

*Vorbemerkung der Redaktion zur nachfolgenden Arbeit von H. Schaltegger. Die Revue-Artikel, welche in der *Chimia* publiziert werden, geben im allgemeinen eine Übersicht über experimentell und theoretisch wohlfundiertes Tatsachenmaterial. Wenn nun einmal einem Autor für eine neuartige Idee und eine weitgehend noch hypothetische Theorie auf dem Gebiete der Biochemie Platz eingeräumt wird, so heißt das nicht, daß sich die Redaktion hinter den Inhalt stellt, sondern einfach, daß sie die Arbeit für so interessant und anregend hält, daß sie sie einem größeren Kreis von Forschern zur Kenntnis bringen und zur Diskussion vorlegen möchte.*

Versuch zu einer allgemeinen Theorie der chemisch-elektrischen Informationsübertragung im tierischen Organismus*

Von H. SCHALTEGGER

Institut für Organische Chemie der Universität Bern

Inhaltsübersicht**

1. Einleitung
2. Die Umweltinformation (exogene Information)
3. Die genetische Information (endogene Information)
4. Über den biologisch-physikalischen Sinn der genetisch bedingten Proteine (endogene Informationsproteine)
 - a) Proteine und Phänotypus
 - b) Proteine und Muskelbewegungen
 - c) Proteine und die Ursache der internen Erregerimpulse
 - d) Peptidhormone als Informationsträger
5. Die durch die Umwelt modifizierten und bedingten Proteine (exogene Informationsproteine)
 - a) Die Veränderungen des Phänotypus bei eineiigen Zwillingen im Laufe des Lebens durch die Umwelteinflüsse
 - b) Stimulation der Sinnesorgane durch Umweltreize führen zur Synthese von rNS und Proteinen im Gehirn
 - c) Aufnahme und Speicherung von Umweltinformation in Motoneuronen und Muskel
 - d) Der «Impulssatz der biologischen Information»
 - e) Die genetische Information als ein Spezialfall eines allgemeinen biologischen Informationsprinzipes
 - f) Die Speicherung exogener Information in allen Organen
 - g) Über die Bedeutung der Nichtteilungsfähigkeit der Nerven- und Muskelzellen im adulten Organismus
 - h) Steuerung von Organleistungen durch exogene Information
6. Die Bedeutung der «Chemie» für die Stabilität der gespeicherten biologischen Information
 - a) Die drei biologischen Codes und ihre Transformation ineinander
 - b) Die chemischen Eigenschaften der beiden Nukleotidcodes (dNS und rNS)
 - c) Der Aminosäurecode und die Stabilität der gespeicherten Information
 - d) Der biologische Impulssatz und Lernprozesse (über die «Reinheit» der biologischen Informationsübertragung)
 - e) Exogene Informationsproteine und genetisch bedingte Enzyme
 - f) Organismusfremde chemische Verbindungen und das biologische Informationsprinzip (Enzyminduktion)
7. Der elektrische Code und der Informationsfluß im Organismus
8. Die intrazelluläre Informationsübertragung (das «Nervensystem» von Einzellern, Adaptionerscheinungen)
9. Die transzelluläre Informationsübertragung (die Übertragung von Zelle zu Zelle in Organen)
10. Die transsomatische Informationsübertragung (die Übertragung von Organ zu Organ über die neurale Direktion)
11. Das Nervensystem als Informationstransformator der Umwelt in den Organismus (Beispiele für die Anwendung der Theorie auf medizinische Probleme)
12. Die universelle Bedeutung der chemisch-elektrischen Übertragung biologischer Information (Beispiele für die Anwendung der Theorie auf biologische Probleme)
13. Zusammenfassung

* Eingegangen am 2. Juni 1966.

** Die Arbeit erscheint in drei Teilen. Der vorliegende erste Teil behandelt die Abschnitte 1 bis 5.

Summary

An attempt is made to show that many biological, physiological and pathological problems appear in a new light if the animal organism is considered primarily as an information system. The different codes involved in the internal transfer of information and in the information exchange with the surrounding are: the electrical transfer code and the material codes of the nucleic acids and of the proteins. The terminal carriers of information in an organism seem to be proteins. The information stored in these proteins must be translatable into the electric code at the membranes of nerve cells and of tissue cells of organs.

An organism has only two possibilities to transmit information to the surroundings: through the phenotype (static information) and through muscle action (cinematic information). Both forms of information transfer are a macroscopic expression of the genetic information inherent in the organism. The possibility of a translation of amino acid sequences into the electric code offers an explanation for the internal exciting pulses in the nerve system (pace maker of the heart and of other muscles) and for the action of proteohormones.

The process is reversed when the organism takes up information from the surrounding which occurs almost continuously. Information in this sense are physical and chemical stimuli which are translated into electric exciting pulses by the nerve receptors (approximately 10^{10} in the human body). These stimuli (information from the outside) must be translated and deposited into a biochemical code (amino acid sequence of proteins). In a multicellular organism this is done with the help of the nervous system. The results of investigations with identical twins and of research in neurochemistry of brain and muscle lead to the conclusion that the information from outside can be stored in all the parts of an organism in form of relatively reactive RNS and of proteins. The genetic information, coded in form of highly stable DNS appears to be a special case of a general principle of biological information. The biological information present in an organism is the sum of genetic and stored exogenic information. The principle of storage of exogenic information in all organs in the form of so-called exogenic information proteins offers new explanations and experimental approaches to many biological and medical phenomena, such as evolution, aging, cancer and psychosomatic illness. The general cause seems to be intensive or repeated uptake of certain informations through the nervous system and finally storage in the form of specific alien proteins in the organs. Molecules with special structure or conformation such as steroid hormones and pharmaca can be translated electrically at nerve receptors. If this information is given repeatedly it may also lead to coded storing as amino acid sequences in proteins.

Furthermore it seems to be a very general principle with life in animal organisms that repeated emission of information by RNS and (or) proteins, which is connected with a slow consumption of these code molecules, leads immediately to new information storage by synthesis. The more precise the given information is, the stronger is the feedback on synthesis. The consequence is an ever more precise coding of the information into proteins. All learning processes are based on this principle as will be shown in the second part of this paper. Further a number of other biological and medical phenomena appear in a new light if seen from the view point of this principle.

1. Einleitung

Der Schwerpunkt der vorliegenden Betrachtungen liegt nicht bei den sogenannten Stoffwechselfvorgängen. Das ordnende Prinzip im lebenden Organismus ist Information (= organisierte Materie und «organisierte

Energieübertragung»¹). Seit Beginn organischen Lebens vor etwa 10^9 Jahren bis zum heutigen Menschen hat sich die Entwicklung eindeutig in Richtung strukturierter, hochorganisierter Materie vollzogen. Der Übergang von Materie zu Information wäre der Entstehung des Lebens gleichzusetzen. Demgemäß wird hier der Begriff Information nur im biochemischen Sinne gebraucht, wobei die kybernetische Auffassung von Information bereits Transformationen biochemischer Information in höher organisierte Bereiche der komplizierten biologischen und elektronischen Regelkreise sind (1). Die vorliegenden Ausführungen behandeln deshalb nur die *in einem tierischen Organismus vorliegenden Code-Systeme bzw. deren Funktion und Beziehungen zueinander und zur Umwelt*.

