw. Ausschwingen bewirken (technisch betrachtet liegt also eine Zeitkonstante vor),

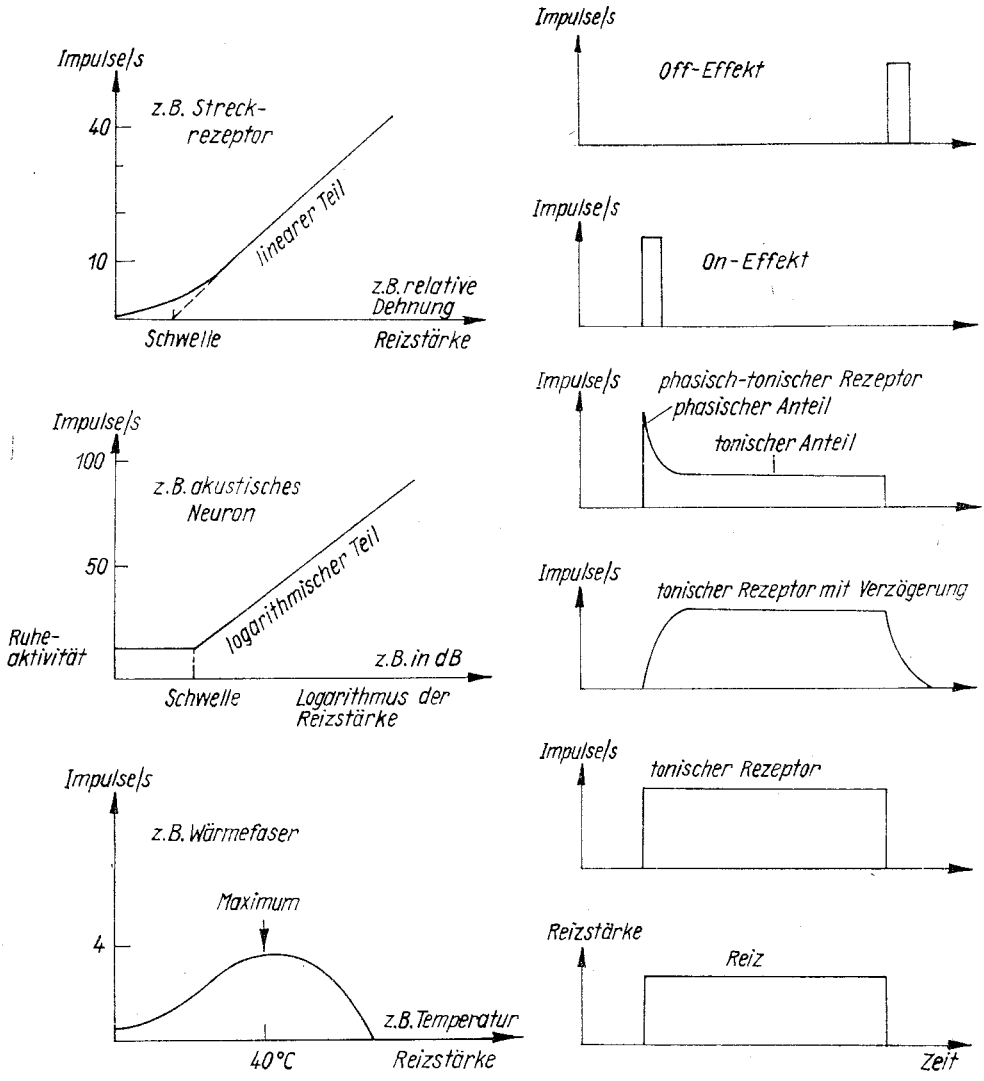


Abb. 5.2 Zum Reiz-Reaktions-Verhalten von Sinneszellen: Links bezüglich der Kennlinie: Input = Reizstärke und Output = Impulse je Sekunde. Rechts bezüglich des Zeitablaufes bei einem länger anhaltenden Reiz mittlerer Intensität [B13; R10; S20; V5; W16].

- *phasischer Verlauf.* Er ist in der Praxis immer mit einem tonischen Anteil gekoppelt. Es wird davon gesprochen, daß sich die Sinneszellen auf diesen Wert adaptiert. Technisch entspricht dieses Verhalten einem D-Anteil (D von Differentation),
- *On-Effekt.* Es wird hierbei nur auf den Beginn eines Reizes reagiert,
- *Off-Effekt.* Es wird nur auf das Ende eines Reizes regiert.

Der On- bzw. Off-Effekt kann auch als ein extrem stark ausgeprägtes phasisches Verhalten interpretiert werden.

Ganz im Gegensatz zu diesen vielfältigen Einteilungen ist das funktionelle Verhalten aller Sinneszellen recht einheitlich. Der Reiz bewirkt eine *Permeabilitätsänderung* der Membran vor allem für Natriumionen. Dadurch ändert sich das *Ruhepotential der Zelle*. Hierbei wird, solange der Reiz unterschwellig bleibt, vom *Generatorpotential* gesprochen (Rezeptorpotential). Es ist eine analoge Größe. Sie breitet sich elektrotonisch über die Zelle aus und kann auch längere Zeit bestehen bleiben. Aus ihr wird dann je nach Größe eine Folge von Impulsen, d. h. *Aktionspotentialen*, gebildet. Meist sind die Orte der Generatorpotentiale und der Aktionspotentiale getrennt. Die Sinneszelle wandelt primär die spezifische Reizmodalität in das elektrochemische *Generatorpotential* um. Bereits hierbei erfolgt die *Verstärkerwirkung*. Dann folgt erst die Auslösung der Aktionspotentiale. Das Generatorpotential kann auf das Aktionspotential entweder erregend oder hemmend wirken. Insbesondere bei den Hör- und Sehrezeptoren höherer Säugetiere sind in der letzten Zeit Mechanismen bekannt geworden, welche es gestatten, die *Empfindlichkeit zu verstellen*. Sie beruhen darauf, daß zusätzlich eine efferente Faser mit einer Synapse aus der Sinneszelle angreift.

5.2. Allgemeines zum Sehen

Die Tierwelt verfügt vom einfachen Einzeller bis zu hochentwickelten Lebewesen über die Fähigkeit, *Licht wahrzunehmen. Selbst Pflanzen* stellen ihre Blätter und Blüten so, daß sie optimal beleuchtet werden. Die Lichtempfindlichkeit zählt mit zur ursprünglichsten Reizaufnahme-Bereitschaft aller Lebewesen. Dementsprechend gibt es auch eine Vielzahl von Licht-Rezeptoren, und daraus baut sich eine weitere Vielzahl spezieller Sinnesorgane auf. Generell scheint es so zu sein, daß die niederen Tiere viele, aber einfache lichtempfindliche Organe besitzen. Bis zu tausend sind dabei durchaus möglich. Mit der Höherentwicklung werden diese immer mehr zu wenigen, spezialisierten Organen konzentriert. Bei den Gliedertieren sind es etwa bis zu zehn, wobei zwei Hauptaugen und wenige einfachere Nebenaugen, Ozellen genannt, besonders häufig sind. Selbst bei den niederen Wirbeltieren existiert neben den beiden Hauptaugen zuweilen noch ein drittes, daß später der Epiphyse entspricht. Aus dieser Fülle seien zunächst die verschiedenen *qualitativen Leistungen* gestreift: Die einfachste Stufe liegt dann vor, wenn nur *hell und dunkel* festgestellt werden kann. Dies ist z. B. bei vielen Einzellern, aber auch noch beim Regenwurm der Fall. Neben speziell hierfür ausgebildeten Sensoren liegt hier oft eine Fotosensibilität der ganzen Haut vor. Wird der Rezeptor bis auf eine Seite von lichtabschirmenden Pigmenten umgeben, so entsteht die Möglichkeit eines gewissen *Richtungssehens*. Es kann mit der Kombination verschieden ausgerichteter Rezeptoren und deren Verschaltung im Gehirn weiter verbessert werden. Werden derartige Sinnesorgane an verschiedenen Körperstellen angeordnet, so kann aus dem Unterschied der Richtungen auch bereits auf die *Entfernung der Lichtquelle* geschlossen werden.

Mittels einer Analyse der zeitlichen Folge von Richtungen kann *Bewegungssehen* realisiert werden. Hierzu sind mehrere, speziell verschaltete Richtungsrezeptoren notwendig. Mit einer statischen Richtungsabbildung läßt sich ein *Formsehen* ermöglichen. Diese Stufe wurde offensichtlich nur *in drei Tierstämmen* verbunden mit den

höchstentwickelten Nervensystemen erreicht, nämlich bei vielen Gliedertieren mit dem Facettenauge, bei einigen Weichtieren mit dem Tintenfischauge und bei den Wirbeltieren mit dem Kameraauge. (Es ist auffällig, daß das Facettenauge mit dem Außenskelett der Gliedertiere und das Kameraauge mit dem Innenskelett der Wirbeltiere gekoppelt auftreten). Sind zwei Augen mit Formensehen zumindest teilweise auf das gleiche Gesichtsfeld gerichtet, so ist *räumliches Sehen* möglich. Durch die nahezu gleiche Achsenrichtung und hohe Richtungsauflösung unserer beiden Augen verfügen wir über diese Fähigkeit besonders ausgeprägt.

Eine weitere Spezifik der Lichtrezeptoren besteht darin, daß sie betont auf *unterschiedliche Wellenlängen* ansprechen. Durch Kombination von Rezeptoren für mehrere Wellenlängen wird *Farbsehen* möglich. Es kommt ebenfalls nur bei den drei o. g. Tierstämmen vor, jedoch bei keinem Stamm durchgehend. So gelten sogar bei den

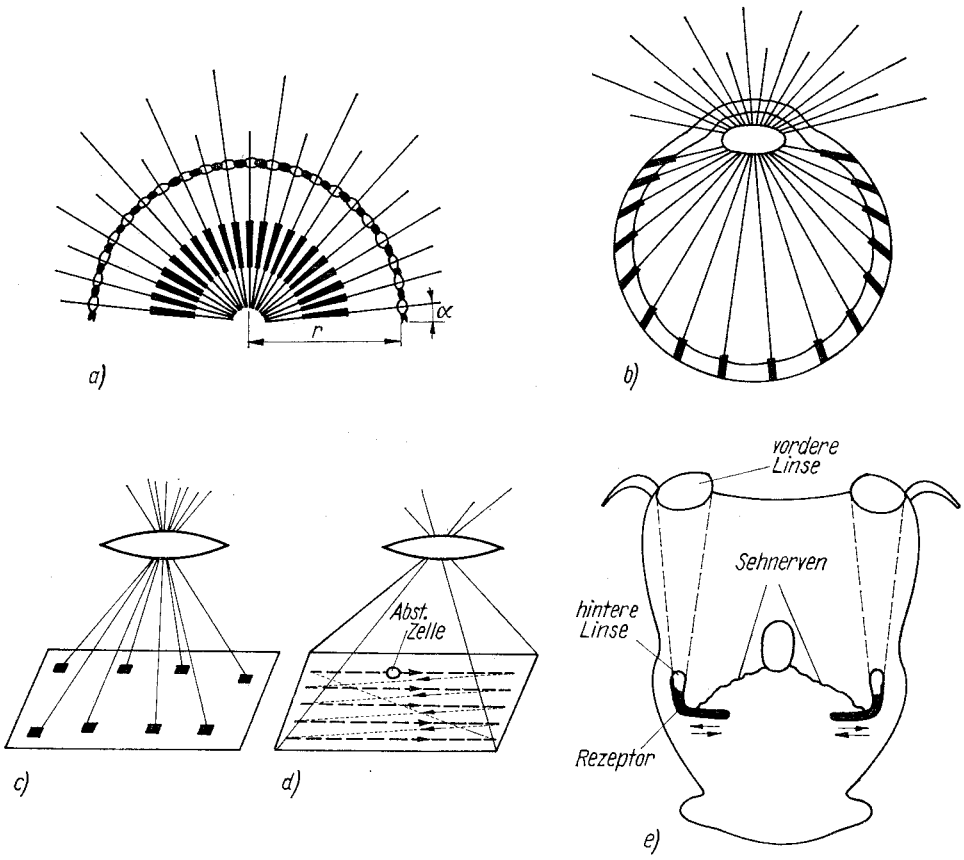


Abb. 5.3 Prinzipien optischer Formenabbildung
a) Prinzip des Facettenauges,
b) Prinzip des Kameraauges,
c) Fotografie,
d) Bildabtastung beim Fernsehen,
e) Abtastprinzip beim Ruderfußkrebs durch ständige Bewegung der beiden Rezeptoren mit ihren Linsen.

Säugern u. a. Ratten, Kaninchen und Halbaffen als farbblind. Besonders farbtüchtig sind die Affen und der Mensch.

Für das Formsehen ist eine optische Abbildung der Umwelt auf unterschiedliche Fotorezeptoren notwendig. Hierfür hat die Natur zwei Wege gefunden und bis an die Grenze der physikalischen Möglichkeiten ausgenutzt: das Facetten- und das Kameraauge (Abb. 5.3). Im ersten Fall enthält jeder Rezeptor seine Optik und ist dabei so gestaltet, daß er nur aus einem kleinen Raumwinkel Licht empfängt. Benachbarte Raumwinkel werden von Nachbarrezeptoren abgetastet. Beim Kameraauge sind die Rezeptoren auf der inneren Oberfläche einer Blase als Retina angelagert und werden über eine Linse gemeinsam beleuchtet. Bei beiden Augenarten werden Lichtempfindlichbeit und Winkelauflösung durch absolute Größe der Augen begrenzt. Vereinfacht seien hier nur die Beugung und chromatische Aberration bezüglich der Winkelauflösung betrachtet. Beim Facettenauge nimmt die Auflösung mit der Anzahl der Einzellinsen zu. Infolge der Beugung ist bezüglich einer Wellenlänge λ und einer Öffnungspupille d bestenfalls aber nur ein Winkel von

$$\alpha = 1{,}22\lambda/d \tag{1}$$

auflösbar. Für kleine Winkel sind Argument und Sinus gleich. Daher ergibt sich bei einem Radius r des Facettenauges die Grenze durch Beugung zu

$$d/r = 1{,}22\lambda/d\,, \tag{2}$$

also

$$d \approx \sqrt{\lambda r}\,. \tag{3}$$

Bei einer Untersuchung von 27 Hautflüglern wurde diese Beziehung mit guter Näherung bestätigt [B16].

Beim Kameraauge könnte durch eine entsprechend große Linse gemäß Gl. (1) theoretisch die Auflösung wesentlich weiter getrieben werden. Hier wirken dann aber die chromatischen Fehler nachteilig. Sie sind umso größer, je größer der wahrnehmbare Wellenlängenbereich und je größer die Linse selbst ist. Für das menschliche Auge sind die beiden Fehler durch *Beugung* und *chromatische Aberration* bei einer Pupille von etwa 3 mm gleich groß. Hier hat das Auge seine höchste Auflösung. Bei größerer Pupille überwiegen die chromatischen und bei kleinerer die Beugungsfehler. Aus diesem Grunde wird die Pupille in ihrer Fläche auch nur um den Fakotr 10 ... 15 variiert, obwohl die Lichtverhältnisse bis um 10^6 schwanken. So wird verständlich, warum Insekten noch ultraviolettes Licht wahrnehmen, aber Wirbeltiere nicht. Beim Adler mit der höchsten Sehschärfe fehlt sogar schon die Wahrnehmungsfähigkeit für blaue Farben, denn nur so läßt sich das hohe Auflösungsvermögen bei verminderter chromatischer Aberration und großer Pupille realisieren. Somit bestimmt vor allem die absolute Augengröße die Auflösung. Deshalb besitzen kleine Tiere oft relativ große Augen.

Im Gegensatz zur Biologie verwendet die *Technik*, von ganz seltenen Ausnahmen abgesehen, nur plane lichtempfindliche Flächen. Dabei sind dann weiter zwei Prinzipien zu unterscheiden, nämlich die *parallele Lichtpunktverarbeitung*, z. B. beim Fotofilm, und das Abtastprinzip des Fernsehens (Abb. 5.3c und d). Es ist interessant, daß die Natur offensichtlich auch das Abtastprinzip versucht hat. EXNER hat es

bereits 1881 beim Weibchen der sehr kleinen Ruderfußkrebse (Copepoda) Copilia quadrata beobachtet (Abb. 5.3e). Der hintere Linsenzylinder führt im Kopf des Tieres ständig Bewegungen mit einer Abtastperiode von 0,5 bis 5 Sekunden aus. Zwischen beiden Augen besteht hierbei eine Korrelation. Offensichtlich hat sich dieses Prinzip in der Natur aber nicht bewährt.

Ein anderes technisches Prinzip, das in der Natur nicht zu finden ist, besteht in der Variooptik (Zoom) mit veränderlicher Brennweite. Vielleicht lag hierzu kein Bedürfnis vor, da ja beim Kameraauge Stellen unterschiedlicher Auflösung existieren und somit das Auge dann nur in die passende Richtung bewegt zu werden braucht.

5.3. Facettenaugen

Das Facettenauge dürfte etwa $5 \cdot 10^8$ Jahre alt sein. Es besteht aus unterschiedlich vielen Einzelelementen, den Ommatidien (Abb. 5.4). Einen Überblick zu ihrer Anzahl gibt Tab. 5.1. Jedes Ommatidium seinerseits besteht wiederum aus 3 bis 11 *Rezeptorzellen*, bei den Insekten meist 7 bis 8. Den Aufbau eines Ommatidiums zeigt Abb. 5.4c. Das Licht wird über die zwei Linsen Cornea und Kristallkegel auf die sieben *Sinneszellen* geleitet. Sie enthalten zentral den Rhabdomer. Er wird von den sieben Zellen gemeinsam entsprechend Teilbild 5.4d gebildet und besteht aus einer Vielzahl (je Zelle etwa 10^5) wohlgeordneter und in den Zellen unterschiedlich ausgerichteter *Mikrovilli* (s. Schraffur im Teilbild d). Die Mikrovilli sind wenige Mikrometer lange Röhrchen mit einem Durchmesser von etwa 50 nm. In der Membran der Mikrovilli ist die lichtempflindliche Substanz, das Rhodopsin, gemäß Abb. 5.4g eingelagert. Je Mikrovilli sind es ca. 2500 Moleküle. Die Ausrichtung der Mikrovilli bewirkt, daß die einzelnen Rezeptoren auf die *Polarisationsrichtung* des Lichtes ansprechen. Der Dikroismus liegt dabei etwa zwischen 2 und 10. In den einzelnen Sehzellen sind noch Pigmente zur Lichtabsorption vorhanden (Punkte in Abb. 5.4c und d). Sie können sich je nach den Lichtverhältnissen mehr oder weniger dicht zu dem Rhabdomer verlagern. Die Verschaltung der Rezeptorzellen der verschiedenen Ommatidien ist genetisch streng determiniert und erfolgt unmittelbar anschließend im ersten Teil der drei folgenden Nervenzellverschaltungen (Lamina ganglionaris). Entsprechend der Anzahl der Ommatidien wird von den Gehirnen der Gliedertiere hierauf oft ein

►

Abb. 5.4 Aufbau des Insektenauges [G6; G15]
a) Schnitt durch ein Auge der grauen Fleischfliege Sarcophage mit Teilen des Lobus opticus,
b) stärkere und schematische Betonung des zum Auge gehörenden Gehirns Lobus opticus, bestehend aus der Lamina ganglionaris, Medulla externa und Lobula sowie Lobularplatte,
c) prinzipieller Aufbau eines Ommatidiums der Biene,
d) waagrechter Schnitt durch ein Ommatidium mit Hervorhebung der Rhabdomere und der in ihnen vorliegenden gerichteten Mikrovilli,
e) Prinzip der Zusammenschaltung der einzelnen Rezeptoren in den Rhabdomeren bezüglich der Strahlen aus einer Richtung,
f) schematisches Prinzip von oben gesehen, die schwarzen Punkte erhalten Licht aus der gleichen Richtung und sind neuronal zusammengeschaltet,
g) prinzipieller Aufbau der Mikrovilli mit Einlagerung der Rhodopsinmoleküle.

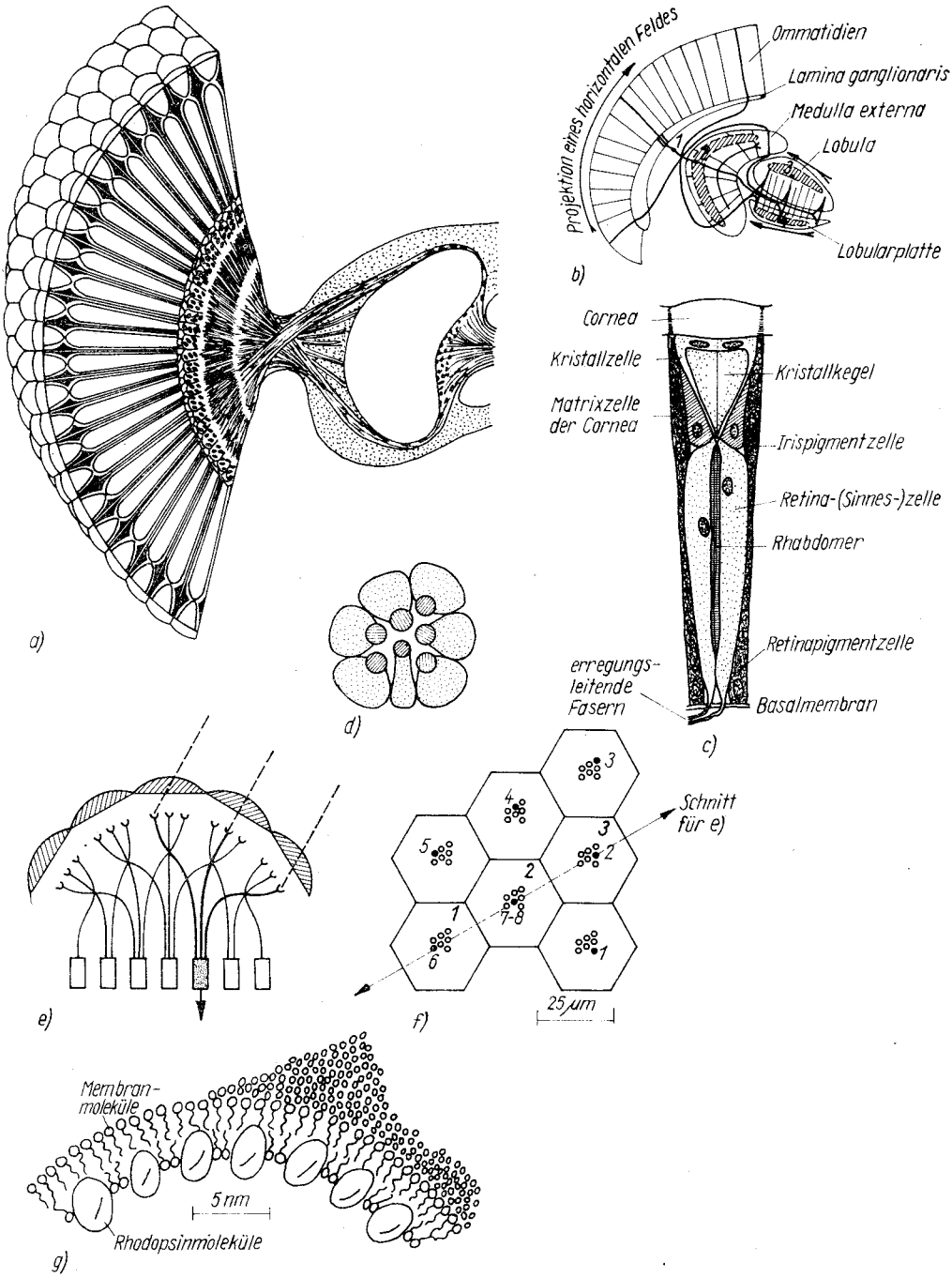

a)
b)
Projektion eines horizontalen Feldes
Ommatidien
Lamina ganglionaris
Medulla externa
Lobula
Lobularplatte
c)
Cornea
Kristallzelle
Matrixzelle der Cornea
Kristallkegel
Irispigmentzelle
Retina-(Sinnes-)zelle
Rhabdomer
Retinapigmentzelle
Basalmembran
erregungsleitende Fasern
d)
e)
f)
Schnitt für e)
25 µm
g)
Membranmoleküle
5 nm
Rhodopsinmoleküle

Tabelle 5.1 Anzahl der Ommatidien in einem Auge bei einigen Insekten
[B13 B21 G1 K42 S40 N18]

Art	Anzahl
Silberfisch	12
Mauerassel	19
Gemeiner Ohrwurm	270
Leuchtkäferweibchen	300
Ameisenarbeiterin	600
Laufkäfer	700
Wüstenameise	1200
Leuchtkäfermännchen	2500
Sandkäfer	3150
Hausfliege	3200
Honigbiene (Königin)	3900
Maikäfer	5100 (5475)
Schmeißfliege	5400
Honigbiene (Arbeiterin)	5500
Taschenkrebs	6000
Honigbiene (Drohn)	7500
Libellen	$1 \ldots 3 \cdot 10^3$

Großteil aller Nervenzellen des Gehirns verwendet. Diese *Verschaltung* dient u. a. dazu, die *Lichtempfindlichkeit* zu erhöhen. Beim Licht aus einer Richtung wirken eben 7 Ommatidien zusammen. Ferner wird durch weitere Verschaltung eine besonders hohe *Empfindlichkeit für Bewegungen* erreicht.

Die *Auflösung* der Facettenaugen ist entsprechend den physikalischen Möglichkeiten nicht sehr groß. Sie liegt meist bei einigen Grad, z. B. Libelle 1°, Biene 1,4°, Marienkäfer 2,9° und Grünrüsselkäfer 7°. (Zum Vergleich sei ergänzt, daß die Sonne und der Vollmond von der Erde aus etwa 0,5° groß erscheinen.) Dementsprechend können Bienen auch nicht Kreise, Quadrate und Dreiecke von dieser Größe unterscheiden. Infolge der extrem ausgeprägten Richtcharakteristik der einzelnen Ommatidien und zusätzlicher *lateraler Inhibition* (s. Abschn. 4.7.) können Tiere mit Facettenaugen aber sehr genau *bewegte Gegenstände*, z. B. Streifen, wahrnehmen. Auf der steilen Flanke der Richtcharakteristik entstehen dabei starke Änderungen der Erregung der Rezeptoren. So reagieren Schmeißfliegen noch auf bewegte Streifen von nur 4′ Breite, die also nur 5% der Richtcharakteristik eines einzelnen Ommatidiums ausmachen.

Die einzelnen *Mikrovilli* der Rezeptoren eines Rhabdomers sind nicht nur unterschiedlich ausgerichtet, sondern sprechen z. T. auch auf *verschiedene Farben* an. Das trichromatische Sehen der Biene soll erst in der Kreidezeit mit dem Aufkommen der *Blütenpflanzen*, also vor etwa 10^8 Jahren, entstanden sein. Die Verschaltungen und Eigenschaften der Rezeptorzellen sind oft für die einzelnen Blickrichtungen des Auges unterschiedlich. So liegen die betont *polarisationsempfindlichen Zellen* bei der Biene im Horizontalbereich um 40°. Hiermit wird der wolkenfreie Teil des Himmels zur Orientierung auf den Sonnenstand abgetastet. Die zugehörige Verschaltung liegt wahrscheinlich in der Medulla externa (vgl. Abb. 5.4b). Die nähere Umgebung der Bienen wird von den Grünrezeptoren wahrgenommen. Ihre Verschaltung erfolgt bereits in der Lamina.

Das Aussehen der Ommatidien, der Rhabdomere und auch die Verschaltung ist bei den einzelnen Gliedertieren stark unterschiedlich. Bei den Krebsen z. B. sitzt das Auge auf einem Stil, in dem 4 Ganglien enthalten sind. Ferner sind die Rhabdomere hier stark ineinander verschachtelt angeordnet.

5.4. Das menschliche Auge

Den Aufbau des menschlichen Auges zeigt Abb. 5.5a. Weitere Details des zugehörigen Aufbaus gehen aus Tabelle 5.2 hervor. Wesentlich für die Leistungen des Auges ist die *Netzhaut* (Retina). Ihre Eigenschaften schwanken stark in Abhängigkeit vom Ort (Abb. 5.5b). Deshalb seien zunächst die Mittelwerte besprochen (s. Tab. 5.3 und

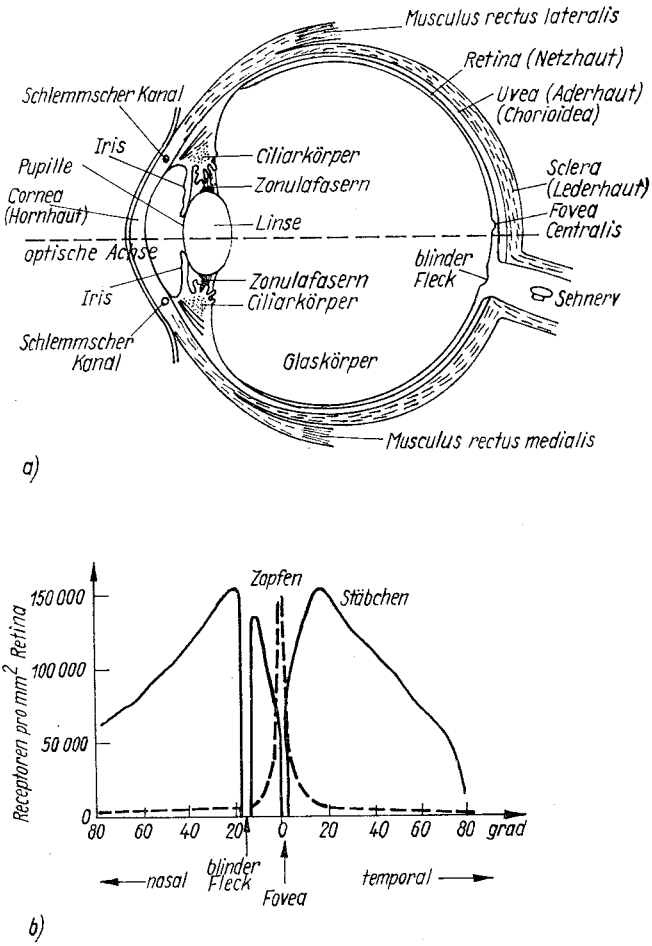


Abb. 5.5 Aufbau des menschlichen Auges (a) und Verteilung der Zäpfchen und Stäbchen auf der Netzhaut (b) [A12; G1; G6; G12; G15; K32; K42; N13; R10; V5; V16].

Tabelle 5.2 Übersicht zum Aufbau des menschlichen Auges
Durchmesser des Augapfels etwa 24 mm [B14; B17; C9; R19; S20; T4; V16]

1. *Schichten des Augapfels*

	vorderer Teil	hinterer Teil
Stützschicht (äußere Haut = Tunica fibrosa bulbi)	Hornhaut (Cornea) Dicke ca. 1 mm Krümmungsradius 7,7 mm	Lederhaut (Sclera) Dicke 1 ... 2 mm Krümmungsradius hinten 6,8 mm
Nährschicht (mittlere oder Gefäßhaut = Tunica vasculosa bulbi)	Regenbogenhaut (Iris) Zilliarkörper	Aderhaut (Chorivida, Uvea)
lichtempfindliche Schicht (innere Haut = Tunica interna bulbi)		Pigmentepithel (Stratum pigmenti) Netzhaut (Retina)

2. *Kern (Inhalt) des Auges*
Kammerwasser (Humor aquosus)
Linse (Lens) Durchmesser ca. 9 mm, Krümmungsradien: Fernstellung vorn 7,7 mm
hinten 6,8 mm
(Dicke 3,7 mm)
Nahstellung vorn und
hinten 5,3 mm
(Dicke 4,4 mm)
Glaskörper (Corpus vitreum)
Brennweite des gesamten optischen Apparates: 17 ... 14 mm

3. *Schutz- und Hilfsorgane des Auges*
Augenlider, Bindehaut usw.
Tränenapparat
Muskeln des Auges

4. Bewegung des Augapfels über 6 Muskeln mit insgesamt ca. 10^5 Muskelfasern, die von ca. $2 \cdot 10^4$ Nervenfasern versorgt werden. Hinzu kommen Steuerung der Pupille, Akkomodation, und des Augenlides.

Abb. 5.6). Es existieren zwei *Rezeptortypen*:

- *Stäbchen* für das Hell—Dunkel-Sehen. Sie sind in der Überzahl vorhanden, wobei mehrere zusammenwirken und sich dadurch zusätzlich die Empfindlichkeit erhöht.
- *Zapfen.* Sie sind vor allem dicker und dienen dem Farbsehen. Es existieren von ihnen drei Typen mit den lichtempfindlichen Substanzen für die drei Grundfarben blau, gelb-grün und rot. Sie sind generell weniger empfindlich und reagieren erst ab ca. 1 Lux.

Unter den Sehzellen liegen dann die Bipolarzellen als Interneuronen (sie fassen mehrere Stäbchen zusammen) und darunter die Ganglienzellen, deren Axons den Sehnerv bilden. Gestützt wird die Retina von den Müller-Zellen, eine spezielle Art der Gliazellen. Neben den drei *Hauptzellen*: *Rezeptoren*, *Bipolarzellen* und *Ganglienzellen* existieren in der Netzhaut noch zwei wichtige Nervenzellen, die *Horizontalzellen* und die *amakrinen Zellen.* (In den Netzhäuten einfacher Wirbeltiere fehlen sie zum

Tabelle 5.3 Hauptdaten des Auges und der Sehbahn beim Menschen [A9; B13; B14; B17; C9; G1; K42; R2; R19; S20]

Retina

● Dicke	0,2 ... 0,4 mm
● Oberfläche	700 mm^2
● Stäbchen	0,75 ... 1,5 · 10^8
Länge	60 µm
Dicke	2 µm
● Zapfen	3 ... 7 · 10^6
● Interneuronen	2 ... 5 · 10^8
● Ganglienzellen	10^6
● Horizontalzellen	$\leqq 10^6$
● Amakrine Zellen	$\leqq 10^6$
● gelber Fleck	∅ 3 mm
Fovia centralis	∅ 1,5 mm (10^5 Zäpfchen)
● Sehzellendichte	2 ... 4 · 10^5 mm^{-2} bei Vögeln werden Werte bis 10^6 erreicht, bei Fischen Werte um 5 · 10^4
Kleinster wahrnehmbarer Winkel	20″ beim Adler bis zu 2″, sonst meist zwischen 20″ und 10′ (Fische)

Sehnerv

● Durchmesser	4,5 mm
● Durchmesser Chiasma opticus	10 ... 20 mm
● Faserzahl	10^6, bei den meisten Wirbeltieren um 10^5 (Fledermaus nur 7000, Furchenmloch nur 350)
● Mittlerer Faserdurchmesser	2 µ,m
● gekreuzte:ungekreuzte Fasern	3:2 bis 1:1

Corpus geniculatum laterale

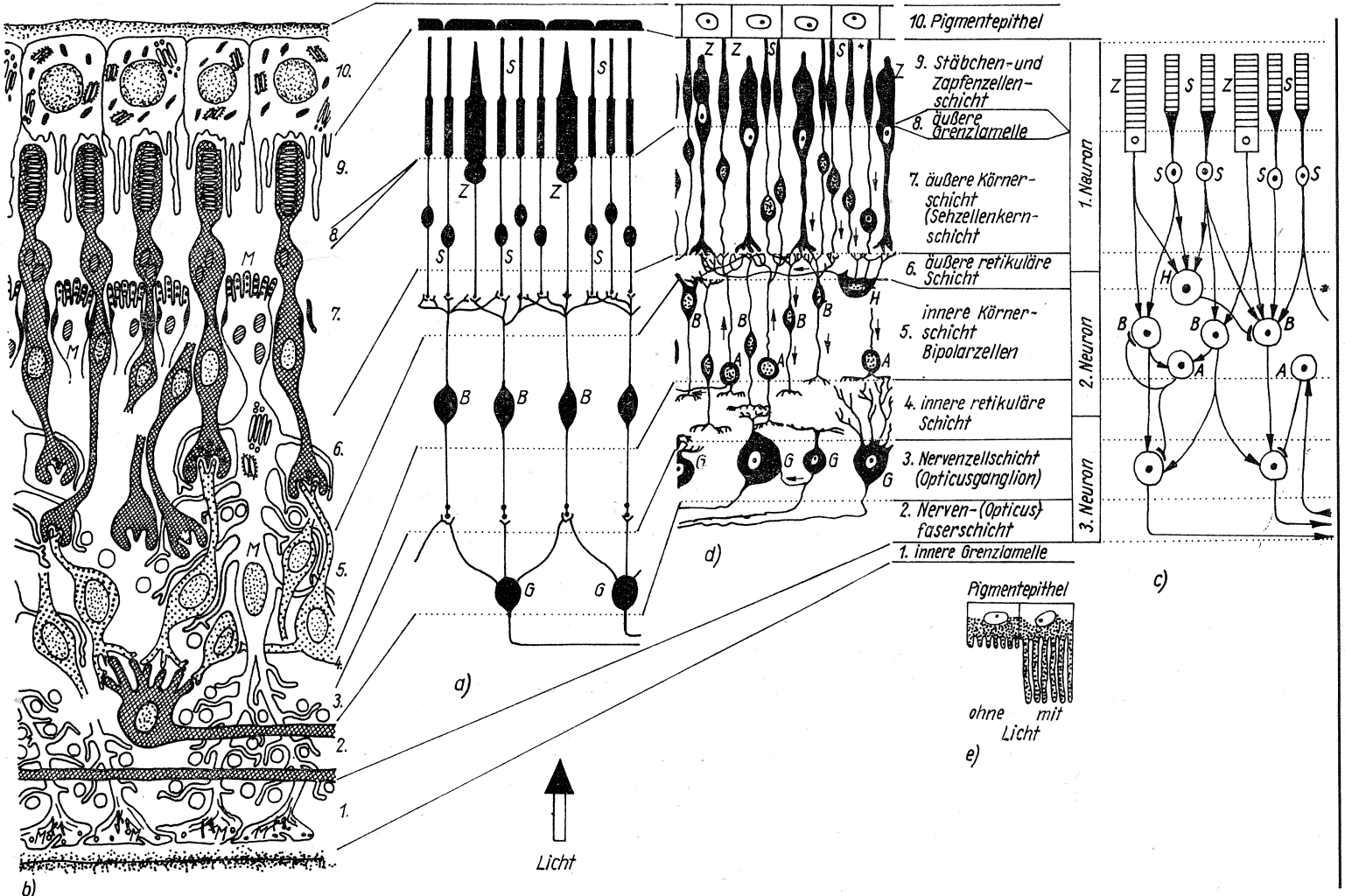
● Zellzahl	10^6
Zelldichte	0,6 ... 2,3 · 10^4 mm^{-2}
Synapsen je Opticusfaser	6 ... 30
(Synapsendichte	8 · 10^3 mm^{-2})

Sehrinde

	Area 17	Area 18
Zellzahl	5,4 · 10^8	7,6 · 10^8
Zelldichte	10^5 mm^{-3}	7,7 · 10^3 mm^{-3}
Synapsendichte	3,3 · 10^3 mm^{-3}	

Verhältnisse

	Mittelwerte	Fovia centralis	Maximal	Frosch z. Vergleich
Sehzellen	100	1	1000	2
Interneuronen	30	1		7
Ganglienzelle-Opticusfasern	1	1	1	1
Zellen corpus geniculat. lat.	1			
Sehrinde Area 17	500			
Sehrinde Area 18	800			


10. Pigmentepithel
9. Stäbchen- und Zapfenzellenschicht
8. äußere Grenzlamelle
7. äußere Körnerschicht (Sehzellenkernschicht
6. äußere retikuläre Schicht
5. innere Körnerschicht Bipolarzellen
4. innere retikuläre Schicht
3. Nervenzellschicht (Opticusganglion)
2. Nerven-(Opticus)faserschicht
1. innere Grenzlamelle
1. Neuron
2. Neuron
3. Neuron
Licht
a)
b)
c)
d)
e)
Pigmentepithel
ohne Licht
mit Licht

Teil.) Sie bewirken hauptsächlich *Hemmungen*. Dabei erzeugen die Horizontalzellen im gewissen Sinne eine *laterale Inhibition* (*s.* Abb. 4.10) und erhöhen damit den Kontrast bei Helligkeitsübergängen. Die Wirkung der amakrinen Zellen, wie auch ihre Verschaltung, ist noch nicht voll geklärt. Sie können sowohl eine zusätzliche laterale Inhibition als auch rekurrente Hemmung bewirken. Zum Teil sollen sie aber auch rückwärtige Erregungen vom Gehirn über den Sehnerv erhalten und könnten so durch Hemmung der Ganglienzellen die Empfindlichkeit des Auges beeinflussen. In der allerletzten Zeit wurde auch erkannt (was im Bild noch nicht enthalten ist), daß auch die Stäbchen mittels einer efferenten Faser beeinflußt werden. Die *Verschaltung* in der *Netzhaut* ist also bereits relativ *komplex*. So lassen sich schon im Sehnerv Nervenpotentiale nachweisen, die z. B. nur bei bestimmten Richtungen von Hell—Dunkel-Grenzen reagieren oder einen On- bzw. Off-Effekt (Abb. 5.2) zeigen. Die Netzhaut ist ein *vorverlagerter Teil des Gehirns* mit komplexer Verarbeitung, wobei nachweislich einige Verschaltungen erst nach der Geburt durch die Umwelteinflüsse bewirkt werden. (So erwerben höhere Wirbeltieren, welche die ersten Wochen ohne Lichteinflüsse aufgezogen wurden, sehr viel schwieriger oder z. T. gar nicht mehr die Fähigkeit zur Bilderkennung.) Neben der Müllerschen Stützzelle existieren noch weitere Hilfszellen. Hier sei vor allem die etwa sechseckige *Pigmentepithelzelle* genannt, welche die Netzhaut zur Lederhaut hin abschließt und so mittelbar zwischen die Stäbchen und Zapfen Pigmente (braune Melaninkörner von etwa 1 bis 5 μm Länge) einlagert. Zum Teil existiert dabei eine vom Licht abhängige Dynamik (Abb. 5.6e) der Verlagerung der Pigmente und Lage der Zapfen und Stäbchen. (Es sei noch erwähnt, daß das Wirbeltierauge zu dem inversen Augentyp (Gegenteil everser Typ) gehört, wobei die Rezeptoren an der dem Licht abgewandten Seite liegen. Das Licht muß also erst die ganze Netzhaut durchdringen, bevor es zu den Rezeptoren gelangt.)

Bereits in Abb. 5.5 sind zwei typische Stellen der Netzhaut zu erkennen:

Der *blinde Fleck*, wo der Sehnerv einmündet um dann in der Nervenfaserschicht in unmittelbarer Nähe des Glaskörpers zu allen Teilen der Retina zu verlaufen. Im blinden Fleck existieren daher keine Rezeptoren. Entsprechend dem Durchmesser des Sehnerves ist er etwa 5 mm groß.

◀ Abb. 5.6 Prinzipieller Aufbau der Retina in vier Darstellungen sowie Einteilung der Netzhaut in die üblichen zehn Schichten. Das Licht fällt von unten ein. Die Erregungen der Rezeptoren werden dem Licht entgegen fortgeleitet [A12; B14; C9; G1; G6; G7; G8; G12; G15; H14; K16; K32; L17; R6; R19; S43; S50; S52; T3; V5; V16]

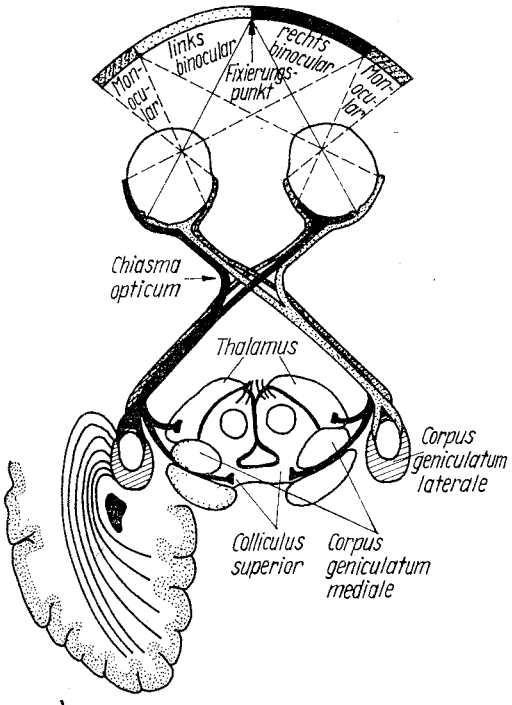
a) stark vereinfachte, schematische Darstellung mit den drei Hauptzellen: Rezeptoren (Stäbchen S und Zapfen Z), Bipolarzellen B und Ganglienzellen G, deren Axone den Sehnerv bilden,

b) mehr morphologisches Bild, wobei zur Übersichtlichkeit nur Stäbchen dargestellt sind. Ferner ist die typische Müllersche Stützzelle M, welche die ganze Retina durchzieht, zu sehen,

c) Betonung des Erregungsflusses in der Netzhaut unter Einbeziehung der beiden weiteren Zelltypen: Horizontal- (H) und amakrine Zelle (A),

d) schematisiertes Bild der Netzhaut unter Berücksichtigung aller Zelltypen,

e) Verlagerung der Epithelschicht bei Lichteinfluß.


links binocular
rechts binocular
Fixierungspunkt
Chiasma opticum
Thalamus
Corpus geniculatum laterale
Colliculus superior
Corpus geniculatum mediale

a)

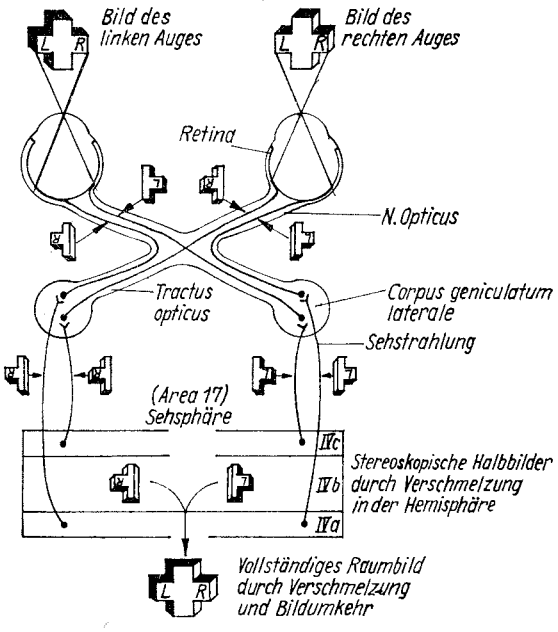


Bild des linken Auges
Bild des rechten Auges
Retina
N. Opticus
Tractus opticus
Corpus geniculatum laterale
Sehstrahlung
(Area 17) Sehsphäre
IVc
IVb
IVa
Stereoskopische Halbbilder durch Verschmelzung in der Hemisphäre
Vollständiges Raumbild durch Verschmelzung und Bildumkehr

b)

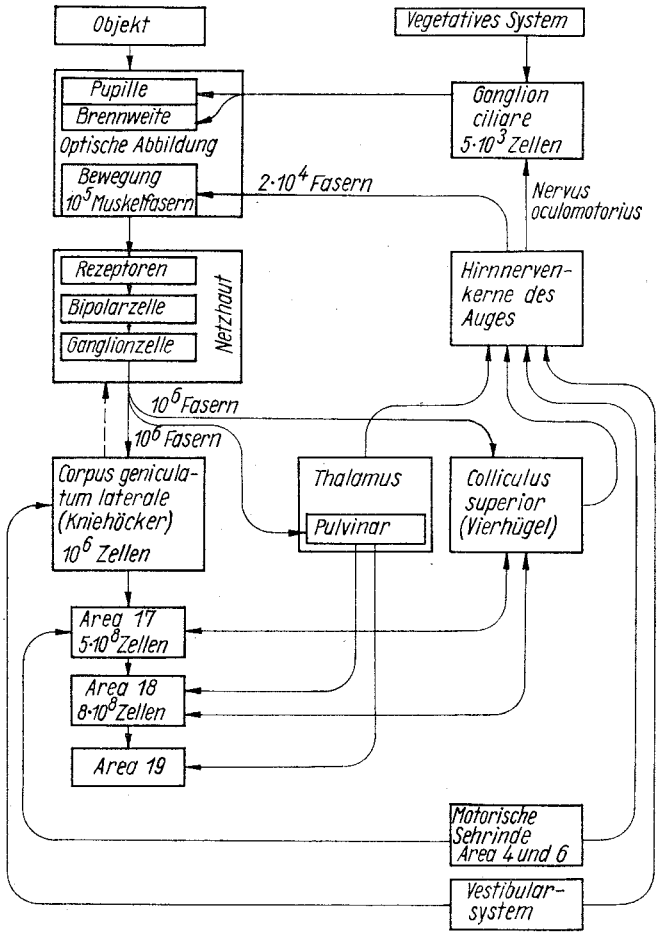


Abb. 5.8 Schematisch zusammengefaßtes Bild des Sehsystems mit seinen sensorischen und effektorischen Teilen (Die Augenlider und Tränendrüsen sowie weitere Details des Nervensystems wurden noch zur Vereinfachung fortgelassen.).

Ein besonders *hohes Auflösungsvermögen* (nicht die höchste Lichtempfindlichkeit) wird dagegen in dem *gelben Fleck* (Fovia centrales) erreicht. Hier stehen die Zapfen dicht beieinander, und jeder Zapfen erregt genau eine Ganglienzelle. Dabei fehlen hier praktisch alle Blutgefäße und Stäbchen. Deshalb wird die *größte Lichtempfindlich-*

◀ Abb. 5.7 Zur Weiterverarbeitung der Seheindrücke im Gehirn [A12; C9; F2; F3; G7; G8; G12; G21; G22; L3; L11; R6; R19; S7; V16; V17]
a) anschauliches Bild der Sehbahn mit Andeutung der Bahnen, die ein räumliches Bild vermitteln bzw. nur einmal existieren. Es sind auch die Nebenbahnen angedeutet, die zum Thalamus und Colliculus superior ziehen,
b) zum räumlichen Sehen.

keit außerhalb der optischen Achse (sogenanntes *extra-foviales Sehen*) bei wesentlich geringerer Auflösung erreicht (Abb. 5.5b).

Die Weiterverarbeitung der Aktionspotentiale des Sehnerves erfolgt vor allem im *Corpus geniculatum* und schließlich in der *Sehrinde* (Area striata) Feld 17 bis 19. Die entsprechenden Bahnen sind insbesondere bezüglich des *räumlichen Sehens* in Abb. 5.7 dargestellt. Den etwa vollständigen Nervenfluß des Auges faßt Abb. 5.8 zusammen. Es enthält auch Zahlenwerte zu den Nervenzellen und Fasern. In der Area 17 endet zunächst die Sehstrahlung. In den Area 18 und 19 erfolgt eine komplexere Verarbeitung der Sehreize. Hier ist die genaue Zuordnung zu Orten auf der Retina zugunsten komplexer Seheindrücke weitgehend aufgehoben.

Effektorische Einflüsse auf das Auge erfolgen neuronal in der *Netzhaut*, über die sechs Augenmuskeln sowie über die Beeinflussung der Pupillenöffnung (Adaption) und Brennweite (Scharfeinstellung, Akkomodation). Besonders auf die Pupille wirkt

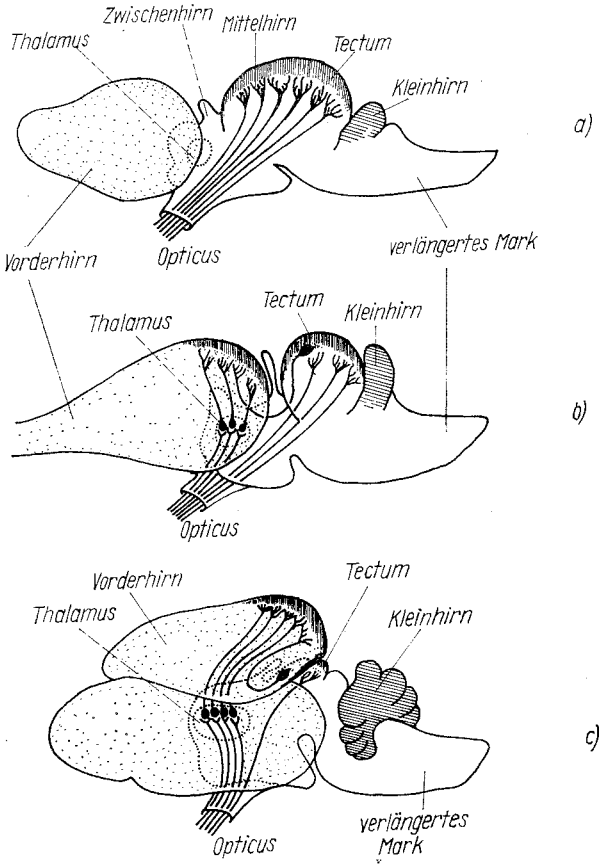


Abb. 5.9 Schematische Verlagerung des optischen Nervs vom Mittel- zum Endhirn
a) Lurch,
b) Reptil,
c) Säuger

auch das vegetative System ein. Gesteuert wird die *Augen-Motorik* von mehreren Stellen aus: vom Thalamus, Colliculus superior, von der motorischen Sehrinde (Area 4 und 6) und schließlich vom Vestibularsystem (Gleichgewichtsorgan). So ist es möglich, daß alle *Bewegungen im Gehirn verrechnet* werden und ein konstanter Eindruck der Umwelt entsteht.

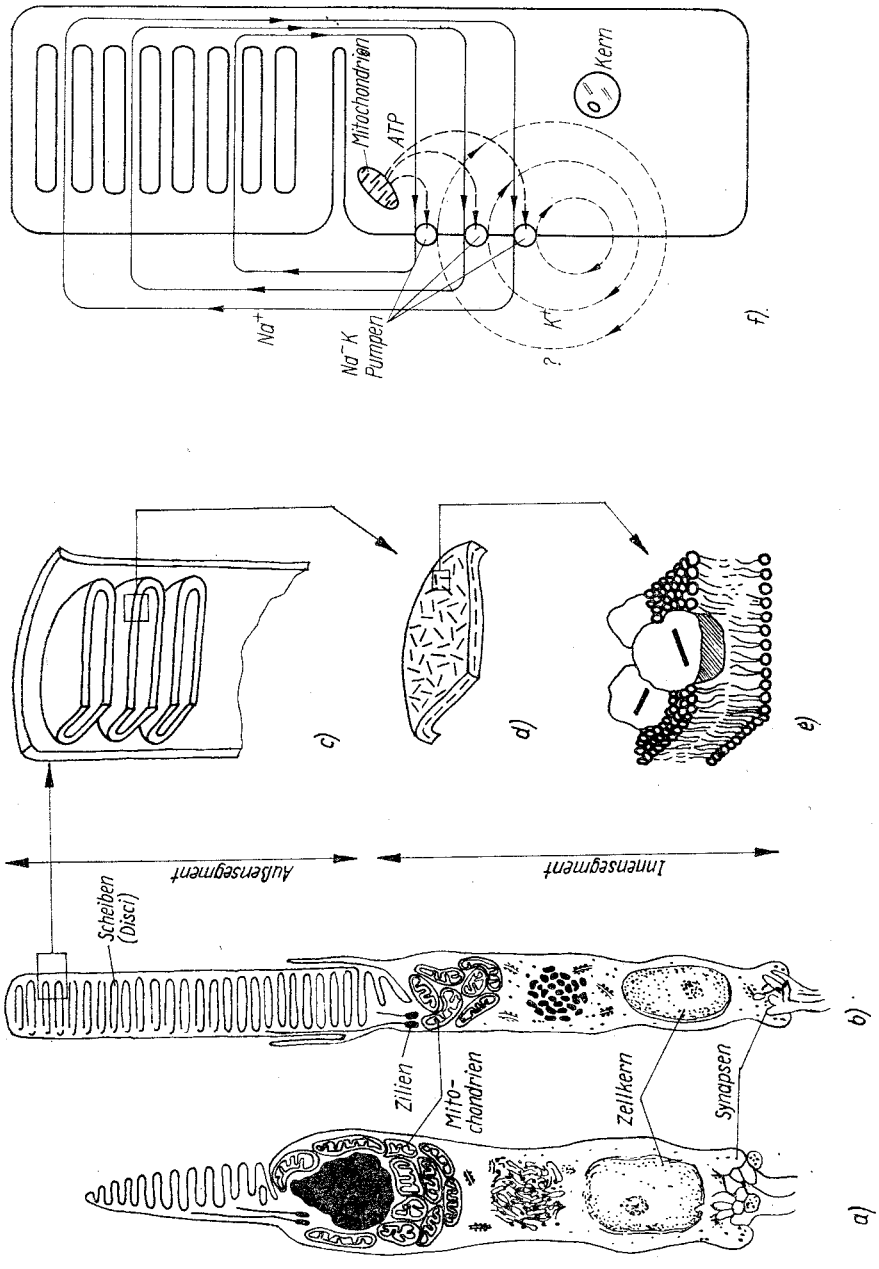
Wie schon mehrfach erwähnt, wechselte die *Sehbahn* im Verlaufe der Evolution der Wirbeltierreihe vom Mittelhirn zum Endhirn. Dies sei jetzt mittels Abb. 5.9 genauer erklärt. Bei den Reptilien bildet sich der Nebenweg zum Thalamus und von dort zum Endhirn aus. Beim Säuger ist der Weg zum Mittelhirn (Tectum) nur noch ein Nebenweg vor allem für die Motorik.

Es ist bekannt, daß in der Evolution auf verschiedenen Wegen *homologe Organe* für die gleiche Funkion entstehen. Ein oft zitiertes Beispiel ist der *Wirbeltier- und Insektenflügel*. Bei den Augen existieren nun gar drei hochwertige homologe Organe, und zwar bei den Gliedertieren das *Facettenauge*, dann das *Wirbeltier- und Tintenfischauge*. Im strukturellen Aufbau sind die letzten beiden dabei in vielen Details extrem ähnlich. Die *Unterschiede* werden erst dann deutlich sichtbar, wenn die *Herkunft* der Linse, Netzhaut usw. bekannt ist bzw. ihr genauer Aufbau studiert wird. Dabei zeigt sich eine *zweite Homologie*. Sie betrifft die *Sehzellen*. Sie ähneln nämlich wieder trotz anderer Herkunft denen der Gliedertiere. Die Rhabdomere der Tintenfischnetzhaut werden aus jeweils zwei Zellen aufgebaut, deren Mikrovilli senkrecht aufeinanderstehen. Dadurch können die Tintenfische im Gegensatz zu den Wirbeltieren auch polarisiertes Licht wahrnehmen.

5.5. Funktion der Sehzellen

Den prinzipiellen *Aufbau* von Stäbchen und *Zapfen* zeigt Abb. 5.10. Bei den Zapfen ragen die *Membranausfaltungen* ähnlich wie beim Rhabdomeren der Wirbellosen in den Raum. Da hier jedoch keine Röhrchen (Mikrovilli) sondern *Scheiben* (Disci) gebildet sind, besteht *keine* Bevorzugung bestimmter *Lichtpolarisationen*. Bei den Stäbchen sind die Scheibchen noch durch eine zusätzliche Membran eingehüllt. Sie verändert sehr wahrscheinlich den Funktionsmechanismus.

Das *Stäbchen* des menschlichen Auges ist etwa 100 µm lang und 1,5 µm dick. Das Außenglied mißt dabei 25 ... 30 µm. In ihm befinden sich ca. 1000 Scheibchen (je nach Tierart schwankt die Zahl zwischen 80 und etwas über 1000). Die *Scheibchendicke* beträgt etwa 15 nm, wobei jede *Membran* etwa 7 nm dick ist. Der Raum zwischen beiden Membranen beträgt etwa 0,5 nm. In den Membranen sind die *Rhodopsinmoleküle* eingelagert. Ihre Struktur ist noch nicht vollständig aufgeklärt. Das *Molekulargewicht* liegt etwas unter 40000. Damit dürfte die Polypeptidkette des Proteinteiles etwa 350 Aminosäuren enthalten. Hinzu kommen noch 6 Zuckermoleküle. Seine Abmessungen betragen etwa 4,2 nm Durchmesser und 7 nm Länge. Jedes Rhodopsinmolekül ist in der Membran von etwa 70 Lipidmolekülen umgeben. In einem Scheibchen dürften sich damit etwa 10^6 Rhodopsinmoleküle (in einem Stäbchen 10^9) befinden. Wie in jeder Zelle wird auch in der Sehzelle *aktiv* ein bestimmter *Ionentransport* mittels der Ka-Na-Pumpen vollzogen (s. Abb. 5.10f). Natrium ist im Innern der Sehzelle nur mit $^1/_{10}$, Kalium mit dem 40-fachen und Kalzium mit $^1/_{1000}$ der Außenkonzentration vorhanden. Es werden im Außensegment ca. 100 ... 3000 *Na-Kanäle*


Mitochondrien
ATP
Kern
Na^+
Na^+K^+ Pumpen
K^+
?
f)
c)
d)
e)
Außensegment
Innensegment
Scheiben (disci)
Zilien
Mito-chondrien
Zellkern
Synapsen
b)
a)

abgeschätzt. Der *Fluß* beträgt 70 pA bzw. $4 \cdot 10^8$ Ionen je Sekunde. Bei *Lichteinfluß* werden nach einer Hypothese über die Veränderung des Rhodopsins in den Scheibchen Ca^{++} Ionen freigesetzt. Sie lagern sich für kurze Zeit (etwa 0,3 Sekunden) an die Außenmembran und *sperren* so mittelbar den Na^+-*Ionenfluß*. Da aber an den anderen Teilen der Ionenfluß weiter besteht, sind dadurch in dieser Zeit ca. 10^8 Ionen weniger im Außensegment. Hierdurch vergrößert sich das *Membranpotential* der Stäbchen, und diese Änderung wird über die Synapsen weitergeleitet. Es wird geschätzt, daß einem Lichtquant ca. $5 \cdot 10^4$ Ionen entsprechen. Damit in Übereinstimmung steht die Tatsache, daß ca. 4500 Photonen je Stäbchen und Sekunde zur Sättigung der Änderung des Membranpotentials führen. Es ist somit also offensichtlich, daß der Intensitätsänderung des Lichtes eine kontinuierliche Potentialänderung der Sehzellen entspricht. Die Potentialänderung erfolgt bei den Sehzellen der Gliedertiere genau entgegengesetzt zu der der Wirbeltiere. Bei den Wirbellosen sinkt das Membranpotential bei Belichtung. Die Wirbeltiere haben also in den Sehzellen den größeren Energieaufwand bei Dunkelheit. Die *Verstärkerwirkung der Sehzellen* liegt maximal bei 10^5 ... 10^6. Die *Quantenausbeute* des Rhodopsinmoleküls liegt bei etwa 0,65. Die Energie für die erste Änderung seiner Struktur wird zu etwa $1{,}5 \cdot 10^{-19}$ J je Molekül (29 kcal/mol) angegeben. Ein Photon der Wellenlänge von 400 nm besitzt etwa die dreifache Energie, nämlich $5 \cdot 10^{-19}$ J. Anderseits kann sich die Empfindlichkeit der *Sehzellen* bis zu einem Faktor von 10^5 an größere Lichtintensitäten *adaptieren*. Dies zeigt Abb. 5.11, einmal für einen Dauerlichtreiz und zum anderen für einen Lichtreiz mit überlagertem Wechsellicht. Neben der Adaption gibt es für die meisten Sehzellen bezüglich Wechsellicht Frequenzgänge mit einem ausgeprägtem Maximum. Es liegt je nach der für das Tier typischen Motorik (schnell bzw. langsam) bei tieferen oder höheren Frequenzen. Hiermit hängt auch zusammen, daß es unterschiedliche *Verschmelzungsfrequenzen* bei Folgen von *Einzelreizen* für verschiedene Tiere gibt. Sie liegen beim Frosch bei ca. 5 Hz, bei Tauben um 150 Hz und bei schnellfliegenden Insekten über 200 Hz. Wie Abb. 5.11 b zeigt, hängen sie auch von der Lichtintensität ab. So liegt beim Menschen im Dunkeln (Kino) die *Flimmerfrequenz* um 20 und im Hellen bei 60 Hz.

Den bisher geschilderten Vorgängen gehen zeitlich verschiedene chemische, strukturelle Prozesse im Rhodopsin voran. Im Dunkeln ist ihm ein cis-Retinal-Molekül mit einem Benzolring mit der Summenformel $C_{18}O_2H_{28}$ angelagert. Von diesem Molekül besitzen außerdem die Trans-form und die beiden entsprechenden Vitamin A1-Moleküle Bedeutung. Bei den letzteren ist der COH-Rest am Ende der C-Kette durch

◀ Abb. 5.10 Aufbau und Funktion von Sehzellen der Wirbeltiere [G1; G8; K32; K41; L17; S28; S40; S50; V16]
a) prinzipielles Aussehen von Zapfen. Die Membranen ragen in den freien Raum,
b) Aussehen von Stäbchen. Die Scheiben (Disci) bilden abgeschlossene Komplexe und sind von einer Außenmembran gegenüber der Umgebung getrennt,
c) Schnitt durch die Disci,
d) Ausschnitt aus der Membran von Disci,
e) stärker vergrößerter Membranausschnitt. In die Lipidmoleküle der Membran ist der Sehpurpur eingelagert. Die Striche deuten seine Orientierung an,
f) Verlauf des Ionenflusses bei einem Stäbchen.

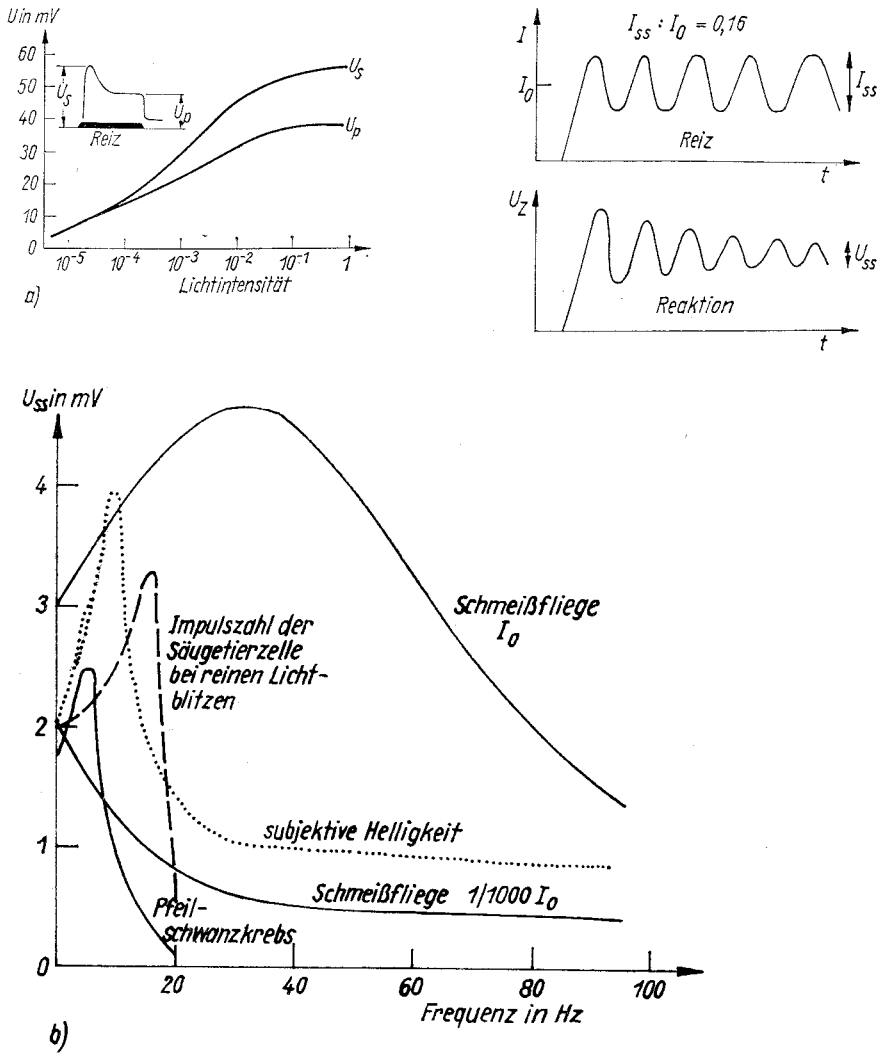


Abb. 5.11 Zum Verhalten des Membranpotentials von Sehzellen [L17; S40]
a) bei einem Dauerreiz. Beim Einsatz des Lichtreizes steigt das Potential auf den größeren Wert U_s an, um dann auf den stationären Wert U_p abzufallen. Der Zusammenhang von Membranpotential und Lichtreiz ist im großen Bereich logarithmisch,
b) bei dem Gleichlichtreiz überlagerten Wechsellicht. Die relative Amplitude der Membranpotentialänderung U_z hängt stark von der Frequenz ab.

einen CH_2OH-Rest ersetzt. Die Strukturwandlungen nach einer Lichteinwirkung erfolgen mit verschiedenen Zeitkonstanten und betreffen sowohl das große Proteinmolekül als auch das Retinal. Einen groben Überblick hierzu gibt Abb. 5.12. Ausgelöst wird also die Reaktion am Sehpurpur durch Licht innerhalb der sehr kurzen Zeit von nur 2 ps. Alle weiteren Prozesse erfolgen ohne Lichteinfluß. Die Unter-

suchung dieser Kette wurde dadurch erleichtert, daß die einzelnen Übergänge bei verschiedenen Temperaturen ablaufen. Da die Temperaturen der Anregungsenergie entsprechen, folgt bei normaler Temperatur auch eine Zeitkette. Aus ihr kann weiterhin abgeleitet werden, wann das Aktionspotential entsteht. Bei den Wirbellosen verläuft die Kette meist nicht bis zur Trennung von Opsin und Retinal, sondern bereits vorher erfolgt mittels Lichtenergie eine Rückwandlung (linker Zweig in Abb. 5.12).

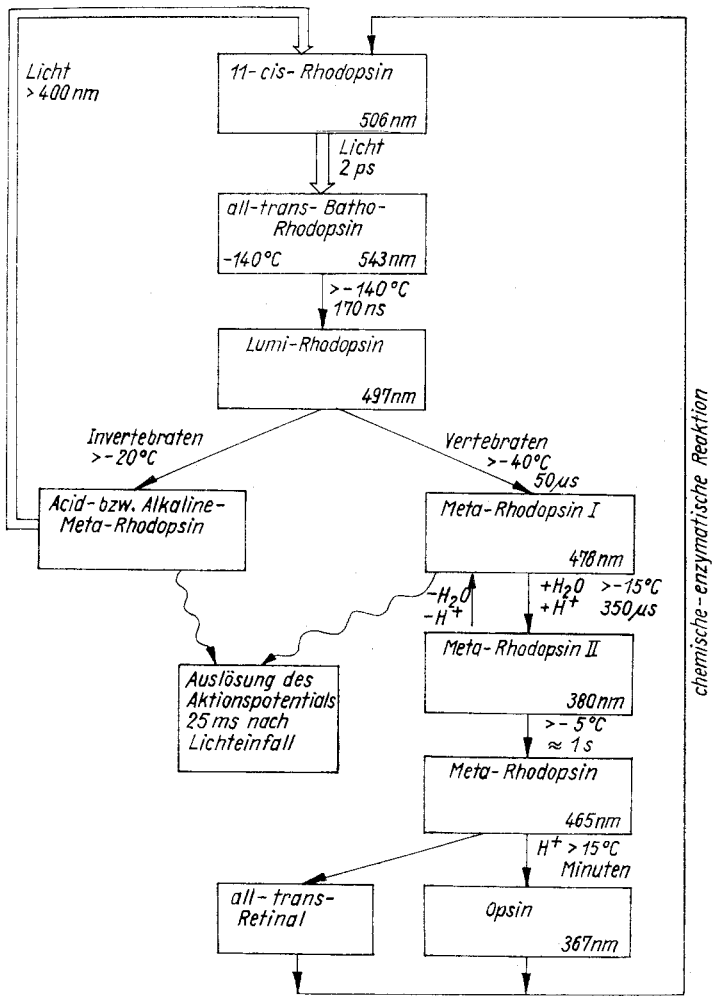


Abb. 5.12 Zusammenstellung wichtiger Umwandlungen des Sehpurpurs. Die Wellenlängen in den Kästchen betreffen die Lage des Absorptionsmaximums der jeweiligen Verbindung. Die Temperaturen und Zeiten an den Übergangspfeilen betreffen die Umwandlung. Die Temperatur ist der niedrigste Wert, bei der der jeweilige Übergang noch feststellbar ist. Die Zeiten gelten bei etwa 20 °C [G19; L17; N16; S40; S49; V5].

6. Hören

6.1. Allgemeines zum Schall

Gehört wird nur Schall. *Vibrationen* dagegen werden *nicht als Schall* bezeichnet. Eine Spinne, welche die Schwingungen ihres Netzes registriert, hat demnach kein Gehör. Schallschwingungen sind Luftschwingungen in einem bestimmten Frequenzbereich. Unterhalb von etwa 30 Hz liegt *Infraschall* vor, der u. a. bei Erdbeben, der Meeresbrandung und bei Wind auftritt. Auf die Frequenzen der Meeresbrandung ist die *Glocke von Quallen* als Resonanzkörper abgestimmt, sie meiden bei nahendem Sturm die Küstennähe, dennoch wird nicht davon gesprochen, daß Quallen ein Gehör besitzen. *Ultraschall* sind Schallschwingungen oberhalb von etwa 20 kHz. Er wird u. a. von Fledermäusen zur Ortung erzeugt und von ihnen wie von verschiedenen Faltern wahrgenommen. Sie besitzen ein Gehör hierzu. Schwingungen, die sich im Wasser ausbreiten, heißen *Hydroschall*. Es scheint so, also ob, von den Fischen und vom Delphin abgesehen, kein Wassertier Hydroschall hört. Oberflächenschwingungen des Wassers werden von verschiedenen Insekten als Vibration wahrgenommen. Diese Aufzählung zeigt, daß die Definition des Schalls und damit des Gehörs nicht ganz einfach ist.

Ein Gehör besitzen neben den Wirbeltieren nach den bisherigen Kenntnissen nur noch die *Insekten*. Ihr Gehör ist aber völlig anders gebaut und existiert mit sehr unterschiedlichen Prinzipien, z. B. als Sonderkonstruktion bei den Antennen der Mücken, als Membrangebilde an den Vorderbeinen der Heuschrecken oder an den Rumpfsegmenten einiger Falter.

Licht existiert fast immer und überall durch die Sonneneinstrahlung. Es genügt daher, nur die Absorption in Farbe und Intensität von Gegenständen festzustellen. Die Notwendigkeit, selbst Licht zu erzeugen, wo es fehlt, ist daher nur in seltenen Ausnahmen notwendig. Ganz anders sind die Verhältnisse beim *Schall*. Er tritt nur in Verbindung mit ablaufenden Prozessen auf. Daher kommen *Gehör und Schallerzeugung* meist *gemeinsam* vor. Mittels der aktiven Schallerzeugung und -wahrnehmung finden sich z. T. die Geschlechtspartner bei den Insekten. Mittels Schallerzeugung und -wahrnehmung orientierten sich einige Nachttiere (z. B. Fledermäuse). Dadurch, daß bei vielen Lebensprozessen (Bewegung usw.) Schall nebenbei auftritt, ist ein gutes Gehör auch zum eigenen Schutz (Nachtfalter vor Fledermäusen) oder zum Fangen von Beute geeignet. Die höchste Stufe der Schallerzeugung hat der Mensch mit seiner Sprache geschaffen.

Schall ist im wesentlichen ein zeitliches Ereignis, d. h., es muß die zeitliche Abfolge der Reize erfaßt werden. Dies bedeutet, daß zurückliegende Schalle mit gegenwärtigen verglichen und auf künftige extrapoliert werden müssen. Hierzu ist zu-

mindest ein Kurzgedächtnis notwendig. Dies ist für ein Nervensystem meist komplizierter als die betont parallele Bildverarbeitung vom Auge oder von den anderen Sinnesreizen her. Daher werden an das Gehör und die folgenden Neuronenverschaltungen im Gehirn weitaus höhere Ansprüche gestellt. Das Wirbeltiergehör und die akustischen Bahnen zählen deshalb zu den kompliziertesten Gebilden.

Schall kann nach den Parametern seiner *Frequenzen* (Frequenzspektrum bei quasistationärem Schall) und seiner *Intensität* beschrieben werden. Hierzu gehören dann einerseits der hörbare Frequenzbereich und anderseits der Bereich von der *Hör-* bis zur *Schmerzschwelle*. Mittels zweier Ohren kann auf die Richtung und z. T. auch Entfernung der Schallquelle geschlossen werden. Über an Wänden und ähnlichem reflektierte Schallwellen kann auch ein *Raumeindruck* erhalten werden. Er ist für die Menschen bezüglich eines Musikerlebnisses bedeutsam (Raumakustik). Er dient den Blinden auch zur Raumorientierung. Seine Weiterentwicklung dürfte bei den Fledermäusen zur *Schallortung* geführt haben. (Wir prüfen z. B. in einfacher Weise eine Raumakustik durch einmaliges starkes Händeklatschen.)

6.2. Aufbau des menschlichen Hörorgans

Lage und Prinzipaufbau des menschen *Gehörs* zeigt Abb. 6.1. Es besteht aus vier *Hauptabschnitten*:

- *äußeres Ohr* aus *Ohrmuschel* und *Gehörgang*,
- *Mittelohr*. Es beginnt mit dem *Trommelfell*, welches das äußere Ohr abschließt und besteht aus der *Paukenhöhle*, in der die drei *Gehörknöchelchen*: *Hammer*, *Amboß* und *Steigbügel* liegen. Es wird zur Nase hin durch die normalerweise von einem Muskel geschlossene Eustachische Röhre und zum Innenohr durch das runde und ovale Fenster abgeschlossen,
- *Innenohr*. Es enthält im wesentlichen die *Schnecke*, in der die Wandlung der Schallschwingungen in Aktionspotentiale erfolgt. (Die mit dem Innenohr verbundenen drei Bogengänge bilden das Gleichgewichtsorgan.),
- *akustische Bahn* bis zum Endhirn. Sie ist nicht in Abb. 6.1 gezeigt und wird auch in der Regel nicht zum Hörorgan gezählt, obwohl sie für die differenzierte Schallwahrnehmung unbedingt notwendig ist.

Es sei gleich hier erwähnt, daß das äußere Ohr und das Mittelohr nur für Frequenzen bis etwa 3000 Hz verstärkend wirksam sind. Für höhere Frequenzen ist die *Knochenleitung des ganzen Schädels* bedeutsam.

6.3. Außen- und Mittelohr

Vom *äußeren Ohr* ist unmittelbar nur die *Ohrmuschel* (oft allein als Ohr verstanden) und der Eingang zum Gehörgang zu sehen. Ohrmuscheln besitzen nur die Säuger. Sie ist oft viel größer als beim Menschen und dazu zur Schallverstärkung und Schallortung beweglich. Beim Menschen ist sie sehr weit zurückgebildet und hat praktisch keine Bedeutung für das Hören mehr. Selbst meßtechnisch ist ihr Einfluß auf den Frequenzgang des Gehörs kaum nachweisbar. Sie liefert lediglich einen gewissen Bei-

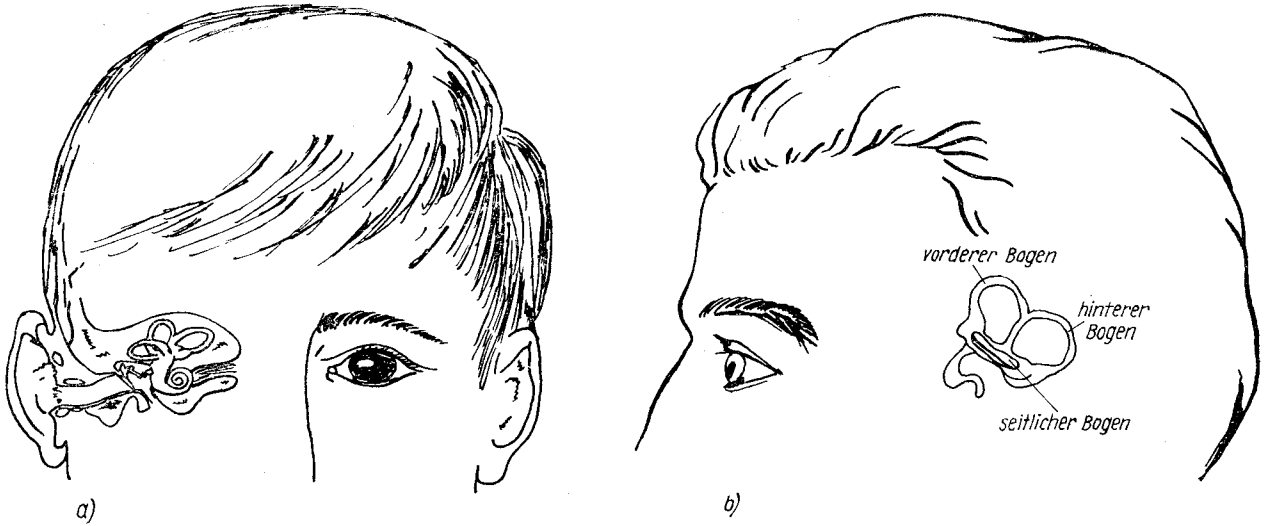


Abb. 6.1

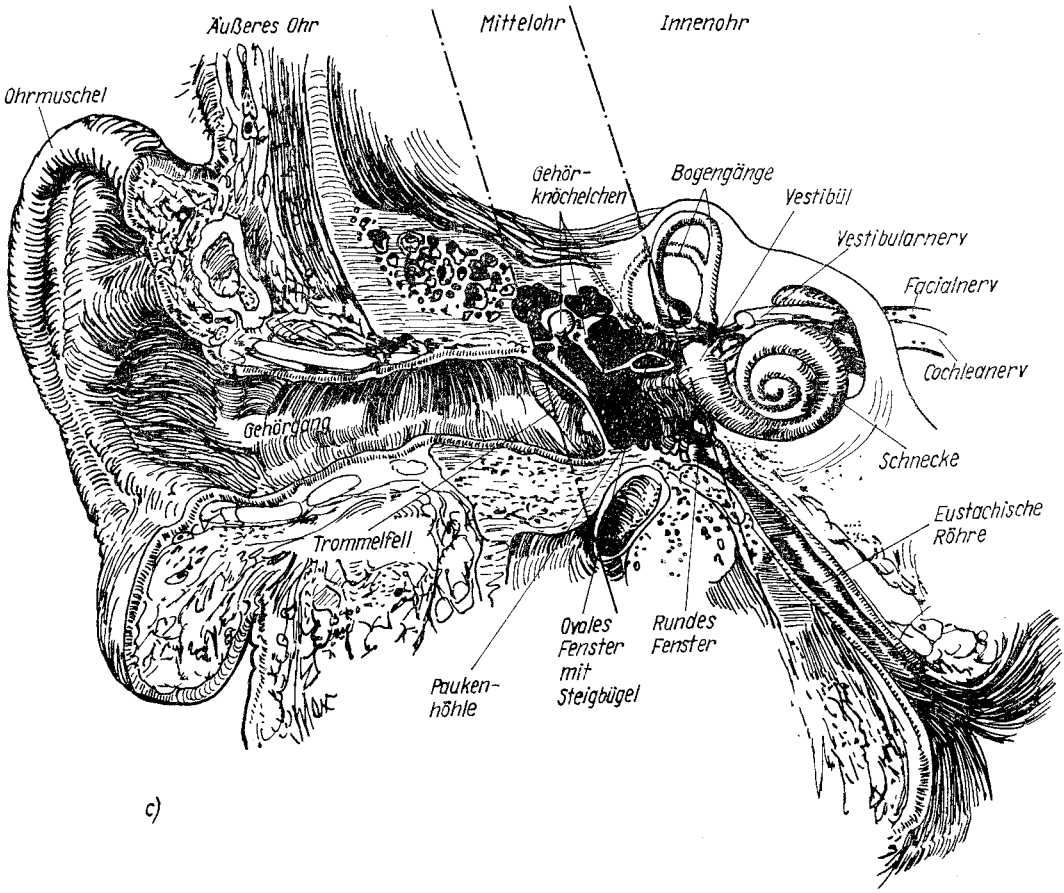


Abb. 6.1 Lage und Grobaufbau des Hörorgans des Menschen [G6; G8; G12; L13; N10; V16; W2]
a) Lage von vorn,
b) von der Seite mit Betonung der Bogengänge des Gleichgewichtsorgans,
c) innerer Aufbau im Schnitt

trag zur *Entscheidung,* ob ein Schall von vorn oder hinten kommt. Weitaus stärker auf den Frequenzgang des Gehörs geht die *Kopfform* ein (s. Abb. 6.2a).

Der *Gehörgang* des Menschen ist etwa 2,5 cm lang und besitzt einen Durchmesser von ca. 9 mm. Akustisch wirkt er wie eine *gedackte Pfeife* (Akustik, Orgelbau), die eine gedämpfte *Resonanz* bei etwa 4000 Hz (Abb. 6.2b) entsprechend $\lambda/4$ besitzt. (Infolge des nicht schallharten Trommelfells liegt die Resonanz etwas höher als die theoretischen 3030 Hz.) Die Resonanzüberhöhung beträgt etwa 12 dB, dies entspricht vierfachem Schalldruck.

Damit möglichst viel Schall zum Trommelfell gelangt, muß der *Wellenwiderstand* am Eingang des Gehörgangs möglichst gut mit dem Wellenwiderstand der Luft übereinstimmen. Hierzu zeigt Abb. 6.2c und d Meßwerte, während Teilbild e die daraus

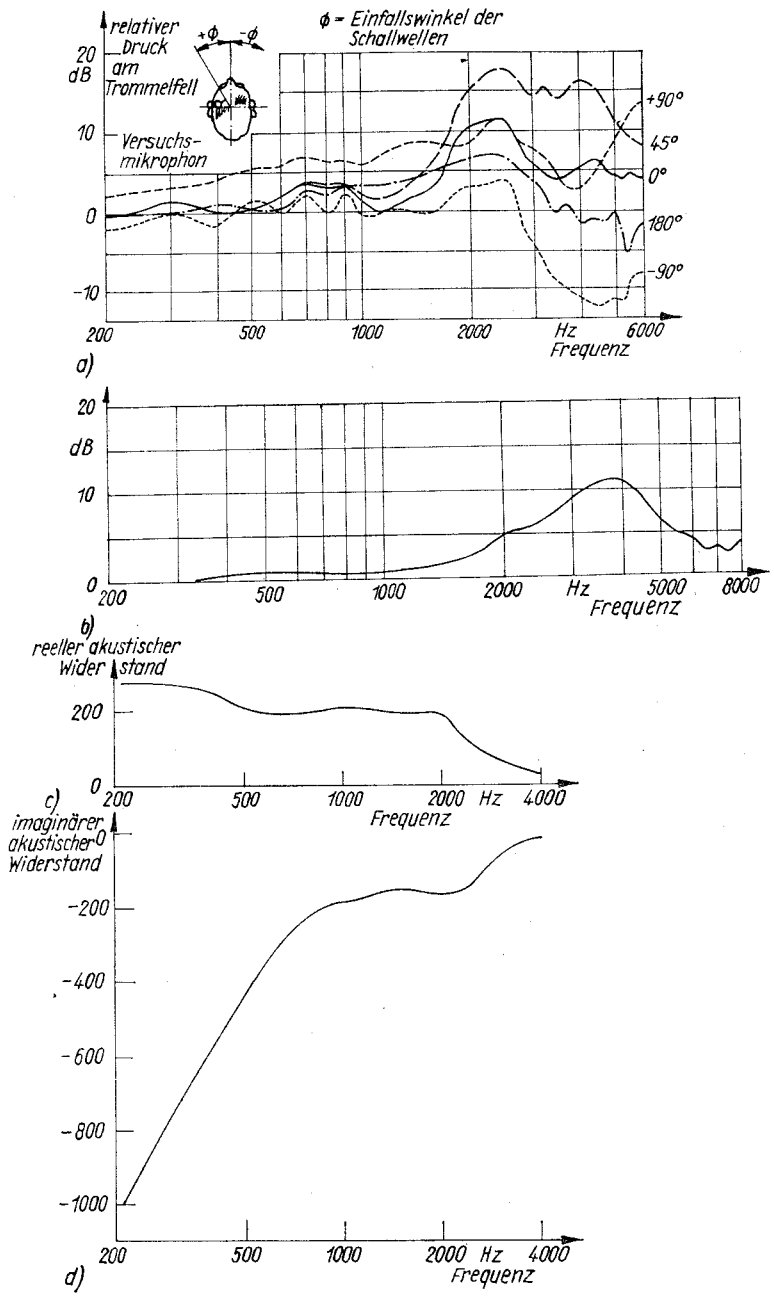

relativer Druck am Trommelfell
20 dB
10
0
-10
+ϕ
-ϕ
ϕ = Einfallswinkel der Schallwellen
Versuchs-mikrophon
+90°
45°
0°
180°
-90°
200
500
1000
2000
Hz
6000
Frequenz
a)
20
dB
10
0
200
500
1000
2000
Hz
5000
8000
Frequenz
b)
reeller akustischer Widerstand
200
0
200
500
1000
2000
Hz
4000
Frequenz
c)
imaginärer akustischer Widerstand
0
-200
-400
-600
-800
-1000
200
500
1000
2000
Hz
4000
Frequenz
d)

Abb. 6.2

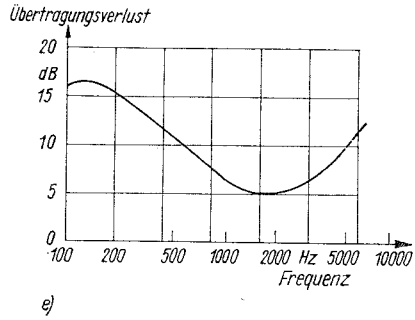


Abb. 6.2 Frequenzgang des Außenohrs [L13; S39; W2]
a) Einfluß der Kopfform,
b) Resonanzüberhöhung infolge des Gehörgangs,
c) Realteil
d) Imaginärteil des Wellenwiderstands am Eingang des Gehörgangs,
e) aus c und d folgende Verluste infolge der mangelhaften Anpassung des Gehörgangs an den Wellenwiderstand der Luft.

folgenden Verluste darstellt. Die beste Anpassung liegt also um 2 kHz. Bereits hier werden entsprechend dem noch zu behandelnden Verlauf der Hörschwelle die tiefen Freqnezen abgeschwächt.

Das *Trommelfell* besitzt eine Dicke von ca. $^1/_{10}$ mm. Es schwingt nicht wie eine Membran in der Mitte am stärksten, sondern führt, wie Abb. 6.3a zeigt, im wesentlichen (wie eine Tür) Klappschwingungen um die gezeigte Achse aus. Hierzu tragen sowohl seine trichterförmige Gestalt (vgl. Abb. 6.1c) als auch der angewachsene Hammerstiel bei. Es läßt sich beweisen, daß eine solche Klappschwingung mehr Energie als eine Membranschwingung aufnimmt. Die Fläche des Trommelfells beträgt etwa 9,2 × 8,5 mm², also etwa 70 mm². Die Trichtertiefe ist etwa 2 mm. Die *Eigenresonanz* des Trommelfells liegt um 1,3 kHz. Sie läßt sich z. B. subjektiv feststellen, indem der Gehörgang mit dem Zeigefinger verschlossen und dann der Zeigefinger ruckartig bewegt wird.

Die *Paukenhöhle* ist, wenn von den kleinen notwendigen Öffnungen abgesehen wird, allseitig vom Felsenbein umschlossen. Ihr Hohlraum beträgt ca. 2 cm³. Für das optimmale Funktionieren des Trommelfells ist es notwendig, daß in der Paukenhöhle derselbe Druck herrscht wie am Außenohr. Deshalb wird die Eustachische Röhe vom einem meist nicht willkürlich betätigbaren Muskel beim Gähnen und Schlucken kurzfristig zum eventeuell notwendigen *Druckausgleich* geöffnet. Subjektiv spüren wir fehlenden Druckausgleich besonders stark beim Starten und -Landen von Flugzeugen infolge der schnellen Höhen-, bzw. Druckunterschiede. Entsteht dabei im Mittelohr ein Überdruck, so folgen bei Frequenzen um 1000 Hz Verluste um 20 bis 40 dB (Faktor 10 bis 100 im Schalldruck), bei 100 Hz um 20 dB, und ab 4 kHz kann sogar eine Lautstärkegewinn auftreten. Entsteht im Mittelohr dagegen ein Unterdruck, so treten vor allem zusätzlich verstärkte Verluste bei tiefen Frequenzen auf. Ein Gewinn macht sich dann bei keiner Frequenz bemerkbar.

Die drei *Gehörknöchelchen* (Abb. 6.3b) haben eine sehr geringe Masse: *Hammer* (Malleus) und *Amboß* (Incus) je etwa 25 mg und der *Steigbügel* (Stapes) sogar nur 2,5 mg. Sie sind durch elastische Bänder miteinander verbunden, und Hammer und Amboß schwingen um die Achse ihres gemeinsamen Schwerpunktes (Abb. 6.3c).

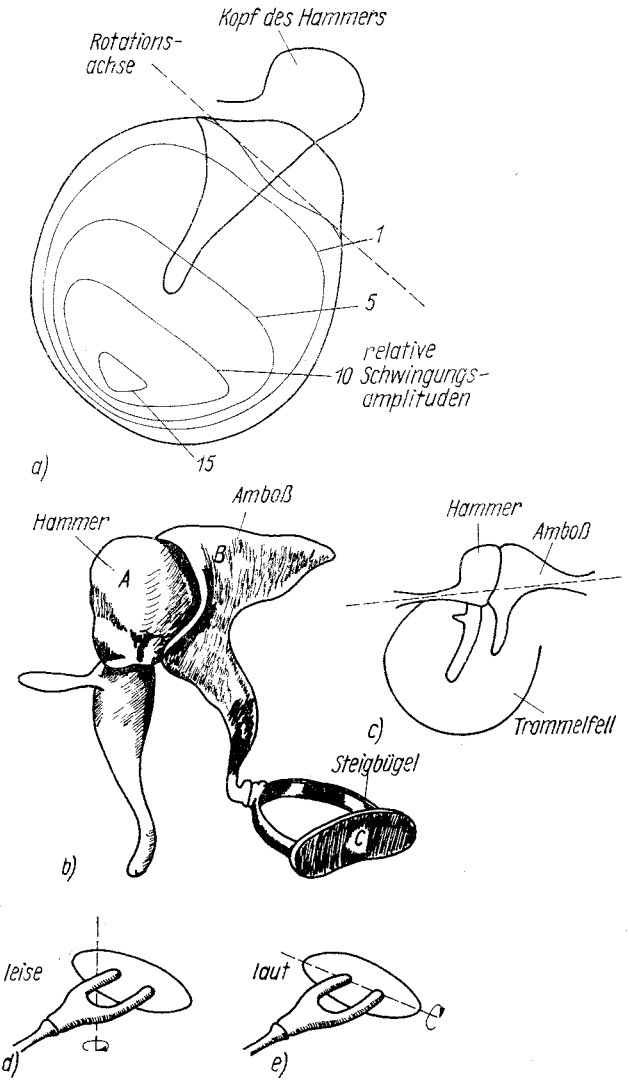


Abb. 6.3 Aussehen und Eigenschaften vom Trommelfell und Gehörknöchelchen [L3; L13; R3; S39; V16; W2]

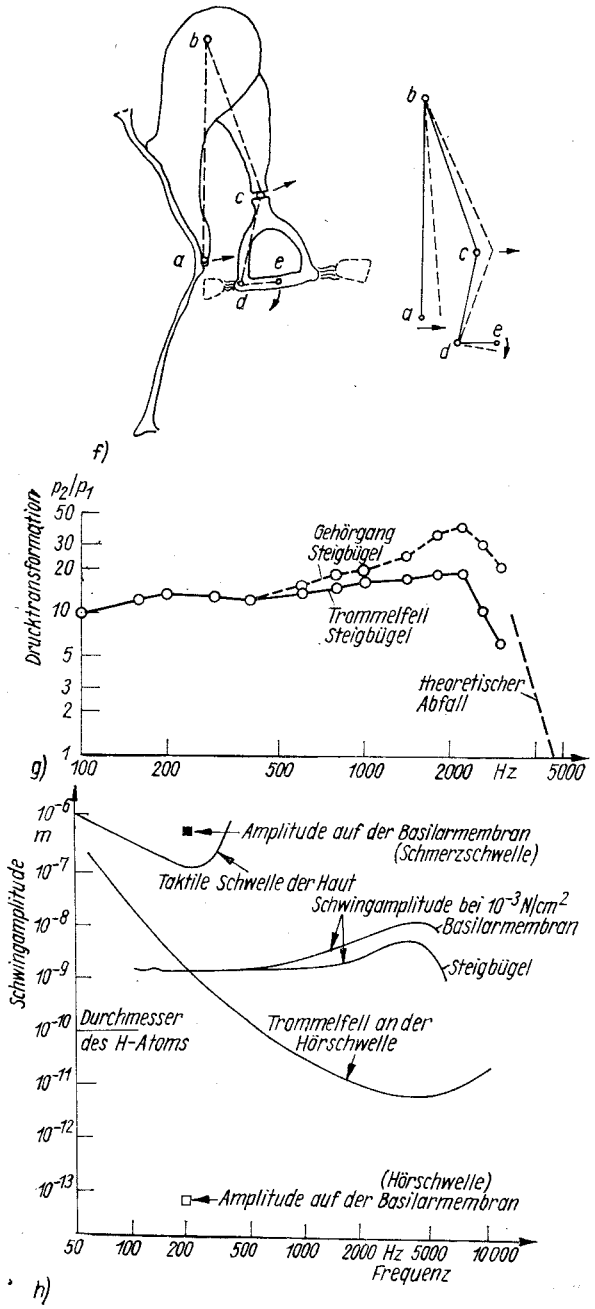
a) relative Schwingungsamplituden des Trommelfelles bei 2000 Hz. Es schwingt ähnlich einer Tür um die schräg gezeichnete Rotationsachse und besitzt daher unten links seine Maximalamplitude,

b) Aussehen und Lage von Hammer (A), Amboß (B) und Steigbügel (C),

c) Drehachse, die durch den gemeinsamen Schwerpunkt von Hammer und Amboß geht,

d) Kippungen des Steigbügels bei niedrigen Schallamplituden,

e) das gleiche bei hohen Amplituden,



f) Gesamthebelwirkung vom Trommelfell bis zum ovalen Fenster,
g) Drucktransformation der gesamten Schalleitungskette,
h) Schwingungsamplituden von Trommelfell, Steigbügel und Basilarmembran des Innenohres bei verschiedenen Frequenzen und Schalldrücken (Vergleichswerte von Membranen aus der Technik sind: Kohlemikrophon 10^{-8} m; Kondensatormikrophon 10^{-9} m, Telefonhöhrer 10^{-4} m, Lautsprecher 10^{-3} bis 10^{-2} m).

