

akzent

Ingrid Mletzko
Horst-Gerald Mletzko

Die Uhr des Lebens



Ingrid Mletzko

Horst-Gerald Mletzko

Die Uhr des Lebens

Urania-Verlag Leipzig Jena Berlin

Autoren: Dr. rer. nat. Ingrid Mletzko
Pädagogische Hochschule »N. K. Krupskaja«, Halle
Dozent Dr. sc. nat. Horst-Gerald Mletzko
Technische Universität Dresden

Illustrationen: Gerd Ohnesorge

1. Auflage 1982

1.–30. Tausend. Alle Rechte vorbehalten

© Urania-Verlag Leipzig/Jena/Berlin

Verlag für populärwissenschaftliche Literatur, Leipzig, 1982

VLN 212-475/32/82 LSV 1369

Lektor: Ewald Oetzel

Umschlagreihenentwurf: Helmut Selle

Typographie: Julia Strube

Gesamtherstellung: INTERDRUCK, Graphischer Großbetrieb

Leipzig – III/18/97

Printed in the German Democratic Republic

Best.-Nr. 653 742 8

DDR 4,50 M



Inhalt

Die Uhr des Lebens 7

Chronos und Bios 8

Vor Jahrmillionen 12

Gang und Genauigkeit der »biologischen Uhr« 15

Die Tageszeit muß jeder kennen 24

»Blumenuhr und Bienenuhr« 27

Die Maus im Laufrad 31

Warum schreit das Baby in der Nacht? 35

»Eulen« oder »Lerchen«? 40

Auch wer schläft, mißt die Zeit 42

Alle Jahre wieder 46

Zimmerpflanzen ohne Blüten 48

Schwalbe und Hamster lieben keine Winterkälte 52

Frühlingszeit – Hochzeitszeit 63

Zwischen Sichel und Vollmond 68

Im Wechsel der Gezeiten 70

Menschen unter Mondeinfluß? 73

Von den Zeitgrenzen des Lebens 75

Elf Jahre sind eine lange Zeit 75

1000 Schwingungen in einer Sekunde 80

Wie lange läuft die Uhr des Lebens? 85

Begründen kann man nur mit Wissen 92

Vom Forscher und der Forschung 93

Vererbte »Zeitmuster«? 96

Was haben Bienen und Seeleute gemeinsam? 100

Erkenntnisgewinn und Modellvorstellung 106

Neue Beziehungen

zwischen Mensch und Natur? 110

Landwirtschaft kontra Biologie? 111

Dreimal täglich eine Pille 114

Gift bleibt Gift! 117

Keiner lebt für sich allein 121

Probleme mit der Zeit? 123

Die Uhr des Lebens

Die biologischen Wissenschaften haben sich seit Jahrhunderten in umfassender Weise mit den räumlichen Strukturen bei Tieren und Pflanzen auseinandergesetzt. Diese jahrhundertelange Forschungstätigkeit erbrachte umfangreiche Kenntnisse der Bau- und Funktionsprinzipien vieler biologischer Objekte. Aber über die zeitliche Struktur der belebten Materie liegt noch vieles im dunkeln. Die systematische Erforschung dieser Seite begann eigentlich erst in unserem Jahrhundert, obwohl Beobachtungen über Art und Weise biologischer Zeitabläufe schon aus der Antike vorliegen.

In der Physik ist die Beschäftigung mit der Zeitstruktur der Materie wesentlich weiter fortgeschritten als in den biologisch-naturwissenschaftlichen Disziplinen. Es ist zu erwarten, daß die Klärung des Wesens der Zeit in der belebten Materie zu ebenso großen Fortschritten dieses Wissenschaftszweiges führt, wie das zu Beginn unseres Jahrhunderts in der Physik der Fall war.

Unsere Darstellungen sollen verdeutlichen, daß die Klärung der Zeitproblematik in der Biologie nicht nur für die Theorie der Wissenschaft große Bedeutung hat, sondern, wie das immer bei grundlegenden Erkenntnissen ist, auch in der praktischen Anwendung in der Medizin oder Landwirtschaft revolutionierend wirken kann. Dazu gibt es bisher nur Ansätze, und wir wollen einiges von der Vielfalt dessen, was es in der belebten Natur – uns natürlich selber eingeschlossen – an zeitlichen Ordnungsprinzipien gibt, näher betrachten.

Chronos und Bios

Der Wissenschaftszweig der Biologie, der sich mit den zeitlichen Abläufen der Lebewesen beschäftigt, ist die Chronobiologie.

Mit dem Begriff Zeit (grch. chronos) verbinden wir im allgemeinen die Vorstellung unserer Chronometer, der Uhren. Der Mensch ordnet seine Tätigkeiten mehr oder weniger streng nach diesem Zeitmesser, der uns eine unkomplizierte Kontrolle über Zeitpunkte und -spannen im Verlaufe eines Tages erlaubt. Das Zusammenleben der Menschen ist ohne Uhr nicht mehr denkbar, sagt uns doch die Uhr, wann es Zeit ist, morgens aufzustehen und zur Arbeit zu gehen, eine Veranstaltung zu besuchen oder sich zur Ruhe zu begeben. Dabei wissen wir natürlich, daß Uhren und Kalender nur als Hilfsmittel zur Bestimmung von Zeitabschnitten dienen, die in unserer geophysikalischen Umwelt, in der wir existieren, gegeben sind.

Der Wechsel von Tag und Nacht sowie der Wechsel der Jahreszeiten, hervorgerufen durch die Bewegung der Erde um die Sonne, sind die für uns wesentlichsten Erscheinungen der unbelebten Natur. Sie dokumentieren, daß die Zeit die Bewegungsform der Materie ist.

Weiterhin ist ohne Schwierigkeiten erkennbar, daß diese geophysikalischen Prozesse in scheinbar unendlicher Wiederholung vor sich gehen. Tag und Nacht, die Jahreszeiten reihen sich immer wieder aneinander, und doch sind sie nicht miteinander identisch. Wiederholung und Veränderung sind in den Zeitprozessen der unbelebten Natur miteinander verwoben. Die Aussage von der prinzipiellen Einheitlichkeit der Materie bestätigend, ist gleiches bei den Lebewesen zu finden.



Chronos (nach einer alten Darstellung)

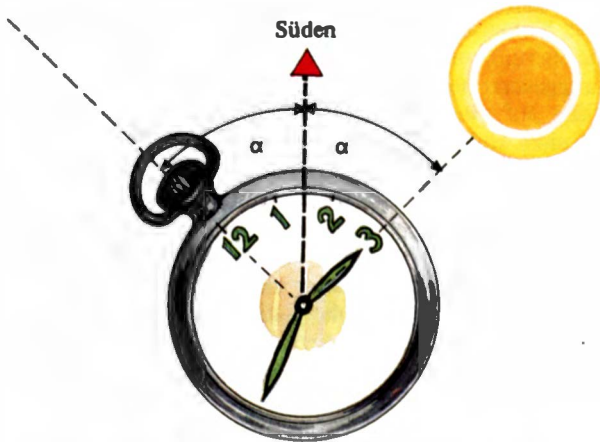
Betrachten wir aufmerksam die belebte Natur, stoßen wir in vielfältiger Form auf zeitlich festgelegte Wiederholungen von Lebensvorgängen. Jedes Jahr erleben wir eine Vegetationsperiode, jedes Jahr beobachten wir den Vogelzug zur vorausberechenbaren Zeit, jeden Tag schlafen Säugetiere zu bestimmter Zeit eine annähernd gleiche Menge von Stunden. In einer Minute atmet der Mensch in



Ruhe etwa fünfzehnmal, und jede Sekunde erfolgt eine Herzkontraktion.

Es handelt sich um ein Auf und Ab der Lebensvorgänge, das wir in der Sprache der Physik als Schwingung definieren können. Biologische Schwingungen, die sich in gleich langen Zeitabständen annähernd gleichartig wiederholen, bezeichnet man als Biorhythmen.

Und gerade das Rhythmische der Lebensvorgänge, der stete Wechsel von Aktivität und Ruhe bei Pflanzen und Tieren, das für die einzelne Art sich hieraus ergebende typische Zeitverhalten weisen uns darauf hin, daß die Lebewesen auch ohne Uhr die Zeit »messen« können. Mit Erstaunen werden wir feststellen, wie genau die »Uhr des Lebens« funktioniert. Wie sonst wäre es möglich, daß Zugvögel pünktlich zu ihrer weiten Reise aufbrechen,



In der Urgesellschaft ordnete der Mensch unbewußt sein zeitliches Dasein nach der Sonne. im Altertum nutzte man den durch veränderlichen Sonnenstand verursachten Schatten zur Zeitmessung, und erst die Erfindung der mechanischen Uhr, deren Einteilung vom Sonnengang abgeleitet war, brachte relative Unabhängigkeit von der Sonne. Durch die Quarzuhren wurde dieser Prozeß vervollkommenet. Mit der noch weitverbreiteten Zeigeruhr ist eine Orientierung ohne Kompaß möglich, indem man sie so richtet, daß der Stundenzeiger genau zur Sonne weist. Dann ist in der Mitte zwischen Stundenzeiger und der 12 die Himmelsrichtung Süden.

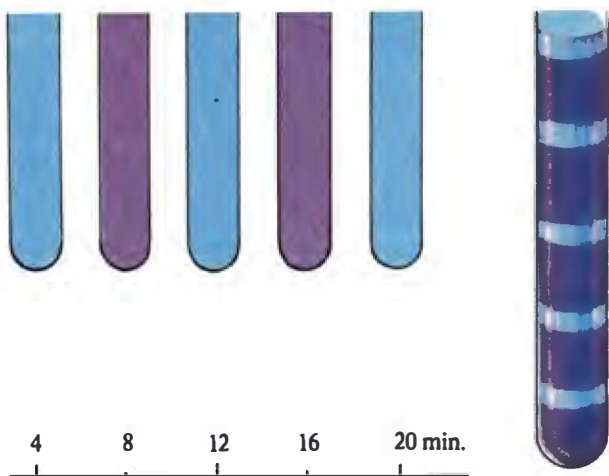
Hamster rechtzeitig ihren Winterspeck ansetzen, Eintagsfliegen nur an wenigen Tagen im Jahr schlüpfen und sich zur Begattung finden, Eulen zur »rechten« Zeit Mäuse jagen, die Bäume bei uns oft weit vor dem Winter ihre Blätter abwerfen und die Zwiebeln im Keller plötzlich zu keimen beginnen. Woher »wissen« die Lebewesen, wie spät es ist? Warum erscheinen sie immer wieder zur gleichen Zeit an bestimmten Orten zu gleichen Handlungen, und warum unterscheiden sich diese Zeiten bei den verschiedenen Arten, und warum sind sie für die einzelne Art immer wieder gleich?

Vor Jahrmillionen .

Im Verlaufe der Entwicklung lebender Materie haben sich Organisationsprinzipien mit großem Wert für die Erhaltung eines biologischen Systems, z. B. solche zur Gewinnung, Speicherung und Umwandlung von Energie, allgemein durchgesetzt, und so kommt es, daß gewisse Gemeinsamkeiten auf verschiedenen Organisationshöhen der biologischen Materie herrschen.

Chlorophyll als Blattfarbstoff der grünen Pflanzen und Hämoglobin als Blutfarbstoff bei vielen Tieren spielen im Prozeß der Energiegewinnung für den pflanzlichen bzw. tierischen Organismus eine entscheidende Rolle; diese Stoffe sind von sehr ähnlicher chemischer Struktur. Verblüffend erscheint auch die Tatsache, daß Adenosintri-phosphat (ATP) als energiereiche Verbindung, die bei Bedarf Energie in der Zelle freisetzen kann, in allen bisher untersuchten Lebewesen vorkommt.

Gemeinsamkeiten existieren auch in der Organisation der Zeitabläufe der Lebewesen; die regelmäßige Wiederholung bestimmter Aktivitätszustände verschiedenster Art gewährleistet die Existenz in der rhythmisch organisierten Umwelt. Die zeitlich rhythmisch geordnete Struktur der Lebewesen, entstanden in einer zeitlich rhythmisch geordneten Umwelt, ist ein ebenso starker Evolutionsfaktor wie die räumliche Ordnung der Lebewesen. Nur der Organismus setzt sich durch, der zeitlich in die geophysikalische Umwelt (Tag, Nacht, Jahr u. a.) eingepaßt ist; nur der kann



In einem Gemisch aus Cersulfat, Kaliumbromat, Malonsäure, Schwefelsäure und Ferroin (letzteres zeigt durch Farbumschlag Reduktion und Oxydation an) ist bei bestimmten Stoffkonzentrationen ein rhythmischer Wechsel von Oxydation und Reduktion im Abstand von einigen Minuten zu beobachten. Unter geeigneten Bedingungen kommt es nach einiger Zeit zur vorübergehenden Ausbildung beider Reaktionsstufen gleichzeitig im Reagenzglas. Diese Erscheinungen nennt man dissipative Strukturen.

überleben, dessen Einzelrhythmen (Herz, Atmung, Enzyme u. a.) so aufeinander abgestimmt sind, daß eine harmonische Ordnung entsteht, die durch Übergänge auf verschiedene Leistungsebenen gehoben werden kann.

Aber nur dann, wenn auch die Beziehungen *zwischen* den Organismen zeitlich miteinander harmonieren, ist der Fortbestand gesichert.

Wir erwähnten, daß nicht nur biologische Schwingungen von 24 Stunden Dauer zu beobachten sind, sondern auch eine Vielzahl kürzerer oder längerer Oszillationen, wie man

diese Abläufe auch nennt. Ist vielleicht das Schwingen eine allgemeine Eigenschaft der Materie?