2. Umweltinformation (exogene Information)

Umweltreize werden stets als Summe von Information betrachtet. Röntgenstrahlung, Licht, Wärme, Druck, Schall als physikalische Einzelsignale oder Signalfolgen werden erst durch geeignete Rezeptoren zur Information. So können auch chemische Verbindungen als Informationsvermittler bzw. als Information selbst aufgefaßt werden, wenn sie via Geruchs- und Geschmacksnerven vom Organismus aufgenommen werden. Dabei braucht man nicht nur an die normalen Riechstoffe zu denken. Z. B. verleihen gewisse Steroide dem Harn den typischen Geruch; deswegen wird man Steroide nicht als Riechstoffe bezeichnen. Nun können Steroide nicht nur von Chemorezeptoren der Nase aufgenommen werden. Wie a. a. O. näher ausgeführt wird, müssen zahlreiche Chemorezeptoren imstande sein, Steroide als «Geruch» in physiologische Erregerimpulse zu verwandeln, als welche sie in verschiedenen Teilen des Organismus zur Wirkung kommen (2). Das Erfolgsorgan ist dabei nicht das Gehirn, sondern irgendein anderes Organ. Geht man von den Steroiden auf die carcinogenen Verbindungen, wie Benzpyren, Methylcholanthren, Buttergelb usw., über, so kann man sich gleichfalls vorstellen, daß sie an Chemorezeptoren Information vermitteln (2). Auch andere Pharmaka, wie z. B. Arzneimittel, können daher prinzipiell ebenfalls als Information für den Organismus aufgefaßt werden, wenn ihr Weg über die Nervenrezeptoren geht (2). Physikalische Reize, wie Lärm, Hitze, Kälte als an sich sinnlose Signale, oder Vortrag-, Konzerthören, warmer Frühlingstag usw. als für den Menschen sinnvolle Signalfolgen müssen gleichfalls als Information für den Empfänger aufgefaßt werden. Andererseits aber bedeutet ein Wortstreit zwischen Menschen eine Folge bestimmter Schallsignale, die im Sinne des Psychologen als schädliche Information zu gelten hat. So können auch alle möglichen optischen Eindrücke und Schalleinwirkungen durch stete monotone Wiederholung mit Variationen in allen möglichen Wortfolgen und optischen «Signalfolgen» so kombiniert auf den Menschen einwir-

¹ z. B. frequenzmodulierte Stromimpulse bei der Signalübermittlung im Nerven.

ken, daß sie als sogenannte «psychische Belastungen» empfunden werden. Ferner gibt es eine große Menge von physikalisch-chemischen Signalen, welche von Mensch und Tier überhaupt nicht bewußt wahrgenommen werden, aber trotzdem für den Organismus Information bedeuten, weil durch sie Reaktionen ausgelöst oder gesteuert werden.

Als *Umweltinformation* werden daher – gleichgültig ob sinnvoll, verstümmelt oder sinnlos – alle Einzelsignale und Folgen von Signalen optischer, akustischer, kalorischer, mechanischer und chemischer Natur betrachtet, welche via Sinnesorgane oder anderer Extero- und Interorezeptoren (etwa 10^{10} für den Menschen) über das Nervensystem auf den Organismus einwirken. Es wird also die Gesamtheit aller Umweltreize als *exogene Information* bezeichnet im Gegensatz zur *endogenen Information*, welche in der Desoxyribonukleinsäure verankert ist.

3. Die genetische Information (endogene Information)

Sie stellt bekanntlich die Gesamtheit der mit großer Konstanz vererbaren biologischen Information dar. Diese ist mikroskopisch in den Chromosomen als Genom lokalisiert. Molekulargenetisch betrachtet, liegt die biologische Information als Nukleotidsequenz in der DNS vor. Makroskopisch tritt sie unmittelbar als Phänotypus jedes Lebewesens in Erscheinung. So zeigt uns die Betrachtung eineiiger Zwillinge etwa im Alter von fünf Jahren (volle Entwicklung der elterlichen Erbanlagen) unmittelbar an, daß diese Zwillinge identische Nukleotidfolgen in der DNS haben müssen. Aber nicht nur der als *statische Information* zu bezeichnende Phänotypus, sondern auch die Identität vererbter *typischer Bewegungsfolgen* der eineiigen Zwillinge zeigen an, daß das Muskelspiel der Direktion der in der DNS sitzenden genetischen Information gehorcht. Es sind also bestimmte Nukleotidsequenzen für die Abfolge erbtypischer Bewegungen von Muskelgruppen verantwortlich. Diese Extremitäten- und Körperbewegungen stellen sich dem Betrachter (= Informationsempfänger) als *kinematische Information* dar.

Im folgenden Kapitel über die «endogenen Informationsproteine» werden zuerst die Zusammenhänge zwischen genetischer Information der DNS einerseits, dem Phänotypus und den Muskelbewegungen andererseits erläutert und gezeigt, daß es sich hierbei um eine ununterbrochene Folge von Informationsübertragungen handelt. Im Anschluß daran – einem Kapitel über «*exogene Informationsproteine*» – wird der Einfluß der Umweltreize chemisch zu begründen versucht.

4. Über den biologisch-physikalischen Sinn der Proteine. Genetisch bedingte Proteine (endogene Informationsproteine)

Die Neurophysiologie ist schon lange dazu übergegangen, die Resultate ihrer elektrophysiologischen Versuche direkt mit dem sichtbaren Verhalten der Tiere und des

Menschen zu konfrontieren und in Verbindung zu bringen. Man hat so aus der vergleichenden Analyse der Signalfortleitung in Nerven und Muskel (3, 4) auf der einen Seite und den Körper- und Extremitätenbewegungen auf der anderen Seite mindestens wahrscheinlich gemacht, daß die elektrischen Impulse für die Auslösung der Muskelbewegungen verantwortlich sind.

Der Mensch führt fortwährend Handlungen aus, welche Informationen für einen anderen Menschen oder einen anderen geeigneten Informationsempfänger darstellen. Da es sich normalerweise um sinnvolle und koordinierte Bewegungsfolgen handelt, müssen die ihnen zugrunde liegenden Muskelbewegungen als dauernde Informationsabgabe betrachtet werden. Informationsabgabe durch Muskelbewegungen bedeutet aber, daß Information dauernd einem Reservoir entnommen bzw. dauernd wieder erzeugt werden muß. Es stellt sich also die Frage nach der Ursache dieses dauernden Informationsflusses. Ein solcher ist für jedes Lebewesen ein Charakteristikum des Lebens an sich.

Während nun die Signalfortleitung im Nerven und die Muskelkontraktion als solche schon weitgehend aufgeklärt sind (5), ist es aber bis heute noch vollkommen unklar, worin die *Ursache der Erreger- bzw. Steuerimpulse* zu suchen ist, etwa diejenige im Schrittmacher des Herzens. Wie ist es ferner möglich, daß die Signalübermittlung im Nervensystem zu den komplizierten und sinnvollen Bewegungen führt, welche z.B. beim *Sprechen und Schreiben* ihren höchsten Ausdruck finden? Man kennt heute im wesentlichen zwei Informationsübertragungsvorgänge im Organismus: die *chemische Übertragung* der genetischen Information und die *Signalübermittlung im Nervensystem*. Zwischen beiden hat man bis heute weder eine Verbindung noch irgendeinen Zusammenhang vermutet. Im ersten Falle handelt es sich um eine chemische und im zweiten um eine elektrische Nachrichtenübertragung. Da beide innerhalb ein- und desselben Informationssystems (tierischer Organismus) dieselbe Aufgabe haben, nämlich Information zu übertragen, muß zwischen ihnen ein Zusammenhang bestehen.

Nach der heutigen allgemeinen Auffassung dienen die Proteine dem sogenannten Aufbau- und Erhaltungsstoffwechsel. Sie werden nur in Ausnahmefällen – z.B. in Hungerperioden – für die Erzeugung von Energie gebraucht. Betrachtet man die Proteine aber als Informationsträger und deren *Aminosäuresequenzen als Information* schlechthin, so ergibt sich die wichtige Aussage, daß der tägliche Proteinverlust bei stickstofffreier Ernährung als Informationsverlust zu deuten ist.

a) Proteine und Phänotypus

Die in den Proteinen eincodierte Information tritt in mannigfachen Formen in Erscheinung, so z.B. in der Spezifität der Enzyme und letzten Endes auch in den höchsten Erscheinungsformen des Lebens, bis zur Gestalt des Menschen.

Die Information, die uns ein eineiiges Zwillingpaar² durch sein äußeres Erscheinungsbild, seine Bewegungen und Gewohnheiten vermittelt, rührt mit Sicherheit einmal von der Erbmasse her, d. h. die in der DNS verankerte genetische Information wurde in dem Zwillingpaar identisch reproduziert. Vgl. Abb. 3, oberer Bildteil (Zwillingbrüder im Alter von 16 Jahren).