Hierdurch ist die Gehörknöchelchenkette völlig unempfindlich gegen Bewegungen des Kopfes, also u. a. auch Stöße, die vom Gehen oder Hüpfen herrühren. Der Schwingmechanismus, insbesondere des Steigbügels, kann durch *zwei Muskeln*, die an die Gehörknöchelchenkette angreifen, beeinflußt werden. Der Muskel Tensor tympanie greift am Hammer an und verändert die Spannung des Trommelfells. Der Muskel stapides greift am Steigbügel an. Er ist der kleinste menschliche Muskel überhaupt. Er ist 6 mm lang bei einem Querschnitt von weniger als 5 mm². Er verändert die Schwingungsrichtung des Steigbügels auf das ovale Fenster. Bei niedrigen Schallintensitäten wird gemäß Teilbild 6.3d mehr Energie als bei hohen Intensitäten gemäß Teilbild e übertragen. Dieser Mechanismus kann auch als *Schutzreflex* gegenüber zu großen Schalldrücken interpretiert werden.

Gemäß Teilbild 6.3f kann die gesamte *Gehörknöchelchenkette* als ein mehrfaches Hebelsystem mit einer Gesamtübersetzung von etwa 1:1,3 aufgefaßt werden. Sie ist also unwesentlich. Der Sinn der Kette liegt also nicht in der Bewegungsübersetzung, sondern in der Schwerpunkt„aufhängung" und in einem weiteren Fakt: Die Gehörknöchelchen stellen jedes für sich eine Masse dar, die untereinander durch elastische Bänder (Federn) verbunden sind. So entsteht ein *dreigliedriger Tiefpaß* mit einer oberen Grenzfrequenz um etwa 2,4 kHz (vgl. Abb. 6.3a). Sie bedingen also wesentlich den Anstieg der Hörschwelle für die hohen Frequenzen. Dies ist wiederum ein Schutzmechanismus für das Innenohr.

Die Gehörknöchelchenkette hat aber eine weitere Funktion. Sie paßt nämlich den *Wellenwiderstand der Lymphe* des Innenohrs an den Wellenwiderstand der äußeren Luft an. Dies würde aber auch mit einem Knöchelchen (wie z. B. bei den Vögeln) möglich sein, denn die wesentliche Anpassung erfolgt durch das Verhältnis der Flächen von Trommelfell (schallwirksam 55 mm²) zum ovalen Fenster mit 3,2 mm². Zusammen mit der Hebelübersetzung der Knöchelchenkette entsteht so eine *Drucktransformation* von 1:24. Hieraus ergeben sich die absoluten Werte von Abb. 6.3g. Die Erhöhung des Drucks und die Gesamtheit der Einflüsse bedingen, daß im Gehör nur extrem kleine Schwingungsamplituden auftreten (s. Abb. 6.3h). Sie liegen z. T. ganz erheblich unterhalb eines Atomdurchmessers.

Bereits im Mittelohr existieren gewisse *Nichtlinearitäten*. Sie liegen unter anderem in den elastischen Bindungen zwischen den Gehörknöchelchen und auch im Einwirken der beiden o. g. Muskeln. Hierdurch entstehen aus mehreren gleichzeitig einwirkenden Frequenzen *Kombinatjonsfrequenzen*. Sie haben bei *Musik* eine gewisse Bedeutung und sind für *Klavierstimmer* unentbehrlich.

6.4. Innenohr

Die *Schnecke* ist der entscheidende Teil des Innenohrs. Sie besitzt beim Menschen $2{,}5 \pm 0{,}4$ *Windungen* und wird in Abb. 6.4a im Schnitt gezeigt. Jeder *Querschnitt* (vgl. Abb. 6.4b) enthält *zwei Membranen* und wird so in drei Abschnitte geteilt:

Scala vestibuli

Reißnersche Membran

Ductus cochlearis

Basilarmembran

Scala tympani.

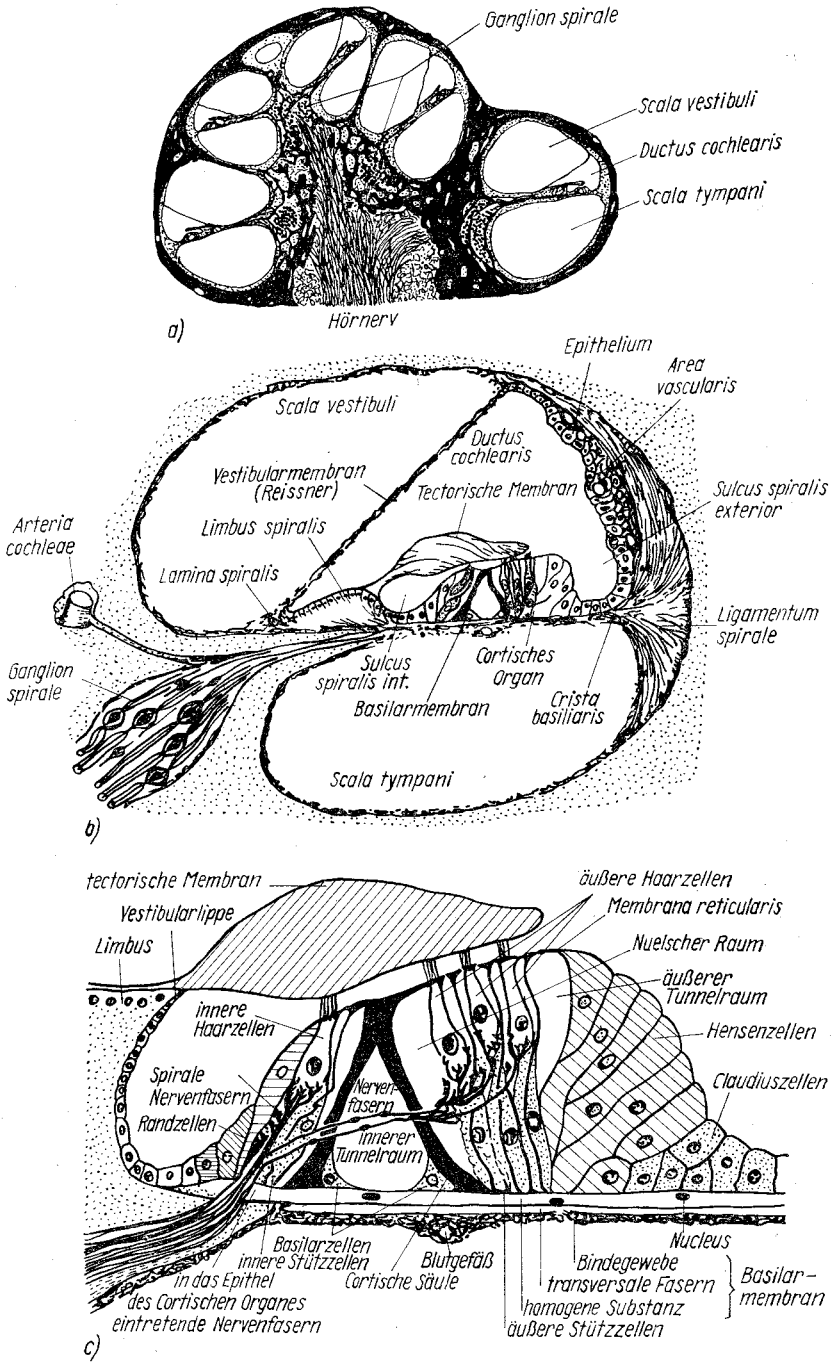


Abb. 6.4 Aufbau der Schnecke und des Cortischen Organs [D8; G1; K15; N10; N13; S39; V16]

a) Schnitt durch die Schnecke. In jeder Windung sind die drei durch Membranen getrennten Hohlräume zu erkennen,

b) Querschnitt durch den Schneckengang,

c) Vergrößerter Ausschnitt der Basilarmembran.

Zum *Mittelohr* hin endet die

Scala vestibuli am ovalen Fenster

und die

Scala tympani am runden Fenster.

Zum anderen Ende, an der Spitze der Schnecke, entfallen für ein kurzes Stück die Trennwände, so daß die Verbindung zwischen den Teilen hergestellt wird. Dieses Gebiet heißt *Helicotrema.*

Die *Reißnersche Membran* ist so dünn, daß sie für Schallerregungen vernachlässigt werden kann. Sie trennt jedoch die zähere Lymphe im Ductus cochlearis von jener weniger zähen in den anderen beiden über das Helicotrema miteinander kommunizierenden Skalen. Diese beiden stehen ferner mit der Lymphe in den Bogengängen in Verbindung. *Akustisch,* also für die Schallreizumwandlung, entscheidend ist die *Basilarmembran* (s. Abb. 6.4c). Sie besteht ihrerseits aus zwei Teilen, dem Basisstück, der eigentlichen Basilarmembran und der gallertartigen, lose aufliegenden *tectorischen Membran.* Im Basisstück sind die Nervenzellen eingelagert. Es werden die einreihig stehenden, *inneren Haarzellen* mit etwa 12 μm Durchmesser und die in drei Reihen stehenden, *äußeren Haarzellen* (etwa 8 μm) unterschieden. Insgesamt existieren etwa 3500 innere und 20000 äußere Haarzellen. Die Länge der Haarzellen nimmt zum Helicotrema zu. Alle Haarzellen enden mit etwa 50 *Sinneshärchen,* die zur tectorischen Membran zeigen und sie wahrscheinlich berühren. Bei Verbiegungen der Basilarmembran werden so die Haarzellen gereizt. Diese Reize werden zu den Nervenzellen im *Ganglion spirale* (also in der Schnecke gemäß Abb. 6.4a) weitergeleitet.

Die *Basilarmembran* hat abgewickelt eine *Länge* von 30 ± 5 mm. Sie erscheint in Querrichtung gefasert (über die Länge der Schnecke etwa 24000 Fasern), und ihre Breite variiert beträchtlich von etwa 50 μm am ovalen Fenster bis zu 500 μm am Helicotrema. Obwohl der Hohlraum in den Windungen zum Helicotrema enger wird, nimmt nach dorthin die Breite des beweglichen Teils der Trennwand, nämlich der Basilarmembran, auf den zehnfachen Wert zu. Dies führte Helmholtz zur *Resonanztheorie des Hörens.* Jede Querfaser sollte gleich einem Zungenfrequenzmeser auf eine Hörfrequenz abgestimmt sein. Diese Theorie hat sich als falsch erwiesen. Ergänzt sei, daß die Steife der Basilarmembran vom ovalen Fenster zum Helicotrema in guter Näherung exponentiell von 10^{-2} auf 1 cm³/N (10^{-7} ... 10^{-5} cm³/dyn) zunimmt.

6.5. Wanderwellentheorie des Hörens

Bei Resonanzen (Helmholtz-Theorie) besteht zwischen der Resonanzschärfe Δf und der Einschwingzeit Δt die Küpfmüllersche Unschärferelation

$$\Delta f \cdot \Delta t \approx 2 \,. \tag{1}$$

Wir hören nun z. B. 1000 Hz auf 3 Hz genau. Hierzu wäre also auf Grund der Resonanztheorie eine Zeit von $^2/_3 \approx 0{,}7$ Sekunden notwendig. Statt dessen genügen aber etwa zehn Millisekunden. Wir vermögen also mittels unseres Gehörs wesentlich schnel-

ler und genauer als theoretisch möglich, Schwingungen zu bestimmen. Die entsprechende Differenz ist so groß, daß sie nicht auf die Verarbeitung im Gehirn zurückgeführt werden kann. Dies ist nur ein Widerspruch, der aus der Resonanztheorie folgt. So entstand um 1930 die *Wanderwellentheorie des Hörens.* Zu ihrer Erklärung sei von einem vereinfachten, entwundenen *Modell der Schnecke* gemäß Abb. 6.5 ausgegangen. Dabei wird die Basilarmembran mit der Schneckenflüssigkeit als ein homogener Wellenleiter mit Tiefpaßcharakter betrachtet. Die *Grenzfrequenz* nimmt entsprechend der Steifigkeit etwa exponentiell vom ovalen Fenster zum Helicotrema hin ab. Am Steigbügel liegen also die hohen und am Helicotrema die tiefen Grenzfrequenzen. Es werde zunächst eine einzelne Wanderwelle betrachtet, die vom Steigbügel erzeugt wird und zum Helicotrema läuft (s. Abb. 6.5b). Für die gesamte Fläche der Basilarmembran jedoch für nur einen Zeitpunkt gilt Abb. 6.5c. Die *Amplitude der Wanderwelle* steigt infolge der Resonanzeigenschaften der Basilarmembran (Hüllkurve in Bild b) zunächst in Richtung zum Helicotrema an, erreicht ein Maximum und wird dann stark gedämpft. Dies läßt sich auch so interpretieren, daß die Wanderwelle in der Scala vestibuli als Druckwelle entlangläuft und dabei immer stärker wegen der Resonanzeffekte die Basilarmembran miterregt. Kurz vor der zugehörigen Grenzfrequenz der Basilarmembran ist die Erregung so stark, daß die Wanderwelle zur Scala tympani übertritt und von dort aus rückwärts zum ovalen Fenster wandert. *Am runden Fenster* erfolgt dann der *Druckausgleich.* Hieraus wird auch verständlich, daß bei verhärtetem runden Fenster eine erhebliche Beeinträchtitung für das Hören erfolgt.

Für verschiedene Frequenzen lassen sich nach diesem Prinzip die Orte der Maximalamplituden der Basilarmembran sowohl messen als auch berechnen. Dabei ergibt sich eine gute Übereinstimmung (s. Abb. 6.5e). Den geschilderten Effekten sind noch *Wirbel* überlagert. Die entsprechenden Verhältnisse am Steigbügel und in einem Schneckenmodell zeigt Abb. 6.5b, f und g.

Mit der geschilderten Theorie wurde auch eine Übereinstimmung bezüglich der notwendigen Zeit für unterscheidbare Frequenzstufen erzielt (s. Abb. 6.6).

6.6. Hörbahn

Die *Hörbahn* ist wegen der hochkomplexen Schallverarbeitung durch eine Vielzahl auf- und absteigender (afferenter und efferenter) Bahnen gekennzeichnet (s. Abb. 6.7). Die Verarbeitung beginnt danach also bereits in der Schnecke selbst, wobei auch effektorische Fasern auf die *äußeren Haarzellen* einwirken und offensichtlich so ihre *Empfindlichkeit* regeln. Da viele von ihnen affektorisch zusammengeschaltet sind, besitzen sie eine hohe Empfindlichkeit. Die *inneren Haarzellen* übernehmen wegen der überwiegenden Konvergenz dagegen die Feinanalyse bei größeren Lautstärken. Die Verschaltung zwischen linker und rechter Seite beginnt von der Olive an aufwärts. Generell ist die Verschaltung von hier ab auch so, daß die Aktionsströme eine unterschiedliche Anzahl von Neuronen zu durchlaufen haben. Die Verzögerung des Aktionspotentials wird zu den höheren Neuronen stärker, als es der Anzahl von Neuronen entspricht. Die Verarbeitung wird folglich immer komplexer.

Leider ist bisher über diese Prozesse noch sehr wenig bekannt. So gibt es einerseits *Neuronen,* bei denen mit der Höhe der Verarbeitung die *Resonanzschärfe* der Aktions-

ströme erheblich zunimmt. Es gibt aber auch anderes Verhalten. Besonders interessante Ergebnisse fand KEIDEL mit *Verbund-Intervall-Histogrammen.* Er leitete dazu Aktionspotentiale aus dem *Corpus geniculatum der Katze* ab (Abb. 6.8). Dabei zeigte sich, daß die Zeitabstände zwischen den Aktionspotentialen bestimmten Regeln folgen, und für einige Neuronen treten besonders starke Entladungen bei *Oktaven* und *Terzen* auf. Bereits auf dieser Ebene bei der Katze scheint die Fähigkeit, einfache musikalische Intervalle wahrzunehmen, schon fest „verdrahtet" zu sein. Andere Neuronen in den verschiedenen Nervenzentren sprechen weniger auf Frequenzen bzw. deren Verhältnisse, sondern mehr auf zeitliche Sequenzen oder auf Änderung der Frequenz bzw. *Lautstärke* an. Dies zeigt sich u. a. auch darin, daß wir Sprache unabhängig von ihrem Grundtonbereich erkennen. Es dürfte vielmehr das diesem Träger aufmodulierte Schallsignal als unabhängige Größe analysiert werden.

Bei Musik fällt auf, daß wir bei einem harmonischen Spektrum stets den Grundton als Hauptton hören, und zwar auch dann, wenn er in Wirklichkeit im Spektrum nicht vorhanden ist. Dies läßt auf folgende Verarbeitung schließen: Die einzelnen Oberwellen bilden auf der Basilarmembran Erregungsmaxima in definiertem Abstand. Werden nur diese Abstände ausgewertet, so entsprechen sie dem *Grundton.* Hierzu

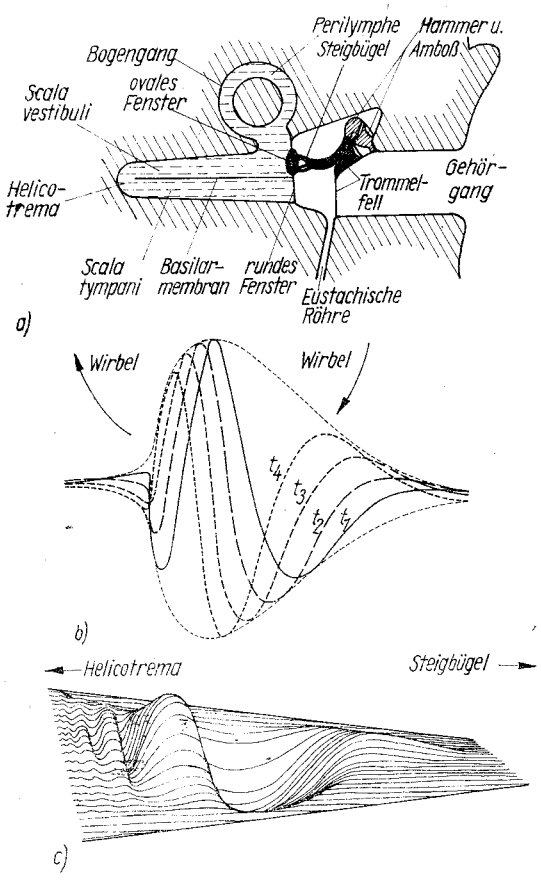
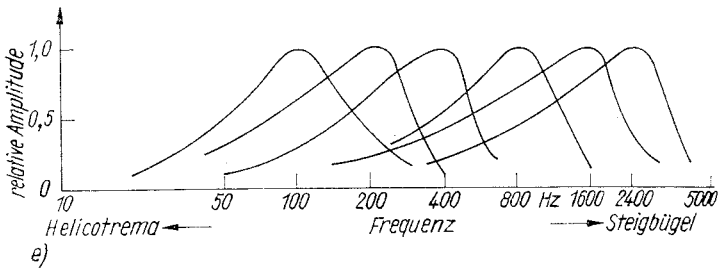
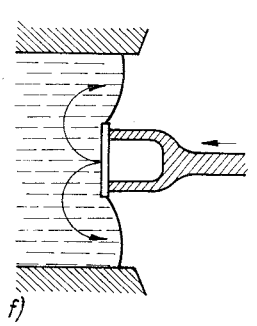
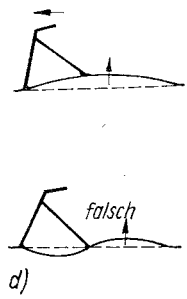


Abb. 6.5







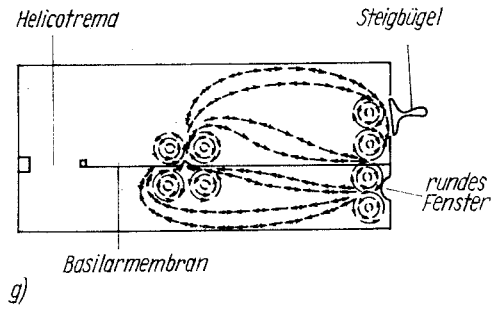
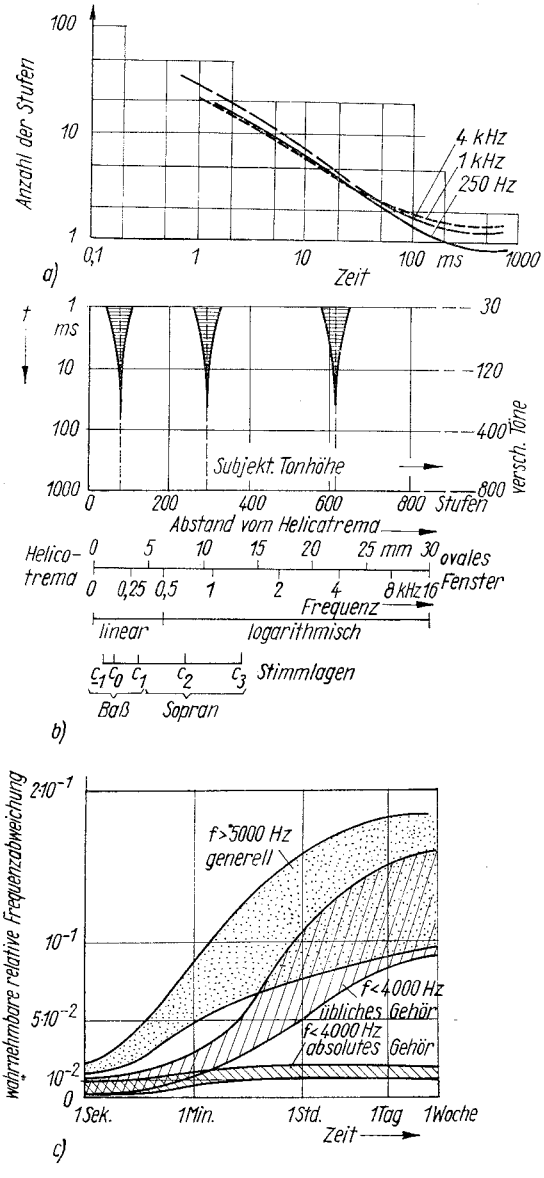


Abb. 6.5 Zur Wanderwellentheorie des Innenohrs. Um Übereinstimmung mit den üblichen Frequenzkurven zu erhalten, wird jetzt gegen alle Gewohnheit der Steigbügel rechts und das Helicotrema links gewählt [G22; K15; L11; L13; S39; W2]

a) abgewickeltes Schema der Schnecke mit zugehörigen Außen- und Mittelohr,
b) Schwingungsamplituden der Basilarmembran im zeitlichen Abstand von 1/8 Periode. Die Hüllkurve deutet die maximalen Amplituden an,
c) Zeitausschnitt eines Schwingungszustands über die gesamte Länge und Breite der Basilarmembran, jeder Querschnitt hat in der Mitte seine größte Amplitude,
d) dadurch bewegen sich die tectorische Membran und die Haarzellen (vgl. Abb. 6.4) senkrecht zur Länge der Schnecke gegeneinander,
e) Hüllkurven für die Schwingungsamplituden der Basilarmembran bei verschiedenen Frequenzen,
f) Erzeugung von Wirbeln durch die Bewegung des Steigbügels,
g) Wirbelbildungen und -bewegungen am ovalen und runden Fenster sowie am Ort der Maximalamplitude der Basilarmembran.

dürfte bereits eine Längsverschaltung der Haarzellen im Mittelohr beitragen, aber auch höhere Zentren müssen dabei mitwirken. So ist es verständlich, daß im Extremfall zwei höhere, aber benachbarte Oberwellen genügen, um den Eindruck ihres Grundtons hervorzuzurufen. In diesem Sinne läßt sich auch das o. g. Wahrnehmen von musikalischen *Grundintervallen* erklären. Entscheidend für all dies Geschehen dürften also die *örtlichen Erregungsmuster auf der Basilarmembran* und deren Weiterverarbeitung sein. So wird ein musikalischer Ablauf für das Gehirn mehr räumliches als zeitliches Geschehen und ist daher entsprechend Tab. 4.12 mehr der rechten Hirn-



hemisphäre gemeinsam mit dem Bild- und Formgefühl zugeordnet. Einer melodische Linie entspricht im Gehirn einer räumlichen Gestalt.

Aus der Sicht der Sprache läßt sich am leichtesten auch die Notwendigkeit der unterschiedlichen Aufgaben beider Hirnhemisphären erklären. Hier war es notwendig, schnellste Verarbeitungsmechanismen für die Erkennung von Phonemen zu schaffen. Ein Weg über den Balken hätte dafür einfach zuviel Zeit gebraucht. Dementsprechend werden die schnellen musikalischen Abläufe, wie sie bei Ein- und Ausschwingvorgängen von Instrumenten oder z. T. betont in der zeitgenössischen Musik auftreten, wieder stärker in der linken Hemisphäre aufgenommen. Dies ist auch ein Grund, warum die zeitgenössische Musik z. T. so emotionsarm wirkt.

Einen gewissen Überblick zu den Verarbeitungszeiten bei Phonemen gibt Abb. 6.9. Es zeigt sich, daß im Mittel eine *Darbietungszeit* von etwa 15 ms ausreicht, für die *Erkennung* aber anschließend noch um 150 ms notwendig sind. Dabei bestehen bereits Unterschiede, ob die Phoneme gehört oder gelesen werden. Für das *Nachsprechen* der Laute wird dann eine Reaktionszeit gegen 200 ms und eine Artikulationszeit von ca. 100 ms notwendig. Insgesamt vergeht also eine halbe Sekunde, bevor ein gehörter oder gelesener Laut nachgesprochen wird. Dies zeigt, wie vielfältig dabei die Verarbeitungsprozesse sind.

Außerhalb des Menschen existiert Sprache dreifach (Abb. 6.10a), einmal als *Schall*, dann als *Schrift* (optische Zeichen) und schließlich als Bezug zu *Objekten*, *Prozessen* usw. Die akustischen und optischen *Zeichen* müssen bei der Sprache sowohl rezipiert als auch aktiv manipuliert werden. Für sie sind also sensorische und motorische Kanäle notwendig. Alle diese Wege werden im Gehirn zu einer Einheit integriert. Dabei ist aber jeweils zwischen den motorischen und sensorischen Fähigkeiten zu unterscheiden (Teilbild b). Weitere Unterschiede bestehen im aktiven und passiven Gebrauch der sprachlichen und bildlichen Symbole. Aus diesen Zusammenhängen lassen sich unterschiedliche *Sprachstörungen* verstehen. Es wird aber auch deutlich, welchen umfangreichen Bereich im Gehirn die Sprache in dieser (notwendigen) Breite umfaßt (Teilbild c). Die einzelnen Gebiete besitzen sehr wahrscheinlich in der Rinde

◀ Abb. 6.6 Zusammenhang von Zeitdauer und Frequenzauflösung, die mittels des Gehörs möglich ist [K15; L11; L13; S39]

a) relative Stufenbreite, bezogen auf die Maximalauflösung des Gehörs in Abhängigkeit von der Dauer des Tons,

b) Lage der Frequenzstufen, bezogen auf die Orte der Basilarmembran (Mitte). Es ist eine lineare Teilung bei den tiefen Frequenzen bis etwa 500 Hz in der Nähe des Helicotremas und darüber zum Steigbügel hin eine logarithmische Einteilung zu unterscheiden. Die Grundtöne der verschiedenen menschlichen Stimmen sind darunter dargestellt. Darüber ist schematisch dargestellt, wie sich mit Verkürzung der Wahrnehmungszeit die unterscheidbaren Frequenzen als Bereiche verbreitern,

c) unterscheidbare Frequenzabweichungen über lange Zeit. Es sind drei Gebiete zu erkennen. Oberhalb 5000 Hz, wo keine musikalische Benennung der Tonhöhen mehr vorliegt, unterscheiden sich Menschen mit normalem und absolutem Gehör nicht. Unterhalb 4000 Hz sind dagegen die Unterschiede sehr signifikant.

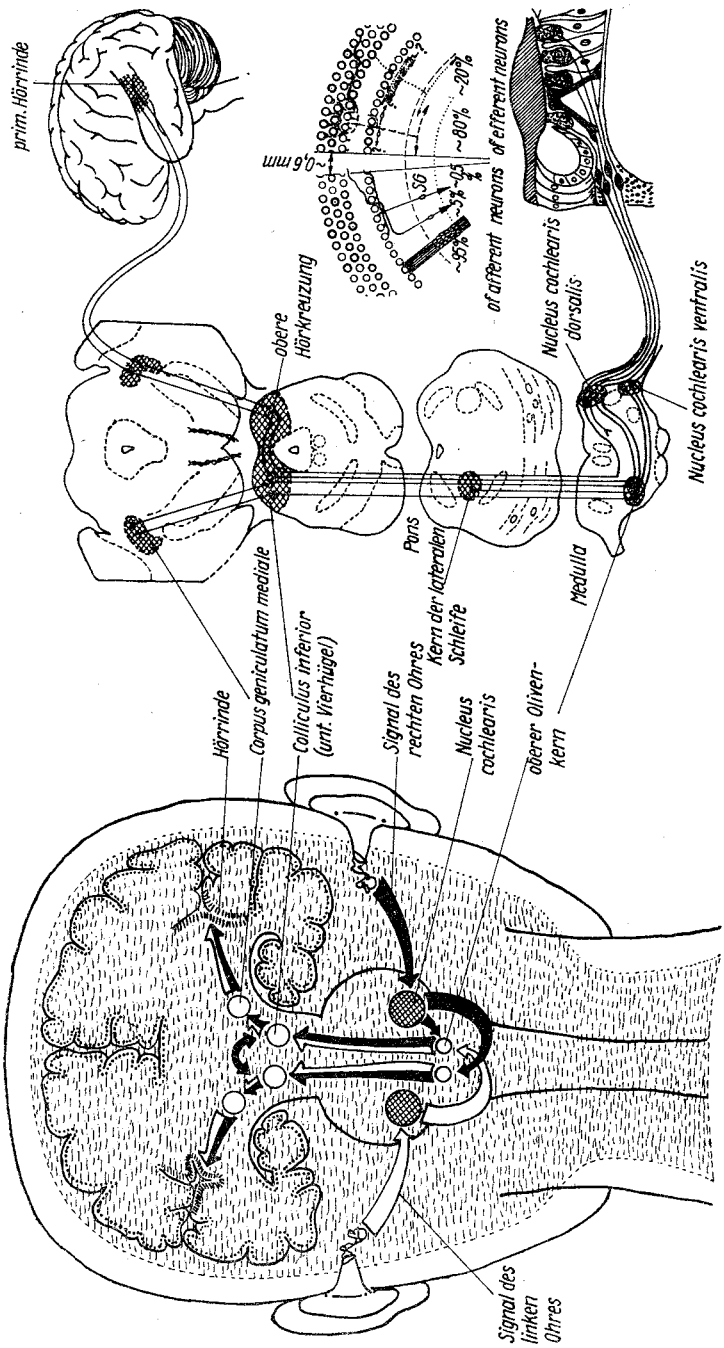

prim. Hörrinde
obere Hörkreuzung
~0,6 mm
~80% ~20%
~95% ~5% ~0,5%
SG
of afferent neurons
of efferent neurons
Nucleus cochlearis dorsalis
Nucleus cochlearis ventralis
Pons
Kern der lateralen Schleife
Medulla
Hörrinde
Corpus geniculatum mediale
Colliculus inferior (unt. Vierhügel)
Signal des rechten Ohres
Nucleus cochlearis
oberer Oliven-kern
Signal des linken Ohres
a)
b)

Abb. 6.7

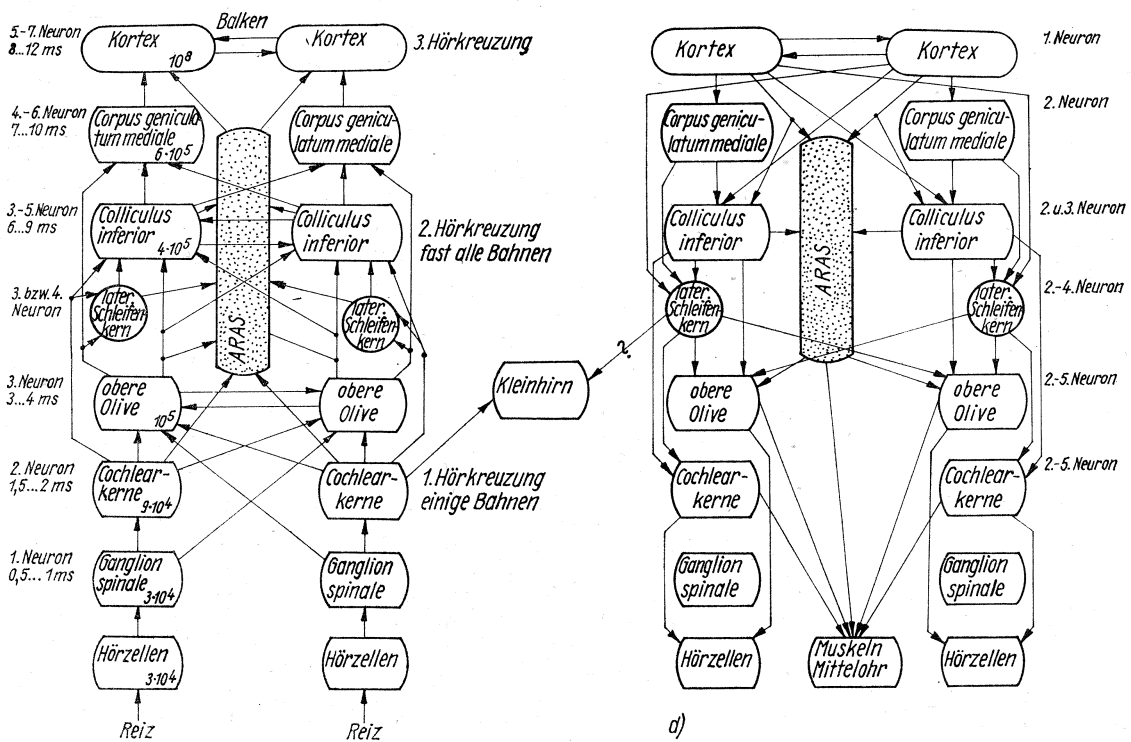


Abb. 6.7 Zusammenstellungen zur Hörbahn des Menschen [A12; F2; F3; G6; G7; G12; G22; K15; L11; L12; L13; R3; R6; R17; S12; S39; S50; W2]

a) besonders stark vereinfachte Darstellung mit Lokalisierung der Nervenzentren im Kopf (von hinten gesehen),

b) vereinfachte Darstellung der Bahnen mit Schnittdarstellungen auf verschiedenen Höhen sowie der Schnecke und der Seitenansicht des Gehirns. Für die Schnecke ist außerdem ein Ausschnitt einer Draufsicht auf die Haarzellen gezeigt, der ihre Verschaltung bezüglich afferenter und efferenter Fasern zeigt. Bei den inneren Haarzellen liegt eine hohe efferente Konvergenz von ca. 20:1 vor, bei den äußeren Haarzellen dagegen eine hohe efferente Divergenz von 1:10,

c) schematische Zusammenfassung aller bedeutsamen aufsteigenden Bahnen, wobei die Zellzahlen der wesentlichen Kerngebiete angegeben sind,

d) schematische Zusammenstellung der wichtigsten efferenten Fasern. Das Ganglion spirale in der Schnecke besitzt also nur affektorische Fasern.

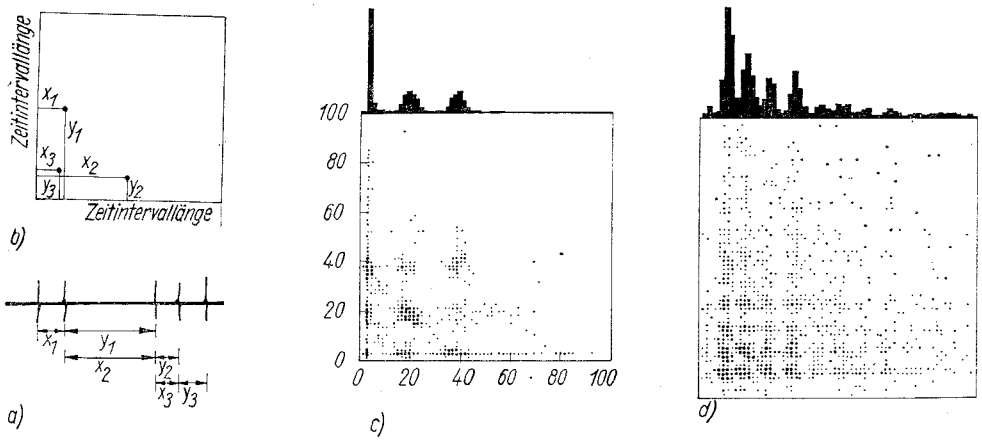


Abb. 6.8 Verbund-Intervall-Histogramme
a) Zeitliche Folge von Aktionspotentialen,
b) Eintragung der Werte von Bild a in ein Verbund-Intervall-Histogramm,
c) Beispiel für ein spontan aktives Neuron,
d) dasselbe Neuron bei Erregung des Gehörs mit Impulsen von 3500 Hz und 100 ms Dauer.

keine direkte Verbindungen. Diese gehen wohl größtenteils über den Thalamus. Bei entsprechenden Zerstörungen in ihm treten daher schwerwiegende Sprachfehler bzw. -probleme auf. Aus der sehr großen Vielfalt der Sprachstörungen seien hier nur die drei Hauptgruppen behandelt, die auf Grund der Bilder unmittelbar einleuchtend sind:

Primäre Störungen betreffen in der Regel die Hörbahn direkt und führen z. B. zur *Taubheit*. Ähnliche Fehler treten auf, wenn die motorischen Bahnen betroffen werden. Hier werden *Sprach- und Schreibunfähigkeit* unterschieden, je nachdem, ob der Artikulationsapparat oder die Hand betroffen ist.

Die *motorische Aphasie* betrifft im wesentlichen Ausfälle des II. Sprachzentrums. Ein derartiger Kranker versteht alles, was man ihm sagt. Er kann sein *eigenes Denken* jedoch *nicht in Worte fassen*, weder sprechend noch schreibend. Ihm fehlt hierzu der Bewegungsentwurf. Bei schlimmen Fällen können die Kranken statt ja oder nein nicht einmal nicken oder den Kopf schütteln. Dennoch können derartige Kranke alle Gefühle empfinden und z. T. weitgehend denken. Dies beweisen ihre sinnvollen Handlungen (averbale Intelligenz). Aktiv sprachlich bleiben aber nur einfache Floskeln und Flüche erhalten.

Die dritte Art ist die *sensorische Aphasie*. Strenggenommen existiert sie nicht allein. Sie hängt mit der Zerstörung der sekundären Hörrinde zusammen. Ein derartiger Kranker *hört zwar alles, kann ihm aber keinen Sinn zuordnen*. Alles klingt wie eine völlig unbekannte Fremdsprache. Derartige Kranke sprechen völlig ungehemmt und viel und zwar ein unverständliches Kauderwelsch. Dennoch sind auch diese Menschen auf averbalem Gebiet noch z. .T. hoch leistungsfähig. So wurde der sowjetische Komponist W. Schebalin von einer Blutung des linken Schläfenlappens betroffen. Sie führte zu einer starken sensorischen Aphasie. Dennoch konnte er weiterhin wertvolle Symphonien schaffen.

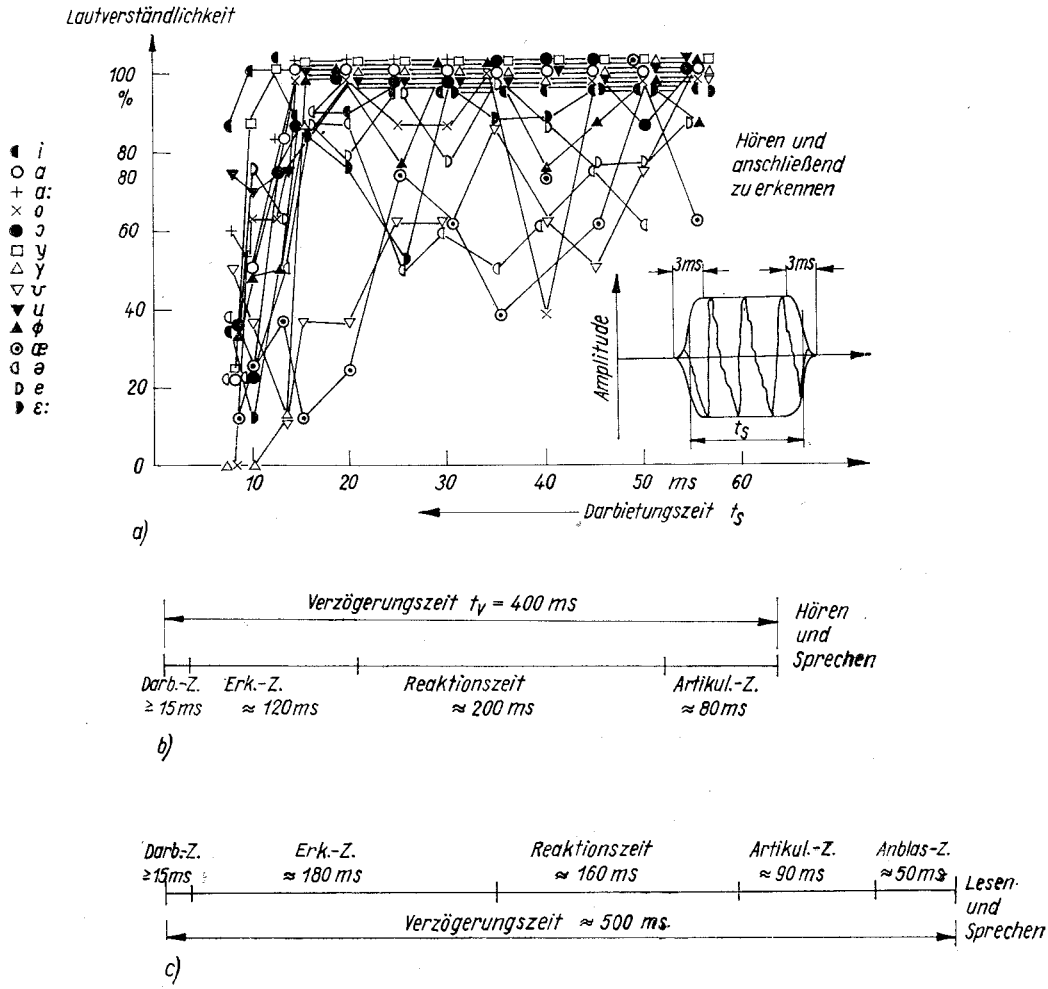


Abb. 6.9 Abhängigkeit der Verständlichkeit verschiedener Laute von der Darbietungszeit (a) und Einteilung des Zeitablaufs, bis ein gesprochener (b) bzw. gelesener (c) Laut nachgesprochen wird. (Die Zeiten in b und c wurden mit unterschiedlichen Methoden ermittelt. Hieraus folgen die Abweichungen bei den vermutlich gleichen Zeiten.)

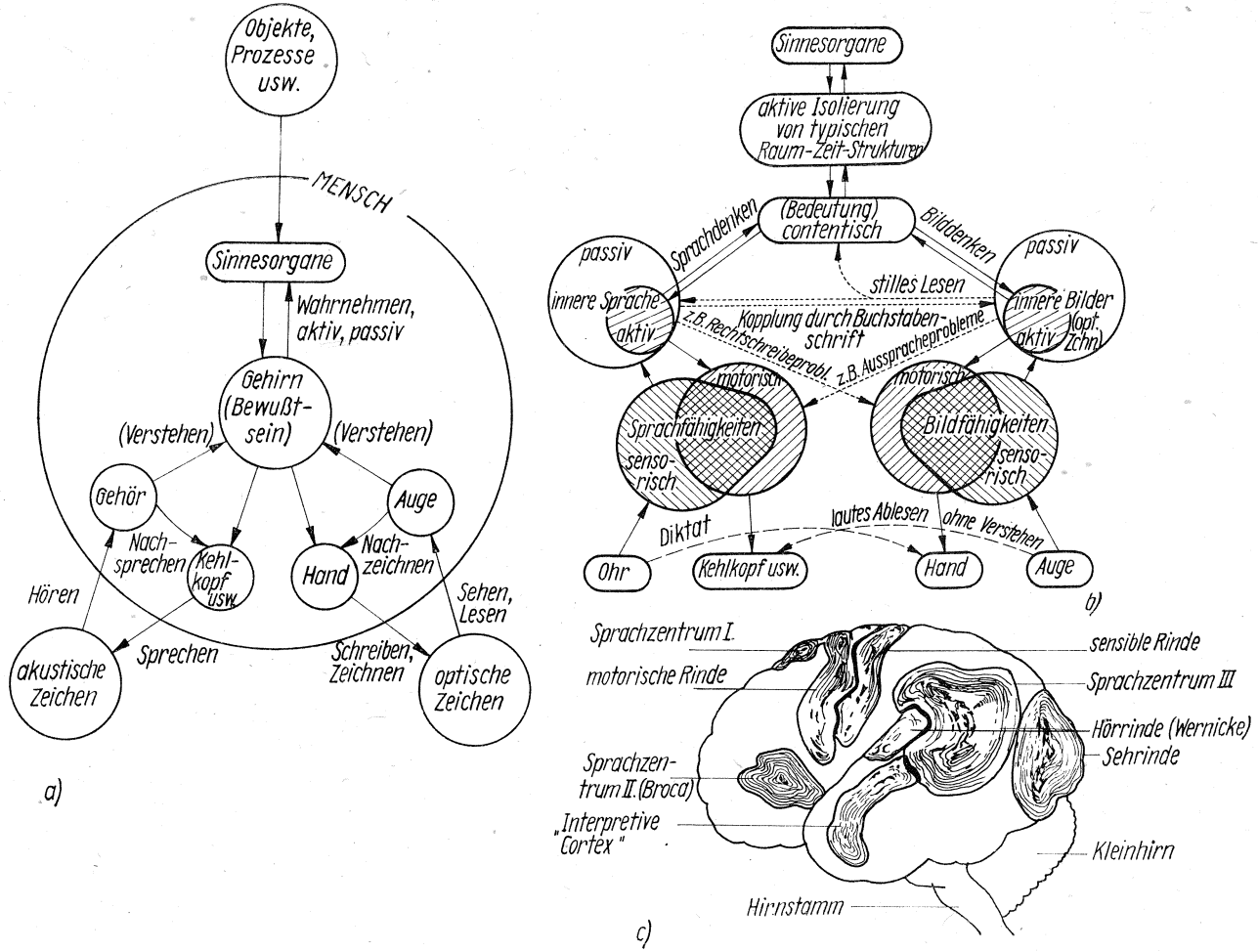


Abb. 6.10 Zur Komplexität der Sprache [F2; L5; L12; W20]
a) die drei äußeren Fakten der Sprache: Objekte usw., auf die sich Sprache in Form akustischer bzw. optischer Zeichen bezieht,
b) zusätzliche Unterscheidung von sensorischer und motorischer Sprachbetätigung sowie des aktiven und passiven Wort- bzw. Bildschatzes.

7. Gedächtnis

7.1. Allgemeines

Das ‚was in der *Technik Speicher* heißt, entspricht im *Biologischen* dem *Gedächtnis*. Prinzipiell können vier Arten von Gedächtnis unterschieden werden:

Das *genetische Gedächtnis* besteht in der Anordnung der Nukleotidsequenzen als Erbsubstanz. Mit dem molekular-genetischen Apparat der Zelle wird hiermit das Lebewesen aus der Keimzelle konstruiert und dann lebensfähig gehalten. Die entsprechenden Zusammenhänge wurden im Kapitel 2 behandelt.

Mit dem *immunbiologischen Gedächtnis* ist ein Lebewesen imstande, körpereigene und körperfremde Substanzen zu unterscheiden und auf schon einmal abgewehrte Fremdstoffe besonders schnell zu reagieren. Dies wird in der Medizin bei den Schutzimpfungen ausgenutzt. Da diese Zusammenhänge noch relativ wenig verstanden werden und geklärt sind, wurde hier auf eine Behandlung verzichtet.

Relativ selten wird von einem *hormonellen Gedächtnis* gesprochen, obwohl mit ihm die Wirkung der Hormone gut erklärbar ist. Das Gedächtnis ist dann struktureller Art, und sein Sitz ist der Membranrezeptor, an dem primär das Hormon auf die Zelle bzw. die Zellgruppen bzw. das Organ einwirkt.

Der vierte Typ ist das *neuronale Gedächtnis*. Ihm ist dieser Hauptabschnitt gewidmet. Es wird noch, wie bereits im Zusammenhang mit Abb. 4.1 erwähnt, in *zwei Arten* unterteilt:

- ererbtes Gedächtnis,
- individuelles Gedächtnis.

Auf die Technik übertragen entsprechen ihnen Festwertspeicher (ROM = read only memory) und reversibler, also veränderlicher *Speicher* (z. B. RAM = random access memory). Der erste Speichertyp wird auch mittels des Ausdrucks „fest verdrahtete Abläufe“ umschrieben. Im zweiten Speicher sind ständig neue Informationen eingebbar und damit auch alte veränderbar. So wie in der Technik der Festwertspeicher der einfachere Speicher ist, so ist in der Biologie das *ererbte Gedächtnis das ältere*. Dies läßt sich auch aus der Abfolge der Verhaltensaspekte gemäß Abb. 3.1 erkennen. Die niederen Verhaltensaspekte bis zum Instinkt beruhen fast ausschließlich auf genetisch vorgegebene Verbindungen, also gehören zum ererbten Gedächtnis. Selbst die staatenbildenden Insekten besitzen überwiegend ein ererbtes Gedächtnis. Das individuelle Gedächtnis ist wesentlich mit dem Lernen der Individuen verknüpft. Nur über Lernen gelangen neue Erfahrungen ins individuelle Gedächtnis.

Der Ort des neuronalen Gedächtnisses ist das Gehirn. Es hat sich in der letzten Zeit eindeutig gezeigt, daß sich das Gedächtnis aber nicht auf bestimmte Hirnareale

begrenzen läßt. Noch weniger gilt dies für bestimmte Gedächtnisinhalte. Das *Gedächtnis* ist vielmehr etwa der *Gehirnmenge* insgesamt *proportional*. Es gibt aber auch Gebiete, die für das Funktionieren des Gedächtnisses bzw. spezifischer Abläufe dabei von besonderer Bedeutung sind. Hierzu gehört u. a. der Hippocampus.

In die zuletztgenannten Fakten wollen sich nicht recht jene Ergebnisse einordnen, die bei Patienten mit Schläfenlappenepilepsie und nur bei diesen dann auftreten, wenn bestimmte Gebiete der Aera 4 elektrisch gereizt werden. Solange der elektrische Reiz anhält, laufen dann zeitgetreue „Filmstreifenerlebnisse" ab. Der Patient weiß dabei, daß er sich im Krankenzimmer befindet, und dennoch erlebt er überdeutlich und detailgetreu Geschehnisse aus seiner ihm schon nicht mehr bewußten Vergangenheit. Ein Patient hörte so z. B. ein Symphonieorchester spielen, eine Patientin erlebte erneut die Geburt ihres Kindes usw. Heute steht fest, daß die Schläfenlappen nicht wesentlich mehr oder weniger als andere Rindengebiete zum Gedächtnis beitragen, denn werden sie zerstört, so leidet das Gedächtnis weder spezifisch noch überproportional zur verlorengegangenen Hirnsubstanz. Es wird angenommen, daß in den Schläfenlappen die Verknüpfungen zwischen jeweils ähnlichen Situationen erfolgen.

Auf quantitative Werte des Gedächtnisses wurde in der Studie [V15] eingegangen. Hier seien jedoch einige Sonderleistungen genannt. So gibt es zuweilen Rechenkünstler, die zehnstellige Zahlen in Windeseile richtig multiplizieren. Um 1930 gab es auf dem jetzigen Ostbahnhof in Berlin einen Mann, der den gesamten Eisenbahnfahrplan von Deutschland exakt auswendig kannte. Über besondere Gedächtnisleistungen in der *Hypnose* wird ebenfalls berichtet. So konnte hierbei ein *sechzigjähriger Maurer* einzelne Ziegel nachweisbar richtig beschreiben, die er vor zwanzig Jahren vermauert hatte. Schließlich sei noch auf die *Eidediker* verwiesen. So wird von MOZART berichtet, daß er imstande war, eine nur einmal gehörte Messe anschließend notengetreu niederzuschreiben.

Die Untersuchungen zum Gedächtnis nehmen heute international einen breiten Raum ein. Sie erfolgen vor allem auf drei Ebenen:

- biochemisch — molekular,
- neurophysiologisch — neuroanatomisch,
- verhaltensphysiologisch — psychologisch.

Im folgenden wird nur auf die ersten beiden Wege etwas eingegangen.

7.2. Phänomenologie

Das Gedächtnis ist nur als ein einheitlicher Prozeß zu verstehen. Dennoch gibt es vielfältige Hinweise dafür, daß hier mehrere Prozesse in komplexer Weise zusammenwirken. Sie werden besonders deutlich, wenn die Zeitkonstanten des Lernens, Behaltens und Vergessens untersucht werden. Dabei zeigte sich, daß es zwei bis vier Gedächtnisstufen gibt. Meist werden drei genannt. Sie lassen sich auch immer mehr, wie noch gezeigt wird, von unterschiedlichen Seiten begründen. Für diese *drei Stufen* sind verschiedene Namen gebraucht worden und im Gebrauch. Hier werden die erstgenannten verwendet:

Gegenwartsgedächtnis: Kurzspeicher, Bewußtseinsspeicher, Immediatgedächtnis, Fluoreszenzgedächtnis, Sofortgedächtnis, sensorisches Gedächtnis.

Kurzzeitgedächtnis: Kurzgedächtnis, Minutengedächtnis, mittelfristiger Speicher bzw. Gedächtnis, primäres Gedächtnis, Intermediargedächtnis.

Langzeitgedächtnis: Langgedächtnis, Dauergedächtnis, sekundäres Gedächtnis.

In einigen Fällen werden Kurz- und Langzeitgedächtnis zusammengefaßt und damit dem Gegenwartsgedächtnis gegenübergestellt.

Neben den drei Gedächtnissen wird zuweilen noch von einem zusätzlichen *Ultrakurzzeitgedächtnis* (sensorisches Register) gesprochen. Hierunter werden Effekte verstanden, die sich im Millisekunden-Bereich abspielen. Hierzu gehört u. a. das Erkennen von Symbolen. Das zugehörige Substrat könnten die einzelnen zusammenhängenden Aktionspotentiale sein. In anderen Fällen wird das Gegenwartsgedächtnis noch in ein *unmittelbares* und ein *operatives Gedächtnis* unterteilt. Das unmittelbare wird dabei im Zusammenhang mit Behalten von sinnlosen Silben oder Zufallszahlen untersucht. Beim operativen Gedächtnis müssen zwischendurch noch mit dem angebotenen Material, z. B. Zahlen, mathematische Operationen durchgeführt werden. Erst das Ergebnis ist dann zu behalten.

Wie in der Studie [V15] genauer beschrieben, ist das Gegenwartsgedächtnis relativ klein und zeitlich auf etwa 10 Sekunden begrenzt. Von dem Gegenwartsgedächtnis gelangt im Mittel etwa $^1/_{30}$ ins Kurzzeitgedächtnis und wird hier für Minuten bis Stunden behalten. Es umfaßt etwa die *Informationsmenge* einer Unterrichtsstunde. Von dem Kurzzeitgedächtnis gelangt wiederum $^1/_{10}$ ins Dauergedächtnis und bleibt hier als Wissensbesitz ständig bestehen. Die Auswahl der Teilmengen bei den Übergängen ist von vielen Umständen abhängig, z. B. vom Vorwissen und vom emotionellen Status, also u. a. von der Bedeutsamkeit.

Für die Beschreibung des Zusammenwirkens der Gedächtnisse und der einzelnen Teilgedächtnisse gibt es auch verschiedene *mathematische Modelle*. Sie beschreiben jedoch immer nur statistische Fakten, während das Lernen doch offensichtlich einen Prozeß zwischen Zufall und Determiniertheit ist.

7.3. Einige Störeinflüsse

Es gibt eine große Vielfalt und Vielzahl von Einflüssen, die hemmend oder fördernd auf das *Gedächtnis* einwirken. Dennoch, einen Nürnberger Trichter gibt es nicht und dürfte es nach den bisherigen Kenntnissen auch kaum jemals geben. Mittlerweile kristallisiert sich aber eine solche Einteilung der Einflüsse heraus, die ebenfalls auf die drei im vorigen Abschnitt genannten Gedächtnisse hinweist. Damit wird auch eine Grundlage zu Ansätzen über die möglichen Prozesse der Teilgedächtnisse erbracht. Alle Störungen wirken sich so aus, daß sie mehr oder weniger stark die Übergänge, also jene vom Gegenwarts- zum Kurzzeitgedächtnis und jene vom Kurzzeit- zum Langzeitgedächtnis, betreffen. Hier müssen ja, wenn die Einteilung stimmt, im Gehirn bestimmte Prozesse ablaufen. So ist es z. B. auffallend, daß unser *Dauergedächtnis* kaum zu beeinflussen ist. Selbst tiefe Narkose, starke Unterkühlung oder beträchtlicher Sauerstoffmangel bewirken anschließend keine Störungen. Dies ist deshalb bedeutsam, weil während dieser starken Einflüssen nicht einmal mehr ein Hirnstrombild existiert. Das Langzeitgedächtnis muß also an Strukturen im Gehirn gebunden sein. Auf Grund der schon geschilderten Tatsachen können dies aber nicht Einzelstrukturen sein, sondern komplexe Verkopplungen vieler struktureller Komponenten. Dies entspricht noch am ehesten den alten Vorstellungen des Engramms, also sozusagen eines „*Trampelpfads*" *im Neuronendickicht* des Gehirns.

Der fehlende Übergang zum Dauergedächtnis wurde schon lange als *Gedächtnislücke z. B. nach Gehirnerschütterungen* beobachtet. Um den Zeitpunkt des Unfalls herum

bleibt ständig eine Gedächtnislücke (retrograde Amnesie). Sie beträgt zumindest einige Minuten und kann bei schweren Unfällen bis zu Stunden ausmachen. Das vor dem Unfall noch bewußt Erlebte war damals mit Sicherheit zumindest im Gegenwarts- und z. T. sogar im Kurzzeitgedächtnis. Es ist durch den Unfall aber völlig verloren gegangen. Es fand infolge des Unfalls kein Übergang ins Dauergedächtnis statt. Im Laufe der *Genesung verkürzt* sich dann meist die *Gedächtnislücke*. Schrittweise kehren dabei von den ältesten verlorengegangenen Inhalten beginnend immer kürzer vor dem Unfall liegende Erinnerungen zurück. Auf jeden Fall verbleibt aber eine Lücke von vielen bis zu einigen Minuten vor dem Unfall beständig bestehen.

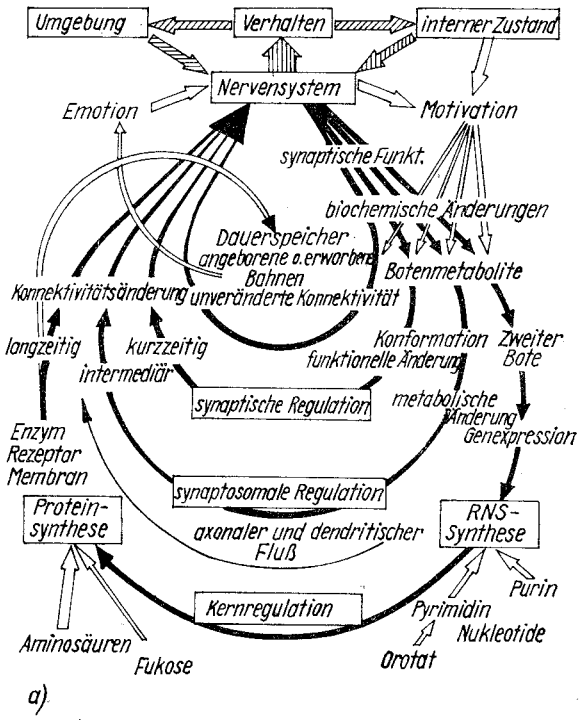
Ähnliche Ergebnisse wurden experimentell bei Tieren nach anderen Prinzipien erreicht. So bewirkt z. B. ein Elektroschock, daß gerade erlerntes Können nicht ins Dauergedächtnis gelangt. Elektroschocks, die etwa eine Stunde nach dem abgeschlossenen Lernvorgang verabreicht werden, haben dagegen keinen Einfluß auf das Langzeitgedächtnis mehr. Ähnlich wirken sich auch Mittel zur *Hemmung der Proteinsynthese*, starke Unterkühlung, Narkose usw. aus. Die kritische Zeit für den Übergang in das Kurzzeitgedächtnis dauert also bis etwa eine Stunde nach dem Lernvorgang.

Es sei hier erwähnt, daß es *auch für das ererbte neuronale Gedächtnis kritische Zeiten gibt*. Als Beispiel sei die *Prägung* von Nestflüchtern, also z. B. Entenküken, genannt. Sie nehmen alles, was sich ihnen in der kritischen Phase (etwa 13 bis 16 Stunden) nach dem Schlüpfen zeigt, als Mutter an und verhalten sich ihm gegenüber lebenslang so, selbst wenn es recht seltsam anmutende Gegenstände, wie z. B. Besen oder Spielzeuge, sind. Für den Menschen soll eine ähnliche kritische Phase bezüglich seines späteren sozialen Verhaltens etwa zwischen dem 3. und 18. Monat liegen. In der Prägungszeit entwickeln sich wahrscheinlich (genetisch determiniert) die entsprechenden Gehirnstrukturen.

7.4. Hypothesen auf molekular-biologischer Ebene

Die Vorstellungen und Hypothesen zum Gedächtnis sind generell recht vielfältig und verändern sich z. Z. recht schnell. Dies macht eine verdichtete Aussage, wie sie im folgenden gegeben wird, relativ unsicher. Sie muß also mit Vorbehalt betrachtet werden und das, obwohl es für alle Aussagen gewisse Anhaltspunkte gibt.

Zunächst sei noch einmal betont, daß es *im Gehirn kein bestimmtes Gedächtnisorgan* gibt. Das Gehirn als Ganzes hat die Eigenschaft, als Gedächtnis zu funktionieren. Für das Langzeitgedächtnis müssen gewisse, wahrscheinlich sehr komplex zusammenhängende Strukturen verantwortlich sein. Die *Grundeinheit aller Denk- und Gedächtnisleistungen* des Gehirns ist *das Neuron*, wobei den *Synapsen* eine zentrale Bedeutung im Sinne der *Verknüpfung* zwischen den Neuronen zukommt. Da die Struktur des Gehirns auch von dem genetischen Gedächtnis strukturiert wird, ergibt sich die folgende Relation: 10^9 Nukleotidsequenzen determinieren den ganzen Menschen mit seinem Gehirn. Im Gehirn sind aber bereits 10^{10} Neuronen mit 10^{14} Synapsen vorhanden. Es kann also das Gehirn nur in großen Gruppen genetisch determiniert sein. Die gruppenweise Festlegung gilt sowohl für das genau definierte ererbte neuronale Gedächtnis als auch für die Basis des individuellen Gedächtnisses. Aus den Zahlen wird verständlich, daß das Gedächtnis des Menschen genetisch nur in kleinen Teilen genau determiniert ist. Wesentliche Teile sind nur in den Grundzügen bestimmt und



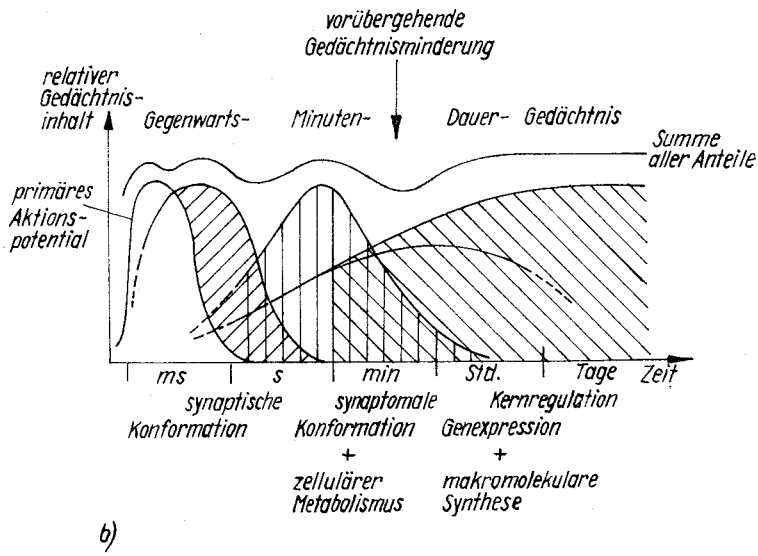


Abb. 7.1 Schema zur einheitlichen Beschreibung aller drei Gedächtnisprozesse nach MATTHIES [B13; D10; M7]
a) funktionell-struktureller Zusammenhang,
b) Zeitabhängigkeiten.

bedürfen somit des Lernens im großen Umfang. Dies könnte u. a. dadurch erfolgen, daß sich beim Lernen gewisse Synapsen vergrößern, verdoppeln, ja auch neu bilden. Dieser *Prozeß* läuft wahrscheinlich stufenweise ab. Dem *Gegenwartsgedächtnis* entsprechen dann *umlaufende Aktionsströme* in geschlossenen Neuronen-Kreisen (Grundlage der auszubildenden o. g. „Trampelpfade"). Die dabei benutzten Synapsen werden dabei u. a. besser durchlässig. Bei diesen Prozessen werden aber auch die einbezogenen Neuronen beansprucht. Es wird ja zumindest Transmittersubstanz verbraucht. Sie muß erzeugt und abgebaut werden. Dies verlangt einen stärkeren axonalen Transport und eine *höhere Produktionsrate des Zellkerns*. So wird im Zusammenhang mit Lernen stets eine erhöhte Menge RNS beobachtet. Ist dieser Prozeß in Gang gesetzt, so wird auch eine stärkere Proteinsynthese eingeleitet, sie bewirkt eventuell *strukturelle Änderungen der Synapsenkomplexe*, vielleicht das Vergrößern der Synapsenkomplexe, aber vielleicht auch das Sprossen von Kollateralen und Bilden neuer Synapsen (vgl. Abb. 7.1). Diese Prozesse wurden hier stark vereinfacht dargestellt. Sie zeigen aber den Dreistufencharakter des Gedächtnisses: Erregungskreise → Gegenwartsgedächtnis; Stoffwechsel → Kurzzeitgedächtnis; Struktur → Dauergedächtnis. Alle drei Prozesse spielen sich also für einen Gedächtnisinhalt nacheinander an den gleichen Neuronen ab. In den letzten Jahren ist viel über *Gedächtnissubstanzen* diskutiert worden. Ein Musterbeispiel ist das Scotophobin, welches die Dunkelfurcht bei Ratten auslöst. Es wurden aber auch schon einige andere Substanzen „gefunden". Dennoch ist die These der Gedächtnismoleküle wie des Gedächtnistransfers sehr umstritten. Allgemein wird lediglich akzeptiert, daß solche Substanzen vielleicht eine gewisse Bedeutung bei der Aufnahme von neuen Engrammen besitzen könnten. Auf keinen Fall dürfte es aber Gedächtnismoleküle für spezielle Gedächtnisinhalte geben.

Teil II: Kommunikation und Semiotik

Es wird meist angenommen, daß die Semiotik Grundlagen dafür liefern könnte und müßte, um die Enge der Shannonschen Informationstheorie zu überwinden. Es treten deshalb nicht selten Begriffe, wie *semiotische Informationstheorie* oder die der entsprechenden Teilgebiete, also syntaktische, semantische und pragmatische Information bzw. Informationstheorie, auf. Hier wird eine *Analyse* zur Vielfalt der Ansätze zur Semiotik bzw. *Semantik* in mehreren Wissenschaftsgebieten angestrebt. Dabei soll das Faktenmaterial auch so aufbereitet werden, daß die Möglichkeiten entsprechender Informationsbegriffe berücksichtigt werden. Dabei wird ein weiteres Gebiet hinzugenommen, welches nur schwer und insbesondere dann, wenn es um Informationsbezüge geht, von der Semiotik zu trennen ist. Das ist die *Kommunikation*. Schließlich sprach SHANNON in seiner zentralen Arbeit auch von Kommunikation und nicht von Information. Es deutet sich an, daß die Sprachentwicklung dahin tendiert, daß *Kommunikation* mehr die *zeitliche Abfolge* der Informationsprozesse behandelt und *Semiotik* stärker eine *Klassifikation* der ausgetauschten *Information* bezüglich der beabsichtigten bzw. realisierten *Wirkungen* darstellt. Vom Wort her betrifft Semiotik Zeichen. Ihre Definition ist allerdings nicht ganz einfach und einheitlich. Zuweilen sind damit Informationsträger gemeint. Zuweilen wird darunter aber auch die Gesamtheit der Information, besonders in ihrer gespeichert übermittelten Form, verstanden. Auf alle Fälle betreffen aber Kommunikation und Semiotik stärker den *qualitativen Aspekt der Information*.

8. Kommunikation

8.1. Zur Geschichte des Begriffs

Kommunikation geht auf das *Lateinische* zurück. So bedeuten: communicare = vereinigen, jemanden teilnehmen lassen, sich besprechen; commune = Gemeinde, Gemeingut, zum allgemeinen besten und communication = Mitteilung. In der Rhetorik bedeutet es eigentlich eine Mit-Teilung, mittels derer man sich an seine Zuhörer, sie gleichsam zu Rate ziehend, wendet. Im Gegensatz zum Deutschen ist communication im Angloamerikanischen sowohl in der Wissenschaft als auch in der Umgangssprache in vielen Abwandlungen sehr gebräuchlich. Im Zuge der Pragmatik wurde daraus eine weitgefächerte Wissenschaftsdiziplin, die unterschiedliche Gebiete, wie viele Zweige der Sprachwissenschaft, Kybernetik, Psychatrie, Psychologie, Soziologie, Werbung usw., betrifft. Sprache im Sinne von Rede ist immer Kommunikation. Zugleich ist die Sprache das leistungsfähigste und differenzierteste Mittel der Kommunikation. Sie besitzt eine Vielzahl praktischer Vorzüge: leichte Erreichbarkeit des Gesprächspartners, großer Wirkungsbereich, Unabhängigkeit vom Licht, vielfältige Kombinations- und Schattierungsmöglichkeiten. Als Nachteil sei das Problem der zunächst nicht möglichen Speicherung außerhalb des Menschen genannt. Es gibt auch verschiedene Formen der Kommunikation ohne Sprache z.B. Gesten und Gebärden. Zur sogenannten Körpersprache (bodylanguage) sagt LAY [L6]:

„Etwa 80% der unbewußten, meist die emotionalen Situationen zwischen zwei Personen oder einer Gruppe bestimmenden Information wird vom Ausdruck abgenommen. Die Sprache des Ausdrucks informiert durch Gestik, Mimik, Haltung, Gang, durch Tonfärbung, durch Sprachgeschwindigkeit, durch Wortwahl, durch Satzform. Aber dazu gehören auch Angstlaute, Ausdruck der Freude, Schmerzlaute."

Dennoch gab es offensichtlich Bedenken, den Begriff Kommunikation ins Deutsche zu übernehmen. Dies erfolgte zumindest sehr zögernd. Wesentliche Grundlagen hierzu dürften die Werke von WIENER und SHANNON erbracht haben. Während SHANNON sich mehr um eine mathematische Theorie der Kommunikation (die Informationstheorie) bemühte, versuchte WIENER gerade in seinem Werk, die Kommunikation und Regelung in Mensch und Maschine zu vergleichen.

Durch die umfangreiche englische Verwendung des Wortes Kommunikation ist es auch verständlich, daß MARX im Kapital diesen Begriff benutzt. Er versteht darunter den *Austausch von materiellen und ideellen Objekten* und nennt als Kommunikationsmittel unter anderem Schiff, Eisenbahn und Telegraph.

Der Schwerpunkt der Kommunikation liegt meist auf der gesellschaftlichen Seite. Etwas ausführlicher wird hier auf die Gebiete Massenmedien, Kunst, zwischenmenschliche Beziehungen, Wissenschaft und Wirtschaft eingegangen. Als Kommunikations-

Tabelle 8.1 Verschiedene Gebiete der Kommunikation aus der Sicht der Kommunikations-„partner". Die Felder links unten wurden wegen der formalen Symmetrie der Partner freigelassen.

	Menschen	Lebewesen	Technische Geräte
Menschen	Sprache averbale Kommunikation z. B. Gesten, Mimik	Haustier Dressur Nutztier	Mensch—Maschine—Kommunikation
Lebewesen		Tierkommunikation (TEMBROCK, SEBEOK)	Tier—Maschine—System z. B. bei der industriellen Broiler- oder Rindermast
Technische Geräte			Technische Kommunikation z. B. bei Rechnernetzen Meßgerätesystemen (IEC-Bus, CAMAC)

„partner" sind technische Geräte, Lebewesen und Menschen zu unterscheiden. Da Kommunikation stets wechselseitig ist, lassen sich hieraus sechs unterschiedliche Gebiete angeben (Tab. 8.1). Fünf davon sind bereits echt mit dem Namen Kommunikation verschiedentlich belegt. Lediglich beim Zusammenwirken von Mensch und Tier wurde sehr wahrscheinlich dieser Begriff noch nicht angewendet. Dennoch dürfte für jeden außer Zweifel stehen, daß hier Kommunikation, z. B. mit Haustieren (Hund, Katze), bei der Dressur (in der Artistik) und beim Nutztier (Ackerpferd, Schutzhund), stattfindet. Es kann hier nicht Ziel sein, all die verschiedenen Gebiete zu behandeln. Zum Teil wird im Kapitel 9., Semiotik, auf sie eingegangen. Das Kapitel Semiotik enthält verschiedene Aussagen, die z. T. auch hier hätten gebracht werden können. Dies wird durch ein Zitat aus CHERRY (C4, S. 18) deutlich:

„Im Zentrum einer Erforschung der Kommunikation steht das Studium der zur Kommunikation verwendeten Zeichen und der Regeln, denen diese Zeichen und ihre Benutzer unterworfen sind. Es gibt keine Kommunikation ohne Zeichensystem, allerdings gibt es viele Arten von Zeichen."

Umgekehrt spricht SCHAFF in seiner Einführung in die Semantik [S6] des öfteren von einer Zeichensituation. So stellt er auf S. 202 fest:

„daß eine Zeichensituation dann entsteht, wenn mindestens zwei Menschen sich miteinander verständigen, indem sie sich der Zeichen bedienen, um sich gegenseitig ihre Gedanken- und Willensäußerungen u. a. m. mitzuteilen, ..."

Dann findet aber genau Kommunikation statt. Schließlich sei noch der nicht selten benutzte Begriff *Interaktion* erwähnt. Er wird fast gleichwertig mit Kommunikation allgemeiner Art im gesellschaftlichen Bereich verwendet, wobei das gesellschaftliche Handeln eine besondere Betonung erfährt. Er berücksichtigt etwas stärker die Folgen und die Wirkung der Kommunikation. Im folgenden geht es mehr um das allgemeine Prinzip der Kommunikation und einige ausgewählte gesellschaftliche Gebiete.

8.2. Kommunikationsmodelle

Im wesentlichen greifen alle Kommunikationsmodelle zunächst auf den Shannonschen Ansatz zurück, wie er in Abb. 8.5 gezeigt wird. Eine andere Betrachtungsweise bezieht den wechselseitigen Informationsfluß ein (Vrgl. V15). In beiden Fällen gibt es dabei auch noch weitere Detaillierungen. Einige werden noch bei den folgenden spezifischen Gebieten behandelt (z. B. Massenmedien und Kunst). Ferner sei auf das vor allem für die Begriffsbildung gute Werk von BRÖNIMANN [B25] verwiesen. Wesentliche Teile der Modelle werden im Kapitel Semiotik behandelt. Eine *Einteilung* der *Kommunikation* in 4 Stufen erfolgte bei REIMANN [R8] Abb. 8.1:

1. *Transfer*: Es werden nur physikalisch-technische Informationsträger (Signale) weitergegeben.
2. *Transmission*: Hierbei benötigt der Empfänger bestimmte Rezeptoren oder Empfangsmöglichkeiten, um die Information überhaupt als Reiz wirksam werden lassen zu können und um damit Reaktionen (Verhalten) auszulösen. Auf der Senderseite muß der abgegebene Reiz entsprechend den technischen Einrichtungen angepaßt werden. Bei rein technischen Einrichtungen wird nur diese Stufe erreicht.
3. *Kontakt*: Es finden vor allem genetisch bedingte Abläufe statt, wie sie unter anderem bei Tierkommunikation Bedeutung haben. Aber auch der unbewußte Pawlowsche Reflex wird von REIMANN hier einbezogen.

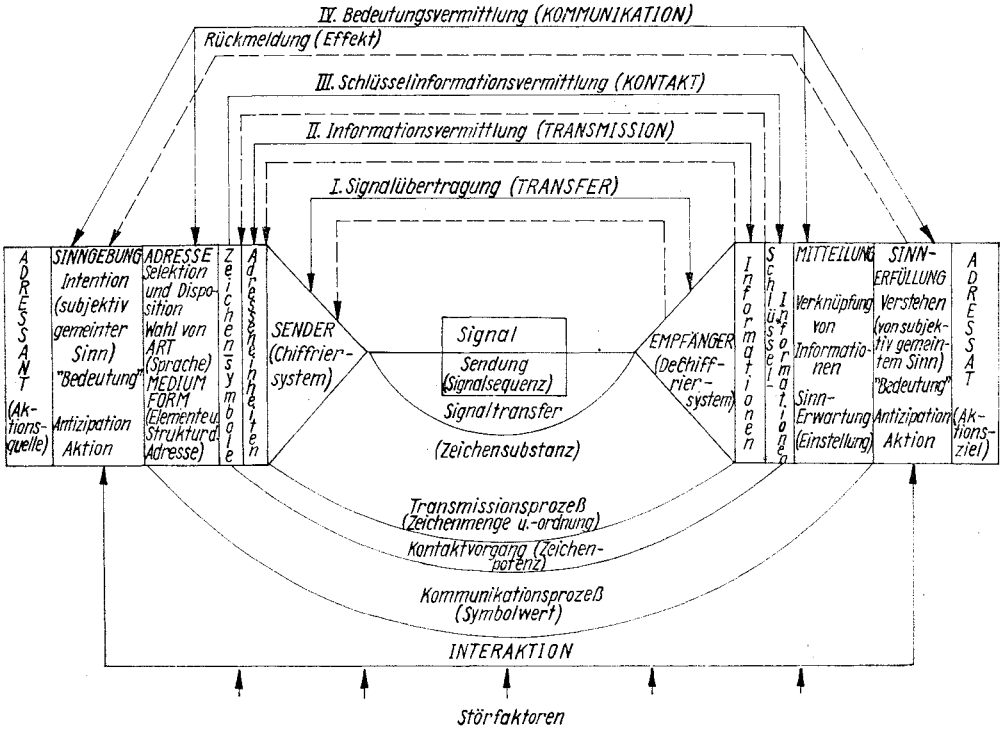


Abb. 8.1 Kommunikationsmodell nach REIMANN [R8].

4. *Kommunikation*: Hier finden die bewußten Prozesse des Informationsaustausches statt.

Mit einem derartigen Modell werden die in Abb. 8.1 gegebenen Zusammenhänge anders interpretiert und differenziert. Aber REIMANN weist auch bereits darauf hin, daß die Trennung der Stufen keineswegs vollständig ist. Einmal umfassen, wie auch die Abbildung zeigt, die höheren Stufen stets die niederen, und zum anderen sind nicht immer die Bedingungen auf beiden Seiten — Sender und Empfänger — symmetrisch.

Eine in sechs Ebenen aufgeteilte Kommunikation zeigt Abb. 8.2a. Es wird versucht, mit den semiotischen Informationsbegriffen zu arbeiten. Der Wirkungsablauf wird am deutlichsten, wenn z.B. über den Rundfunk zu einer Solidaritätsspende aufgerufen wird. Jemand, der diesen Aufruf ausarbeitet, hat eine Vorstellung (ein Modell)

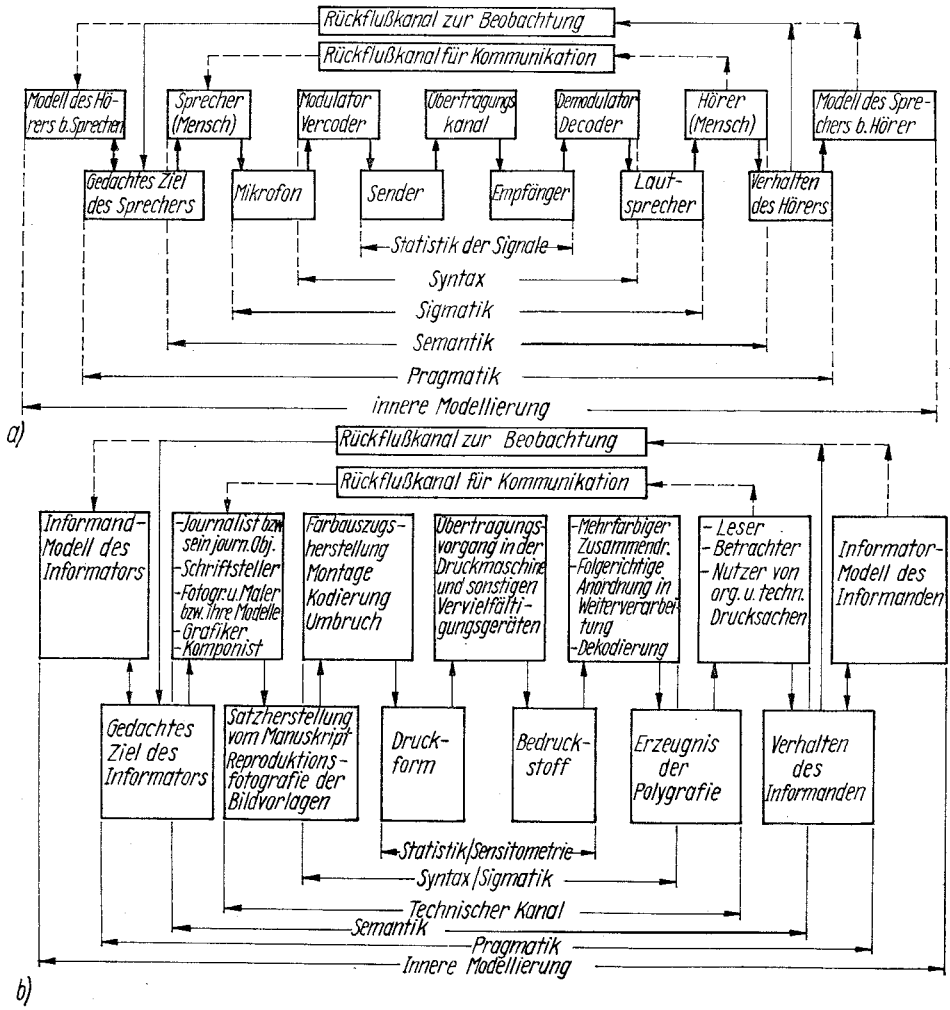


Abb. 8.2 Schema einer Kommunikationskette (a) und ihre Anwendung in der Drucktechnik (b) [V6].

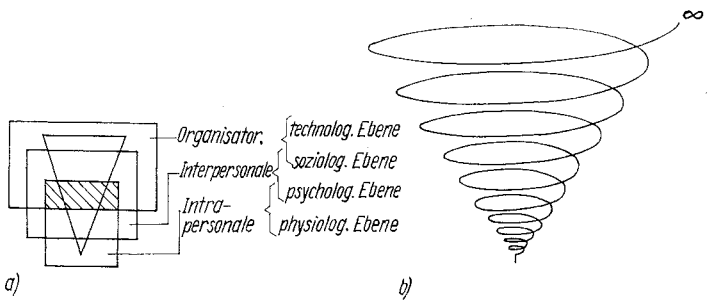


Abb. 8.3 Aspekte und Ebenen zur Kommunikation nach BAACKE [B1]
a) Verschachtelung der Aspekte und Ebenen,
b) Spiralförmige Weiterentwicklung der Kommunikation. Sie entspricht dem Dreieck in a) und berücksichtigt unter anderem die ständige Wechselwirkung von intra- und interaktiver Kommunikation.

von den anzusprechenden Hörern. Er entwickelt daraus den möglichst wirksamen Text. Ein Sprecher verliest ihn, ein Mikrophon wandelt die Sprache in elektrische Schwingungen um, der Modulator paßt diese dem Sender so an, daß sie bestmöglich den technischen Kanal passieren. Sie gelangen zum Empfänger, werden dekodiert, im Lautsprecher wiedergegeben, vom Hörer wahrgenommen, mit den Vorstellungen über den Ausarbeiter des Textes verglichen und ergeben so das Verhalten. Es ist offensichtlich, daß auf allen Stufen Änderungen, z. T. bewußt erfolgen und außerdem Störungen auftreten. Hier liegen Probleme der Wirksamkeit von Kommunikation. Dieses Modell hat sich erstaunlicherweise auf einem ganz anderen Gebiet, nämlich der *Drucktechnik* (Abb. 8.2b) bewährt [7]. Weiteres hierzu enthält die Studie [V15].

Schließlich sei noch auf eine Modellvorstellung von BAACKE eingegangen, die teilweise auf DANCE und THAYER zurückgeht [B1]. Hier werden einmal *drei Aspekte* der Kommunikationsbeziehungen unterschieden (Abb. 8.3a), nämlich die *intrapersonalen* (Denken), die *interpersonalen* (zwischenmenschliche) und die *organisatorischen* (gesellschaftliche). Nur der kleine schraffierte Bereich in der Abbildung gehört allen drei Aspekten zugleich an. Den drei Kommunikationsaspekten lassen sich eine physiologische, psychologische, soziologische und technologische Ebene mit Überlappungen zu den erstgenannten zuordnen. Das Dreieck in Abb. 8.3a kann weiter als *Spirale* detailliert werden (Abb. 8.3b). Hierbei wird von dem Gedanken ausgegangen, daß bereits einem Kinde alle Kenntnisse über Gegenstände usw. mitgeteilt werden können. Es ist dabei nur eine entsprechend einfache Form zu wählen. Im Laufe der weiteren Entwicklung können die entsprechenden Zusammenhänge immer komplexer wahrgenommen werden. Der Mensch bewegt sich also in seiner Kommunikation auf einer Spirale, wobei zwar immer dieselben Fakten vermittelt werden, jedoch auf einem ständig höheren und breiteren Niveau.

8.3. Einteilungen

Die Kommunikation wird nach vielerlei Gesichtspunkten eingeteilt. Immer wieder kommt eine Einteilung in die drei unabhängigen Paare

- direkt — indirekt,

- einseitig — gegenseitig,
- privat — öffentlich

vor. Sie geht wohl von MALETZKI [M2] aus. Die *direkte Kommunikation* erfolgt unmittelbar, d. h. ohne Zuhilfenahme technischer Mittel, oder face-to-face, wie es im Englischen heißt. Hierbei werden also in der Regel neben den akustischen Möglichkeiten auch die durch Mimen, Gesten, Gebärden und Verhalten bedingten einbezogen. Die *indirekte Kommunikation* besteht zwischen Partnern, die räumlich und/oder zeitlich getrennt sind.

Eine *einseitige Kommunikation* widerspricht zwar dem Namen nach der Kommunikation. Sie findet aber dennoch nicht so selten statt. Es seien nur Vorträge, Theateraufführungen, Rundfunk- und Fernsehsendungen genannt. Der Rückfluß, das feedback, ist bei ihr also stark eingeschränkt und verzögert. Es ist aber prinzipiell nie gänzlich ausgeschlossen. Im Rahmen dieser Einteilung ist oft von einer *Kommunikationsstruktur* die Rede. Sie existiert oder wird geschaffen, wenn zwischen mehreren Kommunikationspartnern unterschiedliche Beziehungen bestehen. Sie ist ganz allgemein, wenn jeder mit jedem in Kontakt steht. Dies gilt jedoch bestenfalls für sehr kleine Gruppen. In der Regel nehmen bestimmte Mitglieder einer Gruppe auch nur zu ausgewählten, anderen Mitgliedern Kontakt auf. Da dieser dann auch noch nur einseitig sein kann, bilden sich nicht selten ziemlich unübersichtliche Strukturen aus. Ihre Erforschung ist relativ weit gediehen. Die Darstellung der Strukturen erfolgt meist in Graphen, wobei die Knoten die einzelnen Teilnehmer sind. Die Verbindungen können dann auch noch mit den Häufigkeiten des Kontakts bewertet werden.

Die Einteilung in *private* und *öffentliche Kommunikation* sind dadurch zu unterscheiden, ob die Kommunikation bewußt, sei es auch aus welchen Gründen, auf einzelne Personen beschränkt wird, oder ob bewußt auf eine möglichst breite Wirksamkeit hingestrebt wird. Vielfach wird an Stelle von privater Kommunikation auch der bessere Begriff *exklusiv* verwendet.

Eine andere Einteilung geht nicht auf den Kommunikationsprozeß, sondern mehr auf den Inhalt, d. h. die Information bzw. *den Zweck der Kommunikation*, ein. Hier werden dann unterschieden:

- *Erkenntnis* vermittelnde oder intelligible Kommunikation und
- *Verhalten* bzw. *Emotion* bewirkende, d. h. ansteckende (behavioral) Kommunikation.

Es gibt noch eine Vielzahl von Einteilungen. Hier seien nur noch aufgezählt: verbal, nicht verbal; materiell, immateriell, welches Sinnesorgan betreffend, nach der Aktualität.

Interessant ist schließlich eine Einteilung, wie sie FLECHTNER [F4] vornimmt. Er bezieht unter Kommunikation fast das gesamte Gebiet der Kybernetik ein. Dementsprechend unterscheidet er drei Kommunikationsarten mit den Begriffen der Kybernetik bezüglich des Zieles der Kommunikation (S. 44):

„*Steuerung*: das Ziel wird dem System von außen gesetzt, Richtung und Art des Verhaltens werden von außen dirigiert.

Regelung: das Ziel, der Sollwert, wird von außen gesetzt, das System verändert selbst sein Verhalten so, daß dieser Sollwert erreicht wird.

Anpassung: das System verändert sein Verhalten so, daß sich ein Gleichgewichtszustand zwischen System und Umwelt einspielt — dieser selbst entwickelte *Sollwert* wird jetzt der künftigen Regelung zu Grunde gelegt."

8.4. Beispiele aus dem sozialen Bereich

Die Kommunikation im sozialen Bereich soll und kann hier nur teilweise beleuchtet werden. Sie reicht von der Intimsphäre über das Verhalten im städtischen Bereich bis hin zur Massenkommunikation und Kunst. Den beiden letztgenannten Gebieten sind hier noch getrennte Abschnitte gewidmet, so daß der Inhalt dieses Abschnittes weiter eingeschränkt ist. Wesentlich bei allem sozialen Verhalten sind oft *unbewußte* und dennoch befolgte *Regeln*. Ein besonders überraschendes Beispiel führt WATZLAWICK [W4, S. 20] an:

„Unter den während des Krieges in England stationierten amerikanischen Soldaten war die Ansicht weit verbreitet, die englischen Mädchen seien sexuell überaus leicht zugänglich. Merkwürdigerweise behaupteten die Mädchen ihrerseits, die amerikanischen Soldaten seien übertrieben stürmisch. Eine Untersuchung, an der u. a. Margaret Mead teilnahm, führte zu einer interessanten Lösung dieses Widerspruchs. Es stellte sich heraus, daß das Paarungsverhalten (*courtship pattern*) — vom Kennenlernen der Partner bis zum Geschlechtsverkehr — in England wie in Amerika ungefähr dreißig verschiedene Verhaltensformen durchläuft, daß aber die Reihenfolge dieser Verhaltensformen in den beiden Kulturbereichen verschieden ist. Während z.B. das Küssen in Amerika relativ früh kommt, etwa auf Stufe 5, tritt es im typischen Paarungsverhalten der Engländer relativ spät auf, etwa auf Stufe 25. Praktisch bedeutet dies, daß eine Engländerin, die von ihren Soldaten geküßt wurde, sich nicht nur um einen Großteil des für sie intuitiv „richtigen" Paarungsverhaltens (Stufe 5—24) betrogen fühlte, sondern zu entscheiden hatte, ob sie die Beziehung an diesem Punkt abbrechen oder sich dem Partner sexuell hingeben sollte. Entschied sie sich für die letztere Alternative, so fand sich der Amerikaner einem Verhalten gegenüber, das für ihn durchaus nicht in dieses Frühstadium der Beziehung paßte und nur als schamlos zu bezeichnen war. Die Lösung eines solchen Beziehungskonflikts durch die beiden Partner selbst ist natürlich deswegen praktisch unmöglich, weil derartige kulturbedingte Verhaltensformen und -abläufe meist völlig außerbewußt sind. Ins Bewußtsein dringt nur das undeutliche Gefühl: der andere benimmt sich falsch."

Von WATZLAWICK stammt auch die Aussage, daß es in Gegenwart von Menschen unmöglich ist, nicht zu kommunizieren. Hierzu hat er umfangreiche Versuche angestellt. Verhalten besitzt eben kein Gegenteil. Nichthandeln und Schweigen stellt auch eine Kommunikation dar und wird vom Gegenüber in bestimmter Weise interpretiert. Sie haben eben auch Mitteilungscharakter. Hierzu gibt es noch weitergehende Aussagen im Abschn. 8.6 von WECKWERTH. Nicht kommunizieren zu wollen und es doch nicht zu vermögen, dürfte auch eines der unüberwindbaren Probleme bei Schizophrenen sein. Wie wichtig andererseits die Kommunikation für den Menschen ist, wurde mit einer Analyse von Selbstmordversuchen durch BÖHME [B18] nachgewiesen.

Wie einseitig insbesondere eine *nicht gelungene Kommunikation* wirkt, sei am Beispiel von Abb. 8.4 gezeigt. Hierbei sieht der Mann nur Folgen der Art 2—3—4 bzw. 7—8—9. Als ständige Ursache sieht er das Nörgeln seiner Frau. Die Frau dagegen sieht nur Folgen der Art 3—4—5 bzw. 8—9—10. Für sie ist folglich das Sichzurückziehen des Mannes Ursache der Mißstimmungen.

Obwohl auch noch bei der Semiotik darauf eingegangen wird, sei hier weiter auf die interessante Arbeit von GOFFMANN [G9] verwiesen. Er untersucht, wie sich Menschen in öffentlichen Räumen verhalten, wie sie einander begegnen, wie sie sich ohne Sprache bei den verschiedensten Anlässen zueinander verhalten und wieweit das Verhalten mit Anstandbüchern, d. h. „dem guten Ton", übereinstimmt bzw. wie weit Vorschriftsmäßiges wirkt, ohne daß davon etwas in solchen Büchern steht. Auf Details muß hier verzichtet werden.

Zwei seltsame Erscheinungen im Bereich der Kommunikation sind der *Witz* und das *Gerücht*. Eine sehr interessante Arbeit zum Witz stammt wohl von FREUD [F13]. Wird von seinem Begriff des ersparten Hemmungsaufwands, der psychologischen Arbeit, abgesehen, so besitzt seine *Witztheorie* etwas, was vieles verständlich macht. Kurz dargestellt beweist FREUD folgendes Schema: Es wird eine Erzählung begonnen. Ihren Fortgang ahnt der Hörer etwa und schätzt ein, wie groß ungefähr der notwendige Aufwand beim Fortgang sein dürfte. Dabei gelangt der Witz zu seiner Pointe, und der geschätzte Aufwand ist zu groß. Dieser Überschuß entlädt sich in der Lust, die wir bei der Pointe empfinden (siehe auch Studie V.15)

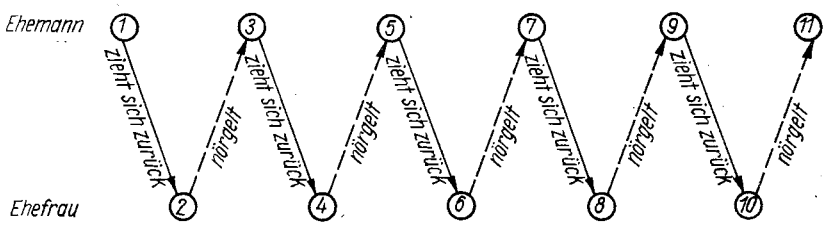


Abb. 8.4 Beispiel eines Kommunikationsablaufs zwischen unglücklichen Ehepartnern nach WATZLAWICK [W4].