Dem Lebendigen liegen chemisch-physikalische Prozesse zugrunde, weshalb unsere Frage berechtigt erscheint. Die Suche nach Schwingungsphänomenen im unbelebten Bereich hat sich namentlich in den letzten zehn Jahren verstärkt und führte zu interessanten Entdeckungen. Wenn man z. B. zwei unterschiedlich konzentrierte Lösungen eines Stoffes in ein Becherglas zusammen gibt, beginnt eine langsame Durchmischung, die schließlich mit einem Konzentrationsausgleich endet. Erwärmt man die Lösung während der Durchmischungsphase von unten, so geht das kontinuierliche Konzentrationsgefälle in ein diskontinuierliches über, d. h., statt des allmählichen Übergangs findet man nun abwechselnd schmale Zonen höherer und niedrigerer Konzentration; der Konzentrationsausgleich geschieht in Etappen. Auch chemische Umsetzungen verlaufen derartig. Bei der Oxydation von Malonsäure durch Bromat in einem flachen Gefäß treten, von Schrittmacherzentren ausgehend, kreisförmige Wellen auf, die den raum-zeitlichen Verlauf der Oxydation dokumentieren. Zonen stärkerer und schwächerer Reaktionen wechseln miteinander ab. Sie wurden auch bei biochemischen Reaktionen gefunden, so daß die Annahme berechtigt erscheint, raum-zeitliches Schwingen sowohl in der unbelebten als auch in der belebten Natur als natürlich und grundlegend anzusehen.

Die biologischen Schwingungen stimmen in ihrer Zeitdauer zum Teil mit denen der unbelebten Umwelt überein, man sagt, sie sind synchronisiert, wie die 24-Stunden-Rhythmik. Manche scheinen relativ selbständig zu sein, wie Herzkontraktion oder Aktionspotential im Nervensystem.

Wie vielfältig auch die Schwingungen in einem Organismus sein mögen, ob sie nach unserem heutigen Wissen eine zeitliche Entsprechung in der unbelebten Natur haben oder nicht, eines müssen wir stets im Auge behalten: Die Lebewesen sind Teil der Materie, die auf den verschiedensten Organisationsebenen schwingt. Zeitlich-rhythmische Ordnung scheint für sie eine notwendige Existenzbedingung zu sein.

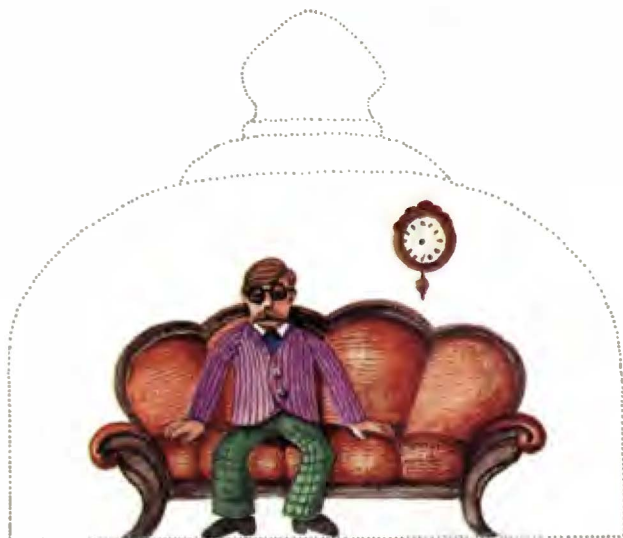
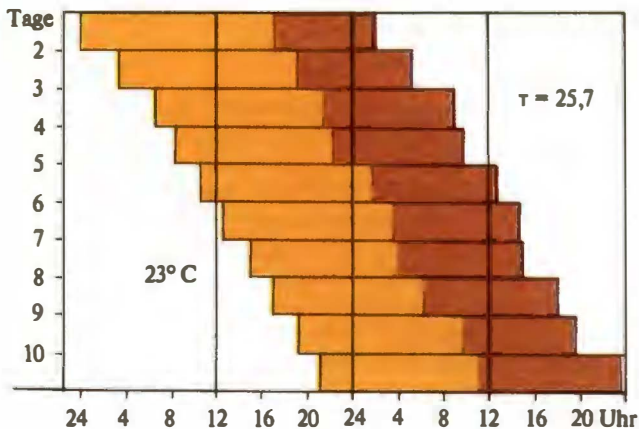
Gang und Genauigkeit der »biologischen Uhr«

Der rhythmische Charakter zahlreicher biologischer Vorgänge ist in den letzten Jahrzehnten recht genau bestimmt und beschrieben worden. Dem Wechselspiel zwischen Umwelt und Organismus ist dabei besondere Bedeutung zuzuschreiben. Umweltschwingungen, die den rhythmischen Ablauf von Lebensvorgängen zu steuern vermögen, indem sich die biologische Schwingung an die von außen einwirkende Schwingung zeitlich angleicht, sich mit ihr synchronisiert, nennt man Zeitgeber. Daß der Wechsel von Ruhe und Aktivität bei einem Organismus, z. B. einer Maus, nicht beziehungslos, also zufällig, mit dem 24-Stunden-Tag übereinstimmt, läßt sich relativ einfach nachprüfen: Wenn man die Maus in ein künstliches Lichtregime bringt, wo eine Licht-Dunkel-Periode nicht 24, sondern 26 Stunden dauert, dann paßt sich die Maus in wenigen Tagen dieser veränderten Tageslänge an und lebt einen 26-Stunden-Tag. Auch »kürzeren Tagen«, z. B. einem 22-Stunden-Tag, kann sie sich noch anpassen. Man spricht vom Ziehbereich. Aber einer darüber hinausgehenden Verkürzung bzw. Verlängerung (in unserem Fall unter 21 bzw. über 27 Stunden) dieses künstlichen Tag-Nacht-Wechsels kann die Maus nicht mehr folgen.

Wie reagiert nun die Maus bei Tageslängen, die außerhalb des Ziehbereiches liegen? Sie zeigt jetzt, »was wirklich in ihr steckt«, denn Aktivität und Ruhe wechseln weiterhin regelmäßig, nur die Dauer einer Periode hat nichts mehr mit der des Zeitgebers, also in diesem Fall mit unserem Wechsel von Licht und Dunkel im Labor, zu tun. Es stellt sich der sogenannte Spontanrhythmus von etwas mehr als 24 Stunden ein. Man sagt, der Organismus geht zur freilaufenden Periodik über.

Am besten läßt sich diese Erscheinung beobachten, wenn wir Tiere und Pflanzen in eine Umgebung bringen, in der alle möglichen Zeitgeber (Licht, Temperatur, Schall u. a.) konstant gehalten werden und die »innere Uhr« somit ihre eigene Ganggenauigkeit zeigen muß.

Die Versuche, die man dazu am Menschen gemacht hat, sind sehr eindrucksvoll. Lebt ein Mensch vorübergehend



Lebt ein Mensch isoliert unter konstanten Umweltbedingungen und ohne Uhr, verlängert er seinen Tag auf mehr als 25 Stunden («Spontanrhythmik»). Braun: Ruhezeit, gelb: Aktivitätszeit

für einige Wochen in einer völlig von der Umwelt abgeschirmten Umgebung unter gleichbleibenden Bedingungen – etwa in einer Höhle –, dann legt er sich jeden Tag etwas später schlafen, sein Tag verlängert sich und erreicht schließlich eine Dauer von etwas mehr als 25 Stunden. Dabei können durchaus einzelne innere Funktionen, wie Temperaturregulation, eine davon abweichende Spontanfrequenz annehmen, so daß die normalen Zeitabstände zwischen den Maxima und Minima verschiedener Funktionen zueinander verlorengehen.

Die Funktionen sind demnach nicht mehr genau aufeinander abgestimmt, man spricht von interner Desynchronisation. Diese Erscheinung ist ein Hinweis auf die Existenz mehrerer relativ unabhängig voneinander existierender Schwingungen in einem Organismus, die eines Zeitgebers bedürfen, um miteinander synchronisiert zu werden.

Synchronisation ist eine Voraussetzung für optimales Funktionieren des biologischen Systems. Nur wenn alle Teilsysteme, die an einer bestimmten Leistung beteiligt sind, sich zum gegebenen Zeitpunkt auf dem erforderlichen Niveau befinden, kann optimale Leistung erreicht werden.

Das Weiterlaufen der biologischen Uhr ohne äußere Zeitgeber ist ein wesentlicher Hinweis auf den im Organismus selbst verankerten Rhythmus, der in arttypischer Weise abläuft. Wir nehmen an, daß die Rhythmik der Lebensvorgänge endogen ist, d. h. vererbt wird. Man hat z. B. Eidechsen unter konstanten Umweltbedingungen aufgezogen, und doch erreichten alle Tiere einen vergleichbaren Tagesrhythmus der Aktivität; er wich etwas vom 24-Stunden-Tag ab, denn die Eidechsen zeigten ihre – individuell unterschiedliche – Spontanperiodik.

Die äußeren Zeitgeber sind die »Zeitansage«, wonach der Organismus seine »Uhr« stellt. Wie der Mechanismus der »Uhreneinstellung« von Rhythmen ohne äußeren Zeitgeber beschaffen ist, liegt noch im dunkeln.

Bisher haben wir ganz allgemein von Zeitgebern gesprochen. Es hat sich in den letzten Jahren herausgestellt, daß es noch wesentliche offene Fragen hinsichtlich der Einordnung von Umweltfaktoren in die Reihe der Zeit-

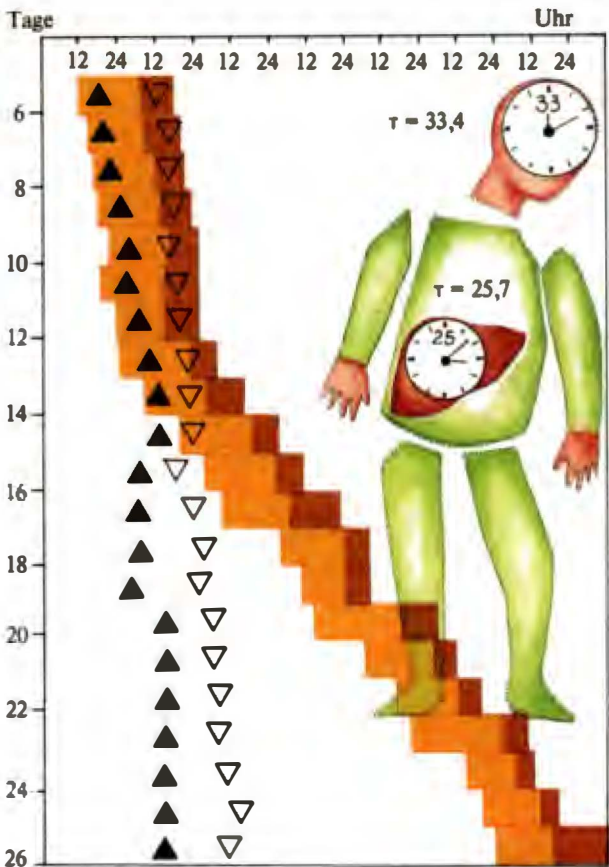
geber gibt. Daß der Licht-Dunkel-Wechsel auf der Erde der entscheidende Zeitgeber für die Einstellung der 24-Stunden-Rhythmik der Organismen und der Jahresgang der Helligkeits- bzw. Dunkelheitsdauer der Verantwortliche für die genaue Einstellung der Jahresrhythmik sind, unterliegt keinem Zweifel mehr. Es sind die primären oder starken Zeitgeber.

Daneben gibt es Faktoren, die nur unter bestimmten Bedingungen in der Lage sind, biologische Schwingungen zu synchronisieren. Zu diesen sekundären oder schwachen Zeitgebern gehören die Temperatur und die Feuchtigkeit. Aber auch Lebewesen können in diesem Sinne aufeinander wirken, und beim Menschen hält man die »soziale« Zeitgeberwirkung für äußerst bedeutsam. Ein weiterer Faktor, über dessen Funktion für das Einstellen der Genauigkeit biologischer Uhren noch vieles unklar erscheint, ist das Magnetfeld der Erde.

Zur Überprüfung der Rolle eines Umweltfaktors als Zeitgeber gibt es mehrere Möglichkeiten. Man kann diesen Faktor ausschalten, man kann ihn allein wirken lassen oder/und die Dauer seiner Schwingung ändern. Schwache Zeitgeber können einen biologischen Rhythmus steuern, wenn die primären ausgeschaltet werden. Wir dürfen aber nicht vergessen, daß unter extremen Bedingungen, z. B. in der Wüste, ein im allgemeinen sekundärer Zeitgeber wie die Feuchtigkeit durchaus zum primären werden kann. Oder in den Weltmeeren, die von Ebbe und Flut betroffen sind, dominieren die Gezeiten über den Tag-Nacht-Wechsel als primärer Zeitgeber. Wir werden später noch darauf eingehen.

Erstaunlich ist die Genauigkeit der biologischen Uhr. Jeder Jäger und jeder Angler weiß, zu welchen Tageszeiten die besten Jagd- oder Fangergebnisse erzielt werden können. Die Zugvögel treffen fast auf den Tag genau aus den südlichen Winterquartieren wieder bei uns ein, und nicht zuletzt ist unser eigenes Zeitgefühl, das uns erlaubt, zu einer bestimmten Zeit auch ohne Wecker zu erwachen, Ausdruck für die Exaktheit von Zeitmeßvorgängen im Organismus. Bisher ist noch nicht geklärt, wie diese Genauigkeit biologisch erreicht wird.