Der Schluß, daß es sich um ein eineiiges Geschwisterpaar handelt, wurde aufgrund der Anhäufung identischer Merkmale (6) gemacht (7). Diese Merkmale sind demnach sichtbarer Ausdruck der genetischen Information. Es besteht also ein *unmittelbarer Zusammenhang zwischen der in eine Aminosäuresequenz eincodierten genetischen Information und den optisch in Erscheinung tretenden Proteinen*. Daß dies tatsächlich zutreffen muß, geht aus der Feststellung hervor, daß die Proteine das letzte Glied der genetischen Informationsübertragung sind. Außer den Nukleinsäuren sind somit die Proteine die einzigen zytoplasmatischen Strukturen, welche unmittelbar Information vermitteln. Man muß daher die *Proteine als die terminalen Informationsträger der genetischen Informationsübertragungskette ansehen*. Es scheint, als würde man mit diesen Feststellungen offene Türen einrennen, tatsächlich aber handelt es sich um neue Zusammenhänge, die in einer einheitlichen biochemischen Informationstheorie ihre Wurzel haben. Die Grundlagen dieser Theorie sind allerdings zum Teil schon etwa zehn Jahre alt. Es sind dies die chemische Basis der genetischen Information und die chemische Struktur der Proteine. Der nächste Schritt, der getan werden muß, ist die Verknüpfung der Ergebnisse der Nervenphysiologie über die elektrische Signalfortleitung (3, 4) mit den biochemischen Forschungsergebnissen der genetischen Information und der Molekulargenetik. Die daraus sich ergebenden Konsequenzen können von großer Tragweite für die biochemische Forschung sein.

b) Proteine und Muskelbewegungen

Die elektrische Signalerzeugung bzw. das Entstehen der Erregerimpulse ist ein physikalisch-chemischer Umcodierungsprozeß von Information, der heute noch unbekannt ist. Das gleiche gilt auch für die Steuerung sinnvoller Muskelbewegungen beim Sprechen, Schreiben, Gehen usw. Die Informationstransformation aus dem elektrischen Code in Bewegung vollzieht sich in den Muskelfasern, während die elektrische Steuerung ihren Ursprung in den Motoneuronen des Rückenmarks und den übergeordneten Neuronenbezirken des Gehirns hat.

Man muß nun wahrscheinlich zwei verschiedene Vorgänge unterscheiden, welche die Muskelbewegungen verursachen. Es muß einerseits die Auslöseimpulse geben, die entweder «psychischen» Ursprungs sind oder durch Stimulation von entsprechenden Extero- bzw. Interozeptoren entstehen. Die Steuerimpulse andererseits,

welche für den koordinierten Bewegungsablauf verantwortlich sind, müssen zum Teil der genetischen Information entstammen, zum andern durch ständige Rückkopplungsvorgänge mit der Umwelt entstanden und gespeichert sein (Kapitel 5).

Die Bedeutung der Proteine als terminale Träger der Information jeder Zelle kann nur darin liegen, Informationen von der *m-RNS* zu übernehmen und weiterzugeben. Mit andern Worten: Die in der DNS gespeicherte genetische Information kann daher nur mit Hilfe der Proteine wirksam werden. Die in den Proteinen mit hoher Präzision eincodierte genetische Information hat also nicht nur die Funktion der Enzyme zu gewährleisten³. Ihre Aufgabe muß eine viel umfassendere sein.

Es besteht offenbar eine Beziehung zwischen dem Informationswert in Form des Phänotypus und der Informationsabgabe in Form von Bewegungen bei tierischen Lebewesen. Um die Analogie zwischen diesen beiden Arten von Informationsausgängen besser zu illustrieren, werden beide einer vergleichenden Analyse unterzogen:

Nach allen unseren heutigen Kenntnissen kann es nun nicht anders sein, als daß die Proteine verantwortlich sind für die Vermittlung von Information Mensch (Gesicht, Nase, Ohren), Hund, Fisch usw. Selbst die Farbe von Korallenfischen basiert letzten Endes auf entsprechender Enzymfunktion. Die in den Proteinen enthaltene Information tritt hier unmittelbar als *organisierte Struktur* auf (vgl. die Einleitung, vorn). Ganz analog hierzu müssen die als Information zu bewertenden Bewegungsfolgen der Muskeln, wie Sprechen, Schreiben, Musizieren, Dirigieren, Gehen, Schwimmen, Turnen usw., als *organisierte Bewegungen* ihren Ursprung zum Teil in der genetischen Information haben. Wie es von den scheinbar regel- und ziellosen Bewegungen des Säuglings zu den sinnvollen Bewegungsabläufen des Erwachsenen kommt, wird im Abschnitt 5d und e dargelegt. Von der Humangenetik her ist die Vererbbarkeit von bevorzugten Bewegungsfolgen bekannt, wie aus Talent-Erbgang-Untersuchungen hervorgeht. Im Falle des Erscheinungsbildes eines Menschen kann man von passiver oder statischer Informationsabgabe sprechen. Im Falle von organisierten Bewegungen wird man von aktiver oder dynamischer oder besser kinematischer Informationsabgabe sprechen können. Im ersten Falle schließt man von der Molekularstruktur bzw. Aminosäuresequenz der Proteine auf die Architektonik des Phänotypus, und im zweiten Falle muß man von der Molekularstruktur der Proteine auf den Ablauf von Bewegungen schließen. Im Falle der statischen Informationsabgabe durch den Phänotypus liegt eine lückenlose Kette chemischer und physikalischer Prozesse vor, indem man die Aminosäuresequenz der Proteine über ihre Sekundär-, Tertiär- und weiteren übergeordneten Strukturen unmittelbar

² vgl. die Kritik an der Brauchbarkeit der Zwillingforschung für die menschliche Erblehre (6).

³ Um die Diskussion zu vereinfachen, soll hier die Enzymproduktion und -funktion als eine Seite der Informationsübermittlung zum Zwecke des energetischen Unterhaltes von lebenden Informationssystemen außer Betracht bleiben.

mit dem Phänotypus in Verbindung bringt, bzw. diesen unmittelbar aus der Primärstruktur hervorgehend betrachten kann. *Die Informationsübertragung von der Aminosäuresequenz in die Muskelbewegungen hingegen stellt das einzige noch fehlende hypothetische Bindeglied in der Informationsübertragung lebender tierischer Informationssysteme dar.* Nach dem heutigen Stand der Erkenntnis spricht vieles dafür, daß die in den Proteinen gespeicherte Information in elektrische Impulsfolgen übersetzbar ist (vgl. Kapitel 6). Fragt man nach den Möglichkeiten des Organismus, Information direkt an die Außenwelt abzugeben, so kommt man überraschenderweise nur auf zwei Arten von Informationsübertragung nach außen, nämlich auf die Statische durch den Phänotypus und auf die Kinematische durch die Muskeln. *Die gesamte aktive Informationsabgabe des Menschen an seine Umwelt vollzieht sich nur mit Hilfe der Muskeln.*

Die komplizierten und komplexen Bewegungskombinationen beim «Weinen» werden nur mit Hilfe der Muskeln bewerkstelligt. Die Steuerimpulse bzw. Steuerenergie muß von der in Proteine transferierten genetischen Information ihren Ursprung haben. Es gibt keine andere Struktur im Organismus, welche die genetische Information gespeichert enthält. So stellt der in den beiden Abbildungen 1 und 2 dargestellte Säugling (9) unmittelbar die ins Makroskopische übersetzte und an den Betrachter abgegebene genetische Information dar. Der Vergleich beider Bilder bringt auch die außerordentlich große Variationsbreite der Informationsabgabe durch Muskel zum Ausdruck. Vgl. z. B. die harmonische Gesamtkombination der Mimik mit der Handstellung in beiden Abbildungen.



1

2

Abb. 1. Ausdruck der Unlust (Hunger) eines 6 Tage alten Säuglings vor dem Stillen (9)

Abb. 2. Ausdrucksbewegungen der Behaglichkeit bei demselben Säugling nach dem Stillen (9)

Die Bewegungen der Muskel sind um so feiner abgestuft, je weniger Muskelfasern von einer motorischen Nervenfasern gesteuert werden. So finden sich in den äußeren Augenmuskeln nur 5 bis 10 Muskelfasern pro Nervenfasern, gegenüber 70 bis 160 und sogar bis zu 500 bei den Skelettmuskeln (10). Der Informationsreichtum,

den der hungrige und der satte Säugling vermitteln, kann nur durch eine koordinierte Steuerung von Signalen und Signalfolgen zustande kommen. Da bei einem Säugling der Hirnmantel noch unentwickelt ist, ergibt sich der Hinweis, daß der Ursprung der emotionalen Bewegungen im Hirnstamm liegt. Die Bewegungen selbst werden durch neurale Aktionspotentiale gesteuert, und diese wieder sind verstärkte Erregerimpulse. Die Erregerimpulse, d. h. der primäre Steuerstrom, muß einem Informationsspeicher entnommen werden. Bei diesem kann es sich aus den mehrfach erwähnten Gründen nur um Proteine handeln. Nur in einem linearen Makromolekül läßt sich einer den normalen Lebensäußerungen adäquater Informationsgehalt unterbringen.