Eine besonders umfangreiche und sehr gute analytische Arbeit zum *Gerücht* stammt von BERG [B6]. Hier werden viele Modelle diskutiert, ohne daß auch nur ein verbindliches angegeben wird. Dennoch wird mancherlei deutlich, wann und warum, aber weniger wie Gerüchte entstehen und dies alles, obwohl das Gerücht bereits in der Antike bestand und auch schon damals seine Probleme hatte. Ein wesentlicher Grund für das Entstehen von Gerüchten sind eine unbestimmte, unsichere Situation und nicht ausreichende offizielle Information über diese Situation.

„Wer Angst hat, der erzählt Gerüchte von fürchterlichen Dingen, von denen er sich einbildet, daß sie geschehen werden, ..." (S. 71)
„Ganz allgemein werden nur solche Ereignisse von Gerüchten begleitet, die für die beteiligten Individuen subjektiv wichtig, gleichzeitig aber selbst vieldeutig und verwickelt sind." (S. 81)

Die Gerüchteintensität wird dementsprechend als Produkt von Wichtigkeit und Unbestimmtheit angegeben.

„Gerüchte werden gleichzeitig in vielen Köpfen geboren ... Ihr Erfolg liegt genau darin, daß sie der allgemeinen Stimmung entsprechen." (S. 99).

Bedeutsam erscheint auf den ersten Blick die Bezeichnung *Mundpublistik*, dennoch muß gesagt werden, daß beim Islam und Judentum die mündliche Überlieferung von Gesetzen gut funktionierte. Nicht in jedem Fall ist also eine Mundpublistik mit Gerüchten verbunden. Auch die Heldenepen wurden, wie LORD [L14] nachweist, ausschließlich mündlich weitergegeben. Es gibt auch Typologien der Gerüchte, z. B. Wunsch-, Angst- und Zwietrachtgerüchte. Abschließend (Tab. 8.2) sei noch eine Einteilung der Kommunikation angegeben, die allgemeiner ist.

Tabelle 8.2 Einteilung der Kommunikation nach willentlichen und ungewollten Tätigkeiten [B6]

Aussage	Empfang	
	willentlich	ungewollt
willentlich	übliches Gespräch	Hypnose
ungewollt	heimliches Lauschen und Beobachten	Zufälligkeiten

Große Bedeutung kommt der *Kommunikation auch im Wohnbereich*, das heißt im Zusammenhang mit der Urbanisierung, zu. Es ist offensichtlich so, daß z. B. gerade die Wege beim Einkauf, die Plätze, wo Kinder spielen usw. hier größte Bedeutung haben. Das *geplante Gespräch* am geplanten Ort ist sicher wertvoll und wichtig, aber auch das *zufällige Gespräch* ist nicht zu vernachlässigen. Hier hat der Bau von Hochhäusern Probleme gebracht. Eine äußerst interessante Studie zu den Problemen des Neubaugebiets Perlach bei München stammt von DORSCH [D9]. Hier wurden vielfältige interessante Versuche während der Phase des Einlebens durchgeführt. Ausgangspunkt der Studie ist:

„Von einer Mustersiedlung zum dänischen „Scheidungsparadies" hat sich die Satelliten-Stadt Solroed bei Kopenhagen entwickelt: Nach offiziellen Angaben hat sich jedes vierte der 200 Ehepaare, die vor 18 Monaten ihre supermodernen Wohnungen in Solroed bezogen, inzwischen scheiden lassen."

In Perlach sollte dies beobachtet, dabei eingegriffen und alles besser gemacht werden. Der Bericht gibt eine Vielzahl von Erkenntnissen für den Zeitraum von 1970 bis 1972. Er endet schließlich negativ, da infolge Krise das Geld für den Weiterbau nicht mehr reichte, und dabei sollten in den folgenden Jahren erst die wesentlichen kommunikalen Bauten entstehen. Mehr generell in die Zukunft blickende Arbeiten gibt es eine größere Zahl. Hier sei nur auf GRABBE [G13] und WALTER [W1] verwiesen.

8.5. Zur Massenkommunikation

Massenkommunikation ist immer indirekt. Sender und Empfänger sind dabei räumlich und/oder zeitlich getrennt. Das zwischen ihnen vermittelnde sei hier *Werk* genannt. Dabei wird vorausgesetzt, daß es in erster Linie irgendwie die *an den Empfänger zu übermittelnde Information gespeichert* trägt, so wie es z. B. beim Buch, der Schallplatte usw. der Fall ist. Für die Einführung in die Massenkommunikation ist es daher sinnvoll, das Kanalmodell von SHANNON gemäß Abb. 8.5 zu verändern. Die wesentliche

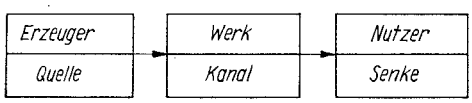


Abb. 8.5 Erzeuger, Werk und Nutzer bilden eine ähnliche Folge wie Quelle, Kanal und Senke (Empfänger). Diese drei Begriffe sind typisch für indirekte Kommunikation über das Werk.

Änderung liegt darin, daß an die Stelle des Kanals jetzt ein materialisiertes Werk (gespeicherte Idee) tritt. Es vermittelt zwischen seinem Erzeuger (bzw. seinen Erzeugem) und den Nutzern. Die Relationen Erzeuger—Werk und Werk—Nutzer werden in Abschn. 8.6 Kunst weiter detailliert. Hier geht es um das Werk, genauer um die verschiedenen Werktechniken bzw. deren technische Mittel.

8.5.1. Etwas zur Geschichte

Für die Kommunikation sind unter dem Gesichtspunkt der Entwicklung der Massenkommunikation vier verschiedene Gebiete (detailliertere Betrachtung erfolgt in Abschn. 9.6) zu betrachten:

- Überbrückungen von Zeit bzw. Zeit und Raum mittels gespeicherter Information bezüglich
  - — Wort und Musik,
  - — feststehender Bilder und Gebilde,
  - — bewegter Bildabläufe,
- Überbrückungen von ausschließlich Entfernungen ohne unmittelbare Hilfe materieller Speicher.

In jedem dieser Gebiete ist die geschichtliche Entwicklung etwas unterschiedlich abgelaufen. Es lassen sich jedoch jeweils 3 unterschiedliche Epochen feststellen:

I. Der Mensch operiert ohne wesentliche Hilfsmittel.
II. Es werden Hilfsmittel eingesetzt, die das Wesentliche des Inhalts vermitteln.
III. Die Hilfsmittel sind soweit perfektioniert, daß auch eine beträchtliche Detailtreue ohne hohen Arbeitsaufwand möglich ist.

Etwas genauer sei dies zunächst mittels Tab. 8.3 bezüglich *Sprache* und *Musik* betrachtet. Ins Zentrum der Aussagen seien hierbei die Speicher, welche die Information tragen, gestellt. Die *Geschichte derartiger Speicher* beginnt nun keineswegs, wie heute vor allem von Technikern angenommen wird, mit dem Edison-Phonographen, sondern extrem viel früher. Sie begann, als erste Lebewesen auf Schallschwingungen in Luft oder Wasser reagierten und danach selbst Schall für ihre Kommunikation, vor allem zwischen den beiden Geschlechtern einsetzten. Dies muß später als die Ausbildung von Nervensystemen gewesen sein. Der *akustische Sinn* ist nämlich nur bei Insekten und Wirbeltieren, also den zwei Tierstämmen mit der höchsten Entwicklung, vorhanden. Die akustischen Informationen müssen hierbei irgendwie in den komplexen Nervensystemen (Gehirnen) gespeichert werden und zum Vergleich der jeweils aktuellen akustischen Signale abrufbar sein. Alle Schallereignisse sind und bleiben damit auf das einzelne Lebewesen bezogen (s. a. 6.1). Mit dem Menschen entsteht die *Sprache* und damit eine völlig neue Qualität der akustischen Signale. Hierdurch werden die Schallsignale auch gesellschaftlich relevant. Dennoch dürfte jeweils der subjektive Charakter bestehen und auch stets die Einheit vom Erzeugen, Hören, Erleben und Vorstellen. Das Wort besitzt zu dieser Zeit seine höchste verbindliche Form. Hierauf weisen besonders Lord [L14] und McLuhan [M8] in größerem Zusammenhang hin.

Unter anderem entsteht zur weiteren Objektivierung (über das Gesellschaftliche hinaus) die *Schrift*, zunächst als Bilder-, später als Buchstabenschrift. Damit beginnt die zweite Etappe. Durch die schriftliche Aufzeichnung wird das akustisch Gesagte

Tabelle 8.3 Entwicklung der Speicherung von akustischen Informationen zur Überbrückung von Zeit beziehungsweise Zeit und Raum [V13; V14]

Etappe	Eigenschaften der Etappen	Beispiele mit gerundetem Alter in Jahren	
I Gedächtnis (neuronal)	Subjektivität und Einmaligkeit, primäre Einheit von: Erzeugen, Hören, Erleben und Vorstellen	Nervensystem in Lebewesen Menschheit artikulierte Sprache	10^8 10^6 10^5
II Wort- bzw. Musik-Schrift	Objektivierung wesentlicher Inhalte Werke lassen sich, ohne daß sie gehört wurden, über Raum und Zeit vermitteln Ausbilden der Kette: Schaffen — Interpretieren — Hören sowie der Möglichkeit zur Isolation der Glieder Möglichkeit verschiedener Interpretationen (Problem Werktreue) Möglichkeit zur komplizierten Manipulierung von Zeichen und Symbolen	schriftliche Aufzeichnung Buchstabenschrift chinesische Notenschrift Buchdruck heutige Noten Zeitung Buchhandel Stenographie	5000 3000 2000 550 500 400 200 130
III technische Speicher	höchste Objektivität bezüglich der Einmaligkeit beliebig häufige, exakte Wiederholbarkeit Gefahr, daß die technische Detailtreue und Perfektion den künstlerischen Wert „überwuchert“ Verlust des Typischen beim Werkinhalt	Phonograph Schallplatte Magnetband Langspielplatte Heimtonband Stereoplatte Kompaktkassette	100 80 50 30 30 20 15

einmal unabhängig von Raum und Zeit festgehalten, und zum andern wird seine eigentlich sequentielle, zeitliche Struktur durch eine räumliche, bildhafte ersetzt. Sie wird dabei auch von ihrer Einmaligkeit und Unmittelbarkeit befreit. Eine Schreibe ist eben keine Rede, sagt der Volksmund. Jedes Geschriebene kann selbst bei noch so detaillierten, zusätzlichen Regieanweisungen unterschiedlich interpretiert werden. Die schriftliche Aufzeichnung ist eben viel allgemeiner, oder anders ausgedrückt, abstrakter. Mit der Schrift entstand aber auch eine völlig neue Möglichkeit, nämlich eine ideale Manipulierbarkeit der Zeichen und Symbole. Das, was ausgesagt werden soll, kann vorher viel genauer und gründlicher durchdacht und erprobt werden. Besonders verständlich wird dies z.B. bei langen und komplexen wissenschaftlichen, logischen Ableitungen. Die Schrift schafft also eine bedeutsame Denkhilfe.

Die dritte Etappe begann mit EDISON. Hierdurch wurde auf immer höherem technischen Niveau bis zur heutigen HiFi-Technik eine exakte Speicherung des einmaligen Schallereignisses möglich. Dadurch gelangte immer mehr die *einmalige Interpretation* eines Werkes in den Vordergrund. Hieraus leiten LORD u. a. ab, daß audiovisuelle Massenmedien wiederum zur Stufe I, jedoch auf höherem Niveau zurückzuführen. Zu dieser Problematik wird weiteres im Rahmen der Semiotik (Abschn. 9.7) gesagt. Mit der III. Etappe besteht aber auch die Gefahr, daß die *technische Präzision* in den Vordergrund tritt und so das *künstlerische Niveau* der Aufzeichnung untergräbt. Dieser Fakt ist bei einer beträchtlichen Anzahl von gegenwärtigen Musikaufnahmen deutlich spürbar. Als Gegenpol erlangen dadurch „alte" historische Aufnahmen immer größeres Interesse (vgl. Abschn. 8.6).

In Tab. 8.4 sind Vergleichsdaten für die anderen drei Gebiete zusammengestellt. Trotz gewisser inhaltlicher Abweichungen wurde hier auch die Übertragung (ohne Speicherung) einbezogen. Bedeutsam sind insgesamt einige *zeitliche Unterschiede* zwischen den *Techniken*, die allerdings erst im Vergleich deutlich sichtbar werden. Es besteht etwa die *Reihenfolge*: *Standbild*, *Übertragung*, *Schall*, *Laufbild*. Für die II. Etappe gelten 50000, 10000, 5000 und 3000 Jahre, für die Etappe III dagegen 150, 120, 100, 90 Jahre. Diese Reihenfolge dürfte nur z. T. technisch bedingt

Tabelle 8.4 Zweite und dritte Etappe bei den anderen drei Prinzipien der Kommunikation als Ergänzung zur Tab. 8.3 mit Beispielen und ungefährem Alter in Jahren

	Standbild		Laufbild		Übertragung	
II	Höhlenmalerei	50000	Theateraufführung		Boten	10000
	Steinstatuen	5000	nach Texten	3000	Reiter	5000
	Papyrus	5000			Schiffe	5000
	Papier	2000			Fackeltelegraphie	2500
	Druck	500			Optische Telegraphie	200
					Morsetelegraphie	150
III	Photographie	150	Kinotheater	90	Telefon	120
	Farbphotographie	50	Schmalfilm	50	Rundfunk	60
			magnetische		Fernsehen	50
	Kleinbildphotographie	40	Videospeicherung	30	Farbfernsehen NTSC	30
			Heimbild über		Farbfernsehen	
			Fernseher	10	PAL/SECAM	15

sein. Sehr wahrscheinlich sind nämlich die Bedürfnisse unterschiedlich. Heute dürfte die Übertragung per Rundfunk und Fernsehen den ersten Rang einnehmen. Dann folgen Standbild, Schall und erst zum Schluß Laufbild. Besonders die Relation zwischen Schallaufzeichnung und audiovisuellen Medien hat in den letzten Jahren meist unerwartete Konsequenzen gehabt. Trotz aller Werbung auf dem kapitalistischen Markt blieben letztlich die audiovisuellen Medien ganz im Gegensatz zur Schallplatte, Magnetband und Audiokassette weitgehend ein „Mißerfolg". Es ist offensichtlich so, daß der Mensch *Schallsignale* wesentlich schlechter im *Gedächtnis* behält als filmische *Szenen* und *Abläufe*. Dementsprechend genießt er ein Schallerlebnis wesentlich öfter als ein audiovisuelles. Dies könnte das unerwartet geringe Bedürfnis nach Speichern für Laufbild mit Ton gekoppelt teilweise erklären.

8.5.2. Relation Nutzer — Erzeuger

In den Tab. 8.3 und 8.4 erfolgte die geschichtliche Betrachtung unter einem Blickwinkel, der ungefähr die *Wiedergabetreue* zwischen Originalgeschehen und reproduziertem Geschehen betraf. Eine andere Einteilung ergibt sich, wenn der *Nutzeraspekt*

Tabelle 8.5 Einordnung der Massenmedien in die Erzeuger—Nutzer-Kette [V8; V10; V14]

Erzeugung bzw. Nutzung erfolgt	Besonderheiten	typische Nutzerzahl je Werk	Beispiele
individuell	Erzeuger und Nutzer haben praktisch unmittelbaren Kontakt, sind in Sonderfällen sogar identisch	1 ... 10	Austausch von Gedanken, Notizen, Entwürfen usw. Unikate, Originale kulturelle künstlerische Selbstbetätigung
kommerziell	Erzeuger und Nutzer sind nur noch lose verbunden Spezialisten (Autoren, Interpreten, Arrangeure usw.) bilden sich heraus Problem der Nutzbarkeit und Nützlichkeit des Werkes entsteht	1 ... 10^3	im wesentlichen manuelle Vervielfältigung von Werken Kunstgegenstände und -gewerbe Sammlungen
über Massenmedien	Anzahl der Nutzer wird besonders wichtiges Kriterium Werk kann massenwirksam werden Werk wird Mittel zur Macht Möglichkeit des Mißbrauchs	500 ... 10^7	Kunst als Warenproduktion Buchdruck Schallplatte Film Rundfunk Fernsehen
durch Datenbanken	universelles, kollektives und zugleich individuelles Erzeugen, Erfassen und Nutzen aller Werke	beliebig	Datenbanken entstehen jetzt, ermöglichen künftig Informationen aus der „Steckdose"

oder vielleicht die mögliche *Nutzerzahl* herangezogen wird. Erst dann wird die Abgrenzung von *Massenmedien* oder *Massenkommunikation* deutlich. Die entsprechende Einteilung zeigt Tab. 8.5. Hier können zwar auch *geschichtliche Etappen* betrachtet werden, sie besitzen jedoch einen anderen Charakter. Es bleiben nämlich bei jeder neuen (höheren) Stufe die alten weiter bestehen. Die neuen Stufen zeichnen sich also durch das Hinzukommen des neuen Prinzips zu den alten aus. So verführerisch es auch sein könnte, die einzelnen Stufen mit den Gesellschaftsepochen zu verbinden, so falsch kann dies im Detail sein. Keine der Etappen ist direkt typisch für eine Gesellschaftsepoche, wenngleich auch ihr Entstehen annähernd mit ihr zusammenfällt. So bedürfen die Massenmedien zu ihrer Entstehung unbedingt der kapitalistischen Produktion. Dennoch benötigen Sozialismus und Kommunismus die Massenmedien dringend zur Informationsverbreitung. Andererseits können sich echte Datenbanken nur unter sozialistischen Verhältnissen ausbilden, denn der kapitalistische Konkurrenzkampf wird sie stets nur monopolisiert einsetzen. Nur im Sozialismus und Kommunismus kann der Einzelne bereit sein, sein individuelles Können und Wissen der Gesellschaft uneingeschränkt zur Verfügung zu stellen, da auch die Gesellschaft ihm die entsprechende Gegenleistung erbringt. So wird die Datenbank ein Mittel sein, bei dem individuelles und gesellschaftliches Interesse in Übereinstimmung stehen.

Ein Punkt bedarf bezüglich Tab. 8.5 noch der Erwähnung, das ist *Rückkopplung vom Nutzer* der Werke zum Erzeuger. Bei der individuellen Qualität ist sie direkt und praktisch nicht aufhebbar. Dies ist am deutlichsten am Beispiel des unmittelbaren Gedankenaustausches und der künstlerischen Selbstbetätigung zu erkennen. Auf der kommerziellen Stufe sind Erzeuger und Nutzer noch relativ schwach verbunden. Die *Trennung wird stärker*, aus je mehr Spezialisten (Autor, Arrangeur, Interpret usw.) die Kette sich aufbaut. Deshalb tritt hier auch für den Erzeuger das Problem auf, zu wissen, ob er noch das Richtige geschaffen hat und wie es beim Publikum ankommt. Bei den Massenmedien ist diese Kopplung schließlich nur noch über den Markt gegeben. Das Werk hat eben *Warencharakter* erreicht und wird z. T. direkt auf Vorrat produziert. Eine *objektive Rückkopplung* wird dagegen wieder mit den *Datenbanken* eintreten, und zwar durch die unmittelbare Kommunikation mit dem fast alles enthaltenden Speicher und über die durch ihn herstellbaren Beziehungen zwischen Nutzern und Erzeugern.

8.5.3. Heutiges Zusammenwirken der Medien

Die Wechselwirkungen und gegenseitigen Einflüsse zwischen Erzeuger, Werk und Nutzer sind in Wirklichkeit wesentlich komplizierter, als es mit einfachen Darstellungen möglich ist. Deshalb wird dieser Komplex hier an einigen Ausschnitten unter speziellen Gesichtspunkten weiter untersucht. Abb. 8.6 deutet dabei zunächst 3 Faktoren an, die sowohl beim Erzeuger als auch beim Nutzer eines Werkes bestehen. Zunächst werden Erzeuger und Nutzer bei der Kommunikation auf ihr jeweils *individuelles Gedächtnis* zurückgreifen, wo also Informationen neuronal und gewisse Vorstufen sogar genetisch bedingt gespeichert sind. Dieses individuelle Gedächtnis wird zusätzlich aus zwei Quellen ständig oder auch nach speziellen Abrufmethoden erweitert und kurzfristig ergänzt, und zwar aus der Gesellschaft, also von anderen Menschen und deren Einflüssen, dann aber auch aus einem Privatarchiv. Als Privatarchiv seien hier

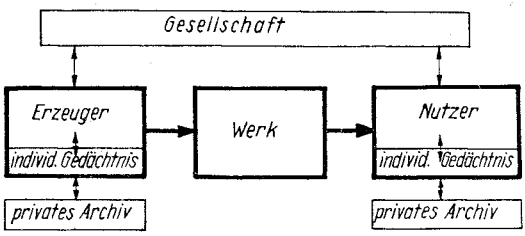


Abb. 8.6 Schema der Wechselwirkungen von Erzeuger und Nutzer eines Werkes mit der Gesellschaft und den privaten Archiven [V8; V14].

vor allem Skizzen, Aufzeichnungen, Bücher, Bilder, Schallplatten usw. aufgefaßt, die als individueller oder auch geliehener (zeitweiser) Besitz zusätzlich zur Verfügung stehen. Das Wechselspiel mit dem Werk und diesen zusätzlichen Quellen führt zu einem *Stufenprozeß*, der noch genauer im Abschn. 8.6 betrachtet wird.

Nun können wiederum die Werke klassifiziert werden. Dabei sind sinnvollerweise zu unterscheiden

- *fixierte Werke*, wie Bücher, Bilder Plastiken usw.
- *akute Werke*, wie Vortrag, Lesung, Aufführungen.

Durch die modernen Speicherverfahren, wie Film, Platte und Magnetband, ist diese Trennung zwar nicht mehr konsequent aufrecht zu erhalten, dennoch ist sie nützlich. In ihrer Folge sind nämlich neben den Institutionen für fixierte Werke, wie Ausstel. lungen und Bibliotheken, und denen für akute Werke, wie Theater, Vortrags- und Konzertsaal, neue Institutionen, wie Kino- und Schallplattentheater, entstanden- Schließlich ist die „Institution" Datenbank im Entstehen. So ergeben sich insgesamt 11 prinzipiell unterscheidbare Möglichkeiten für die *Werkverbreitung*. Wie sie miteinander verkoppelt sind und die Information vom Autor zum Nutzer zu transponieren gestatten, zeigt Abb. 8.7. Die Vielfältigkeit der Wege erfordert stets eine Auswahl. Sie wird durch unterschiedliche Fakten, die u. a. Eigenschaften der Information, Interessen von Autor und Nutzer betreffen, bestimmt. Als Beispiel sei nur die *Aktualität* der Information gewählt. Sie kann sehr unterschiedlich sein. Viele Werke der Antike haben auch heute nach rund 2000 Jahren noch hohe Aktualität. Für sie ist also die typische Verzögerung auf den Verbreitungswegen nahezu unbedeutend. Sehr aktuell sind dagegen u. a. Ereignisse im Sport, in der Politik und im Weltraumgeschehen. Hier zählen oft sogar Sekunden des Verzuges.

Die wesentlichen Informationen erreichen uns durch *Sehen und Hören*. Dies sind auch die beiden wichtigsten Formen der technischen Medien. Mit der Entwicklung der Elektronik entstanden die vier typischen Wandler: Aufnahmekamera und Fernsehschirm sowie Mikrophon und Lautsprecher. Alles was dazwischen liegt, ist nur *elektrisches Signal*, was heute relativ leicht zu übertragen und zu speichern ist. So entstehen drei Gruppen

- Rundfunk- und Fernseh*übertragung*,
- Medien, die nur die *Wiedergabe* gestatten,
  z. B. Schall- und Bildplatte,
- Medien, die *Aufzeichnung und Wiedergabe* zulassen,
  z. B. auf Magnetband.

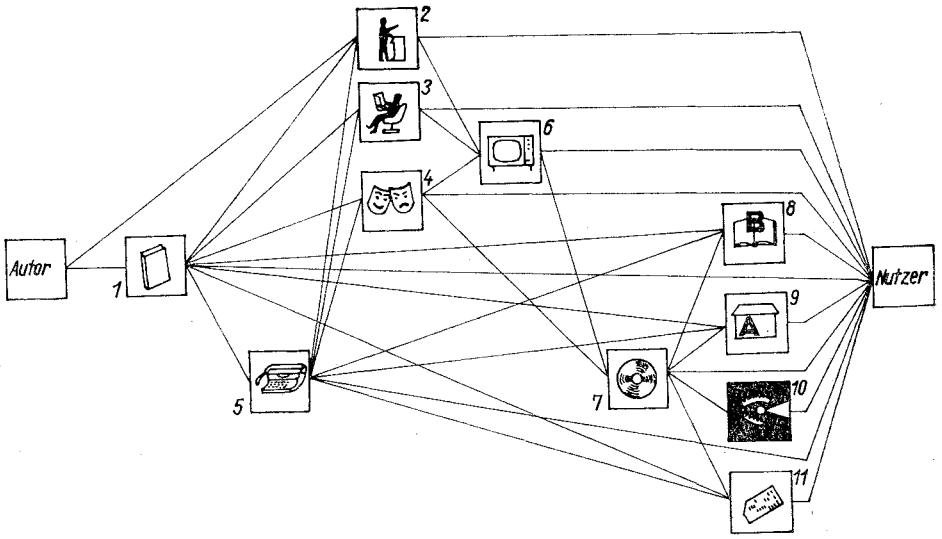


Abb. 8.7 Schema der Wege zur Verbreitung von Werken. Die Piktogramme bedeuten u. a.:
1. Manuskript; 2. freier Vortrag, musikalische Improvisation; 3. Dichterlesung, Spiel nach Noten; 4. kollektive Aufführung, Theater, Kunst; 5. Vervielfältigung, Verlag; 6. Rundfunk-, Fernsehübertragung; 7. Speicherung auf Schallplatten, Magnetbändern, Filmen usw.; 8. Ausleihe von Büchern, Bildern usw.; 9. Ausstellung von Plastiken, Bildern, Plakaten usw.; 10. Film- bzw. Plattentheater (Disko); 11. Datenbank mit Heimanschluß.

Neben diesen elektronischen Medien, die oft audiovisuell genannt werden, stehen andere, vor allem

- Buchdruck,
- Photo- und Reprotechnik,
- individuelle Anfertigung von Notizen und Skizzen.

Für die Entstehung von Werken gibt es zwei Ursachen:

- Ein Autor erzeugt etwas *für andere.*
- Wir gestalten etwas *für uns*, halten unsere Erlebnisse individuell fest.

Diese Einteilung, bei der sich der Kino- und Schmalfilm an verschiedenen Stellen einfügt, ergibt eine Verkopplung der Medien gemäß Abb. 8.8. Sie ist vorrangig technikbezogen, während Abb. 8.7 stärker auf Institutionen ausgerichtet ist. Ein Autor kann Werke in Form von *Büchern*, für *Nur-Wiedergabemedien* und/oder für den *Rundfunk* usw. schaffen. Der Nutzer kann sie auf diese Art auch empfangen. Er kann sich dabei aber individuelle Archive anlegen in Form von gekauften Büchern oder Nurwiedergabemedien oder selbst erzeugten Aufzeichnungen auf reversiblen Medien (Magnetband) in Form von Skizzen und Notizen oder mittels Photo- und Reprotechnik.

Mit dem verstärkten Aufkommen der *audio-visuellen Massenmedien* gab es ca. 1960 ... 1970 umfangreiche Diskussionen, ob denn das Buch künftig überhaupt noch

Tabelle 8.6 Eigenschaften der Medien aus der Sicht des Nutzers [V9]

Eigenschaften	Medien							
	Buch Zeitschrift usw.	Mikrofilm	Repro-technik	Skizzen Notizen	Nurwieder-gabe-verfahren	Individual-speicherung	Rundfunk Fernsehen	Datenbank
Größe und Gewicht	mittel	sehr klein	mittel	mittel	klein	klein	entfällt	entfällt
Notwendigkeit von technischen Apparaturen	nein	ja	nur zur Aufnahme	vernach-lässigbar (Bleistift)	ja	ja	ja	ja
nicht vermeidbare Verzögerung für aktuelle Informationen	Wochen bis Jahre	Monate	Minuten bis Stunden	vernach-lässigbar	Monate bis Jahre	Minuten bis Stunden	vernach-lässigbar	Stunden bis Jahre
freier Zugriff zu ausgewählten Informationen	Sekunden bis Minuten	Minuten	Sekunden bis Minuten	Sekunden bis Minuten	Minuten	Minuten	nicht angebbar	Sekunden
Wiedergabe von Schall und Vorgängen	indirekt mittels Schrift, Beschreibung bzw. Bildfolgen				ja	ja	ja	ja
frei wählbare Zeitraffung und -dehnung, Pausen und Einzelbildwiedergabe	durch Lesegeschwindigkeit automatisch gegeben				möglich	möglich	nein	nein
Möglichkeit zur individuellen Informationsverdichtung und Ordnung der Information	nein	bedingt	durch Auswahl	auto-matisch und ideal	durch Auswahl	durch Auswahl	nein	bedingt
ästhetische Gestaltung der Medien selbst	sehr groß und viel-fältig	gering	gering	anpas-sungs-fähig	mittel, betont auf Äußeres (Schall-plattenhülle)	gering bis mittel	entfällt	entfällt
Möglichkeit für nachträgliche Notizen und Markierungen	gut	gering	gut bis sehr gut	gut bis sehr gut	sehr gering	gering	entfällt	bedingt

Bedeutung hätte. Der Untertitel von McLuhans Buch [M8] „Das Ende des Buchzeitalters" ist nur eines der vielen Beispiele. Es war damals notwendig, die Stellung des Buches innerhalb der anderen, stärker aufkommenden Medien herauszuarbeiten. Ein entsprechendes Ergebnis zeigt die Tab. 8.6. Dabei wurde bereits vorausgesetzt, daß alle technischen Medien einschließlich des Datenbankanschlusses am Arbeitsplatz

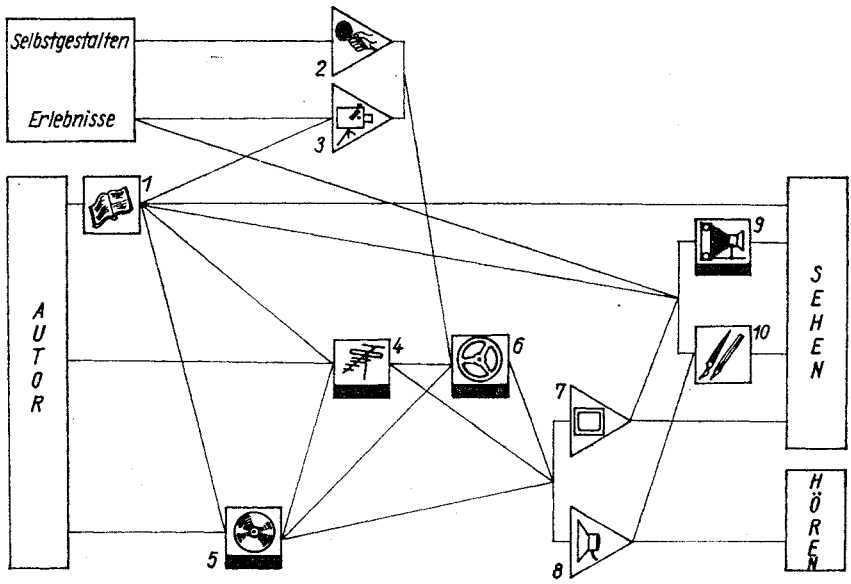


Abb. 8.8 Technikbezogene Relationen zwischen verschiedenen Medien. Die Piktogramme bedeuten: 1. Druckerzeugnisse; 2. Mikrophon; 3. Fernsehkamera (Filmkamera); 4. Rundfunk, Fernsehen, Telefon und Datenbankverbindung; 5. Nur-Wiedergabemedien und -geräte, z. B. Schallplatte, Bildplatte, Kino- und Schmalfilm; 6. reversible Signalspeicherung, z. B. auf Magnetband oder -kassetten; 7. Bildschirm (Leinwand); 8. Lautsprecher, Kopfhörer; 9. Photo- und Reprotechnik; 10. Aufzeichnungen von Notizen, Skizzen usw. Der jeweilige Geräteaufwand ist durch die Kästchenhöhe symbolisiert. Die Wandler sind in Dreiecke eingefügt [V9].

und in der Wohnung verfügbar seien. Es fällt auf, daß nur das Buch und seine Varianten Skizzen, Notizen usw. so gut wie keine Technik benötigen. Ihr Vorteil auf Reisen, im Freien usw. ist also in dieser Hinsicht beträchtlich. Bei ihnen ist auch der Zugriff zu speziellen Informationen am besten zu bewältigen. Ebenso sind hier besonders gut individuelle Notizen, Anstreichungen usw. möglich. Die geringste Verzögerung, also höchste Qualität, besitzen dagegen Rundfunk und Fernsehen. Weitere Details möge der Leser aus der Tabelle selbst ableiten oder in den Originalarbeiten nachlesen. Es sei aber noch auf eine besondere Eigenschaft des einzelnen beschriebenen oder bedruckten Blattes hingewiesen. Es läßt sich im Zusammenhang mit weiteren beliebig und gut umordnen (z. B. Karteien). Es läßt sich aber auch beliebig zerschneiden und geändert zusammenkleben.

8.5.4. Einige Ergänzungen

Die bisher dargestellten Fakten stellen natürlich nur einen kleinen Ausschnitt aus dem Gebiet der Massenkommunikation und seiner Umgebung dar. Es kann hier nicht Ziel sein, die Vielfalt der Aspekte aufzuzeigen. Schließlich kommt es ja vor allem darauf an, wichtige Zusammenhänge mit der Information aufzudecken, wobei nicht die Information gemeint ist, wie sie in der *Journalistik* abweichend vom generellen Inhalt gebräuchlich ist. Deshalb wurden hier auch nicht so wichtige Bezüge wie *Wahrheitswert*, *Klassenstandpunkt*, *Vertrauenswürdigkeit*, *Wirksamkeit* usw. behandelt. Hier gibt es verständlicherweise stark unterschiedliche Auffassungen. Mit denen des Kapitalismus setzt sich u. a. BISKY [B15] auseinander. Auch werden im Kapitalismus stark veränderte Modelle, z. B. das von MALETZKI [M2] verwendet.

Schließlich sei noch auf die große Bedeutung von Informationsvermittlung in der Wissenschaft hingewiesen. Auf das Sondergebiet der Information und Dokumentation wird noch bei der Semiotik eingegangen. Aber dieses ist nur einer der vielen Wege. Es gibt daneben, wenn auch z. T. integriert: Vorträge, Konferenzen und Tagungen usw., wo vor allem immer noch der persönliche Kontakt der Wissenschaftler wesentlich ist. Dann existieren Ausstellungen und Messen. Neben den offiziellen Publikationen in Zeitschriften, Monographien und Büchern kann nicht die Vielzahl der Forschungsberichte, Diplom- und Doktorarbeiten übersehen werden. Auch Preprints erlangen immer mehr Bedeutung. Schließlich sei noch das Patentwesen sowie die Bildung von Schulen erwähnt. Dies alles ließe sich ähnlich wie in den Abb. 8.7 und 8.8 oder der Tab. 8.6 behandeln.

8.6. Kunst

Bereits im vorigen Abschnitt sind künstlerische Begriffe und z. T. auch der Inhalt angesprochen worden. Außerdem wird auf die Zeichensysteme der Kunst noch im nächsten Kapitel Semiotik eingegangen. Hier soll vor allem auf die *kommunikative Seite der Kunst* eingegangen werden.

8.6.1. Einige Aussagen von Kagan

Die *Kunst* ist Teil eines noch größeren kommunikativen Systems, nämlich der *Kultur*. Der *Kanal* von Abb. 8.5 ist in der Kunst durch die Folge Künstler—Kunstwerk—Publikum zu beschreiben. Der Übergang: Künstler—Kunstwerk wird *künstlerisches Schaffen*, Kunstproduktion genannt; der andere Übergang: Kunstwerk—Publikum (Rezipient) Kunstwahrnehmung oder *Rezeption*. Ein Kunstwerk muß in jedem Fall objektiviert werden, es muß also eine materielle Gestalt erlangen, ob sie nun z. B. in Form eines Bildes, einer Plastik, Körperbewegung oder mittels der Sprache oder Musik geschieht, ist zunächst nicht entscheidend. In jedem Fall ist damit aber künstlerisches Schaffen mit praktischer Tätigkeit verbunden. Bedeutsam ist dagegen, daß ein Kunstwerk außerhalb des Kommunikationsvorganges: Kunstproduktion—Kunstwerk—Rezeption kein Kunstwerk mehr, sondern lediglich ein materieller Gegenstand ist. Ein Bild ist dann eben nur noch ein Stück Leinwand, auf das Farben aufgetragen

sind. KAGAN nennt vier wesentliche Funktionen der Kunst:

- kommunikativ,
- aufklärend—bildend,
- erzieherisch,
- hedonistisch (Genuß schaffend).

Hier interessiert nur die *kommunikative Funktion.* Für sie nennt er drei Besonderheiten:

1. Die Kunst überwindet die Begrenztheit der nationalsprachigen Kommunikation-Mit Ausnahme der Literatur stellt sie eine „Sprache" dar, die der ganzen Mensch. heit unmittelbar zugänglich ist.
2. Während die Sprache vor allem die Aufgabe hat, Informationen (Wissen) mitzuteilen, besteht das Ziel der Kunst darin, den Menschen zu stimulieren, zu aktivieren.
3. Es ist nicht möglich, den Inhalt eines Kunstwerkes adäquat nachzuerzählen. Folglich verfügt die Kunst über für sie spezifische Qualitäten.

Diese Besonderheiten sind geschichtlich entstanden und haben sich zweckgemäß weiterentwickelt. Alle anderen Tätigkeitsgebiete des Menschen haben sich ständig durch Arbeitsteilung weiter spezialisiert, z.B. produktive Arbeit zur Umgestaltung der Welt und Wissenschaft zum Erkennen der objektiven Gesetze. Weitere Gebiete sind u. a.: Moral, Religion, Recht, Politik. Auf dem Gebiet der Kunst fanden keine so engen Spezialisierungen statt und waren auf Grund ihrer Funktion auch nicht möglich. Sie stellt, wie KAGAN und andere beweisen, eine gewisse Doppelung des Lebens dar und dient dem Zweck, dem Menschen auf ihre Weise die gesellschaftlichen Erfahrungen zu vermitteln [K6, S. 511]:

„Kurz, ohne irgendeine, nur ihre eigene, spezifische Bestimmung im System der gesellschaftlichen Arbeitsteilung zu erhalten, erwies sich die Kunst als fähig, auf ihre weise *alles* zu wiederholen, was in jedem spezialisierten Bereich der menschlichen Lebenstätigkeit nur immer sich vollziehen mochte."

Diese Doppelung ist damit anschaulich gemäß Abb. 8.9 darstellbar. Genauer wird hierauf noch in Abschn. 8.6.4 eingegangen. Das Kommunikationsmodell von KAGAN zeigt Abb. 8.10. Leider kann diese Modell hier nur sehr kurz erläutert werden. Der untere, die Semiotik betreffende Teil des Bildes wird ohnehin noch im Kapitel 9 behandelt. Wesentlich erscheint, daß KAGAN den Prozeß des Kunstschaffens und der Rezeption nahezu symmetrisch annimmt. Das, was der Künstler als besonderes Kunstwerk hervorbringt, schafft der wahrnehmende Rezipient schöpferisch nach.

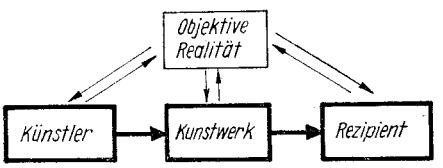


Abb. 8.9 Vereinfachte Darstellung der Doppelung der objektiven Realität durch die Kunst.

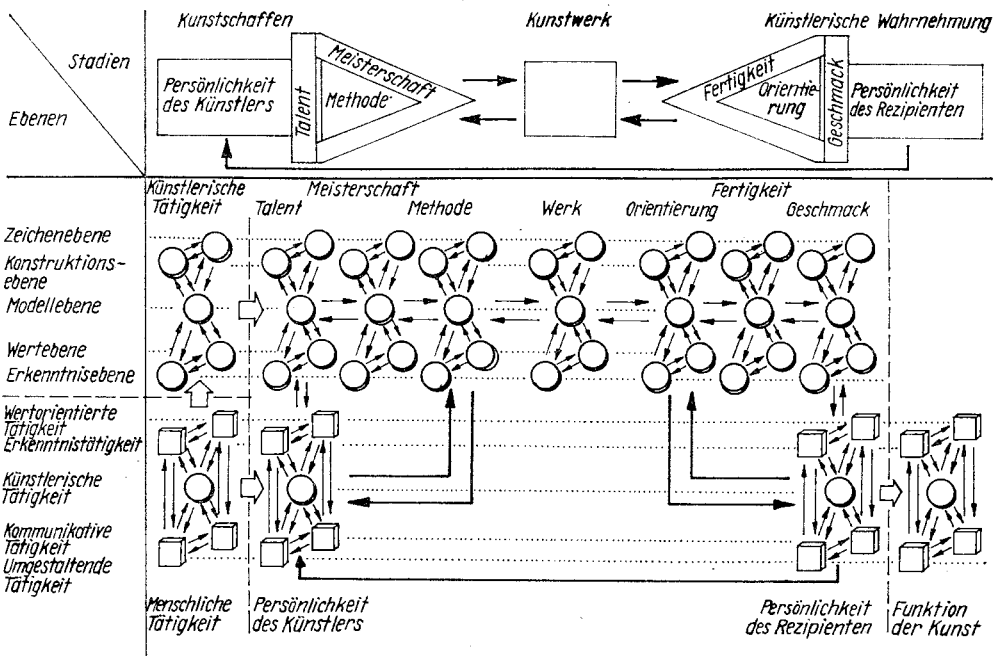


Abb. 8.10 Kommunikationskette nach KAGAN [K3]. Die beiden untenstehenden Ketten betreffen die Semiotik und werden dort erklärt (Vgl. dazu Abschn. 9.7 und Abb. 9.58).

Nur so, aktiv nachschaffend werden ihm die hohen Leistungen der Künstler zugänglich. So aber auch ist er imstande, Großartiges zu erkennen und zu empfinden. Um ein solches Kunstwerk zu schaffen, benötigt jeder Künstler dreierlei:

Talent, *Meisterschaft* und *Methode*.

Das *Talent*, die künstlerische Begabung, gewährleistet die Umwandlung des ganzen Reichtums an Gedanken, Gefühlen, Vorstellungen, die sich in der geistigen Welt des Künstlers bilden, wobei ihre Fülle und Geschlossenheit wesentlich sind. Während das Talent nur die Möglichkeit für das Schaffen großer Kunstwerke bietet, hängt ihre Realisierung wesentlich von der *Meisterschaft*, das heißt von den praktischen Fähigkeiten und Fertigkeiten des Künstlers im Zusammenhang mit dem schöpferischen Akt, ab. Die künstlerische *Methode* kann schließlich am einfachsten als „Algorithmus" des Schaffens selbst betrachtet werden.

Beim Rezipienten stehen diesem die folgenden drei sich notwendig gegenseitig ergänzenden und bedingenden Komponenten gegenüber:

Geschmack, *Fertigkeit* und *Orientierung*.

Sie werden durch die Rezeption von Kunstwerken erheblich beeinflußt, ergänzt und weiterentwickelt. Dies wird noch bei der Musik detaillierter behandelt. Schließlich sei darauf hingewiesen, daß im ganzen künstlerischen Prozeß Rückkopplungen existieren. Dies war allgemeiner und dennoch deutlicher bereits bei Abb. 8.6 ausgeführt.

8.6.2. Iterativer Prozeß, vor allem bei Nake

Frieder NAKE zählt zu den führenden Praktikern der Computergraphik. Doch auch auf theoretischem Gebiet hat er wesentliches geleistet [N4]. Hier sei sein iterativer Kommunikationsprozeß behandelt. BENSE hat ein Modell der Kommunikation geschaffen, wie es Abb. 8.11 zeigt. Es ist wesentlich einfacher als das von KAGAN und von NAKE. Dennoch zeigt es Aspekte verschiedener Art, die für NAKES Begriffe wichtig sind und die auch für quantitative Formelästhetik (vgl. Studie [V15]) oder wie BENSE sie nennt, Maßästhetik, bedeutsam sind. In diesem Bild fehlen nun gerade die Rückkopplungsprozesse. Sie können vielfältiger Natur sein (s. Abb. 8.12). Insgesamt

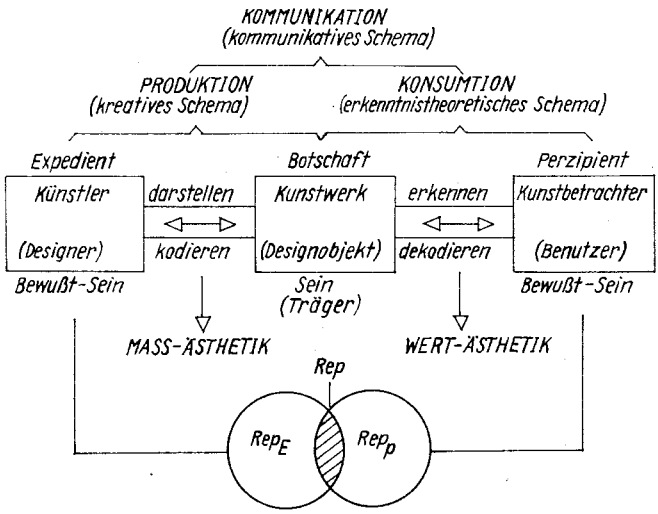


Abb. 8.11 Kommunikationsprozeß, wie er vor allem von BENSE geschaffen wurde. Er wird hier vor allem wegen der abweichenden Begriffe angeführt (entnommen aus MASER).

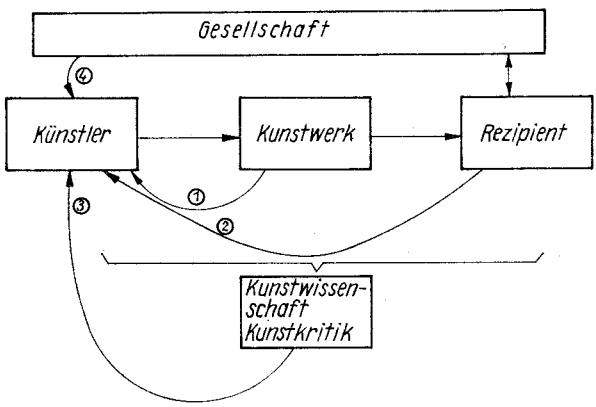


Abb. 8.12 Hervorhebung der Rückkopplungen zum Künstler auf den Wegen ① bis ④ im Zusammenhang mit dem Kommunikationsprozeß in der Kunst. Die drei Gruppen Rezipient, Kunstwissenschaft und -kritik sowie Gesellschaft wurden nur zur Verdeutlichung dieser Rückkopplungen isoliert gezeichnet.

können also etwa vier Rückkopplungswege zum Künstler unterschieden werden. Einmal befindet er sich bei der Herstellung des Kunstwerkes stets mit dem entstehenden Werk in Kontakt. Sobald das Werk auch Rezipienten zugänglich ist, erfährt er von dort ebenfalls Reaktionen auf sein Werk. Wesentlich für die Entwicklung und das Voranschreiten der Kunst ist auch das Spezialgebiet der Kunstwissenschaft und der Kunstkritik. Sie befinden sich ähnlich wie eine Metasprache (vgl. Abschnitt 9.2.8 Bild 9.31) in einer Position, die den ganzen Kunstprozeß und -betrieb beobachten und daraus Schlüsse ziehen. Diese beeinflussen ebenfalls den Künstler. Schließlich vollzieht sich der ganze Kunstprozeß in der Gesellschaft. Dabei entstehen u. a. gesellschaftliche Bewertungen von geschaffenen Werken und Bedürfnisse nach neuen. So entsteht die vierte Rückkopplung. Alle diese Rückkopplungen sind dem Künstler mehr oder weniger bewußt, und er berücksichtigt sie dementsprechend in seinem *Schaffensprozeß*. LEHMANN [L9] drückt dies so aus, daß die potentiellen Rezipienten dem Künstler beim Schaffensprozeß ständig indirekt über die Schulter sehen. Dadurch wird er ständig abwechselnd und iterativ zum Produzenten und Kritiker seines von ihm zu schaffenden Werkes. Dies stellt NAKE gemäß Abb. 8.13 dar. Er führt eben, wie in der Automatentheorie, *Zeitschritte* t_i ein. Wenn ein Urteil, d. h. eine Kritik, Rückkopplung oder Idee, vorliegt, wird es praktisch tätig umgesetzt und erscheint als Objekt (Kunstwerk). Dieses wird der Kritik unterzogen und in seinen Mängeln und

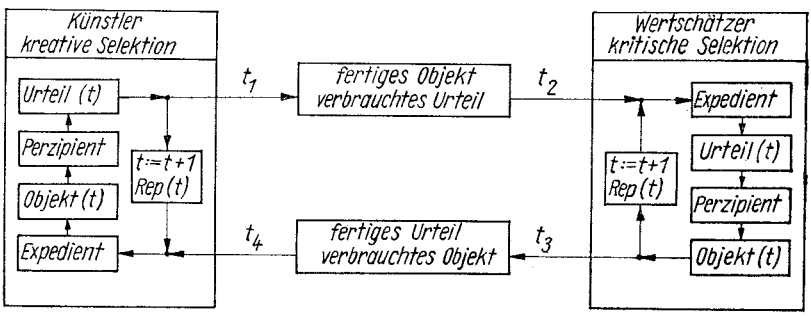


Abb. 8.13 Iterativer Kommunikationsprozeß in der Kunst nach NAKE [N4].

Schwächen erkannt. Es entsteht ein neues Urteil, das Objekt ist damit, wie NAKE sagt, verbraucht. Aus dem Urteil kann aber ein neuer Schaffensprozeß ein neues Objekt erzeugen. Sicher sind die Begriffe von NAKE nicht sehr glücklich gewählt. Sie zeigen aber deutlich den *iterativen Prozeß allen Kunstschaffens* und nicht nur das. Sie geben auch Hinweise darauf, wie sich die Kunst insgesamt entwickelt. Wertvoll sind auch die Aussagen, daß jedes Urteil nur zeitweilig ist und daß damit jedes Kunstwerk dem Rezipienten immer wieder neue Aussagen ermöglicht. In diesem Sinne ist ein materialisiertes *fertiges Kunstwerk*, obwohl es sich nicht mehr verändert, nie verbraucht und *nie endgültig erkannt*.

Es ist zu beachten, daß ein Kunstwerk für die Rezeption neben *inhaltlichen* auch gewisse *objektive Bedingungen* zu erfüllen hat. Es muß mit den Sinnesorganen des Menschen gut wahrnehmbar sein. Die physikalischen Strukturen des Werkes müssen folglich der physiologischen Fähigkeit des Menschen angepaßt sein. Ferner muß seine

Strukturierung so beschaffen sein, daß hieraus der Inhalt des Werkes als Information zu gewinnen ist. Die Struktur muß damit vor allem physiologisch-psychologische Bedingungen erfüllen. Schließlich muß jedes Werk eine gewisse *Redundanz* aufweisen. Dies wurde bereits bei der formalen Ästhetik in der Studie [V15] behandelt.

8.6.3. Zum Kitsch

Eine interessante Studie zum Kitsch stammt von MOLES [M15]. Er untersucht die Entwicklung der Kunst allgemein. Dabei teilt er die jeweilige *Kunst* in *fortschrittlich* und *konservativ* ein und kommt so zu Abb. 8.14a. Die Möglichkeit, nicht Notwendigkeit des Kitsches, liegt in dieser Darstellung *zwischen* dem, was *Mode* ist und dem was bereits allgemein anerkannt ist (*Modus*). Ein weiterer Aspekt liegt darin, daß „künstlerische Gegenstände" auch *funktionellen Charakter* erlangen. Deshalb fällt das Entstehen des Kitsches zeitlich ungefähr mit der Betonung des Funktionalismus zusammen (Abb. 8.14b). Bei Kitsch besitzt weiter die *Multifunktionalität* der Gegenstände hohe Bedeutung. Eine Analyse von MOLES zeigt Tab. 8.7. Weitere Eigenschaften des Kitsches sind, daß er *erwerbbar* sein muß (Gefahr für gutes Kunstgewerbe), daß er Gefühle ansprechen muß und daß er nach Möglichkeit surrealistisch sein sollte.

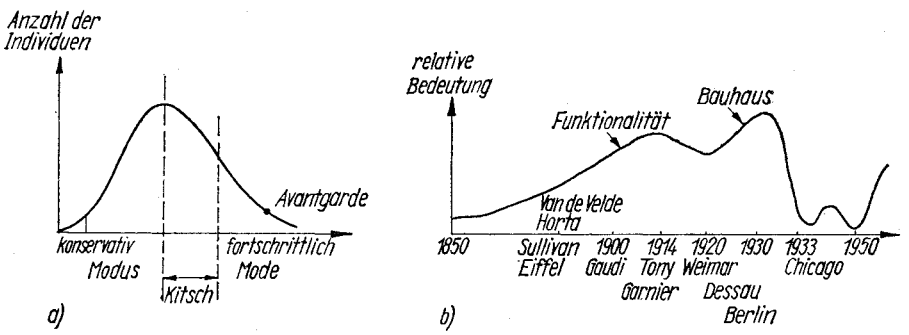


Abb. 8.14 Einige Grundlagen des Kitsches nach MOLES [M15]
a) Die Möglichkeit des Kitsches rangiert zwischen Modus und Mode in der Skala der Entwicklung,
b) Der Aufstieg des Kitsches hängt mit der Bedeutung des Funktionalismus zusammen.

Tabelle 8.7 Anzahl der Funktionen bei (kitschigen) Geschenken (Gadget) und ihr relativer Anteil in einem New Yorker Spezialgeschäft. Ein zweifunktionales Gadget ist z. B. die Verbindung Manschettenknopf und Thermometer, ein dreifunktionales: Füllhalter, Taschenlampe und Mikroskop [M15]

Anzahl der Funktionen	0	1	2	3	4	5	6
prozentualer Anteil	1	21	36	22	12	5	3

8.6.4. Theater

Eine besondere Studie zum Theater im Vergleich zum Film und Fernsehen stammt von WECKWERTH [W5]. Da in dieser Studie der semiotische Aspekt stark hervorgehoben wurde, wird noch einmal im Kapitel 9 auf sie eingegangen. Hier sollen nur einige Aspekte behandelt werden, die spezifisch für die Kommunikation sind. Gerade die schon im Zusammenhang mit Abb. 8.9 behandelte Doppelung ist im Theater noch einmal zusätzlich gedoppelt. Das Theater ist sowohl Abbild der Wirklichkeit als auch Teil der Wirklichkeit, denn alles, was auf der Bühne geschieht, existiert wirklich. So muß ein Schauspieler auf der Bühne so sterben, daß er wirklich vor den Augen der Zuschauer stirbt, ohne jedoch in Wirklichkeit zu sterben.

Weiter sei auf ein interessantes Experiment verwiesen, das WECKWERTH machte, um das *absurde Theater* zu widerlegen, und das darüber hinaus zugleich die hohe Aktivität des Zuschauers bei der Rezeption beweist. Er stellte einen jungen Schauspieler auf die Bühne und sagte ihm, daß es sich um eine Konzentrationsübung handle. *Er habe nur auf der Bühne zu stehen und nichts zu tun, nichts zu sagen, nicht zu denken und nichts zu fühlen.* Die anderen Schüler würden ihn dabei aus dem Zuschauerraum beobachten. Den Zuschauern sagte er nichts von dem Zweck, sondern fragte hinterher nur, was sie erlebt hätten [W5, S. 47]:

„Beim Aufgehen des Vorhanges verstummten die recht lauten Unterhaltungen. Es wurde mucksmäuschenstill im Zuschauerraum. Angespannt verfolgte jeder, was auf der Bühne *vor sich ging*. Nachdem etwa vier Minuten „nichts" vorgegangen war, begann einer im Zuschauerraum zu lachen, da er meinte, etwas irrsinnig Komisches zu sehen. Die andern fielen ein, und es war ein Gelächter, um das uns mancher Komiker beneidet hätte ... Im Zuschauerraum wurde es wieder still. Und nun hielt die gespannte Stille etwa 10 Minutan an ..."

Die Auswertung im Kollektiv brachte die sonderbarsten Geschichten hervor, die einzelne Zuschauer glaubten erlebt zu haben. Deshalb stellt WECKWERTH die Frage: *„Wer spielt eigentlich im Theater?"* Diese Aussagen bestätigen Abschn. 8.4, daß es eben nicht möglich ist, nicht zu kommunizieren.

8.6.5. Musik

Die Musik hat innerhalb der Kunst eine besondere Stellung. Dies wird noch genauer bei der Morphologie der Künste im Rahmen der Semiotik (Abschn. 9.7.3) untersucht. Hier können vor allen die z. T. detaillierter untersuchten Kommunikationsprozesse herangezogen werden. Es geht hier nicht um das umstrittene Problem des Inhalts der Musik, sondern mehr um Prozesse bei der Musik. Bei der Musik ist die *Kette* des *Kommunikationsprozesses* besonders weit aufgeschlüsselt, d. h. auch durch unterschiedliche Spezialisten vertreten. Dies sei nur durch die Folge auf der Seite der *Erzeugung* angedeutet:

- musikalisches Erbe,
- musikalische Idee,
- Komposition,
- Arrangement,
- Interpretation,
- Raum.

In einem solchen komplizierten Prozeß gibt es natürlich auch viele Abwandlungen, Möglichkeiten und Rückkopplungen. Hinzu kommen Besonderheiten der musikalischen „Sprache", die ebenfalls in dem Semiotikkapitel anklingen. Die Musik kann, wie bereits HANSLICK ausführte, eben keine Begriffe vermitteln. Sie ist in dieser Hinsicht unbestimmt. Sie kann zwar Gefühle bewirken, und deshalb nennt SCHAFF derartige Kommunikationen ansteckend — dies ist jedoch nur, wie bei jeder Kunst, eine ihrer Funktionen. Deutlicher als HANSLICK drückt BIERWISCH [B11] eine zweite Funktion aus. Musik sagt zum Beispiel nicht, wie ein Spiel gespielt wird, sondern zeigt es. Das Zeigen ist eine Stärke der Musik. Sie zeigt unmittelbar, was laut oder leise, schnell oder langsam, hoch oder tief ist. Sie zeigt auch, wie etwas abläuft, gleichmäßig oder stockend bzw. holprig, lauter oder leise werdend usw. Musik zeigt also Bewegungen. Deshalb ahmt sie zuweilen Geräusche nach und gelangt so zu den symphonischen Dichtungen. Analog gilt BEETHOVENS Bemerkung zur VI. Symphonie: *Mehr Stimmung als Gefühl.*

Ein dritter Aspekt der Musik im Kommunikationsprozeß ist das *Lernen.* Hierzu liegen u. a. Untersuchungen in den Arbeiten [B25, V11; V12] vor. Dies ist am deutlichsten bei einem Variationsstück zu erkennen. Es wird zu Beginn das Motiv oder Thema dargeboten, und dann folgen die Variationen. Auch der Sonatenform liegt ein ähnliches Prinzip zugrunde. Beim Hören wird also durch Wiederholung und Veränderung das Thema schrittweise erlernt. Bei weiterem Hören können dann durch Vergleich mit dem gelernten Thema zusätzliche Strukturen und Details der Variationen verfolgt werden. Dabei bereitet sowohl das Wiedererkennen des Themas als auch das Verfolgen der mehr oder weniger interessanten Variationen und die dabei erfolgende Veränderung der Gestalt des Themas Genuß. BRECHT bezeichnet in ähnlichem Sinn das Lernen und Denken als einen der größten Genüsse des Menschen. Ein Problem besteht bei dieser Betrachtung jedoch darin, was ein *Thema* ist oder sein kann. Vereinfacht gilt: alles das, was erlernbar ist und damit als musikalische Gestalt wiedererkannt werden kann. Hierbei ist natürlich jenes Wissen und jene Erkenntnis wichtig, die der Musikhörer bereits als Erfahrung vorher erworben hat. Für den Anfang wird er im Schema von MOLES (Abb. 8.14a) meist nur vom allgemein Anerkannten, also dem Modus, ausgehen. Dies sei z. B. die Klassik. Für die Jugend kann es auch Tanzmusik oder z. B. Beat sein. Von hier aus muß sich dann eine *aktive Entwicklung* zu den anderen Genres und Gebieten vollziehen. Für den professionellen Musiker oder Komponisten besteht umgekehrt die Gefahr, sich vom Publikum zu weit zu lösen und als *Avantgarde* in nutzlose Richtungen zu verirren.

Wie weit diese Problematik gehen kann, zeigen viele Beispiele, in denen das Thema eigentlich gar nicht existiert, sondern nur die *Variationen um das Thema.* Das Thema tritt genau genommen nie auf, sondern kann nur aus der Fülle der Variationen indirekt gewonnen werden. Ins Anschauliche übertragen zeigt dies Abb. 8.15 am Beispiel von Ziffernzeichen. Es gibt zwar eine ideale Zifferngestalt. Alle wirklich geschriebenen Ziffern zeigen jedoch gewisse Abweichungen. Sie müssen jedoch so sein, daß die ideale Ziffer erlernt und die reale erkannt wird. Ein anderes Beispiel sind hierzu die mündlich überlieferten und weitergegebenen Epen, die noch vor wenigen Jahrzehnten in Jugoslawien existierten, und von denen auch B. LORD berichtet. Auch hier gibt es kein Original, sondern das einzelne Epos ist in ständiger Veränderung. Dazu gehören bestimmte Regeln, die erst durch die Untersuchungen von LORD und seinen Vorgängen erkannt wurden und viel Interessantes auch zur Kenntnis u. a. der Odyssee beitrugen.

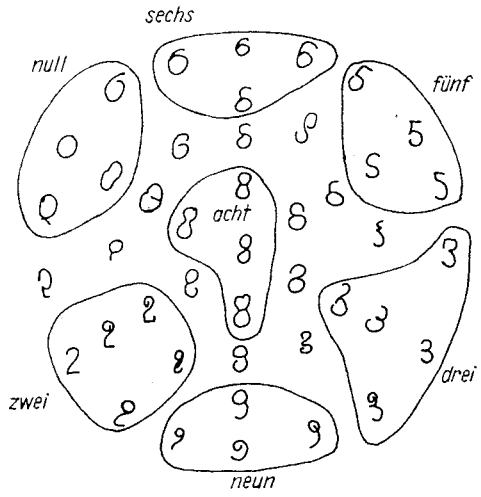


Abb. 8.15 Beispiel für Übergänge von Zeichen (hier für Ziffern) und der kompakt zu erlernenden bzw. zu erkennenden Gebiete.

Bei der *Musik* kann ähnliches bei Themen und Motiven auftreten. Hinzu kommt dabei, daß die Musik bei jedem Musikstück neu begonnen werden muß. Der Komponist und Interpret kann sich zwar auf gewisse traditionelle Kenntnisse und soziologische Erfahrungen stützen. Aber jedes Musikstück muß dennoch im gewissen Sinne bei Null beginnen und zu einem Abschluß führen. Deshalb besteht u. a. auch die *Finalproblematik* in der Europäischen Musik. Die Bedingungen der *außereuropäischen Musik* sind z. T. an andere Kommunikationsgepflogenheiten und andere historische Entwicklungen gebunden. Deshalb ist ihr Aufbau z. T. abweichend.

Für die *Musikrezeption* (vgl. Studie [V15]) existieren insgesamt *drei Etappen*:
selektive, synthetische und analytische Phase.

Die *selektive Phase* liegt vor, wenn ein neues Musikwerk zum ersten Mal gehört wird. Sie liegt ganz besonders dann vor, wenn Musik überhaupt erstmals gehört wird oder zumindest eine für den Rezipienten völlig neue Art. Dann muß der Rezipient aus der Fülle der Klänge versuchen, Themen, genauer wiederkehrende ähnliche oder gleiche Strukturen zu erkennen. Wenn dies erfolgt ist, kann die *synthetische Phase* beginnen, bei der er in seinem Gedächtnis die Strukturen so aufbereitet, daß er die zentralen Strukturen (Themen usw.) bildet und erlernt. Beim weiteren oder erneuten Hören kann die *analytische Phase* beginnen, bei der die Feinheiten des Aufbaus und Ablaufs verfolgt werden. Jede Phase hat also ihre spezifischen Erfolgserlebnisse und Genüsse, fordert aber auch ihre spezifischen Anstrengungen.

Wie weit diese Problematik gehen kann, zeigt eine interessante Arbeit von Burdach [B28]. Hier wurde experimentalpsychologisch mit völlig von dem hörgewohnten abweichendem Material gearbeitet. Die Oktave wurde dazu nicht in 12 Intervalle (Halbtonschritte), sondern in 10 äquidistante, also völlig neue Intervalle geteilt. Den Hörern wurde von dieser Art „Musik" in drei verschiedenen Versuchsgruppen reine „Zufallsmusik" und „Musik mit bestimmten Ordnungsstrukturen" in unterschiedlicher Folge und Menge angeboten. Es zeigte sich, daß die Gesetze erkannt wurden und

bei den drei Gruppen je nach der Reihenfolge der Vorführungen z. T. ästhetischen Genuß und z. T. Unbehagen bewirkten. Diese Experimente können direkt als eine Bestätigung der Lernhypothese angesehen werden. Leider kann hier nicht weiter auf Details eingegangen werden.

Abschließend seien jedoch noch zwei interessante Arbeiten erwähnt, die spezielle *Rückkopplungseffekte* der Musik untersuchen: einmal den Einfluß des Raumes auf den Interpreten [K17] und zum andern, wie das Erlernen eines Musikinstruments, des Klaviers, durch Bewußtwerden der Rückkopplung zwischen Hand und Gehör effektiver gestaltet werden kann [L2].

9. Semiotik

Der Begriff Semiotik (von griechisch sema; semeion = Zeichen, also Lehre von den Zeichen) und insbesondere die meist als *Teilgebiet* aufgefaßte z. T. aber auch verselbständigte *Semantik* (von griechisch semantikos = zum Zeichen gehörig, heute mehr auf Bedeutung bezogen) haben insgesamt so vielfältige Anwendungen und Auslegungen, daß es nahezu unmöglich erscheint, eine einheitliche Definition zu geben. Im allgemeinen wird angenommen, daß der Begriff Semiotik *erstmals* von J. LOCKE für seine „Lehre von den Zeichen" in seinem „Essay Concerning Human Understanding" 1689 verwendet wurde. Es muß aber vermerkt werden, daß um 1800 in Deutschland der Begriff Semiotik *in der Medizin* sehr gebräuchlich war (s. Abschn. 9.4.2.). Unter Semiotik wurden dabei alle Möglichkeiten zusammengefaßt, die wir heute als *äußere Anzeichen* für eine Krankheit bezeichnen würden. Diese Fachrichtung geriet völlig in Vergessenheit und wurde von niemandem mehr später berücksichtigt.

Um die Beziehungen und Anwendungen der Semiotik bezüglich der Information auch nur einigermaßen zu erfassen, ist es notwendig, die *wichtigsten Wurzeln zu erkennen* und Aussagen zum heutigen Stand auf den verschiedenen Gebieten zu gewinnen. Dieses schwierige Unterfangen sei in diesem Kapitel versucht. Wenngleich es auch besonders umfangreich ist, so liegt dennoch bezüglich des vorhandenen Stoffes eine Knappheit vor, die andere Kapitel vielleicht übertrifft. Dies hat zur Folge, daß oft nur Probleme angerissen werden können.

Eingangs wird die Entwicklung der Semantik im allgemeinen und in der Philosophie beschrieben. Bereits hier mußten zur Reduzierung des Umfanges unter anderem die recht bedeutsamen Arbeiten von HUSSERL, WITTGENSTEIN und WITTENBERG ausgelassen werden. Während sie aber noch ins Literaturverzeichnis aufgenommen wurden, fehlen andere völlig. Dennoch dürfte für den beabsichtigten Zweck der gesamten Arbeit das Wesentliche an Aussagen vorhanden sein.

Anschließend wird die *Sprache* mit ihrem speziellen semiotischem Charakter betrachtet. Sie zeichnet sich durch viele Besonderheiten und vor allem durch die hier am breitesten ausgearbeitete Semantikproblematik aus. Erst danach folgen viele weitere Anwendungsgebiete. *Es werden u. a. behandelt*: *Mathematik, Rechentechnik, Physik, Verhaltenswissenschaften, Medizin, Psychologie, Information und Dokumentation, Ökonomie, Betriebswirtschaft, Werbung, Kultur, Ästhetik, Kunst* und darin speziell: *Musik, Literatur, Computergraphik, Reine Mime, Film und Theater*. Das Spektrum ist also groß, die Reihenfolge teilweise willkürlich, die Gebiete unvollständig! Unvollständig ist auch die behandelte *Literatur*. Hier können berechtigte Kritiken ansetzen. Die Zusammenstellung kann eben nur ein erster, teilweise gelungener Versuch sein. Dennoch dürfte deutlich als Ergebnis herauskommen, wie schillernd und wie spezifisch unterschiedlich heute die Semiotik aufgefaßt und betrieben wird. Daraus sind in der Studie [V15] die Konsequenzen gezogen worden.

Schließlich sei noch bemerkt, daß es nicht einmal möglich bzw. sinnvoll war, in aller Konsequenz nur Aussagen, die streng zur Semiotik gehören, hier aufzunehmen: einmal, weil die Abgrenzung nicht so eindeutig definiert ist, dann aber auch, weil es eben für das Gesamtunternehmen sinnvoller war, hier auch gewisse Aussagen einzubeziehen, die viel-

leicht besser beim Kapitel 8, Kommunikation, oder in der Studie [V15] bei den qualitativen Aspekten aufgehoben sind. Es sei hier z. B. auf Zusammenhänge mit den Abb. 9.31, 9.39, 9.40 und 9.44–52 hingewiesen.

9.1. Allgemeine und philosophische Entwicklung

9.1.1. Antike

Vielfältige Kenntnisse zur Semiotik gehen bereits auf griechische Philosophen, vor allem PROTAGORAS, PLATON und ARISTOTELES zurück. Viele Sprachwissenschaftler behaupten sogar, daß von PLATON bereits wesentliche Grundlagen der traditionellen Grammatik erbracht wurden. Vor allem soll auf die „atomistische" Zeichentheorie von PLATON (427-347), insbesondere seinen Dialog „Kratylos" hingewiesen werden. Hier einige Zitate (übernommen aus SCHMIDT [S14, S. 9] s. a. ALBRECHT [A6, S. 33]): Das Wort ist „seines Gegenstandes Kundmachung durch Silbern und Buchstaben". „Das Wort ist also belehrendes Werkzeug und ein das Wesen unterscheidendes und sonderndes ...". Ein Werkzeug ist also das Wort". „Es ist also doch möglich, wie es scheint, Kratylos, die Dinge kennen zu lernen ohne Hilfe der Worte ...". „Du gibst doch zu, daß ein anderes das Wort ist und ein anderes das, dessen Name es ist?"

Zusammengefaßt unterscheidet PLATON

Dinge, die sprachunabhängig erkennbar sind und objektiv existieren,
Worte, die zur Kennzeichnung von Dingen und als Werkzeug der Erkenntnis dienen,
Ideen, als Urbilder, zeitlose Begriffe,
Begriffe, nicht empirisch zugänglich, an ihnen messen wir Sinnliches,
Bedeutung, Gattungsbegriff, ideale konstante Wahrheit, Idee, die vom Wort getroffen und benannt werden kann, aber unabhängig von ihm besteht.

So ergibt sich ein Zusammenhang, wie ihn Abb. 9.1a zeigt.

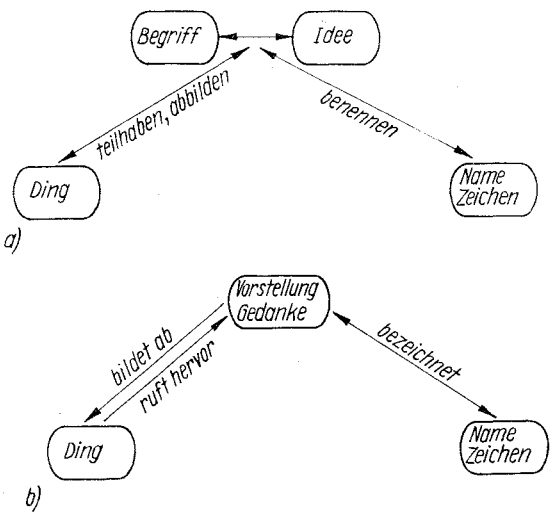


Abb. 9.1 Semiotische (semantische) Relationen bei
a) PLATON,
b) ARISTOTELES.

Bei ARISTOTELES (—384 ... —322) ist bereits Ausführlicheres zu finden. Dennoch unterscheidet sich bei ihm der Zusammenhang zwischen Ding und Wort nur wenig von PLATON. Im wesentlichen tritt an die Stelle von Begriff und Idee die Vorstellung bzw. der Gedanke (Abb. 9.1 b).

9.1.2. Charles Sanders Peirce

Als *Begründer* der *modernen Semiotik* gilt allgemein PEIRCE (1839—1914). Publikationen über seine Untersuchungen sind ziemlich verstreut oder nur als Handschriften vorhanden und wurden daher in wesentlichen Teilen erstmalig 1931 bis 1935 zusammengefaßt herausgegeben [P4]. Auch sie erlangten erst in den letzten Jahrzehnten größere Beachtung, denn obwohl PEIRCE als ester bedeutender amerikanischer Philosoph gilt, hatte er zu Lebzeiten außer auf mathematischem und astronomischem Gebiet keine Anerkennung erlangt. Als *Begründer der Pragmatik* wurde er erst später bekannt.

Das Wort Semiotik vermeidet er weitgehend. Er gebraucht viel lieber das Wort Logik dafür [P4, Bd. II, § 227 S. 134]:

„Logic, in its general sense, is, ... , only another name for semiotic ... the quasinecessary, or formal, doctrine of sign."

und zur Abgrenzung gegenüber einfachen Wechselwirkungen [P4, Bd. V, §484, S.332]:

„But by „semiosis" I mean, on the contrary, an action, or influence, which is, or involves, a cooperation of three subjects, such as a sign, its object and its interpretant, ..."

Seine zeichentheoretischen Aussagen sind vor allem im Band I, Buch III, Kapitel 4 bis 7, Band II, Buch I und noch mehr Buch II sowie im Band V, Buch I und II enthalten. In Buch I des Bandes V sind die auch in deutscher Übersetzung vorhandenen Vorlesungen über Pragmatismus des Jahres 1903 enthalten.

Im Zentrum seiner Arbeiten steht eine hierarchische Dreiteilung sowohl für die Semiotik selbst als auch für das Zeichen. Generell unterscheidet er drei Kategorien:

- *Firstness* (Originality): Seinsweise ohne Beziehung zum Seienden, z.B. zufällige Fakten, die nicht zueinander in Bedeutung stehen.
- *Secondness* (Obsistence): Erscheinungen, die notwendig zusammenhängen, z.B. Vergangenheit und Zukunft bzw. Ehemann und Ehefrau.
- *Thirdness* (Transuation oder Mediation): Eine aus drei Gliedern bestehende Relation, z.B. die Zukunft. Sie ist vor allem im Geiste vorhanden.

Eine solche Einteilung ist heute natürlich als metaphysisch abzulehnen und wird auch schon von seinem „Nachfolger" MORRIS kritisiert. Dieselbe Einteilung verwendet er aber auch zuweilen im Sinne von Firstness als Sinnqualität, Secondness als Reaktion und Thirdness als Repräsentation. Wesentlich positiver ist seine eigentliche *Theorie der Zeichen* (sign) zu werten. Sie baut z. T. auf der letztgenannten Dreiteilung auf und geht dementsprechend von den drei Gliedern aus:

Z: *Zeichen* (Mittel, sign): Materieller Träger der Zeichenrelation. (Zuweilen wird bereits bei PEIRCE der Begriff sign sowohl auf die ganze Zeichenrelation als auch nur auf den Träger bezogen verwendet. Manchmal wird auch ein ganzer Satz als Zeichen gewählt. PEIRCE nennt ihn dann oft Dicisign.)

O: *Objekt* (object): PEIRCE läßt nur reale Objekte zu, schließt also ideelle aus. (Im gewissen Umfange enthält bei PEIRCE das Objekt Momente des Abgebildeten und des Abbildes.)

I: *Interpretant* (interpretant). Interpretation der Relation zwischen Zeichenträger und Objekt durch den Anwender bzw. Empfänger des Zeichens sowie deren Ergebnis. (Enthält also wesentliche Teile der Semantik und Pragmatik, ohne daß diese Worte bei PEIRCE vorkommen.)

Die Wirkung der Zeichenrelation als Zusammenhang zwischen den drei Gliedern drückt PEIRCE wie folgt aus; Band II, § 92 S. 51:

„A sign is anything which is related to a Second thing, its *Object*, in respect to a Quality, in such a way as to bring a Third thing, its *Interpretant*, into a relation to the same Object, and that in such a way as to bring a Fourth into relation to that Object in the same form, ad infinitum".

Für PEIRCE gibt es mehrere *Eigenschaften des Zeichens*:

- seine beliebige Wiederholbarkeit,
- Bestimmung eines Zeichens durch andere, was zu einer unendlichen Kette führt,
- jedes Zeichen verkörpert eine Qualität,
- jedes Zeichen hat einen Interpretanten bzw. eine Bedeutung.

PEIRCE unterteilt dann *die Zeichen* innerhalb ihrer drei Grundklassen jeweils noch dreimal, wie folgt (s. a. Abb. 9.2):

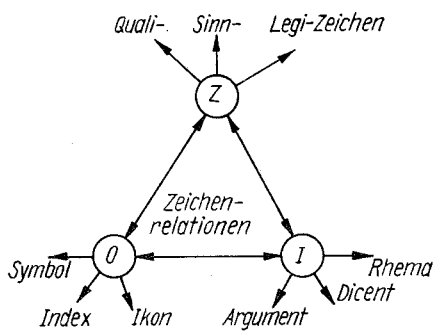


Abb. 9.2 Die hierarchische Trichotomie bezüglich der Zeichenrelationen nach PEIRCE.

Zeichenbezug:

- *Qualizeichen* (qualisigns): Jede Qualität oder Erscheinung, die ein Zeichen ist,
- *Sinnzeichen* (sinsigns): Jedes individuelle Objekt oder Ereignis, das ein Zeichen ist,
- *Legizeichen* (legisigns): Jeder generelle Typ oder jedes Gesetz, das ein Zeichen ist,

Objektbezug:

- *Ikon* (icon): Jedes Zeichen, das mit seinem Objekt gewisse Bezüge gemeinsam hat,
- *Index* (index): Jedes Zeichen, das reale Beziehungen zu einem Objekt hat,

- *Symbol* (symbol): Jedes Zeichen, das bezüglich seines Objekts weder Übereinstimmungen noch reale Beziehungen hat. (Es wird also nur über den Interpretanten (meist als Konvention) festgelegt).

Interpretantenbezug:

- *Rhema* (rhema): Jedes Zeichen, das weder falsch noch richtig ist bzw. eine Möglichkeit darstellt (sign of possibility)
- *Dicent* (dicent bzw. dicisign): Jedes Zeichen, das eine Tatsache oder Behauptung darstellt (sign of fact),
- *Argument* (argument): Jedes Zeichen, das auf ein Gesetz, eine Ursache usw., also auf etwas außerhalb des Senders Liegendes verweist (sign of law or reason).

Werden nun diese Einteilungen alle zugleich angewendet, so zeigt sich, daß nicht alle Kombinationen möglich sind. Mehrere der Einteilungen bedingen einander. Insgesamt entstehen so nur 10 verschiedene Zeichenklassen:

1. Qualizeichen (Rhematic iconic qualisign) z.B. Rotempfindung,
2. ikonisches Sinnzeichen (Rhematic iconic sinsign), z.B. individuelles, singuläres Diagramm,
3. thematisches, indexalisches Sinnzeichen (rhematic indexical sinsign), z.B. ein spontaner Schrei,
4. dicentisches Sinnzeichen (dicent indixical sinsign), z.B. Wetterhahn,
5. ikonisches Legizeichen (rhematic iconic legisign), z.B. ein Diagramm, wenn von seiner faktenbezogenen Einmaligkeit abgesehen wird.

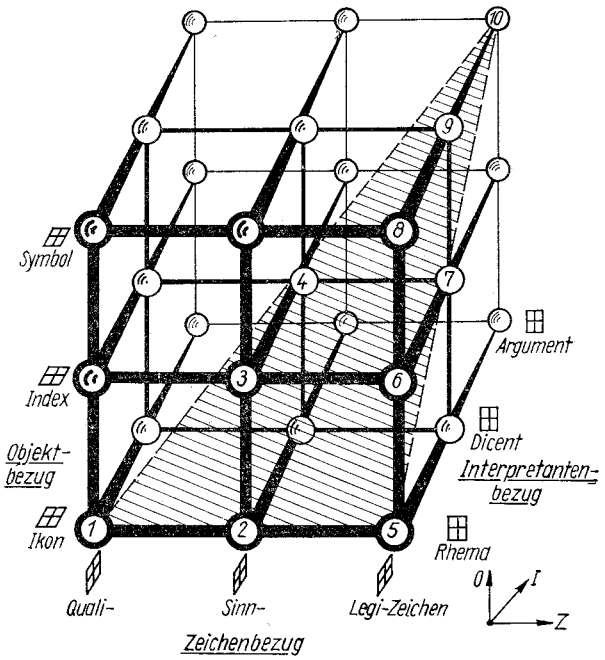


Abb. 9.3 Versuch einer räumlichen Darstellung der Peirceschen Trichotomien. Die 10 möglichen Zeichen liegen in bzw. rechts oberhalb der schraffierten Ebene.

6. rhematisches, indexalisches Legizeichen (rhematic indexical legisign), z.B. Demonstrativpronom,
7. dicentisches indexikalisches Legizeichen (dicent indexical legisign), z.B. Ausrufe von Straßenverkäufer (street cry),
8. rhematische Symbole (rhematic symbol legisign), z.B. Gattungsnamen und Allgemeinbegriffe,
9. dicentische Symbole (dicent symbol legisign), z.B. ein Satz, eine Aussage,
10. Argumente (argument symbolic legisign), z.B. logischer Schluß.

Diese 10 Zeichenklassen sind in Abb. 9.3 bezüglich der drei Grundrelationen räumlich dargestellt. Die Numerierung ist relativ willkürlich. Sie wurde deshalb von anderen Autoren auch mehrfach geändert. Von den prinzipiell möglichen 27 Einteilungen besitzen also nur die rechts oberhalb der schraffierten Ebene bzw. in ihr liegenden einen Sinn. Die so von PEIRCE erzeugte *Einteilung* ist zwar vollständig, aber nicht disjunkt, d. h., jedes mögliche Zeichen gehört mindestens einer Klasse an; es kann aber auch zu mehreren gehören. Offensichtlich ist diese Einteilung schon recht formal. Dennoch hat PEIRCE auch andere versucht, wobei zehn Dreierrelationen (Trichotomien) und 66 Zeichenklassen unterschieden werden. Es sei nebenbei bemerkt, daß BENSE [B5] hierauf aufbauend die Trichotomien bis zur höchsten (und damit fast mystischen) Perfektion getrieben hat.

9.1.3. Charles Morris

MORRIS (geb. 1901) entwickelte die Theorie von PEIRCE an einigen Stellen weiter. Er konnte dabei auf die großen Fortschritte der Logik aufbauen. Durch seine behavioristische Einstellung entstehen aber auch zusätzliche Unzulänglichkeiten. Neben der Semiotik als Wissenschaft führt er den *semiotischen Prozeß als Semiose* ein. Die Einteilung der Zeichen erfolgt bei MORRIS bei einem PEIRCE-ähnlichen Grundschema erheblich abweichend. In Abb. 9.4 wurde versucht, diesbezüglich die hauptsächlichen

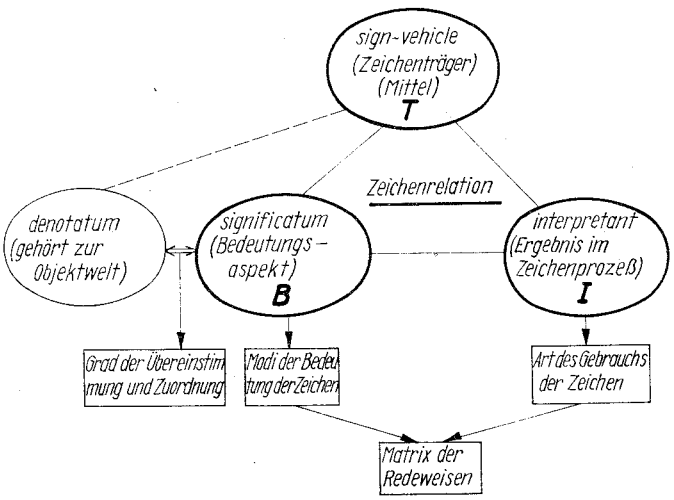


Abb. 9.4 Versuch einer vereinfachten Zusammenstellung der Zeichenrelationen bei MORRIS

Gesichtspunkte zusammenzufassen. Die drei Grundmomente der Zeichenrelation sind: Sign-vehicle T, Significatum B und Interpretant I. Im Gegensatz zu PEIRCE *trennt* MORRIS also deutlich *Objekt und Bezeichnung* des Objektes, genauer *Denotatum* und *Significatum*. Dabei muß ein Significatum nicht unbedingt auf ein vorhandenes Denotatum verweisen. Aus der mehr oder weniger guten Übereinstimmung bzw. dem Abweichen zwischen beiden gelingen MORRIS mehrere sinnvolle *Zeichenunterscheidungen*. Kann man z.B. aus dem Zeichen feststellen, daß es ein Denotatum besitzt, so heißt es *prezis*, sonst *vage*. Wenn ein Zeichenträger nur ein Significatum besitzt, ist er eindeutig, sonst zwei- oder mehrdeutig. Läßt ein Significatum nur ein einziges Denotatum zu, so ist das Zeichen *singular*, sonst *general* (allgemein). Besitzt ein Zeichen selbst Eigenschaften des Denotatums, so ist es *ikonisch* usw. Insbesondere im Zusammenhang mit der Sprache unterscheidet MORRIS Signale, Symbole und Comsign. *Symbol* ist ein Zeichen, das ein Interpretant stellvertretend für ein anderes synonymes Zeichen verwendet. Alle Zeichen, die keine Symbole sind, heißen *Signale*. *Comsign* ist ein Zeichen, das für Sender und Empfänger die gleiche Bedeutung hat. Sprachliche Zeichen heißen generell *langsign*, Zeichen für das Denken (zu-sich-sprechen) *post-language symbol*.

Als *Modi der Bedeutung* führt MORRIS ein:

- *designators*: Zeichen, die auf Eigenschaften der Umgebung Bezug nehmen, in der der Organismus operiert. Sie besitzen also Stimuluseigenschaften,
- *appraisors*: Zeichen, die eine Bedeutung für die Bedürfnisse des Organismusses ausdrücken,
- *prescritors*: Zeichen, die ausdrücken, wie der Organismus auf die Umgebung einwirken muß. Sie bedeuten also auch Forderungen,
- *formators*: Zeichen, die etwas aus Zeichen Zusammengefügtes beschreiben.

Die *Arten des Gebrauchs* bzw. der Anwendung (use) teilt MORRIS in vier Gruppen:

- *informative*: zum Informieren,
- *valuative*: um etwas zu bewerten,
- *incitive*: um etwas, z.B. eine Antwort zu bewirken, hervorzuheben,
- *systemic*: um mehrere interpretants zu einem Ganzen zu organisieren.

Tabelle 9.1 Redeweisen nach MORRIS [M16]. (Die in Klammern eingefügten Begriffe drücken nur bedingt das Richtige aus)

Modus	Gebrauch			
	informativ (mitteilend)	valuativ (bewertend)	incitive (hervorhebend)	systemic (zusammenfassend)
designativ	wissenschaftlich	fiktiv	gesetzlich	kosmologisch
appraisiv (lobend, zustimmend)	mythisch	poetisch	moralisch	kritisch
preskriptiv (vorschreibend)	technologisch	politisch	religiös	propagandistisch
formativ (zusammenhängend)	logisch-mathematisch	rhetorisch	grammatisch	metaphysisch

Aus den Arten des Gebrauchs und den Modi der Bedeutung bildet MORRIS dann die Tab. 9.1 der verschiedenen Redeweisen (*types of discourse*).

Ähnlich wie bei PEIRCE führte auch die sehr umfangreiche Zeicheneinteilung von MORRIS bisher zu keinen breiteren Anwendungen. Seine *Einteilung* der *Semiotik* in die drei Gebiete: *Syntaktik*, *Semantik* und *Pragmatik* erlangten dagegen größte Bedeutung. Im Zeichenprozeß spricht er von der Dimension der Zeichen, und er nennt sie syntaktisch, semantisch und pragmatisch. Ihnen zugeordnet sind die Teilgebiete Syntaktik, Semantik und Pragmatik der Semiotik. So ergibt sich Abb. 9.5. Die Dimensionen des

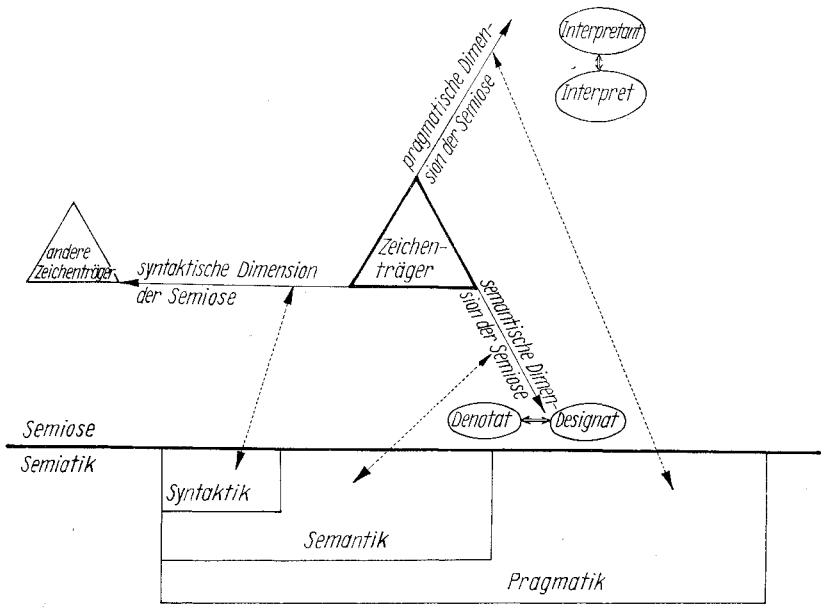


Abb. 9.5 Die Dimensionen eines Zeichens und ihre Zuordnung zu den drei Teilgebieten der Semiotik in Anlehnung an MORRIS Originaldarstellung [M18].

Zeichens in der Semiose bedingen also die drei Teilgebiete. Dabei nimmt MORRIS an, daß die Semantik umfassender als die Syntaktik ist und die Semantik ihrerseits innerhalb der Pragmatik liegt. Dies folgt auch aus den Definitionen der Gebiete. Die *Syntaktik* beschäftigt sich *nur* mit den *Beziehungen zwischen Zeichen* und läßt die zugehörigen Objekte (significatum und denotatum) sowie die interpretanten unberücksichtigt. Die *Semantik* berücksichtigt dann zusätzlich den *Bedeutungsaspekt* und die *Pragmatik* darüber hinaus auch die *Wirkungen* und Ergebnisse des Zeichenprozesses. Dies ist noch in Abb. 9.6 veranschaulicht. Hier seien noch *Definitionen* von MORRIS [M18, S. 92–93] gegeben:

„Als Zeichenprozeß (Semiose) bezeichnen wir jede Situation, in der etwas durch Vermittlung eines Dritten von etwas, das nicht unmittelbar kausal wirksam ist, Notiz nimmt; ... Das, was als Zeichen operiert (...), nennt man Zeichenträger; die Handlung des mittelbaren Notiznehmens wird *Interpretant* genannt und von einem *Interpreten* ausgeführt; das, wovon mittelbar Notiz genommen wird, nennen wir *Designat* ... Die Beziehungen der Zeichenträger zu dem, was designiert oder denotiert wird, sollen *semantische Dimension*

der Semiose heißen und die Untersuchung dieser Dimension *Semantik*; die Beziehungen der Zeichenträger zu den Interpreten wollen wir *pragmatische Dimension der Semiose* und die Untersuchung dieser Dimension *Pragmatik* nennen; die semiotisch relevanten Beziehungen der Zeichenträger zu anderen Zeichenträgern bezeichnen wir als *syntaktische Dimension der Semiose* und ihre Untersuchung als *Syntaktik*. Als allgemeine Wissenschaft von Zeichen enthält die Semiotik also die Teildisziplinen Syntaktik, Semantik und Pragmatik."

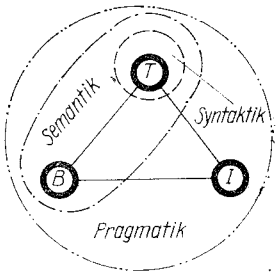


Abb. 9.6 Zuordnung der semiotischen Teilgebiete zu den drei Hauptaspekten der Zeichenrelation gemäß Abb. 9.4 (in dieser Form bei MORRIS nicht vorhanden).

Der Begriff der Dimension der Zeichen verführt unter den gegebenen Gesichtspunkten fälschlicherweise dazu, die, Syntaktik als „lineare", die Semantik als „flächige" und die Pragmatik als „räumliche" Problematik zu verstehen. Die Bezeichnung Dimension ist also hier nicht im Sinne eines Koordinatensystems, sondern nur übertragen zu verstehen.

9.1.4. Adam Schaff

Das Werk „Einführung in die Semantik" des polnischen Philosophen ADAM SCHAFF erschien 1960 und ist inzwischen in mehrere Sprachen übersetzt worden. Es enthält auch einen Teil, der die Zeichen betrifft und damit im weiteren Sinne zur Semiotik zu rechnen ist. Hier wird erstmalig eine disjunkte Einteilung vorgeschlagen, die wohl auch noch heute allen Anforderungen genügt und daher in der Folgezeit von vielen anderen Autoren übernommen wurde. Im Zentrum seiner Betrachtungen steht die menschliche Kommunikation.

SCHAFF definiert [S6, S. 157] das Zeichen wie folgt:

„Jeder materielle Gegenstand, seine Eigenschaft oder ein materielles Ereignis werden zum Zeichen, wenn sie im Prozeß der Kommunikation und im Rahmen der von den Gesprächspartnern angenommenen Sprache zur Mitteilung irgend eines Gedankens über die Wirklichkeit dienen, d. h. über die äußere Welt oder über das Innenleben (emotionale, ästhetische, volitionale Erlebnisse usw.) einer der am Kommunikationsakt teilnehmenden Seiten."

Dazu sei noch ergänzt [S6, S. 147]:

„Erst im Rahmen des *menschlichen Kommunikationsprozesses* werden diese natürlichen Erscheinungen, Gegenstände, Ereignisse usw. noch zu etwas anderem — zu denjenigen Elementen eines gesellschaftlichen Prozesses, die „Zeichen" genannt werden."

Gemäß dem Zitat und anderen Stellen teilt SCHAFF die menschliche Kommunikation in zwei Gebiete:

- *Emotional*, die „ansteckend" bezüglich innerer Zustände wirkt.
- *Intellektuell* (rational), die „geistige Zustände" vermittelt und „ein analoges Verstehen" voraussetzt, wobei der Kontext (d. h. der Rahmen, in dem die Mitteilung erfolgt) z. T. sehr wesentlich von Einfluß ist.

Die hier gegebene Verdichtung enthält sicher bezüglich der Aussagen von SCHAFF Mängel. Sie zeigt aber, daß seine Einteilung im Prinzip anerkannt werden kann, wenngleich dies auch nicht für seine z. T. recht stark simplifizierten Aussagen, insbesondere zur emotionalen Kommunikation gilt.

Es sei aber noch betont, daß SCHAFF immer nur die menschliche Kommunikation betrachtet, obwohl seine Aussagen z. T. breiter tragfähig sind. Hierauf weist auch

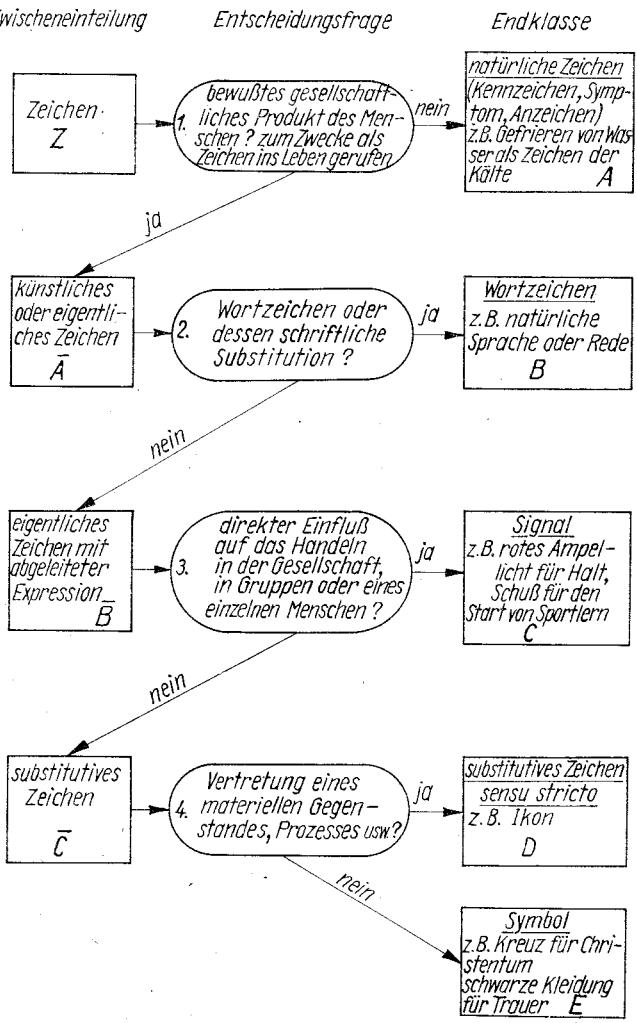


Abb. 9.7 Einteilung der Zeichen nach A. SCHAFF. Die hier gewählte Darstellung läßt deutlich die Disjunktheit der rechts stehenden Klassen und die zu ihnen führenden Entscheidungsfragen erkennen.

bereits G. KLAUS im Nachwort zur deutschen Ausgabe hin. Ferner sei erwähnt, daß er sich auch vor allem nur auf die intellektuelle Information beschränkt und daß im Zentrum seiner Betrachtungen die menschliche Sprache, also die Wortzeichen stehen.