Im pflanzlichen und tierischen Organismus haben die

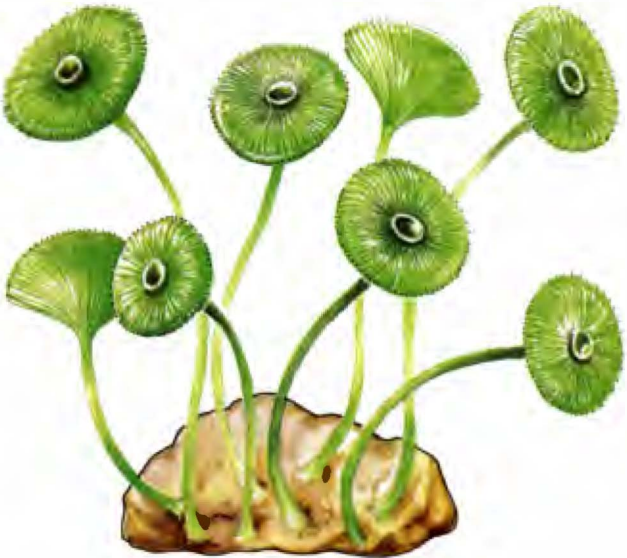


Bei langdauerndem Aufenthalt des Menschen in konstanten Umweltbedingungen kann es zu interner Desynchronisation einzelner Funktionen kommen. In unserem Beispiel bleibt die Körpertemperatur bei der Periodenlänge von etwas mehr als 25 Stunden, während sich die Schlaf-Wach-Rhythmik auf mehr als 33 Stunden verlängert (Temperaturmaxima schwarze, Minima weiße Dreiecke).

vielfältigen Funktionen, die durch stete Wiederholung von maximaler und minimaler Tätigkeit im Verlaufe bestimmter Zeitabstände gekennzeichnet sind, eine mehr oder weniger enge zeitliche Bindung untereinander. Diese miteinander verbundenen Schwingungen bezeichnet man – je nach der Stärke der Bindung – als stark oder schwach gekoppelte Schwingungen. Die Notwendigkeit derartiger Bindungen ergibt sich aus dem optimalen Zusammenwirken mehrerer Funktionen für einen biologischen Vorgang. Solche gekoppelten Schwingungen sind z. B. die Atem- und die Herzschlagfrequenz; auf einen Atemzug entfallen beim Menschen etwa vier Herzschläge, es besteht ein Kopplungsverhältnis von 1:4.

Eine Kopplung existiert auch zwischen Durchblutungsrhythmik der Muskulatur und der Pulsfrequenz oder zwischen Arm- und Beinbewegungen.

Die einzellige Alge Acetabularia wird bevorzugt für die Untersuchung der Bedeutung des Zellkerns benutzt. An dieser Alge konnte man zeigen, daß der Kern eine wesentliche Rolle für den Tagesrhythmus der Pflanze spielt.



Bei Krankheit oder anderen Belastungen wird der Kopplungsgrad verschlechtert, die zeitliche Ordnung ist dann mehr oder weniger gestört.

Ist unsere Voraussetzung richtig, daß der zeitdefinierte rhythmische Ablauf der Lebensprozesse ein umfassendes Phänomen ist, so muß es möglich sein, in jeder Zelle Rhythmik zu finden. Folgen wir weiterhin der Hypothese, daß es eine endogene Verankerung des rhythmischen Ablaufes der Lebensprozesse gibt, müssen wir die Vererbungsstrukturen, also DNS (Desoxyribonukleinsäure) und RNS (Ribonukleinsäure), in unsere Betrachtungen einbeziehen. Methodisch schwierige, aber der Aufklärung des Mechanismus der biologischen Uhr bestens dienende Objekte sind Einzeller, z. B. *Euglena*, ein Flagellat. Es ließ sich zeigen, daß sie am Tage schneller zu einer Lichtquelle schwimmen als des Nachts. Beweglichkeit und Phototaxis (Bestreben, zum Licht zu gelangen) haben einen 24-Stunden-Rhythmus. Auch die Zellteilung von *Euglena* erfolgt in regelmäßigen Abständen. Gleiches kann man an *Paramecium*, dem Pantoffeltierchen, beobachten.

Sehr eindrucksvoll ist das bei einigen Einzellern auftretende Leuchten, Biolumineszenz genannt. Namentlich von Bakterien, die häufig in besonderen Leuchtorganen mehrzelliger Tiere leben, ist diese Eigenschaft bekannt. Bei Algen, die durch ihr Leuchten das Meer in ein zauberhaftes Licht versetzen, zeigt sich deutliche Rhythmik, so daß nur zu bestimmten Nachtzeiten die Leuchtkraft der zum Teil in ungeheurer Menge vorhandenen Organismen zur vollen Entfaltung gelangt.

Alle diese Beobachtungen über die Rhythmik von Einzellern wurden an Populationen gemacht.

Greift man nun einzelne Zellen aus einer Massenansammlung heraus, kann man durchaus die Behauptung über das Rhythmische des Lebenslaufes bestätigen. Als interessantes botanisches Objekt ist vielfach die Alge *Acetabularia* untersucht worden, unter anderem wohl deshalb, weil diese Zelle überdurchschnittlich groß ist. *Acetabularia* hat einen deutlichen Photosyntheserhythmus, der auch nach Entfernung des Zellkerns erhalten bleibt. Pflanzte man einer solchen kernlosen Zelle einen Kern aus einer *Acetabularia* ein, die durch geeigneten

Licht-Dunkel-Wechsel ihren Photosyntheserhythmus um 12 Stunden verschoben hat, dann schwingt die ursprünglich kernlose Zelle so, wie es der eingepflanzte Kern vorgibt.

Was spielt sich in den Zellen der Vielzeller hinsichtlich tagesrhythmischer Vorgänge ab?

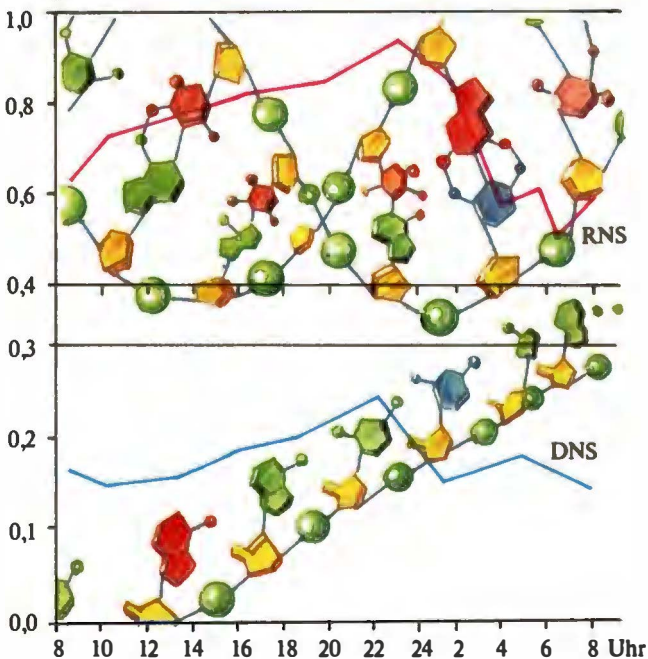
Ein relativ gut erfaßbarer Indikator für den Aktivitätszustand einer Zelle ist die Größe des Kerns. Man spricht geradezu von »Kernschwellung« bei Zunahme der Aktivität. Die Zellkerne in der Leber einer Ratte können ihr Volumen zwischen minimaler Aktivität gegen 17 Uhr und maximaler Aktivität gegen 23 Uhr fast um die Hälfte verändern. Da die Leber zentrales Stoffwechselorgan ist, erscheinen diese Tagesschwankungen verständlich.

Untersucht man die Kerne der Schilddrüse, die als Hormondrüse für die Stoffwechselregulation mit verantwortlich ist, stellt man Größenschwankungen im Tagesverlauf von etwa 30 Prozent fest. Den morphologisch erfaßbaren Veränderungen liegen letztlich unter anderem biochemische Prozesse zugrunde.

Bei der Analyse des Gehaltes der Leberzellkerne an Nukleinsäuren ist ein Tagesgang feststellbar, der die Beobachtungen über Kerngrößenveränderungen bestätigt. Zur Zeit maximaler Kerngröße ist außer stärkerer H₂O-Einlagerung auch der Gehalt an Desoxyribonukleinsäure (DNS) am größten, die Ribonukleinsäure (RNS) hinkt aber etwa eine Stunde hinterher. Der Einbau einzelner Aminosäuren in die DNS weist ebenfalls eine 24-Stunden-Periodik auf.

In der sich vielfach wiederholenden und in der wechselnden Aufeinanderfolge der Aminosäuremoleküle der DNS liegen die Informationen für die Eigenschaften des entsprechenden Organismus. Vererbt werden nicht nur die räumlichen Merkmale, sondern auch die zeitlichen, die von den funktionellen nicht zu trennen sind. Von jeder Tier- und Pflanzenart sind uns charakteristische Zeitmuster bekannt. Während eines Tages, eines Jahres, eines Individualdaseins von der Geburt bis zum Tod läuft ein mehr oder weniger streng festliegendes, vorhersagbares Zeitprogramm ab, das auf verschiedenen Ebenen rhythmisch organisiert ist. Es liegt deshalb nahe, den Sitz der »Uhr des Lebens« in den Vererbungsstrukturen zu suchen.

Milligramm

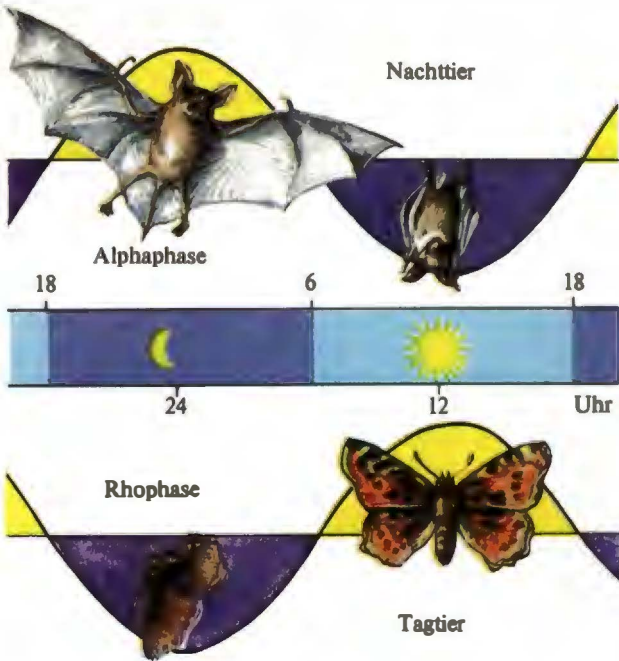


Der Gehalt der Zellkerne in der Rattenleber an Ribonucleinsäure (RNS) und Desoxyribonucleinsäure (DNS) im Verlaufe des Tages

Einige Beobachtungen scheinen das zu bestätigen. Es gibt ein aus Bodenbakterien gewonnenes Antibiotikum, Actinomycin-D, das die DNS-Synthese in der Zelle hemmt. Ließ man dieses Antibiotikum auf bestimmte Algenzellen einwirken, so verloren sie ihren Rhythmus. Auch mit ultraviolettem Licht kann man die DNS beeinflussen. Bestrahlt man Pantoffeltierchen mit diesem Licht, so verändert sich deren Tagesrhythmus. Nachfolgende Bestrahlung der Einzeller mit weißem Licht läßt diese Veränderung wieder rückgängig werden. Gegenwärtig ist man der Auffassung, daß bestimmte DNS-Moleküle für die Zeitprogramme des Organismus verantwortlich sind. Wie der Mechanismus funktioniert, weiß man jedoch noch nicht.

Die Tageszeit muß jeder kennen

Der Tag-Nacht-Wechsel spiegelt sich als ein grundlegendes Phänomen im Ablauf des pflanzlichen und tierischen Lebens wider. So assimilieren die grünen Pflanzen am Tage unter Nutzung der Sonnenenergie, d. h., sie produzieren im wesentlichen aus CO_2 und Wasser Kohlehydrate, während in der Nacht nur die Atmung unter Sauerstoffverbrauch weiterläuft, wir sprechen von Dissimilation. Die Bindung des pflanzlichen Lebens an diese äußeren Zeitgeberbedingungen ist sehr streng, im Dauerdunkel würde der Organismus in wenigen Tagen zugrunde gehen. Mit der Entwicklung des tierischen Lebens ist eine Lockerung dieser strengen Abhängigkeit eingetreten, und den warmblütigen Tieren ist in den meisten Klimazonen unserer Erde ein relativ variabler Tagesrhythmus möglich. Trotzdem werden wir auch hier sehen, daß für jede Art typische Aktivitätsverläufe ziemlich genau eingehalten werden. Für die wechselwarmen Tiere, die ja die Mehrzahl aller Arten ausmachen, ist in den gemäßigten Zonen die am Tage stärkere Sonneneinstrahlung unbedingt von Vorteil für die Realisierung ihrer artershaltenden Verhaltensweisen, wie Nahrungserwerb, Fortpflanzung, Ausbreitung. Gemäß der van't Hoff'schen Regel beschleunigen sich chemische Prozesse bei Temperaturerhöhung um 10°C auf das Zwei- bis Dreifache, so daß in dem Temperaturbereich, wo Leben überhaupt möglich ist, bestimmte Mindesttemperaturen erforderlich sind, um einen Lebensvorgang so schnell wie möglich und nötig ablaufen zu lassen, ohne jedoch zu Schäden im System zu führen. Hieraus erklärt sich vielleicht auch bei den extrem stoffwechselintensiven warmblütigen Vögeln die Körpertemperatur von 41°C . Sie liegt



Im Organismenbereich existiert eine stabile Ordnung hinsichtlich der Aktivität in der Zeit. Wir unterscheiden nach der Lage der Ruhe- und der Aktivitätszeit z. B. tagaktive und nachaktive Tiere.

nur wenig unter der Temperatur, die zur Zerstörung der Eiweiße führt, ist aber doch so hoch, daß die für das Fliegen erforderliche große Energiemenge kurzfristig bereitgestellt werden kann. Die wechselwarmen Tiere, denken wir nur an solche leistungsfähigen Gruppen wie Insekten oder Reptilien, können ihre großen Geschwindigkeiten bei der Fortbewegung nur erreichen, wenn die Umgebungstemperaturen ein Aufheizen des Körpers ermöglichen. Zu diesem Zweck setzen sich solche Tiere intensiver Sonnenbestrahlung aus. Es gehört schon großes Geschick dazu, an einem warmen Sommertag eine Zauneidechse oder eine Großlibelle zu fangen.

Wir betrachten die Aktivitätsverteilung mit nächtlicher Ruhezeit und täglicher Hauptaktivitätszeit als ursprünglich. In Gebieten der Erde, wo am Tage extrem hohe Temperaturen erreicht werden, beobachtet man allerdings in dieser Zeit mehr oder weniger ausgedehnte Ruheperioden bei allen Organismen. Die Hauptaktivitätszeiten liegen in der Dunkelheit und in den Morgen- bzw. Abendstunden, wo die Temperaturen biologisch angemessener sind.