Eine interessante Variante der Informationsabgabe von zu elektrischen Organen umgebildeten Muskelzellen stellen die Schläge elektrischer Fische dar. Die höchste exakte Synchronisierung der einzelnen Pulse, welche Spannungen bis zu 800 V erreichen lassen, setzt eine sehr gut funktionierende Nervenversorgung voraus. Auch hier kann es sich nur um molekulare Informationsübertragung handeln.

c) Proteine und die Ursache der internen Erregerimpulse

Es erscheint sinnvoll, anzunehmen, daß die genetische Information in den Aminosäuresequenzen der Proteine in den elektrischen Code übersetzt werden kann (Kapitel 6). So können die Erregerimpulse des als Schrittmacher bezeichneten Sinusknotens in elektrische Impulse übersetzte Proteine sein. Mit andern Worten: Die genetische Information der DNS in Form von Nukleotidsequenzen erscheint über eine molekulare Informationsübertragungskette schließlich als «Herzschlag». Nach der vorliegenden Theorie bedeutet das Schlagen des Herzens während eines ganzen Lebens eine ständige Informationsabgabe. Damit diese nicht zum Informationsverlust wird, muß der Informationscode fortwährend «erneuert» werden. Auf welche elegante Weise dies geschieht, ohne daß dauernd genetische Information aus der DNS «verbraucht» bzw. mobil gemacht werden muß, darüber wird später diskutiert (Abschnitte 5 d, 5 h und 6 d).

d) Peptidhormone als Informationsüberträger

Über die physiologische Wirkung einiger Peptidhormone ist man weitgehend unterrichtet. Hingegen ist der biochemische Wirkungsmechanismus noch ungeklärt. In der Lehrbuchliteratur findet man oftmals die Erklärung, daß Hormone Nachrichten oder Signale übermitteln, und will damit lediglich eine bildhafte Anschauung von der Hormonwirkung vermitteln. Tatsächlich aber liegt ja die einzige Bedeutung der Hormone darin, Informationen zu speichern und zu übertragen. Die konsequente Anwendung der biochemischen Informationstheorie läßt auch hier wieder für viele beobachteten Vorgänge eine einleuchtende Erklärung zu. Erst wenn man annimmt, daß die in den Peptidhormonen enthaltene Information

an beliebigen Zellmembranen elektrisch übersetzt werden kann, läßt sich die vielfach simultane und variable Wirkung je nach besonderer Lebenssituation des Organismus verstehen. Die Peptidhormone müssen sowohl lokal von Zelle zu Zelle wie auch «transsomatisch» über das Nervensystem wirken können. Nur auf diese Weise ist auch der sogenannte «psychische» Einfluß miterfaßbar. Die in den elektrischen Code übersetzte Peptidinformation kann mit den aus dem Cortex stammenden Informationen kombiniert sein, welche je nach Situation ebenfalls im elektrischen Code vorliegen. Die dadurch entstandenen komplexen Informationen werden unmittelbar und augenblicklich dem ganzen Organismus mitgeteilt, so daß er sich sofort der jeweiligen neuen Umweltsituation anpassen kann. Eine Übertragung der Hormone allein z. B. über das Blut scheint namentlich bei großen Säugetieren viel zu langsam und schwerfällig.

5. Die durch die Umwelt modifizierten und bedingten Proteine (exogene Informationsproteine)

Im vorangehenden Kapitel wurde die unmittelbare Abhängigkeit des Phänotypus und der Muskelbewegungen als statische bzw. kinematische Informationsabgabe von der genetischen Information der DNS abgeleitet. Es wurde ferner aus der Nichtexistenz anderer makromolekularer Informationsträger (Monomerensequenzen) geschlossen, daß die Proteine die terminalen Informationsvermittler sind. Die in ihnen encodierte Information tritt makroskopisch als Phänotypus und als Körperbewegungen in Erscheinung. Im folgenden wird gezeigt, daß man von drei voneinander ganz unabhängigen Forschungsrichtungen her zu der gleichen Auffassung gelangen muß, nämlich daß die Umweltinformation in Form von RNS und Proteinen im ganzen Organismus gespeichert wird.

Jedes Lebewesen kann aus der Umwelt nur Information aufnehmen, wenn diese in einen organismuskonformen Code (z. B. RNS und Proteine) übersetzt wird. Hierzu dient im mehrzelligen Organismus das Nervensystem mit seinen etwa 10^{10} Rezeptoren (Sinnesorgane usw.). In einzelligen – z. B. Protozoen – übernimmt die Zellmembran mit ihren Empfangseinrichtungen (z. B. Cilien) als «zelluläres Nervensystem» die Übersetzung von Umweltreizen (vgl. Kapitel 8).

So können wir die Informationen, die eine Radioantenne ausstrahlt, nicht empfangen. Wir brauchen einen Übersetzungsapparat aus dem elektrischen Code in den akustischen. Dieses Prinzip der Informationsübersetzung gilt nicht nur für die Sinnesorgane in Verbindung mit der Gehirnrinde, sondern für alle Rezeptoren und das ganze Nervensystem bis in die einzelnen Organwandganglien. Röntgenstrahlen, Wärme, elektrische Reize, mechanische Einwirkungen usw. und auch organismusfremde chemische Verbindungen sind exogene Informationen, welche in organismuskonforme übersetzt werden müssen. Selbst fremde Proteine (z. B. Antigene)

können vom Organismus nicht «gelesen» werden. Die in ihnen encodierten Informationen müssen übersetzt werden. Auf die Hirnrinde übertragen, ist dieser Vorgang der Übersetzung einer Fremdsprache in die Muttersprache vergleichbar.

Es geht hier also stets nur um Informationsbetrachtungen, und von diesem Gesichtspunkt aus lassen sich zahlreiche Probleme experimentell neu angehen.

a) Die Veränderungen des Phänotypus bei eineiigen Zwillingen im Laufe ihres Lebens durch die Umwelteinflüsse

Die umfassenden Forschungen über eineiige Zwillinge, namentlich durch v. VERSCHUER (7), zeigen am auffälligsten die Veränderungen des Phänotypus durch exogene Information. Als besonders umweltlabil erweist sich das Körpergewicht. Eine direkt nicht meßbare Verschiedenheit der psychischen Struktur eineiiger Zwillinge erkennt man am ehesten vielleicht an den Gesichtszügen. Die zahlreichen Belegphotographien (7) zeigen die zunehmende Verschiedenheit des Gesichtsausdruckes der Zwillinge mit fortschreitendem Alter (vgl. Abb. 3). Das Gesicht ist wohl die differenzierteste makroskopische Übersetzung der genetischen Information und auch am merkmalsreichsten in bezug auf die Veränderungen durch die Umwelt. Die Informationsübertragung aus der Umwelt über die Sinnesorgane ins Nervensystem und zurück an die Peripherie (Gesichtsmuskeln, Unterhautzellige-

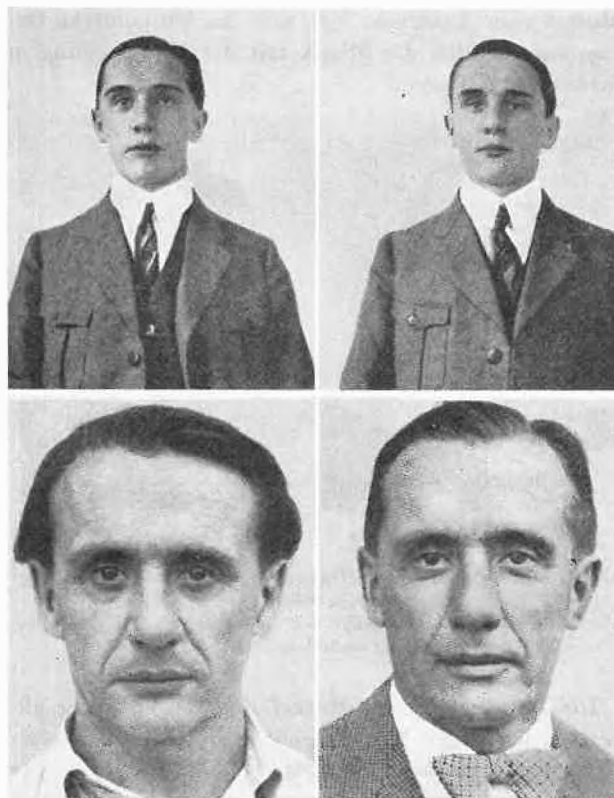


Abb. 3. Die eineiigen Zwillingenbrüder E 64, oben im Alter von 16 und unten im Alter von 42 Jahren (7)