Nachdem sich SCHAFF gründlich mit der Vieldeutigkeit des Begriffes Zeichen, der hohen Willkür bei der Einteilung der Zeichen und der Verwendung von Begriffen für *Zeichenklassen*, wie Anzeichen, Ausdrücke, Symbole, Signale usw., auseinandergesetzt hat, führt er die von ihm vorgeschlagene und begründete Klassifikation ein. Sie wird in einer hier speziell gewählten Darstellung in Abb. 9.7 gezeigt. Sie wurde so gewählt, daß typische Entscheidungsfragen, die möglichst gut an SCHAFFS Originaltext angelehnt sind, formuliert werden. Die ersten drei der vier Fragen führen einmal zu einer Endklasse, die er nicht mehr weiter unterteilt, und andererseits zu einer Zwischenklasse, die zur nächsten Klasse führt. Da bei der Darstellung von Abb. 9.7 die Struktur nicht ganz deutlich ist, wurde sie in Abb. 9.8 in zwei anderen Darstellungen noch

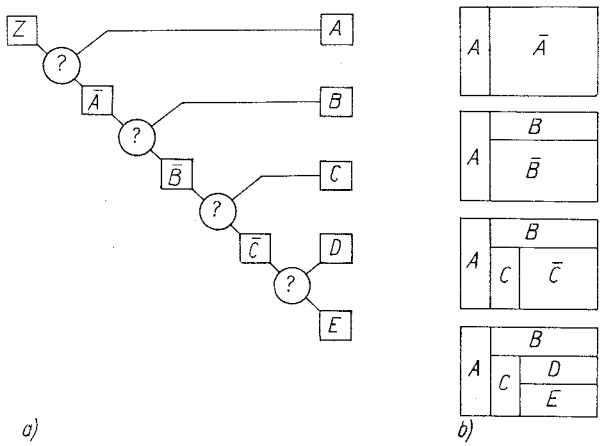


Abb. 9.8 Hervorhebung der Struktur der Zeicheneinteilung von SCHAFF gemäß Abb. 9.7.
a) in Form eines Kodebaums,
b) in Form einer Mengeneinteilung von oben nach unten nach jeweils der 1., 2., 3. bzw. 4. Frage.

einmal hervorgehoben. Bis auf die Benennung der Zwischeneinteilungen A, B und C liegt also ein Kodebaum vor, wie er z.B. bei der Shannon-Theorie üblich ist. Entsprechend dem so von SCHAFF gewählten Zeicheneinteilungsprinzip sind natürlich durch Abändern der Fragen auch andere Zeicheneinteilungen möglich. Es scheint aber so, daß der von SCHAFF eingeschlagene Weg besonders bezüglich der menschlichen Kommunikation sehr sinnvoll ist. Zumindest ist er hierfür weitaus günstiger als die vieldimensional und damit keineswegs disjunkten Einteilungen anderer Autoren, z.B. PEIRCE, obgleich auch SCHAFF selbst betont, daß derartige Einteilungsprinzipien unter gewissen Gesichtspunkten manchmal Vorteile erbringen können. Andererseits zeigt sich bei der Analyse der *Einteilungsprinzipien* von SCHAFF, daß den einzelnen Fragen kein irgendwie gemeinsamer Gesichtspunkt zu Grunde liegt. Sie sind offensichtlich der Analyse verschiedener Einteilungsmethoden und einer daraus mehr

intuitiv als systematisch gewonnenen Synthese entsprungen. Auf diesen Fakt wird noch einzugehen sein. Auch gibt es bisher über den Umfang der Klassen (weder relativ zueinander noch absolut) wohl keine Aussagen.

Es dürfte noch wichtig sein, einiges zu den einzelnen Klassen zu ergänzen:

Die *natürlichen Zeichen* sind in der Natur unabhängig von der zielgerichteten Tätigkeit des Menschen vorhanden. Sie werden von Menschen wahrgenommen und dann von Menschen als Zeichen interpretiert. Erstaunlicherweise sagt SCHAFF nicht, wie weit dazu zuweilen erst wissenschaftliche Erkenntnisse über das Ursache-Wirkungs-Gefüge notwendig waren. Hier seien als Beispiel nur Symptome (Anzeichen) für das Erkennen von Krankheiten genannt.

Die *künstlichen Zeichen* (eigentlichen Zeichen, tout court) sind stets vom Menschen *zum Zwecke der Kommunikation* geschaffen worden. Ihre Funktion ist die Vertretung, Substitution von etwas anderem. Nur auf sie ist eigentlich die von SCHAFF generell genannte Hauptfunktion der Zeichen anwendbar [S6, S. 157] nämlich:

„jemandem etwas mitteilen, jemanden über etwas zu informieren".

Ihnen liegt also *eine Vereinbarung* (Konvention) zu Grunde. Sie kann auf verschiedene Weise zustande gekommen sein. Sie kann einmal durch gerade miteinander kommunizierende Personen entstehen. Sie kann durch gewisse Ähnlichkeit mit dem zu vertretenden Gegenstand usw. bedingt sein; sie kann ganz bewußt geschaffen werden oder aber sich historisch schrittweise entwickelt haben. Sie kann in unterschiedlichen großen Gruppen, von zwei Personen (z. B. spezielle Koseworte) über Fachgruppen und Kulturkreise bis weltweit verstanden (rezipiert) werden.

Aus den künstlichen Zeichen hebt SCHAFF die *Wortzeichen* vor allem wegen ihrer besonderen Bedeutung und Eigenschaften heraus. Er führt hierfür *drei spezifische Merkmale* [S6, S. 185ff] an. Die Aussagen seien auch hier wieder verdichtet, aber dabei möglichst weit an den Originaltext angelehnt. Das Wortzeichen

- ist ein Zeichen *sui generes* und *vermag* daher die *Funktion* zumindest einiger *anderer Zeichen* zu *übernehmen*,
- besitzt eine besondere Rolle und Funktion im *Abstraktionsprozeß*. Hierbei ist seine Bedeutungstransparenz wichtig. Obwohl jedes Zeichen ein Produkt eines Abstraktionsprozesses und zugleich ein wichtiges Instrument hierfür ist, ist das Wortzeichen dies in weitaus höherem Maße. Nur mit ihm sind die *höchsten Stufen der Abstraktion* zu erklimmen, nur mit ihm besteht die Möglichkeit, sich von sinnlich Konkretem in einem Grade zu entfernen, der die Möglichkeiten anderer Zeichen übertrifft. Hierzu dürfte auch seine Rolle bei den Bewußtseinsprozessen Bedeutung haben, denn meist wird angenommen, daß diese Prozesse untrennbar mit der Sprache verbunden sind,
- besitzt Vorzüge für eine präzise Verständigung der Menschen. SCHAFF führt hierzu zunächst Gegenbeispiele von Gebärdensprachen usw. an und zeigt dann, daß sich nur mit dem bzw. über das Wortzeichen z. B. das philosophische System HEGELS oder die Relativitätstheorie EINSTEINS formulieren lassen. In der Lautsprache steckt eben eine besondere Kraft, die es gestattet, eine ständige Weiterentwicklung des Denkens, immer höhere Abstraktionsstufen und das Erkennen der Welt zu erreichen. Man kann sich zwar über die geringe Präzision der Umgangssprache beschweren, aber auch das geht nur mit ihr:

„Gerade deswegen ist die Lautsprache nicht nur ein besonders geeignetes gewichtiges Instrument des Verständigungsprozesses, sondern auch ein für die weitere eigene Vervollkommnung besonders geeignetes Instrument, das einfach unbegrenzte Möglichkeiten seiner Vervollkommnung besitzt."

Das *Signal* definiert SCHAFF aus der wohl zu engen Sicht der menschlichen Kommunikation. Zumindest trifft auf seine Definition (wie auch G. KLAUS im Anhang des Buchs vermerkt) keineswegs auf die Signale der Nachrichtentechnik (z. B. elektrische Signale) und der Kybernetik (z. B. Steuersignale) zu. Dies muß bei einer allgemeinen Zeichentheorie beachtet werden. Signale im Sinne von SCHAFF sind [S6, S. 163]

„also materielle Erscheinungen, die speziell hervorgerufen oder zu dem Zweck benutzt werden, um eine (gesellschaftlich, gruppenweise oder individuell) abgesprochene und vereinbarte Reaktion in Gestalt bestimmter Äußerungen des menschlichen Handelns zu erreichen."

Die Bedeutung derartiger z. T. sehr willkürlich festgelegter Zeichen existiert also nur gemäß einer Absprache. Dementsprechend nennt SCHAFF die folgenden drei für das Signal typischer Eigenschaften (Text ist wortgetreu, jedoch die Anordnung ist geändert.).

- Seine Bedeutung ist immer arbiträr, eingeführt auf der Grundlage der Übereinkunft einer entsprechenden Personengruppe.
- Es bezweckt immer das Hervorrufen (Änderung oder Unterlassen) einer bestimmten Handlung.
- Es tritt so oder anders von Fall zu Fall im Zusammenhang mit der beabsichtigten Handlung auf.

Bei den *substituiven Zeichen* ist die Vertretungsfunktion des Zeichens besonders hervorgehoben. Sie sind immer Zeichen von etwas. Sie repräsentieren andere Gegenstände, Zustände von Dingen oder Ereignissen. Sie werden in zwei Gruppen geteilt, je nachdem, ob dieses Etwas materiell oder ein abstrakter Begriff ist.

Die *substituiven Zeichen, sensu stricto,* vertreten etwas *Materielles.* Sie sind oft durch Ähnlichkeit mit dem Materiellen gekennzeichnet. Hierzu gehören dann die *ikonischen Zeichen.* Die andere Möglichkeit neben der Ähnlichkeit ist eine durch Konvention festgelegte Vertretungsfunktion, z. B. alle Schriftarten, die Laute einer Sprache, ihrer Gruppen, ganze Wörter, Sätze usw. vertreten.

Die *Symbole* sind nach SCHAFFs Meinung relativ schwer zu definieren und zwar einmal, weil es hierzu in der Literatur recht unterschiedliche Meinungen gibt, und zweitens, weil sie eine sehr wichtige Rolle auf verschiedenen Gebieten des gesellschaftlichen Lebens spielen. Sie werden von SCHAFF durch *drei Eigenschaften* charakterisiert [S6, S. 166]:

- Materielle Gegenstände repräsentieren hier abstrakte Begriffe.
- Die Repräsentation stützt sich auf Konvention, die man kennen muß, um das Symbol zu verstehen.
- Diese auf die Konvention sich stützende Repräsentation beruht auf der Verkopplung der sinnlich wahrnehmbaren Zeichengestalt mit der Vorstellung des abstrakten Begriffes. Die äußerliche Form des Zeichens kann aber inhaltlich exemplifizierend, allegorisch, eine Metapher, mythologisch, vom Grundsatz her, pars pro toto usw. sein.

Der tiefere *Sinn der Symbole* besteht darin, daß sie dem Menschen die abstrakten Begriffe nahebringen und in dieser Gestalt leichter verständlich machen und so auch leichter im Gedächtnis zu behalten sind. Das Symbol ist kein rein *intellektuelles Produkt*, es besitzt auch oft einen *emotionellen Inhalt*. Es kann daher sowohl den Weg zur Erkenntnis und Wahrheit bereiten helfen als auch stören. Es hat z. B. zuweilen auch eine mythenbildende Funktion. Viele Symbole sind *eng an Kulturkreise gebunden*. Hierzu gehören z. B. die Symbolik des indischen Tanzes oder Schwarz als Symbol der Trauer in unserem Kulturkreis und Weiß im fernöstlichen, Symbol für Macht und Würde bei uns Purpur, in China aber Gelb. Es sei noch ergänzt, daß Symbol aus dem griechischen syn-ballein, was soviel wie zusammenwerfen bedeutet, abgeleitet ist.

SCHAFF setzt sich auch mit der Zeichenrelation auseinander. Er spricht hier allerdings ein wenig abgeändert von der Zeichensituation. Er definiert sie wie folgt:

„... daß eine Zeichensituation dann entsteht, wenn mindestens zwei Menschen sich miteinander verständigen, indem sie sich der Zeichen bedienen, um sich gegenseitig ihre Gedanken, Gefühls- und Willensäußerungen u. a. m. mitzuteilen, die mit irgendeinem Objekt (universe of discourse) zusammenhängen, auf das die Verständigung bezogen ist."

Er spricht sich in diesem Zusammenhang auch gegen die oft betriebene Fetischisierung der Zeichen aus und bringt einen interessanten Vergleich zu MARXs Terminus Warenfetischismus. SCHAFF hat kein Modell der Zeichensituation entworfen. Er läßt hierzu viele Varianten offen. Es sei dennoch gemäß Abb. 9.9 in Anlehnung an seine Aussagen versucht. Wenngleich hierbei das Zeichen im Mittelpunkt der Abbildung steht, so soll damit lediglich seine vermittelnde Rolle angedeutet werden. Die Abbildung hat eine gewisse Ähnlichkeit zum Shannonschen Kanal.

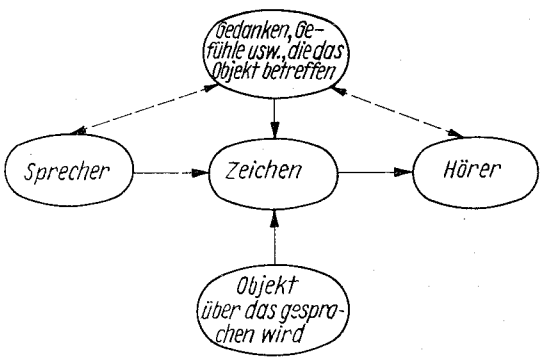


Abb. 9.9 Versuch einer Darstellung davon, wie SCHAFF die Zeichensituation sieht.

9.1.5. Georg Klaus

In mehreren Arbeiten hat G. KLAUS (1912—1974) zur Weiterentwicklung der Semiotik beigetragen [K22 ... K24]. Er bemüht sich mehrfach konsequent, beim Zeichen den *Zeichenträger* und das von ihm *Getragene*, was er *Zeichengestalt* nennt, zu unterscheiden (Abb. 9.10). Aber leider hält er dies bei aller Klarheit nicht durch. In [K24] schreibt er z. B. auf S. 12:

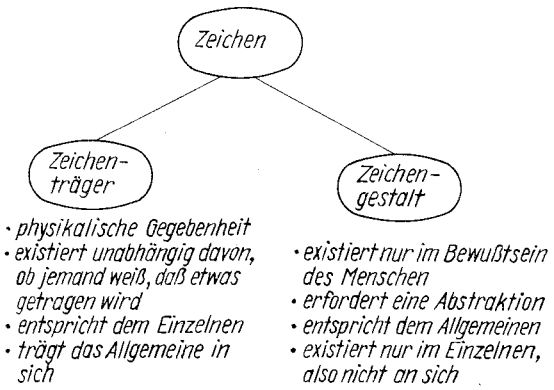


Abb. 9.10 Zusammenstellung von Zeichen, Zeichenträger und Zeichengestalt in Anlehnung an KLAUS.

„Wenn wir hier von sprachlichen Zeichen reden, so meinen wir damit zunächst rein physikalische Gebilde, etwa Schallwellen ... usw., d. h., wir meinen die Sprache als materielles Gewand der Gedanken.

Es ist aber zu beachten, daß wir das Wort „Zeichen" häufig ... in zweierlei Weise benützen: Einmal bezeichnen wir damit die eben charakterisierten physikalischen Gebilde. ... Wenn wir im weiteren von Zeichen sprechen, meinen wir also, sofern nicht ausdrücklich die andere Bedeutung des Wortes „Zeichen" gemeint wird, stets die Zeichengestalten."

Dies wird noch deutlicher, wenn Aussagen zur Vertiefung der Begriffe Zeichenträger und Zeichengestalt zitiert werden:

„Der Zeichenträger ist eine physikalische Gegebenheit, die Zeichengestalt ist es nicht; sie ist vielmehr eine Abstraktion ... Zeichen sind relativ! Sie sind immer Zeichen für jemand. Die Zeichenträger hingegen sind absolut. Sie existieren objektiv real und zwar unabhängig davon, ob jemand weiß, daß die Zeichenträger physikalische Träger eines Zeichens sind oder nicht."

Recht wichtig ist die Betrachtung des Allgemeinen und Einzelnen von KLAUS ([K22 S. 33):

„Wären die einzelnen Zeichen nicht zugleich Träger von Allgemeinem, d. h. von Zeichengestalten, so gäbe es überhaupt keine Kommunikation zwischen den Menschen ... Zeichengestalten existieren immer nur in konkreten Zeichen. Es gibt keine Zeichengestalt an sich."

Bedeutsam ist, daß sich KLAUS bemüht, die Semiotik und damit die Zeichenrelation möglichst allgemein zu sehen und das, obwohl auch seine Hauptbetrachtungen bei der Sprache liegen. Bereits in der Einleitung von [K22] hebt er die große *Bedeutung der geschriebenen Zeichen* hervor:

„Die geschriebenen Zeichen sind dabei vom Standpunkt der Einsichten der modernen Informationstheorie von weit größerer Bedeutung als die gesprochenen, da sie sich leichter übermitteln, speichern und verarbeiten lassen. Zudem ist ... das Auge ein unendlich leistungsfähigerer Übertragungskanal als das Ohr."

Anschließend bringt er mit Beispielen von künstlichen Sprachen weitere Beweise. Eine *Einteilung der Zeichen* ist bei KLAUS *nur bedingt vorhanden.* Im gewissen Umfange kann sie aber aus verteilten Aussagen gewonnen werden. Sie *weicht ganz erheblich von der von* SCHAFF *ab* und das, obwohl KLAUS diese Arbeit sehr genau gekannt haben

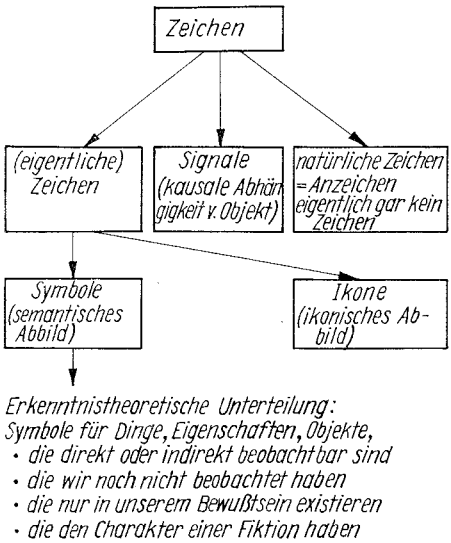


Abb. 9.11 Einteilung der Zeichen wie sie etwa aus den Arbeiten von KLAUS abgeleitet werden könnte.

dürfte. Er verweist auch in diesem Zusammenhang nicht auf SCHAFF. Insgesamt läßt sich Abb. 9.11 konstruieren. An mehreren Stellen werden die Anzeichen (natürlichen Zeichen nach SCHAFF) aus der Klasse der Zeichen ausgeschlossen. So ist verständlich, wenn KLAUS in [K22 S. 49] aussagt:

„... alle nicht ikonischen Abbilder der Realität tragen den symbolischen Charakter".

Auf S. 51 definiert er dann weiter:

„Symbol ist alles, was für anderes steht. Dieses Andere kann objektiv real existieren, aber es kann auch selbst ein Gedanke sein, ja es kann selbst wieder ein Symbol sein. ... Wesentlich ist, daß Symbole von dem, was sie symbolisieren, nicht kausal erzeugt werden. Sie sind also sorgfältig von den Signalen zu unterscheiden, und eben aus diesem Grunde ist es nicht zulässig, Wahrnehmungen und Empfindungen als Symbole zu bezeichnen."

Auf den *Zusammenhang zwischen den ikonischen und semantischen Abbildern* geht KLAUS vor allem in [K22, S. 63] ein. Er zeigt dort, daß die Beherrschung unserer Umwelt mittels Symbole erfolgt. Dabei wird ständig von ikonischen zu semantischen Abbildern, d. h. *von anschaulichen zu abstrakten Symbolen*, übergegangen. Dies hängt mit der Präzisierung der Erkenntnis zusammen, wobei beiden Typen ihre jeweils spezifische Bedeutung zukommt. Die im Bild 9.11 unten vorgenommene Einteilung der Symbole ist in [K22, S. 70—72] genauer behandelt worden.

In den Schlußbemerkungen [K22, S. 374] weist KLAUS aus, daß die einzelnen *Disziplinen der Semiotik auf eine viel breitere Basis gestellt werden müssen.* Im Zusammenhang mit dem oft vorhandenen Vorrat an nicht verwendeten Theorien, den Untersuchungen von GÖDEL und der Minimierung von Strukturen für eine bestimmte Funktion meint er dann:

„Eine philosophisch betriebene Syntaktik hätte dieses Ergebnis in allen Teilen darzustellen und aus ihm entsprechende Konsequenzen zu ziehen."

Ähnliche Forderungen erhebt er für die anderen Teilgebiete. Auf die *Bedeutung einer allgemeinen Semiotik* weist KLAUS weiter in [K22, S. 14] hin:

„Es ist ein typisches Kennzeichen der Entwicklung der Wissenschaften, daß immer mehr von der Bearbeitung der Dinge zur Verarbeitung von Gedanken und vom Operieren mit Gedanken zu Manipulationen mit Zeichen übergegangen wird."

Auf S. 15 fährt er dann fort:

„Die allgemeine Entwicklung des Erkenntnisprozesses verläuft also über folgende Stufen: Operieren mit Dingen — Operieren mit Gedanken über die Dinge — Operieren mit Zeichen für die Gedanken."

Mit allen diesen und weiteren Aussagen zeigt KLAUS, welche Bedeutung einer Semiotik zukommen muß. Trotz dieser Aussagen *definiert* er

„die Semiotik vorläufig als allgemeine Theorie der sprachlichen Zeichen".

Nach allen vorangegangenen Aussagen wäre es offensichtlich besser, den Zusatz „sprachlichen" fortzulassen. Doch hier ist künftig im Sinne von KLAUS fortzufahren. Nach ihm existieren in der Semiotik vier Faktoren, die gemäß Abb. 9.12 zusammenhängen:

1. die Objekte der gedanklichen Widerspiegelung (O),
2. die sprachlichen Zeichen (Z),
3. die gedanklichen Abbilder (A),
4. die Menschen (M), die die Zeichen hervorbringen, benützen, verstehen.

Im Gegensatz zu allen Vorgängern führt also KLAUS *zusätzlich die Sigmatik* als Verknüpfung von Objekt und Zeichen ein. Sie ist sonst in der Semantik mit enthalten. Hierdurch ist sein semantischer Begriff also zugleich enger. Dennoch ist erstaunlich, daß die Vierteilung in dieser Deutlichkeit nicht schon früher gesehen wurde, denn die dementsprechende triadische Relation Objekt, Abbild und Zeichen gemäß Abb. 9.13 trat schon mehr oder weniger deutlich früher auf. Hier möge ein Hinweis auf die

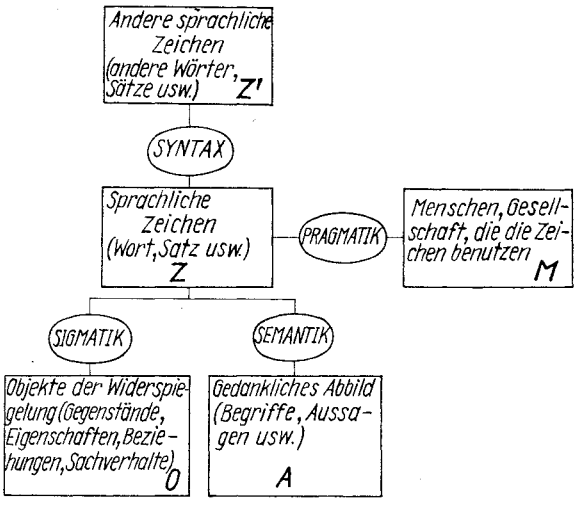


Abb. 9.12 Semiotische Relationen von KLAUS.

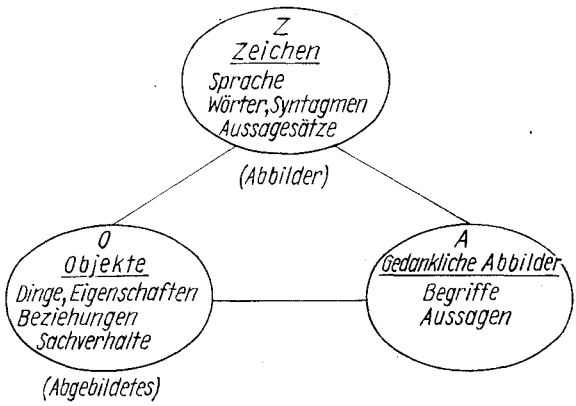


Abb. 9.13 Relationen zwischen Objekt, Zeichen und gedanklichem Abbild in Anlehnung an KLAUS (z. B. [K24; S15] und [K22; S49]).

Abb. 9.1 und 9.9 genügen. Dennoch konnte sich diese Einteilung von KLAUS bisher offensichtlich nicht durchsetzen. Es werden immer wieder die von KLAUS getrennten Bedeutungs-(Semantik) und Bezeichnungsfunktionen (Sigmatik) gemeinsam behandelt und das, obwohl für beide recht oft getrennte Begriffe (siehe später) existieren. Es sei noch ergänzt, daß nach der Auffassung von KLAUS die *Sigmatik* die Gebiete *Syntax und Semantik voraussetzt.* Ansonsten decken sich die Definitionen der Teilgebiete der Semiotik von KLAUS im wesentlichen mit denen anderer Autoren, wobei er aber stets konsequent Materialist bleibt. Ferner ist es KLAUS zu verdanken, daß er die *Pragmatik* [K24] wesentlich im materialistischen Sinne weiterentwickelt hat.

9.1.6. Lasar Ossipowitsch Resnikow

RESNIKOW bemüht sich noch stärker als seine Vorgänger um eine Semiotik, die alle Gebiete berücksichtigt. Er sagt ausdrücklich, daß ihm das Gebiet der sprachlichen Zeichen zu eng erscheint. Andererseits engt er aber bewußt die *Semiotik* auf die Erkenntnistheorie ein, genau genommen sogar auf die eine Seite der Erkenntnistheorie, die sich mit der einseitigen Beziehung vom Objekt zum Abbild, insbesondere vermittelt über Zeichen, beschäftigt. Er erfaßt nicht die anderen beiden Gebiete, auf die besonders MÜLLER in [M20] hinweist, nämlich

1. wie aus einem im Gehirn eines Menschen neu entwickelten (Ab-)Bild, das einen zu konstruierenden Gegenstand darstellt, Wirklichkeit wird bzw. werden kann (*Antizipation*),
2. wie mit Anweisungen über vorhandene Gegenstände etwas zu entwickeln ist, das noch nicht existiert und auch kein Abbild besitzt (*konstruktiver Aspekt*).

Ferner erfaßt er bei seiner Einengung auch nicht die Benutzung von Zeichen im Mensch-Maschine-System in Tiergruppen oder in Maschinen (vgl. Tab. 8.1).

Diese genannten Einengungen, die zuweilen natürlich überschritten werden, lassen es aber zu, daß RESNIKOW zum Teil zu neuen, und für die hier anzustellenden Untersuchungen, bedeutsamen Ergebnissen kommt. Als Zentralproblem der Semiotik sieht

er zunächst das *Zeichenproblem* an. Es steht daher auch im Zentrum seiner Betrachtungen. Seine Definition des Zeichens lautet [R11, S. 14]

„Das Zeichen ist ein materieller, sinnlich wahrnehmbarer Gegenstand (Erscheinung, Wirkung), der in den Erkenntnis- und Kommunikationsprozessen einen anderen Gegenstand (bzw. andere Gegenstände) vertritt und zur Gewinnung, Speicherung, Umwandlung und Übermittlung von Informationen über diesen benutzt wird."

Auf S. 98 faßt er Aussagen zum Zeichen wie folgt zusammen:

„Jede Zeichenrelation enthält in dieser oder jener Form die drei Elemente: Zeichen — Bedeutung — bezeichneter Gegenstand. Der Gegenstand kann ein Ding, eine Eigenschaft oder eine Relation, materiell oder idell, real oder ohne Entsprechung in der Wirklichkeit sein. Das Zeichen bezeichnet den Gegenstand und ist Träger der Bedeutung. Die Bedeutung ist im Zeichen fixiert und widerspiegelt den Gegenstand extensional und intensional."

Bezüglich der *Widerspiegelung mit Zeichen* schreibt er auf S. 29:

Sie besteht darin
„daß die Zeichen *Träger* und Mittel der Fixierung der *gedanklichen Abbilder* der bezeichneten Gegenstände sind. Die gedanklichen Abbilder der bezeichneten Gegenstände sind eben die *Bedeutung* der Zeichen ..."

Bezüglich der Richtung der Beziehung zwischen Abbild und Gegenstand betont er auf S. 101 die Zweideutigkeit, sie muß lauten:

„die Beziehung des durch die Tätigkeit vermittelten Abbildes zum Gegenstand."

Ausführlicher sind derartige Aussagen auf S. 23 vorhanden. Weiter sei auf die vorhandene *Ähnlichkeit* zwischen *Abbild und Gegenstand*, aber meist nicht zwischen Zeichen und Abbild, hingewiesen, die bereits LENIN betonte.

Zur Bedeutung der Zeichen auf S. 14 wird von RESNIKOW ausgeführt:

„Die *Bedeutung des Zeichens* ist die im Zeichen verkörperte, fixierte und ausgedrückte Information über den bezeichneten Gegenstand".

Es folgen dann drei Eigenschaften des Zeichens, die in diesem Zusammenhang spezielle Funktionen erfüllen. Verdichtet gilt:

Eigenschaft der Zeichen	dadurch bedingte Funktion des Zeichens
• materiell	im Zeichen ist Information *verkörpert*
• relativ beständig	im Zeichen ist Information *fixiert*
• unmittelbar sinnlich wahrnehmbar	im Zeichen ist Information *ausgedrückt*

Weiter werden dann auch die Funktionen des Zeichens (S. 16—17) genannt. Es ist Mittel zur

- *Speicherung* von Information, um zeitunabhängig zu werden,
- *Weitergabe* von Information, um raumunabhängig zu werden,
- *Gewinnung* von Information, als auch *Mittel zum Denken.*

Werden diese und einige weitere Aussagen des Autors zusammengefaßt, so läßt sich Abb. 9.14 konstruieren. Sie zeigt die Komplexität der verschiedenen Zusammenhänge

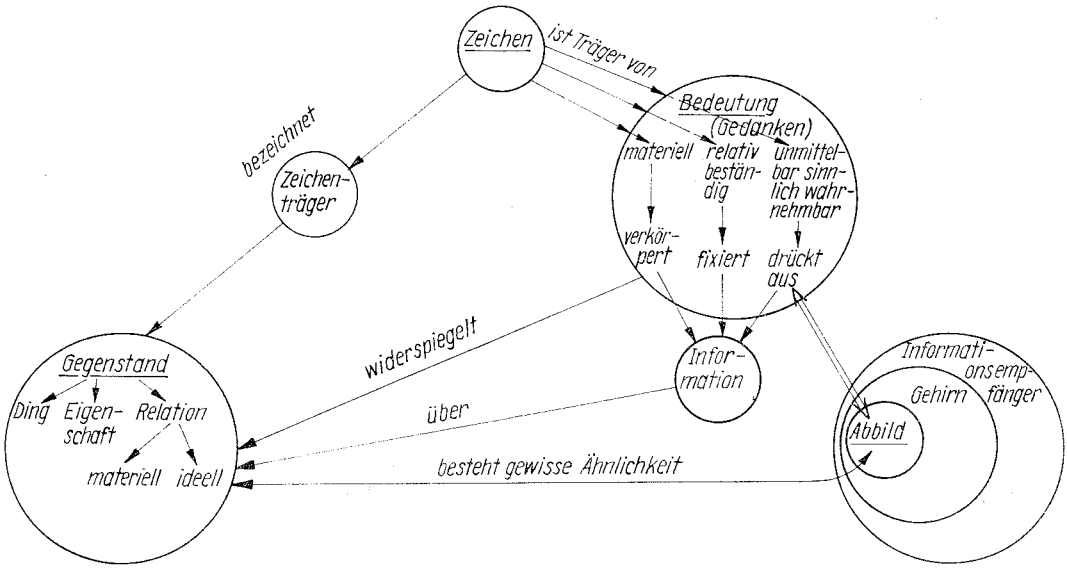


Abb. 9.14 Zusammenfassung von wichtigen Aussagen RESNIKOWS zum Zeichen.

etwas ausführlicher als frühere Bilder. Es lassen sich aber nicht alle Fakten dieses Bildes aufrechterhalten. Dies gilt vor allem für die undefinierte Stellung der Information und den relativ unglücklich definierten Komplex der Bedeutung, der offensichtlich auch Teile des Zeichenträgers enthält.

An mehreren Stellen weist RESNIKOW deutlich auf die Notwendigkeit von Informationsempfängern (Subjekten) hin. Ohne sie gibt es nach seiner Meinung keine Zeichen. Auf S. 29 sagt er dazu u. a.:

„Dieses Erkenntnissubjekt bzw. dieser Interpret ist nun aber nicht der einzelne Mensch, sondern sind die Glieder bestimmter gesellschaftlicher Kollektive; sie interpretieren ein und dasselbe Zeichen mehr oder weniger auf die gleiche Weise, und nur dadurch ist Kommunikation, gegenseitiges Verständnis möglich."

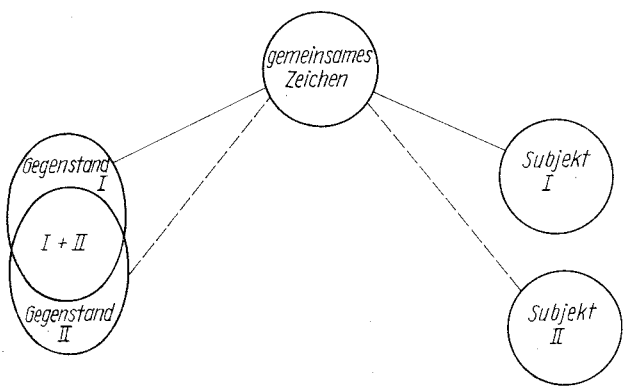


Abb. 9.15 Nur wenn die mit dem gemeinsamen Zeichen bezeichneten Gegenstände I und II für die beiden Subjekte I und II hinreichend gleich sind, ist eine Kommunikation möglich.

Dies wird noch einmal in Abb. 9.15 veranschaulicht. Nur wenn eine hinreichend große Durchschnittsmenge bezüglich des oder der Gegenstände bzw. seiner Eigenschaften besteht, können sich die beiden Subjekte mittels der Zeichen verständigen. Weiter weist RESNIKOW wohl als erster deutlich darauf hin (S. 20), daß unser *Wissen nicht statisch ist, sondern sich dynamisch verändert.* Dies bedeutet aber auch, daß die Zeichen den entsprechenden Änderungen folgen müssen. Er weist außerdem noch auf zwei bedeutsame Fakten (S. 18—19). Für die *Auswahl der Träger* gibt es nämlich gewisse notwendige Bedingungen:

„Schließlich dürfen wir auch nicht vergessen, daß als ein abstraktes Zeichensystem ... nur solche physikalischen Träger fungieren können, die durch die Menge der zwischen ihnen möglichen Beziehungen auch alle wesentlichen Beziehungen zwischen den durch sie bezeichneten Gegenstände bezeichnen."

Auch die *Ökonomie der Zeichensysteme* setzt Bedingungen:

„denn ein Zeichensystem soll eine möglichst große Informationsmenge mit Hilfe einer möglichst kleinen Anzahl von Zeichen und mit Hilfe von möglichst wenigen Operationsregeln, die leicht handhabbar sind, fixieren und vermitteln."

Bezüglich der *möglichen Einteilung von Zeichen* führt RESNIKOW aus, daß hier noch keine ausreichend klare Systematik besteht. Er nennt zu allen vor ihm gewählten Möglichkeiten Probleme und Mängel. Aber auch für seine Einteilung gilt, daß sie (S. 43) „nur als *eine* Möglichkeit unter mehreren betrachtet werden darf." Abb. 9.16 zeigt das von ihm gewählte Schema. Ähnlich wie bei SCHAFF liegt eine *disjunkte Einteilung* vor. Es lassen sich aber auf Grund der gewählten Struktur nicht Entscheidungsfragen wie in Abb. 9.7 aufstellen. Im Gegensatz zu SCHAFF ist dafür aber die Mengeeinteilung in einem Bild darstellbar (in Abb. 9.16 rechts oben). Es

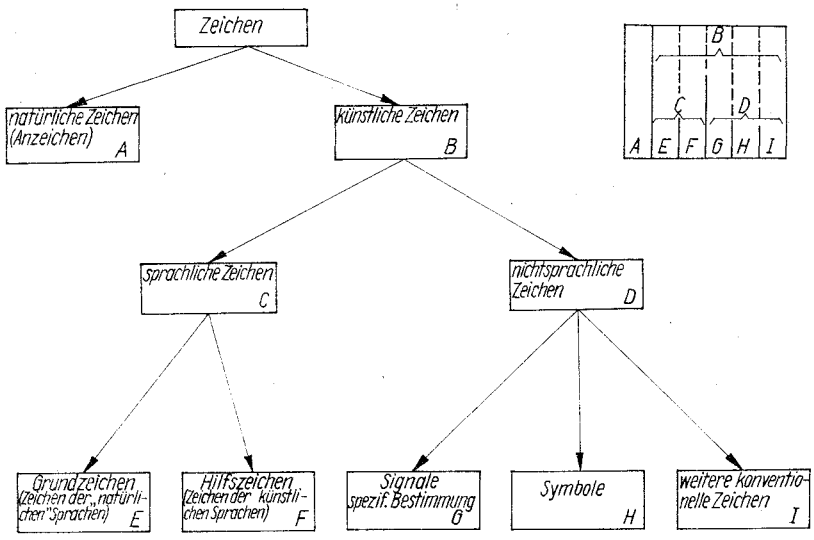


Abb. 9.16 Einteilung der Zeichen nach RESNIKOW. Rechts oben im Bild sind zusätzlich die mengenmäßigen Relationen angegeben. Also nur die Zeichen A und E bis J sind Endklassen.

existieren bei RESNIKOW 6, bei SCHAFF 5 Endklassen. Dabei sind die verwendeten Begriffe nur z. T. deckungsgleich. Hier ist aber auch RESNIKOW nicht ganz konsequent. Auf S. 24 schreibt er:

„Im strengen Sinne des Wortes werden Zeichen nur von dem Menschen geschaffen und benutzt ... In etwa speziellerem Sinne — nämlich im Hinblick auf seine Signalfunktion — wird allerdings der Begriff des Zeichens auch bei der Charakterisierung der Widerspiegelungstätigkeit der Tiere und bei der Beschreibung der Arbeit solcher Maschinen verwendet, die zur Speicherung und Umwandlung von Informationen dienen."

Auf S. 143 definiert er dazu:

> „*Das Signal ist eine materielle Gegebenheit, die eine Information über irgend einen Gegenstand, eine Tatsche oder ein Ereignis trägt. Information zirkuliert in Form von Signalen.*

Das Signal bzw. die Signalfunktion ist an folgende Bedingungen geknüpft: es müssen

1. *zwei Systeme*, ein signalisierendes System ... und ein die Signale aufnehmendes System ... vorhanden sein; es muß
2. zwischen der Einwirkung des ersten Systems auf das zweite ein unmittelbarer oder durch Zwischenglieder vermittelter kausaler Zusammenhang bestehen; eine Signalfunktion ist
3. nur zwischen dynamischen und selbstorganisierenden bzw. selbstregulierenden Systemen möglich; es muß
4. das von einem System hervorgebrachte Signal unabhängig von diesem sein und übertragen werden;
5. muß zwischen dem Signal und bestimmten Seiten bzw. Eigenschaften des signalisierenden Gegenstandes eine *Isomorphierelation* vorliegen; schließlich ruft
6. das Signal im Signalempfänger eine bestimmte Reaktion, ein bestimmtes Verhalten hervor, d. h. einen Steuerungs- bzw. Regelungseffekt."

Damit wird das *Signal* zu einem vor allem *physikalischen Prozeß* degradiert, der noch gewisse, aber nicht genau definierbare Beziehungen zur Information und noch ungenauere zur Zeichenrelation besitzt.

Im späteren Text läßt dann RESNIKOW auch solche sprachlichen Signale, wie Parolen, Schlüsselworte usw., zu. Als *Besonderheiten der nichtsprachlichen Signale* nennt er dann auf S. 177:

„1. Sie werden künstlich geschaffen, und ihre Bedeutung wird konventionell festgelegt.
2. Sie sollen ein bestimmtes Verhalten bzw. bestimmte Verhaltensänderungen verankern.
3. Sie werden für künftige Anlässe geschaffen und ihre Aufgabenstellung genau bestimmt;
4. Sie sind in ihrer Struktur meist denkbar einfach und doch sehr auffällig und einprägsam."

In ähnlicher Weise faßt RESNIKOW auch noch wesentliche Eigenschaften der *Anzeichen und Symbole* zusammen (S. 128):

„Drei Merkmale sind für ... jedes Anzeichen charakteristisch:
1. ist es aktuell sichtbar, unmittelbar beobachtbar.
2. ist das, worauf das Anzeichen hinweist, was es „anzeigt", unsichtbar, nicht unmittelbar beobachtbar.
3. ist das, worauf das Anzeichen hinweist, was es „anzeigt", irgendwie wesentlich."

Für *Symbole* gilt (S. 178):

„Ein Symbol stellt auf vereinfachte, aber anschauliche Weise oft einen sehr bedeutsamen, abstrakten Inhalt dar."

und weiter auf S. 183:
„Das Symbol unterscheidet sich vom Signal durch eine Reihe wesentlicher Besonderheiten:
1. Es stimuliert nicht unmittelbar irgendwelche bestimmten Handlungen, und es hat keine beschränkte Zweckbestimmung.
2. Es hat seinen eigenen konkreten, anschaulichen, bildhaften Inhalt, der sehr unbedeutend und beschränkt ist (im Vergleich zu dem, was er symbolisiert), oft äußerst schematisch, aber durchdacht ist;
3. Es bedeutet einen unermeßlich tieferen und breiteren, oft sehr abstrakten Inhalt vermittels des in dem Symbol eingeschlossenen Bildes, das an sich unbedeutend sein kann;
4. Es wird charakterisiert durch das Vorhandensein eines wenn auch sehr weitläufigen, aber doch vielfältig und kompliziert vermittelten natürlichen Zusammenhanges zwischen seinem äußeren (unmittelbaren), sehr unbedeutenden anschaulich-bildhaften Inhalt und dem überaus bedeutenden gedanklichen und emotionalen Inhalt, der seinen Sinn, sein Wesen ausmacht."

Abschließend sei noch die Zusammenfassung von RESNIKOW für die *Hilfszeichen, Zeichen der künstlichen Sprachen* wiedergegeben (S. 295—296):

„1. Sie ermöglichen es, die entsprechenden Begriffe und Urteile in *abgekürzter* Form auszudrücken.
2. Sie haben nach Vereinbarung eine ganz genaue Bedeutung, d. h., sie genügen völlig der Forderung nach *Eindeutigkeit.*
3. Sie schaffen die Bedingungen für eine gute *Überschaubarkeit* von Theorien und den inversen Zusammenhängen aller ihrer Elemente und Teile.
4. Sie fixieren auch Begriffe, für die es in der Umgangssprache überhaupt *keine entsprechenden sprachlichen Ausdrücke gibt.*
5. Sie können die *Bildung neuer Begriffe* fördern und die Entdeckung *neuer Objekte, Eigenschaften und Relationen* in der Wirklichkeit *antizipieren.*
6. Sie helfen bei der Feststellung der strukturellen *Gemeinsamkeit,* der Einheit einiger verschiedener Gesetzmäßigkeiten in verschiedenen Bereichen der Wirklichkeit.
7. Sie fördern die Entwicklung der Weltwissenschaft durch ihren internationalen Charakter."

9.2. Sprache

Im folgenden werden semiotische Probleme, Methoden und Ergebnisse auf dem Gebiet der Sprache behandelt. Vielfach sind hierfür auch die Begriffe Sprach-, Literaturwissenschaft und Linguistik üblich. In neuerer Zeit ist auch der Begriff Text bzw. Textwissenschaft hierfür gebräuchlich. Gegenüber den ersten grenzt er sich vor allem in zweierlei Hinsicht ab. Literatur und damit Literaturwissenschaft erheben oft den Anspruch, auch ästhetische Wertungen zu berücksichtigen. Damit entfallen wesentliche andere Texte, wie technische Artikel, Gebrauchsanweisungen, Unterhaltungslektüre usw. Zum anderen ist im allgemeinen in der Linguistik die größte Einheit der Satz. Sprachliches Geschehen greift aber darüber hinaus, und dann ist der Begriff Text üblich. Da im folgenden vor allem die inhaltliche Seite der Sprache behandelt wird, sei noch erwähnt, daß der Zeichenträger in der Sprachwissenschaft oft Formativ oder Zeichenkörper genannt wird.

9.2.1. Aspekte bei Sprachen

In der Sprache müssen verschiedene Aspekte unterschieden werden. Zunächst sei erwähnt, daß im Deutschen das Wort *Sprache* in mindestes *12 Bedeutungen* vorkommt. Hier einige Beispiele (NEUMANN [N8, S. 340]):

„Sprache der Blumen, Sprache der Bienen, Goethes Sprache, die russische Sprache, eine harte Sprache führen, es verschlug ihm die Sprache."

Wichtig ist die von SAUSSURE eingeführte Unterscheidung von *Sprache* als System (langue) und aktuelle Sprache als *Rede* (parole). Ferner ist die Sprache eine allgemein menschliche Fähigkeit und Realität. Daneben gibt es die verschiedenen Sprachen, z.B. Deutsch, Russisch, Englisch usw. Schließlich seien neben den eben genanntem natürlichen Sprachen noch die formalen Sprachen erwähnt. In fogenden wird nur die natürliche Sprache betrachtet. Zur Bedeutung der Sprache sei zunächst nur ein Zitat von SCHAFF angegeben:

„Dagegen läßt sich nicht bestreiten, daß in allen uns bekannten Zivilisationen die Lautsprache nicht nur wichtigstes Mittel zur Kommunikation der Menschen war und ist, sondern darüber hinaus ein solches Mittel darstellt, ohne das der Fortschritt auf dem Gebiet der Wissenschaft, Kultur und Technik unmöglich wäre."

Bei der Betrachtung von natürlichen Sprachen ist der einzelne leicht *in seiner Muttersprache befangen*. So ist erstaunlich, daß aus der bekannten Vielfalt der Sprachen so gut wie *keine Universalien* abgeleitet werden können. Soweit heute dazu Fakten bekannt sind, unterscheiden sich die vielfältigen Sprachen oft ganz erheblich in Grammatik und Lexik (NEUMANN [N8, S. 420]):

„Schon die Überprüfung von etwa einem Zehntel der heute existierenden Sprachen belehrt uns, daß es keine einzige grammatische Kategorie oder Wortart (z. B. Satzaussage oder Verb H. V.) in allen oder fast allen Sprachen gibt. Andererseits kann man mit jeder Grammatik einen beliebigen Inhalt ausdrücken, wenn der entsprechende Wortschatz in der betreffenden Sprache dafür hinreicht."

Gewisse *Einheitlichkeit* besteht aber darin, daß alle Sprachen auf 15 bis 95 verschiedene *Laute* aufbauen. Hierbei lassen sich in der Regel Vokale und Konsonanten unterscheiden. Die Laute dienen durch Kombination zur Bildung von bedeutungstragenden *Lautfolgen*. Dabei bilden sich fast immer relativ isolierbare *Bedeutungsträger* (*Worte*) heraus. Im allgemeinen gibt es auch *Regeln*, welche die *Kombinierbarkeit* von „Worten" einschränken und zu Sätzen als maximale Struktureinheiten führen. Dabei werden nur 5 ... 30% aller möglichen Kombinationen zugelassen. Der über solche Regeln (u. a. von den Lauten zu den Worten und von den Worten zu den Sätzen) gegebene hierarchische Aufbau ist für die Erkennbarkeit der Welt mittels der Sprache wichtig. Nur so lassen sich nämlich mit endlich vielen Elementen zumindest theoretisch un-

Tabelle 9.2 Anzahl der Sprachen auf der Erde und ihr Erfassungsgrad NEUMANN [N8; S. 341]

Erfassungsgrad	ungefähre Anzahl
insgesamt	4000*)
grammatisch einigermaßen	900 ... 1000
davon grammatisch gut	200
relativ vollständig lexikalisch	400
über eine „Orthographie" verfügen	500
semantisch untersucht	40

*) neuere Angaben 5651, davon ca. 1400 nicht eindeutig erfaßt.

endlich viele Aussagen aufbauen, und damit ist die Unerschöpflichkeit der Welt widerspiegelbar. Praktisch sind die Verhältnisse natürlich etwas anders. Es seien z. B. 10^4 Worte und Satzlängen bis zu 50 Worten gewählt. So ergeben sich daraus etwa $10^{4 \cdot 50} = 10^{200}$ Aussagen. Diese Zahl ist bereits so groß, daß, wenn die Aussprache jedes Satzes nur 10 Sekunden dauert, zum Aussprechen aller Sätze ohne Pause etwa $3 \cdot 10^{114}$ Jahre notwendig wären! Ja selbst bei einem Wortschatz vom 200 Worten genügen Sätze mit 4 Worten, um über mehr als ein Jahr lang ständig etwas anderes (natürlich auch Sinnloses) zu sagen. Also selbst bei kleinem Wortschatz und nicht zu langen Sätzen kann die *Sprache* als *potentiell unendlich* bezeichnet werden. Es sei noch erwähnt, daß BÜHLER [B27] 40 Phoneme und 2000 Sinnsilben nennt, aus denen sich die etwa 30000 Worte im Duden aufbauen.

Tabelle 9.3 Zum Wortschatz von Sprachen und dessen Benutzung
GRAUER (G14, S. 182, 194], AGRICOLA [A2, S. 536], CHERRY [C4, S. 95], STOPA [S54]

Gebiet	Anzahl der Wörter
Oxford English Dictionary	$5 \cdot 10^5$
Deutsche Sprache etwa	$5 \cdot 10^5$
Goethe-Wortschatz	10^5
Shakespeare-Wortschatz	$2{,}3 \cdot 10^4$
übliches Fremdsprachenlexikon und Duden	$2 \ldots 5 \cdot 10^4$
passiver Wortschatz eines „Durchschnitts"-Menschen	$5 \cdot 10^3 \ldots 2 \cdot 10^4$
aktiver Wortschatz eines „Durchschnitts"-Menschen	$\approx 3 \cdot 10^3$
Buschmännisch	ca. 3000
Grundwortschatz, den etwa jeder in rumänischer Sprache kennt	$1 \ldots 1{,}5 \cdot 10^3$
Basic englisch	850
aktiver Wortschatz einiger Menschen	≈ 300
Pseudowörter bei Schimpansen	≈ 32
sprachliche Zeichen bei Primaten	≈ 7

Ein *sprachlisches System* ist nicht genetisch dem Menschen gegeben. Es wird von Generation zu Generation gelernt. Das Erlernen der Sprache dürfte dabei an besondere Stellen und deren wechselseitige Funktion gebunden sein (s. Kapitel 5). Diesbezüglich scheint es zwischen Rassen und sonstigen Gruppen von Menschen keine Unterschiede zu geben. Beim Weitergeben der Sprache von Generation zu Generation erfährt sie natürlich auch Änderungen, die unter anderem auch von den geänderten gesellschaftlichen und sonstigen Verhältnissen herrühren. Damit ist die *Sprache* auch *etwas Dynamisches.*
(Ergänzend zur „Unendlichkeit" der Sprache sei auf die Abschnitte 10.3.3 und 10.3.6. hingewiesen. Hier wird die soeben gegebene Aussage präzisiert.)

9.2.2. Geschichtliches

Die Anfänge von menschlicher Sprache dürften vor etwa 750000 Jahren zu finden sein. Das entscheidende Stadium für die Herausbildung einer entwickelten Sprache dürfte vor etwa 70000 Jahren, also vor 2000 Generationen, begonnen haben. Zu den

ältesten, heute noch von über einer Milliarde Menschen gesprochenen Sprachen gehört das Chinesische mit einem Alter von etwa 5000 Jahren. Es hat weder die europäischen Sprachen beeinflußt, noch ist es von ihnen beeinflußt worden. Dennoch muß der Weg zur Buchstabenschrift eindeutig den Weg Bild-Piktogramm-Symbol gegangen sein. Heute sind vor allem *drei Arten ideographischer Schrift* bekannt:

chinesisch-japanisch, Keilschrift und ägyptische Hieroglyphen.

Neben der Geschichte der Sprache gibt es auch eine *Geschichte zur Wissenschaft um die Sprache.* Auf gewisse Fakten wurde schon im ersten Hauptabschnitt hingewiesen. Hier sind also nur sprachspezifische Ergänzungen notwendig. Die *ältesten* wissenschaftlichen *Aussagen* existieren wohl *zur Syntax* (vom griechischen syntaxis = Verknüpfung, Zusammenstellung, Konstruktion) der Sprache. Als ihr Vater gilt ein Gelehrter aus Alexandria, Apollonios Dyskolos (2. Jahrhundert vor unserer Zeitrechnung). Er schrieb die erste spezifische Abhandlung „Über die Syntax". Die alten griechischen Theorien lagen allen europäischen Grammatiken bis zum 17. Jahrhundert zugrunde. Eine neue Qualität ist die Grammatik von Port-Royal: „Grammaire générale et raisonée" (1660). Hier werden zum Vergleich alte und andere neue Sprachen herangezogen. Im 18. Jahrhundert entwickelte sich dann das syntaktische Konzept der Satzstruktur. Infolge der starken Ausdehung der Forschung zur Syntax in den letzten Jahrzehnten und der vielen noch offenen Probleme stellt sie sich heute recht uneinheitlich dar.

Zu den *am spätesten* in die Sprachwissenschaft eingeführten Begriffen gehört die *Semantik.* Es ist daher verständlich, daß hier auch noch die meiste Unklarheit existiert. Noch 1966 schreibt dazu Greimas [G16, S. 2]:

„Die Vernachlässigung der Semantik ist offenkundig und absichtlich: In linguistischen Kreisen ist es auch noch heute gang und gäbe, sich die Frage zu stellen, ob die Semantik einen homogenen Gegenstand besitzt, ob dieser Gegenstand einer Strukturanalyse zugänglich ist, ob man, mit anderen Worten ,berechtigt ist, die Semantik für eine Disziplin der Linguistik anzusehen."

Begründet wurde die Semasiologie (Semantik) 1825 von C. C. Reisig in seinen Vorlesungen über lateinische Sprachwissenschaft. Ein System der Semantik (und auch den Namen) versuchte jedoch erst M. Bréal 1897 [B22]. Er betrachtete sein Buch selbst nur als Einführung in dieses Gebiet und war schon damals der Meinung, daß es „die gemeinsame Arbeit von mehreren Generationen von Sprachwissenschaftlern erfordert" (S. 8). Er erklärt dann auch noch den von ihm gewählten Namen als Ableitung vom griechischen semantike tekoe als Wissenschaft von den Bezeichnungen, vom griechischen semaino. Auf S. 99 definiert er dann:

„In diesem zweiten Teil schlagen wir vor, zu untersuchen, wie es kommt, daß einmal geschaffene und mit einer bestimmten Bedeutung ausgestattete Wörter diese Bedeutung erweitern oder einengen, sie von einem Begriffskomplex auf einen anderen übertragen, ihren Wert heben oder senken, kurz gesagt — sich ändern. Eben dieser zweite Teil ist die *Semantik* oder die Wissenschaft von den Bedeutungen."

Noch problematischer ist es mit der *Pragmatik* in der Sprachwissenschaft. Sie hat selbst heute noch keine eigentliche Anerkennung gefunden. Sie ist hier im Grunde fast negativ definiert. Alles was nicht Syntax und Semantik ist, bildet die Pragmatik. Als Beispiele für die (kommunikativ-)pragmatische Komponenete seien hier nur Wunsch-,

Frage- und Befehlssätze genannt. Es ist u. a. auch bekannt, daß möglicherweise nicht alle pragmatischen Merkmale und Regeln einer semantischen Interpretation bedürfen bzw. sie ermöglichen.

Einen beachtlichen Aufschwung hat die Sprachwissenschaft mit der Rechentechnik genommen. Bereits 1954 wurde an der Universität Georgetown erstmalig automatisch Russisch in Englisch übersetzt. Es waren 250 Wörter und 6 Regeln für eine Wort-Wort-Übersetzung auf einer IBM 701 ausgewählt. Das Ergebnis war nicht überwältigend. Selbst wenn der produzierte Text nicht grammatisch falsch war, stimmte er inhaltlich und sinngemäß sehr oft nicht mit dem Ausgangstext überein. Schrittweise wurden dann Ergebnisse der Syntaxtheorien einbezogen. Als etwa 20000 Regeln zur Anwendung kamen und immer noch keine befriedigende Übersetzung möglich war, wurden 1965 die Versuche abgebrochen. Noch 1967 meinte BAR-HILLEL, die *Bedeutung der Kybernetik für die Linguistik sei gleich Null.* Bis heute sind natürlich wesentliche Fortschritte erreicht worden. Dennoch existieren sehr viel offene Probleme. Großen Einfluß auf diese Probleme dürfte das betont *strukturelle Konzept* für die Sprache gehabt haben, bei dem das dialektische Verhältnis Struktur und Funktion nicht berücksichtigt wurde. Dennoch seien einige Grundzüge kurz erläutert, da hier besonders große Fortschritte erzielt wurden.

Zuvor sollen noch einige Bemerkungen zum Verhältnis von *Wort- und Schriftsprache* gemacht werden. Hierzu gibt es eine vorzügliche und interessante, vielleicht aber auch etwas einseitige Einschätzung von MCLUHAN [M8]. Er geht davon aus, daß es einen Übergang zum *alphabetischen Zeitalter* mit der Einführung des Schriftalphabets gab. Die Grenze zieht er etwa zwischen PLATON und SOKRATES. SOKRATES wird oft als Schreiber PLATONS angesehen, der selbst noch nichts aufschrieb. Es gibt nach MCLUHANS Einschätzung zwei bezüglich der Sprache *typische Gesellschaften,* die *orale* (ohne hohen Wert der Schriftsprache) und die *visuelle.* In der oralen gibt es kaum individualisierte Menschen. Sie gehören alle als eingeordnete Mitglieder der großen Gruppe an. Als Ausgleich für die Einengung der individuellen Entwicklung hat der Einzelne eine große Freiheit im Gefühlsleben. Denken, Sprechen, Handeln und Erleben ist hier eine Einheit. Es gilt stark „das Hier und Jetzt". Als Beispiel führt MCLUHAN afrikanische Stämme an. Im gewissen Umfang gehören hierzu heute auch noch Indien, China und Japan.

In der visuellen (europäischen) Welt wird jeder von Kindheit an auf die Folge von Ursache-Wirkungs-Relationen eingestellt. Es regiert der Sachzwang und das rationale Denken. Das, was gesagt wird, muß nicht gültig sein. Das Schriftstück ist entscheidend. Hier gilt: *„Sehen heißt glauben."*

Diese stark verkürzte Darstellung ist natürlich überzogen, aber das Prinzip dürfte deutlich sein. Es gipfelt bei MCLUHAN in der Aussage

„Da die Welt des Ohres eine „heiße", hyperästhetische und die Welt des Auges eine verhältnismäßig „kühle", neutrale Welt ist, erscheint der Abendländer den Menschen der Ohrenkultur als ausgesprochen kalter Mensch."

Im Sinne dieser Ausführungen wird es verständlich, daß CICERO SOKRATES den Vorwurf macht, als erster die Kluft zwischen Geist und Herz aufgetan zu haben [M8, S. 35–36]:

„Vor Sokrates hatte die Gelehrsamkeit rechtes Leben und gutes Reden gelehrt. Aber mit Sokrates kam es zur Trennung zwischen der Zunge und dem Herzen."

Schließlich sei erwähnt, daß McLuhan für das jetzt begonnene „elektrische Zeitalter vermutet, daß Wort und Emotion mit Schrift und Sachlichkeit wieder zur Einheit" drängen.

9.2.3. Prinzip generativer Grammatiken

Für die folgenden Betrachtungen sei ein sehr kleines Vokabular ausgewählt:

N = Nomen: Buch, Dorf, Es, Hand, Hans, Jedermann, Junge, Mädchen, Stein;
V = Verb: blühen, grüßen, kaufen, lieben, (auf-)liegen, umarmen, haben;
Art = Artikel: der, die, das, ein, kein;
Adj = Adjektiv: blond, groß, hübsch, klebrig.

Hieraus können Sätze gebildet werden, z. B.:

Der Junge umarmt das Mädchen.

In der Grammatik gibt es nun Aussagen über den zulässigen Aufbau der Sätze. Der Einfachheit halber sollen bei den folgenden Betrachtungen morphologische Aspekte, also Wortveränderungen durch Person, Zeit und Fall, unberücksichtigt bleiben, d. h. automatisch richtig gewählt werden. Es geht also nur um die mögliche und richtige Anordnung der Worte. Für die Entscheidung hierüber wird meist ein kompetenter Sprecher angenommen. Das Entscheidungskriterium ist also die Kompetenz. Sie entspricht der Sprecher-Hörer-Kenntnis von der Sprache. Im Gegensatz dazu stehen von Menschen produzierte Sätze. Sie bestimmen die Performanz, die *Sprachverwendung.* Kompetenz ist also die Idealgestalt als Abstraktion von der realen, aber individuellen Performanz. Es ist z. B. sofort offensichtlich, daß ein Satz

Das Buch blüht ein Stein

oder

Das Buch blonde Hans Stein ein aufliegt

keine zulässigen Sätze sind. Generell ist es für das Folgende wichtig, zwei Fälle zu unterscheiden, nämlich die Analyse und die Synthese von Sätzen. Da die Synthese meist die *Analyse* voraussetzt, sei mit ihr begonnen. Die gebräuchliche Einteilung eines Satzes ist *Subjekt* (Satzgegenstand) und *Prädikat* (Satzaussage). In der letzten Zeit gewann auch die Einteilung *Thema-Rhema* Bedeutung. Das Thema ist dann, worüber etwas mitgeteilt wird (der Junge). Im Textzusammenhang knüpft es an schon Bekanntes an. Das Rhema ist das Neue, was mitgeteilt wird (umarmt das Mädchen). Nur bei diesem einfachen Satz stimmen beide Einteilungen überein. So ist auch z. T. die Bezeichnung psychologisches Subjekt und Prädikat für Thema und Rhema verständlich. Mit derartigen Einteilungen ist jedoch noch keine Satzsynthese möglich. Sie läßt sich am ehesten als Umkehrung der *Zerlegung eines Satzes in Konstituenten* (Teile gewisser Selbständigkeit) gestalten. Sie besitzt jedoch eine gewisse

Willkür. Bei ihr sind z. B. zunächst folgende drei Fälle möglich:

Der Junge umarmt — das Mädchen.
Der Junge — umarmt das Mädchen.
Der Junge — umarmt — das Mädchen.

Für die beste Zerlegung in Konstituenten gibt es mehrere Proben. Die *Umstellprobe* der Teile läßt noch folgende Konstituenten und deren Anordnung sinnvoll erscheinen.

Das Mädchen — umarmt — der Junge
Das Mädchen — der Junge umarmt.

Bei der *Ersatzprobe* werden Konstituenten durch andere probeweise ausgetauscht. Sinnvoll sind dann z. B.

Hans — umarmt — es
Hans — umarmt das Mädchen
Der Junge — liebt — das Mädchen.

Schließlich sei noch die *Weglaßprobe* genannt. Sie läßt nur zu

Der Junge umarmt.
Der Junge — umarmt.

Auf solcher Basis lassen sich meit relativ eindeutige Konstituenten ermitteln.

Ferner werden unmittelbare und mittelbare Konstituenten unterschieden. Dadurch läßt sich eine *Baumstruktur* aufbauen, die in diesem Falle zu Abb. 9.17 führt. Darin

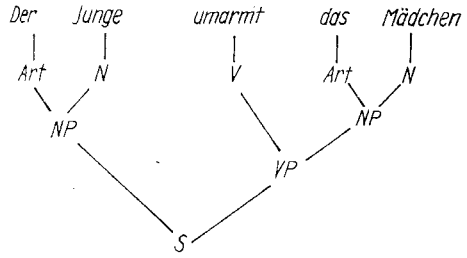


Abb. 9.17 Beispiel einer einfachen Konstituentenanalyse.

sind noch eingeführt

NP = Nominalgruppe bzw. -phrase,
VP = Verbgruppe bzw. -phrase,
S = Satz.

Durch unmittelbare und mittelbare Konstituenten entsteht eine hierarchische Struktur. Sie ist im schon zuvor genannten Sinne (Unendlichkeit der Welt) wichtig. Die mittelbaren Konstituenten heißen Gruppen bzw. Phrasen. So werden aus den *Konstituentengrammatiken* die *Phrasenstrukturgrammatiken.*

Bei der Analyse wird der Baum von den Worten zum Satz S, also von unten nach oben im Bild abgearbeitet. Es ist daher sofort einzusehen, daß ein solcher Baum auch generierbar, d. h. synthetisierbar (erzeugbar) ist. Diese Analyse kann also zur Synthese herangezogen werden, und so entstehen die *generativen Grammatiken*, die neben

dem *Vokabular* noch die *Erzeugungsregeln* benötigen. Sie lauten für Abb. 9.17

$$S \rightarrow NP + VP\,, \tag{1}$$

$$NP \rightarrow (Art) + N\,, \tag{2a}$$

$$VP \rightarrow V + (NP)\,. \tag{2}$$

Die Klammern bedeuten, daß diese Satzteile eventuell auch entfallen können.

Mit den drei Regeln und dem angegebenen Vokabular kann nun bereits eine Vielzahl von Sätzen gebildet werden, z.B.:

Das Buch liegt auf dem Stein.
Hans grüßt das Dorf.
Jedermann liebt das Mädchen.

Auf so entstehende sinnlose Sätze wie:

Das Buch kauft das Dorf.

wird später eingegangen.

Es ist offensichtlich, daß in den bisherigen Betrachtungen das *Adjektiv* fehlt. Mit ihm sind Nominalphrasen wie

der blonde Junge
der große, hübsche, blonde Junge

möglich. Hier entsteht also eine *Rekursivität*. Sie läßt sich durch folgende Regel beschreiben

$$Adj \rightarrow Adj'\ (Adj'')\,. \tag{4}$$

Unter dieser Bedingung ist jetzt statt Gl. (2a) zu schreiben

$$NP \rightarrow (Art) + (Adj) + N\,. \tag{2b}$$

Weiter gibt es im Deutschen noch die Möglichkeit, Nominalphrasen der Form

Das Buch des Jungen des Dorfes

zu bilden. Mit dieser Rekursivität

$$NP \rightarrow NP'\ (NP'') \tag{5}$$

gilt dann

$$NP \rightarrow (Art) + (Adj) + N + (NP)\,. \tag{2c}$$

Es sei nun ein Satz der Form:

Die Mädchen lieben keine Jungen, die klebrige Hände haben. Er besteht eigentlich aus zwei Sätzen, die gemäß Abb. 9.18 strukturiert sind. Die *Rückbezüglichkeit* wird durch das Wiederholen der Nominalphrase im zweiten Satz realisiert. Die entsprechende generative Regel lautet daher:

$$NP \rightarrow (Art) + (Adj) + N + (S)\,. \tag{2d}$$

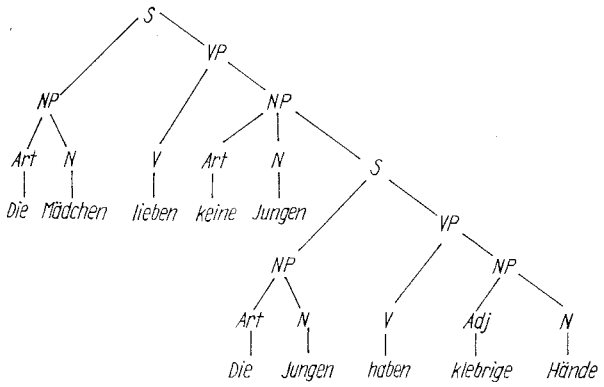


Abb. 9.18 Beispiel der Generierung eines komplizierten Satzes.

Mit den wenigen Regeln (1), (2d), (3), (4) und (5) ist bereits mit dem vorhandenen Vokabular eine unübersehbare Zahl (sinnvoller) Sätze zu generieren.

Mit dem letzten Beispiel werden auch zwei Begriffe verständlich: nämlich die der *Oberflächen- und Tiefenstruktur*. Die Generierung des obigen Satzes erfolgt aus den beiden Sätzen

Die Mädchen lieben keine Jungen.
Die Jungen haben klebrige Hände.

Die beiden Sätze zusammen und aufeinander bezogen ergeben denselben Sinn wie der eine Satz oben. Der obige Satz stellt die Oberflächenstruktur dar. Die beiden unteren bilden so etwas wie seine Tiefenstruktur. Die Tiefenstruktur wird entsprechend dem Sinn der Aussage generiert und aus ihnen wird dann mittels *Transformationsregeln* die für die Rede benötigte Oberflächenstruktur. Ein Problem der Tiefenstruktur liegt darin, daß sie für alle inhaltgleichen (bedeutungsgleichen) Sätze dieselbe Form besitzen soll. Die Tiefenstruktur ist also ärmer als die Oberflächenstruktur. Dies sei am folgenden Beispiel erklärt. Die vier Sätze

Der Junge kauft dem Mädchen das Buch
Dem Mädchen kauft der Junge das Buch
Dem Mädchen der Junge das Buch kauft
Der Junge dem Mädchen das Buch kauft

sind *im wesentlichen inhaltsgleich*. Zu ihnen gehören aber sehr unterschiedliche Strukturbäume. Eine übliche Regel der Tiefenstruktur ist, daß das Verb am Ende stehen soll. Mit der Unterscheidung von Oberflächen- und Tiefenstruktur und den zur Überführung notwendigen Transformationsregeln liegen die *generativen Transformationsgrammatiken* vor.

9.2.4. Möglichkeiten und Probleme generativer Grammatiken

Die Ansichten darüber, was zu einer Grammatik gehört, sind nicht einheitlich. Sie reichen vom einfachsten Fall: Vokabular (Lexikon) und Regeln (Syntax) über Morphologie, Syntax und Orthographie bis zu Phonologie, Morphologie, Syntax und

Semantik. Im letzten Fall bilden dann Grammatik und Lexikon zusammen das Sprachsystem. In keinem Fall scheint die Pragmatik dazuzugehören. Für sie existieren eben noch keine entsprechenden Kenntnisse. Bei den generativen Grammatiken wird meist auf die drei Teile

Phonologie,
Syntax,
Semantik

Bezug genommen. Die *Morphologie* ist dann *in der Syntax* mit enthalten, und das *Lexikon wird* als gegeben vorausgesetzt. Entsprechend den Theorien der Semiotik ergäbe sich hiernach eine dreistufige Generierung, wie sie Abb. 9.19 zeigt. Da die

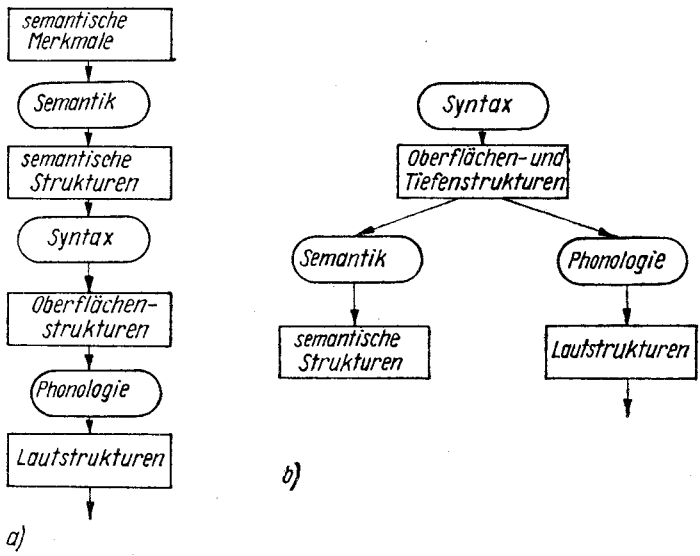


Abb. 9.19. Prinzipien der Sprachgenerierung.
a) vermutlich theoretisch richtiger Fall,
b) Prinzip der Generierung bei CHOMSKY.

phonologische Generierung nicht Aufgabe einer Grammatik sein muß, bleibt, die semantische und syntaktische Generierung zu realisieren. Es ist bis heute nicht gelungen, sie beide zu trennen. Überhaupt wurde von den Strukturalisten zunächst vermutet, daß ausschließlich syntaktische Regeln genügen. So wurde in der Folge die Semantik dann der Syntax untergeordnet, und es entstand das Prinzip gemäß Abb. 9.19b. Etwas detaillierter zeigt den heutigen Ausbau der *generativen Transformationsgrammatik* Abb. 9.20. Die *Syntax* steht also *im Zentrum* der Funktion des Systems. Das Lexikon enthält die Worte (Lexeme) als Wortstämme bzw. Grundformen der Worte sowie ihre Bedeutungskomponenten. Über die Basisregeln wird dann die *Tiefenstruktur* erzeugt. Dabei werden die Namen für konkrete und abstrakte Objekte, Prädikate mit ihren Eigenschaften und Beziehungen im Objektbereich, Konnektive (z.B. logische und, oder usw.), Operatoren (vor allem Quantoren) und Propositionen

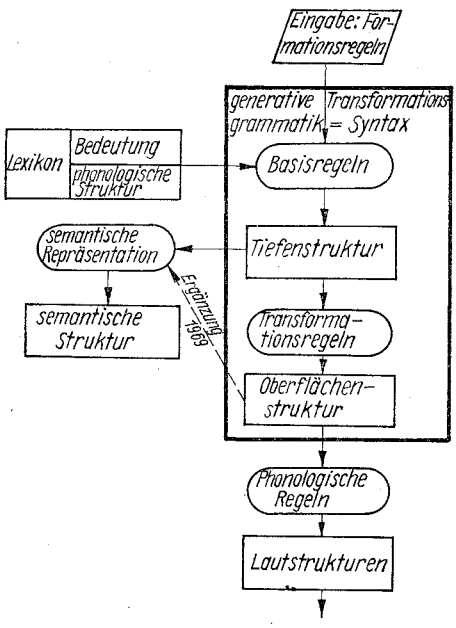


Abb. 9.20

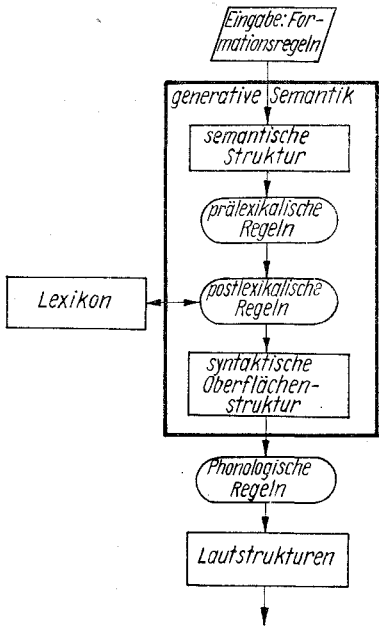


Abb. 9.21

Abb. 9.20 Detailliertes Prinzip der generativen Transformationsgrammatik nach CHOMSKY.

Abb. 9.21 Prinzip der generativen Semantik.

(wahrheitsfähige Begriffe) herangezogen. Hieraus läßt sich die *semantische Struktur* ableiten. Mittels der Transformationsregeln wird aus der Tiefenstruktur die Oberflächenstruktur erzeugt. Damit werden grammatikalische Kategorien (z.B. 1. Person, Präsens, Dativ), Lexikonkategorien (z.B. Verb, Substantiv usw.) sowie syntaktische Kategorien (z.B. NP, VP usw.) berücksichtigt. Im Laufe der Zeit hat sich immer deutlicher gezeigt, daß Semantik und Syntax nicht zu trennen sind. Auch in der Oberflächenstruktur wurden semantische Komponenten gefunden. Diese Ergebnisse waren der Grund, weshalb CHOMSKY [G6] 1969 sein Modell durch eine entsprechende Verbindung ergänzte. Andererseits entstand so bei anderen Autoren der Gedanke der *generativen Semantik* [G5] (z.B. LUKOFF). Ihr Funktionsprinzip zeigt Abb. 9.21. Hier werden Semantik und Syntax parallel behandelt. Dennoch ist der Begriff Semantik auch hier noch nicht berechtigt. IMMLER schreibt dazu [I1, S. 215]:

„... Semantische Fakten sind diejenigen, die mit der Beziehung der sprachlichen Einheiten zu Begriffen und Vorstellungen einerseits und zu den Aspekten der Realität ... andererseits zu tun haben. ... daß gerade in dieser Hinsicht die GS gegenüber der Syntaxtheorie ... um keinen Schritt weitergekommen ist ... die GS beansprucht, die syntaktischen Eigenschaften der syntaktischen Elemente aus ihren semantischen Eigenschaften abzuleiten ... aber sie behandelt diese semantischen Elemente so, als hätten sie keine Bedeutung, ... sie setzt den Begriff der Bedeutung einerseits voraus — und stellt sich nie die Frage, *was* die Bedeutung eines Wortes ist."

Der Aufbau von generativen Grammatiken ist sehr aufwendig. Das hat zur Folge, daß sie meist nur als *Erkennungsgrammatiken* (Analyse) realisiert werden. Dann wird vorausgesetzt, daß, wenn die Erkennung funktioniert, auch die Generierung möglich sein muß. Im Gegensatz zu den formalen Sprachen und Programmiersprachen sind die natürlichen Sprachen aber wesentlich komplexer. Deshalb ist heute nicht bekannt, ob für sie überhaupt ein Algorithmus existiert, der die Erkennung in die Generierung *überführt*.

Die Entwicklung der generativen Grammatiken kann bis BLOOMFIELD [B19] 1933 zurückverfolgt werden. Auf S. 161 schreibt er:

„Jede englischsprechende Person, die sich mit der Sache beschäftigt, wird uns sicher sagen, daß die „immediate constituents" des Satzes „Poor John ran away"aus den zwei Formen „poor John" und "ran away" bestehen, daß jede dieser beiden Konstituenten wiederum eine komplexe Form bildet; daß die unmittelbaren Konstituenten von "ran away" „ran" ... und „away" sind und daß die Konstituenten von "poor John" schließlich die Morpheme „poor" und „John" sind."

Es gab dann eine Reihe von Weiterentwicklungen, doch der entscheidende Anstoß dürfte von der formalen Logik (u. a. POST) gekommen sein. Als eigentlicher Gründer und entscheidender Bearbeiter gilt allgemein NOAM CHOMSKY. Seine Standardversion legte er 1956 [C7] vor. Der Übergang zur Einbeziehung der Semantik wird im allgemeinen mit der Arbeit von J. J. KATZ und J. A. FODOR [K13] auf 1963 angesetzt. Eine Krise der generativen Grammatiken fällt mit dem Scheitern der automatischen Übersetzungsversuche um 1966 zusammen. In dieser Zeit hatte CHOMSKY gerade die Hypothese der Tiefenstruktur aufgestellt [C6]. Um 1968 entstanden dann die Ideen der generativen Semantik. Die inzwischen erreichten Fortschritte sind beträchtlich, doch noch nicht einfach zu skizzieren. Deshalb wird hier darauf verzichtet.

9.2.5. Semantik und Bedeutung

Sowohl von der Linguistik, aber noch mehr und eindeutiger von der Semantik wird ausgesagt, daß sie die *Lehre von den Bedeutungen* (sprachlicher Einheiten) ist. Über die Rolle der Bedeutung gibt es heute auf vielen Gebieten keine Zweifel mehr. Sie ist für viele Gebiete, z.B. Zeichentheorie, Sprachtheorie, Kommunikationswissenschaften, Kybernetik, Informationstheorie, Verhaltenswissenschaften usw. von großem Wert. Dennoch ist sie trotz intensiver Forschungen in der letzten Zeit relativ unklar. Dies beginnt damit, daß Bedeutung selbst eine Vielzahl von Bedeutungen hat. In der schon als Standardwerk bezeichneten Arbeit von OGDEN und RICHARDS [O1] wiesen sie im Englischen bereits 1923 16 Bedeutungsgruppen und 23 verschiedene, z. T. weit entfernte Bedeutungen von Bedeutung nach. Im Deutschen müßten hierfür etwa die Verben „meinen" und „bedeuten" angesetzt werden. Einige Beispiele wären dann:

Salpeter bedeutet Kaliumnitrat.
Picasso bedeutet mir nichts.
Das Leben hat für mich keine Bedeutung mehr.
Rauch bedeutet Feuer.
Was bedeutet Taschenspieler?

Aber bereits SCHAFF [S6, S. 191] wies darauf hin, daß in der Semiotik stets nur interessiert

„eine bestimmte Sondergruppe der Anwendung dieses Wortes, diejenige nämlich, die sich auf die Interpretation des Wortes Bedeutung bezieht, wenn es sich um die Funktion des Zeichens im Kommunikationsprozeß handelt, um die Funktion, die es ermöglicht, herauszutreten aus der Sphäre des subjektiven Denkens, um in die Sphäre der intersubjektiven Übermittlung solcher Gedanken einzutreten, die von den betreffenden Partnern verstanden werden."

Aber selbst in dieser linguistischen Einengung gibt es noch genügend Unklarheiten und unterschiedliche Definitionen. Am häufigsten und gebräuchlichsten ist noch die Feststellung, daß die Bedeutungslehre von den Wortbedeutungen, den Beziehungen zwischen ihnen und vom Bedeutungswandel handelt. Die Beziehungen beginnen bei den kleinsten bedeutungstragenden Elementen, die meist *Lexeme* genannt werden. Ein Lexem kann dabei mehrere Bedeutungen gleichzeitig tragen, z. B. Knabe etwa menschlich, belebt, männlich und jung. Eine entsprechende Bedeutungseinheit wird häufig *Sem* genannt.

Wenn von gewissen, hier nicht wesentlichen Unterschieden abgesehen wird, sind gleichartige Bezeichnungen anderer Autoren dafür: semantisches Merkmal, semantische Komponenete, Noem, semologisches Merkmal, semantische Konstante, elementare Bedeutung, Semon, semantischer Marker, semantischer Distinktor und atomares Prädikat.

Neben den Wortbedeutungen gibt es auch noch *Beziehungen zwischen den Bedeutungen.* Außerdem erhalten die Worte zusätzliche oder veränderte Bedeutung im Zusammenhang eines Satzes und ein Satz wiederum im Zusammenhang des Textes. So entsteht eine *Bedeutungshierarchie.* Dabei kann ein ganzer Komplex von Bedeutungen wiederum durch ein Wort erfaßt werden. Zuweilen wird er als Bedeutungskomplex oder auch in einem etwas anderen Sinn als *Superzeichen* bezeichnet. Zuweilen wird angenommen, daß gerade solch ein Verbinden von Zeichen zu neuen Zeichen, also die komplexe innere Form der Zeichen, ein wesentlicher Fortschrittsfaktor in der Entwicklung der Sprache ist.

Nicht jede Lautfolge braucht eine Bedeutung zu haben, z. B. repunsieren (TUCHOLSKY) oder fratteln. *Worte* haben dagegen immer eine *Bedeutung.* Andererseits haben auch nicht alle Dinge und Erscheinungen, die objektiv existieren, eine Bedeutung. Es gibt eben Dinge und Erscheinungen, die noch nicht erkannt sind. Für sie kann damit auch kein Abbild im Gehirn des Menschen existieren, und somit kann er auch kein Wort dafür bilden. Umgekehrt gibt es *Worte für Dinge, die kein Objekt* in der Wirklichkeit *besitzen,* die also frei erfunden sind, wie z. B. Gnom, Zwerg, Teufel, Engel usw.

Zwischen Wort und Bedeutung besteht meist nur ein äußerer (zunächst zufälliger) Zusammenhang. Durch den häufigen Gebrauch verdichtet sich dann die Bedeutung des Wortes. Daher ist verständlich, daß *Wort und Bedeutung vor allem traditionell verbunden* sind. Infolge der Verdichtung von Wort und Bedeutung ergibt sich auch die Gefahr, daß das Wort für die Bedeutung und für das Objekt gesehen wird. Dies war zumindest früher einmal so und kommt in der Bibel:

„Am Anfang war das Wort"

zum Ausdruck. Aber bereits GOETHE läßt den Faust sagen:

„Ich kann das Wort so hoch unmöglich schätzen."

Oder im anderen Zusammenhang steht:

„Denn eben, wo Begriffe fehlen, da stellt ein Wort zur rechten Zeit sich ein."

(vgl. hierzu auch das Ende von Abschn. 9.2.2. und Abschn. 9.2.6.).

Die *wesentlichen Merkmale eines Objektes* machen seine *Bedeutung* aus. Sie sind seine notwendige und relativ stabile Komponente. Sie dürften eventuell auch neurophysiologisch im Widerspiegelungsprozeß ähnliche Beziehungen aufbauen. Sie führen eventuell so zum *Begriff*, der dann als *Stützpunkt für das Wort* (Zeichen) aufgefaßt werden kann. So entsteht eine relativ stabile Verbindung zwischen Wort und Bedeutung.

Infolge dieser historischen Entwicklung ist auch relativ gut der *Bedeutungswandel* von Worten verständlich. Meist werden *Verengung*, Erweiterung und Verschiebung unterschieden. Eine Bedeutungsverengung hat z.B. das Wort „Getreide" durchgemacht. Es galt ursprünglich für alles, was getragen wurde, z.B. Kleidung, Früchte usw. Eine Erweiterung machte „Herr' durch. Es galt ursprünglich nur als Anrede für Feudalherren. *Verschiebungen* liegen bei Spießbürger (ursprünglich Vollbürger, der berechtigt ist, Waffen zu tragen) und bei Marschall (ursprünglich Pferdeknecht) vor. Ursache vom Bedeutungswandel liegt oft darin, daß unsere objektive Welt sich sowohl im materiellen als auch gesellschaftlichen Bereich laufend weiterentwickelt und daß bei jedem Einzelnen ständig neue subjektive Erkenntnisse hinzukommen. Irgendwie muß die Relation Wort — Bedeutung diesem Folge leisten.

Bei der Untersuchung der Bedeutung tritt eine Erscheinung besonders deutlich hervor. Sie betrifft das Verhältnis *Objekt-, Metasprache*. Die *Metasprache der Semantik erfordert* nämlich eine *zweite Metasprache*, um über die erste Metasprache Semantik reden zu können. Die damit zusammenhängenden Probleme sind besonders klar bei GREIMAS [G16, S. 8] beschrieben worden:

„Der Gegenstand der Untersuchung vermischt sich solcherart mit den Instrumenten dieser Untersuchung:
der Angeklagte ist zugleich sein eigener Untersuchungsrichter."

Ein vielleicht inadäquates, jedoch sehr bezeichnendes Beispiel für diese Lage der Dinge liefert die Lexikographie:

„Ein beliebiges einsprachiges Wörterbuch ist ein geschlossenes Ganzes, innerhalb dessen die Denominationen unbegrenzt Jagd auf die Definitionen machen.

Man muß sich damit abfinden: jede Untersuchung der einer natürlichen Sprache inhärenten Bedeutungen bleibt in diesem Kreis der Sprache eingeschlossen und kann nur zu Ausdrücken, Formulierungen und Definitionen führen, die in einer natürlichen Sprache vorgebracht werden."

Auf die besseren Möglichkeiten der Objekt- und Metasprache wird in Abschn. 9.2.8. eingegangen. In der *natürlichen Sprache* ist dies jedoch wesentlich problematischer, da sie dann *zugleich Objekt- und Metasprache* ist. Dies beschreibt besonders prägnant WUNDERLICH [W21, S. 161].

„Wenn wir von der Einführung konstruierter Sprachen oder Metasprachen sprechen, d. h. davon, warum wir dies tun, wie wir dies tun, welche Ergebnisse dies bringt usw., so verwenden wir selbstverständlich eine jedem verständliche natürliche Sprache; wir können

deshalb sagen, diese sei die „Metasprache" gegenüber den konstruierten Sprachen (ich verwende hier Gänsefüße, um die übertragene Redeweise zu kennzeichnen.) Zugleich konstruieren wir die Logiksprache nach dem Vorbild gewisser Aspekte der einer natürlichen Sprache, z. T. rekonstruieren wir nur eine schon hoch standardisierte Wissenschaftssprache. Deshalb wäre die Redeweise möglich, daß die konstruierte Sprache aus einer natürlichen Sprache „hervorgeht". Mithin ist die natürliche Sprache auch „Metasprache" bezüglich der aus ihr „hervorgegangenen" Sprachen, schließlich „Metasprache" zu sich selbst. Dies macht wohl deutlich, daß der Terminus „Metasprache" in Anwendung auf natürliche Sprachen nicht definiert werden kann."

Diese Zusammenhänge zeigt anschaulich Abb. 9.22. WUNDERLICH betrachtet recht ausführlich *drei Hauptvarianten* bezüglich der Aspekte der *Bedeutung* (S. 236ff.): Er unterscheidet Bedeutungen, die sprachextern, sprachintern und in der Kommunikationssituation vorhanden sind.

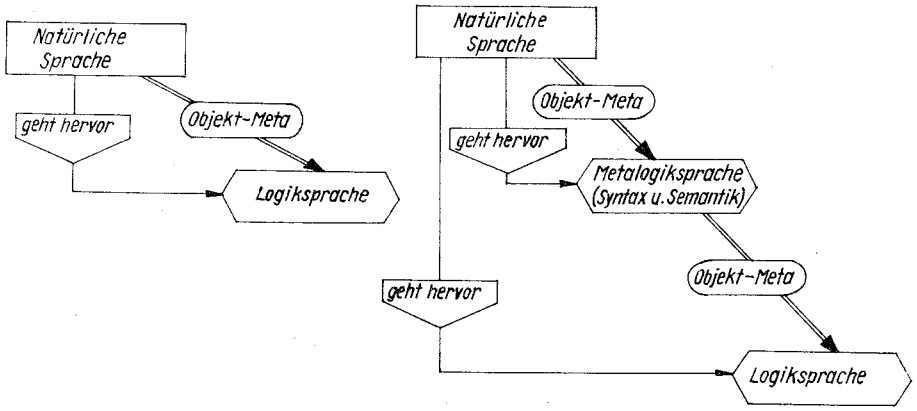


Abb. 9.22 Zur Demonstration von Objekt- und Metasprache bei der natürlichen Sprache nach WUNDERLICH [W21].

Er sagt zwar klar aus, daß die Sprache nur das ausdrücken kann, was sozialer Geltung bedarf, also der Konvention unterliegt. Seine Dreiteilung dürfte aber, wie er selbst indirekt aussagt, von *drei möglichen Wahrheitstheorien*: der Korrespondenz-, Kohärenztheorie- und Konsensustheorie beeinflußt worden sein.

Die *sprachexterne Bedeutung* nennt er auch *Referenzsemantik*. Hier wird erklärt:

„In welchem Verhältnis stehen sprachliche Ausdrücke zu den Bereichen menschlicher Erfahrung, worüber spricht man mit ihnen in bestimmten Kontexten, wie konstruiert man mit ihnen den Bereich dessen, worüber man spricht?"

Im gewissen Sinne liegt hier eine experimentelle Überprüfbarkeit vor, welche ja das Kennzeichen der Korrespondenztheorie ist. Auf das Verhältnis Bedeutung—Begriff wird noch als Beispiel genauer eingegangen.

Die *sprachinterne Bedeutung* nennt er auch *Inhaltssemantik*. Hier gilt die Frage:

„In welchem Bedeutungsverhältnis stehen sprachliche Ausdrücke zueinander?"

Auf Teilergebnisse der semantischen Komponenetenanalyse und des sprachlichen Feldes wird noch eingegangen. Dieses Gebiet kann mit der Kohärenztheorie ver-

glichen werden. Dort wird untersucht, welche Folgebeziehungen relativ zu einem System des Wissens gewonnen werden können.

Die *Sprechhandlungssemantik* betrifft die Bedeutung in *Kommunikationssituation.* Hier wird untersucht:

„Welche Bedeutung hat eine Änderung für einen Sprecher und für den (die) Angesprochenen und evtl. weitere Hörer relativ zur Entwicklung der zwischen ihnen bestehenden Situation?"

Dieses Gebiet entspricht der *Konsensustheorie,* in der die soziale Geltung, also die potentionelle Zustimmung aller anderen, gilt.

Bei spezieller Betrachtung der drei Bedeutungsaspekte ergibt sich wiederum die Dreiteilung

Syntax (Inhaltssemantik), Semantik (Referenzsemantik) und Pragmatik (Sprechhandlungssemantik).

Im letzten Fall verwendet WUNDERLICH selbst die Begriffe pragmatisch und behavioristisch. Daher liegt es nahe, daß alle drei semiotischen Aspekte dem Bedeutungsaspekt untergeordnet werden, was in der Konsequenz zu Widersprüchen führen muß.

9.2.6. Bedeutung und Begriff

In engem Zusammenhang mit der *Bedeutung* steht der *Begriff.* Zu dem Verhältnis beider gibt es sehr unterschiedliche Meinungen.

Ein Extrem ist die Meinung von SCHAFF, nach der *beides ein und dasselbe* betrifft, nämlich den Zusammenhang des Wortes mit dem Erkenntnisprozeß. Er wird lediglich von zwei Seiten betrachte, nämlich einmal von der sprachlichen Seite der Verständigung (das ist die Bedeutung) und zum anderen von der des Denkens (das ist der Begriff).

Das *andere Extrem* ist die *Unvereinbarkeit* von Bedeutung und Begriff. Dazwischen gibt es verschiedene Übergänge. Hier sei versucht, wichtige Fakten herauszukristallisieren.

Mit der Auffassung von SCHAFF wird auf die einfache Zeichenrelation hingewiesen (vgl. Abb. 9.1 und 9.12 bis 9.15). Hiermit stimmt dann auch die Aussage bei AGRICOLA [A2, S. 559] überein:

„Die sprachlichen Bedeutungen entwickeln sich in den meisten Fällen über eine jahrhundertelange Gesprächspraxis innerhalb verschiedenster Kontexte, die oft einen Satz überschreiten und durch Gesprächssituationen ergänzt werden. Bedeutungen sind kommunikationspraktische Einheiten.

Begriffe dagegen entstehen durch bewußte Abstraktions- und Verallgemeinerungsprozesse; höhere Begriffe durch Urteile und Schlüsse. Begriffe setzen feste Abgrenzungen und eine nur für sie gültige Definition voraus. Sie sind somit unabhängig von irgendeinem Kontext, natürlich auch nicht emotionell oder metaphorisch verwendbar."

Hiermit steht im Zusammenhang, daß bei der *Weiterentwicklung von Sprachen* (und der Gesellschaft) auch *immer abstraktere Begriffe* entstehen. So bildet sich ein ganzes *Kontinuum,* das von unmittelbar anschaulichen bis zu den höchst abstrakten Begriffen in einer Sprache reicht. Dies erschwert die Entscheidung, was ein Begriff ist. Dennoch ist der wissenschaftliche Begriff eben auch nur ein Begriff, bei dem sich jedoch

einige Eigenschaften, z.B. Präzision und Abstraktion, stark quantitativ gegenüber einfachen Begriffen unterscheiden.

Während ein *Wort* einer Sprache immer *eine Bedeutung* haben muß, braucht es *keinen Begriff* auszudrücken. In Ergänzung zu S. 231 gilt dies zum Beispiel bei Worten, die folgendes ausdrücken (s. a. Tab. 9.4):

Tabelle 9.4 Zusammenstellung von einigen Unterschieden zwischen Bedeutung und Begriff

Bedeutung	Begriff
zur Verständigung notwendig,	zum Denken notwendig,
wird über sinnlich wahrnehmbare Qualitäten erschlossen,	entsteht im Prozeß von Klassenbildung und Abstraktion
wird durch viele Einflüsse u. a. der Erfahrung ständig verändert und wird individuell unterschiedlich, jedoch im Zusammenhang und nicht einzeln erlernt,	bleibt im wesentlichen unveränderlich, wird durch Definition und Begriffsexplikation einzeln präzisiert. Änderung erfolgt nur mit Fortschritten in der Erkenntnis,
gehört der Sprachgeschichte an und kann daher in jeder Sprache anders sein,	gehört zur Ontogenese und ist unabhängig vom jeweiligen Sprachbau,
erfaßt auch voluntative und emotionelle Komponenten,	ist rein rationeller Art,
ein Wort muß eine Bedeutung haben,	ein Wort braucht keinen Begriff auszudrükken, dennoch ist das Wort die Existenzform des Begriffs,
ein Wort kann viele Bedeutungen tragen; ihr Umfang ist nie ganz geschlossen, hat einen Begriffskern mit individuell stark wechselnden Nebenvorstellungen und Begleitgefühlen,	ein Begriff muß immer eindeutig sein und ist in der Regel genau definiert,
ist z. T. wesentlich vom Kontext abhängig,	bleibt in beliebigen Zusammenhängen unverändert,
Objekte haben Eigenschaften,	Begriffe haben Merkmale, nach denen die Objekte Klassen zugeordnet werden.