In den gemäßigten Klimazonen sind zahlreiche Arten der Säugetiere als dunkelaktiv bekannt. Wenn man genauere Analysen des Tagesganges der Aktivität bei verschiedenen Tiergruppen vornimmt, stellt sich heraus, daß die Übergänge von Hell zu Dunkel bzw. von Dunkel zu Hell große Bedeutung für den 24-Stunden-Rhythmus haben. Es gibt zwar noch keine Zusammenstellung über die Artenzahlen, die gerade in dieser Übergangszeit ihre Hauptaktivität entfalten, aber viele bisher bekannte Daten deuten eine Konzentrierung auf diese Tagesstunden an. Unabhängig davon, wie die Verteilung von Ruhe und Aktivität innerhalb 24 Stunden auch sein mag, zeigt jede Art ihr typisches Aktivitätsmuster, und innerhalb der einzelnen Art unterscheiden sich die Individuen wiederum, man spricht von Individualmustern. Diese können sich in zeitlichen Differenzen bei der Erreichung maximaler Aktivität bzw. Ruhe und in der Aktivitätsmenge je Zeitabschnitt äußern. Durch Mittelung gewinnt man aus den Individualmustern das Artmuster.

Die vererbte rhythmische Organisation des Tagesablaufes ermöglicht dem Organismus ein Arbeiten mit geringstem Energieaufwand. Das wird besonders anschaulich, wenn wir die notwendigen Beziehungen der Organismen untereinander betrachten. Gegenseitige Abhängigkeit, z. B. in einer Nahrungskette, erfordert zeitliches Zusammenreffen der Glieder einer solchen Kette. Ein Räuber wird seine Beute am ehesten finden, wenn er zur selben Zeit wie sie motorisch aktiv ist. Die Biene kann dann mit geringstem Aufwand und größtem Erfolg an Blüten saugen, wenn sie zur Zeit der maximalen Nektarabsonderung an der Blüte erscheint.

Die in größeren Gruppen lebenden Tiere brechen gemeinsam zur täglichen Nahrungssuche auf und synchron-

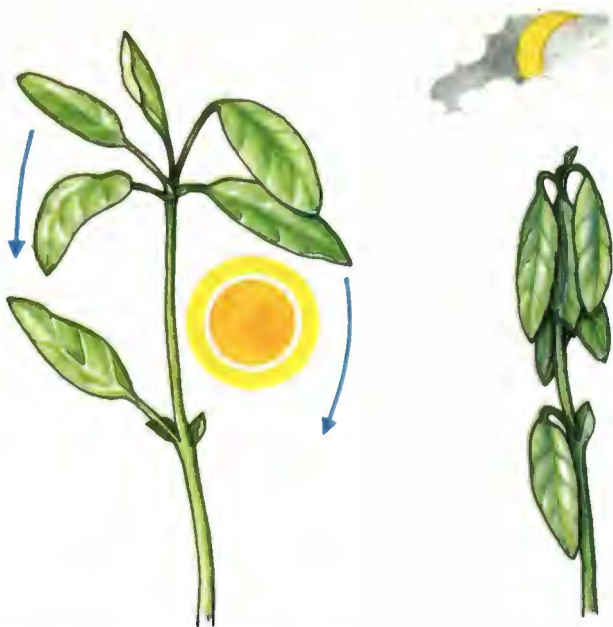
nisieren dadurch ihren Motorialaktivitätsablauf zu einem Gruppenmuster.

Pflanzen und Tiere messen die Tageszeit so streng, daß sie die oft nur wenige Stunden dauernden Aktivitätsphasen, die von den Umweltbedingungen abhängen, genau einhalten können.

Die Organismen haben demnach nicht nur einen für jede Art charakteristischen Ort, an dem sie zu finden sind, ihre Topo-Nische, sondern auch eine vorausberechenbare bestimmte Zeit für ihre Tätigkeiten zum Nahrungserwerb, zur Fortpflanzung, zum Schlaf usw., d. h. ihre Chrono-Nische. Topo-Nische und Chrono-Nische können als Öko-Nische zusammengefaßt, den Lebensraum einer Art sicher beschreiben.

»Blumenuhr« und »Bienenuhr«

Schon vor vielen Jahren war man darauf gestoßen, daß Blätter mancher Pflanzen — abhängig von der Tageszeit — regelmäßig ihre Stellung verändern. Bohnenblätter entfalten sich am Tage und senken sich in der Nacht. Dasselbe geschieht mit Mimosenblättern. Kleeblätter falten sich des Abends zusammen. Es gibt auch Fälle, wo sich größere Blätter in der Nacht um kleinere herumlegen. Man spricht vom Schlafen der Pflanzen. Dieses regelmäßige Auf und Ab der Blätter wird sogar unter konstanten Umweltbedingungen fortgesetzt, nun allerdings mit der für die Art typischen Spontanperiodik. Dabei kann es zur internen Desynchronisation kommen, d. h., der Zeitpunkt maximaler Blatthebung oder Blattsenkung ist für einzelne Blätter unterschiedlich. Die regelmäßige Wiederholung der Blattbewegungen zeigt, daß in der Pflanze Zeit gemessen werden kann, die Zeittreue der Wiederkehr einzelner Zustände ist geradezu verblüffend. Auch Blütenblätter können tagesrhythmische Bewegungen aufweisen. In vielen Fällen sind diese aber im Gegensatz zu den Blattbewegungen allein von außen angeregt. Sie hören auf, sobald der Lichtwechsel ausgeschaltet wird. Solcherart sind die Blütenblattbewegungen der Tulpe, sie öffnet sich am Tage und schließt sich des Abends. Ähnlich wird die



*Tagesrhythmische Blattbewegungen sind besonders bei Schmetterlingsblütengewächsen eine typische Erscheinung. Die tags ausgebreiteten Blätter (links) werden in der Nacht (in unserem Beispiel *Desmodium gyrans*) zusammengelegt.*

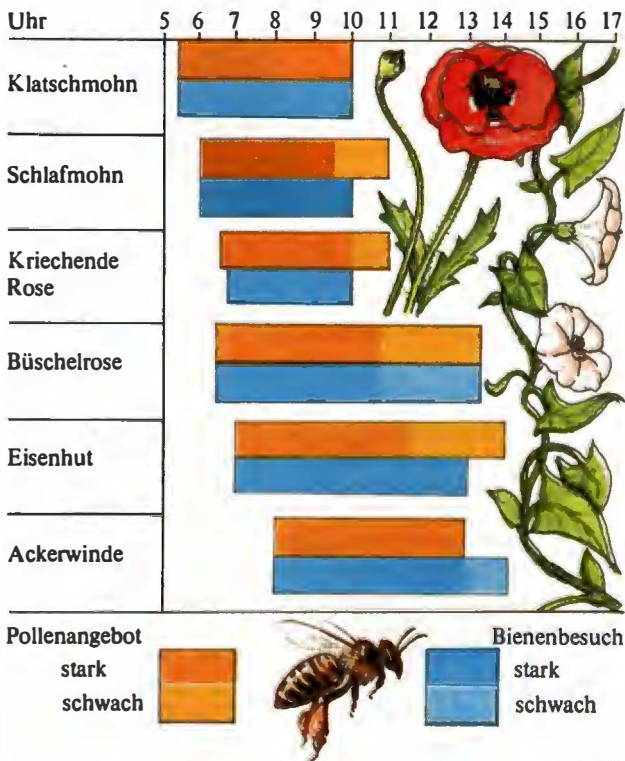
Wendung der Sonnenblume allein von der Sonne induziert.

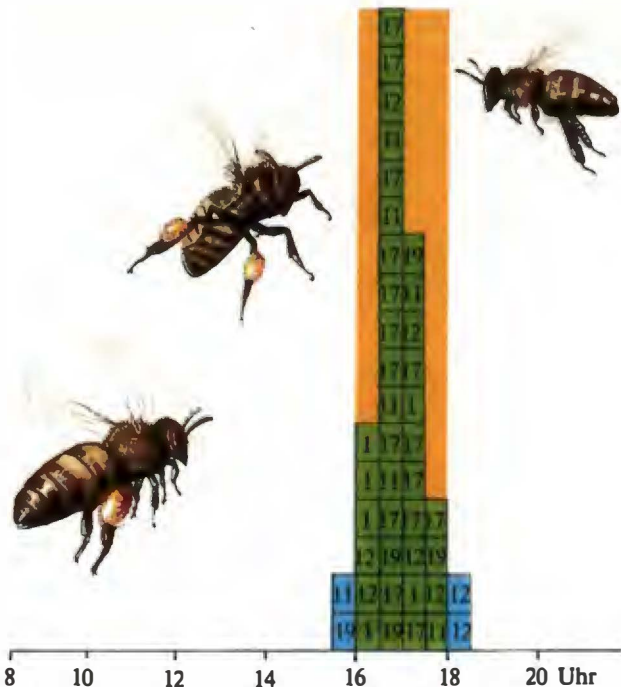
Es ist wohl weniger bekannt, daß sich Charles Darwin intensiv mit den rhythmischen Blattbewegungen befaßte. Er stellte fest, daß sie von großem Wert für die Existenz vieler Pflanzen sind. Zusammengefalteten Blättern kann die Nachtkühle nicht soviel anhaben wie ausgebreiteten. Hindert man z. B. Sauerklee durch mechanische Befestigung daran, des Nachts seine Blätter zusammenzufalten, und setzt man sie nur wenige Stunden einem Nachtfrost aus, werden die meisten so geschädigt, daß die Pflanze abstirbt, während unbehinderte Pflanzen wesentlich geringeren oder gar keinen Schaden nehmen.

Der Duft von Blumen entfaltet sich unter Umständen nur wenige Stunden des Tages in ganzer Stärke, Nektar und Pollen werden nur zu bestimmten Zeiten reichlich abgesondert. Und gerade in diesen Zeiten können wir den intensivsten Besuch von Insekten beobachten. Bienen sind im wesentlichen tatsächlich nur während maximaler Nektarabgabe an den entsprechenden Pflanzen zu finden.

Um zu prüfen, ob die Bienen ein Zeitgedächtnis haben, wurden interessante Versuche unternommen. Man trainierte Bienen darauf, nur in der Zeit von 16 bis 18 Uhr

Zwischen dem tageszeitlich unterschiedlich starken Pollenangebot blühender Pflanzen und der Intensität des Insektenbesuches gibt es eine eindeutige Beziehung.





Wenn man Bienen darauf dressiert, daß Futter nur in der Zeit von 16 bis 18 Uhr angeboten wird, dann lernen sie sehr schnell, nur zu dieser Zeit Nahrung zu suchen; sie müssen demnach die Zeitdifferenz zwischen zwei Tagen messen können.

Futter zu suchen, indem man in der übrigen Zeit des Tages keinerlei Futter anbot. In der Tat lernten die Insekten, täglich zur richtigen Zeit an der Futterstelle zu erscheinen. Sie waren also in der Lage, den Abstand zwischen zwei Tagen zu messen. Um zu prüfen, ob die Bienen das auch ohne äußere Anhaltspunkte, wie den Tagesgang der Sonne, können, führte man ähnliche Versuche in einem Bergwerk durch, und wieder wußten die Bienen, wie spät es ist. Diese genaue Abstimmung der Zeit der Futtersuche mit dem aktuellen guten Futterangebot gewährleistet eine erfolgreiche Futtersuche mit geringem Aufwand.

Die Maus im Laufrad

Zu den eindrucksvollsten Versuchen über die Tagesrhythmik bei Tieren zählen Beobachtungen an kleinen Säugtieren, wie Mäusen, Ratten und Hamstern.

Zunächst interessierte man sich für die sichtbare Äußerung des Aktivitätszustandes, die Laufaktivität. Wer Mäuse oder Goldhamster zu Hause in einem Käfig hält, tut den Tieren etwas Gutes, wenn er ein Laufrad hineinstellt, damit sie ihren natürlichen Bewegungsdrang abreagieren können.

Bei längeren Beobachtungen stellt man fest, daß sich ein Goldhamster zu bestimmten Zeiten überhaupt nicht für das Laufrad interessiert und zu anderen Zeiten darin läuft, als gelte es, ein bekanntes Ziel zu erreichen. Manches Kind wurde schon von seinem geliebten Tier geweckt, weil dieses früh um 4 Uhr seine Laufarbeit begann.

Versieht man ein solches Laufrad mit elektrischen Kontakten und einem Registriergerät, dann läßt sich exakt der Tagesrhythmus der Laufaktivität feststellen. Weiße Mäuse werden besonders aktiv, sobald es dunkel wird. Etwa fünf Stunden laufen sie sehr viel, dann tritt etwas Ruhe ein, und gegen Morgen, wenn es hell wird, zeigt sich noch einmal intensive Lauftätigkeit, die sich jedoch nur über etwa zwei Stunden erstreckt. Der Tag wird weitgehend in Ruhe verbracht.

Eine Schwingungsform im biologischen Geschehen, die durch zwei Gipfel der Aktivität gekennzeichnet ist, nennt man Bigeminus, wobei in der Regel zwischen beiden ein Unterschied in der Menge der Aktivität besteht.

Bei genauer Untersuchung stellt man fest, daß die Aktivitätszeit (Alpha-Phase) der Maus nicht nur durch zwei Gipfel charakterisiert ist, sondern noch mehrfach in kleine Abschnitte besonders starker oder nicht ganz so starker Aktivität untergliedert ist. Dieses Auf und Ab während der Aktivität nennt man Aktivitätsschübe, die nichts anderes als die Überlagerung der großen 24-Stunden-Schwingung durch kurzzeitigere Schwingungen sind und Oberschwingungen genannt werden. Solche Aktivitätsschübe finden wir bei unserer weißen Maus aber nicht nur in der Aktivitätszeit. Auch in der Ruhezeit (Rho-Phase)



Gesangsbeginn einiger einheimischer Vogelarten im Mai. Jede Art beginnt bei einer bestimmten Helligkeit zu singen, weshalb man von einer »Vogeluhr« spricht.

sind sie zu beobachten; allerdings mit bedeutend geringerer Stärke (Amplitude) und Dauer der Bewegungsaktivität.