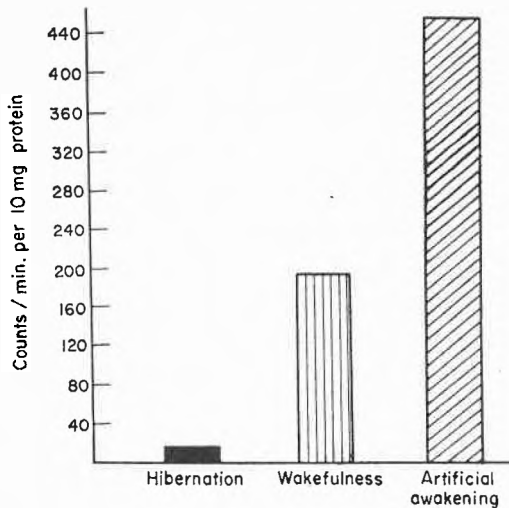


Abb. 4. Spezifische Radioaktivität der Totalproteine von Tieren im und nach Winterschlaf (12)

webe, Haut usw.) ist relativ kurz und der Informationsfluß bedeutend größer als in anderen Körperteilen.

Ein sehr wichtiger und nach Ansicht v. VERSCHUERS kaum zu erklärender Umstand ist die ausgesprochene Diskordanz eineiiger Zwillinge in bezug auf das Auftreten schwerer Krankheiten. Die Medizin kennt seit langem den großen Einfluß der Umwelt auf Entstehung von Krankheiten, besonders diejenigen, welche psychosomatischen Ursprungs sind. Von den untersuchten eineiigen Zwillingen erwiesen sich nur 9 als konkordant und 69 als diskordant (Infektionskrankheiten inbegriffen). Bei den Zweieiigen war das Verhältnis 4:32. Berücksichtigte man in erster Linie Nichtinfektionskrankheiten, wie Tumoren, Herz-, Nieren-, Magen-, Darm- und Nervenerkrankungen sowie auch Pleuritis nichtbakteriellen Ursprungs, so verhielten sich nur 3 eineiige Zwillingspaare konkordant und 29 waren diskordant.

Zusammenfassend kann man feststellen, daß sich schon hier bereits der scharfe Hinweis ergibt auf die biochemischen Veränderungen des ganzen Organismus durch Eincodierung exogener Information in Organproteine via RNS. Die Genetik unterscheidet sogenannte umwlabile und umwlabile Gene. Mit andern Worten: Die genetische Forschung hat keine Erklärung für die Unstabilität der Gene, oder sie sagt bereits indirekt damit aus, daß sie Gene durch die Umwelt für veränderlich hält. In diesem Zusammenhang interessiert auch die Diskussion von HUG (6), welcher auf die Schwierigkeit des sicheren Erkennens von echten Erbmerkmalen in der Zwillingsforschung hingewiesen hat.

b) Stimulation der Sinnesorgane durch Umweltreize führen zur Synthese von RNS und Proteinen im Gehirn

Die neuere biochemische Hirnforschung, welche mit den Namen HYDÉN, EDSTRÖM, PALLADIN, MANDEL und andern Forschern verbunden ist, führt zu dem be-

merkenswerten Gesamtergebnis, daß die stete Einwirkung der Gesamtheit der Umweltreize während des Lebens massive Stimulationen oder physiologische Lernprozesse zu einer Vermehrung von Ribonukleinsäuren und Proteine in den entsprechenden Gehirnneuronen führen. Die nachstehenden wenigen Beispiele mögen dies illustrieren. Der RNS-Gehalt im Gehirn des Menschen nimmt vom zehnten Monat an bis ins Erwachsenenalter im Gegensatz zur DNS stark zu (11, Abb. 5). Dasselbe gilt auch für Tiere (11). PALLADIN zeigte, daß aus dem Winterschlaf erwachte Tiere eine massive Proteinsynthese im Gehirn aufweisen (12, Abb. 4). Andere Versuche, wie Schallbelastungen an Laboratoriumstieren, führen zu einem Anstieg des Proteinumsatzes des Hörnervs (13). Besonders bedeutsam sind die Untersuchungen an einzelnen Nervenzellen nach wiederholter Stimulation des Gleichgewichtssinnes durch Rotation von Tieren in einer geneigten Kreisebene. Diese streßähnlichen Versuche führen zu einer signifikanten Vermehrung der RNS in den Deiterschen Neuronen (14, 18). Gesteuerte Umweltreize, wie Lernprozesse, zeigen ein der DNS analoges Nukleotidbasenverhältnis in der neu synthetisierten RNS (15, 18).

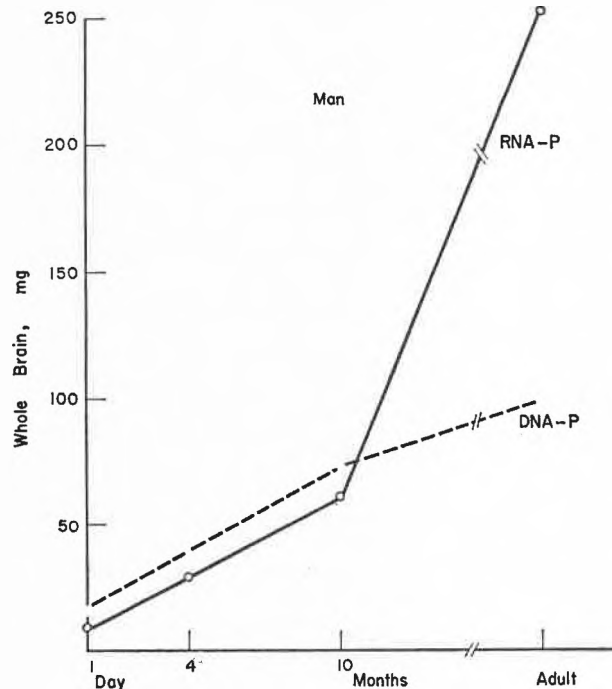


Abb. 5. Zunahme der RNS und DNS beim Menschen während des Wachstums von Geburt bis ins Erwachsenenalter (11)

Aber auch chemische Verbindungen, wie z.B. Tri-cyanopropen (Dimeres des Malonitril), und Pharmaka, wie Tofranil usw., rufen in Gehirnneuronen eine RNS-Synthese hervor, während sie gleichzeitig in der Glia abnehmen kann (14, 16). Entgegen den allgemeinen bisherigen Deutungsversuchen lassen die Resultate der biochemischen Hirnforschung zusammen mit kyberne-

tischen Prinzipien (Wechselwirkung von lebenden Informationssystemen mit ihrer Umgebung) auch den Schluß zu, daß sowohl die steten Umweltreize wie massive Stimulationen zu einer echten Zunahme von RNS im Sinne einer Zunahme der gespeicherten Information (vgl. Abschnitt 5e) führen. Eine RNS-Zunahme mit dem Basenverhältnis der ribosomalen RNS kann also keine unspezifische Reaktion sein, sondern stellt zusammen mit einem noch zu beschreibenden Prinzip die *Schlüsselreaktion* dar, welche auf den ganzen Organismus übertragen zur zwanglosen Interpretation einer großen Zahl biologischer und medizinischer Phänomene führen kann, wie später noch auszuführen sein wird.

c) *Aufnahme und Speicherung von Umweltinformation in Motoneuronen und Muskel*

Im vorangehenden Kapitel 4 wurde gezeigt, daß man kombinierte Bewegungsfolgen von Muskelgruppen als Informationsabgabe bezeichnen kann. Die Ursache dieser Bewegungen sind Erregerimpulse, welche als Transformation von Information aus dem Aminosäurecode in den elektrischen Code gedeutet werden kann. Kommt es z. B. durch Nichtgebrauch bzw. ungenauen Gebrauch von Muskeln zur Atrophie⁴, so muß dies bedeuten, daß Information abgegeben, aber keine aufgenommen wurde. Versuche an schwimmenden Mäusen (17) und am Raubfisch Barracuda, erschöpft nach der Beutejagd (16), zeigen nun, daß forcierte Informationsabgabe (Dauerschwimmen und Schwimmen in forciertem Tempo) zuerst zu einer starken RNS-Abnahme im Cytoplasma der entsprechenden Motoneuronen des Rückenmarks führt. In der anschließenden Erholungsphase setzt eine intensive RNS-Synthese in den Neuronen (Nissl-Substanz) ein. Weitere Versuche dieser Art siehe z. B. HYDÉN und GOMIRATO (19). Dies ist nicht anders interpretierbar, als daß während der Informationsabgabe durch die Muskel gleichzeitig via sensible Fasern neue Information im elektrischen Code aufgenommen und in der anschließenden Ruhephase in den Nukleotidcode (RNS-Resynthese) transformiert wurde (vgl. Abschnitt: «Gibt es einen Impulssatz der biologischen Information?»).