Tabelle 9.5 Zusammenstellung von unterschiedlichen Termini, die in ähnlicher Weise auf die beiden Bedeutungsbegriffe, nämlich Objekt- und Abbildbezug, zurückgehen. Leicht geändert nach WUNDERLICH [W21]

Autoren	Objektbezug (Sachbezug)	Abbildbezug (Begriffsbezug)
J. S. MILL	denotation	connotation
G. FREGE	Bedeutung	Sinn
B. RUSSEL	denotation	meaning
M. BLACK	reference	sense
R. CARRAP	Extension	Intension
G. KLAUS	Bezeichnung (Sigmantik)	Bedeutung (Semantik)
F. v. KUTSCHERA	Bezug	Bedeutung
Sonstige	Signifikant	Designat
	Zeichenkörper	Signifikat
	Form	Vorstellung
	Ausdruck	Inhalt

- innere Zustände und Gefühle des Menschen, wie Angst, Freude usw.,
- Floskeln der Höflichkeit, Ironie, Zweifel usw.,
- Bezeichnungen von Personen, von Bergen, Flüssen usw., von einmaligen geschichtlichen Ereignissen und von Erdachtem (z. B. Engel).

Ähnlich wie Bedeutung und Begriff sich z. T. gegenüberstehen und doch auf dasselbe, nämlich das *Wort* Bezug nehmen, sind in vielen Arbeiten *zwei Bedeutungsbegriffe* eingeführt worden. Sie tragen ähnlich wie die Bedeutungseinheit je nach den Autoren unterschiedliche Namen, zeigen natürlich auch von Fall zu Fall einige Unterschiede. Eine entsprechende von WUNDERLICH übernommene und leicht geänderte Zusammenstellung zeigt Tab. 9.5. Als einziger formaler Ansatz ist der von R. CARNAP [C1] zu betrachten. Dies dürfte auch der Grund sein, daß die beiden Begriffe *Extension* und *Intension* recht häufig angewendet werden. Die Intension kann kurz als ein *Begriffsinhalt* aufgefaßt werden, der die Eigenschaft gewisser Objekte mit einem Prädikat erfaßt. Er ist *nur im Gedächtnis vorhanden. Extension* betrifft dagegen den *Begriffsumfang.* Sie gilt also für eine Gegenstandsklasse von Individuen, auf die das Prädikat zutrifft. Sie ist also auf Objekte bezogen. CARNAP hat hierzu eine spezielle *Logiksprache* entwickelt. In ihr kann er per Definition festlegen, wann zwei Begriffe die gleiche Extension bzw. Intension besitzen. Schrittweise wendet er dann die Ergebnisse auf Prädikate, Eigennamen (Individualausdrücke und Deklarationssätze) an (s. Tab. 9.6.).

Tabelle 9.6 Anwendbarkeit der Begriffe Extension und Intension auf verschiedene Bereiche nach CARNAP [C1]

Bereich	Extension	Intension
Satz	Wahrheitswert	Proposition (Begriff, der wahrheitsfähig ist)
Individualkonstante (Eigenname)	Individuum (Gegenstand)	Individualbegriff (Gegenstandsbegriff)
einstelliges Prädikat	eine Klasse	eine Eigenschaft
n-stelliges Prädikat	Klasse geordneter n-Tupel von Individuen	n-stellige Relation
Funktor	Werteverlauf	Funktion

9.2.7. Komponentenanalyse und sprachliches Feld

Es gibt *vier Begriffe,* die bei der semantischen Analyse immer wieder vorkommen:

- *Polyseme* liegen dann vor, wenn ein Wort mehrere Bedeutungen besitzt, z. B. Nummer einer Zeitung, Nummer als ein Stück in einem Programm und als Hausnummer,
- *Homonyme* sind oft nicht ganz eindeutig von den Polysemen abzugrenzen. Sie liegen vor, wenn ein Lautkomplex verschiedene Bedeutungen besitzt, z. B. malen und mahlen, Waagen und Wagen, das und der Tor. Übergänge treten ein, wenn äußerlich keine Unterscheidungen mehr existieren, z. B. Schloß als großes, prunkvolles Gebäude und als technisches Mittel, um etwas zu verschließen. Hier hat der Bedeutungswandel zur Homonymie geführt,

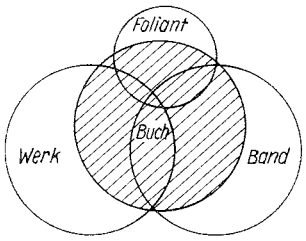


Abb. 9.23 Mengentheoretische Darstellung zur Veranschaulichung der Zusammenhänge bei den Synonymen Foliant, Werk, Band, Buch.

- *Synonyme* sind unterschiedliche Wörter, die nahezu gleiche Bedeutung tragen. Vollkommene Synonyme existieren wohl nicht. Die einzelnen Synonyme überdecken sich immer nur teilweise (s. Abb. 9.23),
- *Antonyme* sind Worte mit entgegengesetzter Bedeutung, also z.B. hoch-tief, schwer-leicht, gut-böse usw.

Zur *Polysemie* sei hier eine Feststellung von AGRICOLA [A2, S. 529] gebracht:

„Die Zahl der einzelnen Bedeutungsvarianten hält sich meist in gewissen Grenzen. Von den 5000 mehrdeutigen Stichwörtern des Wörterbuches „Wörter und Wendungen" (Leipzig 1962; H. V.) z. B. haben nur 39 zehn oder mehr Bedeutungsvarianten, darunter überwiegend Verben (geben, ziehen, kommen, gehen, setzen, stehen, machen, nehmen, halten u. a.), seltener Adjektive (scharf, hoch, gut, klein, groß, hart) und noch seltener Substantive (Zug, Schlag, Bau, Grund)."

In der Mehrzahl der Fälle wurden *semantische Analysen* bisher relativ isoliert durchgeführt. Es gibt z.B. unterschiedliche Analysen des Wortschatzes nach Sach-, Sinn-, Themen- und Begriffsgruppen. Es gibt auch Wortschatzeinteilungen nach Synonymen und Antonymen.

Die Vielzahl der Möglichkeiten sei an einigen Beispielen erläutert:

Hahn — Henne — Kücken,
Dach — Haus bzw. Wipfel — Baum,
gehen — Füße bzw. Hund — bellen,
Versammlung — abhalten.

Semantische Merkmale lassen sich auch nach der Anzahl der durch sie gebundenen Stellen klassifizieren. So sind *einstellige Prädikate*: menschlich, erwachsen. belebt usw.; *zweistellige* dagegen sind Vater, Mutter, essen, lieben usw.. Bei den *dreistelligen* Prädikaten, wie geben, bekommen, kaufen, müssen z.B. bei geben nicht alle drei Bindungen besetzt sein, und bei kaufen können auch mehr als drei vorkommen.

Die semantische Analyse zeigt, daß *in verschiedenen Sprachen* sehr unterschiedliche Verhältnisse existieren. So gibt es in einzelnen Sprachen, je nach den spezifischen Lebensgewohnheiten und Bedürfnissen der Menschen, für einzelne Gebiete überaus viele Detailbedeutungen. Dann fehlt häufig ein Überbegriff (s. Tab. 9.7). Ähnliche Zusammenhänge liegen, wenn auch nicht in dieser Kraßheit, selbst bei europäischen Sprachen vor. So gibt es nur im Deutschen für alle Geräte, die Informationen aufbewahren den einheitlichen Begriff Speicher.

Die bisher erwähnten *Bedeutungsanalysen* sind durch ihre *Linearität* gekennzeichnet. So wie in der Syntax gemäß Abb. 9.24 zwei Richtungen der Analyse: Sintagma und Paradigna zu unterscheiden sind, gibt es auch ähnliche Möglichkeiten in der Semantik.

Tabelle 9.7 Beispiele über den unterschiedlichen Wortumfang in verschiedenen Sprachen zu unterschiedlichen Gebieten

Sprache	Gebiet-Begriff	Anzahl der Worte
arabisch	Kamel	ca. 6000
Maori (Polynesien)	Farbnuancen	ca. 3000
ein Negerstamm	braune Farbtöne	500—800
Hausa-Neger	Hirsearten	ca. 90
Lappen	Schneearten	21
	Eisarten	20
	für kalt	11
Tasmanier	Feuerarten	12
Beduinen (Ägypten)	Sandarten	10

keine Überbegriffe existieren z. B. für:

Lappen	Schnee, Eis, kalt
Maori	Pflanze, Tier, Farbe
Tasmanier	Fisch, Vogel, Feuer

Abb. 9.24 Das Syntagma weist auf Beziehungen in einem Wort, das Paradigma auf solche zwischen Worten.

Ein noch relativ einfaches ist das *Matrix-Schema* bezüglich der semantischen Komponenten (s. Tab. 9.8). Mehrfach wurde versucht, hieraus und aus anderen Fakten *Entscheidungsbäume* für die Bedeutungselemente aufzustellen. Dies gelang jedoch bestenfalls *für enge Teilgebiete*. Im allgemeinen Fall hätte ja das vollständige Wissen, Fühlen, Handeln usw. der Menschheit in eindeutiger Weise klassifiziert werden müssen. Wie die Information und Dokumentation zeigt, gibt es dabei selbst unter dem speziellen Aspekt nahezu unüberwindliche Probleme (vgl. Abschn. 9.5). Erfolgreichere Versuche wurden mit *semantischen Feldern* für ausgewählte Gebiete erreicht (s. Abb. 9.25 bis 9.27). Abb. 9.27 ist inhaltlich weiter ausgeführt worden, denn auch den Verbindungen im Graphen sind Bedeutungen zugeordnet. Dadurch existiert mit dieser Abbildung bereits eine neue Qualität bezüglich der Semantik. Es handelt sich um den Übergang zu dem noch nicht eindeutig definierten Begriffsinhalt des *semantischen Netzes*. Er wurde bedeutsam etwa zu dem Zeitpunkt (vielleicht auch im Zusammenhang damit), als die automatischen Übersetzungen als gescheitert betrachtet wurden (s. Abschn. 9.2.2). Hier wandten sich mehrere Forschungsgruppen der *künstlichen Intelligenz* einem neuen Forschungsgegenstand zu, nämlich dem *Frage-Antwort-System* [vgl. L7; L8; Z1]. Dieses hatte für automatische Auskunftsysteme eine ähnlich große Bedeutung. Zu diesem Zeitpunkt wurden in der Information und Dokumentation auch die Grenzen der Thesauri erkannt (vgl. Abschn. 9.5). Bei den Frage-Antwort-Systemen wurde im allgemeinen daher eine neuartige Datenbasis gewählt, nämlich

Tabelle 9.8 Die Bedeutungsstruktur der Verwandtschaftsbezeichnungen. Darin bedeuten: ○ nicht relevant; + vorhanden; − fehlt (AGRICOLA [A2, S. 563])

	Verwandte(r)	Eltern	Vater	Mutter	Geschwister	Bruder	Schwester	Kind	Sohn	Tochter	Onkel	Tante	Cousin	Cousine	Neffe	Nichte
Lebewesen	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Mensch	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
verwandt	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
direkte Verwandtschaft	(−)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	−	−	−	−	−	−
gleiche Generation	○	−	−	−	+	+	+	−	−	−	−	−	+	+	−	−
älter	○	+	+	+	○	○	○	−	−	−	+	+	○	○	−	−
männlich	○	○	+	−	○	+	−	○	+	−	+	−	+	−	+	−
weiblich	○	○	−	+	○	−	+	○	−	+	−	+	−	+	−	+
Mehrzahl	○	+	○	○	+	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

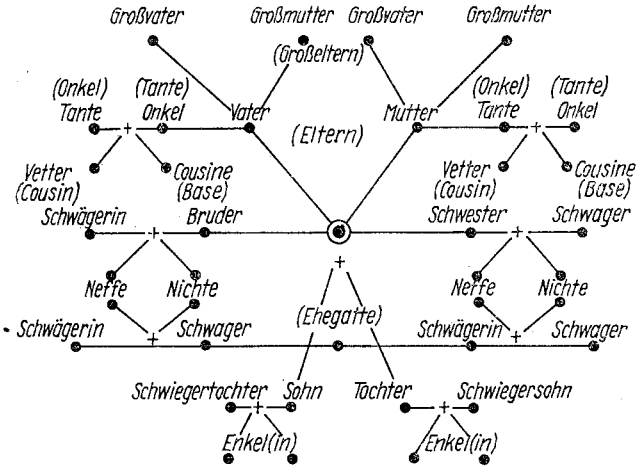


Abb. 9.25 Ausschnitt aus dem semantischen Feld der Verwandtschaftsbeziehungen [A2; S. 553].

das semantische Netz. Erstmalig schlug so etwas wohl QUILLIAN vor [Q1] und dann SIMMONS [S36]. Hier kann nicht auf die vielfältigen Details und Varianten, die heute existieren, eingegangen werden. Es seien statt dessen nur einige wenige — vielleicht die wesentlichsten — Fakten herausgestellt. Sowohl beim *Thesaurus* als beim *semantischen Netz* liegt ein *Graph* vor, der netzartiges Aussehen hat und in der Regel nicht „plättbar" ist, also räumlich ist. In beiden Fällen stehen *in den Knoten* im weitesten Sinn *Begriffe*, und die *Kanten* sind *mit Relationen* zwischen den Begriffen oft auch gerichtet *bewertet*. In beiden Fällen existiert für einen Begriff im ganzen Netz auch nur ein Knoten. Der zentrale Unterschied zwischen Thesaurus und semantisches Netz zeigt sich bei der Anwendung und Funktion.

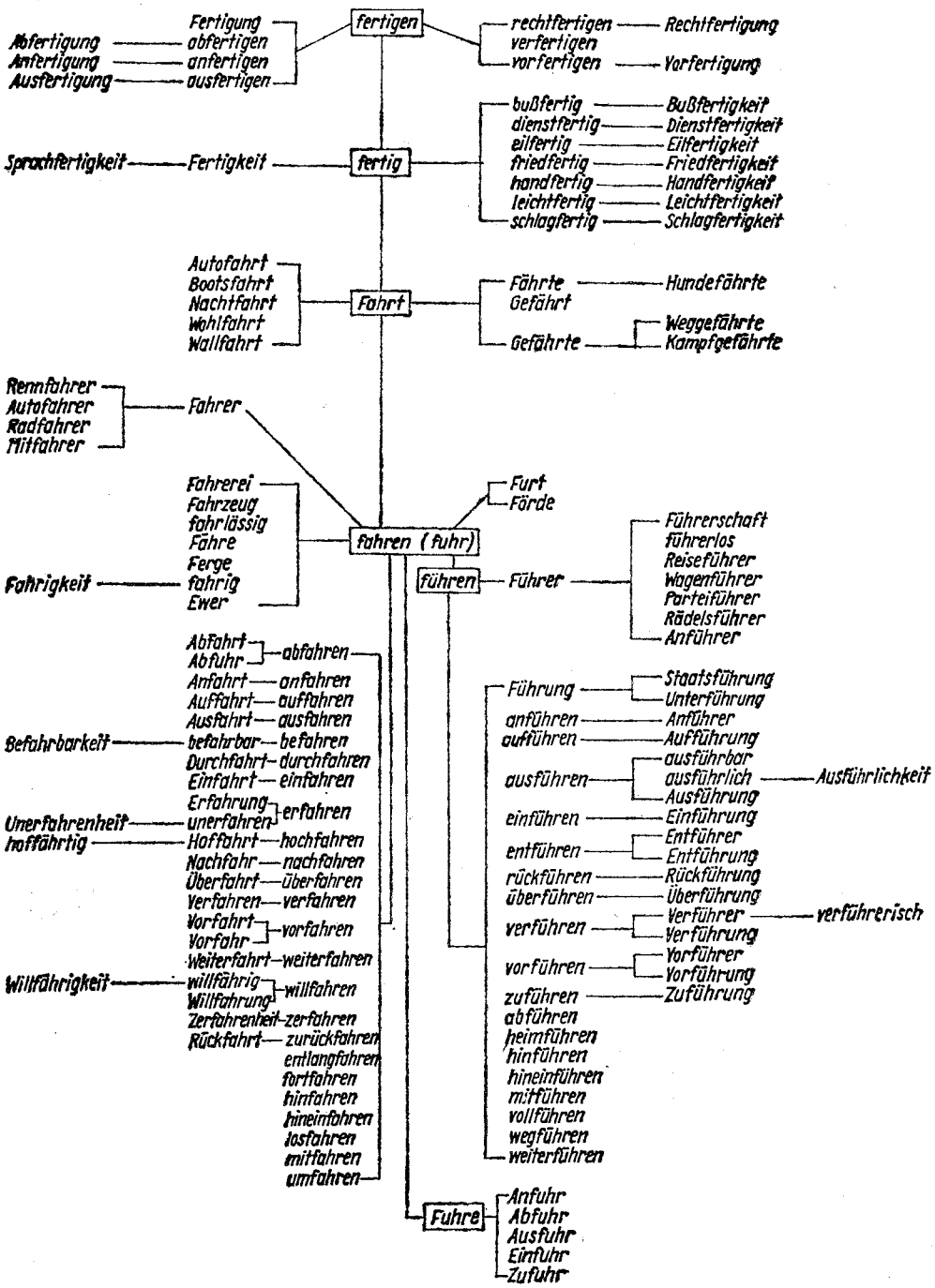


Abb. 9.26 Wortfamilie von „fahren“ [A2, S. 539].

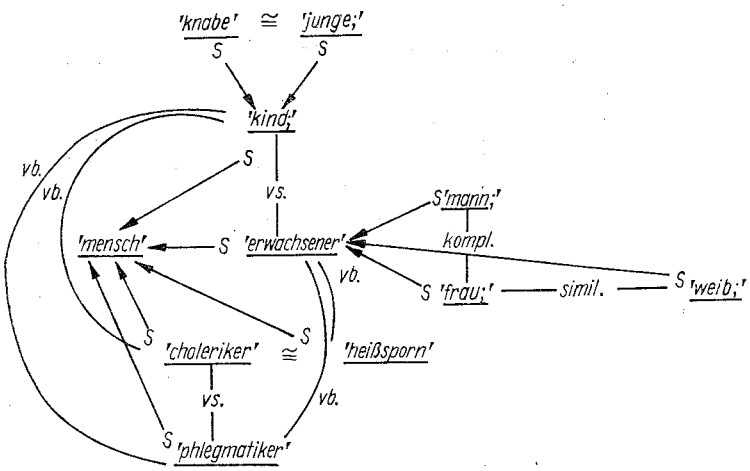


Abb. 9.27 Semsystem zum Begriff Mensch [V2, S. 342].
Es bedeuten: ≅ : Identität, vb: vereinbar, vs: Antonymie, komp: Kompliment, simil: Spezifikation, S: Subordination.

Beim *Thesaurus* ist die gesamte Struktur, also die Knoten und die Kanten einschließlich ihrer Belegungen, zu Beginn der Arbeit im wesentlichen gegeben. Bei der Anwendung des Thesaurus werden zunächst den einzelnen Dokumenten, (z.B. Fachartikel, Deskriptoren (Begriffe der Knoten) zugeordnet. Danach wird den Knoten im Thesaurus das Dokument zugeordnet. Dadurch ist es jederzeit mittels des Deskriptors wiederfindbar. Die Ausgabe eines Thesaurussystems ist die (höchstwahrscheinlich) relevante bibliographische Angabe der Dokumente.

Ein *semantisches Netz* ist dagegen bei der Arbeit ständig eine dynamische Struktur. Ganz zu Beginn ist sie bestenfalls potentiell gegeben. Dabei haben das geschaffene Programmsystem, die Programmiersprache und die Speichermöglichkeiten und -grenzen der verwendeten EDV erheblichen Einfluß.

Zu Beginn ist der Speicher für das semantische Netz leer. Es werden dann z.B. folgende Sätze eingegeben:

1. Im Gehirn sind Neuronen vorhanden.
2. Das Neuron ist eine spezielle Zelle.
3. Sie enthält u. a. Neurit, Dendrit und Synapse.

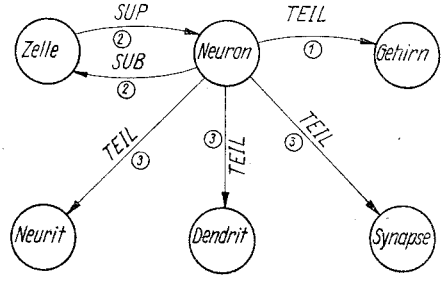


Abb. 9.28 Aufbau eines semantischen Netzes aus den drei Sätzen des Texts.

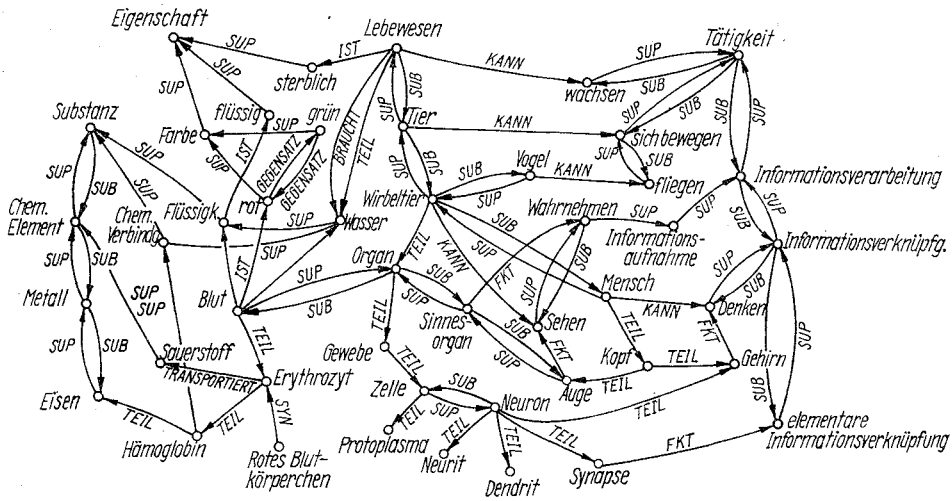


Abb. 9.29 Weiterentwickeltes semantisches Netz von Abb. 9.28. Die Verbindungen zwischen den Knoten sind entsprechend dem jeweiligen Anwendungsfall ausgewählte semantischen Relationen. In diesem Fall ist die Vielzahl der Wortgruppen in den Knoten zu beachten: z. B. Substantive, Verben und Adjektive.

Diese drei Sätze werden dann in die für das semantische Netz vorgegebene semantische (Tiefen-)Struktur umgeformt und entsprechend Abb. 9.28 gespeichert. Bei Eingabe weiterer Sätze entsteht dann z.B. schrittweise ein semantisches Netz, wie es Abb. 9.29 zeigt. Ein solches Netz hat den großen Vorteil, daß aus ihm auch Aussagen zu erhalten sind, die explizit nicht eingegeben wurden. Hierzu müssen in dem dazugehörigen Frage-Antwort-System zusätzlich Schlußregeln, z.B. bezüglich mehrfacher Anwendung der semantischen Regeln, implimentiert sein.

9.2.8. Antinomien, Objekt- und Metasprache

Schon mehrfach sind die Begriffe der Objekt- und Metasprache aufgetaucht. Sie sollen hier kurz begründet werden. Den Ausgangspunkt bilden dabei die *Antinomien*. Es gibt eine größere Anzahl unterschiedlicher Antinomien. KLAUS unterscheidet in seiner speziellen Erkenntnistheorie [K22] zumindest 5 *Typen*:

- Scheinantionomien,
- psychologische Antinomien,
- syntaktische Antinomien,
- semantische Antinomien,
- pragmatische Antinomien,
- dialektische Widersprüche.

Die Einteilung in dieser dichten Form wurde zwar nie so explizit von KLAUS gegeben Sie erscheinen nur mit Beispielen an unterschiedlichen Stellen im Text. Insbesondere muß zum letzten Punkt, dialektische Widersprüche, sofort etwas bemerkt werden. Die Mehrzahl der einfachen Antinomien läßt sich heute nämlich auf unterschiedlichem

Niveau mit formalen Mitteln beheben. Dies trifft aber nicht für einen dialektischen Widerspruch, z.B. zwischen Kapitalisten- und Arbeiterklasse zu. Der Unterschied zwischen *dialektischen* und *logischen Widerspruch* besteht in drei *Fakten* [K24] und zwar bezüglich

- der objektiven Realität,
- der theoretischen Eliminiarbarkeit,
- des ausgeschlossenen Dritten.

Der dialektische Widerspruch existiert in der objektiven Realität, kann nicht theoretisch eliminiert werden, und beide sich widersprechende Aussagen sind bei ihm wahr. Er kann also nur durch Handlungen verändert werden. Noch anders liegen die Verhältnisse bei dem *Dualismus von Welle und Korpuskel.*

Das Antinomieproblem dürfte bereits PLATON bekannt gewesen sein. Es wird sogar angenommen, daß die *Antinomie des Lügners* bewußt gegen PLATONS absoluten Wahrheitsbegriff konstruiert wurde. Sie kann, wie auch in der Studie [V15] gezeigt wurde, kurz in der Aussage

„Ein Kretaer sagt: „Ich lüge"

zusammengefaßt werden. Wie bei allen anderen Antinomien gilt auch hier die Frage nach dem Wahrheitswert des Teiles:

„Ich lüge".

Sie ist nicht mit ja oder nein entscheidbar. Diese und ähnliche Antinomien, z.B. die Aussage: „Sokrates sagt Falsches", blieben lange Zeit ungeklärt und wurden schließlich mit der relativen Stagnation der Logik bis in die Mitte des 19. Jahrhunderts vergessen. Dort wurde die Problematik zunächst aus etwas anderer Sicht von der mathematischen Grundlagenforschung wieder aufgenommen. Im Zentrum steht dabei der Brief BERTRAND RUSSELS an GOTTLOB FREGE. Er bezieht sich auf die Cantorsche Mengentheorie und betrifft die *Menge aller Mengen, die sich nicht selbst als Element enthalten.* Es sei zunächst festgestellt, daß es solche gibt: so ist z.B. die Menge aller abstrakten Begriffe wiederum ein abstrakter Begriff. Es gibt auch Gegenbeispiele: So ist die Menge aller Menschen nicht selbst ein Mensch. Wenn x als Element und m als Menge bezeichnet werden, so lautet die Antinomie

$$\forall(x)\,[x \in m] \leftrightarrow \neg\,(x \in x)\,.$$

Die Formel gilt also für jedes Element x aus der Menge m. Nun sei gefragt, ob m als Element selbst in m enthalten sei. Es sei zunächst angenommen, daß dies gelte, dann folgt der logische Widerspruch

$$m \in m \leftrightarrow \neg\, m \in m\,.$$

Die Menge enthalte sich also nicht selbst als Element. Weil dann aber m selbst eine Menge ist, müßte sie auch in m enthalten sein, und es folgt der gleiche logische Widerspruch. Die Problematik hat FREGE zutiefst getroffen. Hatte er doch gerade seine „Grundgesetze zur Arithmetik" beendet. Im Nachwort (Jena 1893 Bd. II S. 253) ist

dementsprechend zu lesen:

„Einem wissenschaftlichen Schriftsteller kann kaum etwas Unerwünschteres begegnen, als daß ihm nach Vollendung einer Arbeit eine der Grundlagen seines Baues erschüttert wird.

In diese Lage wurde ich durch einen Brief des Herrn Bertrand Russel versetzt, als der Druck dieses Bandes sich seinem Ende näherte ...

Solatium (sic!) miseres, socius habuisse molarum. Dieser Trost, wenn es einer ist, steht auch mir zur Seite; denn alle, die von Begriffumfängen, Klassen, Mengen in ihren Beweisen Gebrauch gemacht haben, sind in derselben Lage. Es handelt sich hierbei nicht um meine Begründungsweise im Besonderen, sondern um die Möglichkeit einer logischen Begründung der Arithmetik überhaupt."

Als erster dürfte dieses Problem J. v. NEUMANN erkannt haben. Heute werden in der Mengentheorie Objekte von dreierlei Art eingeführt:

- *Urelemente.* Sie treten als Elemente von Gesamtheiten auf, enthalten aber selbst keine Elemente.
- *Mengen.* Sie sind sowohl Gesamtheiten als auch Elemente von anderen Gesamtheiten.
- *Unmengen.* Sie sind Gesamtheiten, die aber nicht Elemente anderer Gesamtheiten sind.

Urelemente und Mengen werden dann als Elemente und Mengen und Unmengen als Klassen bezeichnet. Wird die leere Menge benötigt, so muß sie dann gesondert, z. B. mit $\emptyset$, gekennzeichnet werden (s. Abb. 9.30).

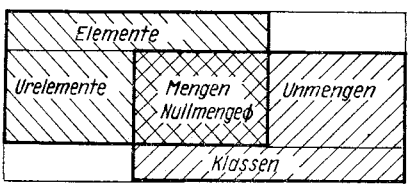


Abb. 9.30 Einteilungen in der Mengentheorie, mit der die Russelsche Antinomie vermeidbar ist (SCHREIBER [S18, S. 100]).

Diese und andere Autonomien erzwangen Konsequenzen u. a. in der Mathematik und in der Sprachwissenschaft, d. h. auch Kritik an der *Sprache als Instrument* der Forschung. Sie betreffen z. B.

- den Satz vom ausgeschlossenen Dritten,
- das Prinzip des Widerspruchs,
- das Problem der Selbstanwendbarkeit.

Für das Letzte sei ein Beispiel angeführt

> Der auf dieser Seite in einem Rechteck stehende Satz ist falsch.

Eine Lösung wichtiger Teile dieser Probleme erfolgt durch die Einführung einer *Objekt-* und *Metasprache.* Ins Anschauliche übertragen läßt sie sich besonders gut durch folgende Beispiele umschreiben. Es ist zweierlei, ob man Gedichte schreibt oder

über vorhandene Gedichte etwas schreibt. Dies verdeutlicht den *Unterschied von Kunst und Kunstkritik.* Ein anderes Beispiel liegt dann vor, wenn jemand *über die deutsche Sprache in französisch* redet. Es liegen also zwei Sprachebenen mit gegenseitigem Bezug vor. Die eine Sprache ist dann das Objekt (Objektsprache) über (griechisch: meta) das mit der zweiten Sprache, der Metasprache Aussagen gemacht werden. Im Sinne des *Shannonschen Kanalschemas* stellen sich beide Situationen gemäß Abb. 9.31 dar. Sender und Empfänger kommunizieren miteinander in der

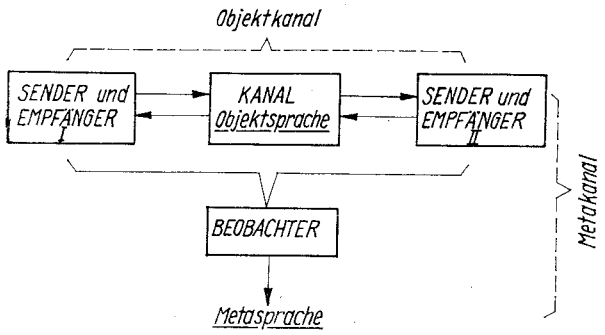


Abb. 9.31 Veranschaulichung des Verhältnisses von Objekt- und Metasprache im Kanalschema.

Objektsprache. Ein *Beobachter* betrachtet dieses Zusammenspiel von außen und beschreibt es in der *Metasprache.* In der *natürlichen Sprache* besteht nun das Problem darin, daß bezüglich Vokabular und Regeln *Objekt- und Metasprache zusammenfallen.* Dies wird besonders deutlich, wenn zwei Aussagen der folgenden Art nebeneinandergestellt werden:

1. Die Hauptstadt der DDR ist Berlin,
2. „Berlin" besteht aus sechs Buchstaben.

Es ist offensichtlich, daß in beiden Fällen Berlin jeweils einer anderen Sprache angehört. Beim ersten Satz geht es um das Objekt, die Stadt Berlin, beim zweiten Satz um die Buchstabenfolge B-e-r-l-i-n. Deshalb wurde Berlin hier in Anführungsstriche gesetzt. Wird dies nicht beachtet, so könnte mit logischen Regeln gefolgert werden: Die Hauptstadt der DDR besteht aus sechs Buchstaben.

Der entscheidende Ansatz zur Klärung von mathematischen Antinomien stammt von GÖDEL (vgl. Studie [V15]). Sein Weg läßt sich schematisch gemäß Abb. 9.32 darstellen. Er hat dabei jene Metasprache, welche zur Definition der Arithmetik notwendig ist, in den Objektbereich der Arithmetik übergeführt. Hierzu benutzte er eine spezielle Kodierung der Metasprache, die auch *Gödelisierung* genannt wird und Produkte von Potenzen aus Primzahlen verwendet. Dadurch konnte er auch für die Metasprache der Arithmetik die exakten Regeln der Arithmetik selbst anwenden. Deshalb wird sein Prinzip, bei dem die eindeutige Rücktransformation in die Metasprache wesentlich ist, auch Arithmetisierung genannt. Die sich dabei ergebenden Zahlen für die einzelnen Aussagen heißen Kode- bzw. Gödel-Nummer. (Aus diesen Grundsätzen folgen dann die schon in der Studie [V15] behandelten Ergebnisse.)

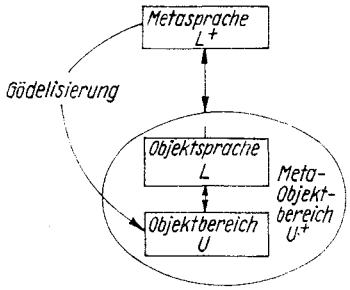


Abb. 9.32 Grundprinzip der Untersuchungen von GÖDEL.
Zu dem Objektbereich U, beispielsweise den natürlichen Zahlen, existiert die Objektsprache L der Arithmetik. Darüber hinaus existieren zur Definition der Arithmetik metasprachliche Aussagen, wie z. B. der Ausdruck: „4 + 4 = 8 ist richtig". Solche und ähnliche Aussagen bilden die Metasprache L^+. Mittels der Gödelisierung — ihnen allen werden dabei spezielle natürliche Zahlen, die Gödel-Zahlen zugeordnet — werden sie in den Objektbereich der Arithmetik übersetzt. Dabei entsteht der Meta-Objekt-Bereich U^+.

9.2.9. Averbales Denken und „Sprechen"

Es sollen die *nichtverbale Kommunikation* und nichtverbales *Denken* betrachtet werden. Beide Termini umfassen zwar eine Vielfalt von z. T. nicht einheitlichen Begriffen, dennoch haben sie relativ weite Verbreitung gefunden (z.B. [H13] HINDE). Der Grund dürfte darin liegen, daß infolge der umfangreichen Untersuchungen der natürlichen (verbalen) Sprache sowie der künstlichen Sprachen eine nicht unerhebliche Teilmenge der menschlichen Kommunikation recht vernachlässigt erschien. Ihr wurde dann zusammenfassend der nicht ganz glückliche Terminus averbal gegeben. Hier konnten dann u. a. Untersuchungen zum *vorsprachlichen Verhalten und Wahrnehmen* des Menschen, zu entsprechenden Vorstufen bei Tieren, aber auch zu „Rudimenten" und Begleiterscheinungen der verbalen Sprache durchgeführt werden. Dies sei an den wenigen folgenden Beispielen erläutert:

Die Bedeutung von *Begleitgesten* beim Sprechen zeigen eindeutig zwei Beispiele, das Gespräch am Telefon und der Unterschied zwischen geschriebenem und gesprochenem Text. Was müssen wir am Telefon alles zusätzlich aufbieten, um den Kontakt der persönlichen Rede zu erreichen. Im Gegensatz zum *Geschriebenen* enthält das *Gesprochene* u. a. einen erheblich größeren Ausdrucksreichtum durch Betonung, Geschwindigkeit, Tonhöhe, Artikulation, Pausen und Emotionalität der Sprache. Es gibt sehr viele Möglichkeiten, „ja" zu sagen. Gewisse *Selbständigkeit* erreichen z.B. die *Begleitgesten* des *Lächelns*, der *Tränen*, des *Errötens*. Vollständige Selbständigkeit liegt bei der *Pantomime*, dem *Ballett*, der Musik und dem Symbolchrakter z.B. in der chinesischen Oper vor. Im sozialen Feld gibt es eine echt nichtverbale Kommunikation u. a. durch *Blickaustausch*, *Körperhaltung* und spezielle Gesten. Daß die Begriffsbildung zuweilen vorsprachlich erfolgt, zeigt sich darin, daß wir Gedanken haben und sie intuitiv zu verstehen glauben. Es bleibt aber solange ein Unbehagen, bis dieser Gedanke in Worte gefaßt werden kann. Die *Sprache der Mathematik* zeigt umgekehrt den Übergang vom sprachlichen zum dann nicht mehr verbalen Denken. Er wird schon bei so

einfachen Symbolen, wie $\sqrt{\ }$, Σ, $\int$ und ∞, sichtbar, tritt aber noch deutlicher bei komplexeren Operatoren auf. Wie sprachfreies Denken möglich ist, versucht KAINZ [K8] zu belegen (Bd. 1, S. 162):

„Ein Mechaniker, der einen versagenden Motor untersucht, kann sich nach langem Herumprobieren, bei dem es sich um intellektgesteuerte Vornahmen, also um eine von Denkleistungen begleitete Tätigkeit, handelt, über die Ursache der Stockung klar geworden sein, ohne daß sich in seinem Bewußtsein ein einziges Wort gebildet hätte. Er kommt zu einem Urteil, ohne einen Satz zu formulieren. ... Sein zusammenfassendes Urteil besteht darin, daß er ein bestimmtes Werkzeug ergreift und dieses an einer bestimmten und keiner anderen Stelle ansetzt."

Bei Labyrinthbetrachtungen operieren wir im allgemeinen viel effektiver ohne Hinzunahme der Sprache. Der *Ariadnefaden* ist wohl eine Folge hiervon. Ein weiteres Beispiel sind die verschiedenen Arten von *Bildgeschichten*, z. B. bei BIDSTRUP. Schließlich sei noch das *Schachspiel* erwähnt. Ein guter Schaspieler ist stets imstande, sozusagen mit einem Blick die Situation zu erkennen und danach zu handeln. Die Simultanspiele großer Meister belegen dies. Dabei wird im allgemeinen weder Sprache verwendet, noch werden die Stellungen der einzelnen Figuren usw. einzeln erfaßt und gegeneinander abgewogen. Viele derartige Fakten werden durch die neuen Erkenntnisse zu den *beiden Hirnhälften* etwas verständlicher. Sehr kurz gefaßt befindet sich links das verbal logische Denken und das Sprechen, rechts das strukturell ganzheitliche Erfassen und keine Sprache. Trotz der vielen Fasern des verbindenden Balkens besteht diese Spezialisierung, und offensichtlich wird heute den Funktionen der linken Hirnhälfte aus mehreren Gründen die höhere Bedeutung zugesprochen.

9.3. Mathematik und Physik

In der Mathematik taucht der Begriff Semiotik explizit so gut wie nicht auf. Dagegen ist von Syntax und Semantik in mehreren Gebieten durchaus die Rede. Die Syntax formaler Sprachen wurde im Zusammenhang mit den formalen Sprachen in der Studie [V15] behandelt. Hier wird also ihre Semantik zu ergänzen sein. Auch in den Grundlagen der Mathematik und bei den Programmiersprachen existieren beide Begriffe. HERSCHEL [H10, S. 84] dürfte der einzige sein, der auch etwas zur *Pragmatik* sagt:

„Es ist die von Umständen wie Zeit oder Gefühlen abhängige subjektive Bedeutung für einen individuellen Benutzer ... Bei der Verwendung des Begriffes Sprache in Verbindung mit Automaten ist der Begriff Pragmatik natürlich belanglos, weil man bei einem Automaten nicht von einer von den Umständen abhängigen subjektiven Bedeutung von Zeichen sprechen kann."

Es ist hier nicht wesentlich zu entscheiden, ob die Aussage so haltbar ist oder nicht. Jedenfalls findet zumindest z. Z. der Begriff und Inhalt der Pragmatik in den Disziplinen der Mathematik keine Anwendung.

9.3.1. *Grundlagen der Mathematik

Wie es zu den Anwendungen der Begriffe *Syntax und Semantik* in den Grundlagen der Mathematik kam, wird besonders klar bei NAGEL und NEWMAN [N1] gezeigt. Aller-

dings werden dort diese Begriffe nicht verwendet. In einigen Gedankengängen wird hier den dortigen (allerdings stark verkürzt) gefolgt.

Die moderne mathematische Grundlagenforschung entwickelte sich gegen Ende des vorigen Jahrhunderts auf dem Gebiet der mathematischen Logik. Für sie gibt es heute die verschiedensten fast synonymen Begriffe, wie symbolische, axiomatische, moderne oder extensionale Logik bzw. Logistik. Vielfach wird heute die Mathematik als eine Wissenschaft bezeichnet, die logische Folgerungen aus gegebenen Axiomen und Postulaten zieht. Diese Aussage ergibt sich aus der nach und nach erfolgten Eingrenzung des Gegenstands der Mathematik. Heute läßt sich sagen, daß mathematische Sätze eher von etwas beliebigen, als von genau umschreibbaren Systemen, Objekten oder deren Eigenschaften handeln. Dies ist eine Folge und zugleich ein notwendiger Zweck der hohen Abstraktion der mathematischen Aussagen. Erreicht wurde dieses Ergebnis durch eine möglichst weitgehende Formalisierung. Mathematische Ableitungen sind eben eher gültig infolge der Form der Sätze als infolge von Eigenschaften von bestimmten Systemen oder Objekten. Dies hat RUSSEL einmal in seinem berühmten Epigramm ausgedrückt: *Die reine Mathematik ist jene Disziplin, bei der man weder weiß, worüber man spricht, noch ob das, was man sagt, wahr ist.* Im Prinzip ist in der Mathematik also nichts über Raum, Zeit, Quantität, Winkel usw. enthalten. Die Folge der *starken Formalisierung* hatte aber auch erhebliche Vorteile. Es ließen sich nämlich jene Grenzen vermeiden, die durch die Interpretation aus dem jeweiligen Anschauungsgebiet mit einbezogen wurden. So lassen sich ohne jede Interpretation Axiome bilden, aus denen dann das ganze mathematische Gebäude des zugehörigen Gebietes aufgebaut wird. Ein Beispiel hierfür ist die nichteuklidische Geometrie. Insgesamt entsteht so eine neuartige Axiomatisierung der Mathematik.

Vorbild für den Aufbau einer mathematischen Disziplin war lange Zeit die euklidische Geometrie. HILBERT konnte 1899 zeigen, daß nur die folgenden Ausdrücke in ihr *undefiniert* bleiben: *Punkt, Gerade, liegt auf und zwischen.* Im Laufe der weiteren Entwicklung der Mathematik wurde eine ähnlich strenge Axiomatisierung auch für andere Gebiete versucht. Sie führte immer dazu, daß eine mathematische Disziplin auf eine andere abgebildet, d. h. zurückgeführt wurde, z. B. die Geometrie auf die Algebra.

Bei diesen Untersuchungen bleibt aber immer die Frage offen, ob die Axiome vollständig und widerspruchsfrei sind. Solange es sich um finite Systeme handelt (also mit nur endlich vielen Elementen), ist dies im Prinzip trivial. Es sind eben einfach alle möglichen Kombinationen durchzuprobieren. Sobald aber infinite Systeme zur Anwendung kommen, ist das nicht mehr möglich. Daher können Widersprüche auftreten. Das Beispiel der Russelschen Antinomie der Mengentheorie (Abschn. 9.2.8) zeigt dies. HILBERT versuchte hier, den Weg der vollständigen Formalisierung zu gehen. Er unterschied dazu zwei Gebiete: *mathematische und metamathematische Aussagen.* Sie entsprechen den Begriffen Objekt- und Metasprache des Abschnitts 2.8. Hierzu sei das *Beispiel* der *Schachtheorie* aus NAGEL und NEWMAN [N1, S. 38ff] direkt übernommen:

„Es ist zweckmäßig, sich die Metamathematik als eine Beweistheorie an Hand der Theorie des Schachspiels zu verdeutlichen. Schach wird mit 32 Steinen einer bestimmten Ausführung auf einem quadratischen Brett, das in 64 quadratische Felder unterteilt ist, gespielt, wobei die Figuren in Übereinstimmung mit bestimmten Regeln ziehen dürfen. Offenbar kann das Spiel ohne Zuordnung irgendeiner „Interpretation" an die Figuren

und ihre verschiedenen Stellungen auf dem Brett gespielt werden, obwohl eine solche Interpretation gefunden werden könnte, falls man dies wünscht. Es ließe sich etwa annehmen, ein bestimmter Bauer repräsentiere eine gewisses Regiment einer Armee, ein gegebenes Feld vertrete einen Landstrich usf. Aber solche Annahmen (oder Interpretationen) sind nicht üblich; weder die Figuren, noch die Felder, noch die Stellungen der Figuren auf dem Brett bezeichnen irgend etwas außerhalb des Spieles. In diesem Sinne sind die Figuren und ihre Anordnungen auf dem Schachbrett „sinnlos". Insofern ist das Spiel den formalisierten mathematischen Kalkülen analog. Die Figuren und die Felder des Schachbrettes entsprechen den Elementarzeichen des Kalküls, die zulässigen Stellungen der Figuren auf dem Brett den Formeln des Kalküls, die Stellungen der Steine bei Spielbeginn entsprechen den Axiomen oder Ausgangsformen des Kalküls, die folgenden Stellungen von Figuren auf dem Schachbrett den aus den Axiomen abgeleiteten Formeln (d. s. die Theoreme) und die Spielregeln den Ableitungsregeln des Kalküls. Diese Entsprechung geht noch weiter. Obwohl die Anordnungen der Figuren auf dem Brett wie die Formeln eines Kalküls „sinnlos" sind, sind Sätze über diese Anordnungen, sowie Sätze der Metamathematik über Formeln, durchaus sinnvoll. Ein Satz des „Meta-Schach" kann z. B. mitteilen, daß es für Weiß genau 20 mögliche Eröffnungszüge gibt oder daß in einem bestimmten Fall, wenn Weiß am Zuge ist, Schwarz in drei Zügen matt gesetzt wird. Weiter lassen sich allgemeine „Meta-Schach"-Theoreme aufstellen, deren Beweis nur eine endliche Zahl von zulässigen Anordnungen auf dem Schachbrett erfordert. Das „Meta-Schach"-Theorem über die Anzahl der für Weiß möglichen Eröffnungszüge kann auf diese Weise nachgewiesen werden. Dasselbe gilt für das „Meta-Schach"-Theorem, daß Weiß Schwarz nicht matt setzen kann, wenn Weiß nur zwei Springer und den König hat, während Schwarz nur den König besitzt."

In diesem Sinne müssen also u. a. unterschieden werden: *sinnlose Zeichen* und aus ihnen gebildete sinnlose Zeichenketten. Dies wurde im Prinzip bereits ähnlich bei den formalen Sprachen im Abschn. 3.3. durchgeführt. Daneben existieren Aussagen über diese Zeichen. Sie gehören zur Metamathematik. Diese Unterscheidung zwingt auch zu der *Unterscheidung von Zahl und Zahlzeichen.* Die Zahl ist das sinnentleerte Objekt. So kann z. B. die Zehn durch die Zahlzeichen 10, X, LOLO dargestellt werden. Gleichungen der Form

(a) $2 + 3 = 5$,

(b) $2 + 3 = 7$

enthalten zunächst nur sinnlose Zeichenketten. Sie gehören zur Mathematik. Aber Aussagen der Form

„$2 + 3 = 5$" *ist eine arithmetische Formel.*

„$2 + 3 = 5$" *ist eine wahre und* „$2 + 3 = 7$" *ist eine falsche Formel der Arithmetik*

gehören zur Metamathematik. In ihnen kommen genaugenommen keine mathematischen Zeichen (Objekte) vor. Dies wird mit den Anführungszeichen verdeutlicht. Sie sollen aussagen, daß zwischen ihnen nur der Name für eine Formel steht. Dies wird noch deutlicher, wenn die Namen (a) und (b) verwendet werden. Dann lauten die beiden metamathematischen Aussagen nämlich:

(a) *ist eine arithmetische Formel*
(a) *ist eine wahre und* (*b*) *eine falsche Formel der Arithmetik.*

Auf dieser Basis der Trennung von Mathematik und Metamathematik *hoffte* HILBERT die *mathematischen Disziplinen* wie folgt *zu axiomatisieren*: Es werden vorgegeben:

- eine endliche Anzahl von Zeichen (Alphabet),
- eine endliche Anzahl von Erzeugungsregeln für zulässige Kombinationen der Zeichen zu Zeichenketten (Formeln),
- eine endliche Anzahl von Transformationsregeln, um aus Zeichenketten andere zu gewinnen.

Durch die Arbeiten von GÖDEL ergab sich, daß auch dieses Konzept nicht haltbar ist. Bereits die Arithmetik ist nach diesem Prinzip nicht axiomatisierbar.

Aus diesen Betrachtungen folgt deutlich, daß die *(Objekt-)Mathematik der Syntax entspricht.* Sie wurde in diesem Sinne bereits bei den formalen Sprachen (Studie [V15]) behandelt. Die *Aussagen der Mathematik gehören zur Semantik.* Aber auch wenn eine abstrakte Theorie für konkrete Systeme und Objekte interpretiert wird, entsteht eine Semantik in der Mathematik. Die Interpretation der heute zunächst abstrakten euklidischen Geometrie in den physikalischen Raum ist dann also eine der möglichen Semantiken. An dieser Stelle entsteht das *Problem der Wahrheit in der Mathematik.* In diesem Sinne sind in der Aussagenlogik auch konsequent die Wahrheitswerte L und O und die Wahrheitsfunktionen zu unterscheiden.

In der Technik, d. h. Anwendung der Booleschen Algebra, wurde diese Konsequenz lange übersehen. Heute ist es üblich, den Signalpegeln H (high) und L (low) je nach Bedarf und Anwendung unterschiedlich die Wahrheitswerte (1) und O zuzuordnen. Die Inkonsequenz besteht noch heute darin, daß ein Symbol, nämlich L, in zwei unterschiedlichen Interpretationen existiert.

In der Aussagenlogik ist die Syntax z. B. durch die Wertetabellen gegeben. Die Semantik stellt dann den Zusammenhang zwischen den Wahrheitswerten und Wahrheitsfunktionen her.

Auch die formalen Sprachen (vgl. Studie [V15]) sind sinnentleert. Für sie existiert zunächst nur eine Syntax in dem Sinne, daß nur entscheidbar ist, welche Zeichenreihen zu einer Sprache gehören und welche nicht. Für die Anwendung auf bestimmten Gebieten bedürfen sie einer Interpretation, d. h. einer Semantik (vgl. SCHREIBER [S18]). Das Gebiet der Metamathematik wird auch *logische Semantik* (reine Semantik) genannt. Es untersucht die Gesetzmäßigkeiten, welche für eine inhaltliche Interpretation (Deutung) beliebiger formaler Sprache gelten. Dies betrifft u. a. die Darstellung beliebiger Sachverhalte, das Problem der Wahrheit von Aussagen, die Synomie und andere Bedeutungsbezeichnungen. Damit ist zumindest im gewissen Umfang die logische Semantik eine gewisse Aussage für jede spezielle Semantik, z. B. bei natürlicher Sprache, Flaggensprache, Verkehrszeichen usw.

9.3.2. Rechentechnik

Bei der Rechentechnik handelt es sich um die *praktische Realisierung von Algorithmen* (vgl. Studie [V15]). Faktisch immer ist hierbei ein konkretes Handeln mit konkreten Objekten notwendig. Dies deutet selbst die Bezeichnung *Kalkül* an. Sie stammt vom lateinischen calculi (Kalksteinchen), und auch calculare (lateinisch rechnen) oder englisch to calculate gehören zu diesen Wortstamm. Im Grunde genommen ist aber

die Art der materiellen Basis nicht entscheidend. Es können hierzu sowohl die Kugeln des klassischen Abakus, die Zahnräder einer mechanischen Tischrechenmaschine als auch die Impulse in elektronischen Rechenautomaten dienen. Aber auch die aufschreibbaren Symbole, z.B. 2; x; +; Σ; $\int$ usw., dienen demselben Zweck. Das *rechentechnische Operieren besteht darin,* daß die entsprechenden, *räumlich und zeitlich geordneten Objekte entsprechend den Algorithmen in neue Konfigurationen übergeführt* werden. Allein aus der obigen Aufzählung wird deutlich, welche Wertigkeit den jeweiligen Gegebenheiten und Möglichkeiten der Veränderung den verwendeten Objekten in bezug auf den Algorithmus zukommt. Hierauf wurde bereits bezüglich der Auswahl sinnvoller Zeichen im Abschn. 9.1 eingegangen. Der *Vorteil der elektronischen Rechentechnik* liegt also gerade *in ihrer hohen Anpassungsfähigkeit* der entsprechend gestalteten Strukturen. In diesem Zusammenhang sei hier auch auf das Problem von Hardware und Software hingewiesen. Mehrere Aussagen hierzu befinden sich u. a. in der Studie [V15].

Die *Syntax einer Programmiersprache,* z.B. ALGOL 60, wird vorwiegend in zwei unterschiedlichen Formen dokumentiert, in der Form der *Syntaxtafeln* und in der *Backus-Naur-Normalform.* Beide Darstellungen sind für den Ausschnitt Zahl in Tab. 9.9 bzw. Abb. 9.33 gezeigt. Die *Rekursivität* der Definitionen von Symbolen wird

Tabelle 9.9 Zusammenstellung der Regeln zur Syntax einer Zahl in der Darstellung von BACKUS-NAUR bei ALGOL 60. Diese Notation ist wie folgt zu lesen: Jeweils links steht das zu definierende Symbol. Es ist wie alle Symbole, die nicht Grundsymbole sind, in ⟨⟩ eingeschlossen. Der Schrägstrich / ist als logisches Oder zu lesen. Das Zeichen ::= als : „ergibt sich aus:" Grundsymbole sind hier die Ziffern 0 bis 9; +; −; . und $_{10}$.

⟨ZAHL⟩::= ⟨ZAHL OHNE VORZEICHEN⟩ / +⟨ZAHL OHNE VORZEICHEN⟩
/ −⟨ZAHL OHNE VORZEICHEN⟩

⟨ZAHL OHNE VORZEICHEN⟩::= ⟨DEZIMALZAHL⟩ / ⟨EXPONENTENTEIL⟩ /
/ ⟨DEZIMALZAHL⟩ ⟨EXPONENTENTEIL⟩

⟨DEZIMALZAHL⟩::= ⟨GANZE ZAHL OHNE VORZEICHEN⟩ /
/ ⟨DEZIMALBRUCH⟩ / ⟨GANZE ZAHL OHNE VORZEICHEN⟩
⟨DEZIMALBRUCH⟩

⟨DEZIMALBRUCH⟩::=. ⟨GANZE ZAHL OHNE VORZEICHEN⟩

⟨EXPONENTENTEIL⟩::=$_{10}$ ⟨GANZE ZAHL⟩

⟨GANZE ZAHL⟩::= ⟨GANZE ZAHL OHNE VORZEICHEN⟩ / +⟨GANZE ZAHL
OHNE VORZEICHEN⟩ / −⟨GANZE ZAHL OHNE VORZEICHEN⟩

⟨GANZE ZAHL OHNE VORZEICHEN⟩::= ⟨ZIFFER⟩ / ⟨GANZE ZAHL OHNE
VORZEICHEN⟩ ⟨ZIFFER⟩

⟨ZIFFER⟩::= 0 / 1 / 2 / 3 / 4 / 5 / 6 / 7 / 8 / 9

in der Syntaxtafel durch die Unterscheidung in rechteckige und abgerundete Kästchen dargestellt, in der Notierung nach BACKUS-NAUR durch die Wiederholung der Symbole in anderen Definitionen. Es fällt auf, wie kompliziert doch schon die Definition einer Zahl ist. Doch dieses Beispiel wurde gewählt, um zu zeigen, was *Syntaxfehler* sein können. So muß z.B. eine Zahl offensichtlich stets mit einer Ziffer abschließen. Andere Endsymbole würden einen Syntaxfehler bedeuten. In einer Zahl darf höchstens ein Dezimalpunkt vorkommen. Es dürfen niemals $++$, $-+$, $+_{10}$ usw.

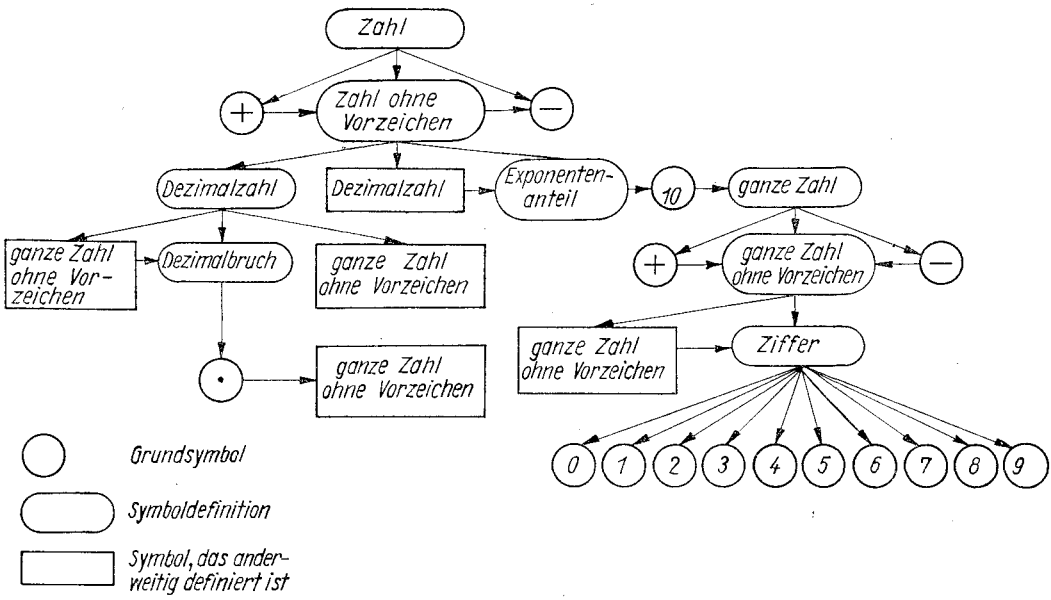


Abb. 9.33 Ausschnitt aus einer Syntaxtafel für ALGOL 60 für das Symbol Zahl.

unmittelbar aufeinander folgen. Derartige Konsequenzen fordert jede Programmiersprache. Sie alle zusammen bilden die Syntax der Sprache, die meist recht kompliziert ist. In ALGOL 60 sind je ca. 100 Grundsymbole und abgeleitete Symbole vorhanden. Für ihre zulässige Zusammenfügung gibt es ebenfalls ca. 100 rekursive Syntaxregeln. Sie müssen alle eingehalten werden, damit der Computer das Programm „versteht" und in die Maschinenbefehle umsetzen kann.

Die *Semantik einer Programmiersprache* entspricht, stark vereinfacht, der *funktionellen Wirkung des Programmes* bei der Rechnung. Dementsprechend gelten als semantische Fehler in einem Programm, wenn z. B. statt eines + ein × steht oder wenn bei einem arithemtischen Ausdruck die Klammern falsch gesetzt werden. Während im ersten ALGOL 60-Report von 1961 die Begriffe Syntax und Semantik noch nicht verwendet werden, tauchen sie dann im Revised Report von 1964 bereits verschiedentlich auf [B2, N6]. Bereits in ALGOL 68 wird grundsätzlich bei jeder Operation zwischen Syntax und Semantik unterschieden. Die obige Aussage wird hier [K19, S. 72] explizit noch verdeutlicht ausgesprochen.

„In diesem Bericht erläutert die Syntax, welche Folgen von Symbolen *Programme* sind und die Semantik, welche Aktionen durch den Rechner ausgeführt werden, wenn der Rechner das *Programm* abarbeitet. Syntax und Semantik sind beide rekursiv."

Syntaktische Fehler führen dazu, daß ein solches Programm nicht läuft; *semantische Fehler* führen dagegen zu falschen Ergebnissen. Syntaktische Fehler werden also in der Regel vom Computer erkannt und mit entsprechenden Kommentaren ausgedruckt. Für semantische Fehler bleibt immer der Programmierer (hier im weitesten Sinne gemeint) verantwortlich. Erst in der letzten Zeit wurde immer mehr versucht,

auch Tests und *Methoden zur Vermeidung von semantischen Fehlern* zu finden. Drei Methoden hierzu (auf sie kann hier nicht eingegangen werden) nennt ENDRES [E5, S. 129]: es sind dies die interpretative bzw. axiomatische Methode und die mathematische Semantik.

Auf Gründe, warum die Formalisierung der Semantik von Programmiersprachen so spät erfolgte, weist u. a. ROHLEDER hin. Bei einer künstlichen Sprache ist deren Bedeutung stets eine Metasprache, die zunächst in natürlicher Sprache formuliert wird. Sie ist beim Compilerbau notwendig, um zu sichern, daß ein geschriebenes Programm von allen Compilern gleichartig interpretiert wird. Eine Formalisierung dieser Semantik wird erst für wissenschaftlich-theoretische Untersuchungen oder wenn Programme zur automatischen Erzeugung von Compilern einer bestimmten Klasse geschrieben werden sollen, notwendig.

Es gibt auch eine Arbeit [K37], in der bezüglich der Rechentechnik der Begriff *pragmatischer Aspekt* verwendet wird. Er bezieht sich aber ausschließlich auf die *Wertart* (auch Modus- oder Typvereinbarung genannt), also z.B. REAL, INT und BOL bei ALGOL 68. Er soll ebenfalls dazu dienen, daß Programme fehlerfreier werden. Im eigentlichen Sinne liegt hier aber kaum eine Pragmatik vor.

9.3.3. Physik

Im physikalischen Schrifttum gibt es vor allem eine Arbeit von SCHLEICHERT [S11], die explizit von Semantik spricht. Ausgangspunkt ist hierbei die mehr oder weniger vollständige *Gleichsetzung von Semantik und Bedeutung* (S. 12):

„Man pflegt heute die Untersuchung der Bedeutung von Ausdrücken als „Semantik" zu bezeichnen. Es ist dies eine Disziplin, die von verschiedenen Standpunkten aus betrieben werden kann, von denen der in der vorliegenden Arbeit eingenommene nur einer ist."

Inhaltlich wird dann das Gebiet auf die Bedeutung von theoretischen Aussagen, Formeln und Formelsysteme für eine Interpretation im experimentellen Bereich der Physik eingeschränkt. Wie schon früher erkannt wurde, kann die Physik in theoretische und experimentelle eingeteilt werden. Zwischen beiden bedarf es der Vermittlung, Verbindung. Dies wird hier auf eine sehr systematische und neuartige Weise durchgeführt. Für die einzelnen mathematischen Operationen werden *schrittweise* die experimentellen Entsprechungen entwickelt. So wird gezeigt, daß für das Zählen in der Empirie nur diskrete, relativ konstante Elemente zu fordern sind. Als Beispiele werden die Impulsantworten eines Geigerzählers bzw. der Öltröpfchen-Versuch zur Bestimmung der Elementarladung genannt. Bei diesen und ähnlichen Experimenten ist dann auch die Addition und Substraktion physikalisch deutbar.

In der *Meßtechnik* werden unterschiedlich *Skalen* verwendet (s. a. Studie [V15]). Aus der Sicht der Theorie lassen sich zwei Typen unterscheiden. Für die *topologische Skala* sind die beiden Relationen „$<$" und „$=$" notwendig. Sie sind beide transitiv, die erste asymmetrisch, die zweite symmetrisch. Derartige Skalen existieren z.B. für die Temperatur und die Mohssche Härte. Für sie ist die Addition nicht zulässig. Dies gilt dagegen für Skalen für die Länge, Masse und Zeit. Hier läßt sich auch ein Nullpunkt definieren. Bereits die Multiplikation hat kein physikalisches Äquivalent. Dasselbe gilt für die Gleichheit von z.B. linker und rechter Seite einer Formel. *Formeln* lassen sich folglich *nur über meßtechnische n-Tupel*, z.B. in Form von Tabellen oder

Kurven, die experimentell erhalten werden, interpretieren. Damit gelangt man dann aber zur Frage, ob die Deutbarkeit von Formeln oder Formelsystemen eine erbliche Eigenschaft bezüglich der formalen mathematischen Operationen ist. In gewissen Grenzen scheint dies erfüllt zu sein. Damit steht aber die Frage, ob durch solche Operationen neue physikalische Erkenntnisse gewinnbar sind. Hier gilt die Antwort, es entsteht zumindest eine Hypothese.

Neben der Arbeit von SCHLEICHERT, aus der gerade einige wesentliche Ergebnisse referiert wurden, gibt es noch eine Arbeit von SCHEIBE [S9]. Sie zeigt, welchen Sinn Syntax und Semantik in der Physik haben können. Bedeutsam ist, daß beide Arbeiten etwa gleichzeitig und unabhängig entstanden sein dürften. SCHEIBE faßt seine Ergebnisse gemäß Abb. 9.34 zusammen und gibt dazu die folgenden Ergänzungen:

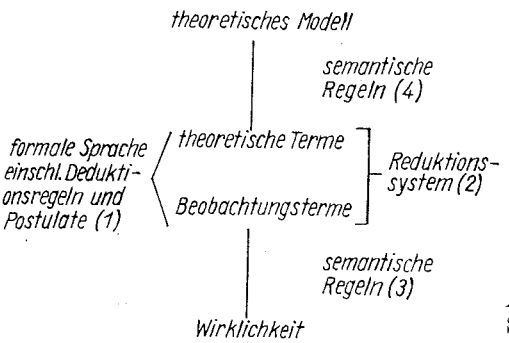


Abb. 9.34 Modelldarstellung zur Semantik in der Physik [9].

„(1) ist eine *formale Sprache* ... Diese Sprache enthält bereits *logische Deduktionsregeln* und *die außerlogischen Postulate* der Theorie. Die primitiven Terme werden eingeteilt in *theoretische Terme* und Beobachtungsterme.

(2) haben wir einen Bestandteil der Theorie, ... den ich hier ... *Reduktionssystem* der Theorie nennen will. Bei diesem handelt es sich nämlich um ein System von Sätzen der unter (1) genannten Objektsprache, welches deren theoretische Terme und Beobachtungsterme miteinander verknüpfen soll, und zwar mit der Tendenz, die ersteren auf die letzteren irgendwie zu reduzieren.

(3) ist ein *System von semantischen Regeln zur Interpretation der Beobachtungsterme* zu fordern, mit denen die Theorie sozusagen unmittelbar an die Wirklichkeit angeschlossen wird, und

(4) tritt ein System von ebenfalls *semantischen Regeln zur Deutung der theoretischen Terme* in einem sogenannten *theoretischen Modell* auf. Während also (1) und (2) rein syntaktischen Charakter haben, machen (3) und (4) den semantischen Teil der Theorie aus."

Dieses Modell versucht SCHEIBE dann auf einige Beispiele anzuwenden. Auch auf diese interessante Studie kann hier leider nicht weiter eingegangen werden. Es sei lediglich darauf verwiesen, daß einige philosophische Konsequenzen bei ALBRECHT [A6, S. 152 ff] behandelt werden.

9.4. Biologie, Medizin, Psychologie

9.4.1. Zoosemiotik

Tiere zeigen *Verhalten, das von Informationen beeinflußt* wird. Indem SEBEOK dieses als Inhalt der Semiotik ansieht, *definiert* er den Begriff *Zooosemiotik* [S30, S. 7]:

„Dieses Wort ist geprägt worden (...), um die notwendige Abhängigkeit dieses heraufkommenden Gebietes von einer Wissenschaft zu betonen, die im weiteren Sinne die Codierung von Informationen in kybernetische Kontrollprozesse mit einschließt, und die Folgerungen, die sich aus dieser Kategorisierung zwangsläufig ergeben, wo in einer um einen Übertrager erweiterten biologischen Form der traditionellen Kommunikationskette der Informationstheorie lebende Tiere die Funktion von Input-Output-Verbindungsrichtungen übernehmen."

Der *zoosemiotische Vorgang* wird dann durch *sechs Aspekte* gekennzeichnet:

- Expedienten (I = Sender),
- Perzipienten (II = Empfänger),
- Kanal (III),
- Code (IV = Satz von Transformationsregeln),
- Nachricht (V = Kette, die mittels der Regeln erzeugt wird),
- Kontext (VI = notwendiger äußerer und innerer Zusammenhang, damit die Nachricht wirksam wird).

Es fällt auf, daß nicht das Alphabet einbezogen wird, aus dem die Nachricht gebildet wird. Ferner wurden hier die Bezeichnungen z. T. erheblich abweichend von den Begriffen auf anderen Gebieten gewählt. Dies setzt sich dann auch bei der Definition der Teilgebiete *Syntax, Semantik* und *Pragmatik*, deren *Reihenfolge umgekehrt* auftritt, fort (S. 9): Es

„lassen sich drei ungleich entwickelte und sich im gewissen Maße überschneidende Forschungsgebiete unterscheiden: die *Zoopragmatik*, welche sich mit dem Ursprung, der Ausstrahlung und der Wirkung von Zeichen befaßt, also (I), (II) und (III); die *Zoosemantik*, welche die Bedeutung der Zeichen behandelt, also (VI); schließlich die *Zoosyntaktik*, welche sich mit den Zeichenkombinationen befaßt, ohne sich auf ihre spezifischen Bedeutungen oder auf die Verhaltensweisen, in denen sie vorkommen, zu beziehen, also (IV) und (V)."

Weiter werden dann unterschieden die *reine*, die *deskriptive* und die *angewendete Zoosemiotik*. In der reinen sollen theoretische Modelle entwickelt werden. Die deskriptive versucht, zunächst eine Systematisierung in das schon vielfältig vorhandene Beobachtungsmaterial zu bringen, und entwickelt neue Beobachtungsansätze für die weitere Forschung. Sie ist das z. Zt. ausgeprägteste Gebiet der Zoosemiotik. Die angewandte Forschung hat in den letzten Jahren große Bedeutung erlangt. Hier werden die Erkenntnisse zum Nutzen der Menschheit angewendet. SEBEOK nennt u. a.: „Bestäubung von Obstbäumen durch elektronisch programmierte Bienen". Weitaus umfangreicher scheint jedoch die Anwendung heute beim Fischfang und bei der industriellen Eiweißproduktion zu sein. Beim Fischfang nutzt man u. a. das Schwarmverhalten von Fischen aus. Die Ergebnisse für die Eiweißproduktion sind u. a. in der konzentrierten Broileraufzucht, Eierproduktion und bei der Rindermast wirksam geworden. Schließlich sind mit der Zoosemiotik auch Erkenntnisse über die Ent-

stehung der menschlichen Sprache erbracht worden. Auch die theoretische Erweiterung der Informationstheorie zur bidirektionalen ist ein Ergebnis der Zoosemiotik (s. Studie [V15]).

Ein Hauptvertreter der Zoosemiotik ist TEMBROCK, aus seinen Arbeiten sollen hier einige Ergebnisse referiert werden. Bei allen seinen Arbeiten fällt die erneut geänderte Reihenfolge der drei Teilgebiete auf. TEMBROCK *definiert* [T1, S. 117]:

„Die *Syntax* kennzeichnet alle raumzeitlichen Parameter bei der Beschreibung des Verhaltens, definiert die Einheiten, die Sequenzen, die Korrelationen, kurz alle räumlichen und zeitlichen Ordnungsprinzipien. Die *Pragmatik* erfaßt alle funktionellen Beziehungen unter Einbeziehung der relevanten Umwelt. Die *Semantik* schließlich bestimmt die Prinzipien der Codierung der Information, der Übertragung, die das funktionelle Bezugssystem aufbaut. Sie muß dabei auf die Syntax zurückgreifen, da sie eben durch die Codierung mitbestimmt wird, ohne mit ihr identisch zu sein." (Hervorhebungen von mir. H. V.)

Nur unwesentlich geändert, jedoch nicht mehr an einer Stelle kehren diese Aussagen bei TEMBROCK 1971 in [T2] wieder.

Als ein *Beispiel* typischer Darstellungen sei das *Kampfverhalten eines Rotfuchses* mit einem Konkurrenzrüden betrachtet. Dabei lassen sich 15 verschiedene Stellungen unterscheiden. Sie sind in Tab. 9.10 mit typischen Zeitdauern zusammengestellt.

Tabelle 9.10 Mittlere Dauer und beobachtete Häufigkeit beim Kampfverhalten von Rotfuchsrüden (TEMBROCK [T9])

Abkürzung	Stellung	Dauer in Sekunden	Beobachtete Häufigkeit
F	Frontalstellung	0,29	12
Ph	Pfotenheben	0,30	18
Nd	Niederdrücken	0,35	10
Bs	Beißen	0,43	14
Pk	Pfoten klammern	0,44	12
Kh	Kopfheben	0,46	48
Ks	Kopfsenken	0,53	29
Ab	Abwehrbuckel	0,58	27
As	Aufstellen	0,65	19
Pa	Pfote auflegen	0,75	12
Gs	Gegenstemmen	0,75	42
Vn	vorn niedergehen	0,77	47
Asp 2	Antiparallelstellung 2	0,8	5
Hb	Halsbiß	1,19	33
Asp 1	Antiparallelstellung 1	1,41	51

Ferner läßt sich das Verhalten durch die Übergangshäufigkeiten zwischen den Stellungen beschreiben. Dies zeigt Abb. 9.35. In anderen Situationen, z.B. zum Weibchen, treten natürlich andere Werte auf.

Ein zweites interessantes Beispiel stammt von TODT [T5] und betrifft den *Strophengesangs der Amsel*:

„Eine Amsel beherrscht je nach Veranlagung, Lernangebot und Lernanreiz und Alter von 30 bis zu mehr als 300 durch Frequenz, Frequenzverlauf und Dauer eindeutig charakteristische Strophenelemente. Diese „Elemente" sind gegeneinander durch Pausen von in der Regel etwa 0,1 s Dauer abgesetzte akustische Figuren. Jeweils 5 bis 30 Elemente

bilden eine *Strophe*. Eine Amsel kann — je nach Umfang ihres Repertoires — 5 bis mehr als 150 Strophenausführungen beherrschen. Die Strophen wiederum sind durch Pausen von mindestens 0,5, in der Regel 3,5 s Dauer gegeneinander abgesetzt. Ihr Nacheinander im Gesang ist — im Unterschied zum Nacheinander der Elemente — *nicht* streng festgelegt."

Im folgenden unterscheidet TODT dann die Klassen A bis L von Strophen und untersucht ihre Folge im Spontangesang und wie sie durch andere Amseln oder Bandaufnahmen beeinflußt wird. Abb. 9.36 zeigt ein Beispiel der Strophenklassenfolge und Tab. 9.11 die Matrix von Übergangshäufigkeiten. Es ist auffällig, daß das Tier viele Strophenklassen wiederholt (Diagonale). Ein häufiger Wechsel erfolgt von G nach A

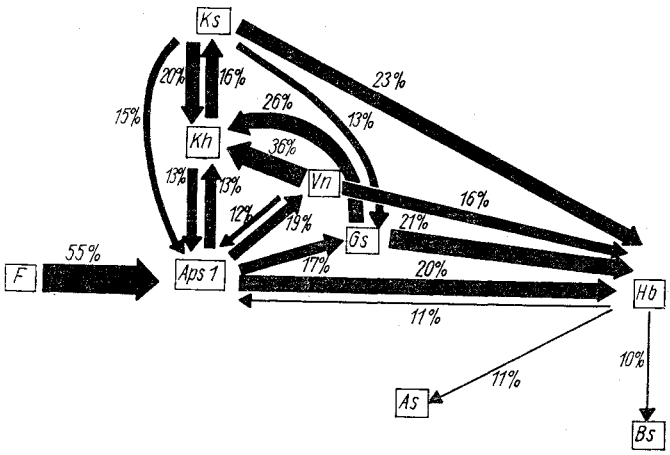


Abb. 9.35 Relative Übergangshäufigkeiten beim Kampfverhalten von zwei Rotfuchsrüden. (Abkürzungen Tabelle 9.10). Häufigkeiten unter 10% wurden zur besseren Übersicht fortgelassen.

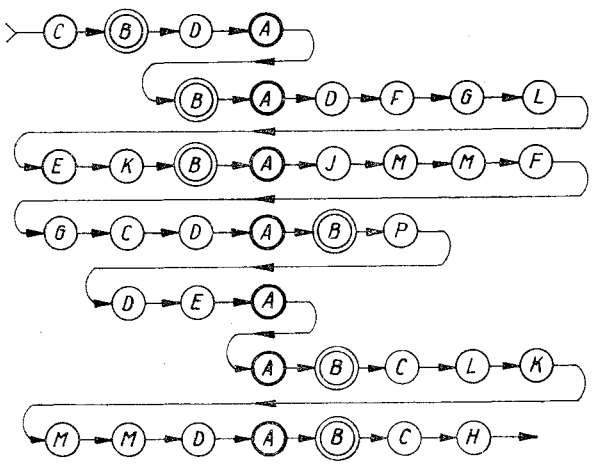


Abb. 9.36 Beispiel einer Folge von Strophenklassen im Spontangesang einer Amsel, etwas geändert nach TODT [T5]. Die Strophen A sind bewußt übereinander gestellt. Es fällt die unmittelbare Nachbarschaft von B auf.

Tabelle 9.11 Matrix der Übergangshäufigkeiten von Strophenklassen des Spontangesanges einer Amsel. Insgesamt wurden dazu 1700 Amselstrophen ausgewertet (TODT [T5]).

Vorausgehende Strophe	Nachfolgende Strophe: A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	Σ
A	**125**	74	14	6	24	25	**40**	11	13	17	17	366
B	31	**109**	34	3	12	4	10	9	17	6	2	237
C	24	1	**51**	**117**	8	3	1	13	2	3	1	224
D	45	15	**6**	**15**	29	35	4	0	12	4	1	166
E	19	16	40	8	**22**	5	3	10	7	9	6	145
F	7	4	12	11	29	**60**	5	3	2	7	1	141
G	**96**	1	8	1	1	1	**12**	2	1	2	3	128
H	2	6	10	3	2	0	45	**10**	2	3	3	86
I	2	4	13	2	9	3	2	2	**18**	27	1	83
K	5	0	33	1	3	1	2	26	4	**1**	2	78
L	8	7	4	1	6	3	4	0	4	0	**9**	46
Σ	364	237	225	168	145	140	128	86	82	79	46	1700

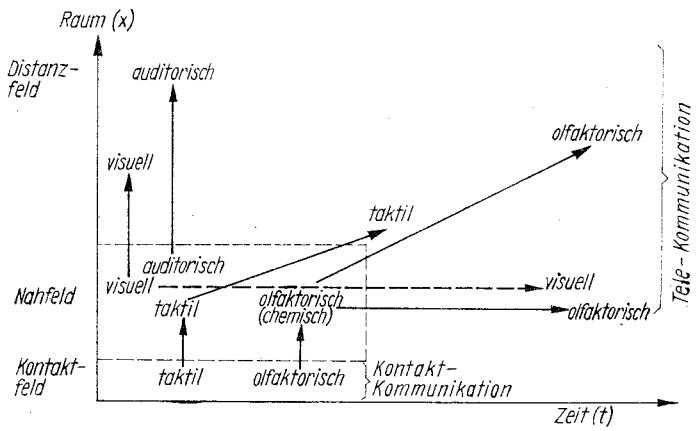


Abb. 9.37 Einteilung eines Raum-Zeit-Systems der Kommunikation nach TEMBROCK [T2].

und etwas seltener von A nach G. Nach C wurde besonders oft D gesungen, während die Umkehrung selten auftritt. Die Matrix ist daher unsymmetrisch.

In die *Pragmatik* bezieht TEMBROCK Klassifikationen des zur Übermittlung der Zeichen verwendeten Kanals ein. Eine entsprechende Einteilung zeigt Abb. 9.37. Es werden drei typische Raumbereiche: Kontakt-, Nah- und Distanzfeld unterschieden.

Unter *Semantik* werden von TEMBROCK u. a. auch Fragen der Kodierung eingeordnet. Hier sei z. B. Abb. 9.38 über die zeitliche Struktur des Leuchtens von verschiedenen Leuchtkäferarten gezeigt. Die Einordnung in Semantik nimmt TEMBROCK offensichtlich deshalb vor, weil er aus den Mustern auf Aussagen zur Identifikation der Art des sendenden Käfers folgert. In die Sematik bezieht er in dieser Hinsicht

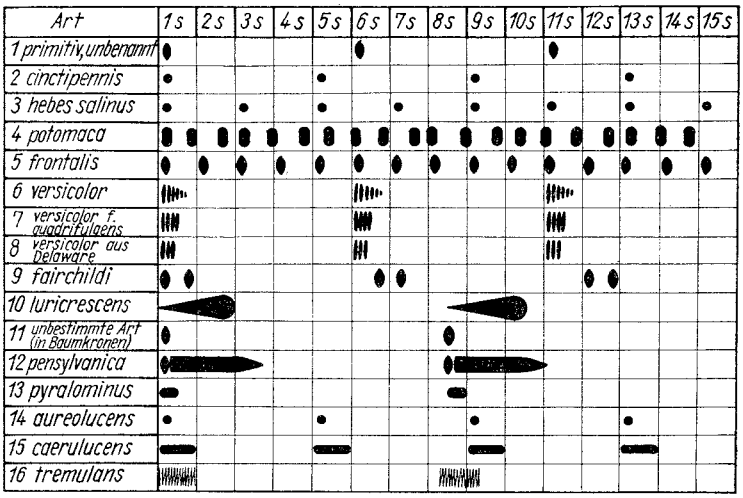


Abb. 9.38 Muster der Lichtimpulse des Leuchtens bei Leuchtkäfern. Die Käferarten 2 und 14 haben ein ähnliches Muster. Sie unterscheiden sich im Körperbau und haben kein gemeinsames Vorkommen [A8].

noch Zeichen ein, die Aussagen über die Motivation (z. B. Hunger) und über die Umgebung (z. B. Feinde, Nahrung usw.) beinhalten.

9.4.2. Medizinische Semiotik

Ein *erstes Buch zur Semiotik* in der Medizin soll von GRUNER aus dem Jahre 1775 stammen. Es wird in dem „Handbuch der Semiotik" von K. SPRENGLER, Halle 1801 [S44] erwähnt. Ein ebenfalls sehr altes und davon offensichtlich unabhängiges Buch zur Semiotik stammt von DANZ 1793 [D2]. Obwohl die drei Werke zeitlich erheblich vor den Arbeiten von PEIRCE liegen, werden insbesondere bei SPRENGLER die Ausdrücke bereits so gebraucht, daß ihnen auch in der heutigen Allgemeinheit zugestimmt werden kann. Deshalb seien hier einige Zitate aus der Einleitung wiedergegeben:

„1

Semiotik ist die Lehre von den Zeichen des widernatürlichen (krankhaften H. V.) Zustandes. Man kann sie auch Semiologie nennen, aber muß in diesem Falle mehr die Theorie der Zeichen als die gesamte Lehre davon verstehen.

2

Zeichen nennen wir alles, was in die Sinne fällt, insofern wir daraus etwa anderes erkennen können ..."

Erst später wird überhaupt ersichtlich, daß hier Medizin gemeint ist:

„4

Die Semiotik und die Pathologie unterscheiden sich voneinander hauptsächlich in Rücksicht der Methode, die in der einen Wissenschaft analytisch, in der anderen synthetisch ist ..."

Für SPRENGLER hängen die Zeichen generell ursächlich mit der Krankheit zusammen. Die Zeichen müssen dabei aber nicht immer unmittelbar erkennbar sein. Daher unterscheidet er *drei Arten von Zeichen*: *natürliche, künstliche und willkürliche.* Die natürlichen sind unmittelbar wahrnehmbar. Für die künstlichen sind besondere Fachkenntnisse notwendig, bzw. es müssen speziell Methoden angewendet werden, um die verborgenen Zeichen sichtbar zu machen. Bei den willkürlichen Zeichen hat der Arzt keine Möglichkeit, sie sichtbar zu machen. Die Zeichen vernimmt nur der Kranke selbst. Hier noch zwei weitere Zitate, die das Anliegen von SPRENGLER deutlich machen:

„34
Diagnostik ist die Kunst, aus vorhandenen Zeichen auf den gegenwärtigen, widernatürlichen Zustand, dessen Art und subjektive Modifikatkionen zu schließen ...

35
Daraus ergibt sich, daß die Diagnostik in der Tat ein Teil der Semiotik ist, ..."

Es scheint so, als ob der Begriff Semiotik in der Medizin weder allgemein aufgenommen noch weiter verwendet wird. Selbst ein bedeutendes Werk über die Geschichte der Medizin [M11] erwähnt ihn nicht einmal. Allerdings taucht dieser Begriff jetzt wieder bei ECO [E3] auf.

Neben der *Diagnostik* besteht in der Medizin selbstverständlich auch die *Therapie.* Hier wird zwar in keinem dem Autor bekannten Fall von Semiotik gesprochen. Demnach dürften zumindest die *Musiktherapie* und *Hypnose* zum Bereich der *Pragmatik* zu rechnen sein. Hier werden mittels Zeichen in Form von Worten bzw. Musik spezifische Wirkungen erzielt.

Bezüglich der *Hypnose* wurden von KLEINSORGE-KLUMBIS [K26, S. 12] die zwei physiologischen Grundlagen zusammengestellt:

„Die erste physiologische Komponente der Hypnose ist also die bedingt-reflektorische Wortwirkung."

Es zeigt sich,
„daß der *Wortreiz* sich als stärker erweisen kann, als ein gleichzeitiger, ihm widersprechender Sinnesreiz."
„Die zweite Komponente hat nun zu erklären, warum im gewöhnlichen Leben gesprochene Worte nicht die gleiche Wirkung haben."

In der Hypnose ist entscheidend:

„Es ist der Ausdruck der Gewißheit."

Er ist vom Hypnotiseur durch spezifische Suggestivwirkungen zu realisieren. Für den Hypnotisierten ist bei Wiederholungen der Hypnose seine bisherige Erfahrung wichtig (S. 24):

„Was gesagt wird, das geschieht."

Die Hypnose läßt sich unter gewissen Umständen soweit automatisieren, daß selbst das Vorzeigen oder Ansehen eines bestimmten Symbols bereits die Hypnose einleitet (S. 14):

„Die Tatsache, daß die Hypnose letztlich von nichts anderem ausgelöst wird als von Wortreizen und Suggestivreizen, bildet die Voraussetzung dafür, daß es nach deren mehr-

maligem Verbinden mit einem Signalreiz gelingt, die Hypnose durch einen Signalreiz allein auszulösen, also ohne Hypnotiseur. Wir machen bei der Ablationshypnose davon Gebrauch."

Bei der *Musiktherapie* lassen sich nun leider (bzgl. der Semiotik) keineswegs so klare Aussagen wie bei der Hypnose finden. Dies liegt vor allem daran, daß für die Musik noch keine befriedigende Klarheit bezüglich der Voraussetzungen ihrer Wirkung besteht. Als Definition schreibt SCHWABE [S25, S. 9]:

„Unter Musiktherapie sind psychotherapeutische Behandlungsverfahren zu verstehen, die bezwecken, mit verschiedenen Elementen der Musik und Musikgattungen sowie unterschiedlichen Formen des Musikrezipierens und der Musikbetätigung einen Einfluß im Sinne einer emotionalen Aktivierung, spannungsregulierenden Wirkung, kontaktfördernden Beeinflussung oder Steigerung der Erlebnisfähigkeit auszuüben."

In ähnlichem Sinne sind Aussagen zum verwandeten Gebiet der kommunikativen Psychotherapie bei KOHLER vorhanden [K35, S. 39]:

„Als zentralen Aspekt der Psychotherapie betrachten wir entsprechend unserer neurosentheoretischen Auffassung die *soziale Kommunikation*. Unter Kommunikation versteht man eine wechselseitige Einflußnahme mittels Zeichen bzw. Zeichensystemen, die induzierende Zustandsänderungen auslösen."

9.4.3. Allgemeine Semantik

Die allgemeine Semantik (general semantics) wurde von KORZYBSKI begründet. Sie ist im gewissen Sinne als medizinische Richtung aufzufassen, welche sich bemüht, *Probleme zu analysieren und zu beheben*, die sich aus dem *Zusammenleben der Menschen mittels Sprache* ergeben. KORZYBSKI schreibt (zitiert nach SCHAFF [S6, S. 83]):

„Die neuen Methoden beseitigen oder verringern verschiedene semantogene Hemmungen: zahlreiche „emotionale Störungen", sogar einschließlich mancher Neurosen und Psychosen, verschiedene Lern-, Lese- und Sprachschwierigkeiten usw., wie auch allgemeine Schwierigkeiten im Berufs- und Privatleben. Diese Schwierigkeiten sind weitgehend die Folge des Unvermögens, die „Intelligenz" in adäquater Art und Weise zu gebrauchen, um zu richtiger Bewertung zu gelangen.

Es ist bekannt, daß viele psychosomatische Symptome, wie z. B. manche Herzfehler, Krankheiten der Verdauungsorgane, der Atemwege, sexuelle Störungen, manche chronische Gelenkkrankheiten, Arthritis, Zahnfäule, Migräne, Hautleiden, Alkoholismus usw., um nur einige zu nennen, semantogen, d. h. neurosemantischen und neurolinguistischen Ursprungs sind. Beim allgemeinsemantischen Training wird der medizinische Gesichtspunkt als solcher nicht in Betracht gezogen. Wir beseitigen die schädlichen semantogenen Faktoren, und in der Mehrzahl der Fälle verschwinden die entsprechenden Symptome — unter der Voraussetzung, daß der Schüler bereit ist, ernsthaft an sich zu arbeiten."

Es ist verständlich, daß eine solche Einstellung auf den Widerstand und Widerwillen der ernsthaften Ärzte stieß und daß diejenigen, welche sich ernstlich mit Semantik beschäftigen, hierdurch längere Zeit diskreditiert wurden. Dennoch hat natürlich auch ein solches Herangehen gewisse reale Grundlagen. Es ist vor allem ein Verdienst SCHAFFS, diese deutlich herausgearbeitet zu haben. Als realer Kern verbleibt eben das Bemühen der Schule um KORZYBSKI, zu der u. a. A. RAPOPORT, S. T. HAYAKAWA, I. J. LEE und W. JOHNSON gehören, *herauszuarbeiten, wie die Menschen Wörter gebrauchen und wie die Wörter auf jene einwirken, die sie wahrnehmen.* Es ist dies die

Pragmatik der Sprache. Aus diesem Gebiet hat die Schule der allgemeinen Semantik versucht, eine neue Methode der Psychotherapie zu entwickeln. Dabei kam es der Ideologie des Pragmatismus entsprechend zu einer enormen Übertreibung, die sich schließlich auf alle nur denkbaren medizinischen und politischen Bereiche erstreckte.

9.4.4. Psychologie

Die hier vorzulegenden Aussagen beziehen sich lediglich auf die wichtigen Arbeiten von KLIX und, wenn nicht anders erwähnt, auf sein wichtiges Werk: Information und Verhalten [K28]: Er *benutzt* zwar *nie den Begriff Semiotik*, sondern grenzt sich sogar dagegen bewußt ab (S. 77):

„Es ist erforderlich, zuerst eine Abgrenzung zwischen der hier verwendeten Systematik des Begriffes Information und seiner Fassung in der Semiotik bzw. der allgemeinen Sprachwissenschaft vorzunehmen. Dort unterscheidet man zwischen der Syntaktik ..., der Semantik ... und der Pragmatik .... Wenn man, wie das hier geschehen soll, die Zusammenhänge zwischen Information und Verhalten analysieren will ..., dann kann man unmöglich bei der semantischen Seite einer Nachricht vom informationsaufnehmenden System und der Art seiner Informationsverarbeitung abstrahieren."

Anders ausgedrückt, müssen also bei der Semantik bereits pragmatische Aspekte berücksichtigt werden. Die übliche Hierarchie ist nicht aufrecht zu erhalten. KLIX unterscheidet *vier Aspekte der Information*, die dennoch im gewissen Umfang mit den semiotischen Aspekten übereinstimmen. Sie betreffen (S. 57—58):

„1. die quantitative Seite, also die Bestimmung des Ausmaßes oder der Menge, die zu einem bestimmten Zeitpunkt abgegeben oder in einem bestimmten Zeitintervall übertragen bzw. aufgenommen wird. Das ist der metrische Aspekt des Begriffes Information.
2. die strukturelle Seite, d. h. die Gliederungen, Relationen und Übergänge zwischen den Elementen einer Nachricht. Bei gleicher Informationsmenge kann die Gruppierung der Elementarereignisse verschieden sein. Das ist mit dem strukturellen Aspekt gemeint.
3. die inhaltliche Seite, also die Eigenschaften dessen, was die Elementarereignisse über die Quelle und ihre Zustände *für* empfangene Systeme bedeuten. Bei gleicher Menge und gleicher Struktur können *die Bedeutung oder der Inhalt* der Nachricht verschieden sein. Das ist der semantische Aspekt.
4. die Bewertungsseite, d. h. *der Nutzen oder die Bedeutsamkeit* dessen, was empfangen wird. Bei gleicher Bedeutung hängen Bedeutsamkeit oder Nutzen auch von der momentanen Lage bzw. inneren Bedingungen des informationsaufnehmenden Systems ab. Dies ist der pragmatische Aspekt."

Besonders nützlich in Ergänzung zu den bisherigen Betrachtungen zur Semiotik sind die *psychologischen Ergänzungen zur Semantik* (S. 75):

„Diese Relation zwischen der gebildeten Nachricht auf der einen Seite und dem durch sie aktivierten Gedächtniszustand im informationsaufnehmenden System auf der anderen Seite ist die Voraussetzung zur Aktivierung bestimmter Verhaltensantworten und Verhaltensbereitschaften. In ihnen wird die aufgenommene Information wirksam. Diese Relation zwischen Nachricht und zugehörigem Gedächtniszustand macht — zunächst etwas vereinfacht festgelegt — den Bedeutungsgehalt einer Nachricht bzw. den semantischen Aspekt der Information aus."

Das, was bisher etwa als *Abbild* beschrieben wurde, wird hier also als *Gedächtnisstruktur* konkretisiert. Weiter schreibt KLIX dazu (S. 76):

„Danach ist die semantische Seite der Nachricht durch die Zeichenfunktion des Signals bestimmt ... Jedes Zeichen ist Zeichen von etwas für etwas ... Aber erst wenn ein Zeichen kraft dieser Relation auch einstellungs- bzw. verhaltenswirksam wird, kommt ihm eine Bedeutung zu."

Auf S. 348 steht:

„Lernen besteht in der Ausbildung oder Korrektur von individuellem Gedächtnisbesitz."

Detailliert führt KLIX aus (S. 622—623):

„Um den Vorgang der Bedeutungsbildung zu verstehen, muß man zuerst erkennen, daß keineswegs nur sprachliche Elemente Bedeutung haben können. Es gilt hier, verschiedene Relationen zu unterscheiden, die jede für sich als Bedeutungsbildung ... gelten kann. Da ist zuerst die Relation zwischen Klassenbildung und Bezeichnung, sodann die zwischen Bezeichnung und der Einführung von Worten im Sinne der Benennung ... Eins ist aber allen Zeichen gemeinsam: Sie gewinnen ihre Bedeutung durch die Vertretungsfunktion ... Objekt und Zeichen sind bezüglich der durch sie hervorgerufenen Verhaltenseinstellung äquivalent."

In der letzten Zeit gibt es viele interessante Arbeiten zur *semantischen Struktur im Gedächtnis*. Diese wird experimentell über die *Reaktionszeit* bei unterschiedlich gestellten Fragen, die sich auf den gleichen Inhalt beziehen, ermittelt. Sie lassen vermuten, daß so etwas Ähnliches wie semantische Netze in unserem Gehirn realisiert sein könnten. Leider gibt es hierzu aber noch keine Übersichtsarbeit. Es sei deshalb nur auf KRAUSE [K39] verwiesen.

Wichtig scheint auch die Anwendung der *Oberflächen- und Tiefenstruktur* auf diesem Gebiet zu sein. Sie wird so interpretiert, daß die *Tiefenstruktur* wesentlich für *Erkennungsleistungen* ist, während der Prozeß der *Wahrnehmung* (Erkennung) sich an der *Oberflächenstruktur* orientieren muß. Als Beispiel wird die Vielfalt der Schneeflockengestalten herangezogen (S. 302). Trotz des unterschiedlichsten Aussehens der Oberflächenstruktur werden sie gut und schnell erkannt.

Die drei wichtigen Teilgebiete der Psychologie: Zeichenerkennung, Begriffsbildung und Problemlösen, kennzeichnet er in [K39, S. 2] dann wie folgt:

„Kurzum: Das Wahrnehmen vermittelt die Oberfläche, das Problemlösen die Tiefenstruktur von Zusammenhängen in Dingen und Ereignissen. Die Begriffsbildung nimmt eine Mittlerstelle ein: Sie ist Resultat des Wahrnehmens und Voraussetzung des Problemlösens."

9.5. Information und Dokumentation

Die Bezeichnung für dieses Gebiet hat sehr oft gewechselt und ist auch heute noch z. T. recht unerschiedlich, u. a. werden Bezeichnungen wie information science, Informationswissenschaft, Informatik, computer science, documentologie, informatistics, informatology, exalegetics und documentalistics verwendet. Einige Aussagen hierzu gibt WERSIG [W7, S. 139 ff]. Hier sei auf diese Zusammenhänge verzichtet und nur das Gebiet selbst betrachtet.