Ähnliches kennen wir von anderen Säugetieren und Vögeln. Eidechsen oder Schlangen, wechselwarme Tiere, dagegen liegen während ihrer Ruhezeit in der Nacht viele Stunden unbeweglich am Ort. Der unerfahrene Beobachter mag zunächst meinen, das Maß der Aktivität werde durch die zum Nahrungserwerb nötigen Wege bestimmt. Daß dies zu einfach gedacht ist, zeigt die tägliche Wiederholung der Aktivitätsperioden von Tieren auch bei ausreichendem Futterangebot, wie das in Gefangenschaft meist der Fall ist. Die einzelne Tierart hat ein artspezifisches »Soll« an Bewegungsaktivität, das zu mehr oder weniger streng festgelegten Zeiten des Tages realisiert wird.

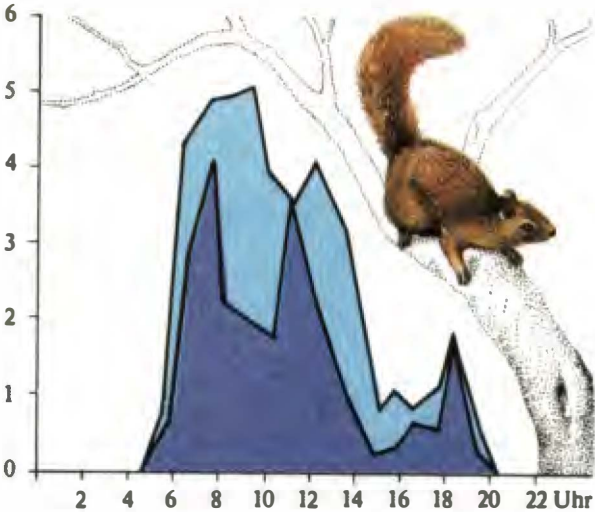
Durch äußere Bedingungen, wie Gefangenschaft oder strenge Winterkälte, kann sich die Aktivitätsspitze nachtaktiver Tiere mehr in die Lichtzeit verlagern.

Vögel sind zum größten Teil am Tage aktiv. Insbesondere im Frühling und Frühsommer wird uns das bewußt, nämlich dann, wenn der Vogelgesang seine größte Intensität im Jahresverlauf erreicht. Beim Morgendämmern beginnen die ersten Arten, wie Rotkehlchen, Singdrossel oder Amsel, ihr Lied, und am späten Abend verstummen die letzten Sänger. Die Reihenfolge des Gesangsbeginns und -endes ist durchaus nicht zufällig. Das Maß der Helligkeit bestimmt die Zeit, wann welche Vogelart aktiv wird oder zur Ruhe übergeht. Diese Gesetzmäßigkeit gilt zwar nicht nur für Vögel, ist hier aber relativ einfach nachprüfbar. Es ist sogar möglich, nach dem Gesangsbeginn oder -ende der Vögel eine sogenannte Vogeluhr aufzustellen.

Eine weitere Erkenntnis über den Zusammenhang zwischen räumlichen und zeitlichen Komponenten im 24-Stunden-Rhythmus gewinnen wir ebenfalls aus der Beobachtung von Vögeln: Die gute Beweglichkeit erlaubt es ihnen, ihren Aufenthaltsort schnell zu wechseln. Diese Ortswechsel im Laufe eines Tages sind wiederum durchaus nicht zufällig, weshalb es möglich ist, Tageszeit, Aktivitätszustand und Aufenthaltsort einander zuzuordnen.

Bei Pinguinen beobachtet man, daß sie den Tag aktiv im Meer und die Nacht passiv an Land verbringen; Enten, die

beobachtete Tiere
je Stunde



Aktivität des amerikanischen Fuchshörnchens in Freiheit. Der Beobachter registriert mehr Tiere (obere Kurve), wenn er das Gelände begeht, die untere Kurve entsteht nach Beobachtung von einem festen Platz aus.

sich den Tag über auf einem See aufgehalten haben, suchen wir des Abends dort vergeblich; sie ziehen auf Felder und Wiesen, wo sie u. a. äsen. Und von dort kehren sie erst am frühen Morgen zurück. Diesen Zeitpunkt der Rückkehr weiß der Jäger zum Abschluß des Wildes geschickt zu nutzen.

Die Stärke der Aktivität eines Tieres im Verlaufe von 24 Stunden ist von mehreren Faktoren abhängig. Grundsätzliche Unterschiede sind zwischen kaltblütigen und warmblütigen Tieren zu machen. Zwischen den Arten einer Tiergruppe wiederum gibt es ebenfalls Unterschiede, und nicht zuletzt gibt es mehr oder weniger deutliche Differenzierungen zwischen Männchen und Weibchen einer Art. Bei Ratten sind Weibchen zeitweise aktiver. Entfernt man ihnen die Ovarien, dann werden sie träger als

Männchen, denen man die Hoden entfernt hat. Im Laufe des Eireifungszyklus, der ebenfalls ein biologischer Rhythmus von arttypischer Dauer ist, verändert sich die Laufaktivität ganz beträchtlich. Während des Eisprungs laufen weibliche Ratten bedeutend mehr als in der übrigen Zeit. Schwangerschaft und Stillperiode (Säugezeit) sind durch deutlich geminderte Laufaktivität gekennzeichnet.

Aus diesen und anderen Beobachtungen erkennen wir die starke Abhängigkeit der Laufaktivität vom Zustand der Keimdrüsen.

Nicht unerwähnt soll bleiben, daß Messungen der Laufaktivität von Säugetieren mit bestimmten Vorrichtungen, wie z. B. mit Hilfe von Laufrädern, eine über dem Normalen liegende Aktivität der Tiere ergeben können. Der ausgeprägte Spieltrieb einzelner Individuen kann dazu führen, daß sie aus »Spaß an der Sache« im Laufrad mehr laufen, als ihrem durchschnittlichen Bewegungssoll entspricht. Es wurde sogar einmal der Fall beobachtet, daß freigelassene Versuchstiere (Flughörnchen) extra jede Nacht zu den in einer Veranda abgestellten Laufrädern kamen, um darin zu »toben«.

Das soll ein Hinweis auf die Schwierigkeit sein, unter Laborbedingungen Aussagen über die 24-Stunden-Aktivität zu gewinnen, die den Verhältnissen im natürlichen Biotop annähernd entsprechen.

Warum schreit das Baby in der Nacht?

Aus dem bisher Dargestellten könnte man annehmen, daß auch im menschlichen Dasein der Tag-Nacht-Wechsel eine bedeutende Rolle spielt. Beobachtungen an Neugeborenen scheinen dem jedoch zu widersprechen. Im allgemeinen findet die Familie, die einen neuen Erdenbürger zu versorgen hat, wenig Ruhe. Den Säugling kümmert es zunächst kaum, ob Tag oder Nacht ist, er meldet sich mit seiner Stimme, seinem Alarmsignal, in regelmäßigen Abständen.

Bisher galt als Grundsatz, daß im Sinne einer Erziehung des Kindes von Anfang an auf nächtliche Nahrungsgabe verzichtet werden sollte, um es nicht zum Tyrannen der

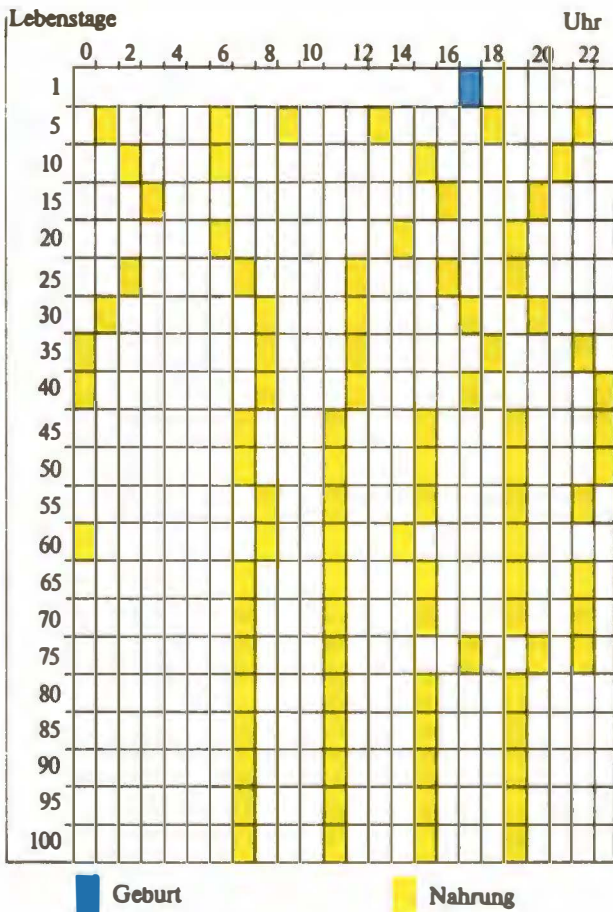
Familie werden zu lassen. Und die Erfolge dieser Bemühungen stellten sich auch nach einigen Wochen ein — auf Grund ihrer guten Erziehung, wie die Eltern meinten.

Zur wissenschaftlichen Klärung dieses Sachverhalts hat man Säuglinge dann gefüttert, wenn sie durch Schreien Nahrungsverlangen bekundeten. Die Nahrungsaufnahme des jungen Säuglings erfolgt in Abständen von etwa vier Stunden; dieser Vier-Stunden-Rhythmus ist erblich fixiert, also endogen. Die Länge der Pausen zwischen zwei Mahlzeiten ist beim gesunden Säugling nicht davon abhängig, welche Menge der Säugling vorher getrunken hat. Nach vier bis acht Lebenswochen bildet sich von »allein« ein deutlicher Tag-Nacht-Rhythmus von Wachen und Schlafen heraus, und die Nachtpause wird sprunghaft verlängert. Dieser Einschwingvorgang läuft gesetzmäßig ab, so daß besondere Erziehungsmaßnahmen nicht erforderlich sind, um das für den Menschen typische tagaktive Verhalten zu erreichen.

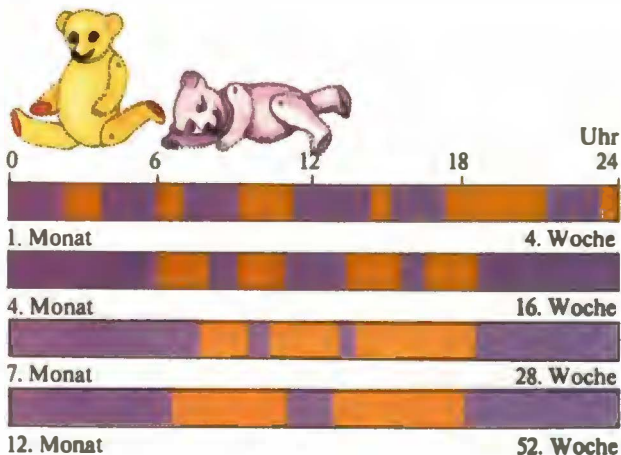
Also sollte man dem natürlichen Nahrungsverlangen des jungen Säuglings in der Nacht entsprechen. Das steht im Dienste der optimalen Entwicklung und ermöglicht letztlich die Betreuung in größerer Ruhe.

Die Ausprägung der Tagesperiodik ist nicht auf Wachen und Schlafen oder die Nahrungsaufnahme beschränkt; vergleichbare Entwicklungsvorgänge können wir bei zahlreichen anderen Funktionen des Kindes beobachten. Gibt es in der ersten Woche keinen nachweisbaren Unterschied der Körpertemperatur zwischen Tag und Nacht, so ist bereits von der zweiten bis dritten Woche an ein solcher festzustellen. Im Verlaufe der nachfolgenden Monate verstärkt er sich, d. h., die Amplitude der 24-Stunden-Schwingung wird größer, wobei die höchste Temperatur am Tage, die tiefste in der Nacht gemessen wird. Interessant dabei erscheint die Beobachtung, daß bis hin zum Erwachsenenalter noch weitere Differenzierungen der Körpertemperatur innerhalb des Tagesverlaufes auftreten.

Ähnliches ließe sich über die Herausbildung der Tagesrhythmik der Pulsfrequenz sagen. Diese ist auch beim ruhenden Menschen gesetzmäßigen Schwankungen unterworfen. Im Laufe der frühen Kindheitsentwicklung ver-



Die Entwicklung der 24-Stunden-Rhythmik des Nahrungsverlangens beim Säugling. Vom Tage der Geburt an ist für jeden 5. Tag die Stunde der Nahrungsgabe (gelb) angezeichnet, die immer als Reaktion auf das Schreien des Säuglings erfolgte. Nach dem 40. Lebenstag beginnt sich von selbst die lange Nachtpause einzustellen.



Entwicklung des natürlichen Schlaf-Wach-Rhythmus beim Säugling

schiebt sich das Maximum der Frequenz von anfänglich 15 bis 17 Uhr auf die Vormittagsstunden; um die Mittagszeit gibt es einen kleinen Abfall, dem sich ein Wiederanstieg bis gegen Abend anschließt.

Die bisher genannten Körperfunktionen benötigen im Normalfall nur wenige Wochen bis zur festen Ausprägung der 24-Stunden-Periodik. Andere dagegen brauchen unter Umständen wesentlich länger. Die Urinausscheidung wird zwar in der Regel von der vierten Lebenswoche an tagesrhythmisch, es kann aber auch bis zur 20. Lebenswoche dauern, ehe sich der Tagesrhythmus einstellt.

Außer Wasser und Harnstoff enthält der Urin noch weitere Bestandteile, unter anderem Salze, Hormone, Abbauprodukte des Muskelstoffwechsels. Es stellte sich nun heraus, daß die Zeit, die vergeht, bis alle diese Stoffe eine nachweisbare Tagesrhythmik zeigen, ganz unterschiedlich ist. Erst im zweiten Lebensjahr wird z. B. die Ausscheidung des Phosphats rhythmisch. Es ergeben sich für viele Funktionen dann weitere Veränderungen hinsichtlich der Differenz zwischen Maximum und Minimum

und auch hinsichtlich des Zeitpunktes, wann das Maximum und das Minimum zu beobachten sind.

Die zeitliche Verschiebung der Lage eines betrachteten Aktivitätszustandes nennt man Phasenverschiebung. Man nimmt an, daß die Veränderung der Schlafzeiten im Kindesalter eine solche natürliche Phasenverschiebung darstellt. Säuglinge und Kleinkinder sind »Frühaufsteher«, während Schulkinder »Spätaufsteher« werden. Die Untersuchungen hierzu sind noch nicht abgeschlossen.