Aus diesen forcierten Stimulationsversuchen der Muskel kann man die Frage ableiten: Besteht der körperliche Erschöpfungszustand eines Sportlers darin, daß die gespeicherte Information an geordneter Bewegung in Form von RNS und Proteinen praktisch aufgebraucht ist? Stehen die taumelnden unkoordinierten Bewegungen eines erschöpften Langstreckenläufers mit einem Minimum an Informations-RNS in den Motoneuronen und den übergeordneten Regionen des Gehirns (Globus, Pallidum und Corpus striatum) in Verbindung? Oder anders ausgedrückt: Taumelt der Sportler, weil die Steuerung der gezielten Beinbewegung versagt? Gemäß unseren Betrachtungen hat stets «Information» das

Primat vor «Energie» und «Materie». Daher ist der Steuermechanismus das Primäre, und alle bekannten physiologischen Regelprozesse des «Energiewechsels» (Aktivitäts- und Ermüdungsphasen) sind ihm untergeordnet.

d) *Der «Impulssatz der biologischen Information»*
(siehe auch Abschnitte 5h und 6d)

Das aus den forcierten Schwimmversuchen und ähnlichen Experimenten hervorgehende Charakteristikum ist einmal der fortwährende Informationsschwund entsprechend der dauernden Informationsabgabe durch scharfes Schwimmen oder Laufen⁵. Das zweite Charakteristikum der Versuchsergebnisse ist das Einsetzen einer starken RNS-Synthese in der Erholungsphase der Tiere. Daraus geht hervor, daß während des forcierten Bewegungsablaufes dauernd Information als elektrische Impulse aufgenommen und möglicherweise elektrisch gespeichert werden⁶, welche über einen noch unbekannt Mechanismus bis mehrere Stunden in die Erholungsphase hinein RNS in den Motoneuronen synthetisieren. Die an dieser Matrize entstandenen Proteine stellen dann den vollwertigen Ersatz der abgegebenen Information dar.

Nun ist allgemein bekannt, daß bei längerem Nichtgebrauch von Muskeln und Organen bald atrophische Erscheinungen durch Proteinverlust eintreten. Umgekehrt erfahren Muskel und Organe eine Hypertrophie durch Training oder Überbeanspruchung. Proteinabbau ist gleichbedeutend mit Informationsverlust und Proteinsynthese mit Informationsspeicherung. Die oben angeführten Versuche und die erwähnten physiologischen Phänomene führen zu dem Schluß, daß jede *Informationsabgabe gleichzeitig mit einer Informationsaufnahme einhergeht*. Es handelt sich hier also um einen positiven Rückkopplungsprozeß. Je exakter die wiederholte Informationsabgabe erfolgen kann, um so fester ist die Rückkopplung durch exakte Informationsaufnahme und Speicherung. Genaue elektrische Codierung führt zu einer exakten Transformation in den chemischen Code (RNS und Proteine). Die ungenaue Informationsabgabe durch die regellosen Beinbewegungen bei längerer Bettlägrigkeit führt rasch zu einer Atrophie, weil die Rückkopplung sehr locker ist. Einen analogen Rückkopplungsprozeß stellt das laute Sprechen (etwa bei einem Vortrag) dar. Die Informationsabgabe führt durch das eigene Gehör sofort wieder zu einer Informationsaufnahme, welche bei mehrmaliger Wiederholung zur chemischen Speicherung führt und somit den Lernvorgang fördert.

Dieses Prinzip der Informationsaufnahme durch kinematische Informationsabgabe läßt sich mit dem Impuls-

⁴ Wegen Kopplung des chemischen Code mit dem energieliefernden Apparat.

⁵ Damit nimmt aber auch die mit der Information eng gekoppelte Energieproduktion ab. Deren Erörterung sowie der Kopplungsmechanismus werden der Übersichtlichkeit wegen fortgelassen.

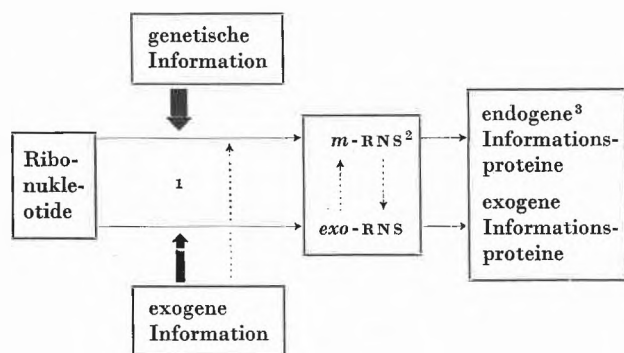
⁶ Es wird allgemein für das Nervensystem ein elektrischer Kurzspeicher für wahrscheinlich gehalten (1).

satz der Mechanik vergleichen (elastischer Stoß). In Analogie hierzu könnte man hier von einem «Impulssatz der biologischen Information» sprechen. Dieses Prinzip muß von fundamentaler Bedeutung für die gesamte Biologie sein (siehe Abschnitte 5h, 6c und d). So sei nur kurz angedeutet, daß auf diesem Prinzip auch der Herzschlag beruhen muß. Nur ein flüssigkeitsdurchströmtes Herz kann längere Zeit am Schlagen erhalten werden. Daß das Herz dann schließlich doch still steht, muß einen anderen Grund haben (siehe Kapitel 9, «die transzelluläre Informationsübertragung»).

e) *Die genetische Information als ein Spezialfall eines allgemeinen biologischen Informationsprinzipes*

Die bisherigen Ausführungen haben gezeigt, daß der genetischen Information in der DNS eine adäquate Speicherungsmöglichkeit exogener Information (Umweltreize) gegenübersteht. Die Ergebnisse der Zwillingsforschung sowie diejenigen der biochemischen Hirnforschung und Muskelstimulation konvergieren zu dem Schluß, daß die mannigfachen Umweltreize als RNS und Proteine gespeichert werden können, wenn der Reiz genügend oft wiederholt wird. Ein wesentliches Merkmal der vorliegenden Theorie ist, daß die Speicherung nicht auf das Zentralnervensystem beschränkt ist, sondern für den ganzen Organismus Gültigkeit haben muß, d.h. in den Zellen jedes Organs kann sich exogene Information befinden. Die Quantität der exogenen Nukleotid- bzw. Aminosäuresequenzen hängt von der Stärke des Informationsflusses von der Peripherie in die Organe ab.

Auf welche Weise wird nun die exogene Information in eine Leber- oder Epithelzelle eingeschleust? Das nachstehende Schema Abb. 6 veranschaulicht den Mechanismus, wie er sich aufgrund der chemischen Eigenschaften der Nukleotide und Nukleinsäuren ergibt (siehe Kapitel 6). Die Umweltreize werden via Extero- und Interorezeptoren in Erregerimpulse übersetzt, wel-



¹ Die unterschiedliche Dicke der Pfeile soll den unterschiedlichen Informationsfluß andeuten.

² Kann auch exogene Nukleotidsequenzen enthalten.

³ Kann auch exogene Aminosäuresequenzen enthalten.

Abb. 6. Schema der Eincodierung exogener Information in eine Organzelle und Entstehung der biologischen Information als Summe der Informationseingänge von Kern und Umwelt

che zu den Aktionspotentialen verstärkt über entsprechende Neuronen die Synthese einer RNS im Cytoplasma der Organzellen auslösen und steuern, bzw. einen Nukleotidaustausch mit der *m*-RNS bewirken (Abschnitt 6b).