Gegenwärtig sind mehr als 2 Millionen Menschen in der Forschung tätig. Das bedeutet, daß 90% aller Wissenschaftler und Ingenieure, die je gelebt haben, in unserer Zeit leben (DAHLBERG [D1, S. 2]). Es wird dadurch wesentlich das Tempo des wissenschaftstechnischen Fortschrittes bestimmt. Natürlich hat dies auch negative Konsequenzen. So gab es auf einem Kongreß 1965 in Washington den folgenden Bericht (ARNTZ [A13, S. 13]):

„Ein Medizinerteam hätte aus einer großen Zahl von medizinischen Zeitschriften internationalen Formates geprüfte gute Artikel ausgewählt, die ein Jahr alt waren und von denen die medizinischen Experten sagten, daß Fachleute des betreffenden Bereiches (Chirurgen, Gynäkologen, Internisten usw.) diese Artikel kennen müßten. Demgemäß lautete die ganz einfache Frage, gerichtet an Mediziner besten Niveaus, auch nur: „Kannten Sie diesen Artikel?" Die Antwort : Nein — Quoten, die nie unter 50, bisweilen über 80 und bis an 90% lagen."

Auf Seite 14 schreibt ARNTZ dann:

„Es dürfte die Norm sein, so sehr wir uns immer dagegen sträuben mögen, daß wir im Schnitt 1% des in der Welt erscheinenden Schrifttums unseres Fachgebietes im Original, weitere 4% in Form von Referaten, Berichten, Übersichten und 95% nicht zur Kenntnis nehmen."

Derartige Zahlenwerte lassen sich aus vielerlei Ausgangsdaten gewinnen. Dennoch wird eingeschätzt [M10, S. 174]:

„Bis zu 80% der zur Verfügung stehenden Zeit soll Literatursuche bei einigen Forschungsvorhaben bereits verschlingen."

KIESLICH [K21] führt aus, daß die heutige Informationskrise keineswegs die erste ist Die erste trat im letzten Drittel des 17. Jahrhunderts auf. Damals funktionierten nicht mehr die *Methoden der Gelehrten-Republik*, nämlich der persönlich-private Gedankenaustausch. Als Lösung entstand die *Fachzeitschrift*. Die Lösung für die heutige Krise scheint mit einer *effektiven* EDV-*Technik* möglich zu werden. Zu ihrer Entwicklung trägt wesentlich das Gebiet der Information und Dokumentation bei. In ihm wird versucht, Methoden und Mittel zu entwickeln und bereitzustellen, um derartige Verluste zu vermeiden. Einige Zusammenhänge des zugehörigen *wissenschaftlichen Kommunikationsprozesses* zeigt Abb. 9.39. In diesem Kreislauf von Information nimmt

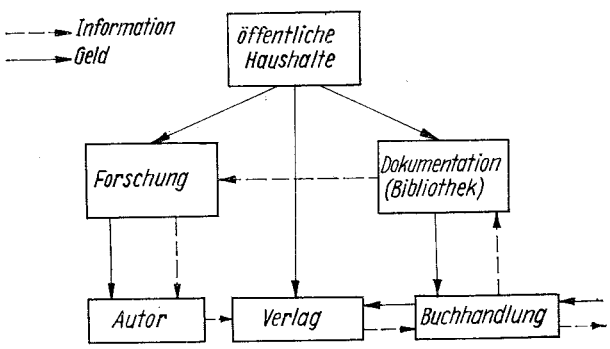


Abb. 9.39 Ausgewählte Informations- und Geldströme im wissenschaftlichen Kommunikationsprozeß [M10, S. 26].

die Information und Dokumentation eine Zwischenstellung ein. Dies kann in der Art des Shannonschen Kanalschemas gemäß Abb. 9.40 dargestellt werden. Es gibt prinzipiell drei Gruppen von Menschen

- jene, die durch wissenschaftliche Arbeit die neue Primärinformation erarbeiten und fixieren,
- jene, die diese Fakten und Daten erfassen, sammeln, klassifizieren, systematisieren, ordnen, speichern und zur schnellen Wiederfindung aufbereiten,
- jene, die wissenschaftliche Ergebnisse anwenden und ausnutzen.

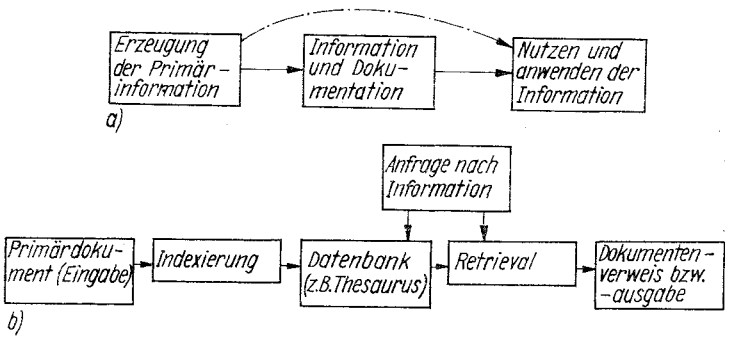


Abb. 9.40 Kanalschema zur Information und Dokumentation
a) Information und Dokumentation als Mittler zwischen Erzeuger und Nutzer von Information,
b) Funktionsablauf bei der Information und Dokumentation. Die Indexierung erfolgt ständig bei Anfall von Primärdokumenten, das Retrieval dagegen meist nur im Zusammenhang mit Anfragen.

Natürlich greifen die drei Gebiete ineinander und bedingen sich gegenseitig. Nicht selten wird dabei sogar die zweite Gruppe übersprungen. Die größte Menschengruppe ist die der Nutzer; dann folgen die Erzeuger und schließlich als vergleichsweise sehr kleine Gruppe die der Informations- und Dokumentalisten. Zum besseren Verständnis dieser Tätigkeit kann ihre Arbeitsweise in einem Kanalschema weiter untersetzt werden (Abb. 9.40b). Mit der Indexierung werden die Primärdokumente und die in ihnen enthaltenen Ergebnisse, Fakten und Daten erfaßt und geordnet gespeichert. Dies muß so erfolgen, daß sie bei bestimmten Anfragen schnell und sicher wiedergefunden werden können (Retrieval). Entscheidend sind hier die Gestaltung und Struktur des Speichers (z. B. Datenbank oder Thesaurus) sowie des zugehörigen Retrievalsystems (z. B. Programmsystem bei EDV) [M10, S. 173].

„Die Speicherung des heute vorhandenen und laufend neu hinzutretenden Wissens im vollen Wortlaut ist im Augenblick nicht nur ein organisstorisches und semantisches, sondern auch immer mehr ein bedeutendes technisches Problem."

Hieraus geht auch hervor, daß es bei der Information und Dokumentation um den semantischen Aspekt geht. Nur steht dabei noch extremer als im Abschn. 9.2.7. das Problem, das Weltwissen zu berücksichtigen. Hier ist es z. T. sogar Ziel und nicht

Nebeneffekt. Der *Begriff Information* ist hier zudem ebenfalls etwas unüblich zu fassen. ARNTZ [A13, S. 2] drückt dies wie folgt aus:

„Das benutzerbezogene Ergebnis der Dokumentation nennen wir die Information. Information ist aber auch und zugleich ein Rohstoff, der vor jeder dokumentierenden Tätigkeit vorhanden ist."

KOBLITZ [K34, S. 28] schreibt entsprechend:

„Obwohl die Auffassungen darüber, was unter „semantischer Information" zu verstehen ist, zum Teil auseinander gehen, wollen wir diese Benennung dennoch benutzen und sie ihrem polysemantischen — hier zwei Bedeutungen aufweisenden — Charakter entsprechend begrifflich einerseits als einen *Prozeß* im Sinne des Verbalsubstantives „Informieren" andererseits als *Gegenstand dieses Prozesses* im Sinne von Nachricht, Mitteilung und dergleichen verwenden."

Beim Übergang zur Speicherform in der Information und Dokumentation werden in der Regel *drei Forderungen* gestellt:

- Die *Redundanz* der Texte soll um mindestens den Faktor zehn reduziert werden.
- Es soll durch *Ordnung und Selektion* ein semantischer Ordnungsgewinn für das spätere Retrieval erreicht werden, wobei unter Umständen nebenbei sogar aus mehreren Quellen neue Information synthetisiert wird.
- Bei diesen Informationsumwandlungen sollen möglichst *keine Informationsverluste* auftreten.

Wie VERNIMB [V1] deutlich ausweist, wird oft fälschlicherweise angenommen, daß die Verdichtung wie folgt geschieht (S. 128):

„Die Veröffentlichung ist der Träger der Information. Im Referat wird die wesentliche Information zusammengefaßt, und in den Schlagwörtern ist der Informationsgehalt nochmals auf einige Begriffe konzentriert. Bei jedem Übergang tritt ein Informationsverlust auf."

Vielfach wird aber eben nur auf die Originalinformation verwiesen. Ein Hauptproblem ist der Speicher der Information. Dies liegt an folgenden Fakten (DAHLBERG [D1, S. 4]):

„Es gibt derzeitig

- keine allgemeine Ordnung der existierenden wissenschaftlichen und sonstigen Lehrgebiete und ihrer Zusammenhänge,
- kein allgemein akzeptiertes System für die Ordnung der Wissensgebiete des Inhalts von
  - Enzyklopädien,
  - Wörterbüchern,
  - Referateorganen,
  - Bibliographien
- keine allgemein anerkannten Einteilungen für Verzeichnisse von
  - Bilbliotheken (Spezialbibliotheken, Archive),
  - Dokumentations- und Informationsstellen
  - Personen und Gesellschaften
  - Forschungsinstituten
  - Materialien, Produkten, Waren etc.

Auch genügen die bestehenden Klassifikationssysteme in Bibliothekswesen und Dokumentation zur Indexierung der Inhalte von Dokumenten schon lange nicht mehr den Anforderungen moderner Informationssysteme ...; entsprechende Ersatzlösungen werden gesucht, aber es sind auch Reformprogramme und -überlegungen im Gange; neue Konzeptionen liegen jedoch nicht vor."

FEITSCHER [F1, S. 10–11] zählt neben anderen Autoren den ständigen Wechsel der Systeme auf, vgl. Tab. 9.12. Er kommt dann zu dem Schluß:

„In zeitlichen Abständen von ca. 20 bis 30 Jahren erscheinen jeweils zwei bis drei verschiedene Klassifikationsmodelle. Diese liegen zwei bis fünf Jahre auseinander, eine hier unerhebliche Differenz."

Tabelle 9.12 Zusammenstellung einiger Systeme, die als Klassifikationsmodelle in der Information und Dokumentation bzw. zur Ordnung der Wissenschaft dienen bzw. dienten (FEITSCHER [F1, S. 10–11] und SOERGEL [S41])

Information und Dokumentation		Ordnung der Wissenschaften	
1876	M. DEWEY: Decimal classification and relative index	1834	A. M. AMPÈRE: Essai zur la philosophie des sciences
1879	CH. A. CUTTER: Expansive classification	1926	P. OPPENHEIM: Die natürliche Ordnung der Wissenschaften
	1901 Library of congress classification	1965	B. M. KEDROV: Klassifikacija nauk
1905–07	P. OTLET u. H. LAFONTAINE: Universal decimal classification	1966	H. FRANK: mittels Riemannscher Flächen in: Kybernetik und Philosophie
1933	S. R. RANGANATHAN: Colon classification		
1935	H. E. BLISS: A bibliographic classification		
1938	KL. N. TROPOVSKIJ: Tablicy bibliotečnoi klassifikacii		

Hinzu kommt zu diesen Problemen noch, daß unser Wissen nicht statisch ist, sondern sich ständig weiterentwickelt. Dies bedeutet, daß die Speicher dem angepaßt sein müssen. Dementsprechend sind bei der Klassifikation Begriffe auf zweierlei Art wirksam (DAHLBERG [D1, S. 19]):

„● als Objektbegriffe, wenn sie sich auf Mengen von Gegenständen beziehen,
● als potentielle Themen, die in Dokumenten behandelt werden können."

Die Speicherung der Dokumente bzw. Dokumenteninhalte erfolgt heute nach den folgenden Prinzipien:

- Verfassernamen (in alphabetischer Reihenfolge),
- über inhaltliche Merkmale unter Benutzung von Bezeichnungen in Begriffen in einer einfachen Ordnung (verbale bzw. archivarische Systeme),
- hierarchische Systeme, bei denen eine Ordnung über die Verwandtschaft (semantischen Beziehungen) zwischen den Begriffen existiert. Solche Systeme heißen meist Thesaurus und sollen im folgenden etwas genauer behandelt werden. Dabei werden sich die schon im Abschnitt 9.2.7 besprochenen Ähnlichkeiten zum semantischen Netz herausstellen.

Der Begriff *Thesaurus* stammt vom griechischen thesauros = Schatz, Schatzkammer. Er wird in der Linguistik auch heute noch dazu benutzt, um den Wortschatz einer Sprache zusammenzufassen. Wie bereits VERNIMB genauer am Beispiel des Euratom-

Thesaurus ausführt, wird ein Thesaurus am besten in folgenden Stufen entwickelt:

- Wahl einer existierenden Wortliste für das Thema,
- Anordnung der Begriffe nach ihrer Ähnlichkeit und ihren gegenseitigen Beziehungen,
- Ausmerzen von Synonymen,
- Aufbau der hierarchischen Ordnung der Begriffe,
- Homogenisierung des Thesaurus an einer ausreichend großen Stichprobe, d. h. u. a. Weiteruntergliederung zu häufig benutzter Begriffe.

Die Arbeit zum Aufbau eines Thesaurus wird meist unterschätzt. Sie ist aber äußerst wichtig für das spätere optimale Funktionieren des Informationssystems. Jede spätere Umstellung ist meist nämlich noch erheblich kostenaufwendiger. Einige noch recht ungenaue Daten für die Entwicklung von Thesauri faßt SOERGEL [S41, S. 33] zusammen:

Holztechnik (DDR)	2 Jahre,
Straßenuntersuchung (Frankreich)	8 Monate,
Polytechnik (Norwegen)	3 Jahre ,
Engineering Terms (USA)	1,5 Jahre.

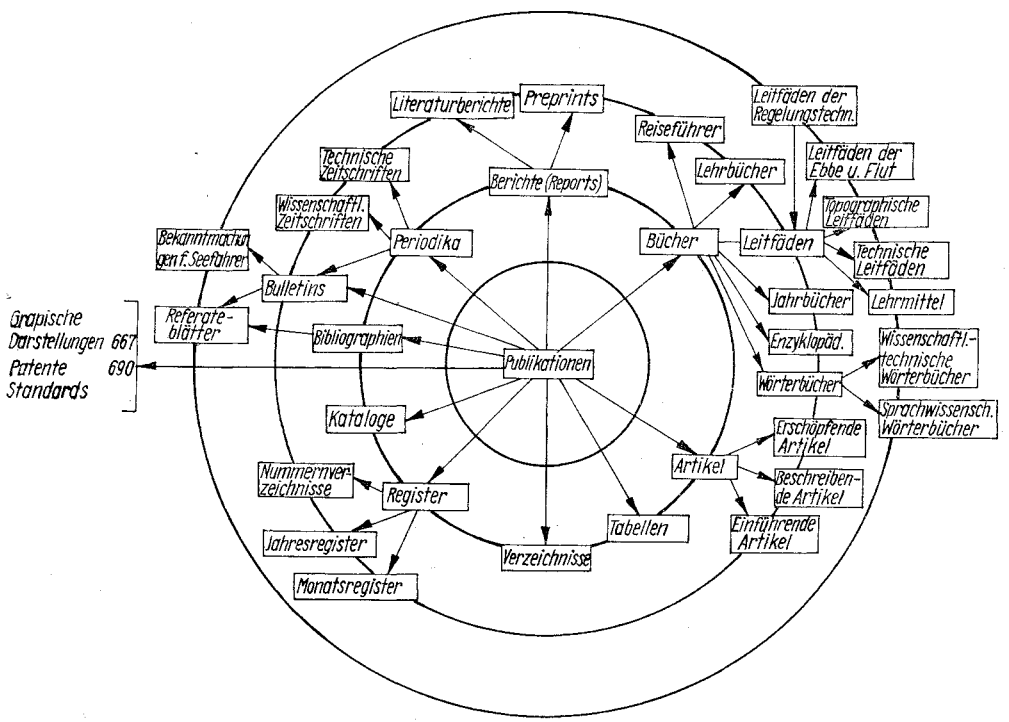


Abb. 9.41 Kreisschema des TDCK-Thesaurus. Dargestellt ist der Begriff: Publikation. TDCK ist in freier Übersetzung abgeleitet aus: Technische Dokumentation des holländischen Centrums der Kriegsmacht [M12, S. 224ff. und S. 426).

Es gibt eine Vielzahl von Darstellungsformen für Thesauri. Sie reichen von einer einfachen hierarchischen Liste bis zu den sogenannten *Stammbaum-Methoden* (die Entscheidungsgraphen entsprechen), *Kreisdarstellungen* und *Netzstrukturen*. Da die Netzstrukturen, abgesehen von dem Ziel bei der Anwendung, im wesentlichen den semantischen Netzen entsprechen, sei in Abb. 9.41 lediglich noch eine Kreisdarstellung als Beispiel gezeigt. Der Vorteil dieses Systems besteht unter anderem darin, daß bei der Aufspaltung des Begriffs zu den äußeren, hierarchisch untergeordneten Kreisen auch mehr Platz zur Verfügung steht. Nachteilig ist u. a., daß viele solche Kreisschemata verwendet werden müssen, zwischen denen Verweise angegeben werden müssen.

9.6. Ausgewählte Gebiete der Wirtschaft

Die Semiotik — ob so genannt oder nicht — ist in den letzten Jahren in vielen gesellschaftlichen Bereichen zur Anwendung gelangt. Hier kann im folgenden nur eine ganz kleine, z. T. sogar zufällige und subjektive Auswahl referierend behandelt werden. Auch die Reihenfolge ist dabei mehr oder weniger willkürlich.

9.6.1. Ökonomische Semiotik

Die ökonomische Semiotik wird von ČERNJAK [C2, S. 11] wie folgt *definiert*:

„Die ökonomische Semiotik ist die Methodologie der Erforschung von Zeichensystemen für die Leitungsprozesse in der Volkswirtschaft."

Damit stehen folgende Fragen im Zentrum der Betrachtungen (S. 11):

„Wie können ökonomisch-mathematische Modelle und Methoden organisch in die Volkswirtschaft einbezogen werden und wie kann man bei Anwendung automatischer Leitungssysteme den damit verbundenen möglichen Effekt voll realisieren?"

Deshalb besitzt die Analyse der Informationsströme und die Projektierung rationeller Informationssysteme mit entsprechenden Entscheidungshilfen große Bedeutung.

In ökonomischen Prozessen werden die Informationen durch mannigfache Zeichensysteme, z. B. Dokumente, Kennziffern, Bilanzen, Beratungen, Telefongespräche usw. übertragen. Ein Hauptproblem ist hierbei, daß es z. Z. noch keine einheitlich aufeinander abgestimmte und hierarchisch geordnete ökonomische Wissenschaftssprache gibt. Schon auf der untersten Ebene der EDV-Projekte sind die Sprachen so verschieden, daß sich ein funktionsfähiges System fast nie wieder anderweitig auf ökonomischem Gebiet übernehmen läßt. Dies drückt ČERNJAK (S. 13) wie folgt aus:

„Denn in diesem Bereich (Ökonomie H. V) wird ein außerordentlich kompliziertes Konglomerat aus verschiedenen professionellen Dialekten der natürlichen Sprache, aus historisch entstandenen und überaus verworrenen Zeichensystemen der Dokumentation, aus künstlich aufgebauten algorithmischen Sprachen ‚Klassifikatoren und Kodierern sowie eine Vielzahl spezielle Maschinencodes verwendet."

Auch gibt es so gut wie keine Kenntnisse für den Übergang von dem einen zum anderen Zeichensystem. Dies alles macht es notwendig, die Sprache der Ökonomie systematisch nach semiotischen Gesichtspunkten zu erforschen. Dabei werden in dem Buch die drei Ebenen Syntax, Semantik und Pragmatik verwendet.

Die *Syntax* bezieht sich auf die einfachen Relationen zwischen den Zeichen. Ein Problem besteht vor allem in der sehr *großen Anzahl von Kennziffern.* Allein in einem Betrieb treten manchmal einige Zehntausend auf. Dennoch machen offensichtlich die entsprechenden und heute möglichen Rechenprozesse nur einen kleinen Teil der ökonomischen Leitungsprozesse aus.

Das Hauptproblem scheint zur Zeit die *semantische Ebene* zu bieten. Es zeichnen sich hier zwei Fakten ab. Es ist festzustellen (S. 193):

„Wie das Vorhandensein gleicher Form bei inhaltlich verschiedenen Dokumenten und Kennziffern sowie die verschiedene Gestaltung gleicher Inhalte"

aufzudecken und abzustellen ist. Generell werden bisher die Modelle der Sprachsemantik sinngemäß aber relativ kritiklos übernommen, z. B. S. 193:

„Die semantische Analyse beginnt damit, daß ein Wörterbuch der Ausgangsbegriffe ausgearbeitet wird. ... Dann werden semantische Regeln eingeführt. ... Die Herausarbeitung von semantischen Regeln und die Fixierung einer streng festgelegten Bedeutung bei jedem Begriff ermöglichen es, die zwischen den Begriffen existierenden Beziehungen formal sichtbar zu machen. Sie machen es möglich, die Hierarchie dieser Begriffe zu verfolgen und einen Thesaurus der Begriffe aufzubauen. Das Vorhandensein eines Thesaurus der Kennziffern und Dokumente ermöglicht es, die Menge der Sinninformation zu bestimmen, die jede Kennziffer und jedes Dokument enthält."

Es wird also die Hoffnung gehegt, wenn ein solcher Thesaurus vorliegt, ist alles gelöst. Es wird dabei auf die Messung der semantischen Information mittels der Änderung im Thesaurus (vgl. Abschn. 9.6.2 und Studie [V15]) gehofft.

Die *pragmatische Ebene* wird in der Ökonomie u. a. durch die Beziehungen zwischen Dokumenten und Aufgaben bestimmt. Dabei ist wichtig:

- für welche Aufgaben das jeweilige Dokument notwendig ist und
- welchen Inhalt das Dokument haben muß, damit es optimal für die jeweilige Aufgabe ist.

Formale *pragmatische Mekrmale* sind u. a.

- Wichtigkeit, Eiligkeit eines Dokuments,
- Charakter seiner Aufbewahrung und Verteilung,
- notwendige Anzahl von Unterschriften usw.

Dieses Gebiet ist, wie überall, so auch in der Ökonomie am wenigsten erforscht.

In der ökonomischen Semiotik ist das Thesaurusprojekt sogar in einem Fall so weit gespannt, daß drei Thesauri, je einer für die Wörter, Kennziffern und Dokumente aufgebaut werden sollen. Alle drei Thesauri sollen je einen syntaktischen, semantischen und pragmatischen Teil besitzen (ČERNJAK [C2, S. 35)].

9.6.2. Innerbetriebliche Aufgaben

Die hier gewählte Überschrift ist nicht eindeutig, der Abschnitt behandelt z. B.: ökonomische Kybernetik, Automatisierte Systeme der Steuerung und Leitung (ASU), Organisationskybernetik und innerbetriebliche Kommunikation. In Abb. 9.42 wird dazu ein vereinfachtes Modell dargestellt, das sowohl Struktur- als auch Funktinoskomponenten berücksichtigt. Es ist offensichtlich, daß hier eine Vielzahl materiel-

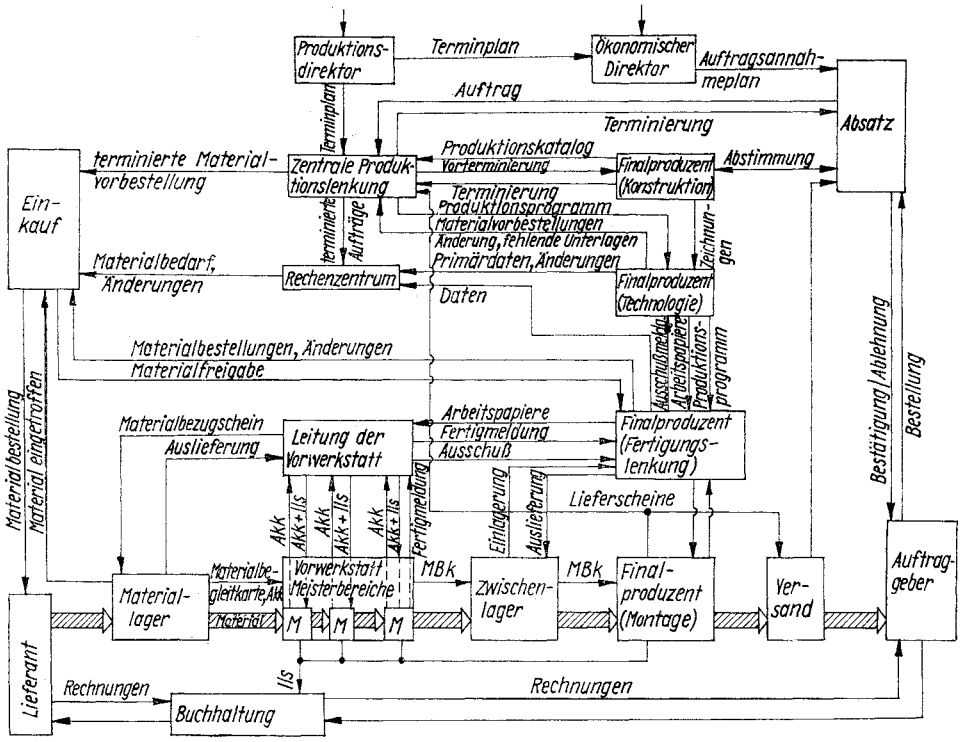


Abb. 9.42 Vereinfachtes Modell der Produktionsorganisation eines Betriebes (SCHWARZ [S27, S. 48]).

ler und informationeller Prozesse ineinandergreifen. Die Informationen betreffen sowohl Menschen als auch Sachen. Die Komplexität dieser Zusammenhänge macht eine *Modellierung* notwendig. Hier liegt die *Hauptaufgabe der ökonomischen Kybernetik* (GOLENKO [G11], S. 1):

„Kybernetische Modelle bilden in der sozialistischen Ökonomie Instrumente zur wissenschaftlichen Durchdringung und Rationalisierung von Prozessen der Leitung und Planung in Betrieben, Kombinaten, Industrie- und Volkswirtschaftszweigen."
„Zusammenfassend kann als Zielstellung und Inhalt der kybernetischen Modellierung ökonomischer Bereiche und Prozesse die Analyse und Synthese

- ihres externen Verhaltens gegenüber ihrer gesellschaftlichen Umwelt,
- ihrer internen Funktion als Darstellung der in ihnen ablaufenden Prozesse,
- ihrer internen Struktur als Ausdruck ihres Aufbaus und ihrer Kommunikationsbeziehungen

im Hinblick auf ihre Steuerung mittels Information formuliert werden."

Auf S. 17 wird ausgeführt:

„Informationsprozesse zur Leitung in Gesellschaft und Wirtschaft sind natürlich keine neuen Erscheinungen. Der Mensch nutzt die Information, seit er zum Menschen wurde. Neu ist jedoch, daß es erstmalig mit der Gestaltung der sozialistischen Gesellschaft möglich wird, die Informationsprozesse planmäßig zur Leitung der gesellschaftlichen Entwicklung eines ganzen Landes und der sozialistischen Staatengemeinschaft einzusetzen."

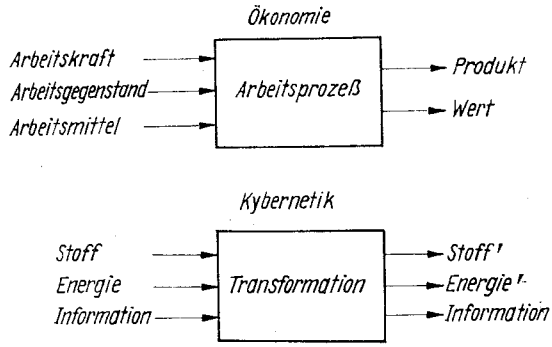


Abb. 9.43 Beispiel für die unterschiedlichen Modellungsprinzipien in der klassischen Ökonomie und Kybernetik (GOLENKO [G11, S. 20]).

Den Unterschied in der üblichen Betrachtungsweise der Ökonomie und Kybernetik zeigt Abb. 9.43. Von den drei Größen Stoff, Energie und Information interessiert hier im weiteren nur die Information. Im Sinne der Regelungstechnik könnte sie in *Plan-, Kontroll- und Steuerinformation* (Sollwert, Istwert, Stellgröße) eingeteilt werden. Im Sinne der *Semiotik* seien jedoch vor allem wieder die Aspekte der *Syntax, Semantik und Pragmatik* betrachtet. Hierzu gilt Abb. 9.44. Das bereits im vorigen Abschnitt angeführte Thesauruskonzept ist hier explizit dargestellt. Auffallend ist, daß Syntax, Semantik und Pragmatik als strenge Hierarchie ohne Rückwirkung angenommen werden. Wie fehlerhaft dies ist, wurde bereits im Abschn. 9.2. gezeigt. Folglich ist auch verständlich, daß dieses Konzept im weiteren Verlauf nicht benutzt wird. Bei den möglichen Berechnungen steht eben immer noch der syntaktische Aspekt im Vordergrund. Dies drückt auch deutlich FUCHS-KITTOWSKI aus [F16, S. 19]:

„Erfahrungen und Erkenntnisse, die in den letzten Jahren insbesondere aus praktischen Arbeiten gewonnen wurden, haben übersteigerte Erwartungen und Zielsetzungen hinsichtlich der Möglichkeiten der Automatisierung von Informationsprozessen korrigiert."

Bezüglich der sinnvollen Anwendung der EDV schreibt er wenige Zeilen zuvor:

„daß sich die Möglichkeiten des Einsatzes heutiger Automaten auf solche materiellen und geistigen Prozesse beschränken, die sich formal beschreiben lassen, daß aber ihr Einsatz heute dennoch nicht ... allein auf die Lösung sich immer in gleicher Weise wiederholender Aufgaben eingegrenzt bleibt, sondern der Automat auch zur Lösung einmalig auftretender Aufgaben eingesetzt werden kann."

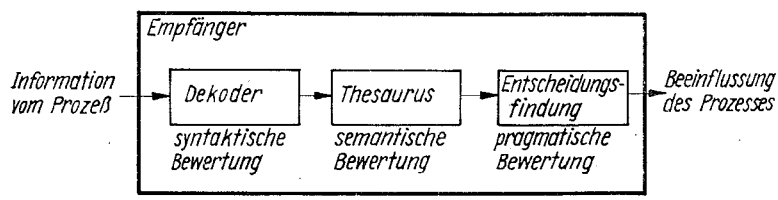
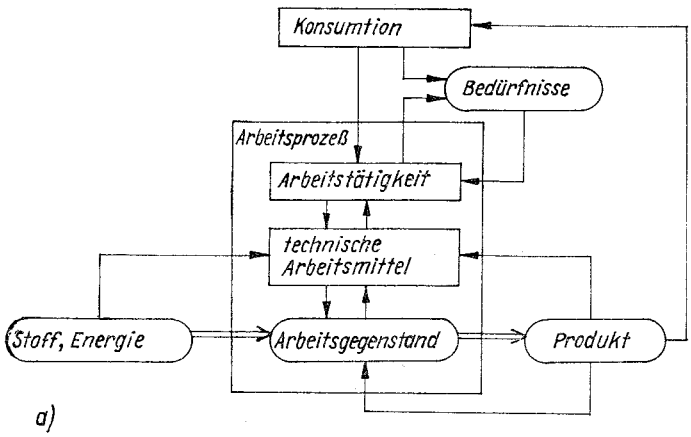
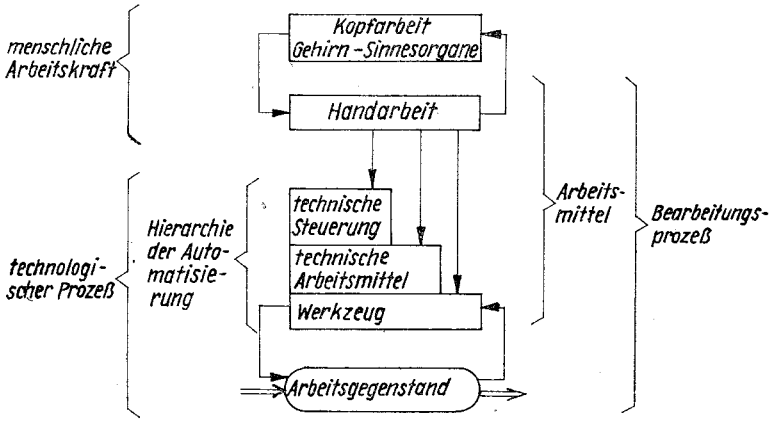


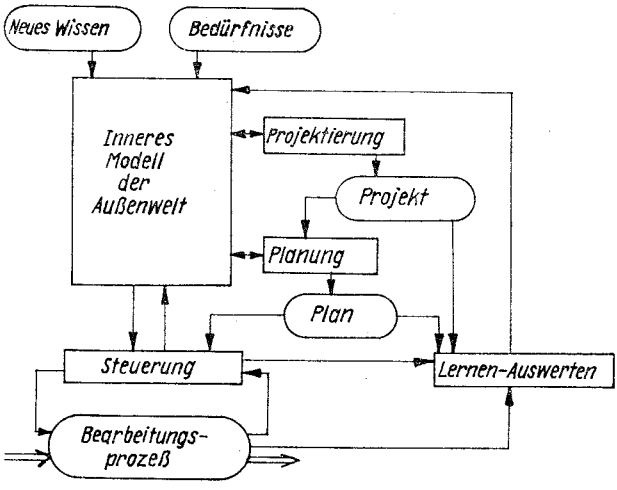
Abb. 9.44 Leicht geändertes Schema der semiotischen Bewertungen von Informationen nach GOLENKO [G11, S. 26]).


Konsumtion
Bedürfnisse
Arbeitsprozeß
Arbeitstätigkeit
technische Arbeitsmittel
Stoff, Energie
Arbeitsgegenstand
Produkt

a)


menschliche Arbeitskraft
Kopfarbeit Gehirn - Sinnesorgane
Handarbeit
technologischer Prozeß
Hierarchie der Automatisierung
technische Steuerung
technische Arbeitsmittel
Werkzeug
Arbeitsgegenstand
Arbeitsmittel
Bearbeitungsprozeß

b)


Neues Wissen
Bedürfnisse
Inneres Modell der Außenwelt
Projektierung
Projekt
Planung
Plan
Steuerung
Lernen-Auswerten
Bearbeitungsprozeß

c)

Auf S. 117 nennt er dann drei Probleme, welche die *Grenzen heutiger Informationssysteme* wesentlich beeinflussen:

„— dem Fehlen eines theoretischen Konzepts zur Bestimmung der Möglichkeiten und Grenzen zur Formalisierbarkeit von Informationsprozessen;
— dem Fehlen einer präzisen Bestimmung des allgemeinen Wesens der Information, ihrer Strukturwerte und der Typisierung von Informationsverarbeitungsprozessen
— dem verfehlten Versuch, Semantikprobleme ausschließlich strukturalistisch zu lösen."

WÜSTENECK [W25] hat eine kybernetische Analyse des Arbeitsprozesses durchgeführt. Die Ergebnisse zeigt leicht geändert und stark verdichtet Abb. 9.45. In den Teilbildern a und b sind die materiellen Arbeitsprozesse hervorgehoben. Sie werden praktisch alle von Informationsprozessen begleitet. Dies wird besonders deutlich im Teilbild b durch die Trennung von *Hand- und Kopfarbeit* sowie durch die *Hierarchie der Automatisierung*. Im Teilbild c sind dann aber die vorwiegend materiellen Prozesse zum Bearbeitungsprozeß zusammengefaßt. Dadurch entsteht der Ausschnitt der vorwiegend informationellem Prozesse, die notwendig sind, um die Bearbeitungsprozesse optimal bezüglich Aufwand und Nutzen zu gestalten.

Die Analyse von WÜSTENECK hatte das Ziel, die wissenschaftliche Tätigkeit in ihrer Struktur zu ergründen. In Anlehnung an die Arbeitsprozesse ergab sich dabei Abb. 9.46 Hier sind die Informationsflüsse besonders umfangreich.

Beide Modelle von WÜSTENECK zeigen, in welchem Maße hier der pragmatische und semantische Aspekt der Information Einfluß haben. Über die *Zielvorstellungen*,

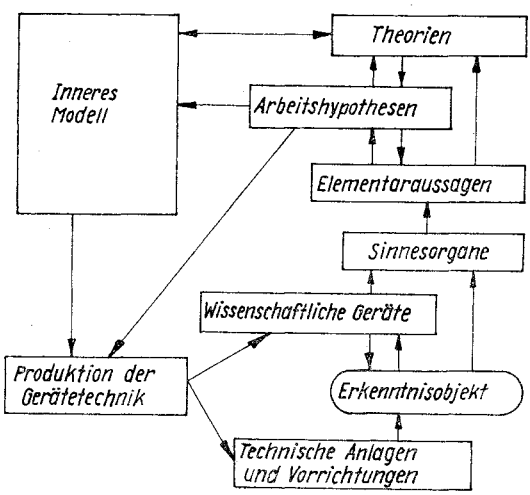


Abb. 9.46 Einfaches Modell der Informationsflüsse bei der Forschungstätigkeit nach WÜSTNECK [W25].

◀ Abb. 9.45 Analyse des Arbeitsprozesses in Anlehnung an WÜSTNECK
a) Allgemeine Struktur,
b) Einfluß der Steuerung, Automatisierung und Kopfarbeit,
c) Betonung der Informationsflüsse in bezug auf den Bearbeitungsprozeß.

Bedürfnisse, Projektierung und Planung wird vor allem die *pragmatische Komponente* wirksam. Damit sie von den betreffenden Individuen verstanden wird, ist die semantische Komponente Voraussetzung. Diese Zusammenhänge kommen noch deutlicher zum Vorschein bei den Untersuchungen von MÜLLER [M19] zum *technischen Entwurfsprozeß*. Er unterscheidet dabei *drei Handlungsebenen* (Abb. 9.47) und schreibt dazu (S. 22–23):

„Im Produktionsvorgang wirkt der Mensch durch physische Tätigkeit vermittels technischer Mittel — also in Mensch-Maschine-Systemen — auf natürliche bzw. vorgefertigte Gegebenheiten. Dabei wird das Ziel verfolgt, welche Möglichkeiten materiell zu realisieren sind, die gesellschaftlichen Bedürfnissen optimal entsprechen. Die Gesamtheit dieser Vorgänge soll „1. Handlungsebene" heißen.

Die materiellen Prozesse bedürfen menschlicher Tätigkeit, da sie sich ohne dessen Zutun entweder nicht, nicht im erforderlichen Umfang, nicht mit der notwendigen Geschwindigkeit oder nicht mit hinreichender Zuverlässigkeit realisieren. Zum Vollzug solcher Tätigkeiten spielen informationelle Vorgänge, u. a. Beobachtung, Bewertung und Entscheidung eine große Rolle. Im nichttrivialen Fall erfolgen darüber hinaus die Handlungen *bewußt*, also in Umsetzung eines gedanklichen Entwurfs, in dem das herzustellende Erzeugnis als Ziel (konstruktiver Entwurf) und der einzuschlagende Weg antizipiert sind (technologischer Entwurf) ... Die Gesamtheit solcher Informationsverarbeitungsprozesse, in denen konstruktive bzw. technologische Unterlagen zum Vollzug von Vorgängen in der 1. Handlungsebene entstehen, soll „2. Handlungsebene" heißen ...

Sofern der Vorgang in der 2. Handlungsebene nicht trivial ... ist und nicht stereotyp ablaufen kann, muß dieser Prozeß entworfen und geplant werden. Im Verlauf seiner Vorbereitung ... wird das Ziel bestimmt, das in der 2. Handlungsebene erreicht werden soll, und der Weg festgelegt, auf dem das anzustreben ist ... Die Gesamtheit der gedanklichen

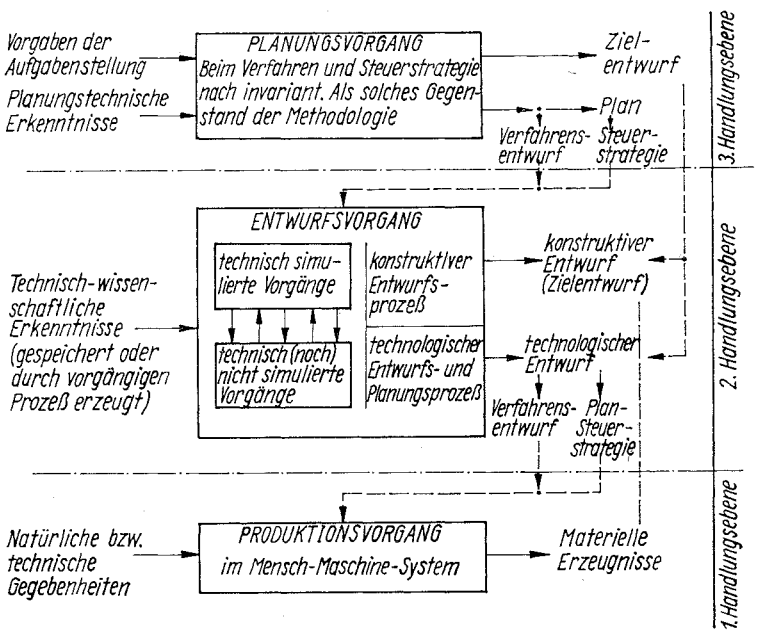


Abb. 9.47 Strukturelle Zusammenhänge beim technischen Entwurfsprozeß nach MÜLLER [M19].

Tätigkeiten, in denen der Bearbeitungsplan für die 2. Handlungsebene erzeugt wird, heißt „3. Handlungsebene". ... Die Struktur des Gesamtvorganges ist der 2. Handlungsebene analog."

MÜLLER hat mit der Analyse dieser Prozesse eine gründliche Analyse der Informationsprozesse verbunden. Er gewinnt dabei 6 *spezifische Informationsklassen*. Auf sie wurde in der Studie [V15] weiter eingegangen. Bedeutsam ist hier, daß die semiotische Einteilung zwar formal auf die Klassen angewendet werden könnte, jedoch dann die eigentliche Problematik verwischt.

Bei den Untersuchungen von MÜLLER gehen bereits stärker als bei den anderen Modellen auch die Fragen der *Leitung von Kollektiven* ein. Auch hier gibt es eine Vielzahl von Untersuchungen, so daß nur auf einige Beispiele verwiesen zu werden braucht. Dabei ist nämlich unter anderem zu beachten, daß die menschlichen Handlungen nicht immer streng rational und determiniert erfolgen. Sie besitzen infolge von ideologischen, soziologischen, psychologischen und emotionellen Einflüssen und Interessen grundsätzlich auch zufällige Komponenten. Dies erschwert eine formale Betrachtung bzw. macht sie z. T. kaum möglich. Es ergibt sich daraus aber auch das Problem, wie das Verhältnis von *Administration* (Steuerung) *und Überzeugung* (Regelung) günstig zu wählen ist. Eine interessante Studie zu den entsprechenden und weiteren Informationsflüssen in Betrieben (Unternehmungen) wurde von BRÖNIMANN [B25] vorgelegt. Sie ist zwar primär auf Leiterinformation ausgelegt, berücksichtigt aber viele andere Aspekte und benutzt dabei im wesentlichen die Aspekte der Semiotik. Für die *Pragmatik* wird *eine Hierarchie* eingeführt, die gemäß Abb. 9.48a dargestellt werden könnte. Die entsprechenden pragmatischen Störungen im Betrieb werden dann allerdings im wesentlichen und wohl nicht berechtigt auf psychologische Ursachen zurückgeführt. Die syntaktischen Störungen entsprechen technischen Mängeln, während die semantischen Störungen in der üblichen Weise definiert sind.

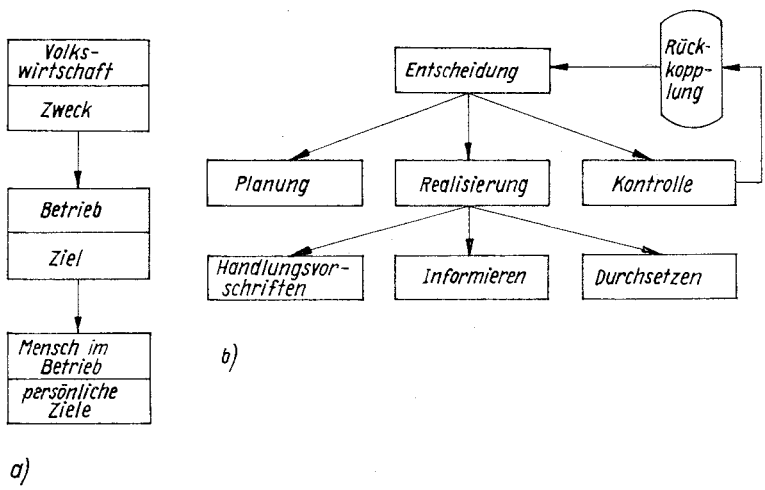


Abb. 9.48 Zwei Beispiele, die bezüglich Informationsprozessen aus dem verbalen Text von BRÖNIMANN [B25] gewonnen wurden
a) Hierarchie der pragmatischen Information im Betrieb,
b) Entstehung, Ausführung und Kontrolle der Entscheidung.

Im *Zentrum* der *pragmatischen Leitung* wird die *Entscheidung* gesehen. Für sie ließe sich in Anlehnung an den Text Abb. 9.48b gewinnen.

9.6.3. Absatz und Werbung

Aus der kapitalistischen Sicht sind Absatz und Werbung wesentliche Faktoren für das Wirksamwerden der erzeugten Produkte. Dementsprechend gibt es hier auch in der letzten Zeit eine Auswahl interessanter Studien, die unter Anregung der Semiotik entstanden sind. MAI [M1] hat hier vielleicht am meisten die *semiotischen Ergebnisse aufbereitet* und kommt dabei zum Schluß (S. 464):

„Semiotik und Informationstheorie bilden das Grundgerüst, aus dem durch interdisziplinäre Zusammenarbeit tradierter Wissenschaftszweige eine Theorie der Werbung entstehen könnte."

HUMMEL [H18] legt dagegen bereits drei Jahre später einige interessante Modelle vor. Abb. 9.49 zeigt, wie nach seiner Meinung über die allgemein zugänglichen (öffentlichen) Informationen der Einzelne durch einen *Stufenprozeß von der Werbung*

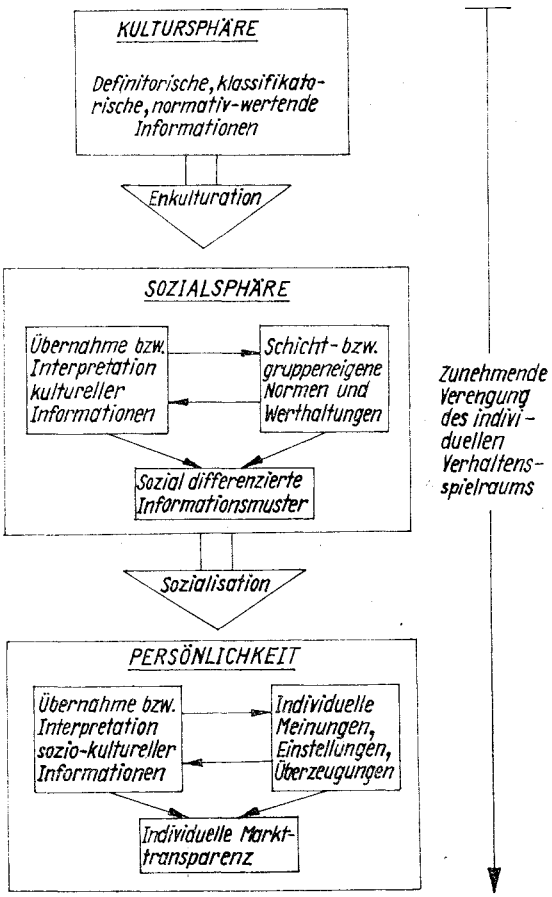


Abb. 9.49 Einseitige Gerichtetheit und Wirkung von Marktinformationen nach HUMMEL [H18].

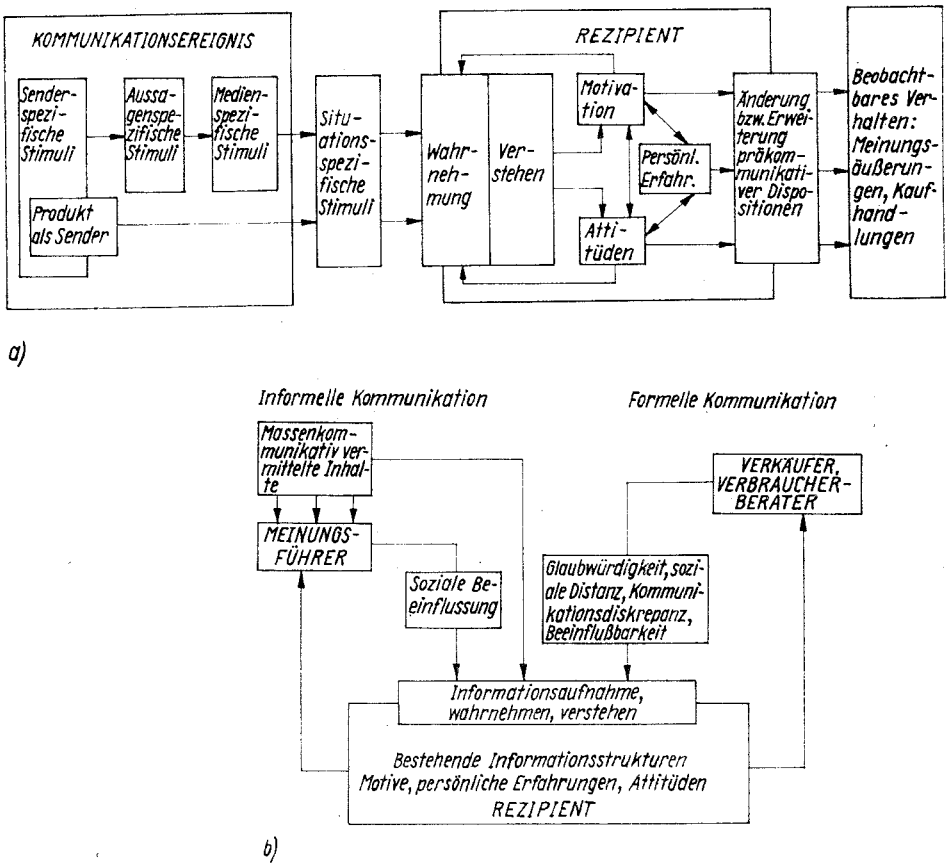


Abb. 9.50 Kommunikationsschema zur Werbung (Marktinformation) nach HUMMEL [H18]
a) einseitiger Anteil der öffentlichen Informationen bezüglich Produkten. Das Produkt und die Information über das Produkt gelangen etwa gleichzeitig in die Öffentlichkeit und werden in komplizierter Weise vom potentiellen Käufer aufgenommen und verarbeitet. Beobachtet wird vor allem das Kaufverhalten,
b) Marktinformationen mit Rückkopplungswegen.

erreicht wird und so seine Einstellungen zum und sein Verhalten gegenüber dem Produkt beeinflußt werden. Natürlich ist dieser Weg nicht so einseitig, sondern auch von *Rückkopplungen* beeinflußbar. In anderer Darstellung zeigt dies Abb. 9.50, wobei Teilbild b) bereits Rückkopplungen enthält. Nach Untersuchungen verschiedener Autoren scheint dem „Meinungsführer" bei all diesen Prozessen eine größere Bedeutung zuzukommen. Dies führt zu einer *Zweistufenhypothese* bezüglich der potentiellen Käufer, Angehörigen der Gefolgschaft in Abb. 9.51.

Im folgenden wird noch auf *zwei Werbemedien* eingegangen, die wohl erstmals systematisch untersucht wurden: das *Schaufenster* und die *Verpackung*. Während die Schaufensteranalyse [N11] mehr ästhetischen und historischen als wissenschaftlichen

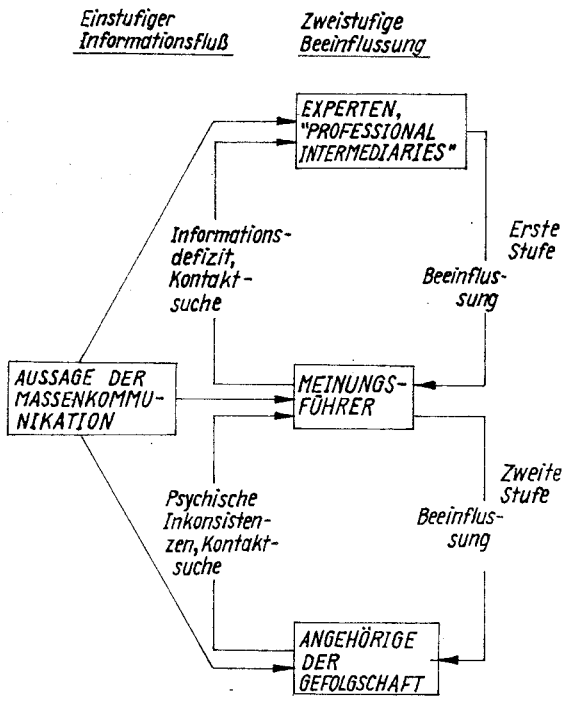


Abb. 9.51 Modell der zweistufigen Beeinflussung von potentiellen Käufern nach TROLDAHL, übernommen aus HUMMEL [H18].

Anforderungen genügt, liegt in der Verpackungsstudie von SANDER [S2] eine äußerst interessante und anregende wissenschaftliche Arbeit vor. Deshalb werden aus der Schaufensterstudie [N11] auch nur zwei Tabellen ausgewählt: Zunächst S. 67 von H. KRUGLER (1962):

„Die Wesensforschung oder *Bedeutungsforschung* ist ein verhältnismäßig neues Gebiet, das jedoch in der Schauwerbung sehr wichtig ist und dazu beiträgt, daß sich die werblichen Maßnahmen am Verkaufspunkt entschieden von der „Dekoration" abwenden.

International wird die Wesensforschung auch als *Kommunikationsforschung* oder „Semantik" bezeichnet. ... Die „Semantik" beschäftigt sich damit zu ergründen, mit welcher Bereitschaft das Publikum auf eine Reizsituation (Werbemittel) reagiert. Es gilt auch in der Schauwerbeforschung festzustellen, welche Bedeutung die Werbedarbietung für den Beschauer hat ...

Dabei spielen Symbolik und Erfahrungswerte der Gestaltungspsychologie eine große Rolle, und es ist anzunehmen, daß die Wesensforschung mit der Zeit viele Aufschlüsse bringen wird, die ermöglichen, Schauwerbung intensiver und damit erfolgreicher zu betreiben."

Auf S. 70 heißt es dann, von P. MAHLBERG (1924) übernommen, weiter:

„Denn alle Schaufenster zusammen, als Gesamtbild, geben ein Bild von dem allgemeinen Kultur- und Geschmacksverlangen einer Stadt und eines Landes und ein Bild von der Lebenskraft einer Nation in Gestalt der Lebenskraft ihrer produzierenden und verbrauchenden Wirtschaft."

Hier zeigt sich bereits deutlich, wieweit das Schaufenster neben der Werbefunktion auch eine Reflexion der sozialen Struktur ist (vgl. Abschn. 8.4 und Tab. 9.13 und 9.14).

Tabelle 9.13 Ergebnis einer Frauenbefragung von 1972
„Wo informieren Sie sich über die neueste Mode?" [N11, S. 65]

Medium	%
Schaufenster	73
Versandkataloge	41
Fernsehen	39
Mode- und Frauenzeitschriften	37
Illustrierte	27
Beratung im Geschäft	19
Tageszeitungen	14
Modeschauen	9

Tabelle 9.14 Zum Wahrnehmungsfeld im Schaufenster
(Angabe, wohin im Mittel zuerst geblickt wird) [N11, S. 74]

Blickrichtung	%
Unten	60
Mitte	50
Links	23
Rechts	22
Oben	10

Bereits zu Beginn der sechziger Jahre betrug der Aufwand einer Durchschnittsfamilie in den USA jährlich etwa 500 Dollar für *Verpackungen* (insgesamt also $2{,}5 \cdot 10^{10}$ Mark im Jahr). Hierbei ist natürlich die Verschwendung der „freien" Marktwirtschaft von großem Einfluß. Mit dem Aufkommen der *Selbstbedienungsläden* hat die Verpackung, wie SANDER nachweist, eine zusätzliche erhebliche Aufwertung bekommen. Da die *Anpreisung* und sonstigen Informationen des Fachverkäufers fortfallen, muß dies die *Verpackung übernehmen.* Sie trennt einmal Käufer und Inhalt und muß andererseits zwischen beiden vermitteln. Unabhängig davon hat sie eine *zweite Doppelfunktion.* Sie ist einmal *Packung,* um das Gut geschützt und zusammengefaßt darzubieten, und sie ist andererseits *Verpackung* im Sinne eines *Informationsmediums,* ein zusätzlich anfallendes Werbemedium (vgl. Abb. 9.52). Gerade diesen letzten Fakt untersucht SANDER gründlich und kommt dabei zu einer Systematik, wie sie in Tab. 9.15 auf Grund seiner verbalen Aussagen zusammengestellt wurde. Die Analyse

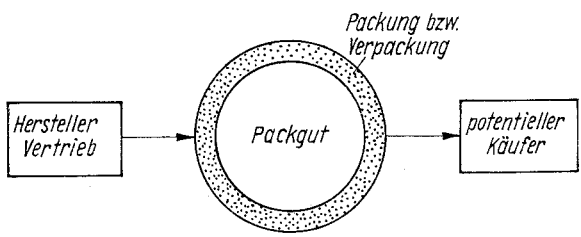


Abb. 9.52 Grundschema: Die Verpackung als Zeichen- bzw. Informationsträger (nach SANDER [S2, S. 44]).

Tabelle 9.15 Zur Systematisierung der Verpackungsinformation in Anlehnung an SANDER [S2]

Hauptgruppen	Untergruppen	Beispiele
Eigeninformation	Präsenzinformation	soll die Aufmerksamkeit des Käufers wecken, bleibt oft das einzige Wahrgenommene, Gestaltung so, daß viele Verpackungen wieder ein „Bild" geben, kann so wirken, daß zuweilen nur der Wunsch entsteht, die Verpackung zu besitzen,
	Verpackungsherkunft	Hinweis auf Hersteller der Verpackung; meist nur sehr klein und an unauffälliger Stelle,
	Verpackungsqualität	Handhabung der Verpackung (Öffnungshinweise), Eindruck besonderer Haltbarkeit, Möglichkeit zur Weiterverwendung, ästhetische Gestaltung, z. B. Holzmaserung, Glanzeffekte, hygienische Wirkung, z. B. Alufolie
Inhalt-(Packgut-) Information	Art des Packgutes	z. B. Lebensmittel, Kosmetik, z. B. Butter, Käse oder Mehl, Anwendung von Bildern und Symbolen,
	Herkunft	Kunde hat meist Vorstellung, wie ein bestimmtes Produkt verpackt sein müßte, meist streben Hersteller nicht die Kennzeichnung von individuellen Produkten, sondern von Kollektionen an, Verwendung von firmenspezifischen Farben, Zeichen und Texten,
	Verbraucherkreis	Preis, Berücksichtigung des „sozialen Status",
	Qualität	oft Pflichtangaben z. B. über Zusammensetzung und Herstellungsdatum, Hinweise auf Zubereitung, Lagerung, Haltbarkeit, Pflege usw.,
	Quantität	Stück, Gewicht, Volumen usw., unbewußt verbindet ein Käufer mit der Größe der Packung eine Inhaltsmenge,
sonstige Informationen		Informationen über das vollständige Sortiment, teilweise durchsichtige Verpackungen, Hinzufügen von Gerüchen zur Verpackung, z. B. bei Kosmetika und Kaffee, taktile Gestaltung, damit beim In-die-Hand-Nehmen eine Anmutung erfolgt, akustische Wirkung, z. B. Knittern bei Metall- oder Kunststoff-Folie,

wird dann im gewissen Umfange noch bezüglich der syntaktischen, semantischen und pragmatischen Ebene fortgesetzt. Die *syntaktischen Untersuchungen* betreffen u. a. die *Firmennamen*, die *semantischen* werden am Beispiel der *Bewertung* von zwei Flaschentypen für den Inhalt „guter Weißwein" demonstriert. Schließlich zeigt ein umfangreiches Befragungsergebnis, welche Angaben auf einer Verpackung enthalten sein sollen. Es ist nämlich bedeutsam, daß die *Gebrauchsfähigkeit* fast jeder Ware von *hinzugefügten* (oder bekannten) *Informatinen abhängt*. Nur mit ihrer Hilfe ist die Ware anwendbar. (Speichertechnisch entspricht dies einem Wiedergabevorgang, vgl. Studie [V15].) Beispiele sind hierfür u. a.: Gebrauchsanleitungen, Kochvorschriften, Zusammensetzen des Inhalts, technische Datenblätter, Aufschriften wie „Hier öffnen" usw.

Es sei noch auf eine bedeutsame Studie zur *Warenästhetik* von HAUG [H5] hingewiesen, in der gezeigt wird, wie im Kapitalismus die *Verpackung* von Waren und die *Werbung* für sie nach ästhetischen Gesichtspunkten umgestaltet werden. Hierdurch wird der potentielle Käufer zielgerichtet zum Kauf verführt, und zwar nicht über die Ware, sondern über die ästhetische Gestaltung „um die Ware herum". Weiter ist für das Thema hier interessant, daß er die „Werbegeschenke" als ein spezielles, zielgerichtetes Kommunikationsmittel betrachtet.

In einer Studie von RAFFEÉ [R1] wird die Möglichkeiten der Informationsausnutzung bei der Beschaffungsentscheidung des privaten Haushaltes untersucht. Dabei werden u. a. zwei Fakten analysiert: Einmal die Klärung des eigentlichen Bedürfnisse und zum anderen die mit Werbeschriften, Katalogen, Verpackungen usw. gegebenen Informationen. Dabei treten solche Begriffe wie Gebrauchtransparenz, Prestige, Snobbedürfnis usw. auf.

9.7. Kultur, Ästhetik, Kunst

9.7.1. Semiotische Theorie der Kultur

In den letzten Jahren sind mehrere Arbeiten entstanden, die sich bemühen, fast das gesamte *kulturelle Geschehen aus der Sicht der Semiotik* zu verstehen. Dabei werden interessante neue Erkenntnisse gewonnen. Selbst wenn von den Gebieten Sprache, Schrift, Kunst, Wissenschaft und Technik abgesehen wird, bleibt noch ein großes Spektrum, das mit folgender Aufzählung nur angedeutet werden kann: magische Zeichen, Talismane (Glücksbringer), Amulette (Unglücksabwender), Maskottchen (Astrologie, Traumdeutung), Kastensymbole, Wappen (Heraldik), Fahnen, Geldzeichen, Briefmarken, Firmen-, Marken- und Eignerzeichen, religiöse Symbole, politische Symbole, Symbole des Ranges oder der Stellung im gesellschaftlichen Leben, Statussymbole, wissenschaftliche oder sonstige Titel, Formgestaltung (Design), Ornamente und Muster, Verkehrszeichen und sonstige Piktogramme, Kleidung (z. B. Folklore, Trachten oder Berufsbekleidung), Wohnraumausstattung und- gestaltung, Mythen, Riten, Sitten, Gebräuche, Eßgewohnheiten, sozial richtiges Verhalten, ritterlicher (oder sonstiger) Codex, diplomatisches Protokoll.

Es ist ersichtlich schwer, hier selbst nur in der Anordnung eine Ordnung zu schaffen. Dies wäre vielleicht (wenn überhaupt) nur mit einer groß angelegten geschichtlichen Studie möglich. Einen kleinen Ausschnitt dazu haben SCHWARZ-WINKLHOFER und

Biedermann [S29] mit dem „Buch der Zeichen und Symbole" versucht, wobei sie allerdings nur „graphische Kürzel" und zwar 1300 Grundformen zusammengetragen und geordnet haben. Dabei ist besonders das Geschehen in der Gegenwart — infolge der geschichtlichen Analyse — sehr kurz weggekommen. Mehr auf technische Zeichen im Sinne der Nachrichtentechnik geht Prieto [P8] in seiner stärker theoretischen Analyse ein. Als Arbeiten, die relativ breit theoretisch orientiert sind, seien z. B. Eco [E3], Pawlowsky [P3], Segal [S32] und der Bericht [N19] über *Kulturgrammatik* genannt. Oft wird bei derartigen Methoden versucht, die Kenntnisse aus der Linguistik weitgehend zu verwenden. Sie ist ja die bisher am weitesten formalisierte Gesellschaftswissenschaft. So entstand auch der Begriff „Kulturgrammatik". Mit ihr werden *drei Ziele* angestrebt:

- einheitliche Behandlung aller Kulturphänomene,
- Versuch einer Abgrenzung zwischen Kultur- und Naturphänomenen,
- Versuch einer wissenschaftlich-phänomenologischen Kulturtheorie.

Bedeutsam ist, daß in den letzten Jahren hierduch u. a. neue interessante Ergebnisse zur Ethnographie vor allem primitiver Völker gewonnen werden konnten. Bei der Erforschung der australischen Ureinwohner durch E. Stanner (nach Segal [S32, S. 138]) zeigte sich z. B.,

„daß bei einigen Stämmen alle semiotischen Systeme — Sprache, Mythos, Ritual, das System der Gebrauchsgegenstände, des ökonomischen Austausches, der Verwandtschaft und der sozialen Beziehungen — eine für alle gemeinsame Bedeutungsstruktur besaßen, die völlig klar und ihren Trägern bewußt war. Das heißt, ein bestimmtes Wort der Sprache, ein Geschehnis des realen Lebens, irgendein Gegenstand, ein lokales Merkmal, ein Verwandtschaftsverhältnis, ein ritualer Tanz, alles war Element eines allgemeinen Zeichensystems, alles war Teil einer einheitlichen, allumfassenden Metapher."

Solche Ordnungen haben sich natürlich nur in den von der Außenwelt isolierten Gebieten halten können. Beim Kontakt verschiedener Kulturen durchdringen sich diese Systeme, und es entsteht, wie auch viele Formgestalter meinen, ein „Chaos" der Formen, unter dem wir heute zu leiden haben. Diese und ähnliche Zusammenhänge analysiert Segal etwas genauer.

Lorenz [L15] weist in seiner oft nur etwas zu einseitigen Art auf folgendes Problem (S. 186):

„Wenn große Kulturgruppen in Frieden koexistieren sollen, müssen die Mitglieder jeder einzelnen überzeugt sein, daß alle Kulturgüter jeder anderen, alle ihre geheiligten Überlieferungen und Normen sozialen Verhaltens, ihre Ideologie und Religion völlig gleichwertig mit den Gütern der eigenen Kultur sind. Der Preis, der für die volle Anerkennung fremder Kulturwerte bezahlt werden muß, ist somit die Relativierung der bisher für absolut gehaltenen Werte der eigenen Kultur."

Weiter geht er dann auf das Problem der Jugend ein. Sie ist oft nicht bereit, „soziale Normen der älteren Generationen zu den ihrigen zu machen." Die Gefahr besteht hier, daß alle Traditionen in Bausch und Bogen verworfen werden.

Zur *Entstehung der Bräuche* usw. gibt Lehmann [L9] eine sehr einprägsame Einführung, die vor allem deswegen wohl so klar ausfällt, weil sie sich auf das *Teilgebiet der Phantasie* beschränkt. Sie ist aber dennoch viel allgemeiner. Er geht von der Entstehung der Arbeit aus. Auch sie fordert eine innere Logik, d. h. ein durch die objekti-

ven Gegebenheiten bedingtes regelhaftes Verhalten, einen Gestus. Dieser muß aber gleichzeitig entsprechend den jeweiligen Situation und den Bedingungen flexibel und variabel bleiben (S. 20):

„Der Gestus umfaßt die räumliche und zeitliche Koordination der operativen Bewegungen, er schafft und figuriert den Raum und gibt das Taktmaß der Abläufe an, formt mithin die Zeit."
„Ursprünglich begleiteten rhythmische Rufe die tanzähnlichen Arbeitsbewegungen. Man darf dabei nicht an einen melodiösen Gesang denken, die Rufe waren zudem unverständlich und sinnlos. Sie wurden hervorgestoßen, gedehnt oder gepreßt, je nach dem Rhythmus der Arbeit. Die Modulation der Laute hing ab von der Atmung des Arbeitenden. Je schwerer die Arbeit, desto heftiger und explosiver der „Gesang". Es wurde ganz sicher nicht aus Freude an der Arbeit gesungen ... Wie zahlreiche Beobachter bestätigen, hören die Eingeborenen dann zu singen auf, wenn sie die Arbeit beendet haben oder erschöpft zusammenbrechen. Der Gesang, das rhythmische Rufen, hält die Arbeit in Gang."

LEHMANN [L9] führt dann die Betrachtungen fort, wie sich die Tanzfiguren nach und nach ablösen und schließlich nur noch „protokollierte Arbeitserfahrungen eines Stammeskollektivs" sind. Daneben entstehen Tänze als sakrale Handlungen zum Ausgleich zur Arbeit. Dabei wird der Spielcharakter auch als Vorbereitung für Arbeit bedeutsam. Es wird so schrittweise tanzend mit Verhaltensweisen (z. B. Erlegen von Wild usw.) experimentiert. Schließlich wird von derartigen Handlungen nur noch das kultische Bild als Symbol dargestellt (S. 37):

„Die bildliche Wiedergabe realer Situationen sparte einen beträchtlichen Teil der physischen Energie ein, die noch im Tanzspiel aufgebracht werden mußte, um Erfahrungen aneignen und praktikabel verwerten zu können."

Es existiert daraus ein Denken in Bildern (S. 38):

„Die Bilder, in denen er (der Eingeborene H. V.) denkt, sind physisch gewichtig, beinahe räumlich und stofflich faßbar, und sein Denken ist leibhaft fühlbar, weil eng verbunden mit der motorischen Antriebssphäre. Daher haben Traumbilder mitunter für den Primitiven eine solche sinnlich-unmittelbare Evidenz, daß er sie mit tatsächlichen Realitäten verwechselt. Eine Missetat, die im Traum begangen wurde, wird bei manchen Völkern wie ein wirkliches Vergehen bestraft."

Unter diesem Gesichtspunkt könnte das Prinzip, aber nur dieses, der *Traumdeutung* von FREUD verständlich werden. In seinen Betrachtungen sind jedoch die Bilder — egal welcher Art — völlig einseitig als Sexualsymbole interpretiert.

Aus den Betrachtungen von LEHMANN werden auch die am Ende von Abschn. 9.2.2. dargestellten Zusammenhänge der großen Macht der Worte in den oralen Gesellschaften verständlich.

Untersuchungen von Handlungen der gegenwärtigen Bevölkerung der USA wurden von GOFFMAN [G9] durchgeführt. Er unterscheidet dabei zwischen Handlungen, die soziale Billigung finden und solchen, die als falsch und ungehörig angesehen werden. Dazu wurden Handbücher des guten Benehmens, aber auch experimentelle Studien ausgewertet. Ferner mußte das Maß der Billigung selbst beachtet werden. Es reicht vom Nichtwahrnehmen über Tolerieren, Kopfschütteln, Erregung von Unwillen und Ärger bis zu Geldstrafen. In diesem Sinne definiert er dann soziale Ordnung als Konsequenz jedes moralischen Normensystems. Genauer untersucht wurde von ihm die Interaktion zwischen Menschen, die sich von Angesicht zu Angesicht begegnen (S. 35):

„Gemeinsame Anwesenheit macht Menschen in einzigartiger Weise erreichbar, verfügbar und einander unterworfen."

Hieraus leitet GOFFMAN dann Folgerungen ab, die das entsprechende Verhalten betreffen, dessen Spektrum von öffentlicher Sicherheit über Burgfrieden usw., über Höflichkeit und Charme bis zu gemeinsamen Aktionen reicht. Nach einer derartigen mehr theoretischen Einleitung wird dann auf den *Zeichencharakter des Verhaltens* in praktischen Beispielen eingegangen. Hierzu gehört vor allem die schon erwähnte *nichtverbale Kommunikation* über Kleidung, Haltung, Bewegung, Gang, Gesten (wie Winken oder Grüßen), Make-up, offenen emotionalen Ausdruck usw. Solche Körpersprache (body language) soll zuweilen 80% des Kontaktes ausmachen (S. 43):

„Ein Mensch kann aufhören zu sprechen, er kann aber nicht aufhören, mit seinem Körper zu kommunizieren, er muß damit entweder das Richtige oder das Falsche sagen; aber er kann nicht gar nichts sagen."

Es kann hier nicht die Vielzahl der interessanten Ergebnisse zitiert werden. Ein Beispiel mag für viele stehen. Das ist die höfliche, gleichgültige Blickbegegnung auf der Straße (S. 85):

„Kommt es zu solcher Höflichkeit zwischen zwei Passanten auf der Straße, kann höfliche Gleichgültigkeit in der besonderen Form walten, daß man den anderen ins Auge faßt, bis er sich auf etwa drei Meter genähert hat — in dieser Zeit werden die Seiten der Straße durch Gebärden aufgeteilt —, dann, während der andere vorbeigeht, schlägt man die Augen nieder ... Mit höflicher Gleichgültigkeit tut man kund, man habe keinen Grund, den Absichten des anderen Anwesenden zu mißtrauen, und auch keinen Grund, die anderen zu fürchten, ihnen feindlich gesonnen zu sein oder sie meiden zu wollen."

Als letztes Beispiel sei noch auf die *Gestaltung des Stadtbildes* verwiesen. Hierzu liegt u. a. eine Arbeit von WALTER [W1] vor. Er behandelt vor allem die *visuellen Zeichen* und unterscheidet dafür:

- Wohngebiet (z. B. Wohnungen, Hotels, Krankenhäuser),
- Verkehrsbereich (z. B. Straßen, Kreuzungen, Bahnhöfe, Haltestellen),
- Kontaktbereich (z. B. Kaufhäuser, Restaurants, Theater, Kinos, Parks, Spielplätze),
- Arbeitsbereich (z. B. Betriebe, Institutionen, Schulen),
- Erholungsbereich (z. B. Sport- und Kultureinrichtungen, Naherholungsgebiete Gartenanlagen),
- Repräsentationsbereich (z. B. zentrale Plätze, Denkmäler, wichtige Regierungs- und Verwaltungsgebäude).

Sicher ist diese Einteilung relativ willkürlich. Weitaus wichtiger sind die *Zeichen zur Orientierung* in diesen Gebieten. Dazu gehören u. a. Hinweis- und Verhaltensorientierungen, Werbung, Agitation. Es werden dann *Hinweise zur optimalen Gestaltung* der Zeichen ausgearbeitet. Dabei entsteht ein System dieser Zeichen, das viele Vorteile gegenüber der meist zufälligen, provisorischen und damit unübersichtlichen Aufstellung bei unsystematischer und sporadischem Entstehen hat. Dieses System wurde erfolgreich anläßlich der X. Weltfestspiele der Jugend und Studenten in der Hauptstadt der DDR angewendet.

9.7.2. Ästhetik

Die Welt kann *ontologisch* (in der Seinsweise), *gnosiologisch* (erkenntnistheoretisch) und *axiologisch* (wertend) untersucht werden. Im *System der Werte* existieren dann die drei Aussagen des *Wahren*, des *Guten* und des *Schönen* (Abb. 9.53). Wie Abb. 9.54 zeigt, sind die Beziehungen zwichen den Werten sehr kompliziert. Im Sinne von Objekt- und

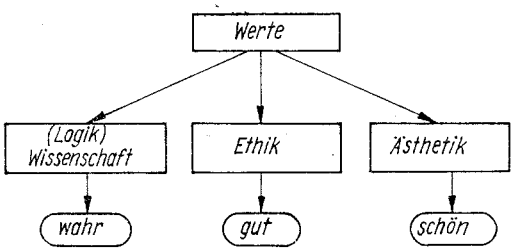


Abb. 9.53 Zur Einteilung der Werte und ihrer Wissenschaften.

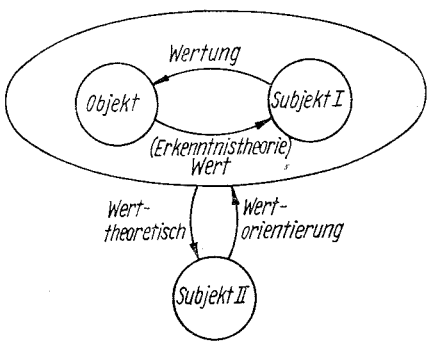


Abb. 9.54 Wert, Wertung und deren Betrachtung im Modell.

Metasprache muß die Beziehung zwischen Objekt und Subjekt und die Beschreibung dieser Beziehungen unterschieden werden (s. z. B. STOLOWITSCH [S53, S. 35—36]). In der *Erkenntnistheorie spiegelt das Subjekt* Wirkungen des Objektes *wider*. Bei der *Wertung* wird das Objekt bezüglich *Befriedigung* seiner *Bedürfnisse untersucht*. Wird nun das zweiseitige Wechselspiel betrachtet, so bestehen wieder die beiden Möglichkeiten. In einem Fall wird die Wechselwirkung wissenschaftstheoretisch betrachtet, im anderen Fall der Wert des Objektes, der sich in der gesellschaftlich-historischen Praxis herausgebildet hat. Für die *Objektebene* sagt KAGAN [K3, S. 91]:

„Wert und Wertung bilden gleichsam die zwei Pole im einheitlichen System der Objekt-Subjekt-Beziehungen: Der Wert kennzeichnet das Objekt *in seinem Verhältnis zum Subjekt*, die Wertung *das Verhältnis des Subjekts zum Objekt*."

Während des Wahre schon sehr lange von anderen Werten getrennt untersucht wurde, wurden erst im Mittelalter die Werte des Guten und des Schönen unterschieden. Noch heute besteht zwischen diesen beiden eine gewisse Wechselwirkung. Sie wird

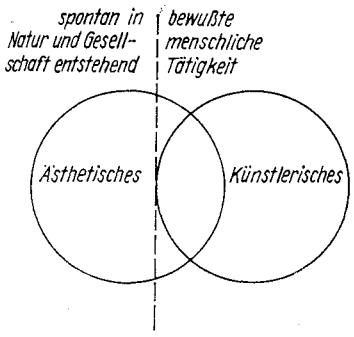


Abb. 9.55 Verhältnis vom Ästhetischen und Künstlerischen.

u. a. bei KAGAN [K1 ... K6] ausführlich untersucht. Noch schwieriger ist die Trennung zwischen dem Ästhetischen und dem Künstlerischen. Der Begriff Ästhetik wurde erst in der Mitte des 18. Jahrhunderts von BAUMGARTEN eingeführt und im wesentlichen mit dem Künstlerischen gleichgesetzt. Hierzu gehört die Meinung, daß die Schönheit ihren höchsten Ausdruck in der künstlerischen Tätigkeit des Menschen findet. In der Zwischenzeit hat sich aber eine Entwicklung vollzogen, die heute das Verhältnis beider gemäß Abb. 9.55 ergibt. Hierzu schreibt KAGAN [K3, S. 14]:

„Einerseits sind Schönheit und Kunst nicht voneinander zu trennen, weil die Kunst ein wesentlicher Bereich des Schaffens „nach den Gesetzen der Schönheit" ... ist und die ästhetische Wahrnehmung des realen Lebens durch die Kunst vermittelt wird. Andererseits erstreckt sich der Bereich des Ästhetischen über ein bedeutend größeres Territorium als die Welt, und nur in seltenen Fällen läßt sich das künstlerische Schaffen auf das Schaffen von Schönem reduzieren."

Weiter präzisiert dies STOLOWITSCH [S53, S. 154]:

„Der künstlerische Wert ist stets Produkt menschlicher Tätigkeit. Der Begriff ästhetischer Wert dagegen ist umfassender: Er schließt nicht nur die ästhetische Wertung dessen ein, was durch die Arbeit des Menschen geschaffen wurde, sondern auch die spontan entstehenden Erscheinungen in Natur und Gesellschaft. Doch auch durch die menschliche Tätigkeit können Gegenstände und Erscheinungen hervorgebracht werden, die zwar ästhetische Werte besitzen, aber keine künstlerische Bedeutung haben, die kein Kunstwerk sind."

Hierzu können folgende Beispiele gegeben werden:

> Schönheit eines Minerals, eines Tieres, eines menschlichen Gesichts, der Tat eines Menschen, einer Maschine oder einer Sinfonie.

STOLOWITSCH weist nach, daß der *ästhetische Wert immer einen Doppelcharakter* hat, Es gibt bei ihm eine erste Schicht. Sie ist die innerliche Realität als Gegenstand oder Abbild (Zeichenträger H. V.). Die zweite Schicht ist das, was hinter dieser Realität steht, was in ihr nicht erscheint, was gedeutet wird (S. 64—65):

„Der ästhetische Wert ist in bestimmter Hinsicht ein besonderes Zeichen, eine sinnlich wahrnehmbare Erscheinung (Gegenstand, Ereignis, Handlung), die auf andere Erscheinungen hinweist, diese bezeichnet oder darstellt."

Es handelt sich um die *ästhetische Form* und den *ästhetischen Inhalt.* Damit ergibt sich ein Relationsgefüge von Abb. 9.56, das im wesentlichen Abb. 9.10 entspricht. Zur *ästhe-*

tischen Form sagt KAGAN [K3, S. 94]:

„Gerade in der Praxis erkannte der Mensch allmählich den selbständigen und eigentümlichen Wert *des Rhythmus, der Proportionalität, des Maßes, der Symmetrie, der strukturellen Organisiertheit* der von ihm geschaffenen Produkte wie auch der Produktionshandlungen selbst. Das ästhetische Empfinden der Form erwuchs aus jenem freudigen Selbstgefühl, das die Organisiertheit bewirkt, die die Arbeit erleichtert und deren Produktion steigt."

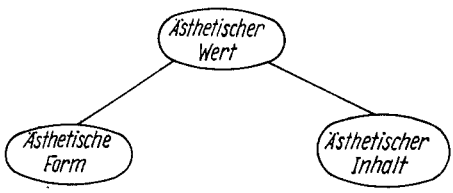


Abb. 9.56 Die ästhetische Form ist Träger des ästhetischen Inhaltes, und beide zusammen bestimmen den ästhetischen Wert.

Auf S. 98 heißt es:

„Die Erfahrung lehrt, daß man die Form nicht ästhetisch werten kann, ohne sich mit ihrem Inhalt auseinanderzusetzen."

Bezüglich der *Relation von Form und Inhalt* steht auf S. 99:

„... das In-Beziehung-Setzen der Form mit dem Inhalt keine logische Operation ist, kein Urteil, das durch die Tätigkeit des Denkens analysiert wird. Es vollzieht sich beim Menschen intuitiv in dem gleichen Augenblick, in dem er mit dem Gegenstand in Berührung kommt und ihn wahrnimmt."

Alle Wertbildungen sind irgendwie mit Gefühlen verbunden, die mit der Befriedigung von Bedürfnissen zusammenhängen. Die Besonderheit der ästhetischen Gefühle besteht darin, daß sie keinen Nutzen oder Vorteil bringen. Sie hängen mit geistigen Bedürfnissen zusammen und sind daher nur für den vorhanden, der sie subjektiv wahrnimmt. Deshalb kann es auch keinen „ästhetischen Kodex" geben.

Es gibt drei Paare von ästhetischen Grunderscheinungen:

Schönes — Häßliches,
Erhabenes — Niedriges,
Tragisches — Komisches.

Neben ihnen existieren noch weniger bedeutsame Ergänzungswerte und synthetische Werte.

Aus all den aufgeführten Fakten geht deutlich hervor, daß zwischen Ästhetik und Semiotik im Sinne „Lehre von den Zeichen" ein enger Zusammenhang besteht. Die *ästhetische Form* entspricht dabei dem *Zeichenträger*. Interessant ist aber, daß ästhetische Zeichen in der Semiotik unüblich sind. Es gibt zwar gewisse Ansätze zu einer Formalästhetik der Zeichen, die ihre gegenseitige Anordnung, aber kaum die Regeln dafür betreffen. Sie könnten der Syntax entsprechen. Auch wurde verschiedentlich von einem semantischen Aspekt gesprochen. Er wurde dann sogar dem ästhetischen gegenübergestellt. Insgesamt liegen hier jedoch kaum mehr echte Relationen vor.

9.7.3. Allgemeines zur Kunst

Das Wort *Kunst* hat zumindest *drei Begriffsinhalte.*

Am umfassendsten ist der Inhalt bezüglich eines *prozeßhaften Könnens*, der *Meisterschaft*, der *Kunstfertigkeit.* Hierzu gehören dann viele Gebiete, wie Kunst in der Diplomatie, des Chirurgen, eines Handwerkers usw. Der zweite Inhalt betrifft das Ergebnis *künstlerischen Schaffens*, z. B. in der Literatur, im Theater, der Musik, des Films, der Malerei, Architektur usw. In der Ästhetik interessiert vor allem der dritte Inhalt, der das *Kunstwerk* betrifft. Es wird natürlich zur Rezeption geschaffen. Dabei erfolgt die künstlerische Wertung (s. Abb. 9.57).

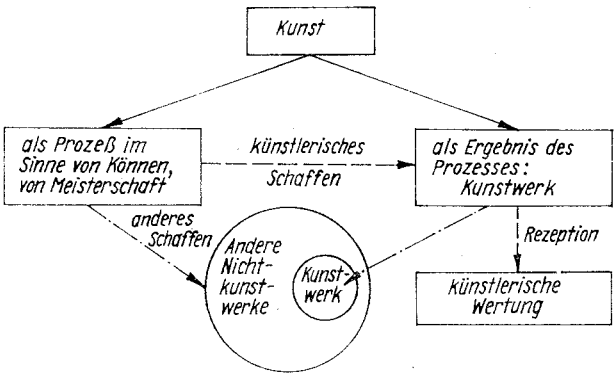


Abb. 9.57 Schema der Kunst bezüglich der zwei wichtigsten Inhalte des Wortes als Können, Meisterschaft bzw. als Ergebnis des Prozesses des künstlerischen Schaffens, sowie die daraus folgende Kommunikationskette (gestrichelte Linien)

Gerade die *kommunikative Funktion der Kunst* zeigt einen weiteren Unterschied zum Ästhetischen. Die ästhetische Aneignung der Wirklichkeit ist ein relativ einfaches System. Es ist statisch und geht nur auf die beiden Komponenten

- das Objekt, das wahrgenommen, erlebt und gewertet wird, und
- das Subjekt, das die Welt wahrnimmt, erlebt und wertet, zurück.

Die künstlerische Aneignung der Welt ist dagegen ein weitaus komplizierteres, dynamisches, da offenes, kommunikatives System.

Die *Statik*, d. h. der oft fehlende Realisierungsimpuls *beim ästhetischen Bewußtsein*, zeigt sich u. a. darin, daß Aktionen nur erfolgen, wenn Korrekturen am Objekt notwendig erscheinen. Beispiele sind, wenn ein Gartengestalter den Park auslichtet, wenn ein Stubenmaler die abblätternde Wand neu streicht oder eine Frau zu kosmetischen Mitteln greift, um mehr zu gefallen.

„Dem künstlerischen Bewußtsein dagegen ist ein Realisierungsimpuls immanent. Es kann sich mit der Wahrnehmung selbst des schönsten und erhebendsten Objektes nicht zufriedengeben. Im Gegenteil, je höher der ästhetische Wert der realen Erscheinung ist, desto stärker wird das Bedürfnis des künstlerischen Bewußtseins, deren bildhaftes Modell zu schaffen, um den anderen Menschen zu übermitteln, wie der Künstler diese Realität wahrnimmt, erfaßt und wertet."

(KAGAN [K3, S. 212]).

Das *künstlerische Zeichen* ist vor allem *bildhaft.* Hierzu sagt KAGAN S. 243:

„Es steht außer Zweifel, daß die Fähigkeit, bildhaft zu denken, dem Menschen nicht von Natur aus gegeben ist. Denn die künstlerisch-bildhafte Aufnahme ist nicht lediglich eine visuelle oder akustische Wahrnehmung, sondern sie ist Ergebnis eines komplizierten Prozesses der Verarbeitung von Empfindungen im menschlichen Bewußtsein."

Durch dieses künstlerisch-bildhafte Wahrnehmen erkennen wir die Wirklichkeit in einer stark betont ganzheitlichen Weise, die dem analytischen wissenschaftlichen Erkennen im gewissen Sinne entgegengesetzt ist und es zugleich in spezifischer Weise ergänzt. Das künstlerische bildhafte Bewußtsein ist daher nicht abstrakt-logisch, sondern eher metaphorisch. Auf diese Weise entsteht mit der Kunst ein Wertesystem, mittels dessen Erfahrungen von sozial organisierten Beziehungen von Mensch zu Mensch und von Generation zu Generation weitergegeben werden. Hierzu ist es notwendig, die entsprechenden Kunstwerke als materielle Gegenstände zu erschaffen. Hierzu sagt LEHMANN [L9, S. 143]:

„Das Kunstbild widerspiegelt und beinhaltet typisierte oder formelhaft verkürzte Handlungen und Verhaltensweisen, die im Bild nicht eigentlich angeschaut, sondern — zumeist innerlich — nachvollzogen und im Vollzug „leibhaft", eben partiell unbewußt, erfahren werden. ... Das Kunstbild besteht in der Einheit beider Momente, seiner stofflichen Darstellung (semantischer Aspekt) wie seiner dynamischen Funktion (pragmatischer Aspekt)."

Damit ist zugleich die semiotische Betrachtungssweise des Künstlerischen angesprochen, wenngleich ihr auch in dieser Weise (zumindest bezüglich Semantik) nicht zugestimmt werden kann. Besser sind schon die an anderer Stelle gegebenen Aussagen bezüglich der semantischen Offenheit, Unbestimmtheit, großen Vielfältigkeit der künstlerischen Bilder. Auch verfügen die künstlerischen Bilder über eine gewisse Syntax bezüglich ihrer gegenseitigen Beziehungen.

Eine interessante kritische Einschätzung der Beziehungen zwischen *Semiotik und Kunstschaffen* gibt CHARAPTSCHENKO [C8]. Konstruktiver ist wiederum KAGAN. Seine Analyse beginnt bei den verschiedenen Arten der menschlichen Tätigkeiten:

- *umgestaltende Tätigkeit,* mittels derer die objektive Realität verändert wird, z. B. in den vielfältigen Formen der Arbeit und revolutionären Tätigkeit,
- *Erkenntnistätigkeit,* mittels derer objektive Qualitäten, Zusammenhänge und Beziehungen der realen Welt gewonnen werden (höchste Form ist Wissenschaft),
- *wertorientierte Tätigkeit,* mittels derer Wertsysteme in Politik, Jura, Ethik, Religion und Ästhetik gewonnen und angewendet werden (technische Form ist Messen),
- *kommunikative Tätigkeit,* mittels derer Kontakt zwischen Menschen geschaffen wird. Hierzu gehören Verkehr, Transport, Kommunikation,
- *künstlerische Tätigkeit,* in der alle vier anderen Arten verschmelzen, um eine ganzheitliche Lebenserfahrung zu modellieren.

Alle Tätigkeiten sind miteinander verknüpft (s. Abb. 9.58a). Wegen der weiteren Betrachtungen wurde die künstlerische Tätigkeit ins Zentrum des Bildes gerückt. Diese Betrachtungen lassen sich relativ leicht auf den funktionellen Aspekt der Kunst, ihre kommunikativ-semiotische Seite übertragen. Das Kunstwerk, genauer seine Form, muß dazu die Möglichkeit besitzen, seinen Inhalt auszudrücken und ihn denen zu vermitteln, die sich an die Kunst wenden (vgl. Bild bezüglich Form und Inhalt). In

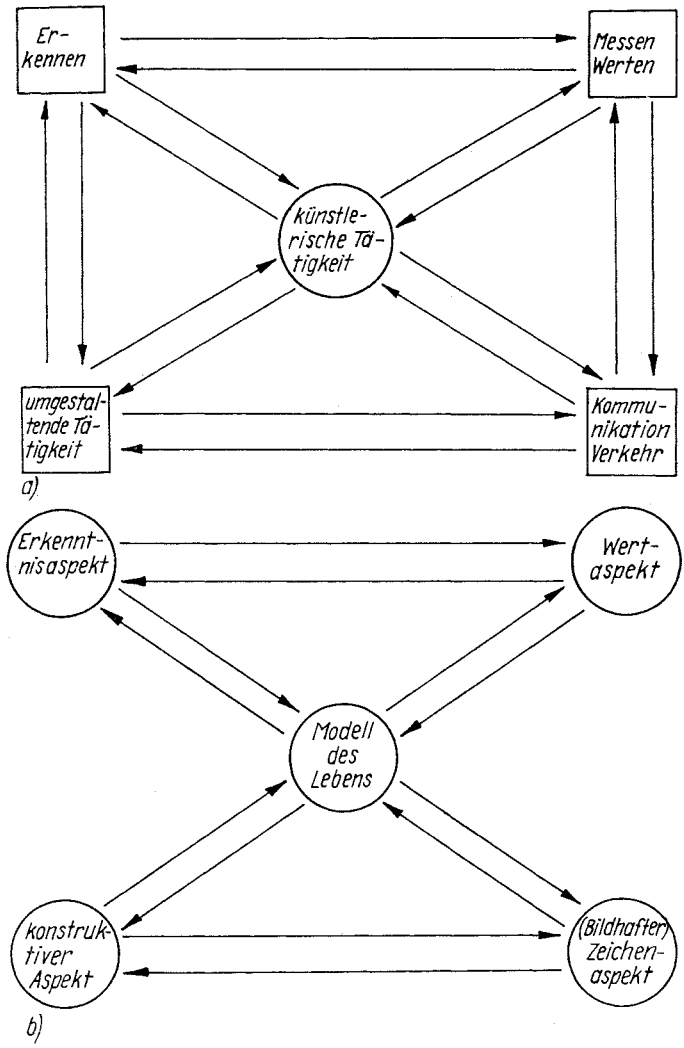


Abb. 9.58 Schemata der menschlichen Tätigkeiten (a) und der Kunst (b) nach KAAGAN [K3].

Verbindung mit dem Schema der menschlichen Tätigkeiten entsteht so Abb. 9.58b. Zu diesem Schema sagt KAGAN [K3, S. 322]:

„Dieses Schema vermittelt eine anschauliche Vorstellung davon, wie der Erkenntnisaspekt und der Wertaspekt des künstlerischen Inhalts miteinander gekoppelt und rückgekoppelt in die innere Form der Kunst übergehen — in das von ihr geschaffene Modell des Lebens, und wie daraus die äußere Form erwächst, die konstruktive Seite, die wiederum mit dem Zeichenaspekt untrennbar verbunden ist."

Hiermit ließe sich [K3, S. 322]:

„die Kunst als Art und Weise des Modellierens der Sphäre menschlicher Werte definieren, die dazu dient, eine spezifische erkenntnis- und wertorientierte Information zu erhalten, sie zu bewahren und sie mittels einer Reihe bildhafter Zeichen weiter zu vermitteln."

Die Semiotik als Theorie der Zeichen ist somit relativ bedeutsam für die Kunst. Ihre Aspekte Syntax, Semantik und Pragmatik sind jedoch nur bedingt anwendbar. Dies liegt an den Besonderheiten der bildhaften künstlerischen Zeichen. Sie haben vielfältige, vor allem abstrakte Bedeutungen und sind bezüglich ihres Ausdrucks konkret emotional. Die Besonderheiten der künstlerischen Zeichen lassen sich in Anlehnung an KAGAN in vier Punkte zusammenfassen:

- *bildhafte Struktur* mit doppeltem Sinn: objektiv-subjektiv und doppelter Bedeutung: rational — emotional,
- *untrennbare Verbindung* von äußerer Gestalt und ausgedrückter Bedeutung. Hieraus folgt auch die *Unübersetzbarkeit* (d. h. die Unmöglichkeit der Umkodierung der künstlerischen Information in ein anderes Zeichenssytem),
- Fehlen eines starren grammatikalischen Systems. Es existieren *keine strengen Regeln einer Syntax* oder eines künstlerischen Algorithmusses,
- *umfassende Variabilität* der „künstlerischen Sprache", die z. B. jeder Künstler in unwiederholbarer Eigenart und individueller Weise benutzt und erschafft.

Die *Kunst* insgesamt ist eigentlich ein System von mehreren relativ selbständigen Zeichensystemen der verschiedenen Genres. Dies Problem hat dazu geführt, daß immer wieder versucht wurde, die einzelnen Zeichensysteme und damit die ihnen entsprechenden Kunstgattungen gegeneinander abzugrenzen und zu klassifizieren. KAGAN hat hierzu ein besonderes Buch „Morphologie der Kunst" geschrieben. So bedeutsam wie diese Untersuchungen auch für die Semiotik sind, sie können hier nicht einmal gebührend referiert werden. Im Zentrum seiner Einteilungen stehen zwei Haupteinteilungen

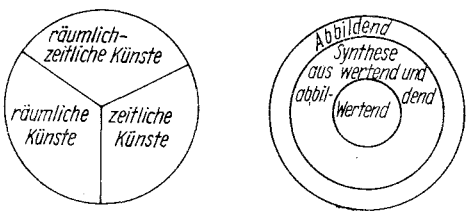


Abb. 9.59 Die üblichen Einteilungsprinzipien KAGANS zur Klassifikation der Künste [K6].