Insgesamt ist die Kindheit hinsichtlich der zeitlichen Ordnung ein sehr bewegtes Stadium, was natürlich für die Praxis, wie Schule und Gesundheitsbetreuung, große Bedeutung hat.

Prüft man die Rechengeschwindigkeit bei Schulkindern, zeigt sich in den Stunden zwischen 13 und 15 Uhr ein Tiefpunkt. In dieser Zeit ist ein relativ hohes Schlafbedürfnis vorhanden, verbunden mit relativ niedriger Pulsfrequenz. Es ist somit nicht ratsam, zu diesen Stunden Schulunterricht durchzuführen oder die Hausaufgaben anfertigen zu lassen. Ähnliches gilt auch für körperliche Belastungen in dieser Zeit.

Der Abfall der Leistungsfähigkeit in den frühen Nachmittagsstunden ist bei Erwachsenen ebenfalls zu beobachten, hat jedoch nicht die bei jüngeren Kindern festgestellte Deutlichkeit.

Für die gesundheitliche Betreuung von Kindern ist die Labilität der zeitlichen Ordnung einzelner Funktionen besonders im Krankheitsfalle zu berücksichtigen. Gerade durch Krankheit kommt es zu Störungen der zeitlichen Ordnung der biologischen Funktionen, was bei Kindern das Wiederauftreten frühkindlicher Stadien bewirken kann. Die noch un stabile Zeitordnung des kindlichen Organismus ist durch geringere Störungen durcheinanderzubringen als bei einem Erwachsenen. Zu diesen Problemen gibt es jedoch noch viele strittige Fragen. Es könnte die Meinung entstehen, daß die Herausbildung des für den Erwachsenen typischen Tagesganges einzelner Aktivitäten seines Körpers eine allmähliche Anpassung an die Umwelt sei. Wir hatten aber schon auf Versuche hingewiesen, wo man Tiere ausschließlich unter gleichbleibenden Außenbedingungen aufgezogen hat, und sie erreichten trotzdem

die für sie typischen Tagesrhythmen. Die Fähigkeit zur Synchronisation mit den äußeren Zeitgebern ist genetisch angelegt, was in den spezifischen Zeitprogrammen zum Ausdruck kommt.

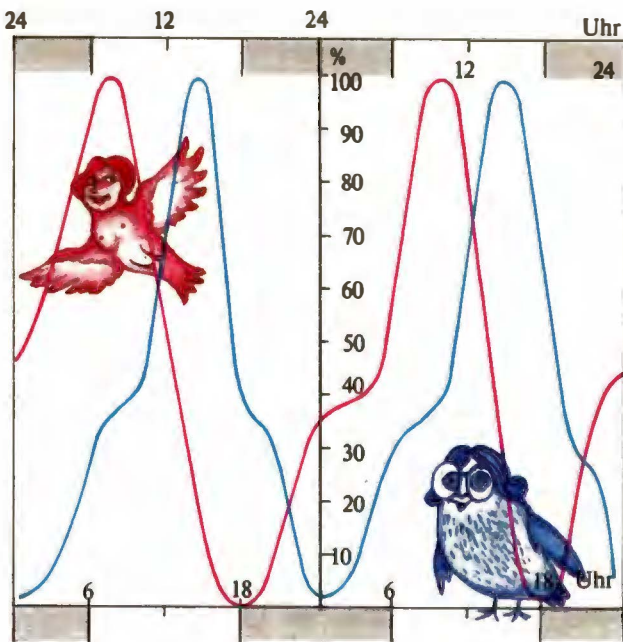
»Eulen« oder »Lerchen«?

Klingelt frühmorgens der Wecker, so vermag der eine nach kurzer Zeit ganz munter aus dem Bett zu springen, während der andere, falls er den Wecker überhaupt hört, lange gegen das Wiedereinschlafen kämpfen muß, ehe er sich überwindet, das Bett zu verlassen. Der erste stürzt sich mit Spannkraft sogleich auf seine Arbeit, der zweite muß sich erst »warnlaufen«. Abends dagegen kehrt sich das Bild um: Der Frühaufsteher fühlt sich nicht mehr »in Form« und strebt der Ruhe zu, der Spätaufsteher aber hat erst jetzt den richtigen Schwung und schafft seine Arbeit spielend.

In der Tat ließ sich an vielen physiologischen und psychologischen Vorgängen die objektive Grundlage dieser Verschiedenheit der Menschen nachweisen, weshalb man eine Einteilung in »Morgentypen« und »Abendtypen« vorgenommen hat. Der Tagesrhythmus erreicht bei den einzelnen Menschen nicht zur gleichen Zeit sein Maximum, bei den Morgentypen sind die Maxima für Körpertemperatur, Blutdruck, geistige Aufnahmefähigkeit u. a. wesentlich früher erreicht als bei den Abendtypen, die ohne Probleme bis 24 Uhr und länger arbeiten können.

Gerade bei geistig intensiver Arbeit fallen die Unterschiede der Leistungsfähigkeit auf. Der Abendtyp bringt am Vormittag kaum ein nennenswertes Resultat aufs Papier, ihm kommen die Ideen abends oder gar nachts, der Morgentyp dagegen hat früh seine stärkste Kombinationsgabe.

Eine Umfrage unter Studenten ergab, daß 25 Prozent reine Morgentypen und 20 Prozent reine Abendtypen waren, während die übrigen keine eindeutigen Angaben machen konnten. Auch für Leistungssportler ist es von Interesse, zu wissen, wann am Tage die Leistungsspitze zu erwarten ist. Bei der Befragung von 30 international führenden Athleten stellte sich heraus, daß 24 von ihnen



Die »Lerchen« unter den Menschen erreichen zeitiger am Tage die Maximalwerte ihres Muskelinnendruckes (rote Kurve) als die »Eulen« (blaue Kurve). Der Muskelinnendruck steht im Zusammenhang mit der motorischen Aktivitätslage.

ihre besten Leistungen abends erzielen, die sechs anderen am Morgen.

Einen interessanten Versuch zum Tagesrhythmus der Körpertemperatur unternahm ein junger Wissenschaftler, der durch tägliche Temperaturmessung im Abstand von einer Stunde zeigen konnte, daß sogar an derselben Person in Abhängigkeit von der Jahreszeit Merkmale von Morgen- und Abendtypen auftreten können. Im Winter lag das Maximum seiner Körpertemperatur bei 15 Uhr, im Sommer bei 20 Uhr. Die Existenz von Morgen- und Abendtypen hat natürlich auch praktische Konsequenzen, worauf wir bei der Besprechung der Schichtarbeit noch zurückkommen werden.

Um nun ohne aufwendige physiologische Untersuchungsmethoden einen Überblick zu gewinnen, wurden von Wissenschaftlern Fragebögen erarbeitet, die durch Punktebewertung der Antwortmöglichkeiten eine ungefähre Zuordnung zum Morgen- oder Abendtypus erlauben. Je spätere Abendstunden jemand zum Schlafen gehen bevorzugt und je später er aufstehen mag, desto strenger ist er dem Abendtyp zuzuordnen. Je früher jemand einen wählbaren Zeitpunkt z. B. für eine Prüfung oder eine sonstige Anspannung legt, desto stärker neigt er dem Morgentyp zu.

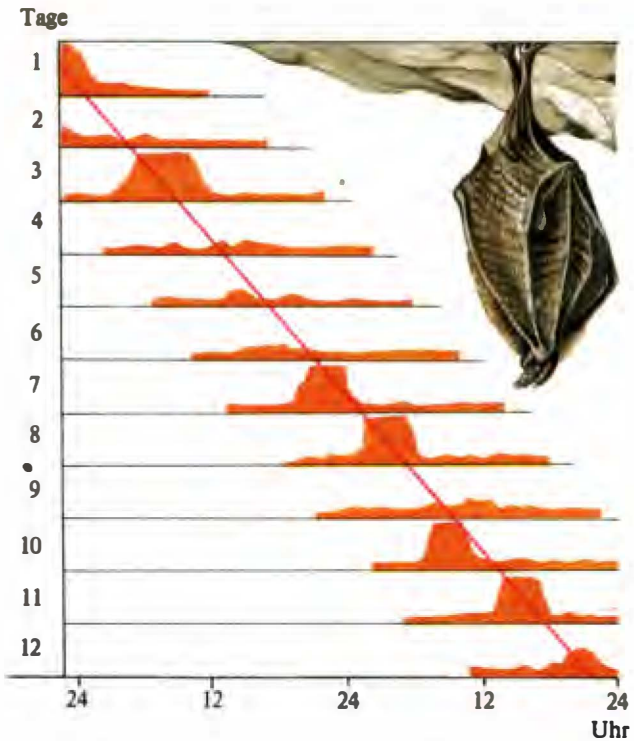
Das subjektive Wachheitsgefühl nach dem Aufstehen kann ebenfalls zur Beurteilung mit herangezogen werden: Morgentypen fühlen sich hellwach, Abendtypen fühlen sich schläfrig.

Nicht alle Menschen lassen sich klar dem einen oder anderen Typ zuordnen, es gibt auch Übergänge. Jeder hat sein Individualmuster der 24-Stunden-Aktivität.

Für die Erfüllung durchschnittlich fordernder Leistungen kann diese Erkenntnis zunächst vernachlässigt werden, mit steigender Anforderung an den Menschen wird sie sicher immer ausschlaggebender. Die größten Leistungen menschlichen Geistes, die uns in wissenschaftlichen Entdeckungen und in Kunstwerken entgegneten, bedürfen maximaler Anspannung des Menschen, der sie hervorbringt, und dies ist nur zu ganz wenigen Zeiten möglich, die individuell unterschiedlich sind.

Auch wer schläft, mißt die Zeit

Begeben sich Mensch und Tier zur täglichen Ruhe, so liegt bereits vorher fest, wann sie wieder erwachen und aktiv werden. Der Schlaf stellt einen im 24-Stunden-Rhythmus gleichmäßig wiederkehrenden Abschnitt der Ruhe dar, der bei den einzelnen Arten unterschiedliche Länge haben kann. Von Rindern und Schafen behauptet man, sie schliefen sehr wenig, die Katze dagegen »verpasse« den ganzen Tag, denn ihre Schlafdauer nimmt fast drei Viertel davon ein; beim Menschen ist es etwa ein Drittel.



Regelmäßig treten bei winterschlafenden Fledermäusen Phasen motorischer Unruhe auf. Sie belegen das Weiterbestehen der Spontanperiodik im Winterschlaf. Die jeden Tag später erfolgende Aktivierung zeigt an, daß eine Spontanperiode länger als 24 Stunden ist.

Die Zeit des Schlafes ist durch deutliche Verminderung der Hirntätigkeit und der gesamten körperlichen Aktivität charakterisiert. Je höher das Nervensystem entwickelt ist, desto mehr spricht man von einem Hirnschlaf. Dieser ist gerade für die warmblütigen Tiere zur Regeneration der gesamten Leistungsfähigkeit unentbehrlich. Die Muskelerholung ist z. B. beim Menschen relativ rasch vollzogen, die tägliche echte Schlafzeit für das Großhirn muß

aber mehrere Stunden betragen. Langdauernder Schlafentzug führt zum Tod, beim Hund schon nach einer Woche.

Echter Schlaf tritt bei den gleichwarmen Tieren (Vögeln und Säugetieren) auf. Der Mensch verliert in dieser Zeit das Bewußtsein, er weiß nichts von Raum und Zeit, und trotzdem erwacht er nach sieben bis acht Stunden.

Viele Menschen sind in der Lage, sich abends vorzunehmen, ohne Wecker morgens zu einer bestimmten Zeit munter zu werden. Das deutet auf die Fähigkeit hin, im Schlaf die Zeit zu messen.

Der Schlaf findet während des niedrigen Niveaus vieler anderer Körperfunktionen statt, denn es ist nicht so, daß Funktionen nur deshalb gedrosselt sind, weil das Tier schläft, sondern weil viele Funktionen aktiv niedrige Werte annehmen, tritt Schlaf ein. Auch ohne Schlaf sind bei Tagtieren in der Nacht, bei Nachttieren am Tage die Atmung und Herztätigkeit vermindert, die Erregbarkeit des Nervensystems, der Muskeltonus u. a. herabgesetzt.

Die benötigte Schlafmenge je 24 Stunden wird in vielen Fällen nicht in einer geschlossenen Schlafperiode realisiert, und wenn eine geschlossene Schlafperiode vorliegt, ist sie durchaus kein gleichförmiger Zustand. Phasen tieferen und Phasen flacheren Schlafes wechseln regelmäßig miteinander ab. Die große 24-Stunden-Schwingung der Intensität der Hirnaktivität wird von Oberschwingungen überlagert, deren nächtlicher Abstand beim Menschen etwa ein bis eineinhalb Stunden beträgt.

Eine Sonderform des »Schlafes« ist der Winterschlaf, worauf wir noch eingehen werden; uns interessiert jetzt nur die Frage, ob in diesem Zustand tiefsten Schlafes bei fehlender Großhirntätigkeit und extrem gesenkter Körpertemperatur noch ein Tagesrhythmus weiterbesteht. Bei Untersuchungen an Igelu wurde gefunden, daß etwa die Hälfte der Tiere während der täglichen Ruhezeit in den Winterschlaf eintreten und in etwa entsprechender Anzahl während der Aktivitätszeit erwachen. In diesem Punkt wäre also kein Hinweis auf das Weiterlaufen der Tagesrhythmik gewonnen. Wie unklar noch einiges in dieser Hinsicht ist, sieht man daran, daß bei anderen Winterschläfern, wie der Birkenmaus oder dem Goldhamster, jedoch ein solcher Zusammenhang gefunden wurde. Win-

terschlafende Fledermäuse wechseln immer nachts, zur Zeit ihrer üblichen Aktivitätsphase, die Schlafplätze. Auch Sauerstoffaufnahme und Körpertemperatur sollen eine minimale 24-Stunden-Periodik aufweisen. Ein starker Hinweis auf das Weiterlaufen der biologischen Uhr im Winterschlaf ist das zeitlich definierte Erwachen am Ende der Schlafperiode.