Die gestrichelten Pfeile deuten an, daß «crossing over»-ähnliche Vorgänge zwischen *exo*-RNS und *m*-RNS (*endo*-RNS) stattfinden können, welche bis in die einzelnen Nukleotide hinuntergehen. Über die «Chemie» dieses Austausches siehe Kapitel 6.

Die Tatsache, daß von der DNS her wie auch aus der Umwelt via Nervensystem Ribonukleinsäuren gebildet werden, die sich nur in der Nukleotidsequenz unterscheiden, führt zu dem Begriff der «Umweltinformation» für alle möglichen physikalischen und chemischen Stimuli (vgl. Kapitel 2), seien sie sinnlos oder sinnvoll wie organisierte Lernvorgänge. Die Speicherung solcher Nonsens-Information oder langdauernde psychische Belastungen (als Summe wiederholter und widersprüchlicher Umweltreize) werden bei massiver Speicherung im Großhirn allmählich auch in die empfänglichsten Organe (Magen, Darm, Lunge, Herz) eingeschleust und ersetzen allmählich die genetische Information durch exogene (vgl. hierzu Abschnitt 5f). Bei dieser Informationsübertragung bis in die Organe müssen die in jeder Organwand liegenden Nervenzellkomplexe (*intramurale Ganglien*) eine hervorragende Rolle spielen.

Abschließend zu diesem Abschnitt muß erneut betont werden, daß die Anpassung des Organismus an die Umwelt nur dann vor sich gehen kann, wenn die Umweltinformation in organismuskonformer übergeführt wird. Daß bei übermäßiger Speicherung Krankheiten entstehen können, versteht sich fast von selbst (2). (Über exogene Informationskrankheiten vgl. später.)

f) *Die Speicherung exogener Information in allen Organen*

In den vorangehenden Abschnitten ist gezeigt worden, daß ein elektrischer Übersetzungsmechanismus Umweltreize als beliebige physikalische oder chemische Signalfolgen in den Organismus transferieren kann. Sie erscheinen dann als exogene Information zusammen mit der genetischen Information letzten Endes als Aminosäuresequenzen in den Proteinen als die terminalen Überträger und stabilen Speicher der organismuskonformen Information. Die Proteine sind ja die Träger aller Lebenserscheinungen, und letztere stellen die an die Umwelt abgegebene Information als Phänotypus und Muskelbewegungen (kinematische Information) dar.

Das Nervensystem funktioniert einerseits als Übersetzer der Umwelt und andererseits als Steuerorgan exogener und endogener (genetischer) Information für alle Organe des Organismus. Tabelle 1 zeigt die verschiedenen Informationsübertragungen von Nervenzellen über elektrische Impulse auf ihre Erfolgsorte. Als solche galten bisher nur das Gehirn und die Muskel. Der neue dritte Erfolgsort sind die Organe, und zwar nicht nur

deren glatte Muskulatur, sondern jede einzelne Zelle. Die Signalübermittlung im Nerven, wie sie A. v. MURALT (3, 4) bereits 1945 darstellte, hat also damit eine chemische Grundlage erhalten.

Die allmähliche Ausbreitung exogener Information in Form von Proteinen (z. B. Paraproteine?) in Organen kann, wie unter 5e am Schluß erwähnt wurde, zu nicht-bakteriellen Krankheiten führen, welche man unter dem Oberbegriff der «*exogenen Informationskrankheiten*» zusammenfassen kann. Hierher gehören z. B. Krebs (2), Streßkrankheiten (Selye-Syndrom), Suchterscheinungen, Herz- und Gefäßkrankheiten, Organneurosen, Allergosen usw. Über bakterielle Krankheiten als eine besondere Art von Informationskrankheiten wird später diskutiert.

Ein besonders wichtiges und bisher nur mit Teilerfolgen bearbeitetes Problem stellt das *physiologische Altern* dar (2). Vom Standpunkt der Eincodierung exogener Information in Organzellen läßt sich dieses Problem von einer neuen Seite experimentell bearbeiten.

Ein seit LAMARCK und DARWINS Zeiten hochaktuelles Problem stellt die *Abstammungslehre* dar. Ohne hier näher auf Diskussionen eingehen zu können, sei nur angedeutet, daß die sinngemäße Anwendung der vorliegenden Theorie zu der Möglichkeit führt, daß exogene Information in Form von Nukleotidsequenzen in Spermatogonien (Vorstufe der Spermien) eincodiert werden könnte. Wegen der starken Einengung des elektrischen Informationsflusses durch zahlreiche Zwischenganglien könnte entsprechend der Stabilität des genetischen Code nur sehr wenig Umweltinformation in die DNS eingehen. Andererseits aber bedeutet die Zwischen- und Umschaltung über diese Ganglien die Möglichkeit, die gesamte auf den ganzen Organismus einwirkende Umwelt als Kombination elektrischer Impulse aus allen Teilen des Körpers in den genetischen Code zu übertragen. Wegen der außerordentlichen Einengung des Informationsflusses muß dieser Eincodierungsprozeß über sehr viele Generationen gehen. Alle bisher erfolgten Versuche zum Nachweis der LAMARCKSchen Theorie mußten zum Teil aus diesem Grunde scheitern. Ander-

seits aber auch darum, weil nur ganz wenige und einzelne Umweltreize auf das Versuchstier zur Einwirkung kamen. Für die phylogenetische Forschung könnte daher die neue Theorie ebenfalls Anregungen bieten.

g) *Über die Bedeutung der Nichtteilungsfähigkeit der Nerven- und Muskelzellen im adulten Organismus*

Aus den Versuchen über die RNS- und Proteinsynthese im Gehirn (5b) und der RNS-Synthese in den Motoneuronen (5c) nach Stimulation kann man ableiten, daß bestimmte Neuronengruppen *vollgepackt* sein müssen mit *exogenen Informationsproteinen*. Es handelt sich dabei fast ausschließlich um Proteine, welche durch Lernprozesse etwa im ersten Drittel des Lebens entstanden sind.

Wie andererseits a. a. O. über Krebs (2) ausgeführt wurde, bedeutet der Ersatz von typischen Organzellproteinen durch fremde Proteine die Möglichkeit zur Umsteuerung einer Organzelle in eine Krebszelle. Interessante Versuche, die in diesem Sinne interpretierbar sind, hat z. B. WEILER (20) ausgeführt.

Aus dieser Gegenüberstellung der Produktion von exogenen Informationsproteinen in Nerven- und Muskelzellen einerseits und Organzellen andererseits ergibt sich folgende wichtige Frage: Wenn Nerven- und Muskelzellen eine so hohe Teilungsrate wie etwa rasch regenerierende Epithelzellen aufweisen würden, müßten sie eigentlich nach der [in (2)] geäußerten Auffassung maligne entarten? Tatsächlich aber kennt die Medizin im adulten Organismus keine Nervenzelltumoren. Der Grund hierfür liegt in der *Unfähigkeit von Neuronen und Skelettmuskelzellen, sich zu teilen*. Diese großartige Einrichtung der Natur verhindert, daß sich exogene Informationsproteine überwuchernd ausbreiten können. Daß aber trotzdem Gehirntumoren auftreten können, liegt darin, daß die den Neuronen eng anliegenden Gliazellen teilbar sind und deshalb sogenannte Gliome bilden, welche zum Großteil bösartig sind. Skelettmuskel-, Herzmuskel- und Ganglienzellen haben eine Generationszeit wie das Alter des Gesamtorganismus, d. h. unsere

Tabelle 1. Die interne Informationsübertragung und ihre Erfolgsorgane im Menschen

Übertragung von	über	auf	Organ	Informationsausgang bzw. Erfolgssituation
Neuron	elektrische Impulse	Neuron ¹	Cortex	Erinnerung, Gedanke
Neuron	elektrische Impulse	Neuron ¹	Vegetative Kerne	Peptidhormone?
Neuron	elektrische Impulse	Muskelzelle ¹	Kehlkopf, (Herz), Hände, Beine	Sprechen (Schlagrhythmus) usw. Schreiben und koordinierte Bewegungen
Neuron ²	elektrische Impulse	Organzelle ¹	Leber, Lunge, Gefäße,	Endogene und exogene Informationsproteine z. B. als Enzyme in den Organzellen und als
Organzelle ³	elektrische Impulse	Organzellen ¹	Visceralorgane, Haut	visuell feststellbare Informationsproteine

¹ und Speicherung als Informationsproteine

² siehe Kapitel «Transsomatische Informationsübertragung»