- abbildend — nichtabbildend (wertend),
- räumlich — zeitlich.

Ein *abbildender Charakter* liegt bei jenen Kunstgattungen vor, deren Zeichensysteme im Prinzip die Konkretheit der Welt erkennen lassen. Hierzu gehören u. a. Graphik, Bildhauerei, Foto- und Filmkunst, Literatur und Schauspiel.

Infolge des *Wertaspekts* der Kunst existieren auch *nichtabbildende* Künste, z. B. Architektur, angewandte Kunst, künstlerische Formgestaltung, Musik und Tanz. (Diese Lösung eines alten Problems erscheint mir relativ ungewöhnlich, aber auch problematisch.)

Räumliche Kunstwerke sind statischer Natur, wie z. B. Architektur, Graphik, Bildhauerei.

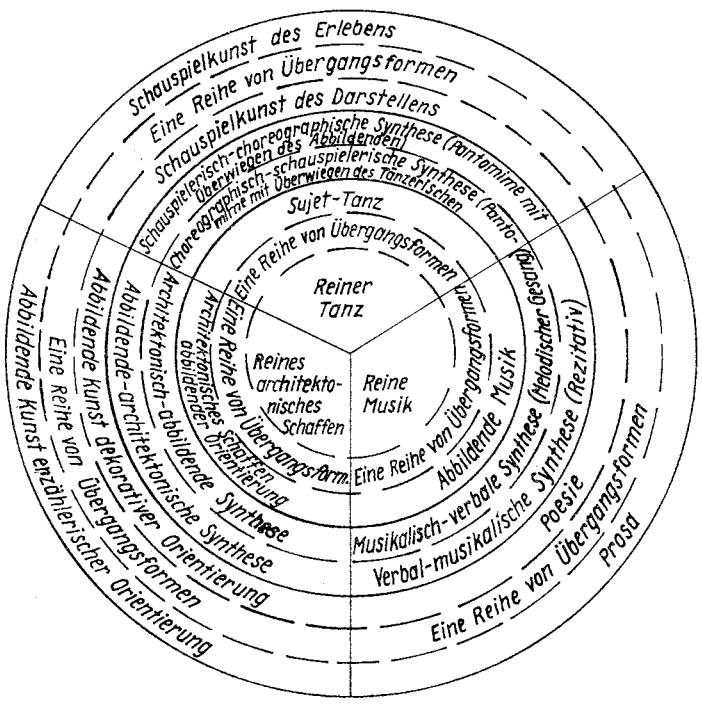


Abb. 9.60 Einteilung der Kunstgattungen nach KAGAN [K6].

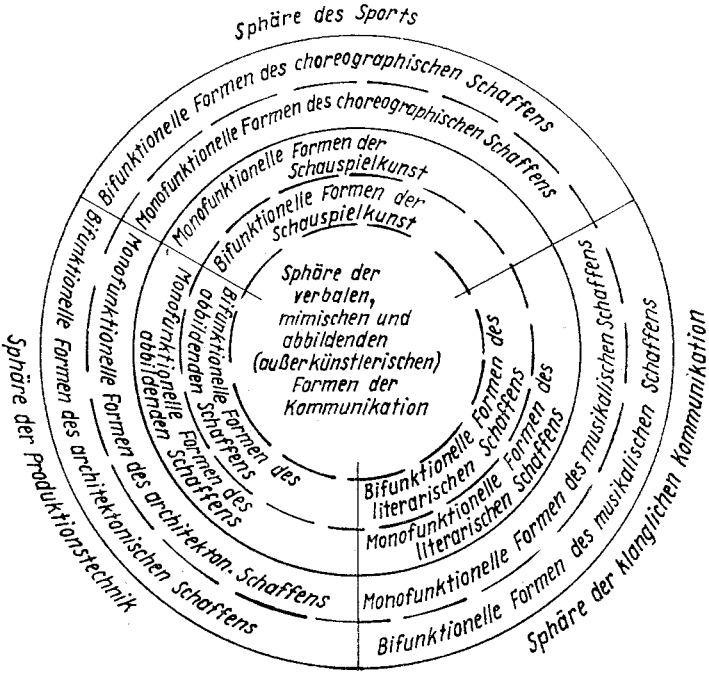


Abb. 9.61 Spektrum von reiner zu angewandter Kunst bis zur reinen Anwendungstechnik nach KAGAN [K6].

Zu den *zeitlichen* Künsten gehören vor allem Musik und Literatur.

Schließlich gibt es noch Gattungen, die *räumlich und zeitlich* organisiert sind. Hierzu gehört u. a. Tanz und Schauspiel.

Um diese Zusammenhänge graphisch deutlichzumachen, hat KAGAN [K6] ein Modell gemäß Abb. 9.59 entwickelt. In einem Kreis werden einmal durch Winkelsektoren die räumlichen und zeitlichen Künste sowie ihre Kombination getrennt; radial werden dagegen innen wertende und außen abbildende Künste gewählt. Dazwischen liegen Künste, die eine Synthese beider zeigen. Dabei lassen sich innerhalb der Aspekte wertend und abbildend aber auch bei ihrer Synthese nochmals Unterteilungen vornehmen. So entsteht das endgültige Schema, wie es Abb. 9.60 zeigt. Eine ergänzende Betrachtung zu diesem Schema ergibt sich dadurch, daß praktisch jede Kunstgattung eine reine und eine angewandte (utilitaristische) Seite hat. Dies nennt KAGAN bifunktionell. Auf diese Weise kann er noch eine zweite radial gerichtete Einteilung vornehmen. Sie ist geeignet, das Spektrum (s. Abb. 9.61) darzustellen, und ermöglicht die exakte Bestimmung der [K6, S. 438]:

„Dynamik des Überganges von außerkünstlerischen, rein utilitaristischen Formen der praktischen Tätigkeit in der Sphäre der Arbeit, der Erkenntnis, der Ideologie und des Verkehrs zu komplexen Formen, die den utilitaristischen Inhalt mit dem künstlerischen zu einer Synthese vereinen und schließlich zu Formen rein künstlerischer, von jeder Utilität freier schöpferischer Tätigkeit."

9.7.4. Musik

Daß *Musik ein System von Zeichen* ist, dürfte heute kaum mehr angezweifelt werden. Schwierig ist es jedoch, über die Zeichen im Sinne der Semiotik detaillierte Aussagen zu machen. Mit die älteste Auffassung dürfte hier wohl von MOLES [M13] (1956) stammen. Er unterscheidet nur die beiden Aspekte *semantisch* und *ästhetisch* und gelangt so zu Abb. 9.62. Seine Definitionen lauten:

„*Die semantische Modalität* umfaßt alles, was es an Genormten, objektiv Definierten, Logisierten bei dem Individuum gibt und sich in einer universellen Sprache ausdrückt. Sie enthält Folgen von *ausdrückbaren* Begriffen, wie sie beispielsweise in eine Fremdsprache übersetzt werden können. Beim musikalischen Signal entspricht sie etwa der Partitur, d. h. einer universellen Sprache, ausgedrückt durch Folgen von genormten „Phonemen" — den Noten.

Die *ästhetische Modalität* entspricht der Grenzüberschreitung, die die musikalische Botschaft mit Bezug auf ihre „Bedeutung", ihren logisierten Ausdruck (beispielsweise ihre Partitur) vornimmt."

Es folgen dann noch Ausführungen zum Interpretationspielraum usw. Es ist aber offensichtlich, daß MOLES hier eine nicht nur der Einteilung nach, sondern auch dem Inhalt nach völlig ungewöhnliche Interpretation der beiden Begriffe semantisch und ästhetisch gewählt hat. Am naheliegendsten ist es noch, seine semantische Modalität als Zeichenträger zu verstehen und seine ästhetische allein unter dem Gesichtspunkt der Semiotik zu betrachten. Alle ganz unten in Abb. 9.62 genannten Gesetze entsprächen dann der Syntax. Es muß aber betont werden, daß trotz dieses Mangels seine Arbeit und auch seine späteren Werke immer sehr anregend und meist auch inhaltsreich sind. Die in Abb. 9.62 gezeigte Einteilung wird im wesentlichen beibehalten. Dies zeigt z. B. Abb. 9.63 aus der 1971 überarbeiteten Fassung seines

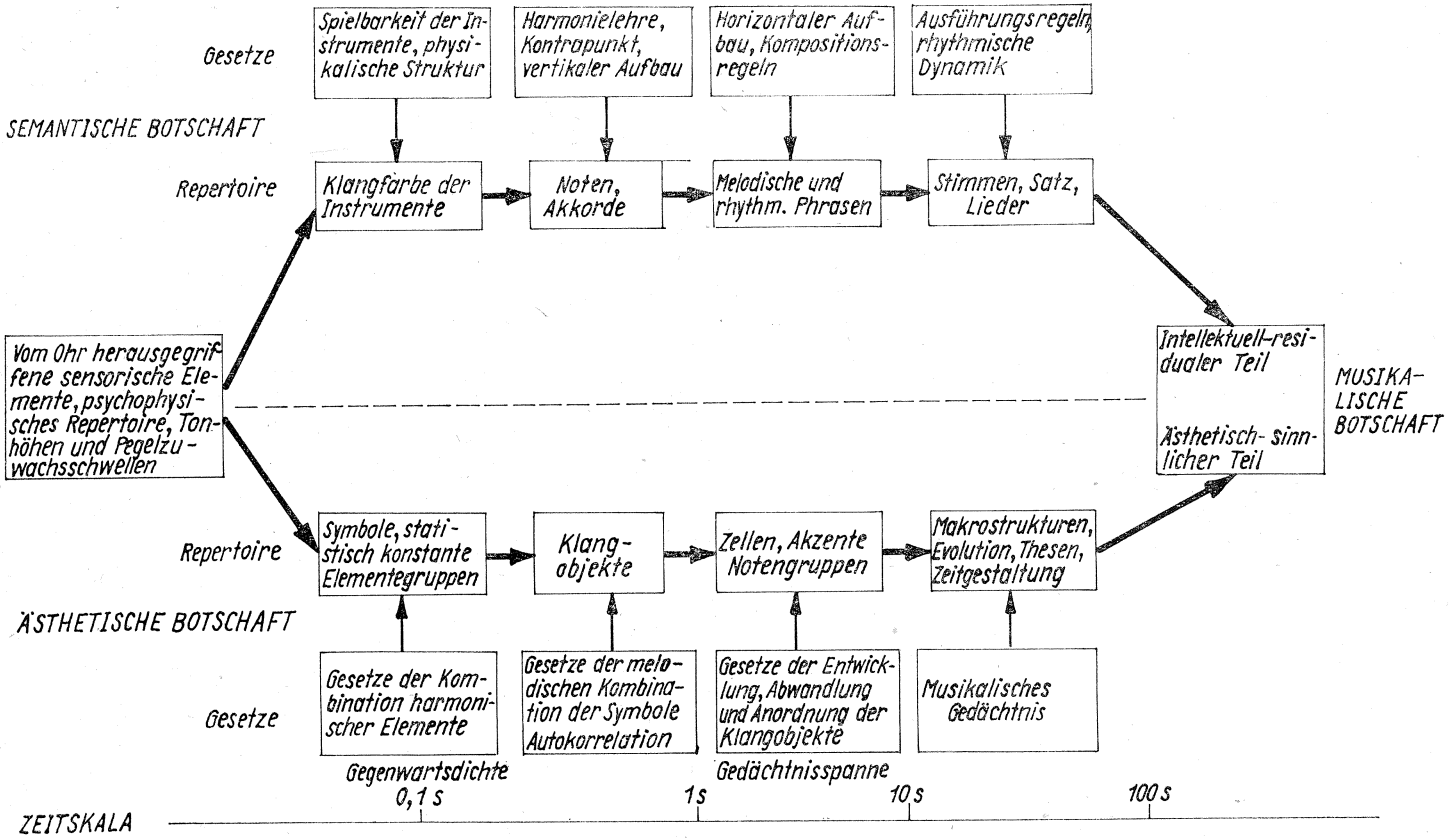


Abb. 9.62 Schema des Musikprozesses nach MOLES [M13].

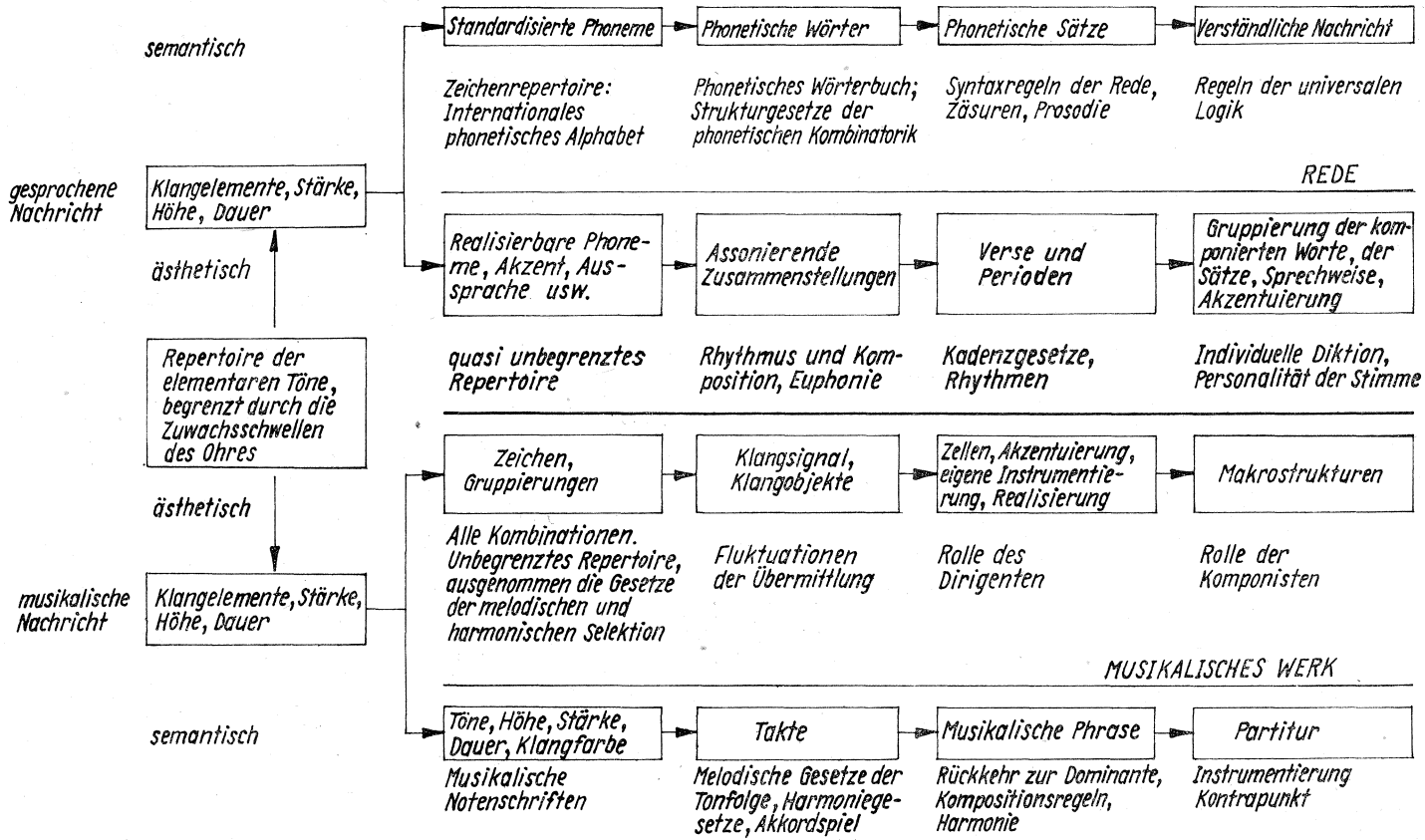


Abb. 9. 63 Vergleich von sprachlicher und musikalischer Information nach Moles [M14, S. 184—185].

französischen Originals von 1958 bezüglich Rede und musikalischem Werk [M14].

Im Sinne der Arbeiten von PEIRCE versucht DORIS STOCKMANN [S51] sich mit dem *musikalischen Zeichenbegriff* auseinanderzusetzen. Sie kommt dabei zu einigen Aussagen im Vergleich mit der Sprache, die etwa gedrängt so wiedergegeben werden können:

- Während die Wortsprache eine Übersetzung in eine andere Wortsprache ermöglicht, gibt es ähnliches in der Musiksprache nicht.
- Der Lautverschiebung, dem Lautwandel in den Wortsprachen, könnte etwa der Übergang in andere Modi (Halb-Ganztonsprung oder Schritt-Sprungteilung) bzw. in andere Tonalstrukturen (z. B. pentatonisch in heptatonisch) entsprechen.
- Spezifisch für die Musik sind Transformationen, wie die Instrumentierung, das Arrangement usw. Bei ihnen bleibt im wesentlichen die Tondauer- und Tonhöhenorganisation erhalten, während die simultanen Strukturkomponenten verändert werden. Es gibt, wie sie aussagt, leider kaum Kenntnisse darüber, wie weit solche Änderungen möglich sind, ohne die Wiedererkennbarkeit zu begrenzen.

Auf diese Art sind also gewisse Regeln im Sinne einer Syntax gegeben. Leider wird auf die viel stärkere Regelhaftigkeit der Kompositionspraxis nur nebenbei hingewiesen. Bezüglich der *Semantik* kommt sie (S. 89) zu dem Schluß: Es

„sind die Meinungen der Semiotiker über diesen Punkt doch noch zu unterschiedlich und ungefestigt, um darauf aufbauen zu können."

Sie bemüht sich deshalb, das *Begriffspaar eidetisch und operativ* anzuwenden. Dabei kommt sie zu dem Schluß, daß in der Musik die „Zeichen mit operativem Sinn eindeutig überwiegen." Man weiß also, wie die Zeichen zu benutzen sind, weiß jedoch nur selten (eidetisch), was sie bedeuten. Dennoch teilt sie dann die eidetischen und musikalischen Zeichen in drei Gruppen ein: Zeichen mit symbolischer, signalhafter und ikonischer Funktion. Doch mit dieser Einteilung wird dann ersichtlich kaum etwas für die Musik Nützliches erreicht. In den operativen Zeichen wird keine Unterteilung vorgeschlagen.

Einen äußerst interessanten und wahrscheinlich tragfähigen Ansatz gab in der letzten Zeit BIERWISCH [B10]. Er unterscheidet zwei Arten der Mitteilung: das *Sagen* und das *Zeigen*. Das Sagen, was oder wie etwas geschieht, erfolgt mit der Sprache. Es gibt aber auch eine andere Möglichkeit, diese Information zu übermitteln:

„Man kann jemandem auf verschiedene Weise z. B. ein Buch, eine Landschaft oder ein Gebäude zeigen. Man kann aber ... auch zeigen, wie ein Spiel zu spielen ist, wie sich jemand hinsetzt, also ... einen Vorgang oder Sachverhalt zeigend darstellen."

Hier könnte nach seiner Meinung etwas Wesentliches der musikalischen Zeichen liegen. Zur *Syntax* führt BIERWISCH dann seine *Bedenken* aus, daß sie in der Musik so anders als in der Sprache ist, „daß man zögert, überhaupt von Syntax zu sprechen." Er verwendet dagegen immer wieder den Begriff der hierarchischen Organisiertheit der musikalischen Lautmuster und weist darauf hin, daß sie „der entscheidende, wenn nicht sogar der einzige Aspekt (ist), der ihre (die Musik H. V.) ästhetische Wirkung konstituiert."

Bereits aus diesen wenigen Beispielen wird deutlich, daß ein entscheidendes Problem der Musik und vielleicht aller „reinen Künste" (gemäß KAGAN im Zentrum von

Abb. 9.61) darin besteht, daß es unklar ist, was eine derartige Kunst bedeutet, was ihre Aussage ist oder — semiotisch gesprochen — was ihre Semantik ist. Das Bedürfnis, hierauf eine Antwort zu erhalten, ist sehr groß. Mit der Sprache kann der Mensch alles beschreiben (sagen im Sinne von BIERWISCH). Weiter ist das Denken an und mit der Sprache orientiert. Was nicht in Worte gefaßt werden kann, existiert nicht. So ist doch wohl die übliche Gedankenkette, und die Frage bleibt: Was sagt nun Musik? Vielleicht ist es hier sinnvoll daran zu denken, daß nur unsere linke Hirnhälfte die Sprache steuert, während die rechte wesentliche „intellektuelle und emotionale", besser ganzheitliche Aufgaben ständig für uns löst. Rechts werden nun aber auch die musikalischen Erlebnisse erfaßt. Sie mit Worten auszudrücken, ist das Problem.

BIERWISCH sagt dazu:

„Viele Musikinterpretationen sind in diesem Sinn Versuche, das zu sagen, was die Musik zeigt."

Um den Vergleich allgemeiner zu machen, sei an GOETHES Bezeichnung der *Architektur als erstarrte Musik* erinnert. Auch HANSLICKS [H2, S. 66]:

„Der Inhalt der Musik sind *tönend bewegte Formen*"

gehört hierzu. Es werden dabei einfach zwei gleich abstrakte Gebiete (der rechten Hirnhälfte) miteinander identifiziert. Ballett wäre dann auch als musikalisch bewegte Architektur beschreibbar, und im Sinne des Zeigens hätte die Pantomime höchste Anschaulichkeit. Ich meine, wir sollten uns vielleicht damit abfinden, daß es Information gibt, die nicht adäquat in die verbale Sprache übersetzbar ist. Für sie müssen dann eben neue Wege einschließlich der formalen Beschreibung gefunden werden. Diese Aussage ändert aber nichts daran, daß wir dann im Sinne einer „Metasprache" verbale Aussagen zur Musik machen. Musik muß als Kunst aber so erlebt werden, wie, um ein profanes Beispiel zu nennen, ein gutes Gericht eben gegessen werden muß. Dies schließt aber weiter nicht aus, daß der Zeichencharakter der Musik nicht systematisch erforscht werden muß. Auf der Ebene der Syntax gibt es dabei viele Beispiele. Für jede Musikepoche existieren z. B. umfangreiche Regeln der Kompositionstechnik, wie z. B. Kontrapunktik, Dreiklang, Tonsysteme, Taktarten usw. Neben diesen Regeln existieren auch statistische Aussagen über Häufigkeiten von z. B. Notenwerten (s. Studie [V15]) und Zeitdauern z. B. [V11]. Auf dieser Basis hat sich schon im Laufe der Zeit, und jetzt besonders mittels der EDV, eine Entwicklung vollzogen, die teilweise (allerdings mit künstlerischen Problemen behaftet) eine automatische Komposition ermöglicht (z. B. KUPPER [K43], VÖLZ [V11]). Es muß aber auch erwähnt werden, daß die Begriffe Syntax und Semantik in der Musik noch anders verwendet werden. In einer Analyse der noch heute in der DDR verwendeten Signale von Kuhhirten benutzt sie KADEN [K1] vor allem im statistischen Sinne, wobei er eine gewisse Regelhaftigkeit allerdings einbezieht. Ein anderer Bezug wird von GOLDSCHMIDT [G10] verwendet. In seiner Analyse der Kavatine des Figaro z. B. wird vorwiegend der Bezug zwischen Text und Musik sowie teilweises Wiederauftauchen des Musikzitats untersucht.

Bei ganz anderen Analysen zum musikalischen Ausdruck wird versucht, eine *skalentheoretische Bewertung* von Musik mit Mitteln der Psychologie vorzunehmen. Ein Beispiel hierzu ist die Arbeit von KLEIN [K25]. Beim Anhören eines jeden Musik-

stückes (es waren 40) mußte der Probant bezüglich der Skalen Andacht, Vergnüglichkeit, Unbehaglichkeit und Vitalität eine Wertung in einer +, — Skala mit 0 als neutral vornehmen. Die Auswertung über mehrere Probanten gab dann ein Bild, wie es z. B. für die beiden Größen Andacht und Vergnüglichkeit Abb. 9.64 zeigt.

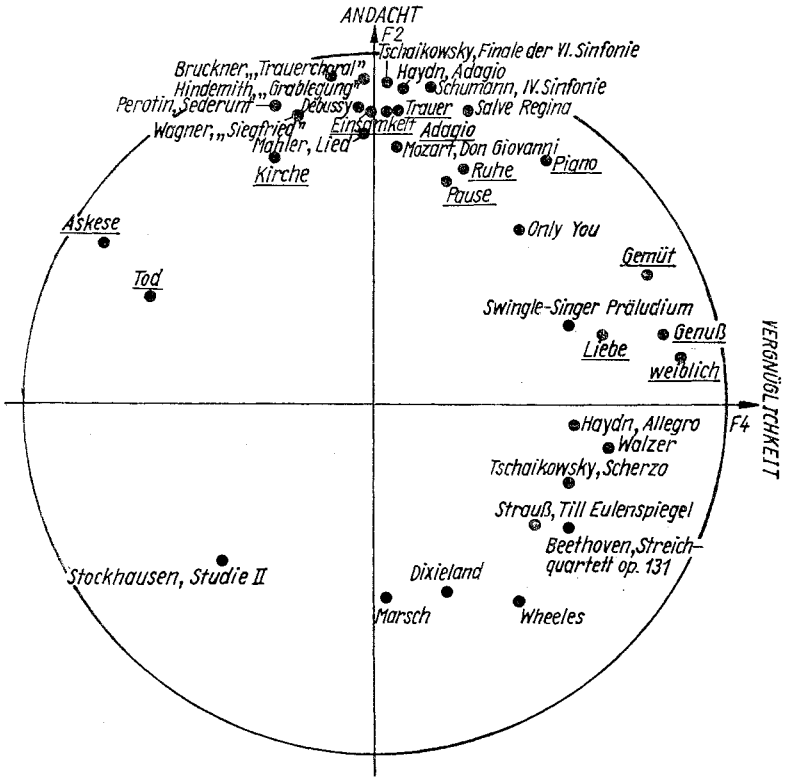


Abb. 9.64 Skalierung von Musikstücken im Feld Andacht — Vergnüglichkeit nach KLEIN [K25].

Es sei noch erwähnt, daß es bezüglich der *Wirkung von Musik* — also eigentlich bezüglich der *Pragmatik* der musikalischen Zeichen — relativ wenig abweichende Meinungen gibt. Diese Wirkung besteht vor allem darin, daß der Mensch beim Anhören von Musik Gefühle erlebt. Es kommt jedoch darauf an, daß dieser Fakt nicht als alleiniger Nutzen oder gar als Inhalt der Musik angesehen wird.

Abschließend seien noch einige Bemerkungen zum *Vergleich von Musik und Sprache* angefügt. Musikalische Abläufe sind mehr kontinuierlich, während Sprache stärker diskret ist. Die Notenschrift ähnelt auf den ersten Blick der Sprachschrift auch bezüglich der Aussagefähigkeit nur wenig. Zum Teil liegt dies daran, daß alle Menschen heute schreiben und lesen können, daß aber nur wenige diese Fähigkeit bezüglich der Notenschrift ähnlich perfekt beherrschen. Denn nur wenige haben solche Fähigkeiten erworben, daß sie beim Partiturlesen bereits im Geiste die Musik hören. Deshalb ist es bei der Musik auch schwieriger als beim Text, eine Interpretation einzuschätzen.

9.7.5. Literatur

Bereits im Abschn. 9.2. wurde auf den Unterschied von Sprache und ihrer künstlerischen Form auf die Literatur hingewiesen. Bezüglich ihrer Semiotik gibt es nur wenige Untersuchungen. Eine ist das schon erwähnte Buch von PLETT [P7]. Er geht u. a. von ABRAMS Buch „The Mirror and the Lamp" aus [A1]. Dementsprechend existieren vier Richtungen in der Literatur:

mimetisch:	das Werk ahmt die Welt nach,
expressiv:	der Künstler drückt sich durch das Werk aus,
rezeptiv (pragmatisch):	Das Publikum nimmt das Werk auf,
rhetorisch (objektiv):	als Autonomie des Kunstwerkes, z. B. besondere sprachliche Gestaltung.

Diesen Zusammenhang zeigt in etwas abgeänderter Form Abb. 9.65. PLETT weist dann nach, wie sich im Laufe der Geschichte die Wertigkeit zwischen den Richtungen

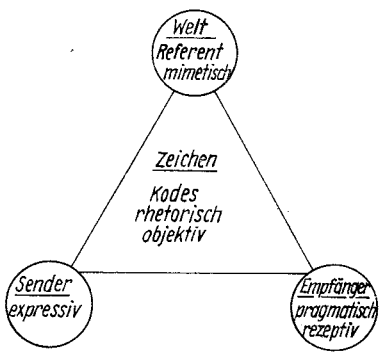


Abb. 9.65 Semiotik in der Literatur nach PLETT ([P7], S. 19 + 35]), der sich seinerseits an ADAMS [A1] anlehnt.

verschob. So dominierte z. B. im Klassizismus die mimetische Form und in der Romantik die expressive. Die weitere Analyse dieser Formen führt dann bei PLETT zu verschiedenen semiotischen Einteilungen gemäß Tab. 9.16.

Tabelle 9.16 Semiotische Einteilungen zum Literatur- bzw. Textbegriff (nach PLETT [P7, S. 50])

PLETT (ABRAMS)	BÜHLER	MORRIS	KLAUS
expressiv	Ausdruck	Pragmatik	Pragmatik
rezeptiv (pragmatisch)	Appell		
mimetisch	Darstellung	Semantik	Sigmatik
			Semantik
rhetorisch (objektiv)	—	Syntaktik	Syntaktik

9.7.6. Räumliche Künste (Computergraphik)

Bezüglich räumlicher Gestaltung gibt es so gut wie keine Darstellung im Rahmen der Semiotik. Für flächige Bilder existiert dagegen zumindest, seitdem es EDV-Anlagen mit Displays höchster Präzision gibt, ein umfangreiches Gebiet der *Computergraphik*. Sie stellt immer wieder meisterhafte (was die Präzision betrifft) große Bilder vor, die erstaunliche künstlerische (Teil-)Wirkungen ausstrahlen. Hier liegt also von der generativen Seite ein großer Erfahrungsschatz vor. Dennoch, und das ist angesichts dieser Tatsache erstaunlich, ist über die Semiotik, das heißt über die verwendeten Zeichen, nur sehr wenig bekannt. Im folgenden sei vor allem auf das am besten fundierte und theoretisch tiefgründigste Werk von F. NAKE [N4]: „Ästhetik als Informationsverarbeitung" Bezug genommen. Er nennt die Bilderzeugung u. a. experimentelle Ästhetik und grenzt sich stark gegen die formale Informationsästhetik (V15, Kap. 9) ab. Beim Vergleich beider sagt er (S. 90):

„Während Informationsästhetik in der Gefahr schwebt, mit mathematischen Leerformen zu jonglieren, ist experimentelle Ästhetik dem Behaviourismus nahe."

An anderer Stelle (S. 59) bezieht er sich auf die Semiotik, und er sagt als Schüler von BENSE:

„Obwohl die Informationsästhetik völlig abhängig vom Begriff des Zeichens ist, haben Bense und seine Schüler keine Klärung des Begriffes geleistet, die merklich über Peirce hinausgeht. Man kann im Gegenteil eine Verwirrung der Begriffe beobachten, die vielleicht ihren Grund in dem starken Festhalten an Einteilungen aller Kategorien in jeweils drei Unterklassen hat."

Bezüglich der Ästhetik steht auf S. 73 im Zusammenhang damit, daß

„Ästhetik notwendigerweise eine Beschränkung auf die Syntaktik erfordere. Im großen und ganzen bejahen wir das — allerdings nicht ohne erneut darauf hinzuweisen, daß ästhetische Objekte selbstverständlich auch semantisch und pragmatisch funktionieren. Wir behaupten aber, daß diese Funktion über den Rahmen der Ästhetik hinausgehen — Ästhetik wird von Pragmatik und Semantik beeinflußt und teilweise bestimmt und wirkt ihrerseits auf diese zurück, sie ist aber nicht Semantik und Pragmatik."

Die *Betonung der Syntax* kommt bei NAKE, offensichtlich auch bedingt durch die Erfolge der Computergraphik, zustande. Hier wird eben ausschließlich mit syntaktischen Regeln, genauer intuitiv gewonnenen empirischen Grammatiken gearbeitet. NAKE stellt in seinem Buch eine ganze Sammlung im Detail vor. Nachdem er drei Typen von Ästhetiken, die analytische, die synthetische und die generative, eingeführt hat, sagt er auf S. 29—30 wiederum zu den dreistelligen Zeichenrelationen:

„Denn zweifellos ist künstlerische Produktion nicht (nur) die Manipulation der Zeichen (abstrakter Relationen!), sondern auch — und vielleicht vor allem — die Bearbeitung von Stoff, von Materie, also die Manipulation der *Mittel* der Zeichen und nicht der Zeichen selbst ... Die Redeweise der Informationsästhetik (und nicht nur der H. V.) von der Manipulation der Zeichen ist als recht ungenau und verschleiernd zurückzuweisen."

Hier könnte m. E. NAKE ein ganz wichtiges Problem aufgegriffen haben, das immer wieder dadurch entsteht, daß nicht eindeutig zwischen den Zeichenträgern und dem, was sie tragen, unterschieden wird (s. Studie [V15]).

9.7.7. Reine Mime

Die erste und besonders interessante Anwendung der Zeichentheorie auf die *raumzeitliche Kunst* ist die Arbeit von HELMAR FRANK zur „mime pure" [F6]. Unter reiner Mime wird dabei in bezug auf MARCEL MARCEAU (bei dem z. T. auch die Untersuchungen erfolgten) verstanden, daß nur Körperbewegungen, also nicht Gesichtsausdrücke, zur künstlerischen Gestaltung verwendet werden. Dadurch ergibt sich eine recht einfache formale Beschreibung. Es genügt nämlich, die einzelnen Körpergelenke und die durch sie bewirkten Stellungen als Zeichenvorrat zu betrachten. Zur weiteren Vereinfachung können so die Winkelstellungen und Zeitdauern der einzelnen Stellungen gequantelt werden. „Der Künstler wird mit seinem Körper unmittelbar zum Zeichenträger" schreiben FRANK und GUNZENHÄUSER [F8] hierzu. Etwa zur selben Zeit versuchte H. FRANK [F7] eine Einteilung der Zeichentheorie, wie sie Abb. 9.66

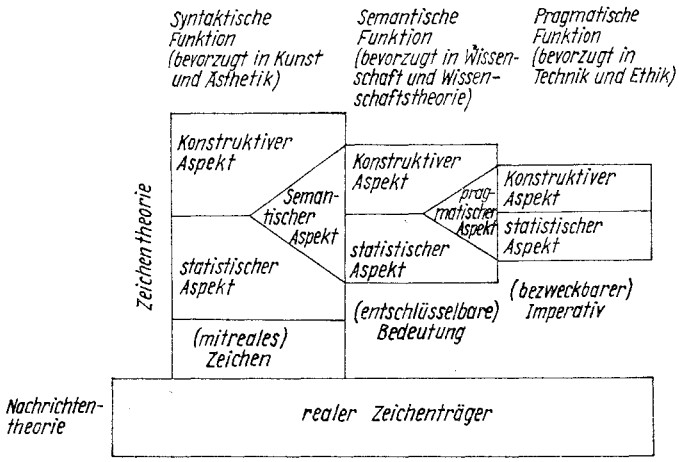


Abb. 9.66 Einteilung der Zeichen und Zeichentheorie nach FRANK [F7].

zeigt. Wenn auch mit anderen Begriffen und keineswegs in der Konsequenz werden Zeichenträger und darüber das Getragene als Zeichentheorie bezeichnete aufgetragen. In allen drei Aspekten: Syntax, Semantik und Pragmatik werden ein konstruktiver und ein statistischer Aspekt, also eine „Grammatik", d. h. ein Regelsystem und ein Wahrscheinlichkeitsfeld, unterschieden. Besonders interessant ist an diesem Schema, wie jeweils ein Teil des pragmatischen Aspekts in den semantischen und ein Teil des semantischen in den syntaktischen hineinragen. Die vielleicht mehr reale Umkehrung wurde (damals noch) nicht erfaßt. Auf dieses Schema Bezug nehmend, schreiben dann FRANK und GUNZENHÄUSER [F8]:

„Die Übertragung des Schönen erfordert vor allem die syntaktische Dimension, die Mitteilung des (aristotelisch-) Wahren, die semantische Dimension, die Forderung des Guten die pragmatische Dimension des Zeichens."

9.7.8. Film

Zum Film gibt es eine interessante Artikelsammlung unter dem Titel: Semiotik des Films [K33]. Hier werden viele interessante Details erörtert, jedoch zu der Definition der Semiotik selbst wird weniger beigetragen. In der Einleitung schreibt KNILLI als Herausgeber (S. 22):

„*Filmsemiotik* ist also Geschichte und Theorie der kinematographischen Verwendung sozio-kulturellen Kodes, Geschichte und Theorie der Verwendung von Filmsprachen zur Unterhaltung und Unterrichtung, zur Belehrung und Beeinflussung."

Insbesondere im Zusammenhang mit der Geschichte weist er auf die fundamentalen Arbeiten von EISENSTEIN hin, der wohl als erster erfaßte und betonte, daß eine Montage von zwei Bildern eben mehr ist als ihre Addition. Sie schafft etwas Neues und bildlich nicht Erfaßbares, z. B. bedeutet Wasser und Auge Weinen, Ohr und Tür Lauschen usw. Es geht in der *Filmsemiotik* aber nicht nur um diese und ähnliche Montagetechniken. Es geht darum, daß es offensichtlich eine Filmsprache gibt. Doch hierbei sind viele Unterschiede zur verbalen Sprache zu nennen:

- Wörter sind willkürliche, Bilder unwillkürliche Zeichen,
- Wörter sind unkontinuierliche, diskrete Elemente, Bilder kontinuierliche,
- die Sprache besitzt ein endliches, der Film ein unendliches „Wörterbuch",
- die Einstellung im Film entspricht gegenüber anderen Annahmen nicht dem Wort und die Sequenz nicht dem Satz. Eine solche Analogie ist zu formal,
- *jede* filmische Zusammenfügung von Bildern wird eine Erzählung oder trägt zumindest Keime davon,
- beim Film ist die Verwendung, d. h. die beabsichtigte Wirkung (Pragmatik), von größter Bedeutung.

9.7.9. Theater

Zur Semiotik des Theaters liegt eine vorzügliche Studie von WECKWERTH [W5] vor. Ihr Anliegen ist: *hat das Theater noch eine Perspektive*? Er stellt dabei gleich zu Anfang *drei pointierte Fragen*:

1. ob die hölzerne Maschinerie noch ausreicht, die komplizierter werdenden Vorgänge zu zeigen,
2. ob 700 Sitzplätze noch genügend Wirksamkeit gewährleisten gegenüber den 7 Millionen Zuschauern des Fernsehens,
3. ob die simplen Späße des Theaters noch Bedeutung haben.

Dabei zeigt sich sehr schnell, daß diese Fragen in der entsprechenden Reihenfolge mit den semiotischen Aspekten der Syntax, Pragmatik und Semantik zusammenfallen. Daran schließt sich eine schöpferische semiotische Analyse, die wohl ihresgleichen sucht. Hier können nur wenige Aussagen referiert werden. Als ersten Fakt arbeitet WECKWERTH die *Dopplung* heraus. So muß z. B. Sterben auf der Bühne so vorgeführt werden, daß die Zuschauer glauben, jemanden wirklich sterben zu sehen, und dennoch müssen sie wissen, daß dies nicht Wirklichkeit ist. Die Dopplung ist also primär nicht durch Zuschauerraum und Bühne bedingt, sondern dadurch, daß *Theater* einmal

Abbild der Wirklichkeit und zum anderen *Teil der Wirklichkeit* ist. Der Sinn des Theaters ist so gegeben, noch bevor ein Mensch die Bühne betritt. Den *Zeichencharakter des Theaters* klärt WECKWERTH vorzüglich am Beispiel der Mutter Courage. Sie soll sich nach BRECHT am Ende des Stückes in der Unendlichkeit des überfälligen Krieges verlieren. Ein Abgang nach hinten brachte nicht dieses Ergebnis. Er hatte seine Bedeutung durch die vorangegangenen Aufritte erhalten. Durch Zufall wurde die wirksamste Lösung gefunden, indem sie nach vorn direkt auf den Zuschauer zukommt. Wenn sie dann seitlich einschwenkt, schließt sich der Vorhang (S. 43):

„Selten ist der Unterschied zwischen der Realität des Theaters und seiner Bedeutung deutlicher geworden als hier. Obwohl die Realität der Bühne dem Wegfahren widersprach, denn er (der Karren H. V.) kam schließlich wieder nach vorn, nahm der Zuschauer dies als Zeichen des Wegfahrens."

Bei der Verfilmung war dieses Mittel nicht anwendbar. Durch weitere Untersuchungen wird dann gezeigt, wie unterschiedlich die Theatersprache zur Film- oder Fernsehsprache ist. Hierzu noch ein Textauszug (S. 43):

„Was Film und Fernsehen schwerfallen würde, löst das Theater „spielend". Es kann völlig Unreales *real* darstellen. Es zeigt die *Hölle*, den *lieben Gott*, selbst in ernsten Stücken treten *Geister* auf, *Götter* greifen in das Leben einer Großstadt ein, und Tiere äußern philosophische Meinungen."

WECKWERTH macht auch darauf aufmerksam, daß die Zeichen des Theaters fälschlich oft als ikonische Zeichen angesehen werden (S. 44):

„Übersehen wird, daß der reale Inhalt der Zeichen auf dem Theater noch „nichts" bedeutet. Erst durch die *Tätigkeit* des Theaters, der Dopplung also, bekommt der reale Inhalt seine „*Bedeutung*". Aber er geht nicht in dieser Bedeutung auf, sondern er ist eben *doppelt* vorhanden, was den Reiz des Theaters ausmacht: als *Teil* der Realität und als modelliertes *Abbild* (und beides kann sich sogar widersprechen.)..

Deutlicher wird dies noch, wenn WECKWERTH erklärt, daß im Theater niemals Sachen direkt abbildbar sind. Sie können erst dann vorgeführt werden, wenn sie in wesentliche Beziehungen gesetzt werden. In diesem Sinne werden Naturereignisse auch stets Ereignisse zwischen Menschen. Weitere sehr deutliche Beispiele werden dann noch unter anderem zur Aktivität, d. h. zur Mitarbeit des Zuschauers bei der Rezeption (vgl. Abschn. 8.6.4.) gegeben. Der dadurch bedingte Modellcharakter des Theaters führt zu einer zweimaligen Modellierung der Wirklichkeit, und zwar durch den Zuschauer und durch das Theater.

Teil III: Anhang

10. Thesen zur Information

In wissenschaftlichen Betrachtungen zog Information vor allem durch die grundlegende Arbeit von SHANNON [S34] ein. (In der Arbeit von SHANNON kommt zwar der Begriff Information nicht vor. Er verwendet immer nur den Begriff Kommunikation. „Information" wurde erst von WIENER vorgeschlagen. Von ihm stammt auch der Begriff Entropie.) Natürlich gab es hierzu Vorarbeiten anderer Autoren, wie HARTLEY, JACOBSON, KÜPFMÜLLER, KOTELNIKOW usw. Den entscheidenden Fortschritt brachte jedoch erst die o. g. Arbeit. In ihrer Bedeutung kann sie etwa mit der Einführung des Carnotschen *Kreisprozesses* in die Theorie der Wärmekraftmaschinen verglichen werden. Der maximale Wirkungsgrad einer Wärmekraftmaschine ist hiernach durch die Verbrennungstemperatur T_1 und die Umgebungstemperatur T_2 gemäß

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

bestimmt. Jede reale Wärmekraftmaschine kann sich diesem Wirkungsgrad bestenfalls im Sinne einer oberen Grenze nähern. Deshalb ist das *Verhältnis aus dem realisierten und dem theoretischen Wirkungsgrad* ein wichtiges Maß für die erreichte Qualität der realisierten Maschine. Ganz ähnliche Ziele verfolgten die *Nachrichtentechniker* der dreißiger und vierziger Jahre. Die technischen Anlagen, wie Fernschreib-, Telefon- und Rundfunkeinrichtungen, stellten bereits damals recht hohe *Investitionen* dar, die dazu ständig weiter anwuchsen. So entstand die Forderung nach Aussagen zu ihrer optimalen Gestaltung und Ausnutzung. Die Lösung hierzu brachte in einer fast sofort abgerundeten Form die o. g. Arbeit von SHANNON. Natürlich ist diese Theorie für die Nachrichtentechnik heute wesentlich weiter entwickelt worden. Es sei jedoch noch der Vergleich mit dem CARNOT-Prozeß etwas weitergeführt. Beide Theorien tragen nämlich im wesentlichen *analytische Züge*. Erst wenn eine Nachrichteneinrichtung entworfen ist, kann bestimmt werden, inwieweit ihre Effektivität vom theoretischen Maximum entfernt ist. An beiden Fällen (Informationstheorie mit CARNOT-Prozeß) gibt es zwar auch gewisse *konstruktive Aussagen*, aber sie sind nicht das Wesentliche. Beim CARNOT-Prozeß heißt dies: T_1 möglichst hoch, T_2 möglichst niedrig zu wählen.

10.1. Shannonsche Theorie

Alle Aussagen von SHANNON beziehen sich auf eine Systemeinteilung der Übertragungskette gemäß Abb. 10.1. Eine *Quelle* (Sender, eventuell mit Koder) erzeugt

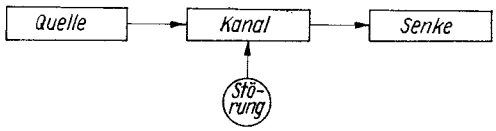


Abb. 10.1 Prinzipielle Übertragungskette der Shannonschen Theorie.

Signale (Information), die über einen gestörten *Kanal* zur *Senke* (Empfänger eventuell mit Dekoder) gelangen und dort informationelle Wirkungen auslösen. Die Komplexheit der vollständigen Kette wird bei SHANNON nicht behandelt. *Analysiert werden* vor allem:

- Eigenschaften von Quellen,
- Übertragungsfähigkeit des Kanals.

Die erste Analyse führt zum Begriff der *Entropie,* gemessen in bit/Symbol, und die zweite zur *Kanalkapazität* in bit/s.
Darüber hinaus ist noch eine

- konstruktive Kodierungstheorie

entstanden. Mit ihr existieren Methoden, welche es gestatten, eine gegebene *Quelle* an einen *Kanal* so *anzupassen,* daß er möglichst viele Informationen fehlerfrei in der Zeiteinheit überträgt.

Natürlich sind die genannten drei Hauptergebnisse nicht unabhängig voneinander.

Für die Berechnung der *Quellenentropie* sind nur *zwei Voraussetzungen* notwendig. Es müssen gegeben sein:

- ein genau definierter und endlicher *Symbolvorrat,* also z. B. die Ziffern 0, 1, 2, ... , 9 oder die Buchstaben a, b, c, ... , z. Jede endliche Menge kann also den Symbolvorrat bilden, wenn ihre n Elemente x_i definiert sind (n ist endlich).
- Ereignisse, welche die Elemente x_i zufällig ausgeben, wobei jedes Element mit einer definierten *Wahrscheinlichkeit* p_i auftritt.

Als *Normierungsbedingung* muß gelten

$$\sum_{i=1}^{n} p_i = 1 \,. \tag{1}$$

Dies bedeutet, bei jedem Ereignis muß genau ein Symbol von der Quelle ausgegeben werden. Die *Entropie* der Quelle berechnet sich dann zu

$$H = -\sum_{i=1}^{n} p_i \operatorname{ld} p_i \qquad \text{in bit/Symbol} \,. \tag{2}$$

Sie gibt an, *wieviel binäre Ja-Nein-Entscheidungen* im statistischen Mittel je Symbol minimal notwendig sind. Dieses Ergebnis sei an einem einfachen Beispiel veranschaulicht.

Aus einem *Skatspiel* werde ein *Zufallsgenerator* gemacht. Dazu werden aus den 32 Spielkarten 4 *Klassen*, entsprechend der Tab. 10.1 gebildet. Es ist sofort ersichtlich, daß die Bedingung von (1) erfüllt ist. Weiter kann auf Grund der Angabe für $-\operatorname{ld} p_i$ in Tab. 10.1 auch leicht die Entropie der Quelle gemäß (2) berechnet werden. Sie beträgt 1,75 bit je Symbol. Diese formale Betrachtung sei jetzt in ein *Ratespiel* übertragen. Ein Spielleiter

Tabelle 10.1 Skatspiel als Zufallsgenerator. Die 32 Blatt werden gemischt und eine Karte ausgewählt. Sie ist gemäß der folgenden Aufstellung einer der vier zu erratenden Klassen zuzuordnen.

Klassenbezeichnung	zugehörige Spielkarten	Anzahl der Karten in der Klasse	Wahrscheinlichkeit p_i für die Klasse	$-\operatorname{ld} p_i$
Z (Zahl)	7; 8; 9; 10	16	0,5	1
M (männlich)	Bube; König	8	0,25	2
w (weiblich)	Dame	4	0,125	3
A (As)	As	4	0,125	3

mischt die Karten und wählt zufällig eine aus. Ein Spieler hat zu erraten, welche Kartenklasse gezogen wurde. Seine Fragen an den Spielleiter sind dabei so zu formulieren, daß dieser *eindeutig mit ja oder nein antworten kann*. Es soll so gespielt werden, daß (über ein langes Spiel gemittelt) mit möglichst wenig Fragen je ausgewählter Karte auszukommen ist. Der Spieler hat daher nach einer möglichst günstigen *Fragestrategie* vorzugehen. Was eine gegebene Fragestrategie und was die theoretisch bestmögliche (auch wenn sie nicht konstruktiv vorliegt) zu leisten vermag, das ist mit der Shannonschen Theorie zu berechnen: Die *Entropie* gibt an, wieviel Fragen im Mittel über viele Versuche je Karte minimal notwendig sind; die *Kanalkapazität* gibt an, wieviel Kartenzüge je Sekunde durchführbar sind und die *Kodierungstheorie* zeigt schließlich, wie zu optimalen Fragestrategien (Kodes) zu kommen ist.

Allgemein sind in der Informationstheorie noch *Störungen* (die ebenfalls eine Entropie besitzen) und *bedingte Wahrscheinlichkeiten* zu berücksichtigen. Bedingte Wahrscheinlichkeiten liegen vor, wenn die Folge der Symbole (gezogenen Karten) nicht mehr unabhängig ist. Dies liegt z. B. bei den Buchstaben in der deutschen Sprache vor. Auf Q folgt hier immer (Wahrscheinlichkeit eins) ein U. Auf S folgen besonders häufig T, C, E, A usw., aber sehr selten B, D, F usw.

Abschließend sei noch auf einige Grenzen und Probleme der Shannonschen Theorie hingewiesen. Ihre Aussagen gelten nämlich für die *Wahrscheinlichkeit*, aber *nicht* für die *Häufigkeit*. Die Häufigkeit folgt durch Abzählen der Symbole in einem Text. Die Wahrscheinlichkeit ist dagegen durch statistische Ursachen (siehe Kartenspiel) definiert. Gemäß dem *Gesetz der großen Zahl* streben die Häufigkeiten für sehr viele abgezählte Symbole gegen die Wahrscheinlichkeiten. Insofern kann die Entropieformel auch für gegebene Texte, Strukturen usw. mit gewisser Vorsicht angewendet werden. Sofern aber nicht das Gesetz der großen Zahl und Gesetze des Zufalls erfüllt sind, bestehen beträchtliche Fehlermöglichkeiten.

Die Methoden zur Berechnung der Entropie fanden sehr bald Anwendungen in allen Gebieten der Wissenschaft und Technik. So wurde der Begriff *Information* ständig in seinem *Bedeutungsumfang erweitert* und zugleich dabei in den *Einzelwissenschaften* in ständig *wachsender Spezifik* gebraucht. Daraus resultierte schließlich der heutige Zustand, daß Information in den verschiedensten Gebieten so *unterschiedlich gebraucht* wird, daß es kaum mehr möglich ist, einen Definitionsdurchschnitt über

alle Anwendungen zu finden, der ungleich Null ist. Die Informationen, die ein Rechner verarbeitet, die in unserem Gehirn ablaufen, die für die Vererbung zuständig sind, die das Verhalten von Tieren bestimmen, die in der Ökonomie, Dokumentation, Psychologie, Agitation, Kunst usw. wirksam sind, weisen eben z. T. ganz erhebliche Unterschiede auf.

Neben dieser rein inhaltlichen Verallgemeinerung wurde auch mit der Entropie und der daraus abgeleiteten Maßeinheit der Information, dem Bit, nicht selten und schrittweise immer sorgloser umgegangen. Zunächst wurden die Wahrscheinlichkeiten durch Häufigkeiten ersetzt. Dies ist gerade dann noch zulässig, wenn die entsprechenden *Signifikanz-Tests* bzgl. der Gültigkeit des Gesetzes der großen Zahl durchgeführt und bestätigt werden. Bei den Routineanwendungen unterblieb dies nicht selten. Zuweilen wurde sogar allen Ursachen und Kenntnissen zum Trotz einfach eine Gleichverteilung angenommen. Solche Entwicklungen mußten natürlich *zu Widersprüchen führen*. Sie wurden dann aber fälschlicherweise der Theorie und nicht deren unsachgemäße Anwendung zugeschrieben. So entstand Mitte der sechziger Jahre ein Mißtrauen gegen die Theorie. Neben diesen etwas formalen Fehlern in der Anwendung gibt es aber auch inhaltliche Bedenken gegen eine breite Anwendung der Theorie. Doch hierauf kann erst später eingegangen werden. Schematisch zeigt die Auswirkung dieser Fakten Abb. 10.2.

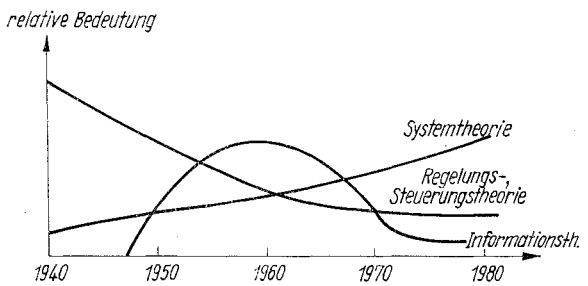


Abb. 10.2 Relativer Anteil der Theorien der Kybernetik.

10.2. Definition der Information

Offensichtlich ist es heute nicht mehr möglich, die Definition der Information mit einem Satz zu bewältigen. Es wurden daher *fünf Haupteigenschaften* herauskristallisiert, die alle vorliegen müssen, damit das Objekt Information existiert. Hierzu seien die folgenden Aussagen formuliert:

- Information ist jenes Objekt, das zwischen speziellen *wechselwirkenden Systemen* ausgetauscht wird. Die stofflichen und energetischen Wechselwirkungen sind von untergeordneter Bedeutung. System und Information sind ein dialektisches Paar,
- Information besteht einesteils aus einem physikalischen, chemischen oder sonstigen Träger, dessen Grundlagen stofflich-energetischer Natur sind. Nur der Träger wird direkt zwischen den Systemen transportiert (übertragen) bzw. abgegeben oder in dem System gespeichert usw. Er bewirkt in den Systemen oft komplexe Veränderungen. Hierzu sind in den Systemen spezielle Eigenschaften,

Strukturen vorhanden. Dies Bewirken ist potentiell in dem Träger enthalten und wird als das von ihm Getragene der Information, kurz das Getragene, bezeichnet. *Träger und Getragenes* sind ein dielektisches Paar und bilden erst gemeinsam die Information,

- Träger und Getragenes und damit erst recht die Information besitzen einen *qualitativen und quantitativen Aspekt.* Es besteht die Vermutung, daß die Meßbarkeit der Information in zwei Teile gespalten werden muß. Für den Träger gilt das System International SI mit den Basiseinheiten: m, kg, s, A, K, mol, cd. Träger der Information wäre dann mit diesen Prinzipien in Maßzahl und Einheit zu bestimmen (z. B. 3 m/s). Für das Getragene werden sechs davon unabhängige Basiseinheiten vermutet. Nur eine davon wäre das Bit,
- Information steht stets im Zusammenhang mit hoher *Kompliziertheit.* Dabei haben u. a. das Verhältnis vom Möglichen zum Wirklichen, die Abbildung auf weniger Komplexes sowie verschiedene Unschärfe-Beziehungen wesentlichen Einfluß. Wahrscheinlich wirken auch die Grenzen zwischen Unentscheidbarkeit und Berechenbarkeit mit.
- Im engen Sinne existiert Information nur im *Zeitablauf,* d. h. dynamisch und nicht statisch. Sie steht also mit Prozessen im Zusammenhang, ist prozeßorientiert. Gespeicherte Information ist schon deshalb nicht mehr Information, weil hier das Getragene fehlt. Es liegt nur der stofflich-energetische Träger vor. Aus der gespeicherten „Information" wird erst dann wieder eigentlich Information, wenn sie über einen Wiedergabevorgang in eine dynamische Form zurückgewandelt wird.

Aus diesen fünf Thesen der Eigenschaften folgen mehr oder weniger unmittelbar einige weitere Aussagen:

- Information ist eine *allgemeine Eigenschaft der Materie.* Die Frage, ob ihre Entstehung mit dem Leben oder mit der Sprache, Arbeit bzw. Gesellschaft zusammenhängt, ist irrelevant.
- Zuweilen ist notwendig, zwischen dem *Wort, Begriff* und *Objekt* Information zu unterscheiden. Der *Begriff* ist die Folge eines Klassifizierungsprozesses. Er erfaßt wesentliche Eigenschaften des Objektes (z. B. die o. g. fünf). Er wird mit einem Wort belegt. Das Wort Information kann dabei, wie auch sonst, durch ein beliebiges anderes ersetzt werden. Dies wird z. B. dadurch belegt, daß vor der Informationstheorie andere Worte verwendet wurden. In der Physiologie sprach man von *Reizen,* in den Vorläufern der Neurowissenschaften von *Nervenströmen,* in der Technik werden noch heute oft gleichwertig (aber von Autor zu Autor sehr verschieden) *Nachricht* bzw. *Signal* gebraucht.
  Das *Objekt Information* existiert unabhängig davon, ob ein Begriff Information gefunden wurde und dann evtl. mit dem entsprechenden Wort belegt wird. Selbst wenn der Begriff Information erkannt wurde, muß es nicht zwangsläufig verwendet werden.
- Es wird oft angenommen, daß mittels der *Semiotik* mit den Teilgebieten Syntax (Sigmatik), Semantik und Pragmatik auch entsprechende Informationsqualitäten erfaßbar sind, so daß auf diesem Wege eine allgemeine, d. h. semiotische Informationstheorie entstehen könnte. *Das ist falsch.* Es ist auch nicht richtig, daß daneben evtl. noch eine emotionelle Information existieren könne.

- In der vom Träger der Information ausgehenden Wirkung sind zwei typische Fälle zu unterscheiden: Information, die Strukturen aufbaut, und Information, die funktionell wirkt. Die *strukturierende* (bzw. konstruktive) *Information* liegt z. B. in der Genetik (vom Ei zum Lebewesen), bei der Konstruktion (Schaffung von technischen Anlagen, Einrichtungen, Geräten, Entwurf von elektronischen Schaltkreisen usw.) vor. Die *funktionelle Information*, spezieller die verhaltensrelevante Information, gehört u. a. zum Reizablauf bei Lebewesen, also zu den Sinnesorganen, Neuronenkomplexen, Gehirnen, Hormonsystemen und immunbiologischen Systemen. In der Technik betrifft sie z. B. die Nachrichtenübertragung und die Rechentechnik.

In der Technik wird die *Hardware* mittels strukturierender Information geschaffen, und die *Software* ist ein wesentlicher Teil der funktionellen Information. Analog schafft die biologische Information mit der strukturierenden Information (auf der Basis des *genetischen Materials*, des Trägers) u. a. auch jene Systeme, in denen die funktionelle Information wirkt. Folglich muß immer erst strukturierende Information gewirkt haben, damit in den dabei entstandenen Systemen funktionelle Information wirken kann. Darüber hinaus ist noch eine *dritte Stufe* möglich, bei der, wie z. B. mit den *Programmen im Rechner*, Information mittels Steuerung beeinflußt wird. Auch Festwertprogramme, z. B. in Form der *Reflexe*, *Instinkte* und anderer determinierter Verhaltensabläufe, müßten hierzu gezählt werden. Auf der physiologisch-psychologischen Ebene gehören hierzu solche Einflüsse, wie Emotionen, Aufmerksamkeit usw. Also insgesamt gibt es *drei Möglichkeiten*:

Information strukturiert ein System,
Information steuert das Verhalten eines Systems,
Information steuert über ein System Information.

10.3. Wechselwirkende Systeme

WIENER schrieb:

„Information is information nor matter or energy".

Dieses Zitat löste vielfältige philosophische Diskussionen aus. Ihre wesentliche Ursache war aber wohl nur die *falsche Übersetzung* von matter durch Materie statt Stoff. Dadurch konnten *idealistische Philosophen* nämlich die „Folgerung" ziehen: Da Information weder Materie noch Bewußtsein, sondern etwas „Drittes" ist, kann der dialektische Materialismus nicht mehr gelten. Natürlich war die entsprechende Gedankenkette komplizierter gestaltet und damit auch undurchsichtiger. Aber der Kern der Aussage blieb erhalten. Dennoch ist der obige Satz von WIENER richtig. Er sagt etwas uminterpretiert aus: Es gibt *drei Klassen*, nämlich

Stoff, Energie und Information.

Diese drei Klassen sind in Tab. 10.2 als Objekte mit einigen Eigenschaften dargestellt.

Tabelle 10.2 Zur Einteilung von Objekten

Objektklasse	Austausch erfolgt	Beispiel der Speicherung	Erhaltungssätze	Maßeinheiten
Stoffe z.B. Metaboliten der biologischen Zelle Gütertransport Materialfluß in einer Fabrik	unmittelbar verpackt z. B. in Container oft auf speziellen Wegen z. B. Wasserleitung	Lagerhaltung Getreidespeicher Wasserturm	Masseerhaltung	kg m^3 Stück
Energie z. B. Gas Benzin Elektrizität	über stoffliche Energieträger, die beim Gebrauch (Energieerzeugung) ihren Wert verlieren Energieerzeugung setzt Energieträger und gut angepaßte Apparaturen voraus	Feder Stausee Benzintank Akkumulator Kondensator	Energiewandlung und -erhaltung	J, kWh, erg, mkp
Information z. B. genetische neuronale kollektive technische	über stofflich-energetische Informationsträger der Informationsträger kann leicht gewechselt werden	Buch Schallplatte DNS-Doppelhelix Gehirn kollektives Wissen und Erfahrung	kein universelles Gesetz Fortpflanzung des Lebens Informationsträgerwechsel	bit (ist vielleicht zu eng)

Aus einer Eigenschaft folgt die hier *dargestellte Rangfolge*, welche vielleicht auch als *Hierarchie* bezeichnet werden kann:

- Stoffe werden unmittelbar, d. h. selbst, ausgetauscht,
- Energien benötigen einen stofflichen Träger,
- Informationen benötigen einen stofflich-energetischen Träger.

Der Träger ist also bei Energie nur z. T., bei Informationen aber stets wesentlich. Einen weiteren, wenn auch nicht so einschneidenden Umbruch brachte die Entwicklung der *Kybernetik*. Dies läßt sich mit einem — wie ich es nennen möchte — *Ursachen-Wirkungs-Gefüge*, belegen. *Systeme* werden wie undurchsichtige Gebilde mit Ein- und Ausgang (*Black-box*) beschrieben. Viele solcher Systeme sind in vielfältiger Weise (vorwärts, rückwärts, mit Rückkopplung usw.) *zusammengeschaltet*. Auf diesen Koppelwegen werden die *Objekte der Wechselwirkung* (allgemein Stoff, Energie, Information) ausgetauscht. Ursachen und Wirkungen beziehen sich dann in komplexer, darunter auch statistischer Weise aufeinander und gehen ineinander über.

10.4. Träger und getragene Information (Getragenes)

Fast alle Arbeiten zur Information bestätigen, daß zur Information ein *physikalischer Träger* gehört. Sie stellen dies aber meist nur fest und fügen oft hinzu, daß die Information zwar den Träger benötigt, aber ihn auch gleichzeitig leicht wechselt, ohne daß sich dabei die Information (wesentlich) ändert. Damit liegen, bewußt etwas *überbetont, folgende Aussagen* vor:

- Information enthält einen Träger, d. h., Information ist Träger plus etwas Ungenanntes.
- Information wechselt den Träger, ohne sich dabei zu ändern, d. h. der Träger gehört nicht zur Information.

Damit ist die *Information zweimal definiert*, und es folgt die *falsche Aussage*

$$\text{Information} = \text{Information} + \text{Träger}.$$

Dieser Sachverhalt ist nur dann richtigzustellen, wenn unter Information zweierlei verstanden wird: nämlich je einmal *Information mit bzw. ohne Träger*. Eine von beiden Informationen sollte einen neuen Namen erhalten. Dazu ist es sinnvoll, *wie folgt zu verfahren*:

$$\text{Information} = \text{Informationsträger} + \text{Getragenes der Information}$$

bzw. besser in Kurzform

$$\text{Information} = \text{Träger} + \text{Getragenes}.$$

Bei *Trägern* ist der *stofflich-energetische Aspekt* sofort zu verstehen, und dies stimmt mit dem üblichen Sprachgebrauch überein. Daher ist es hier nur notwendig, das *Getragene* genauer zu erklären bzw. zu definieren. Hierzu ist es günstig, einen recht

komplexen Prozeß, nämlich die *künstlerische Kommunikation*, und zwar vor allem die *Rezeption*, heranzuziehen. Zunächst sei weiter angenommen, daß als Kunstwerk eine *Musikaufnahme* in Form einer *Schallplatte* vorliege. Weiter konkretisiert sei es die 5. Sinfonie BEETHOVENS in der denkwürdigen, historischen Aufnahme von FURTWÄNGLER, also sein erstes Konzert nach Beendigung des 2. Weltkriegs. Allein diese wenigen, nur *angedeuteten Fakten transportieren* (tragen) bereits vor dem Hören der Schallplatte eine große Fülle von musikalischen und außermusikalischen *Informationen* an den sachkundigen Hörer. Dennoch trägt die Schallplatte ihre gesamte „Information" nur in der *Verbiegung der einen Rille. Alles Gespeicherte* ist hier nur physikalischer, stofflich-energetischer Natur und betrifft daher *nur den Träger*. Das ändert sich auch nicht, wenn wir die *Schallplatte abspielen*. Die Nadel folgt dann den feinsten Verbiegungen der Rille, wandelt sie mit dem Abtastsystem in entsprechende elektrische Spannungen (dem zweiten Träger) um. Nach entsprechender Verstärkung wird daraus der dritte Träger, der Schall. Diesen nehmen die beiden Trommelfelle unserer Ohren wahr, übertragen ihn über die Gehörknöschelketten auf die Schneckenflüssigkeiten (Lymphe) der Innenohre. Dort werden die Sinneszellen erregt und Nervenimpulse leiten sie (als bereits wievielter Träger?) zu unserem *Gehirn*. Dort *erfolgt eine komplexe Verarbeitung*. Dabei werden im Sinne von KLIX *gespeicherte Gedächtnisstrukturen angeregt* oder technischer gesprochen, getriggert und schließlich entsteht *in unserem Bewußtsein* das spezifische *Kunsterlebnis*. Doch dies ist etwas ganz anderes als die bei der Rille beginnenden und sich bis zum Gehirn vollziehenden unterschiedlichen, physikalisch-chemischen Trägerprozesse. Über gespeicherte Gedächtnisinhalte wird den *Trägerprozessen* viel hinzugefügt. Sie *werden u. a. ergänzt, vervollkommnet, interpretiert* oder wie man es noch nennen mag. Dabei gehen vielfältige Vorkenntnisse, wie Musikerfahrungen allgemeiner Art, spezieller Art mit Beethovenscher Musik, mit seiner Fünften, Kenntnisse um gerade diese Aufnahme, um die Persönlichkeit FURTWÄNGLERS und vieles andere mehr, ein. Dennoch löst dies alles nur die verbogene Rille der Schallplatte, also der stofflich-energetische Träger, aus. Und alles, was er bewirkt, mögen es Inhalte, Bedeutungen, Erlebnisse usw. sein, das ist auch wesentlich vom *Getragenen* der Information bestimmt. Doch, der Träger trägt dies nicht sowie ein Esel seinen Sack. Nein, damit es getragen wird, ist auch der Hörer mit seinen Gedächtnisstrukturen, seinen Gedächtnisinhalten notwendig. So sind *Träger und Getragenes ein dialektisches Paar* und machen erst beide zusammen die Information aus. Wird auch der (die) *Schöpfer von Kunstwerken einbezogen*, so entsteht das bereits allgemeinere Prinzip gemäß Abb. 10.3. Der Künstler hat eine *Idee*, einen Gedanken. Um ihn anderen mitzuteilen, muß er ihn *materialisieren*. Dabei entsteht das Kunstobjekt, z. B. ein Bild oder eine Partitur. Wie schwierig diese Materialisierung ist, haben viele Künstler betont. *Es muß der Idee die passende, richtige Form, Gestalt gegeben werden.* Dies ist im Prinzip die Umkehrung des Rezeptionsprozesses. Schließlich bleibt von der Idee (der Information = Träger + Getragenes) am Ende ja nur der Träger, und der muß auf seine Art und Weise alles nur auf stofflich-energetischer Basis so in sich tragen, daß beim Rezipienten wieder der Gedanke, die Idee möglichst genau erzeugt wird, also die richtigen Gedächtnisinhalte angeregt werden.

Wenn ein *Kriminalist* Spuren von einer Tat, z. B. Fingerabdrücke, Blutspuren, Geschosse oder ähnliches, sichert, so hat er damit primär nur physikalische-stoffliche Träger des Geschehens, des zu rekonstruierenden Tatablaufes (Information). Er muß

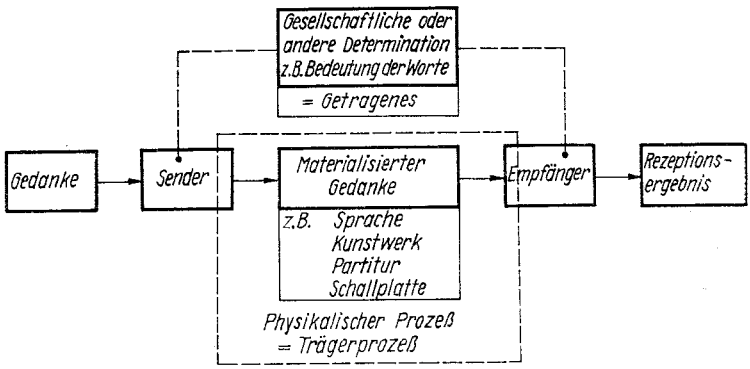


Abb. 10.3 Künstlerischer Schaffens- und Rezeptionsprozeß als Beispiel für den Zusammenhang:
Information = Träger + Getragenes.

das von ihnen Getragene der Information mit komplizierten wissenschaftlichen Methoden zurückzugewinnen versuchen.

Die *genetische Information* ist ein Beispiel für die strukturierende Information. Hier ist der gesamte Träger als genetisches Material, d. h. als DNA-Sequenzen und somit in der Struktur von speziellen Molekülen und deren Anordnung, enthalten (gespeichert). Damit diese DNA-Sequenzen wirksam werden können, also das von ihnen *Getragene realisiert* werden kann, ist der *gesamte* in der (spezifischen) Zelle vorhandene *genetische Apparat notwendig*. Die Viren werden gerade deshalb nicht zu den Lebewesen gezählt, weil sie fremde und dazu ausgewählte Zellen zur Realisierung ihres in den DNA-(RNA)-Sequenzen Getragenen benötigen.

10.5. Quantität und Qualität

Quantität steht unmittelbar im Zusammenhang mit Anzahl, Menge, Ausdehnung, Größe, Meßbarkeit und Maß. *Qualität* hat zwei Bedeutungsgruppen. Hier interessiert nicht jene im Sinne von Güte von etwas, sondern jene, die in etwa folgende vier Gebiete betrifft:

- unmittelbar sinnliches Wahrnehmen,
- Erscheinungen und Eigenschaften des Wesens von Objekten,
- innere und äußere Beziehungen im Sinne der Struktur,
- Zusammenhänge mit Stabilität.

Daß Quantität und Qualität ein *dialektisches Paar* sind, geht auch daraus hervor, daß Quantität, wenn sie gewisse Grenzen überschreitet, in Qualität umschlägt. Andererseits läßt sich Qualität oft in Quantitäten zerlegen. So sind z. B. die *Farben ursprünglich Qualitäten*. Im Laufe der technischen Entwicklung wurden sie dann zunächst in einfache Skalen, wie z. B. den Farbkreis, geordnet. Heute ist es möglich, jede Farbe genau durch einen Punkt im Farbddreieck, und zusätzlich mittels des Schwarz- bzw Weißanteil (Intensität) zu beschreiben. *Jede Farbe* ist also *mittels vier Qualitäten*

(3 Grundfarben + Intensität) und *deren Quantitäten* (Maßzahlen) *exakt gegeben.* Quantität und Qualität hängen also mit der *Meßbarkeit* eng zusammen, und das ist ja auch genau das, was die Shannonsche Theorie primär an Neuem für die Information brachte, was aber heute infolge der zu breiten Anwendung des eingeengten Informationsbegriffes nicht mehr erfüllt ist. Wir befinden uns daher in einem *Stadium,* das vielleicht mit den *Anfängen der physikalischen Meßtechnik vergleichbar ist.* Alle physikalischen Größen wurden nämlich ursprünglich auch in einer Maßeinheit, nämlich der Länge gemessen. Die älteren unter uns werden noch genau wissen, wie vor etwa 30 Jahren Induktivität und Kapazität in Zentimeter gemessen wurden. Seit den dreißiger Jahren war es ein langwieriger Kampf, um schließlich das *System International* SI durchzusetzen. Es enthält Basiseinheiten als Grundqualitäten, aus denen zusammengesetzte Qualitäten als weitere Maßeinheiten ableitbar sind. Alle *physikalischen Maßeinheiten* (Qualitäten) sind heute als *ganzzahlige Potenzprodukte* der Basiseinheiten darstellbar. Die *Maßzahlen,* welche als Ergebnis der Messung einer Qualität auftreten, sind die Quantitäten.

Für die *Information* muß nun *Quantität und Qualität* getrennt *auf Träger und Getragenes angewendet werden.* Träger und Getragenes beziehen sich nämlich vor allem auf den Wirkungsmechanismus der Information, dagegen Quantität und Qualität auf die Meßbarkeit. Deshalb ist es möglich, aus beiden dialektrischen Paaren eine Matrix, wie sie Abb. 10.4 zeigt, zu bilden. Der *Träger* wird also in Quantität und Qualität *im Sinne des* SI erfaßt. Für das *Getragene* wird *ein ähnlich geartetes System vermutet.* Da beim Getragenen vor allem Eigenschaften, Strukturen und ähnliches des Empfangs- und Sendesystems eingehen, müssen spezifische, *typische und allgemeine Systemeigenschaften so etwas wie Basisqualitäten widerspiegeln.* Den entsprechenden Informationsqualitäten wären dann Begriffsnamen zuzuordnen. Der hierzu noch zurückzulegende Weg ist sicher noch sehr langwierig. Das SI hat von seiner Konzeption bis zu seiner Klarheit und Einführung immerhin ca. 40 Jahre benötigt und das dazu bei dem damals schon hohen Stand der Physik. Es ist also zu folgern, daß für das wahrschein-

	Quantität	Qualität	
Träger	z.B. 1 Volt	z.B. elektrische Wechselspannung	
Getragenes	z.B. 16 bit	(Syntax, Semantik, Pragmatik)	
		symbolisch	akkordisch
		sensorisch	direktorisch
		effektorisch	contentisch

Abb. 10.4 Matrix aus den beiden dialektischen Paaren: Träger und Getragenes sowie Quantität und Qualität.

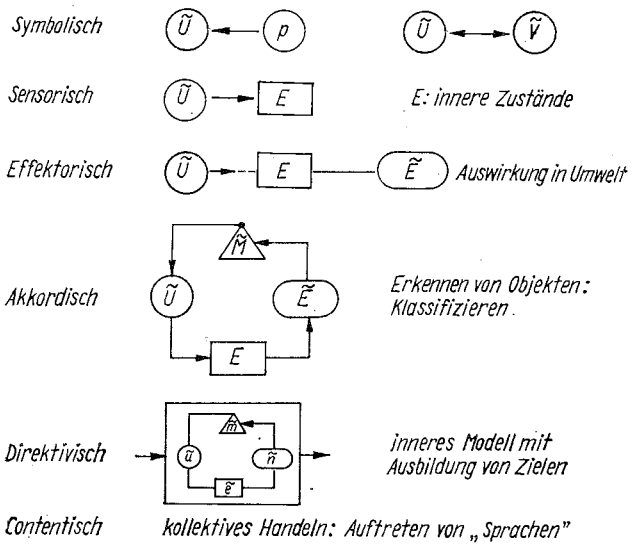


Abb. 10.5 Hypothetische Grundqualitäten des Getragenen der Information. Zu jeder Qualität gehören ein System und eine neue Eigenschaft, welche möglicherweise eine Basiseinheit definiert. Das Bit gehört dann zur symbolischen Qualität (s. a. [V15]).

lich weitaus komplexere und zugleich noch weniger erforschte Gebiet der Information dies nicht schneller zu vollziehen ist. Dennoch sei hier versucht, die in Abb. 10.4 genannten sechs *hypothetischen Qualitäten* hier noch weiter zu spezifizieren (Abb. 10.5). Sie stellen eine *Stufung vom Einfachen zum Komplizierten* dar, und die innerhalb der Systeme ablaufenden Prozesse werden dabei immer umfangreicher.

Bei der *symbolischen Qualität* werden nur endliche, genau definierte Symbolalphabete eventuell mit zugehörigen Regeln bezüglich ihrer gegenseitigen Bezüge und/oder bezüglich der Bildung von Worten benötigt. Wenn als Spezialfall nur das Alphabet und das zugehörige Wahrscheinlichkeitsfeld gegeben sind, ist die Grundlage der Shannon'schen *Qualität* vorhanden. Wenn die Regeln einer Grammatik entsprechen, sind die *formalen Sprachen* im Sinne der Automatentheorie (mit dem Äquivalent der formalen Sprachstufen) gegeben.

Bei der *sensorischen Qualität* ist zumindest ein multistabiles Empfangssystem notwendig, das infolge von Inputinformationen (-trägern) unterschiedliche *innere Zustände* annehmen kann.

Bei der *effektorischen Qualität* muß das Empfangssystem auch die Fähigkeit (Möglichkeit) besitzen, mittels unterschiedlicher Inputinformationen und/oder innerer Zustände sich in der Umwelt bemerkbar zu machen bzw. *auf die Umwelt mittels Effekten einzuwirken.*

Die *akkordische Information* setzt ein komplexeres und vor allem zusammenhängendes *Einwirken und Wahrnehmen* des Systems bezüglich der *hierarchischen Umwelt* voraus. Ein Objekt W der Umwelt wird bezüglich gewisser Eigenschaften U erkannt. Mit Effekten E wird auf dieses Objekt eingewirkt, dabei werden die Änderungen der Eigenschaften beobachtet. So kann z. B. ein Klassifizieren von Objekten im Sinne der *Begriffsbildung* erfolgen.

Bei der *direktivischen Qualität* enthält das Empfangs- und Wirkungssystem E einen *inneren Speicher,* in dem es durch eine Vielzahl von akkordischen Prozessen ein *inneres Modell der Umwelt* aufbaut. In diesem inneren Modell kann es dann *„gedankliche"* (d. h. indirekte) *Operationen* in bezug zur Umwelt ablaufen lassen. Dabei kann es seine künftigen Effekte (Handlungen) bezüglich bestimmter *Ziele* und *Zwecke* erproben. Die Zielbildungen sind der wesentliche Inhalt der direktivischen Information.

Bei der *contentischen Information* existieren mehrere direktivische Systeme, die kooperativ bezüglich mehr oder weniger gemeinsamer Ziele auf die Umwelt einwirken. Es liegt also ein *kollektives Handeln* vor. Es wird vor allem über *Sprachen* bzw. deren *Vorstufen* mehr oder weniger bewußt *koordiniert.*

Für die einzelnen Qualitäten könnten zur Messung *Basiseinheiten* bestimmt werden. Für die symbolische Qualität ist es günstig, das Bit zu verwenden, weil dann die schon vorhandenen Shannonschen und in Entwicklung befindliche, allgemeine Methoden weiter verwendet werden können. Für jede der anderen Qualitäten ist je eine neue Basiseinheit einzuführen.

Es sei ergänzt, daß bei den meisten, heutigen Informationsprozessen *zusammengesetzte Qualitäten* überwiegen. Durch die dabei möglichen bzw. notwendigen Beziehungen enthält eine Information *vermutlich Potenzprodukte der sechs Basisqualitäten.*

10.6. Kompliziertheit

Im Zusammenhang mit Abschn. 10.3. wurde das Ursache-Wirkung-Gefüge als typisch kybernetisches Gebilde eingeführt. Je mehr Teilsysteme es enthält und je mehr *Verbindungen zwischen den Teilsystemen* bestehen, desto komplizierter sind die Gesamtzusammenhänge. Neben dieser Kompliziertheit existieren noch weitere. So lassen sich bei einem intelligenten Roboter die *sensorische,* die *verarbeitende* und die *effektorische* (nach außen wirkende, stelltechnische) *Kompliziertheit* unterscheiden. Auch auf Lebewesen wären ähnliche Begriffe anwendbar. In der Literatur wird statt Kompliziertheit zuweilen auch *Komplexität* oder *Vielfalt* (ASHBY) verwendet. MOLES unterteilt in *strukturelle* und *funktionelle* Komplexität, und meint damit die Anzahl, der Konstruktionsteile und die Möglichkeiten der Anwendungen eines Gerätes, Systems usw. Darüber hinaus sollten in allgemeine Betrachtungen der Kompliziertheit auch *Hierarchiebezüge* einbezogen werden. Leider gibt es z. Z. *kein sinnvolles Maß der Kompliziertheit,* so wichtig es auch für viele Anwendungen und insbesondere für die Information wäre. U. a. aus diesem Grunde wird *hier eine sehr einfache Betrachtung* eingeführt, die nur spezielle, aber vielleicht doch wichtige Aspekte der Kompliziertheit widerzuspiegeln vermag und zugleich einige Bezüge zur Information ausweist. Es werden dazu gemäß Tab. 10.3 *fünf Zahlenbereiche* eingeführt:

Der *psychologische Bereich* hängt offensichtlich mit der Speicherkapazität des Gegenwartsgedächtnisses zusammen. Er wird durch Erfahrungen bestimmt. In der Regel ist der Mensch bei unmittelbarer Betrachtung von Objekten nnr im Stande 7 ± 2 Klassen zu unterscheiden.

Der *anschauliche Zahlenbereich* gibt Größenverhältnisse an, die wir in etwa unmittelbar aufeinander beziehen können, z. B. ein Meter, ein Millimeter, ca. 100 Stück usw. Entsprechend diesen Verhältnissen haben sich offensichtlich auch die

Tabelle 10.3 Zusammenstellung von fünf typischen Zahlenbereichen

Nr.	Bezeichnung	ca. Bereich	Bemerkungen
0	psychologischer	7 ± 2 Klassen	$2^7 = 128 \approx 150$ bit (Gegenwartsgedächtnis)
1	anschaulicher	1/100 ... 1000	unmittelbar feststellbarer Teil bzw. Vielfaches
2	naturgegebener	10^{-99} ... $9 \cdot 10^{99}$	vgl. Tab. 10.4
3	kombinatorischer	ε_1 ... $1/\varepsilon_2$	$\varepsilon_1 > 0 \quad \varepsilon_2 > 0$ beliebig kleine und große Zahlen aber nicht 0 bzw. ∞ (Tab. 10.5)
4	mathematischer	$-\infty$ ... 0 ... $+\infty$	enthält alle Stufen zwischen TURING und GÖDEL

Vorsätze im „System International" ausgebildet. Sie sind im wesentlichen um 10^3 abgestuft, also z. B. μ, m, k, M usw. Die Wortbegriffe bei großen Zahlen folgen der 10^6-Stufung: Million, Billion, Trillion usw.

Im *naturgegebenen Bereich* traten bisher Probleme wegen seines (potentiellen) Widerspruchs zur Unendlichkeit, genauer der Unerschöpflichkeit der Welt (ja jedes Atoms) auf. Dieser Bereich wird nach den Beispielen von Tabelle 10.4 als gegeben hingenommen. Auffällig ist, daß die meisten Rechner mit Gleitkommaarithmetik in diesem Zahlenbereich operieren.

Tabelle 10.4 Beispiele von Zahlengrenzen im naturgegebenen Bereich (abgerundete Werte)

Art	kleinster Wert	größter Wert	Verhältnis bzw. Anzahl
Masse	Elektron 10^{-30} kg	Weltall 10^{52} kg	10^{82}
Länge	Elementarlänge 10^{-35} m	Weltalldurchm. 10^{26} m	10^{61}
Zeit	Elementarzeit 10^{-24} s	Alter der Welt 10^{18} s	10^{42}
Atome des Menschen	—	—	10^{28}
Loschmidtsche Zahl	—	—	$7 \cdot 10^{23}$
Anzahl der Sterne	—	—	10^{21}
Zellenzahl höherer Tiere	—	—	10^4 ... 10^{15}
Neuron in Gehirnen	—	—	10^2 ... 10^{11}
Zeitquanten beim Menschen	1/25 s	65 Jahre	$5 \cdot 10^{10}$
Kontakte im Telefonnetz der Welt	—	—	$5 \cdot 10^{10}$
Nukleotidsequenzen von Viren bis Säuger	—	—	10^3 ... 10^9
Tierarten	—	—	$2 \cdot 10^6$
Komplexität von Zentraleinheiten bei Rechner	—	—	10^3 ... 10^6
Wortschatz der menschlichen Sprache	—	—	10^3 ... 10^6
Pflanzenarten	—	—	$4 \cdot 10^5$

Tabelle 10.5 Beispiele zum kombinatorischen Zahlenbereich

Gebiet	Zahl der Bausteine	gemittelte Kettenlänge	Möglichkeiten	geschätzte realisierte Werte (naturgegebener Bereich)
mögliche Zahl der Proteine	20 Aminosäuren	1000	10^{1300}	10^{10}
Nukleotidmoleküle	4 Nukleotide	10^7	$10^{6000000}$	10^{13}
Worte einer natürlichen Sprache	26 Buchstaben	10	10^{13}	10^3 ... 10^6
Vierspeziestaschenrechner (Zustände)	2 Zustände	130 bit Speicherkapazität	10^{39}	10^6 (in 5 Jahren)
mittlere EDVA	2	$4 \cdot 10^5$	10^{130000}	10^{10}

Der *kombinatorische Bereich* tritt immer dann auf, wenn eine bestimmte Anzahl von Elementen, Eigenschaften usw. bezüglich ihrer Anordnungen, Variationen oder Kombinationen betrachtet werden. Hierbei wachsen die entsprechenden Zahlenwerte schnell über den naturgegebenen Bereich hinaus. Dies zeigt Tabelle 10.5 an einigen Beispielen. Die extrem *kleinen Zahlenwerte* treten z. B. für die *Wahrscheinlichkeit* einer der so gegebenen Möglichkeiten auf.

Dem *naturgegebenen Bereich* liegt somit eine *endliche* Zeit in der endlich viele Zustände (Gegebenheiten) auftreten, zugrunde. Er entspricht also *realisierten Gegebenheiten, Wirklichkeiten.* Dem *kombinatorischen Bereich* entsprechen dagegen die *Möglichkeiten* einer Entwicklung, d. h. der *künftigen Realität.* Sie sind somit viel größer als die dann später realisierten Fälle. Dies zeigt sich auch deutlich im Verlauf der gesamten Evolution. Besonders günstig fügen sich in diesem Sinne hier die verschiedenen Stufen der *Evolutionsspiele* ein, wie sie u. a. EIGEN betrachtet.

Ein hierzu passendes Beispiel zeigt u. a. der von Menschen maximal aufgenommene Informationsfluß. Er beträgt etwa 15 bit/s. Damit kann ein Mensch sein Leben lang (falls sich für ihn nicht wiederholt) höchstens 10^{10} bit aufnehmen. Aber allein die Ausdrucksfähigkeit unserer Sprache ist viel größer. Genau in diesem eingeschränkten Sinn gilt die gebräuchliche Aussage, die *Sprache sei „unendlich" ausdrucksfähig.* Hiermit ist also nicht mathematisch unendlich gemeint, sondern nur unvergleichlich größer als das, was ein Mensch in seinem Leben aussagen kann. Die Sprache gehört also dem kombinatorischen Bereich und die von einem Menschen ausgesprochenen Texte dem naturgegebenen Bereich an.

Der *mathematische Bereich* umfaßt schließlich alle vorgenannten Bereiche, in dem er sowohl Null als auch Unendlich einbezieht. Speziell sind in ihm noch die Teilbereiche: leer, endlich und die *verschiedenen Stufen* von endlich, nämlich: (rekursiv) entscheidbar, aufzählbar, abzählbar und überabzählbar zu unterscheiden. Die Gödelproblematik beginnt spätestens in diesem Bereich. Die *Grenzen der Berechenbarkeit* (TURING) beginnen dagegen bereits im naturgegebenen Bereich, denn ein *Algorithmus muß ja in endlicher Zeit anhalten und ein eindeutiges Ergebnis liefern.* Gerade aus dieser Sicht erhebt sich die Frage, was eventuell im kombinatorischen Bereich, also insbesondere *zwischen Berechenbarkeit und Unentscheidbarkeit* geschieht.

GÖDEL wies ab 1932 nach, daß es in der Arithmetik natürlicher Zahlen zumindest eine Aussage gibt, von der innerhalb dieses Systems nicht zu entscheiden ist, ob sie falsch oder richtig ist. Weiter wies er nach, wenn es eine solche Aussage gibt, existieren auch deren unendlich viele. Inhaltlich besteht bei diesen Betrachtungen ein enger Zusammenhang zu den *Antimonien*, z. B. ein Kreter sagt: „Alle Kreter lügen". Wenn es also bereits in der exakten Wissenschaft solche Probleme gibt, wird es deren weitaus mehr in anderen Gebieten geben. Positiv ausgedrückt bedeuten GÖDELS Untersuchungen also auch, daß der *Mensch Erkenntnisse gewinnen kann, die nicht auf Ja-Nein-Entscheidungen zurückführbar sind.*

TURING u. a. zeigten ab 1936, daß inhaltlich die *Berechenbarkeit mit rekursiven Algorithmen* (beruhend auf Ja-Nein-Entscheidungen) zusammenfällt. Dies ist zugleich die Grundlage für formale Sprachen, Automatentheorie und Rechentechnik. Hier liegen also alle Möglichkeiten dessen, was technische Gebilde berechnen können. Es wurden bis jetzt und werden auch künftig *immer wieder neue und effektive Algorithmen gefunden* werden. Der nützliche Bereich der Berechenbarkeit wächst damit ständig. Wichtige Ergebnisse hierzu erbringt immer wieder die *künstliche Intelligenz*. Andererseits gibt es aber *keinen Universalalgorithmus* (GÖDEL)!

Zwischen den *berechenbaren Prozessen* einerseits und *Erkenntnisprozessen*, welche nicht Algorithmen im obigen Sinne folgen, andererseits, *liegt ein* weites, überwiegend *unbekanntes Gebiet*. Es steht heute noch nicht fest, was alles mit Algorithmen beherrschbar wird. Es ist aber wichtig zu wissen, daß der *Mensch oft Informationsprozesse vollzieht*, die eher der Gödelschen *Nichtentscheidbarkeit* als der Turingschen Berechenbarkeit *genügen*. Dies dürfte zumindest für die *ethischen und ästhetischen Prozesse* auch noch auf sehr lange Sicht, wenn nicht sogar prinzipiell immer so sein. Im gewissen Umfange dürfte Turingergebnisse mit Quantitäten und nichtentscheidbare Aussagen mit Qualitäten der Information zusammenhängen.

Es sei weiter erwähnt, daß in der Philosophie der Begriff der *Unerschöpflichkeit*, der Materie, ja jedes Atoms existiert. Er ist ausschließlich verbal, inhaltlich formuliert. Es hat den Anschein, daß er noch *jenseits der fünf Zahlenbereiche* anzusiedeln ist. Auf alle Fälle fordert er aber mindestens den kombinatorischen Bereich. Bereits hier sind nämlich die Möglichkeiten der Welt unvergleichlich größer als die realisierte Wirklichkeit und diese ist noch vielfältiger als das jeweils Erkannte. Damit ist zugleich eine *zweite Komponente der Kompliziertheit*, nämlich das *Verhältnis Wirklichkeit — Modell* angesprochen. Jedes Modell der Wirklichkeit übernimmt ja nur die für den jeweiligen Zweck *wesentlichen Eigenschaften und Parameter*. Es stellt damit eine nochmalige *Verarmung der Kompliziertheit* dar.

Während der erste Fakt hier Ausgangspunkt der Betrachtungen war, bedürfen die weiteren drei noch einiger Erklärungen. Alle Untersuchungen im Zusammenhang mit *Evolution* zeigen, daß die *Informationsentstehung* hierbei eine ganz wesentliche Rolle spielt. Als ein besonderes und zugleich spezielles Beispiel der vielfältigen Anwendungen von Modellen sei hier der *Erkenntnisprozeß* genannt.

Bezüglich des Erkenntnisstandes von Aussagen, Theorien, Gesetzen usw. sind *zwei Grenzfälle* zu unterscheiden:

- das Objekt ist relativ komplex erkannt
- vom Objekt sind nur wenige (wesentliche) Zusammenhänge erkannt.

Der erste Fall trifft heute z. B. auf die *Molekularbiologie* zu. Hier können viele Aussagen bis auf die chemischen und physikalischen Grundbeziehungen zurückverfolgt

werden. Es liegt eine ganze Hierarchie von Zusammenhängen vor. Ein derartiger Erkenntnisstand ist in seiner Gesamtkomplexität so hoch, daß er *nicht in das Gegenwartsgedächtnis* des Menschen paßt. Er kann folglich zu einer bestimmten Zeit nur mit Abschnitten aus der Theorie in seinem Gedächtnis operieren. Dies erfolgt dann meist in *komplexen Überbegriffen*, die bei Bedarf ständig detailliert werden können. Sind die Objekte also relativ komplex erkannt, so besteht die Möglichkeit mit (im Prinzip ständig weiter detaillierbaren) zusammengefaßten, verdichteten Begriffen, Aussagen usw. zu operieren.

Der zweite Fall liegt z. B. bei der *Tierkommunikation* vor. Es existieren hier nur allgemeine Aussagen, die den *Blackboxmethoden* der Kybernetik entsprechen. Sie sind entsprechend dem vorhandenen Kenntnisstand noch nicht weiter untersetzbar.

Insgesamt ist somit der Grad der Untersetzbarkeit von Aussagen ein Maß dafür, in welcher Kompliziertheit bereits das jeweilige Objekt erkannt ist. Die so vorhandene relative Wahrheit mit endlicher Kompliziertheit ist damit relativ bezüglich des unerschöpflichen Objektes.

Jede Stufe der Verdichtung von Inhalten bedingt weiter *Unschärfen* und *Ungenauigkeiten*. Das Musterbeispiel solcher Unschärfen ist die HEISENBERG-Relation. Mit ihr verwandt ist auch die KÜPFMÜLLER-Beziehung oder mehr technisch ausgedrückt, die NYQUIST-Rate bzw. das Samplingtheorem. An dieser Grenze bewegt sich auch die minimale Energie je bit mit dem Wert $kT \ln 2$, also der minimale Träger-aufwand für ein bit, bzw. die *Grenze der physikalischen Meßbarkeit*. Allgemein muß als Grenzfall das Produkt aus Meßvolumen, Meßzeit und Energiedichte größer als h sein. Hierauf beruht offensichtlich das *Problem* SCHRÖDINGERS bezüglich der *Stabilität der Nukleotidsequenzen*. Dafür ist eben die Wirkung in Js und nicht die Energie verantwortlich.

Während die Unschärfenrelation von HEISENBERG und KÜPFMÜLLER unumstrittene Tatsachen sind, gibt es zu weiteren Unschärfen nur recht vage Aussagen. Es dürfte im Prinzip wohl klar sein, daß die beiden Übergänge Möglichkeit — Wirklichkeit und Wirklichkeit — Modell notwendig mit verschiedenen Unschärfen verknüpft sind. Sehr *wahrscheinlich* gibt es aber *eine Fülle oder evtl. sogar Hierarchien von Unschärfen*.