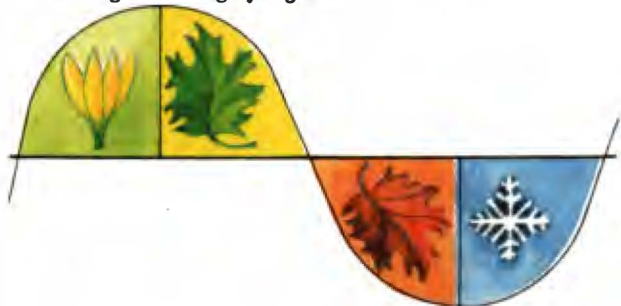
Zusammenfassend wollen wir feststellen, daß der Schlaf in die 24-Stunden-Periodik eingebettet ist und nicht die Zeitmeßvorgänge der rhythmisch ablaufenden Funktionen verhindert. Zeitmessung ist nicht an Bewußtsein gebunden.

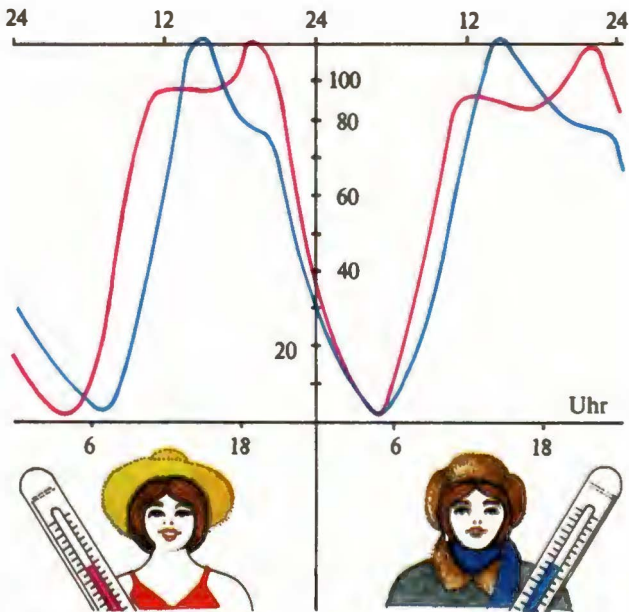
Alle Jahre wieder

Mit steter Regelmäßigkeit folgen in unseren Breiten die vier Jahreszeiten aufeinander. Unterschiedlich hoch steigt die Sonne über den Horizont, und unterschiedlich sind Intensität und Dauer der Lichteinstrahlung im Laufe des Jahres. Der damit verbundene sich regelmäßig wiederholende Wechsel der äußeren klimatischen Bedingungen läßt in den entsprechenden Regionen der Erde nur Leben zu, das ebenfalls jahresrhythmisch organisiert ist. Es ist deshalb neben den Tag-Nacht-Rhythmen (zirkadian) auch von Jahresrhythmen (zirkaannuell) bei Pflanzen und Tieren zu sprechen.

Für die einzelnen Arten gibt es ein »Jahresprogramm«, dessen Ablauf genetisch, also endogen, angelegt ist, wobei es natürlich eine bestimmte Reaktionsbreite gibt. Der

In den mittleren Breitengraden sind die vier Jahreszeiten eine gewohnte Erscheinung, die uns insbesondere durch die Jahresrhythmik der Vegetation augenfällig wird.





Der Tagesrhythmus der Körpertemperatur des Menschen ist in Abhängigkeit von der Jahreszeit etwas verschieden. Im Winter wird das Maximum zeitiger am Tage erreicht als im Sommer.

zirkaannuelle endogene Rhythmus der Organismen ist Voraussetzung für die Erhaltung der Arten; sie sind dadurch auf die gesetzmäßig sich abwechselnden Jahreszeiten rechtzeitig eingestellt. Sowohl für den Tagesrhythmus als auch für den Jahresrhythmus ist das Licht primärer Zeitgeber. Man spricht bei den jahreszeitlich bedingten Änderungen der Lichtzeit von Photoperiode. Diese Änderungen der Lichtzeit sind in der Lage, die zirkaannuellen Rhythmen der Pflanzen und Tiere genau auf das Jahr zu synchronisieren. Wenn das so ist, müssen wir annehmen, daß die Organismen Zeitmeßmechanismen besitzen, mit deren Hilfe sie den Zeitpunkt des Jahres anhand der Tages- oder Nachtlänge feststellen können.

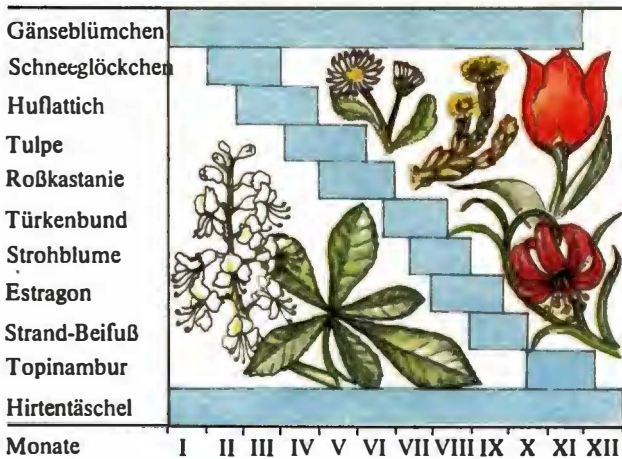
Zimmerpflanzen ohne Blüten

Im Verlaufe eines Jahres beobachtet man immer wieder andere Pflanzenarten, die in voller Blüte stehen, fruchten oder absterben. So spricht man von einem Frühjahrsaspekt und verbindet damit den Gedanken an blühende Buschwindröschen, Leberblümchen, Lungenkraut u. a. Es lassen sich zahlreiche weitere Beispiele aufzählen, wie Pfingstrose, Dahlie, Aster, die als Gartenblumen in ihren Blühzeiten gut in den Jahreslauf eingeordnet werden können. Dasselbe gilt für die Baumblüte oder für die Blühzeiten landwirtschaftlicher Kulturen. Nimmt man ein Pflanzenbestimmungsbuch zur Hand, findet man bei jeder beschriebenen Art eine Angabe über Blühbeginn und -dauer. Alles das trifft für die Gegenden der Erde mit Jahreszeiten zu.

In äquatornahen immerfeuchten Gebieten gibt es keine Jahreszeiten und deshalb auch keine ausgeprägten Blühzeiten zu bestimmten Terminen im Jahr. Der einzelne Baum wirft zwar auch seine Blätter ab und erneuert sie schnell wieder, aber die einzelnen Bäume derselben Art, ja selbst einzelne Äste und Zweige tun das zu unterschiedlicher Zeit des Jahres. Der wesentliche Unterschied zwischen unseren Breiten und den Tropen scheint im Temperaturverlauf zu liegen. Jedoch kann man feststellen, daß die höchsten Sommertemperaturen in unseren Breiten unter Umständen nicht in der Lage sind, Pflanzen der Tropen zum Blühen zu bringen.

Wenn die Temperatur nicht der primäre Faktor für Blühen oder Nichtblühen einer Pflanze ist, so richten sich unsere Gedanken, schlußfolgernd aus den bisher gewonnenen Kenntnissen, auf die Belichtungsverhältnisse. In den äquatornahen Gebieten sind die Tage relativ kurz und gleichmäßig, etwa 12 Stunden Licht wechseln mit 12 Stunden Dunkelheit, wobei der Übergang zwischen beiden sehr rasch vor sich geht. Zur Zeit der Sommersonnenwende ist es in unseren Breiten dagegen mehr als 17 Stunden hell, in nördlichen Ländern noch länger (»weiße Nächte«).



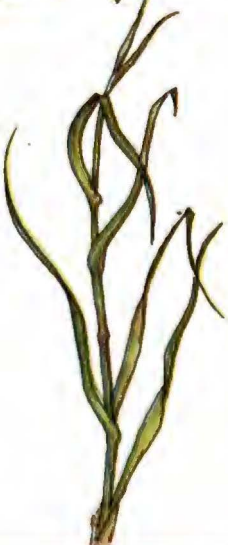

Über die Bedeutung von Tag- und Nachtlänge für das Blühen von Pflanzen wußte man bis zu Beginn unseres



Blühzeiten einiger Pflanzen im Jahreslauf

Jahrhunderts noch nichts. Rund 60 Jahre alt ist die Erkenntnis von der steuernden Rolle der Photoperiode, und sie wurde aus einem ganz praktischen Bedürfnis heraus gewonnen.

Es gab eine Tabaksorte, deren Blätter sehr gut und reichlich wuchsen, aber dort, wo man die Sorte anbaute, gelang es trotz aller Mühe nicht, die Pflanze vor dem Frosteinbruch zur Samenbildung zu bringen, die Blütezeit lag zu spät im Herbst, so daß die Vermehrung dieser guten Sorte hier nicht möglich war. Daran konnte auch die Verschiebung der Pflanztermine nichts ändern. Das Interesse der an reichlichem Ertrag interessierten Farmer forderte die Lösung dieses Problems. Nach zahllosen Versuchen und vielen Mißerfolgen gelang es zwei Forschern dann endlich, nachzuweisen, daß die Länge der Sommertage die Blütenbildung verhinderte und erst eine verkürzte Tageslichtlänge, wie sie im Herbst natürlicherweise eintritt, das Blühen und das Samenansetzen erlaubt. Die Pflanzen, die zum Blühen einen kurzen Lichttag benötigen, nennt man Kurztagspflanzen; eine solche Pflanze ist der genannte Tabak.

Langtagspflanze Tabak		
Kurztagspflanze Hirse		
	Langtag	Kurztag

Langtagspflanzen kommen nur bei langer Tageslichtphase zum Blühen. Im Kurztag, wie er bei uns im Winterhalbjahr herrscht, wachsen sie nur vegetativ. Kurztagspflanzen dagegen müssen relativ kurzen Tagen und langen Nächten ausgesetzt werden, wenn sie zum Blühen kommen sollen.

Pflanzen, die nur im Langtag zum Blühen gelangen, nennt man Langtagspflanzen. Schließlich gibt es auch Pflanzen, die große Unterschiede der Tageslichtdauer tolerieren, also unter allen Bedingungen blühen können.

Diese Erkenntnisse sind von großem theoretischem Wert, da sie ein Beweis für Zeitmeßvorgänge in den Pflanzen sind. Bringt man Kurztagspflanzen im Sommer in ein künstliches Kurztagsregime eines Labors, dann blühen sie wesentlich zeitiger als dem Naturlicht ausgesetzte Pflanzen der gleichen Art. Ein weiterer Beweis für die Messung der Tageslichtdauer ist die Einhaltung der Blühtermine im Naturtag, auch wenn das Aussäen bzw. Pflanzen zu unterschiedlichen Terminen erfolgte. Es läßt sich demnach durch zeitigere Aussaat der Blühbeginn nicht vorverlegen.

In der landwirtschaftlichen oder gärtnerischen Praxis werden diese wissenschaftlichen Erkenntnisse umfassend angewendet. Will man bei einer Kulturpflanze reichlichen Blattansatz erreichen, wird man sie möglichst lange vor dem bekannten Blühtermin aussäen bzw. pflanzen, um möglichst langdauerndes vegetatives Wachstum und reichliche Bestockung zu ermöglichen. Legt man mehr Wert auf Blüten- und Samenbildung, wird man die Pflanztermine dichter an die zu erwartenden Blühtermine legen. Aus diesem Grunde ist es für Landwirtschaft und Gärtnereiwesen sehr wichtig, die günstigsten Aussaattermine einzuhalten, um optimale Ernteergebnisse zu erreichen.

Wird Spinat – eine Langtagspflanze – im Frühjahr ausgesät, erhalten wir die bekannten Blattrosetten, die als vitaminreiche Kost gern verwendet werden. Im Sommer kommt Spinat zum Blühen und zum Samenansatz; dann erfolgt die Gewinnung der Samen für die Aussaat im kommenden Jahr. Im Herbst läßt sich nochmals Spinat anbauen, der nun wieder im Kurztag nur Blattrosetten ausbildet, also nur vegetativ wächst. Auf diese Weise wird durch die Aussaattermine das Ziel bereits festgelegt.

Häufig werden die Erkenntnisse über Lang- und Kurztagspflanzen beim Ziehen von Blumen angewendet. Will man die ursprünglichen Blühtermine beeinflussen, genügt eine Veränderung der Länge der täglichen Belichtungszeit, die auch mit elektrischer Beleuchtung erzielt werden kann.

Man verlegt die Blühtermine von Sommerblumen durch künstlichen Langtag in den Gewächshäusern in den Frühling, man zieht durch Verdunklung Blühtermine von Herbstblumen in den Sommer vor. So gelang es, Astern – typische Herbstblumen – im Sommer nach 36 Tagen Wachstum zum Blühen zu bringen, indem man sie nur sieben Stunden täglich belichtete. Die im Naturlicht stehenden Astern blühten erst nach 122 Tagen.

Ähnliche Untersuchungen führten die Entdecker dieser Gesetzmäßigkeit an der Sommerblume *Cosmea* durch. *Cosmea* blüht normalerweise, wenn die Tage kürzer zu werden beginnen. Hält man *Cosmea* fortlaufend im Langtag, wächst sie monatelang vegetativ, und sie kann dabei bis zu 5 m Höhe gebracht werden, während im Kurztag gehaltene Pflanzen spätestens 60 Tage nach der Aussaat blühten.

Man kann also bei Kulturen, wie Gemüse und Zierpflanzen, die im Gewächshaus gehalten werden, durch Steuerung des Lichtregimes das Wachstum lenken. Jetzt verstehen wir auch, warum manche unserer meist aus den Tropen stammenden Zimmerpflanzen nicht oder nur im Winter blühen: Unsere Sommertage sind zu lang.

Auch in der Züchtungsforschung hat das Problem der Lang- und Kurztagspflanzen große Bedeutung. Die Kreuzung zwischen zwei Pflanzen ist nur möglich, wenn beide gleichzeitig blühen.