³ siehe Kapitel «Transzelluläre Informationsübertragung»

Nerven- und Muskelzellen werden genauso alt wie wir selbst. Die Unfähigkeit dieser Zellen, sich zu teilen, verhindert auch, daß durch Rückkopplung der exogenen RNS im Cytoplasma mit dem Kern eine Kontamination der genetischen Information eintreten kann (vgl. hierzu die vorangehenden Ausführungen über phylogenetische Aspekte).

h) Steuerung von Organleistungen durch exogene Information

Die phänomenale Anpassungsfähigkeit von Organismen an veränderte Umweltbedingungen muß im Prinzip auf dem *Impulssatz* der biologischen Information beruhen. Die abgehende Information steuert gleichzeitig ihre eigene Speicherung wieder. Je nach Organ kann der Anteil exogener Information z. B. beim Herz sehr klein und monoton sein. Aber Wachstum und Umwelt sind Bestandteile exogener Information. Den Einfluß der Umwelt erkennt man an der zunehmenden *Hypertrophie beim Sporthetz*. Zur Erläuterung mögen die folgenden Ausführungen M. SCHNEIDERS (21) dienen:

«Wird eine bestimmte nicht zu geringe Belastung regelmäßig wiederholt, so findet sich in den ersten Stufen eine echte Anpassung in der Form eines Wachstums. Die einzelnen Muskelfasern werden dicker und länger (Hypertrophie), wobei allerdings noch nicht geklärt ist, worin der entscheidende Wachstumsreiz besteht. Bei wiederholter Volumbelastung handelt es sich um ein harmonisches Wachstum, d. h. es wachsen sämtliche Fasern der Vorhöfe und Kammern in gleicher Weise; ein solches Herz bietet dasselbe Bild wie bei Betrachtung des Ausgangszustandes mit einer Lupe. Hierbei handelt es sich keineswegs um einen pathologischen, sondern um einen physiologischen Zustand der Anpassung.»

Es besteht kein Zweifel, daß die wiederholte erhöhte Belastung ein Lernprozeß ist, indem die abgegebene Information gleichzeitig die Aufnahme neuer Information verursacht und diese wieder führt zu zahlreichen RNS- und Proteinsynthesen, stets in einem «informativischen Kreisprozeß», den ganzen Energieproduktionsapparat gleich mitsynthetisierend. Es handelt sich dabei um einen ständigen Wechsel von aufgenommener und abgegebener Information bis in die Mitochondrien. Hierbei müssen die *Membransysteme* in den Zellen eine hervorragende Rolle spielen (siehe Kapitel 6b). Da es sich bei einem trainierten Sportler nicht nur um das Herz handelt, sondern auch um Lunge, Skelettmuskel und andere Organe, die bei dem Training eine Rolle spielen, so wird durch dieses bei jeder Belastungswiederholung eine ganze Informationskette ausgelöst und durch ständige Rückkopplung verbessert, bis der Sportler die durch seine Erbanlagen und Alter begrenzte Höchstleistung erreicht hat. In diesem Zusammenhang *simultaner Anpassung* des Organismus sei an die Ergebnisse der Zwillingsforschung erinnert (Abschnitte 5a, 6c, 6d).

Andere Beispiele hypertrophierter Organe sind der Uterus bei Schwangerschaft, bei dem es durch die mechanische Beanspruchung durch den wachsenden Foetus bis zum Achtfachen der ursprünglichen Größe kommen kann. Hierbei hypertrophieren sowohl die Zellen wie auch der Kern; Nierenausfall oder einseitige Entfernung der Speicheldrüse führt zur Hypertrophie der anderen Niere bzw. der anderen Speicheldrüse. Auch hier muß es sich in erster Linie um Informationsübertragungsvorgänge im Sinne des biologischen Impulssatzes handeln.

Literaturverzeichnis

1. K. STEINBUCH, *Grundsätzliche Überlegungen zur Kybernetik*, Universitätstage 1965, Veröffentlichung der Freien Universität Berlin «Wissenschaft und Planung», Verlag de Gruyter, Berlin 1965. – W. D. KEIDEL, *Naturwiss.* 48 (1961) 264. – *Neuere Ergebnisse der Kybernetik*, Bericht über die Tagung Karlsruhe 1963, Verlag Oldenbourg, München/Wien 1964. – *Aufnahme und Verarbeitung von Nachrichten durch Organismen*, Herausgeber: Nachrichtentechnische Gesellschaft im VDE Fachausschuß «Informations- und Systemtheorie», Verlag Hirzel, Stuttgart 1961. – *Macromolecular Specificity and Biological Memory*, edited by F. O. SCHMITT, The M. I. T. Press, Mass. (USA) 1962. – ALDO MASTURZO, *Kybernetic Medicine*, Charles Thomas, Publisher, Springfield (Illinois, USA) 1965.
2. H. SCHALTEGGER, unveröffentlichte Manuskripte über Carcinogenese, Steroid- und Arzneimittelwirkung, Immunologie, Altern.
3. A. v. MURALT, *Die Signalübermittlung im Nerven*, Verlag Birkhäuser, Basel 1946.
4. A. v. MURALT, *Neuere Ergebnisse der Nervenphysiologie*, Springer-Verlag, Berlin/Göttingen/Heidelberg 1958.
5. M. SCHNEIDER, *Physiologie des Menschen*, 15. Auflage, Springer-Verlag, Berlin/Göttingen/Heidelberg 1964. – A. L. HODGKIN, *Angew. Chem.* 76 (1964) 661. – A. F. HUXLEY, *Angew. Chem.* 76 (1964) 668. – J. C. ECCLES, *Angew. Chem.* 76 (1964) 674.
6. E. HUG, *Acta Genet. Statist. Med.* 3 (1952) 1.
7. O. v. VERSCHUER, *Wirksame Faktoren im Leben des Menschen*, Verlag Steiner, Wiesbaden 1954.
8. z. B. S. OCHOA, *Ber. Bunsenges.* 68 (1964) 707.
9. L. R. MÜLLER, *Die Einteilung des Nervensystems nach seinen Leistungen*, Verlag Thieme, Stuttgart 1950.
10. M. SCHNEIDER, *l. c.*, S. 465, Fußnote 5.
11. P. MANDEL, H. REIN, S. HARTH-EDEL und R. MARDELL in *Comparative Neurochemistry*, edited by D. RICHTER, Pergamon Press, 1964, S. 149.
12. A. V. PALLADIN in *Comparative Neurochemistry*, 1964, S. 131.
13. E. KOBURG und D. PLESTER, *Acta Oto-Laryngol.* 54 (1962) 319. Vgl. auch A. MEYER ZUM GOTTESBERGE und E. KOBURG, *Umschau* 64 (1964) 108.
14. H. HYDÉN, *Endeavour* 21 (1962) 144. – H. HYDÉN, *Göteborgs Universitets Arsskrift* 66 (1960) Nr. 6, S. 1–26.
15. H. HYDÉN und P. W. LANGE, *Proc. Nat. Acad. Sci.* 53 (1965) 946.
16. H. HYDÉN, *Recent Advances in Biological Psychiatry*, Vol. VI (1964) 31–54, edited by J. WORTIS.
17. H. KULENKAMFF, zit. nach G. CH. HIRSCH, «Die Zellorganellen und ihre Zusammenarbeit», in *Handbuch der Biologie*, Band I, Heft 15/16, S. 403. – *Z. Anat. u. Entwicklungsgesch.* 116 (1951) 143.
18. H. HYDÉN und ebenfalls J. E. EDSTRÖM, zit. in E. ROBERTS und C. F. BAXTER, «Neurochemistry», in *Ann. Rev. Biochem.* 32 (1963) 513–52.
19. H. HYDÉN und G. GOMIRATO, zit. in C. G. SCHMIDT «Gehirn und Nerven», in B. FLASCHENTRÄGER und E. LEHNARTZ, *Physiologische Chemie* II/2a, Springer-Verlag, Berlin/Göttingen/Heidelberg 1956, S. 811.
20. E. WEILER, zit. in H. DRUCKREY, *Fortpflanzung und Wachstum*. Handbuchartikel in B. FLASCHENTRÄGER und E. LEHNARTZ, *Physiologische Chemie* II/2c, Springer-Verlag (1959), S. 313.
21. M. SCHNEIDER, *l. c.*, S. 179, Fußnote 5.
22. M. EIGEN, *Ber. Bunsenges.* 68 (1964) 889.