10.7. Bedeutung der Zeit

Wird die Zeit von der Physik aus betrachtet, so besteht das Problem ihrer *Gerichtetheit*. Alle einfachen *mechanischen Prozesse* verlaufen nämlich so, daß sie auch bei entgegengesetzter Richtung der Zeit unverändert gültig sind. Die wesentlichen *thermodynamischen Prozesse* sind dagegen irreversiblel. Diese Problematik führte u. a. zum Ehrenfest-*Phänomen* und ließ noch um 1900 die Meinung entstehen, daß wir in einer *raumzeitlichen Oase* leben, wo zufällig in einem kosmisch gesehenen, kleinen Raum eine größere Abweichung vom Gleichgewicht entstanden ist und wir uns jetzt auf das Gleichgewicht wieder zubewegen. Die Astronomie brachte dann aber mit der *Evolution im Weltall* (also bei Galaxien und Sternen) und die Biologie mit der *Evolution des Lebens* und der Arten generelle Begründungen für einen länger anhaltenden *Zeitpfeil im Großen wie im Kleinen*. Anschaulich weisen auf die Anfänge u. a. die *Evolutionsspiele* hin. So besteht heute die Überzeugung zu einer generellen Evolution. Hieraus kann dann gefolgert werden, daß die *Information* ebenfalls etwas *in und mit der*

Evolution Gewordenes ist. Mit dem Leben entstand die Notwendigkeit, die dazu notwendigen Strukturen zu speichern. So bildete sich die *strukturierende, konstruktive Information*, d. h. die genetische Information, die in dem genetischen Material, den Nukleotidsequenzen, gespeichert ist, aus. Als das Leben eine gewisse Entwicklungshöhe erreicht hatte, wurde es immer vorteilhafter, auf Einflüsse aus der Umwelt schnell durch richtiges *Verhalten* zu reagieren. So entstanden *Neuronenansammlungen* aus denen sich weiter die Gehirne der Lebewesen entwickelten. Sie arbeiten mit *funktioneller Information*. Noch später erwies es sich als vorteilhaft, daß mehrere oder viele Individuen gemeinsam (*kollektiv*) handeln. Bei den Insektenstaaten ist z. B. noch die entsprechende Information in den Gehirnen der Individuen fast vollständig genetisch determiniert. Sie ist also individuell bezüglich Erfahrungen sehr wenig variabel. Das bei höherentwickelten Lebewesen mögliche Lernen bewirkt abgeänderte Varianten der *kollektiven Information*. In der Menschheitsgeschichte kennen wir sie z. B. als wissenschaftliche oder künstlerische *Schulenbildungen*. Heute kennen wir sie als *Produktionserfahrung* eines Arbeitskollektives oder auch als Know-how. Erst in seiner späteren Geschichte entwickelte der Mensch *technische Speicher*, wie die Schrift, das Bild oder gar die elektronischen Medien. Hierdurch ist es möglich, sein *Wissen auch außerhalb der Individuen* und dazu materialisiert für Zeiten zu speichern, die weit über das individuelle Leben hinausgehen. Darüber hinaus ist diese objektivierte Speicherung für jedes Individuum der Gesellschaft direkt zugängig. So entsteht ein *Weltwissen*.

Hier läßt sich deutlich ein wesentlicher *Unterschied zwischen Technik und Leben* erkennen. Leben hat sich in der Evolution vom Atomaren über das Molekulare zu immer Komplexerem hinauf und zwar im Detail und in der Gesamtheit strukturiert. In der Technik strukturierten wir dagegen vom Großen herab zu immer kleineren Gebilden. Dies zeigt sehr deutlich die Entwicklung der Mikroelektronik. Die Technik wird aber bei dieser Strukturierung wohl prinzipiell niemals bis in den atomaren Bereich vordringen können.

Abschließend seien noch Bemerkungen zum Verhältnis *Information und Widerspiegelung* gemacht. Beide Begriffsinhalte haben sich offensichtlich im Laufe der Zeit aufeinander zu entwickelt und überschneiden sich heute weitgehend. Ursprünglich war die Widerspiegelung auf Bewußtseinsprozesse bezogen. Spätestens seit LENIN wird versucht, sie bzw. *entsprechende Vorstufen als eine allgemeine Eigenschaft der Materie* zu verstehen. Damit wird der Begriff Widerspiegelung *von hochkomplizierten Prozessen auf immer weniger komplizierte zurückverfolgt*. Das Ergebnis einer Widerspiegelung ist dabei immer eine Strukturveränderung im widerspiegelnden System, und sie kann in etwa als Speicherzustand der Information betrachtet werden.

Information wurde *ursprünglich* von SHANNON für relativ einfache technische Prozesse der Nachrichtenübertragung eingeführt. Sie wurde dann *auf immer kompliziertere Prozesse* angewendet. Heute gibt es fast kein Gebiet mehr, wo der Informationsbegriff nicht angewendet wird. So wird hier die der Widerspiegelung entsprechende These vertreten: Information ist eine allgemeine Eigenschaft der Materie.

Vergleicht man nun beide Begriffe: Information und Widerspiegelung, so decken sie sich zum großen Teil. *Information ist dabei inhaltlich weiter spezifiziert* und vor allem in einigen Gebieten bereits *quantifizierbar*. Der *Widerspiegelungsbegriff* ist dagegen weitaus *gründlicher* in Bezug auf *Evolution* und *philosophische Grundlagen untersucht* worden.

II. Literaturverzeichnis

[A1] ABRAMS, M. H.: The Mirror and the Lamp. Romantic Theory and the Critical Tradition. Oxford University Press, New York 1953.

[A2] AGRICOLA, E., u. a. (Hrsg.): Kleine Enzyklopädie Die deutsche Sprache. VEB Bibliographisches Institut, Leipzig 1969

[A3] AHRENS, G.: Naturwissenschaftliches und medizinisches Latein. VEB Verlag Enzyklopädie, Leipzig 1977

[A4] AKERT, K.: Struktur und Ultrastruktur von Nervenzellen und Synapsen. Klin. Wochenschrift **49** (1971) 9, 509—519

[A5] ALBRECHT, E.: Sprache und Erkenntnis. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1967

[A6] ALBRECHT, E.: Bestimmt die Sprache unser Weltbild ? Zur Kritik der gegenwärtigen bürgerlichen Sprachphilosophie. Akademie-Verlag, Berlin 1972

[A7] ALBRECHT, E.: Sprache und Philosophie. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1975

[A8] ALEXANDER, R. D.: Arthopods, in: Sebeok, T. A. (Herausgeber): Animal communication. Indiana University Press, Bloomington, London 1968, S. 167—216

[A9] ALTMANN, G.: Die Orientierung der Tiere im Raum. A. Ziemsen-Verlag, Wittenberg 1975

[A10] ALTMANN, H.-W.: Der Zellkern. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 1971

[A11] AMBROSE, E. J., and D. M. EASTY: Cell biology. Nelson and Sons, London 1970 (dt. Übers.: Zellbiologie. Akademie-Verlag Berlin 1974).

[A12] ARBIB, M. A.: The metaphorical brain. Wiley-interscience New York, London, Sydney, Toronto 1972

[A13] ARNZT, H.: Die Informationskrise als Bedrohung der menschlichen Gemeinschaft und des Fortschritts. Loccumer Protokolle Frankfurt/M. 1966, S. 2—20

[A14] AURICH, H.: Laboratorium des Lebens. Urania-Verlag, Leipzig 1971

[B1] BAACKE, D.: Kommunikation und Kompetenz. Juventa-Verlag, München 1973

[B2] BAUMANN, R.: ALGOL — Manual der ALCOR-Gruppe. R. Oldenbourg Verlag, München, Wien 1965

[B3] BECHERT, J., u. a.: Einführung in die generative Transformationsgrammatik. Max Hueber Verlag, München 1970

[B4] BELJAJEW, D. K., u. a.: Allgemeine Biologie. VEB Verlag Volk und Wissen, Berlin 1969

[B5] BENSE, M.: Semiotische Prozesse und Systeme. Agis-Verlag, Baden-Baden 1975

[B6] BERG, W. B.: Das Gespräch. Bertelsmann-Verlag, Gütersloh 1970

[B7] BERTALANFY, L. v.: Theoretische Biologie. A. Franke, Bern 1951

[B8] BERTALANFY, L. v.: Biophysik des Fließgewichtes. Akademie-Verlag, Berlin 1977

[B9] BIELKA, H.: Ribosomen und Proteinsynthese. Wissenschaft und Fortschritt **25** (1975) H. 2, 54—59

[B10] BIERWISCH, M.: Musik und Sprache: Anmerkungen zu ihrer Struktur und Funktionsweise. Manuskript eines Vortrages in Radio DDR 2, 1977

[B12] BIERWOLF, D.: Viren, das geborgte Leben. Urania-Verlag Leipzig, Jena, Berlin 1974

[B13] Biesold, D., und H. Matthies: Neurobiologie. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena 1977
[B14] Bing, R., und R. Brückner: Gehirn und Auge. B. Schwabe Verlag, Basel 1954
[B15] Bisky, L.: Zur Kritik der bürgerlichen Massenkommunikationsforschung. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1976
[B16] Björn, L. O.: Photobiologie, Licht und Organismus. G. Fischer Verlag, Stuttgart 1975
[B17] Blinkow, S. M., und I. I. Gleser: (Блинков, С. М., и И. И. Глезер): Мозг человека в цифрах и таблицах. Медицина, Ленинград 1964
(dt. Übers.: Das Zentralnervensystem in Zahlen und Tabellen. VEB G. Fischer, Jena 1968)
[B18] Böhme, Kl.: Kommunikationsphänomene bei Selbstmordversuchen. Habilitationsschrift, Lübeck 1971
[B19] Bloomfield, L.: Language. Henry Holt, New York 1939
[B20] Bowsher, D.: Einführung in die Anatomie und Physiologie des Nervensystems. Verlag Hans Huber, Bern, Stuttgart, Wien 1973
[B21] Braitenberg, V.: Gehirngespinste. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1973
[B22] Bréal, M.: Essai de sémantique. Librairie Hachette, Paris 1897
[B23] Brekle, H. E.: Semantik. Wilhelm-Fink-Verlag, München 1972
[B25] Brönimann, Ch.: Aufbau und Beurteilung des Kommunikationssystems von Unternehmungen. Verlag Paul Haupt, Bern, Stuttgart 1970
[B26] Buddenbrock, W. v.: Vergleichende Physiologie, Bd. I Sinnesphysiologie, Bd. II Nervenphysiologie, Bd. V Erfolgsorgane. Birkhäuser Verlag, Basel 1952, 1953, 1961
[B27] Bühler, K.: Sprachtheorie. 2. Aufl., G. Fischer Verlag, Stuttgart 1965 (1. Aufl. 1934 Jena)
[B28] Burdach, K. J.: Musikpsychologie und Musiksimulation. Dissertation, Hamburg 1975
[B29] Burkhardt, D., und I. de la Motte: Wörterbuch der Neurophysiologie. 2. Aufl., VEB Gustav Fischer Verlag, Jena 1971
[C1] Carnap, R.: Einführung in die symbolische Logik. Springer Verlag, Wien, New York 1954
[C2] Černjak, J. I. u. a.: Ökonomische Semiotik (russ. Original 1970). Akademie-Verlag Berlin 1972
[C3] Charniak, E., and Y. Wilks,: Computional Semantics. North-Holland Publishing Company. Amsterdam, New York, Oxford 1976
[C4] Cherry, C.: On human communication. A review, a survey, and a criticism. Wiley, New York 1957 (dt. Übers.: Kommunikationsforschung — eine neue Wissenschaft. 2. Aufl., S. Fischer-Verlag Hamburg 1967)
[C5] Chomsky, N.: Aspekte der Syntax-Theorie. (engl. Original 1965) Akademie-Verlag, Berlin 1970
[C6] Chomsky, N.: Deep Structure, Surface Structure and Semantic Interpretation, in: Semantics. University Press, Cambridge 1971
[C7] Chomsky, N.: Syntax Structures. Mouton, Hague 1957 (dt. Übers.: Strukturen der Syntax. Mouton, Hague 1973)
[C8] Chraptschenko, M.: Semiotik und Kunstschaffen. Kunst und Literatur **20** (1972) H. 4, S. 349—371, H. 6, S. 602—621
[C9] Clara, M.: Das Nervensystem des Menschen. Ein Lehrbuch für Studierende und Ärzte. 2., verb. Aufl., Johann Ambros. Barth Verlag, Leipzig 1953
[C10] Clara, M.: Entwicklungsgeschichte des Menschen. 6. Aufl., VEB Georg Thieme, Leipzig 1966
[C11] Conrad, R.: Kleines Wörterbuch sprachwissenschaftlicher Termini. VEB Bibliographisches Institut, Leipzig 1975
[D1] Dahlberg, J.: Grundlagen universeller Wissensordnung. Verlag Dokumentation, München-Pullach 1974
[D2] Danz, D. F. G.: Semiotik oder Handbuch der allgemeinen Zeichenlehre zum Gebrauch für angehende Wundärzte. S. L. Crusius-Verlag, Leipzig 1793

[D3] Davies, M.: Funktion biologischer Membranen. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena 1974
[D4] Denfer, D. v., u. a.: Lehrbuch der Botanik. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena 1971
[D5] Dettmer, D., und F. Müller: Die Transportfunktion biologischer Membranen. Wissenschaft und Fortschritt **24** (1974) 11, 486–490
[D6] Diem, K., und C. Lertner: Wissenschaftliche Tabellen. 7. Aufl., Geigy A. G., Basel 1968
[D7] Donath, T.: Erläuterndes anatomisches Wörterbuch. Terra-Verlag, Budapest 1960
[D8] Dorn, A.: Histologie. VEB Verlag Volk und Gesundheit, Berlin 1973
[D9] Dorsch, P.: Eine neue Heimat in Perlach. Das Einleben als Kommunikationsprozeß. D. W. Callwey-Verlag, München 1972
[D10] Drischel, H.: Das neuronale Gedächtnis. Nova Acta Leopoldina **37/1** (1972) 206, 325–353
[D11] Drischel, H.: Einführung in die Biokybernetik. Akademie-Verlag, Berlin 1972
[E1] Eccles, J.: The physiology of synapses. Springer-Verlag Berlin, Göttingen, Heidelberg 1964
[E2] Eccles, J. C.: Funktionsweisen des neuronalen Mechanismus im Zentralnervensystem. Naturwissenschaftliche Rundschau **20** (1967) H. 4, S. 139–151
[E3] Eco, U.: Einführung in die Semiotik (italien.: La struttura assente. 1968) Wilhelm Fink-Verlag, München 1972
[E4] Eigner, W.: Enzyklopädie der Tiere. Neumann-Verlag Radebeul, Georg Westermann-Verlag, Braunschweig 1971
[E5] Endres, A.: Analyse und Verifikation von Programmen. Oldenbourg-Verlag München, Wien 1977
[E6] Engel, P.: Nachdenken über das Lebendige. Urania-Verlag Leipzig, Jena, Berlin 1977
[E7] Ermisch, A.: Auf den Nerv gefühlt. Urania-Verlag Leipzig, Jena, Berlin 1975
[F1] Feitscher, W.: Parallelen zwischen Physik und Informatik. Informatik **16** (1969) H. 3, 8–18
[F2] Ferner, H.: Anatomie des Nervensystems und der Sinnesorgane des Menschen. 4., verb. Aufl., Ernst Reinhardt Verlag, München, Basel 1970
[F3] Fischel, W.: Grundzüge des Zentralnervensystems des Menschen. 2. Aufl., VEB Gustav Fischer Verlag, Jena 1972
[F4] Flechtner, H.-J.: Grundbegriffe der Kybernetik. 5. Aufl., Wissenschaftliche Verlagsanstalt, Stuttgart 1970
[F5] Förster, H.: Das Gedächtnis. Eine quantenphysikalische Untersuchung. Franz Deuticke, Wien 1948
[F6] Frank, H.: Grundlagenprobleme der Informationsästhetik und erste Anwendung auf die mime pure. Dissertation, Stuttgart 1959
[F7] Frank, H.: Über eine informationspsychologische Maßbestimmung der semantischen und pragmatischen Information. Grundlagenstudium in Kybernetik und Geisteswissenschaft **1** (1960) H. 2, 37–40
[F8] Frank, H., und R. Gunzenhäuser: Über Mime und Pantomine. Grundlagenstudium in Kybernetik und Geisteswissenschaft **1** (1960) H. 4, 113–121
[F9] Frank, H.: Kybernetische Grundlagen der Pädagogik. (2. Aufl.) Agis Verlag, Baden-Baden 1969
[F10] Frank-Böhringer, B.: Rhetorische Kommunikation. Verlag Schnelle, Quickborn 1963
[F11] Franke, H. W.: Phänomen Kunst. Heinz Moos-Verlag, München 1967
[F12] Frege, G.: Funktion, Begriff, Bedeutung. Vandenhoeck und Rupprecht, Göttingen 1962
[F13] Freud, S.: Der Witz und seine Beziehungen zum Unbewußten. 2. Aufl., Franz Deuticke, Leipzig – Wien 1912
[F14] Freud, S.: Vorlesung zur Einführung in die Psychoanalyse. Internationaler Psychoanalytischer Verlag, Wien 1930 (1. Aufl. 1918)

[F15] Freye, H. A.: Kompendium der Zoologie. 4. Aufl., VEB Gustav Fischer Verlag, Jena 1971
[F16] Fuchs-Kittowski, K., u. a.: Informatik und Automatisierung, Band 1. Akademie-Verlag, Berlin 1976
[F17] Füller, H.: Zellen — Bausteine des Lebens. 2. Aufl., Urania-Verlag, Leipzig, Jena, Berlin 1975
[F18] Funk-Kolleg: Sprache. Einführung in die moderne Linguistik. S. Fischer-Verlag, Frankfurt/M. 1973
[G1] Geiler, H.: Allgemeine Zoologie (4. Aufl.) VEB Gustav Fischer Verlag, Jena 1974
[G2] Geissler, E. (Hrsg.): Desoxyribonucleinsäure. Akademie-Verlag, Berlin 1972
[G3] Geissler, E.: Meyers Taschenlexikon. Molekularbiologie. VEB Bibliographisches Institut, Leipzig 1972
[G4] Gellert, W., u. a. (Herausgeber): Kleine Enzyklopädie Mathematik. (10. Aufl.) VEB Bibliographisches Institut, Leipzig 1977
[G5] Glaser, R.: Einführung in die Biophysik. (2. Aufl.) VEB G. Fischer, Jena 1976
[G6] Glaser, W.: Zur Fledermausortung aus dem Gesichtspunkt der Theorie gestörter Systeme. Zool. Jb. Physiologie Jena **76** (1971) S. 209—229
[G7] Glees, P.: Morphologie und Physiologie des Nervensystems. Georg Thieme-Verlag, Stuttgart 1957
[G8] Glees, P.: Das menschliche Gehirn. (2. Aufl.) Hippokrates-Verlag, Stuttgart
[G9] Goffman, E.: Behavior in public places. 4. ed., 1969 (dt. Übers.: Verhalten in sozialen Situationen. Strukturen und Regeln der Interaktion im öffentlichen Raum. Bertelsmann-Verlag, Gütersloh 1971)
[G10] Goldschmidt, H.: Die Cavatina des Figaro; Eine semantische Analyse. Beiträge zur Musikwissenschaft **15** (1973) H. 3, 185—207
[G11] Golenko, D. I., u. a.: Kybernetik zur Steuerung ökonomischer Prozesse. Akademie-Verlag, Berlin 1977
[G12] Gottschick, J.: Die Leistungen des Nervensystems. (2. Aufl.) VEB G. Fischer, Jena 1955
[G13] Grabbe, H.: Kommunikationseinrichtungen als urbanitäts-stiftende Strukturen. Dissertation, Westfalen-Lippe 1975
[G14] Graur, Al.: Einführung in die Sprachwissenschaft. Akademie-Verlag, Berlin 1974
[G15] Gregory, R. L.: Auge und Gehirn. Zur Physiologie des Sehens. Kindler-Verlag, München 1966
[G16] Greimas, A. J.: Sémantique structurale. Recherche de méthode. Larousse, Paris 1969 (dt. Übers.: Strukturelle Semantik. Vieweg Verlag, Braunschweig 1971)
[G17] Gröber, K.: Vererbung — ein Rätsel wird gelöst. Urania-Verlag Leipzig, Jena, Berlin 1972
[G18] Grossmann, G.: Struktur und Bindung — Atome und Moleküle. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1973
[G19] Grünewald, H.: Schaltplan des Geistes. Rowohlt Taschenbuchverlag, Hamburg 1971
[G20] Grupe, R.: Biologische Forschung an künstlichen Membranen. Wissenschaft und Fortschritt **26** (1976) H. 10, 444—450
[G21] Grüsser, O.-J., und R. Klinke: Zeichenerkennung durch biologische und technische Systeme. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 1971
[G21a] Gunning, B. E. S. and M. W. Steer: Plant cell biology and ultra structural approach. Edwards Arnold Publishers Ltd., London 1975 (dt. Übers.: Biologie der Pflanzenzelle. VEB G. Fischer, Jena 1977)
[G22] Guttmann, G.: Einführung in die Neuropsychologie. Verlag Hans Huber, Bern, Stuttgart, Wien 1972
[H1] Hagemann, R.: Vererbungserscheinungen im Plasma, in: Beiträge zur Abstammungslehre. Teil 3: Beiträge zur Abstammungslehre u. Genetik. VEB Volk und Wissen, Berlin 1969, S. 67—107
[H2] Hanslick, E.: Vom Musikalisch-Schönen. Johann Ambrosius Barth, Leipzig 1885

[H3] Harrison, R., und G. G. Lunt: Biological Membrans. Verlag Blackie and Son, Glasgow, London 1975 (dt. Übers.: Biologische Membranen. VEB G. Fischer Verlag Jena 1977)
[H4] Haug, H.: Der makroskopische Aufbau des Großhirns. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1970
[H5] Haug, W. F.: Kritik der Warenästhetik. Suhrkamp-Verlag, Frankfurt/M. 1971
[H6] Hensel, H.: Allgemeine Sinnesphysiologie, Hautsinne, Geschmack, Geruch. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1966
[H7] Hentschel, E., und G. Wagner: Tiernamen und zoologische Fachwörter. VEB G. Fischer-Verlag, Jena 1976
[H8] Hermes, H.: Aufzählbarkeit, Entscheidbarkeit, Berechenbarkeit (2. Aufl.) Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1971
[H9] Herrmann, P.: Kompendium der allgemeinen und anorganischen Chemie. VEB G. Fischer Verlag, Jena 1974
[H10] Herschel, R.: Einführung in die Theorie der Automaten, Sprachen und Algorithmen. R. Oldenbourg Verlag, München, Wien 1974
[H11] Heyne, H. U.: Struktur biologischer Membranen Wissenschaft und Fortschritt **24** (1974) H. 8, 347–354
[H12] Heynert, H.: Einführung in die allgemeine Bionik. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1972
[H13] Hinde, R. A. (Hrsg.): Non-Verbal Communication. Cambridge University Press, Cambridge 1972
[H14] Hirsch, G.-C. (Hrsg.): Grundlagen der Cytologie. 2. Aufl., VEB Gustav Fischer Verlag, Jena 1974
[H15] Hofemeister, J.: Biologische Schutzmechanismen für die Erbsubstanz. Wissenschaft und Fortschritt **27** (1977) H. 8, 338–342
[H16] Hofmann, E.: Die Bedeutung der Raumstruktur für die Funktion von Enzymen. Akademie-Verlag, Berlin 1977
[H17] Hucho, F.: Zur Biochemie des Lernens. Biologie unserer Zeit **7** (1977) H. 5, 129 bis 137
[H18] Hummel, H. P.: Marktkommunikation und Verbraucherverhalten. Dissertation, Mannheim 1974
[H19] Husserl, E.: Logische Untersuchungen. 2. Aufl., Niemeyer Verlag, Halle 1913 (1. Aufl. 1900)
[I1] Immler, M.: Generative Syntax — Generative Semantik. Wilhelm Fink-Verlag, München 1974
[J1] Jerison, H. J.: Paleoneurobiology and the evolution of mind. Sc. American **284** (1976) H. 1, 90–101
[J2] Johst, V.: Biologische Verhaltensforschung am Menschen. Akademie-Verlag, Berlin 1976
[J3] Jung, F.: Zweite Grundthese der Molekulargenetik schwankt. Wissenschaft und Fortschritt **27** (1977) H. 4, 146–147
[K1] Kaden, C.: Musikalische Syntax und sozialhistorische Praxis in der arbeitsfunktionalen Signalgebung der Viehhirten. Dissertation, Humboldt-Universität Berlin 1973
[K2] Kaempfe, L., R. Kittel und J. Klapperstück: Leitfaden der Anatomie der Wirbeltiere. 3., überarb. u. erw. Aufl., VEB G. Fischer-Verlag Jena 1970
[K3] Kagan, M. (Каган, М.): Лекции по марксистско-ленинской эстетике. (Verlag der Leningrader Universität 1971 (dt. Übers.: Vorlesungen zur marxistisch-leninistischen Ästhetik. Dietz Verlag Berlin 1974, 3. Aufl.)
[K4] Kagan, M.: Das Ethische und Ästhetische im System der Werte. Kunst u. Literatur **19** (1971) H. 7, S. 675–697
[K5] Kagan, M. u. a.: Die Struktur und der wechselseitige Zusammenhang vom Ästhetischen und Ethischen. Kunst u. Literatur **19** (1971) H. 8, S. 796–817, H. 9, S. 911–926
[K6] Kagan, M.: Übersetzung aus „Morphologie der Kunst" Leningrad 1972. Kunst u. Literatur **21** (1973) H. 8, S. 755–777, H. 9, S. 851–862, H. 10, S. 983bis 1004. **22** (1974) H. 3, S. 227–242, H. 4, S. 420–440, H. 5, S. 530–556, H. 6, S. 647–667

[K7] KAHLE, W.: Die Entwicklung der menschlichen Gehirnhemisphäre. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 1969
[K8] KAINZ, F.: Psychologie der Sprache (4 Bände). Ferdinand Enke-Verlag, Stuttgart 1954—1960
[K9] KALAIDJIEW, A., und J. SEGAL: Die Struktur biologisch aktiver Eiweiße. Humboldt-Universität Berlin 1966
[K10] KAMLAH, W.: Sprachliche Handlungsschema, in: GADENER, H.-G. (Hrsg.): Das Problem der Sprache. W. Fink-Verlag, München 1967, S. 427—434
[K11] KANYÖ, Z.: Kritische Bemerkungen zu der Anwendungsmöglichkeit einiger semiotischer Modelle in der Literaturtheorie. Wiss. Z. der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald **20** (1971) H. 4/5, 267—276
[K12] KAPLAN, R. W.: Der Ursprung des Lebens. G. Thieme, Stuttgart 1972
[K13] KATZ, J. J., und J. A. FODOR: The structure of a semantic theory. Language **39** (1963) S. 170—210 (deutsche Fassung in [K20])
[K14] KAYSER, D.: Schlager — Das Lied als Ware. Dissertation, Tübingen 1975
[K15] KEIDEL, W. D.: Physiologie des Hörens. Klin. Wochenschrift **37** (1959) H. 23, 1205—1217
[K16] KEIDEL, W. D.: Sinnesphysiologie, I.: Allgemeine Sinnesphysiologie. Visuelles System. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 1971
[K17] KERN, E.: Rückkopplungsphänomene zwischen Musiker und Musikinstrument, Nova Acta Leopoldina **37/1** 206, (1972) 573—610
[K18] KERNER, I. O., und G. ZIELKE: Einführung in die algorithmische Sprache ALGOL. 4. Aufl., BSB B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig 1970
[K19] KERNER, I. O. (Herausgeber): Bericht über die algorithmische Sprache ALGOL 68. Akademie-Verlag, Berlin 1972 (Übers. a. d. Engl.)
[K20] KIEFER, F. (Hrsg.): Linguistische Forschungen. Athenäum-Verlag, Frankfurt/M. 1977
[K21] KIESLICH, G.: Kommunikationskrisen in der Wissenschaft. Verlag Anton Pustet, Salzburg, München 1969
[K22] KLAUS, G.: Spezielle Erkenntnistheorie. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1965
[K23] KLAUS, G.: Semiotik und Erkenntnistheorie. 2. Aufl., VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften Berlin 1969 (1. Aufl. 1963)
[K24] KLAUS, G.: Die Macht des Wortes. 5. Aufl., VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften Berlin 1969 (1. Aufl. 1964)
[K25] KLEINEN, G.: Experimentelle Studien zum musikalischen Ausdruck. Dissertation, Hamburg 1968
[K26] KLEINSORGE, H., und G. KLUMBIES: Technik der Hypnose für Ärzte. 3. Aufl., VEB Gustav Fischer-Verlag, Jena 1969
[K27] KLIX, F.: Information und Verhalten. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1971
[K28] KLIX, F.: Organismische Informationsverarbeitung. Akademie-Verlag, Berlin 1974
[K30] KLIX, F.: Psychologische Beiträge zur Analyse kognitiver Prozesse. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1976
[K31] KLUG, H.: Hormone und Enzyme. 2. Aufl., A. Ziemsen Verlag, Wittenberg 1971
[K32] KLUG, H.: Bau und Funktion tierischer Zellen. A. Ziemsen Verlag, Wittenberg 1973
[K33] KNILLI, F. (Hrsg.): Semiotik des Films. Carl Hanser Verlag, München 1971
[K34] KOBLITZ, J.: Fachinformation und Informationswissenschaft, in: Dokumentation/Information H. 13, Ilmenau 1970
[K35] KOHLER, C.: Kommunikative Psychotherapie. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena 1968
[K36] KOLB, E.: Hormone — Regulatoren der Lebensvorgänge. Urania-Verlag, Leipzig, Jena, Berlin 1974
[K37] KÖNIG, H., und G. STILLER: Zur Einbeziehung pragmatischer Aspekte in den Wortartbegriff höherer Programmiersprachen. Wiss. Z. der TU Dresden **26** (1977) H. 6, 1061—1073

[K38] Körner, U.: Probleme der Biogenese. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena 1974
[K39] Krause, W.: Eine Darstellung der Fähigkeit des Menschen beim Lösen von Problemen und Möglichkeiten der Modellierung durch Methoden der künstlichen Intelligenz. Dissertation B, Humboldt-Universität Berlin 1977
[K40] Kretschmer, E.: Physikalische Chemie — Grundkurs. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1974
[K41] Kreutz, W.: Biomembranen — eine Grundvoraussetzung allen Lebens. Umschau 78 (1978) H. 5, 138—146
[K42] Kühn, A.: Grundriß der allgemeinen Zoologie. 15. Aufl., G. Thieme, Stuttgart 1964
[K43] Kupper, H.: Computer und musikalische Kompositionen. Vieweg Verlag, Braunschweig 1970
[L1] Lakoff, G.: On generative Semantics. Deutsche Teilfassung in Kiefer [K20]
[L2] Lakowa, W.: Zur Steuerung des pianistischen Interpretationsprozesses. Dissertation, Leipzig 1971
[L3] Landois-Roseman, Lehrbuch der Physiologie des Menschen. Band 2. 28. Aufl., Urban und Schwarzenberg, München, Berlin 1962
[L4] Lapp, Ralph E.: Schall und Gehör. (TIME LIFE Bücher) N. V. 1966 Reinbeck b. Hamburg, 1970
[L5] Lausch, E.: Manipulation, der Griff nach dem Gehirn. Deutsche Verlagsanstalt Stuttgart 1971
[L6] Lay, R.: Information und Manipulation. Datascope 5 (1974) H. 14, 3—9
[L7] Lehmann, E.: Ein Frage-Antwort-System mit Deduktions- und Lernfähigkeit, in: Kybernetik-Forschung, Heft 5. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1975
[L8] Lehmann, E.: Computersimulation des Verstehens natürlicher Sprachen. Leopoldina Symposium 1976
[L9] Lehmann, G. K.: Phantasie und künstlerische Arbeit. (2. Aufl.) Aufbau-Verlag, Berlin, Weimar 1976
[L10] Libbert, E.: Kompendium der allgemeinen Biologie. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena 1976
[L11] Lindauer, M.: Lernen und Gedächtnis — Versuch an der Honigbiene. Naturwissenschaften 57 (1970) H. 10, 463—467
[L12] Lindner, G.: Hören und Verstehen. Akademie-Verlag, Berlin 1977
[L13] Littler, T. S.: The Physic of the ear, Pergamon Press, Oxford 1965
[L14] Lord, A. B.: The singer of tales. Harvard Universtiy Press, Cambridge 1960 (dt. Übers.: Der Sänger erzählt. Wie ein Epos entsteht. Carl Hanser Verlag München 1965)
[L15] Lorenz, K.: Die instinktiven Grundlagen der menschlichen Kultur. Die Naturwissenschaften 54 (1967) H. 15—16, 377—388
[L16] Löther, R.: Biologie und Weltanschauung. (2. Aufl.) Urania Verlag Leipzig, Jena, Berlin 1974
[L17] Lueken, B., und J.-H. Scharf: Neue Ergebnisse zur Informationsaufnahme und Informationsverarbeitung in Sinnesorganen. Deutsche Akademie der Naturforscher, Leopoldina Halle 1973
[M1] Mai, D.: Untersuchungen informations-theoretischer Ansätze bei der absatzwirtschaftlichen Aktionsanalyse. Dissertation, Göttingen 1971
[M2] Maletzki, G.: Psychologie der Massenkommunikation. Verlag H. Bredow Institut Hamburg
[M3] Markert, C. L., und H. Ursprung: Entwicklungsbiologie Genetik. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena 1974
[M4] Maser, S.: Numerische Ästhetik. Krämer-Verlag, Stuttgart, Bern 1970
[M6] Maser, S.: Grundlagen der allgemeinen Kommunikationstheorie. (2. Aufl.) Verlag Berliner Union, Stuttgart 1973
[M7] Matthies, H.: Dem Gedächtnis auf der Spur. Wissenschaft und Fortschritt 24 (1974) H. 9, 412—415
[M8] McLuhan, M.: Die Gutenberg-Galaxis. Das Ende des Buchzeitalters (engl. Original 1962) Econ Verlag Düsseldorf-Wien 1968

[M9] METZNER, H. (Hrsg.): Die Zelle. Wiss. Verlagsgesellschaft, Stuttgart 1966
[M10] MEYER-DOHM, P. (Hrsg.): Das wissenschaftliche Buch. Verlag für Buchmarktforschung Hamburg 1969
[M11] MEYER-STEINWEG, T., und K. SUDHOFF: Geschichte der Medizin im Überblick und Abbildungen 4. Aufl. G. Fischer Verlag Jena 1950
[M12] MICHAJLOV, A. I., u. a.: Informatik. Bd. 12. Zentralinstitut für Information und Dokumentation, Berlin 1970
[M13] MOLES, A.: Informationstheorie der Musik. Nachrichtentechnische Fachberichte **3** (1956), 47—55
[M14] MOLES, A. A.: Théorie de l'information et perception esthetique. 1958 (dt. Übers.: Informationstheorie und ästhetische Wahrnehmung. Verlag Schemberg/Köln 1971)
[M15] MOLES, A.: Le Kitsch. 1971 (dt. Übers.: Psychologie des Kitsches. Carl Hanser Verlag München 1972)
[M16] MORRIS, CH.: Signs, Language and Behavior. Prentice-Hall, Inc., New York 1946
[M17] MORRIS, C.: Signification and Significance M.I.T.-Press, Cambridge 1964
[M18] MORRIS, C.: Foundations of the theory of signs. University Press, Chicago 1938 (dt. Übers.: Grundlagen der Zeichentheorie. Ästhetik und Zeichentheorie Carl Hanser Verlag München 1972)
[M19] MÜLLER, J.: Theoretische Grundlagen der Bewertung von Informationen ihrer Funktion im gedanklichen Arbeitsprozeß. ZKI-Informationen 4/1977, S. 20—27
[M20] MÜLLER, J.: Drei erkenntnistheoretische Relationen in der technisch-wissenschaftlichen Forschung und Entwicklung. Deutsche Z. Philosophie **26** (1978) H. 4, 459—468
[M21] MÜNTZ, K.: Stoffwechsel der Pflanzen. VEB Volk und Wissen Berlin 1973
[M22] MUTSCHNIK, LEW. und WL. SMIRNOW: Das Kurzzeitgedächtnis bei Gesunden und Geisteskranken. Ideen des exakten Wissens. Stuttgart (1969) H. 4, 253—257
[N1] NAGEL, E., und J. R. NEWMAN: Gödel's proof. New York University Press, New York 1958 (dt. Übers.: Der Gödelsche Beweis. R. Oldenbourg Wien — München 1964)
[N2] NAGL, W.: Chromosomen — Struktur, Funktion und Evolution. W. Goldmann-Verlag München 1972
[N3] NAGL, W.: DNA endoreduplication and polyteny understood as evolutionarry strategies. Nature **261** (1976) H. 5561, 614—615
[N4] NAKE, F.: Ästhetik als Informationsverarbeitung. Springer-Verlag Wien, New York 1974
[N5] NATHANSON, J. A., und P. GREENGARD: "Second Messengers" in the brain. Scientific American **237** (1977) H. 2, 108—119
[N6] NAUR, P.: Revidierter Bericht über die algorithmische Sprache ALGOL 60 und Bericht über Eingabe- und Ausgabeprozeduren für ALGOL 60. Akademie-Verlag Berlin 1966
[N7] NEES, G.: Generative Computergraphik. Siemens A.G., Berlin, München 1969
[N8] NEUMANN, W.: Theoretische Probleme der Sprachwissenschaft. Akademie-Verlag, Berlin 1976
[N9] NITZSCHMANN, J.: Entwicklung bei Mensch und Tier. Akademie-Verlag, Berlin 1973
[N10] N. N.: Das ABC der Seele. Urania-Verlag, Leipzig, Jena, Berlin 1963
[N11] N. N.: Schaufenster — Die Kulturgeschichte eines Massenmediums. Württembergischer Kunstverein, Stuttgart 1974
[N12] N. N.: Kleine Enzyklopädie Natur. 19. Aufl., VEB Bibliographisches Institut, Leipzig 1975
[N13] N. N.: ABC Biologie. VEB Brockhaus-Verlag, Leipzig 1975
[N14] N. N.: Ostwalds Klassiker: Molekulargenetik. Beiträge der exakten Naturwissenschaften Band 254. Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig, Leipzig 1975
[N15] N. N.: Biologie in Übersichten. VEB Volk und Wissen, Berlin 1975
[N16] N. N.: ABC Biochemie. VEB Brockhaus-Verlag, Leipzig 1976
[N17] N. N.: Kleine Enzyklopädie Leben. VEB Bibliographisches Institut, Leipzig 1976
[N18] N. N.: Meyers Taschenlexikon Bionik. VEB Bibliographisches Institut, Leipzig 1976

[N19] N. N.: Kulturgrammatik: Ein neuer Weg zur Anthropologie. Naturwiss. Rundschau **30** (1977) H. 8, 299—300
[N20] Nowak, A.: Fachliteratur des Chemikers. (3. Aufl.) VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1976
[O1] Odgen, C. K., und I. A. Richards: The Meaning of Meaning. 10. Aufl., Kegar Paul Trench, Trubner u. Co., London 1960 (1. Aufl. 1923)
[P1] Parthier, B., und R. Wollgiehn: Von der Zelle zum Molekül. Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig, Leipzig 1971
[P2] Parthier, B.: Eiweiße, Grundstoffe des Lebens. Urania-Verlag, Leipzig, Jena, Berlin 1976
[P3] Pawlowski, T.: Kultur als System von Zeichen. Grundlagenstudium in Kybernetik und Geisteswissenschaften **18** (1977) H. 1, 12—18
[P4] Peirce, C. S.: Collected papers (6 Bände). Havard University Press, Cambridge (Mass.) 1931—36
[P5] Peirce, C. S.: Vorlesungen über Pragmatismus (englisch und deutsch). Felix Meiner-Verlag, Hamburg 1973
[P6] Pfeiffer, A.: Abbild und Leitbild; Biokybernetische Vorlesungen über Wahrheit, Moral und Kunst. Akademie-Verlag, Berlin 1973
[P7] Plett, H. F.: Textwissenschaft und Textanalyse. Quelle & Meyer, Heidelberg 1975
[P8] Prieto, L. J.: Nachrichten und Signale. Akademie-Verlag Berlin 1972
[P9] Pscheidl, H.: Allgemeine Chemie, Grundkurs. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1975
[Q1] Quillian, M. R.: Semantic Memory, in: Minsky, M. (Editor): Sematic Information Processing. The MIT Press, Cambridge, London 1968, 216—270
[R1] Raffeé, H.: Konsumenteninformation und Beschaffungsentscheidung des privaten Haushaltes. Poeschel Verlag, Stuttgart 1969
[R2] Rahmann, H.: Die Sehschärfe bei Wirbeltieren. Naturwissenschaftliche Rundschau **20** (1967) H. 1, 8—14
[R3] Rahmann, H.: Neurobiologie. Verlag E. Ulmer, Stuttgart 1978
[R4] Ranke, O. F., und H. Lullies: Gehör, Stimme, Sprache. Lehrbuch der Physiologie, herausgegeben von: W. Trendelenburg u. E. Schütz, Springer-Verlag Berlin, Göttingen, Heidelberg 1953
[R5] Ratner, V. A. (Ратнер, В. А.): Генетические управляющие системы. Наука, Новосибирск 1966
(dt. Übers.: Molekulargenetische Steuerungssysteme, Akademie-Verlag Berlin 1977)
[R6] Rauber-Kopsch, F.: Lehrbuch und Atlas der Anatomie des Menschen, Band 2: Eingeweide, Nervensysteme, Sinnesorgane. (19. durchges. u. verb. Aufl.) Georg-Thieme-Verlag Stuttgart 1955
[R7] Reichardt, W.: Grundlagen der Elektroakustik. Akademische Verlagsgesellschaft Geest u. Portig KG, Leipzig 1953 und später
[R8] Reimann, H.: Kommunikations-Systeme. J.C.B. Mohr Tübingen 1968
[R9] Reinbothe, H.: Einführung in die Biochemie VEB G. Fischer Jena 1975
[R10] Remane, A., u. a.: Kurzes Lehrbuch der Zoologie. (2. Aufl.) VEB G. Fischer Leipzig 1978
[R11] Resnikow, L. O. (Резников, Л. О.): Гносеологические вопросы семиотики. ЛГУ, Ленинград 1964
(dt. Übers.: Erkenntnistheoretische Fragen der Semiotik. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften Berlin 1968)
[R12] Richter, A.: Ein Modell zur Beschreibung der pegelabhängigen Frequenzselektivität des Gehörs. Biological Cybernetics **26** (1977) H. 4, 225—230
[R13] Rjabow, W.: Soziale und künstlerische Probleme der Ganzheitlichkeit in der Kunst. Kunst u. Literatur **20** (1972) H. 9, 913—922
[R14] Roederer, J. G.: Introduction to the physics and psychophysics of music. English University Press, London 1973 + Springer Verlag New York 1975 (dt. Übers.: Physikalische und Psychoakustische Grundlagen der Musik. Springer-Verlag, Heidelberg, Berlin, New York 1977)

[R15] Roederer, J. G.: Wie nimmt unser Gehirn Musik wahr? Umschau 78 (1978) H. 1, 11–16
[R16] Rohleder, H.: Über einige Probleme bei der mathematisch exakten Definition der Semantik einer Programmiersprache. EIK 11 (1975) H. 4–6, 206–213
[R17] Rüdiger, W.: Probleme der Physiologie des Gehirns. VEB Verlag Volk und Gesundheit, Berlin 1965
[R18] Rüdiger, W.: Unser Gehirn als Regelungs- und Informationsinstrument. VEB Verlag Volk und Gesundheit, Berlin 1970
[R19] Rüdiger, W.: Lehrbuch der Physiologie (2. Aufl.) VEB Verlag Volk und Gesundheit, Berlin 1971
[S1] Sajonski, H., und A. Smollisch: Zelle und Gewebe. (3. Aufl.) S. Hirzel-Verlag, Leipzig 1975
[S2] Sander, H.: Die Verpackung als Informationsmedium. Dissertation, Bochum 1972
[S3] Sanides, F.: Die Evolution des Säugetiergehirns. Umschau in Wissenschaft und Technik 72 (1972) H. 19, 613–620
[S4] Saussure, F. de: Cours de Linguistique générale. Payot, Lausanne, Paris 1961 (dt. Übers.: Grundfragen der allgemeinen Sprachwissenschaft. Walter de Gruyter Berlin, Leipzig 1931)
[S5] Schadé, J. P.: Die Funktion des Nervensystems 3. Aufl. VEB G. Fischer, Jena 1973
[S6] Schaff, A.: Wstęp do semantyki. PWN, Warszawa 1960 (dt. Übers.: Einführung in die Semantik. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften Berlin 1966)
[S7] Scharrer, E.: Vom Bau und Leben des Gehirns (Verständliche Wissenschaft, 31. Band) Verlag Julius Springer, Berlin 1936
[S8] Scheel, H. (Hrsg.): Hormorale und humorale Informationsübermittlung durch Peptide als Mediatoren. Akademie-Verlag Berlin 1977
[S9] Scheibe, E.: Zum Problem der Sprachabhängigkeit in der Physik, in: *Gadener* H.-G. (Hrsg.) Das Problem Sprache. W. Fink Verlag München 1967, 313–334
[S10] Schlee, D.: Seltene Nucleinsäurebausteine. Wiss. u. Fortschritt, Berlin 21 (1971) H. 11, 494–498
[S11] Schleichert, H.: Elemente der physikalischen Semantik. R. Oldenbourg Verlag, München, Wien 1966
[S12] Schmidt, R. F. (Hrsg.): Grundriß der Sinnesphysiologie. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 1973
[S13] Schmidt, S. J.: Bedeutung und Begriff. Vieweg Verlag Braunschweig 1969
[S14] Schmidt, W.: Grundfragen der deutschen Grammatik. VEB Verlag Volk und Wissen, Berlin 1977
[S15] Schönborn, W.: Der natürliche Kreislauf der Stoffe. Umschau in Wissenschaft und Technik 72 (1972) H. 20, 655–667
[S16] Schorr, H.: Elektrische Vorgänge an Nervenmembranen. Biologie unserer Zeit 7 (1977) H. 2, 41–47; H. 3, 75–84
[S17] Schramm, W.: Grundlagen der Kommunikationsforschung (3. Aufl.) Juventa-Verlag, München 1970
[S18] Schreiber, P.: Grundlagen der Mathematik. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1977
[S19] Schröndinger, E.: Was ist Leben? (2. Aufl.) L. Lehnen-Verlag, München 1951
[S20] Schubert, E.: Physiologie des Menschen. (3. Aufl.) VEB Gustav Fischer Verlag Jena 1971
[S21] Schulz, G. E.: Regeln für Strukturen globulärer Proteine. Angewandte Chemie 89 (1977) 1, 24–33
[S22] Schulze, P.: Anatomische Bezeichnungen deutsch-lateinisch, lateinisch-deutsch. VEB Georg Thieme, Leipzig 1975
[S23] Schumacher, G.-H., und G. Geyer: Neurowissenschaft im Licht morphologischer Forschungen. VEB Volk und Gesundheit, Berlin 1977
[S24] Schütt, M.: Zellzyklus, Zellkinetik, Kreschemotherapie. Wissenschaft und Fortschritt 24 (1974) H. 2, 50–54
[S25] Schwabe, C.: Musiktherapie bei Neurosen und funktionellen Störungen. 2. Aufl., VEB Gustav Fischer Verlag, Jena 1972

[S26] Schwartzkopf, J.: Das Gehör der Wirbeltiere als physiologisches und phyletisches Problem, Leopoldina. Mitteilungen der Deutschen Akademie der Naturforscher Reihe 3, 6/7 (1960/61), 140—151
[S27] Schwarz, R.: Zu einigen philosophischen und gesellschaftlichen Aspekten des Aufbaus betrieblicher Informationssysteme. Sitzungsberichte der Deutschen Akademie der Landwirtschaftswissenschaften 18 (1969) H. 2, 34—52
[S28] Schwarz, V.: Vergleichende Entwicklungsgeschichte der Tiere. G. Thieme, Stuttgart 1973
[S29] Schwarz-Winklhofer, I., und H. Biedermann: Das Buch der Zeichen und Symbole. Verlag für Sammler Graz 1972
[S30] Sebeok, T. A.: Tierkommunikation. Beiträge zur Linguistik und Informationsverarbeitung 7 (1966) H. 10, 7—26
[S31] Sebeok, T. A.: Animal Communication. Indiana University Press Bloomington, London 1968
[S32] Segal, D.: Die Welt der Gegenstände und die Semiotik. (russ. Original in: Dekorative Kunst H. 4, 1968). Kunst u. Literatur 16 (1968) H. 8, 836—845
[S33] Segal, J.: Das Leben — ein Rätsel. Verlag Neues Leben, Berlin 1972
[S34] Shannon, C. E., und W. Weaver: The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Illinois 1949 (dt. Übers.: Mathematische Grundlagen der Informationstheorie. R. Oldenbourg München, Wien 1976)
[S35] Sieler, J.: Struktur und Bindung. (2. Aufl.) VEB Deutscher Verlag Grundstoffindustrie Leipzig 1973
[S36] Simmons, R. F.: Semantic Networks: Their Computation and Use for Understanding English Sentences. Techn. Report NL-6, The University of Texas at Austin 1972
[S37] Sinz, R.: Lernen und Gedächtnis. VEB Volk und Gesundheit, Berlin 1973
[S38] Sitte, P.: Chromoplasten — bunte Objekte der modernen Zellbiologie. Biologie unserer Zeit 7 (1977) H. 3, 65—74
[S39] Skudrzyk, E.: Die Grundlagen der Akustik. Springer-Verlag, Wien 1954
[S40] Snyder, A. W., und R. Menzel: Photorezeptor Optics. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1975
[S41] Soergel, D.: Klassifikationssysteme und Thesauri. Deutsche Gesellschaft für Dokumentation, Frankfurt/M. 1969
[S42] Sonnenbichler, J.: Zur Struktur und Funktion der Chromosomen. Naturwissenschaften 61 (1974), 317—324
[S43] Spannhof, L.: Sinnesorgane bei Tieren. A. Ziemsen, Wittenberg 1955
[S44] Sprengler, K.: Handbuch der Semiotik. J. J. Gebauer Halle 1801
[S45] Sperry, R. W., und B. Preilowski: Die beiden Gehirne des Menschen. Bild der Wissenschaft Stuttgart 9 (1972) H. 9, 921—927
[S46] Srejder, Ju. A.: Ob odnoj modeli semantičeskoj teorii informatikii. Problemi Kibernetiki Nauka Moskwa 1965, 233—240
[S47] Steinbuch, K.: Kommunikationstechnik. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1977
[S48] Stieve, H., und W. Kirsche: Zeichenvorlagen. (6. Aufl.) VEB G. Fischer Jena 1968
[S49] Stieve, H.: Die Bedeutung der Ionenpumpe für das Rezeptorpotential der Lichtsinneszelle. Chem.-Ing.-Technik, Weinheim/Bergstraße 44 (1972) H. 4, 235—238
[S50] Stieve, H.: Zur Biophysik des Sehvorganges. Die Naturwissenschaften 62 (1975) H. 9, 425—433
[S51] Stockmann, D.: Musik als kommunikatives System. Deutsches Jahrbuch für Musikwissenschaft für 1969, 14. Jahrg. S. 76—95. Edition Peters Leipzig 1970
[S52] Stöhr, P., und W. v. Möllendorff: Lehrbuch der Histologie. VEB G. Fischer, Jena 1963
[S53] Stolowitsch, L. N. (Столович, Л. Н.): Природа эстетической ценности. Изд. полит. лит., Москва 1972
(dt. Übers.: Der ästhetische Wert. Dietz-Verlag, Berlin 1975)
[S54] Stopa, R.: Evolution der Sprache, in: Evolution; Leopoldina-Jahresversammlung 1973, Nova Acta Leopoldina 42 (1975) Nr. 218, 355—375

[T1] TEMBROCK, G.: Probleme der Syntax kommunikativen Verhaltens bei Tieren. Z. f. Psychologie **177** (1969) H. 1—2, 112—128
[T2] TEMBROCK, G.: Biokommunikation, Band I. Akademie-Verlag Berlin 1971
[T3] TEMBROCK, G.: Biokommunikation, Band II. Akademie-Verlag Berlin 1971
[T4] TEMBROCK, G.: Grundriß der Verhaltenswissenschaften. (2. Aufl.) VEB Gustav Fischer Verlag, Jena 1973
[T5] TODT, D.: Gesang und gesangliche Korrespondenz der Amsel. Naturwissenschaften **57** (1970) H. 2, 61—66
[T6] TRÄGER, L.: Einführung in die Molekularbiologie. (2. Aufl.) VEB Gustav Fischer Verlag, Jena 1975
[V1] VERNIMB, C.: Die Bedeutung des Thesaurus für das Retrieval. Nachrichten für Dokumentation **20** (1969) H. 3, 128—134
[V2] VIEHWEGER, D., u. a.: Probleme der semantischen Analyse. Studia grammatica XV, Akademie-Verlag, Berlin 1971
[V3] VIERADT, H.: Anatomische physiologische und physikalische Daten und Tabellen (3., neu bearb. Aufl.), VEB Gustav Fischer Verlag, Jena 1906
[V4] VINNIKOW, J. A.: Die Evolution der Sinnesrezeptoren. Nova Acta Leopoldina **42** (1975) H. 218, 181—187
[V5] VOGEL, G., und H. ANGERMANN: Taschenbuch der Biologie. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena 1971
[V6] VÖLZ, H.: Einige Gedanken zum Begriff Information. Deutsche Zeitschrift für Philosophie **16** (1968) H. 3, 336—347
[V7] VÖLZ, H.: Einschätzung von Speicherverfahren für die Mikroformentechnik. ZIID Schriftenreihe, Heft 20 Kolloquium der Mikrofilm- und Vervielfältigungstechnik im Informationswesen der DDR Berlin 1968, 24—34
[V8] VÖLZ, H.: Systematik und Zukunft der audiovisuellen Massenmedien aus der Sicht der Speicherung. Festschrift zum 25-jährigen Bestehen des VUZORT, Prag 1970, VI 1— VI 23
[V9] VÖLZ, H.: Das Buch zwischen Zukunft und Vergangenheit. Zum Wert des Buches und der Zeitschrift im Vergleich mit audiovisuellen Medien. Börsenblatt des Buchhandels **138** (1971) H. 36, 739—746; Papier u. Druck **20** (1971) H. 11, 161—166; Die Technik **26** (1971) H. 12, 765—772
[V10] VÖLZ, H.: Anwendung magnetischer Materialien für die Speicherung von Bildern. J. Signalaufzeichnungsmedien **3** (1975) H. 4, 257—287
[V11] VÖLZ, H.: Beitrag zur formalen Musikanalyse und -synthese. Beiträge zur Musikwissenschaft **17** (1975) H. 2/3, 127—154
[V12] VÖLZ, H.: Information und Musik — Welche Möglichkeiten bietet die marxistische Informationstheorie der Ästhetik zur Lösung ihrer Probleme an. ZKI Information Sonderheft 1976
[V13] VÖLZ, H.: Einige Grundlagen und Grenzen bei der akustischen Speicherung. J. Signalaufzeichnungsmedien **4** (1976) H. 1, 25—41
[V14] VÖLZ, H.: Informationsspeicherung in Natur und Technik. Wissenschaft und Fortschritt **26** (1976) H. 6, 242—248
[V15] VÖLZ, H.: Information I, Studie zur Vielfalt und Einheit der Information — Theorie und Anwendung vor allem in der Technik. Akademie-Verlag, Berlin 1982
[V16] VOSS, H., und R. HERLINGER: Taschenbuch der Anatomie (14. Aufl.) Band III. VEB G. Fischer, Jena 1973
[V17] VOSSIUS, G.: Die Regelbewegungen des Auges, in: Aufnahme und Verarbeitung von Nachrichten durch Organismen. Hrsg. von NTG im VDE, S. Hirzel Verlag Stuttgart 1961, 149—157
[W1] WALTER, R.: Zu Problemen visueller Kommunikation in der Stadt. Dissertation, Humboldt-Universität Berlin 1973
[W2] WANSDRONK, C.: On the mechanism of hearing. Philips research report suppl. 1962, H. 1
[W3] WATSON, J. D.: Molecular Biology of the Gene. W. A. Benjamin, New York, Amsterdam 1965

[W4] WATZLAWICK, P., u. a.: Menschliche Kommunikation (2. Aufl.) (engl. Original 1967) Hans Huber, Bern, Stuttgart, Wien 1971
[W5] WECKWERTH, M.: Theater und Wissenschaft. Überlegungen für die siebziger Jahre. Arbeitshefte Nr. 3, Deutsche Akademie der Künste (o. J.)
[W6] WERNER, CL. F.: Das Gehörorgan der Wirbeltiere und des Menschen. VEB Georg Thieme, Leipzig 1960
[W7] WERSIG, G.: Information — Kommunikation — Dokumentation. Verlag Dokumentation München-Pullach, Berlin 1971
[W8] WIENHOLD, G.: Semiotik der Literatur. Athenäum Verlag, Frankfurt/M. 1972
[W9] WIESER, W.: Organismen, Strukturen, Maschinen. Zu einer Lehre vom Organismus. Fischer-Bücherei, Frankfurt/M., Hamburg 1959
[W10] WINKELMANN, E.: Die Synapse. Zeitschr. ärztliche Fortbildung **63** (1969) H. 14, 792—798
[W11] WINKELMANN, E.: Neue Vorstellungen zur Morphologie und Funktion der Synapse im Zentralnervensystem. Zeitschrift für ärztl. Fortbildung Jena **65** (1971) H. 7, 384—390
[W12] WITTENBERG, A. I.: Vom Denken in Begriffen. 2. Aufl. (1. Aufl. 1957) Birkhäuser-Verlag Basel/Stuttgart 1968
[W13] WITTGENSTEIN, L.: Tractatus logico-philophicus (dt. und engl.). K. Paul, Trench, Trubner & Co, London 1922 (dt. Nachdruck: Suhrkamp-Verlag, Frankfurt/M. 1960)
[W14] WITTGENSTEIN, L.: Philosophical investigations (Philosophische Untersuchungen (dt. und engl.) Blackwell, Oxford 1953 (dt. Nachdruck: Philosophische Untersuchungen. Suhrkamp-Verlag, Frankfurt/M. 1964)
[W15] WITTMANN, H.-G.: Ribosomen: Die Eiweißfabriken der Zelle. Umschau 77 (1977) H. 1, 7—13
[W16] WOLF, G.: Neurobiologie. Akademie-Verlag Berlin 1974
[W17] WOLF, H., und D. LERCHE: Die Oberfläche biologischer Zellen. Wissenschaft u. Fortschritt **27** (1977) H. 9, 420—426
[W18] WOLKENSTEIN, M. W.: Moleküle und Leben. VEB Georg Thieme, Leipzig 1969
[W19] WOODS, R. A.: Biochemische Genetik. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena 1974
[W20] WOOLDRIDGE, D. E.: Mechanik der Gehirnvorgänge. R. Oldenbourg Verlag, Wien, München 1967
[W21] WUNDERLICH, W.: Syntax und Semantik in der Transformationsgrammatik, in: Sprache im technischen Zeitalter **36** (1970) 319—356
[W22] WUNDERLICH, W.: Grundlagen der Linguistik. Rowohlt, Hamburg 1974
[W23] WÜNSCH, K. H., u. a.: Organische Chemie. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1973
[W24] WURMBACH, H.: Lehrbuch der Zoologie, Band 1: Allgemeine Zoologie und Ökologie. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1957
[W25] WÜSTNECK, K.-D.: Die Systemanalyse des Arbeitsprozesses als Ausgangspunkt für die Systemanalyse der wissenschaftlichen Tätigkeit, in: KRÖBER, G. (Hrsgb.): Wissenschaft und Forschung im Sozialismus, Akademie-Verlag, Berlin 1971
[Y1] YOUNG, J. Z.: The diameters of the fibres of the peripheral nerves of Opticus. Proc. Royal Soc. B. **162** (1965) 986, 47—79
[Z1] ZÄNKER, F.: Frage-Antwort-Systeme — ein Überblick, in: Kybernetik-Forschung Heft 5. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1975
[Z2] ZAPF, K.: Aufbau und Struktur der Nervenzellen und Synapsen. Wissenschaft und Fortschritt **25** (1975) H. 9, 414—419
[Z3] ZILLIKEN, F., und K. ABDALLAH: Molekularbiologische Grundlagen des Kurz- und Langzeitgedächtnisses. F. K. Schattauer-Verlag, Stuttgart, New York 1973
[Z4] ZIPPEL, H. P.: Sind Erinnerungen Moleküle? Transplantation von dressiertem Verhalten. Bild der Wissenschaft **11** (1974) H. 8, 38—45
[Z5] ZOLL, R., und E. HENNIG: Massenmedien und Meinungsbildung. Juventa Verlag, München 1970

12. Namenverzeichnis

Abrams 317
Agricola 238, 251, 254, 256
Albrecht 215
Ampère 284
Arnzt 281, 283
Aristoteles 215
Ashby 334

Baacke 190
Backus 368
Bar-Hillel 240
Baumgarten 304
Beethoven 211, 330
Bense 207, 318
Bidstrup 264
Biedermann 300
Bierwisch 211, 314
Birks 82
Bisky 204
Black 252
Bliss 284
Bloomfield 247
Böhme 192
Braitenberg 86
Breal 239
Brecht 211, 321
Brönimann 188, 293
Bühler 238, 317
Burdach 212

Carnap 252f.
Carnot 322
Černjak 286f.
Cherry 187, 238
Chomsky 245
Chraptschenko 307
Clara 103
Corti 167
Cutter 284

Dahlberg 281, 283f.
Dale 80
Dance 190
Danz 276
Dewey 284
Dorsch 194
Dyskolos 239

Eco 277, 300
Edison 195, 197
Ehrenfest 338
Eiffel 209
Eigen 336
Einstein 225
Eisenstein 320
Endres 270
Engels 13

Feitscher 284
Flechtner 191
Frank 284, 319
Frege 252, 260
Freud 193, 301
Fuchs-Kittowski 289
Furtwängler 330

Gage 132
Garnier 209
Gaudi 209
Gibbs 66
Gödel 229, 262, 267, 335, 337
Goethe 238, 315
Goffman 192, 301
Goldmann 67
Goldschmidt 315
Golenko 288
Grabbe 194
Graimas 239, 249
Grauer 238
Gray 77
Gruner 276
Gunzenhäuser 319

Hanslick 211, 315
Hartley 322
Hartline 106

Haug 299
Hayakawa 278
Hegels 225
Heisenberg 338
Herschel 264
Hilbert 265
Hind 263
Hodkin 67
Hummel 294f.
Husserl 214
Huxley 67

Irmler 246

Jacobson 322
Johnson 278

Kaden 315
Kagan 204f., 303f.
Kainz 264
Katz 67
Kedrow 284
Keidel 170
Kieslich 281
Kirsche VII, 95
Klaus 224, 227f., 252, 259, 317
Klein 315
Kleinsorge 277
Klix 57, 279, 330
Klumbis 277
Knilli 320
Koblitz 283
Kohler 278
Korzybski 278
Kotelnikow 322
Krause 280
Krugler 296
Küpfmüller 168, 322, 338
Kupper 315
Kutschera 252

Lafontaine 284
Laux VII
Lay 186
Lee 278
Lehmann 207f., 300f., 307
Lenin 232, 339
Lindigkeit VII
Locke 214
Lord 193, 195, 197, 211
Lukoff 246

Mahlberg 296
Mai 294
Maletzki 191, 204
Marceau 319
Marx 186
Maser 207
Matthies 183
MacIntosh 82
MacLuhan 195, 203, 240
Mead 192
Mill 252
Moles 209, 211, 311, 334
Morris VI, 216, 219, 317f.
Mozart 180
Müller 231, 292
Müntz VII

Nagel 264f.
Nake 208, 318
Naur 268
Nernst 66
Neumann 84, 236f., 261
Newman 264f.
Nyquist 338

Ogden 247
Otlet 284

Pawlowsky 300
Peirce VI, 216f., 276, 314
Platon 215, 240, 260
Plett 317
Port-Royal 239
Prieto 300
Protagoras 215
Purkinje 115ff.

Quillian 256

Raffeé 299
Ranganathan 284
Rapoport 278
Ratcliff 106
Ratner 15
Reimann 188
Reisig 239
Renshaw 109
Resnikow 231ff.
Richards 247
Rohleder 270
Russel 252, 260, 261, 264

Sander 296f.
Saussure 237
Schaff 187, 211, 222f., 229, 237, 248, 251, 278
Schebalin 176
Scheibe 271
Schleichert 270
Schmidt 215
Schreiber 267
Schrödinger 40, 338

Schwabe 278
Schwarz 288
Schwarz-Winklhofer 299
Sebeok 187, 272f.
Segal 18, 300
Shakespeare 238
Shannon V, 185f., 194, 262, 322ff., 339
Simmons 256
Soergel 285ff.
Sokrates 240
Sprengler 276
Stanner 300
Stieve 95
Stockmann 314
Stolowitsch 303
Stopa 238

Tembrock 187, 273ff.
Thayer 190
Todt 273
Troldahl 296
Tropovskij 284
Turing 335ff.

van de Velde 209
Vernimb 283f.

Walter 194, 302
Watzlawick 192
Weaver VI
Weckwerth 192, 210, 320
Wersig 280
Wiener 186, 322
Wittenberg 214
Wittgenstein 214
Wüstneck 291
Wunderlich 249f.

13. Sachwortverzeichnis

Biologische Begriffe zu einzelnen Gebieten wurden im vorliegenden Buch tabellarisch erfaßt. Sie wurden im Sachwortverzeichnis nicht einzeln aufgenommen und sind hier unter dem Sachwort „Begriffe" zu finden.

A (Adenin) 19
Abakus 268
Abbilder 230
Absatz 294
ACC-Ende 46
Adenin 5
Administration 293
ADP 4f.
Ästhetik 303ff.
Ästhetische Grundbegriffe 305
Afferenzen 135
Aktionspotential 69ff.
Aktivator 53
Aktivierungsenergie 7, 9
Aktualität von Information 200
Algebra, Boolesche 267
ALGOL 268
Algorithmus 267, 336
— des Schaffens 206
Alkohol, Einfluß Kleinhirn 122
Alles-oder-nichts-Gesetz 73
Alpha-Helix 17
Alphabet, Axiomatik 267
Altersmotorik 122
Amine 13
Aminogruppe 13
Aminosäuren, Tabelle 14
AMP 5
Amphibolismus 7
Amselgesang 273
Amulett 299
Anabolismus 5
Analyse 133
—, semantische 254
Anaphase 31
Anticodon 46
Antigene 3
Antikörper 3
Antinomien 259ff., 337
Antizipation 231
Antonyme 254
Apo-Repressor 53
Aras 101
Architektur 315
Area-Einteilung; Gehirn 130
Argument (Zeichen) 218
Arithmetisierung 262
Aspekt, funktioneller 2
—, konstruktiver 2, 232, 319
—, statistischer 319
Assoziationsfasern 103, 123
ASU 287
Atmungskette 29
ATP 4f.
Audiovisuelle Massenmedien 201
— Medien 198
Aufbauprozesse 6
Auge 147
—, Arten 140
—, Aufbau 145
—, Auflösungsvermögen 141
—, Beugung 141
—, drittes 139
—, Empfindlichkeit 149
—, menschliches 145ff.
Augen-Motorik 153
—, chromatische Fehler 141
—, Verteilung der Stäbchen 145
—, Winkelauflösung 141
Auslösemechanismen 56
Außenohr 159
Ausstellungen 204
Automat — Gehirn 84
Automatisierungskette VI
Autotroph 4
Avantgarte 209, 211

Averbal 176, 235, 263f., 302
Axiome 265
Axon 61
—, Transport 63, 83
—, Ursprungskegel 72

Backus-Naur-Normalform 268
Bakterienzelle 24, 50
Balken 123, 133
Ballett 263
Basalganglien 103
Basilarmembran 168
Bauhaus 209
Baumstruktur 242
Bearbeitungsprozeß 291
Bedeutung — Begriff 251
Bedeutung — Wort 248
Bedeutung, Hierarchie 248
—, Sprache 247ff.
—, Vielfalt 247
—, Zeichen 217
Bedeutungsanalyse 254
Bedeutungsarten, MORRIS 220
Bedeutungsbegriffe 252
Bedeutungsstruktur 256
Bedeutungswandel 248
Bedürfnisse 303
Begleitgesten 263
Begriff — Bedeutung 251
Begriffe 133, 251ff.
—, Auge, Mensch 145ff.
—, Bahnen, Rückenmark 112
—, Chromosom 33
—, Facettenauge 142
—, Gedächtnisse 180
—, Gehirn 97f.
—, —, Mensch 100
—, Hirnrinden 125
—, Hirnstamm 101f.
—, Innenohr 166ff.
—, Kleinhirn 116ff.
—, Mitose 31
—, Nervensystem 90
—, Nervenzelle (Neuron) 58
—, Ohr 159ff.
—, Proteinsynthese 41
—, Rückenmark 107f.
—, Stoffwechsel (Metabolismus) 7
—, Synapse 75
—, Zellen 24
Begriffsbildung 333
Begriffsinhalt 253
Begrifsrelationen 256
Begriffsumfang 253
Berechenbarkeit 336
Bewegungen 57
Bewegungssehen 139
Beweistheorie 265
Bewußtsein, ästhetisches 306
—, bildhaftes 307
Bewußtseinsprozesse 225
Bewußtseinshelligkeit 102
Bildabtastung 140
Bilderkennung 149
Bildgeschichten 264
Biopolymere 13
Biosynthese 6
Bivalente 35
Black-Box 329
Blickbegegnung 302
Body language 302
Boltzmann-Statistik 7
Bräuche 300
Buch, Bedeutung 203

C(Cytosin) 19
Carboxilgruppe 13
Cephalisationskoeffizient 91
Chlorophyll 4
Chloroplasten 27
Chromomere 33, 37
Chromonema 33
Chromosom, Bild 33
Chromosomen 29
Chromosomenbewegung 33
Chromosomensatz 34
Co-Repressor 53
Computergraphik 318
Comsign 220
Corpus geniculatum 152
Cortisches Organ 167
Crossing over 35
Cystron 52

Dalesches Prinzip 80
Datenbank 198, 282
Denaturiert 17
Dendrit 60
Denken 55
—, averbales 263
—, rationales 240
Denkhilfe, Schrift 197
Denotatum 219
Dense projections 79
Deskriptor 258
Desoxiribose 19
Diagnostik, Medizin 277
Dicent 218
Dicisign 216
Differenzierung 26
Disci 153
Dissimilation 7
Divergenz 104

DNS (Desoxi-Ribose-Nuklein-Säure) 19, 23
—, Reparatur von Schäden 42
Dokumentation 280
Doppelcharakter des Ästhetischen 304
Doppelfaltblatt 17
Doppelfunktion, Verpackung 297
Doppelhelix 22
Doppelung des Lebens 205
— im Theater 210, 320
Dreiersequenzen 38
Drucktechnik, Modell 189
Drucktransformation, Ohr 166
Drüsen 29
Dunkelfurcht 184

Echolot V
Ecomono-Koeffizient 94
Effektoren 11, 51
Eidetiker 180
Einmaligkeit 197
Einschnürung, sekundäre 33
Eizellen 35
Elektronische Reizausbreitung 70
Elongation 43
Emotion 103, 240, 305
Emotionalität—Rationalität 132
Emotioneller Inhalt 227
Endhirn 123ff.
Endoplasmatisches Retikulum 27
Endplatte, motorische 77
Energie 327
Energiebarriere 7
Energien, Bindungs- 11
Engramm 181
Entladung 71
Entropie 323
Entscheidungen, ja—nein 323, 337
Entscheidungsfragen 223
Entscheidungsprozeß 293
Entstehung von Werken 200
Entwicklung, aktive, Musik 211
Entwurfsprozeß 292
Enzym 7, 11
Enzymaktivität 51
Enzymsystem 9
Epen und Musik 211
EPSP (Exitatorisches Postsynaptisches Potential) 82
ER (Endoplasmatisches Retikulum) 27
Erbfaktoren 49
Erbgedächtnis 87
Erbinformation 38
Erfolgszelle 75
Ergobolismus 7
Erkenntnisprozeß 337
Erkennung von Phonemen 173
Erregungskreis 104
Erregungswelle 71
Erzeuger 194
Erzeuger-Nutzer-Kette 198
Erzeugung von Werken 198
Erzeugungsregeln 243
—, Mathematik 267
Ethik, Gehirn 132
Enthnographie 300
Eucaryoten 54
Euchromatin 33
EURATOM-Thesaurus 285
Evolution 337f.
Evolutionsdruck, Gehirn 132
Evolutionsspiele 338
Extension 253
Extrapyramidale Bahn 112

Facettenauge 142
Fachzeitschrift 281
Faltentrommelmodell 17
Faltungen 95
Farbsehen 140
Fasersysteme, Großhirn 127
Feed back 51
Fehler in Programmen 269
Felder, Gehirn 130
—, semantische 255
Festwertspeicher 179
Fetischisierung der Zeichen 227
Fettsäurestoffwechsel 29
Fibrillen 35
Film 320
Filmstreifenerlebnisse 180
Finalproblem in der Musik 212
Firmenzeichen 299
Firstness 216
Flächenkapazität 68
Flaggensprache 267
Fleck, blinder 149
—, gelber 151
Fließgleichgewicht 9
Flimmerfrequenz 155
Fluchtreflex 110
Form und Inhalt 304
Formalästhetik 207
Formalisierung, Mathematik 265
Formatio reticularis 101
Formativ 236
Formeln, Bedeutung — Inhalt 270
Formen, tönend bewegte 315
Formenchaos 300
Formgestaltung 299
Formsehen 139
Forschungstätigkeit 291
Fotoprozesse in Sehzellen 157
Fotosensibilität der Haut 139

Fotosynthese 4, 27
Fovia centralis 151
Frage-Antwort-System 255
Funktionalismus 209
Funktor 253

G (Guanin 19)
G-Phasen 33
Gadget 209f.
Ganglien 89
Ganglienzelle 58
Ganglion spirale 168
Ganzheitlichkeit 307
Ganzheitserfassung 133
Gap 33
Gebärdensprache 225
Gebräuche 299
Gebrauchstransparenz 299
Gedächtnis 179ff.
—, individuelles 199
—, molekular-biologisches 182ff.
—, Schall-Bild-Signale 198
Gedächtnisbesitz 280
Gedächtnisinhalte 180
Gedächtnislücke 181
Gedächtnisprozesse 183
Gedächtnisstrukturen 330
Gedächtnissubstanzen 184
Gedächtnistransfer 184
Gedächtniszustand 279
Gefühle 240, 305, 316
Gegenwartsgedächtnis 180, 338
Gehirn 84ff., 92
—, Einteilung, Funktionen 130, 133
—, Evolution 86
—, Fasersysteme 129
—, Homunkulus 131
—, Insel 101
—, komplexe geistige Funktionen 132
—, Lappen 132
—, Mantel 125
—, Mensch 99ff., 124
—, Moral 132
—, Persönlichkeit 132
—, stumme Zone 132
—, Verbindungen 103
—, Zentralisierung 89
Gehirn—Automat 84
Gehirnbläschen 95
Gehirne 88
—, Entwicklungshöhe 91
—, Evolution 86, 93, 95, 97
—, Wirbeltiere 90, 95, 99
Gehör, absolutes 172
—, Zeitauflösung 172
Gehörgang 161
Gehörknöchelchen 163
Generatorpotential 139
Genetik 4
Genetische Prozesse 41
Genetischer Kode 38
Genome, Multiplizität 49
Genres der Kunst 309
Genuß 211
Gerichtetheit der Zeit 338
Gerücht 193
Geschenke, kitschige 209
Geschwindigkeit, Nervenleitung 74
Geschmack in der Kunst 206
Gesellschaft 12
—, orale 240
—, visuelle 240
Gesetz der großen Zahlen 324
Gesten 263
Gestus, Bewegung 301
Getragenes der Information 326, 329f.
—, Qualitäten 333
Gibbsche Gleichung 66
Glucose 4
Gödelisierung 262
Golgi-Apparat 27
Grammatik, Bestandteile 244
—, Erkennung 247
—, formale 333
—, generative 241f.
—, Konstituenten 242
—, Phrasenstruktur 242
—, Transformations- 244
Graue Substanz 62
Grau-Zell-Index 94
Gray-Typ 77
Großhirn 123ff.
Großkreislauf 5
Guter Ton 192
Gutes 303, 319

Häufigkeit 324
Halbwertszeiten 11
Handarbeit 290
Handeln, kollektives 334
Handlung 226
Handlungsebene 292
Hardware 327
Heldenepen 193
Heldscher Kelch 77
Helicotrema 168
Helix 17
Hemmung 51
Hemmzonen, Kleinhirn 121
Heraldik 299
Heterochromation 33
Hilfszeichen 236
Hirnmantelindex 94
Hirnnerven 95

Hirnschenkel 103
Hirnstamm 101f.
Histone 33
Hörbahn 169f.
—, Störungen 175f.
Hören 158ff., 168
Hörorgan 160ff.
Holo-Repressor 53
Homonyme 253
Hormonsystem 2, 103
Hydroschall 158
Hyperpolarisation 72
Hypnose 180, 277
Hypophyse 103
Hypothalamus 103

Ikon 217
Immunbiologisches System 3
Impulsantwort 71
Impulsformen, Aktionspotential 72
Index (Zeichen) 217
Indexierung 282
Individualgedächtnis 87
Induktion 53, 56
Informatik 280
Information, Aspekte bei KLIX 279
—, Definition 325
—, Eigenschaften 325
—, Einteilungen 327
—, emotionelle 326
—, Entstehung 337
—, funktionelle 327
—, genetische 331
—, kollektive 339
—, Meßbarkeit 326
—, MÜLLER 293
—, steuernde 327
—, strukturierende 327, 331, 339
—, System 325
—, Thesen 322ff.
—, Träger und Getragenes 325, 329f.
—, Zeitabhängigkeit 338
Informationskrise 281
Informationstheorie, bidirektionale 273
Informationsverluste 283
Infraschall 158
Inhaltssemantik 250
Inhibition, laterale 104, 143f., 149
Initialsegment 72
Initiation 43
Initiator 52
Innenohr 166ff.
Innerbetriebliche Kommunikation 287
Instinkt 55
Intelligenz, künstliche 255, 337
—, averbale 176
Intension 253
Internodium 61.
Interphase 29f.
Interpretant 217, 219
Interpretation 196
Interpretationsspielraum 311
Intervalle, musikalische 170, 212
Intimsphäre 192
Ionenflüsse, Zelle 66
IPSP (Inhibitorisches Postsynaptisches Potential) 82
Isokortex 125

Journalistik 204

Käufer 295
Kalkül 267
Kampfverhalten 273
Kanal, SHANNON 227, 322
Kanalkapazität 323
Kapazität, Membran 68
Kastensymbole 299
Katabolismus 7
Katalysator 9
Katalyse 8
Kernkörperchen 30
Kernmembran 30
Kitsch 209
Klassifikation, Dokumentation 284
Kleeblattstruktur 47
Kleinhirn 113ff., 120
—, Funktion 118
—, Moosfasern 117
—, synaptischer Komplex 118
—, Verkopplungsmatrix 118
Kleinhirnrinde, Verschaltung 119
Kleinhirnseitenstränge 112
Kniehöcker 103
Kniescheibenreflex 109
Know-how 339
Kode, genetischer 38
Kodebaum 224
Kodierungstheorie 323
Körnerschicht 117
Körnerzellen 117
Körpersprache 302
Kollaterale 62
Kommunikation 185ff.
—, ansteckende 211, 223
—, averbale 176, 235, 263ff., 302
—, Einteilungen 190ff.
—, innerbetriebliche 287
—, intellektuelle 222
—, Kunst 205f., 330
—, menschliche 222
—, öffentliche Räume 192
—, RESNIKOW 233
—, Tier- 338

—, wissenschaftliche 281
—, Wohnbereich 194
Kommunikationsmodelle 188ff.
Kommunikationsstruktur 191
Komplex, synaptischer 75
Komplexität 84, 334f.
Kompliziertheit 326, 334f.
Komposition, automatische 315
Kompositionstechnik 315
Koniokortex 125
Konsensustheorie 251
Konsonanten 237
Konstituenden 241
Kontext 222
Kontrapunkt 315
Kontrastbildung 118
Kontrastverschärfung 121
Kopfarbeit 290
Korbzellen 120
Kortex 125
—, Verschaltungen 134
Koseworte 225
Kreisprozeß, Carnotscher 322
Kriminalistik 330
Künste, abbildende 309
—, angewandte 310
—, Morphologie 309
Künstlerisches 304
— Niveau 197
Kultur 204ff., 299ff., 306
Kulturgrammatik 300
Kulturkreis 225, 227
Kunst 204ff., 306
Kunsterlebnis 330
Kunstgenres 309
Kunstkritik 208, 262
Kunstobjekt 330
Kunstprozeß, iterativer 207f.
Kunstwerk 306
Kunstwissenschaft 208
Kurzzeitgedächtnis 181
Kybernetik 226

Lampenbürstenchromosomen 35
Langsign 220
Langue 237
Langzeitgedächtnis 181
Latenzzeit 70
Laterale Inhibition 104, 143f., 149
Laufbild 197
Leben und Technik 339
Legizeichen 217
Leitung von Kollektiven 293
Lernen 55
— des Sehens 149
— von Musik 211
Leukotomie 132
Lexeme 245f.
Lexikon der Sprache 244
Ligase 42
Literatur 317f.
Literaturwissenschaft 236
Logik, formale 247
—, mathematische 265
Logistik 265
Lymphsystem 3
Lysosomen 27

Magische Zeichen 299
Makromoleküle 12
Manipulierung von Zeichen 196
Marktinformationen 294
Maskottchen 299
Massenkommunikation 194f.
Massenmedien, audiovisuelle 200
—, Erzeugung 198
Massenwirkungsgesetz 7
Maßzahlen 332
Materialisierung einer Idee 330
Mathematik 264
Medien, audiovisuelle 198
—, Eigenschaften 202
—, Zusammenwirken 199f.
Medizin 276
Meiose 34
Meisterschaft 206, 306
Melodische Linie 173
Membran 26
—, Eigenschaften 64
—, Ersatzschaltbilder 67
—, Oberflächenwiderstand 68
—, Permeabilität 66
—, Reizbarkeit 68
Membrankapazität 68
Membranpotential 69
—, Sehzelle 155
Menge aller Mengen 260
Mengenlehre 261
Meßbarkeit, Grenzen 338
— der Information 326
— und Quantität 332
Messe 204
Meßtechnik, Skalen 270
Metabolismus 6, 13
Metamathematik 265
Metaphase 31
Mikrotubuli 27
Mime pure 319
Mimose 56
Mitochondrien 19, 29
Mitose 27, 30f.
Mittelhirn 102
Mode 209
Modell der Umwelt 334

—, kybernetisches 288
— des Lebens 308
Modell — Wirklichkeit 337
Modus 209
Möglichkeit — Wirklichkeit 338f.
Molekularbiologie 337
Molekularschicht 117
Moosfasern 117
Moralische Normen 301
Morphologie 244
— der Künste 309
Motorisch-sensorisches System 122
Motorische Aphasie 176
Motorische und sensorische Fasern 113
m-RNS, Haltbarkeit 47
Multifunktionalität 209
Multiplizität der Gene 49
Mundpublistik 193
Musik 200ff., 311
—, aktive Entwicklung 211
—, Gehör 133, 170
—, skalentheoretische Bewertung 315
Musik — Sprache 316
Musikalität 133
Musikerfahrungen 330
Musikprozesse 312
Musiktherapie 277
Muskelspindeln 109
Muskelzelle 57
Mutation 54
Muttersprache 237
Mycoplasmen 24
Myelinscheide 62
Mythen 227, 299

Nachpotential 70
Nachrichtentechnik 226
Nebenaugen 139
Nernstsche Gleichung 66
Nerven, Daten 75
Nervenfaser 62, 75
Nervenleitung, Geschwindigkeit 74
Nervennetze 89
Nervensysteme 84, 88
—, autonome 90
—, Wirbeltiere 90
Nervenzelle 57ff., 62, 69
Netz, semantisches 255, 284
Netzhaut 145ff.
Netzstrukturen 286
Neurofilamente 63
Neuron *s.* Nervenzelle
Neuronen, Absterben 58
Neuronenschaltungen 103ff.
Neurotubuli 63
Nicht-kommunizieren 192, 210, 302
Nicht-verbal *s.* Averbal
Noem 248
Noten 311
Nucleosid 5, 19
Nucleotid 5, 19, 338
Nucleotidpaare 23
Nukleinsäuren 17ff., 38
Nukleolarfäden 34
Nukleolus 30, 33
Nutation 56
Nutzer 194
Nutzeranzahl 199

Oberflächennot 95, 123
Oberflächenstruktur 244, 280
Ökonomie 286
Off-Effekt 138
Ohr 159ff.
—, Druckausgleich 163
—, Haarzellen 168
—, Frequenzgänge 162ff.
—, Paukenhöhle 163
—, Schutzreflex 166
—, Schwerpunktaufhängung 166
Ohrmuschel 159
Ommatidien, Anzahl 144
On-Effekt 138
Oozyten 35
Operatives Gedächtnis 181
Operon, Aufbau 52
Ordnung von Information 283
—, soziale 301
Ordnungssysteme 283
Organe 12
—, homologe 153
Organisationskybernetik 287
Orientierung 57
— des Rezipienten 206
Orientierungszeichen 302
Original und Variation 211
Ornamente 299
Orthogon 89
Orthographie 244
Orthophosphorsäure 17, 19
Osmose 64
Ozellen 139

Pallium 125
Pantomine 263, 315
Paradigma, Sprache 255
Parallelfasern 117
Parasympatisches Nervensystem 90
Parolen 235
Partitur 311, 316
Patentwesen 204
Pentose 17
Peptide 16
Peptidkette 16

Performanz 241
Perlach-Studie 194
Permeabilität, Membran 66
Permeabilitätsänderung 139
Persönlichkeit 133
— und Gehirn 132
Perzeption 56
Pflanzenzelle 24
Phantasie 300
Physik 270
Piktogramme 299
Plastide 27
Polarisationssehen 142
Polymerase 41
Polypeptide 16
Polyseme 253
Polysomen 42, 47
Population 12
Postsynapse 76
Postulate 265
Potential einer Zelle 64
Prädikat 253
Prägung 182
Präsynapse 75
Pragmatik *s.* Semiotik
—, Begründer 216
—, Sprache 239
Praktische Tätigkeit 204
Prestige 299
Produktionsprozeß 292
Programmiersprache 268
Projektionsfasern 123
Projektionsverbindungen 103
Promotor 52
Prophase 31
Proposition 253
Proteine 13ff., 38
Proteinsynthese 38ff., 48
Prozesse, esthische—ästhetische 337
PSP (Postsynaptisches Potential) 82
Psychologie 279
Psychotherapie 278
Puff 37
Purin 19
Purkinje-Zelle 115ff.
Pyramidenbogen 112
Pyramidenzelle 123
Pyrimidin 19

Qualizeichen 217
Quantenausbeute, Rhodopsin 155
Quantität und Qualität 331

Räumliches Sehen 140, 150
RAM (random access memory) 179
Ranvier-Knoten 60
Rationalität — Emotionalität 132
Raumbereiche, Zoosemiotik 275
Raumnot 95, 123
Reaktionsgeschwindigkeit 9
Rechentechnik 267
Rechner — Gehirn 123
Rede — Sprache 237
Redundanz in der Kunst 209
Referenzsemantik 250
Reflexe 55, 145f.
Refraktärzeit 72
Regel, generative 243
Regulatorgen 52
Reißnersche Membran 168
Reiz — Reaktion 56
Reizbarkeit, Membran 68
Reizleitung 68, 73
Reizphysiologie 55ff.
Rekurrente Hemmung 104
Rekursivität 243, 268
Renshaw-Zelle 109
Replikation 40f.
Repression 53
Repunsieren 248
Retikulum 27
Retina 141, 145f.
Retrieval 282
Retrograde Amnesie 182
Rezeption 204ff., 306
— im Theater 321
—, Phasen 212.
Rezeptoren 136
— für Transmitter 82
Rhabdomer 142
Rhema 218
Rhema — Thema 214
Rhodopsin 141, 145f.
Ribose 5, 19
Ribosomen 45f.
Richtungssehen 139
Riechhirn 125
Riesenchromosomen 35
Riesenneuron 60
Rinde, Gehirn 125f.
Rindenbildung 123
Riten 299
RNS (Ribose-Nuklein-Säure) 19, 23
—, Arten 41, 44
ROM (read only memory) 179
Rückenmark 107f.
—, Fasersysteme 112
Rückkopplung 39, 51
— vom Nutzer 199
—, Musik 213
— zum Künstler 207
Rückverdrahtung 123
Rückwärtige Hemmung 104
Ruheaktivität 137

Ruhepause 29
Ruhepotential 67

Sachzwang 240
Saltatorische Leitung 73
Satellit 33
Schachspiel 264
Schachtheorie 265
Schaffen, künstlerisches 204, 306
Schall 158
Schalleitungskette 165
Schallortung 159
Schaufenster 295
Scheiben, Sehzelle 153
Schläfenlappen 132
Schlüsselwort 235
Schlußregeln 259
Schönes 303, 319
Schreibunfähigkeit 176
Schrift, Denkhilfe 197
—, Entstehung 195
—, ideographische 239
Schrift — Wort 240
Schwannsche Zelle 60
Schwellenpotential 69, 83
Schwellenreizstrom 70
Schwingungsamplituden 165
Scotophobin 184
Second messenger 82
Secondness 216
Sehbahn 150f.
Sehen 136ff.
—, Arten 139
—, extra-foviales 152
—, Lernen 149
Sehnerv, Verlagerung 152
Sehpurpur 156
Sehrinde 152
Sehzellen 153ff.
—, Frequenzgang 156
Sekretion 57
Sekundärstoffwechsel 7
Selbstanwendbarkeit 261
Selbstmordversuche 192
Selektion 1
— von Information 283
Selbstbedienungsläden 297
Sem 248
Semantik *s.* Semiotik
—, allgemeine 278
—, generative 246
—, Sprache 239, 247f.
Semantisches Netz 255, 284
Semasiologie 239
Semiose, Morris 219
Semiotik, Absatz 294
—, Antike 215
—, Arbeitsgeschehen 290f.
—, Biologie 272
—, Definition 214
—, Dokumentation 280
—, Forschung 291
—, Informatik 280
—, Informationstheorie 326
—, innerbetriebliche 287
—, Klaus 227
—, Mathematik 264
—, Medizin 276
—, Morris 219
—, Ökonomie 286
—, Physik 264, 270
—, Programmiersprachen 267
—, Psychologie 279
—, räumliche Künste 318
—, Rechentechnik 267
—, Resnikow 231
—, Schaff 222
—, Sprache 236
—, Werbung 294
Semiotik — Kommunikation 185
Semsystem 258
Sensorische Aphasie 176
Sensorische und motorische Fasern 113
Sexualität 34
Sexualverhalten 192
Sign 216
Sign-Vehicle 219
Signal 222
—, Resnikow 235
—, Schaff 226
Signifikatum 219
Sinn, akustischer 195
Sinne, die fünf 136
Sinnesnervenzellen 137
Sinnesorgane 136
Sinneszellen 136f.
Sinnzeichen 217
Sitten 299
Skalierung von Musik 315
Skatspiel 324
Skelettmuskeln 110
Software 327
Sonnenenergie 27
Speicherarten 179
Speicherung akustischer Signale 195
Spike 71
Spindel 33
Spinedichte 79
Split brain 133
Sprache 236ff.
—, Erlernen 238
—, formale 237
—, Generierung 245
—, Geschichte 238

— als Instrument 261
—, Komplexität 178
—, künstliche 228
— und Musik 316
—, natürliche 249, 262
—, Objekt-, Meta- 208, 249, 259f., 315
— und Rede 237
— als Schall 158
—, strukturelles Konzept 240
—, Unendlichkeit 238
—, verbale 133
Sprachen, Anzahl 237
Sprachstörungen 173
Sprachübersetzung, automatische 240
Sprachunfähigkeit 176
Sprachuniversalien 237
Sprachverwendung 241
Sprachwissenschaft 236
Sprachzentren 178
Sprecher, kompetenter 241
Sprechhandlungssemantik 251
Stäbchen 145, 153f.
Städtebild, Gestaltung 302
Stammbaum-Methoden 286
Stammhirn 133
Standbild 197
Startcodon 39
Statussymbole 299
Staubrinde 125
Steady state 9
Sterische Bindungen 14
Stirnlappen 132
Störungen, emotinale 278
Stoff 327
Stoffaustausch 27
Stoffstrom 5
Stofftransport, Axon 63
Stoffwechsel 1, 4, 7
Stopcodon 39
Strickleiternervensystem 89
Struktur, semantische 280
Strukturerhaltung 1
Strukturgene 52, 54
Strukturierung 1
Substanz, graue bzw. weiße 62
Superzeichen 248
Svedberg-Einheiten 23
Symbol 218, 299
—, Resnikow 235
Symbolvorrat 323
Sympathikus 90
Synapsen 60, 76, 78
—, chemische 77
—, elektrische 76
Synaptischer Komplex 75
— —, Kleinhirn 118
— Spalt 75
Synonyme 253
Syntagma 255
Syntaktik *s.* Semiotik
Syntax, Ethymologie 239
—, Sprache 239
System International 332
— und Information 325
Systeme, infinite 265
—, wechselwirkende 325, 327f.

T(Thymin) 19
Tätigkeit, künstlerische 307
—, menschliche 307
—, praktische 204
—, wissenschaftliche 291
Talent 206
Talisman 299
Tangentialfasern 120
Tanz 227, 301
Taubheit 176
Taxis 55
TDCK-Thesaurus 285
Technik und Leben 339
Teleophase 31
Terminal-Triplett 52
Termination 43
Text 236
—, Redundanz 283
Thalamus 103
Theater 210f., 320
Thema — Rhema 241
Therapie 277
Thesaurus, Dokumentation 282, 284
—, Entwicklung 285
—, Ökonomie 287
—, Sprache 255f.
Thirdness 216
Tiefenstruktur 244, 280
Tierkommunikation 338
Tierzelle 24
Tintenfischauge 140
Ton, der gute 192
Tonischer Verlauf 137
Tradition 212
Träger von Information 325, 329f.
—, Auswahl 234
Transformationsregeln 244f.
—, Mathematik 267
Transkription 41, 43
Translation 41, 47
Transmitter 79
—, Arten 80
—, Rezeptoren 82
Traumdeutung 301
Triplett 38, 40
t-RNS 41, 46f.
Trommelfell 161

—, Schwingungen 164
Turgur 56
TΨC-Schleife 46

U (Uracyl) 19
Überlieferung von Gesetzen 193
Übertragung 197
Ultrakurzzeitgedächtnis 181
Ultraschall 158
Umgangssprache 225
Unendlichkeit, Mathematik 335
—, Sprache 336
Unentscheidbarkeit 336
Unerschöpflichkeit der Welt 335, 337
Universalalgorithmus 337
Unmengen 261
Unschärferelationen 326, 338
Unterschied der Hemisphären 133
Uracyl-Schleife 47
Urelemente 261
Ursache-Wirkungs-Gefüge 329

Vakuolen 27
Verbreitung von Werken 200f.
Verbund-Intervall-Histogramm 176
Vererbung 1, 41
Vergleich Pflanze — Tier 4
Verhalten 279, 339
—, Nervenzelle 69
—, Steuerung 55
Verhaltensregeln 192
Verhaltensweisen, Anteile 55
Verkehrszeichen 267
Verpackung 297
Verschmelzungsfrequenz 155
Verstärkerprinzip der Genetik 54
Verstärkerwirkung der Sehzelle 155
Verstärkung der Sinneszellen 137
Verwandtschaftsbegriffe 256
Vesikel 27
Vestibularsystem 153
Vibrationen 158
Vierhügelplatte 103
Visceralgehirn 90
Vokabular 244
Vokale 237
Vorwärtsbahnung 104

Wahres 303, 319
Wahrheit, Mathematik 267
Wahrheitstheorien 250
Wahrheitswert 260, 267
Wahrscheinlichkeit 323
Wanderwellentheorie des Hörens 168
Wandler für audiovisuelle Medien 200
Wappen 299
Warenästhetik 299
Warencharakter eines Kunstwerkes 199
Warenfeteschismus 227
Warenzeichen 299
Weiße Substanz 62
Welt, Unerschöpflichkeit 238
Weltwissen 339
Werbung 294, 299
Werk 194, 200
Werkbank der Genetik 44
Werktreue 196
Werkverbreitung 200f.
Werte, menschliche 308
Wertung 303
Widerspiegelung 232, 339
Widerspruch, dialektischer 260
Wirklichkeit — Modell 337f.
Wirklichkeit — Möglichkeit 338
Wirksamkeit 204
Wirkungsgrad 322
Wissen, Dynamik 234
Witz 193
Wobbeln 39
Wobble Base 46
Wort, verbindliche Form 195
Wort — Bedeutung 248
Wortlänge 38
Wortschatz 238
Wort — Schrift 240
Wortstamm 245
Wortumfang zu Begriffen 255
Wortzeichen 222, 225

Zäpfchen, Verteilung 145
Zahlenbereiche 334
Zahlengrenzen, natürliche 335
Zahlzeichen 266
Zeichen, bildhafte 308
—, Einteilung 319
—, geschriebene 228
—, ionisches 226
—, künstlerisches 307, 309
—, musikalisches 314
—, natürliche 225
—, nichtsprachliche 235
—, sinnlose 266
—, sprachliche 230
—, substituives 226
—, Variationen 217
Zeicheneigenschaften, Resnikow 232
—, Peirce 217
Zeichenfunktionen, Resnikow 232
Zeichengebrauch, Morris 220
Zeichengestalt, Klaus 227
Zeichenketten 266
Zeichenklassen, Klaus 229
—, Morris 220

—, Peirce 218
—, Resnikow 234
—, Schaff 223
Zeichenkörper 236
Zeichenmanipulation 196, 318
Zeichenrelation, Klaus 228
—, Morris 219
—, Peirce 217
—, Resnikow 233
—, Schaff 227
Zeichentheorie 216
Zeichenträger, Klaus 227
—, Morris 219
Zeit und Information 338
Zeitalter, alphabetisches 240
Zellen 24
Zellkern 26, 29f.
Zellkörper 58
Zellorganellen 12, 26f.
Zellpotential 64ff.
Zellvermehrung 34
Zellzyklus 30
Zentralspindel 33
Zentromer 33f.
Zitronensäurezyklus 29
ZNS (Zentralnervensystem) 90