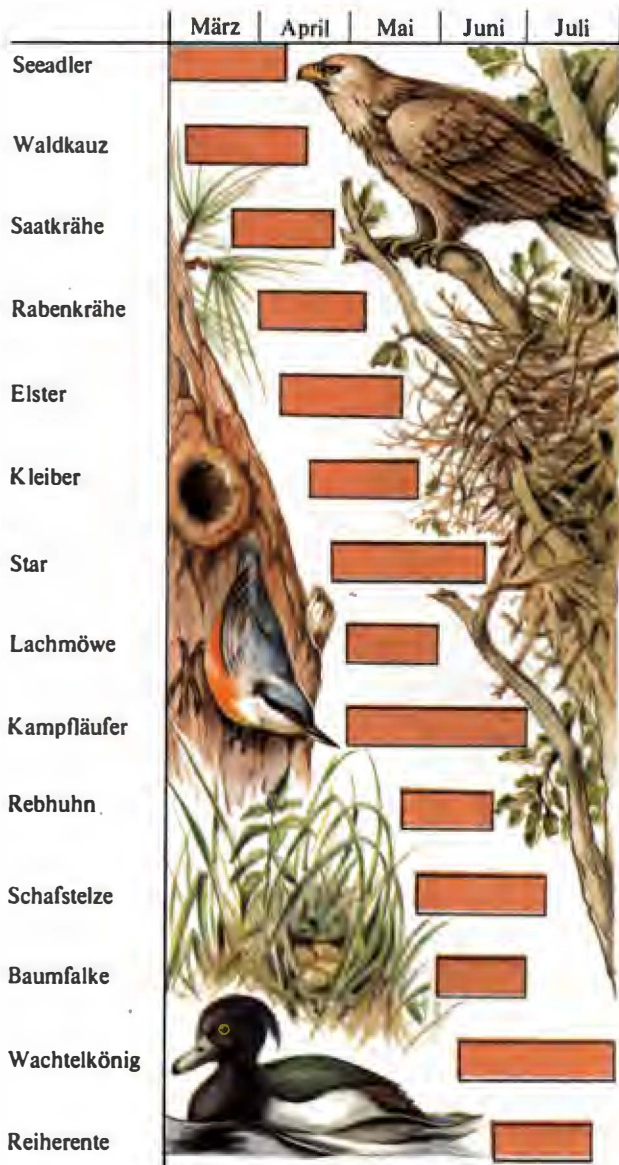
Durch die Anwendung der Erkenntnisse über die Rolle der Tageslichtlänge wurde es möglich, Pflanzen, deren Kreuzung eine gute Kombination von Eigenschaften versprach, die aber wegen unterschiedlicher Blühzeiten bisher nicht gekreuzt werden konnten, zu gleicher Zeit zum Blühen zu bringen.

Schwalbe und Hamster lieben keine Winterkälte

Das Verhalten der Vögel gibt ausreichend Anlaß zu Überlegungen über jahresrhythmische Abläufe im Leben der Tiere. Frühling und Sommer sind gekennzeichnet durch das Brutgeschäft und die Aufzucht der Jungen. Leb-



Die Zugwege der Störche von Europa nach Afrika. Der Storch als guter Segler meidet die großen Wasserflächen.



hafter Vogelgesang erfüllt im Frühling und Frühsommer die typischen Lebensreviere der Vögel. Naht der Herbst, sammeln sich zahlreiche Arten und verlassen unser Gebiet, um in wärmeren Ländern den Winter zu verbringen. Wir charakterisieren sie zur Unterscheidung von den Standvögeln, die jahrüber bei uns bleiben, als Zugvögel. Ein typischer Standvogel unserer Breiten ist der Haussperling, ein typischer Zugvogel ist die Rauchschnalbe. Von einigen Zugvögeln werden in kurzer Zeit enorme Strecken zurückgelegt, um in die Überwinterungsgebiete und zurück zu gelangen. Für einen Regenpfeifer, der an der Nordküste Alaskas brütet, wurde ein Zugweg von 11 000 km festgestellt. Er überwintert in Argentinien. Bei einem Flug über eine solche Strecke bleibt er beim Hinflug zwischen Neuschottland (Nordostamerika) und Guayana (nördliches Südamerika) ständig in der Luft, und zwar 48 Stunden. Auf jede Sekunde entfallen etwa zwei Flügelschläge. Man möge selbst nachrechnen, welche gewaltige Leistung einem solchen Flug zugrunde liegen muß.

Man könnte meinen, das Zugverhalten würde durch schlechter werdende Lebensbedingungen ausgelöst. Dazu im Widerspruch steht jedoch die Beobachtung, daß viele Arten, z. B. der Mauersegler, bereits ziehen, wenn noch recht gute Lebensbedingungen herrschen. Fast unmöglich scheint es, eine Antwort auf die Frage zu finden, woher in Äquatornähe überwinternde Vögel »wissen«, daß bei uns in Mitteleuropa der Frühling beginnt; denn die Tiere brechen dort rechtzeitig auf, obwohl sie nichts von Jahreszeiten merken und die Tageslichtdauern nur gering schwanken. Diese Erscheinung, seit langem vom Menschen beobachtet, versuchte man auf vielfältige Weise zu ergründen.

Die Beringung von Vögeln dient unter anderem dazu, die Zugwege und Zugziele festzustellen. In den letzten Jahren hat man sogar Flugzeuge und Radargeräte eingesetzt, um zur Lösung der Geheimnisse des Vogelzuges beizutragen.

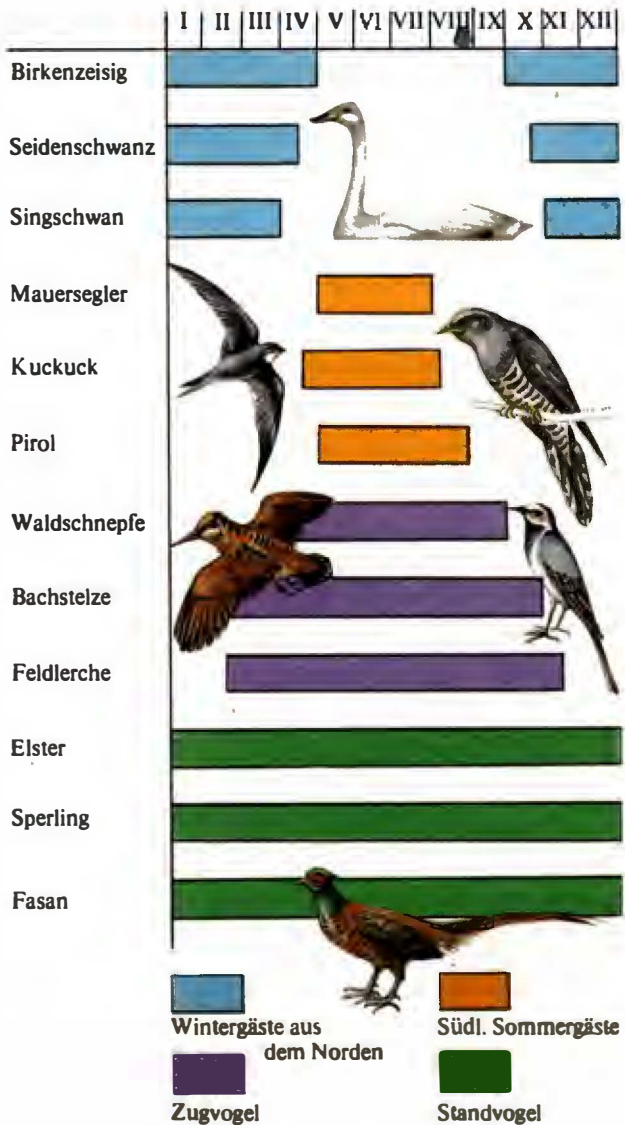
Jede Vogelart hat einen bestimmten Zeitabschnitt im Jahreslauf, der von ihr für das Brutgeschäft benutzt wird.

Auf diese Arbeiten werden wir noch einmal zurückkommen, wenn es darum geht, danach zu fragen, wie sich Tiere in ihrer Umwelt orientieren.

Heute steht fest, daß die Eigenschaft, Zugvogel zu sein, eine erblich bedingte Grundlage hat. Woran läßt sich das beweisen? Bei manchen Arten ziehen zuerst zugunerfahrene Jungvögel, die noch keinen Lernvorgang durchgemacht haben können. Weiterhin ist zu beobachten, daß die Zugvögel *vor* Antritt ihres Fluges im Herbst und im Frühjahr jeweils beträchtliche Fettreserven anlegen, die während des Fluges über Tausende Kilometer als Wegzehrung aufgebraucht werden. Dasselbe gilt für die Steigerung der Geschlechtshormonproduktion im Überwinterungsgebiet zur Vorbereitung auf die Fortpflanzungsperiode im Brutgebiet.

Man kann beobachten, daß die Zugvögel im Spätsommer und Herbst »zugunruhig« werden, sie sammeln sich zum Teil zu Schwärmen von vielen Tausenden Individuen und steuern dann gemeinsam die Flugziele an. Wenn nun aber das Zugverhalten ein endogener Erbmechanismus ist, dann müßte ja die »Zugstimmung«, die mit einer besonders ausgeprägten Bewegungsunruhe verknüpft ist, unter allen Bedingungen zeitgerecht auftreten. Zur Prüfung dieser Annahme hat man Singvögel vom Beginn ihrer Zugunruhe an in einem Käfig gehalten und die gesamte Flugaktivität bis zur Beendigung der Zugunruhe gemessen und addiert. Diese Aktivitätsmenge, in Wegstrecke umgerechnet, die der Vogel bei freiem Fluge etwa zurückgelegt hätte, entsprach tatsächlich der Entfernung von Mitteleuropa bis ins Überwinterungsgebiet in Mittelfrika.

Man hat auch den umgekehrten Weg beschritten: Singvögel wurden zu Beginn der Zugunruhe im Flugzeug von Mitteleuropa nach Afrika transportiert. Dort endete die Zugunruhe jedoch nicht, sondern blieb in einer Menge und Dauer erhalten, wie sie dem Zugweg entsprach, der hätte zurückgelegt werden müssen. Die zuletzt geschilderten Untersuchungen bestätigen, daß in den Tieren ein Zeitprogramm abläuft (und ein Orientierungsprogramm), das sich in einem ganz bestimmten Verhalten äußert. Wenn sich die Zugvögel in ihren Überwinterungsgebieten – für unseren Kontinent ist das häufig Afrika, für den amerika-



Welche Vögel können wir wann bei uns beobachten?

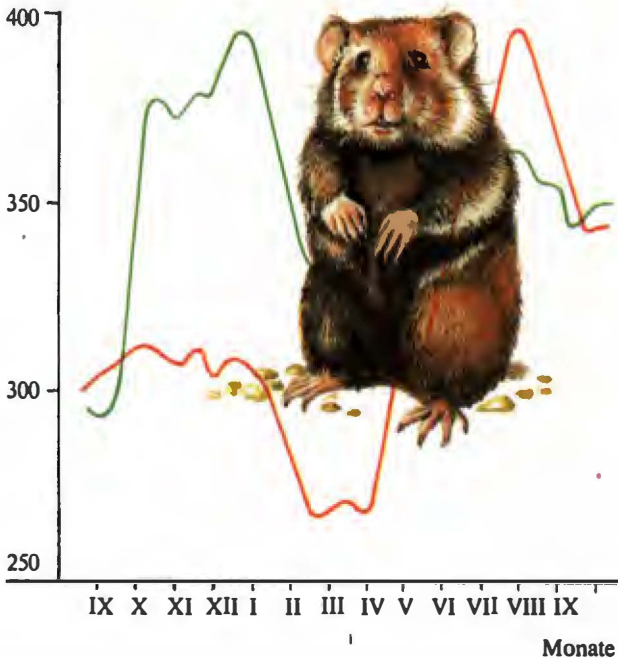
nischen Norden Südamerika – aufhalten, befinden sich zunächst die Gonaden in einem Ruhezustand, Produktion von Sexualhormonen ist nicht festzustellen. Zur Zeit, da bei uns der Winter seinem Ende entgegengeht, steigert sich allmählich die Sexualhormonproduktion der überwinterten Vögel, und wie vor dem Abflug im Herbst beginnt wieder die Fettspeicherung. Treffen dann die Vögel im Frühjahr in ihrem Brutgebiet ein, sind die Fettreserven verbraucht, die Gonaden fast funktionstüchtig. Die Balz, das Brutgeschäft und die Aufzucht der Jungen schließen sich an.

Der Jahreslauf kann auch bei Vögeln beobachtet werden, die unser Gebiet im Winter nicht verlassen. Äußerlich gut erkennbar ist der Wechsel des Federkleides, die Mauser, die einmal zeitig im Jahre zur Anlegung des sogenannten Brutkleides führen kann, das gerade bei den männlichen Tieren sehr farbenprächtig ist. Wem ist nicht das Brutkleid des Stockentenerpels bekannt oder die wunderbare Farbzeichnung des Stars. Die zweite Mauser schließt sich an das Ende der Brutperiode an. Im Ruhekleid ist die äußere Erscheinung viel unauffälliger, man spricht deshalb auch vom Schlichtkleid.

Wie bei den Pflanzen ist auch bei den bisher daraufhin untersuchten Tieren das Verhältnis von täglicher Licht- zu Dunkelzeit im Jahreslauf der entscheidende Zeitgeber für die in einigen Beispielen genannten Jahresrhythmen. Schon bei der Beschreibung des Tagesrhythmus der Maus haben wir gezeigt, daß es natürlich auch hier nicht möglich ist, durch Lichtänderungen beliebiger Art willkürlich in einen solchen Jahresrhythmus einzugreifen. Derartige Änderungen haben nur einen Sinn, wenn sie in sogenannten sensiblen Abschnitten des Jahresrhythmus, der sich auch hierdurch als endogen erweist, vorgenommen werden. Verlängert man z. B. die Lichtdauer, nachdem die Periode der Gonadenaktivität eines Vogels gerade beendet ist, führt das nicht zum unmittelbaren Wiederanstieg der Geschlechtshormonproduktion. Behält man jedoch lange Tageslichtdauern nach der Sommersonnenwende bei, also ehe die Hormonproduktion reduziert wird, bleiben Eier- und Spermienproduktion erhalten.

Diese Zusammenhänge sind nicht nur von theoretischem

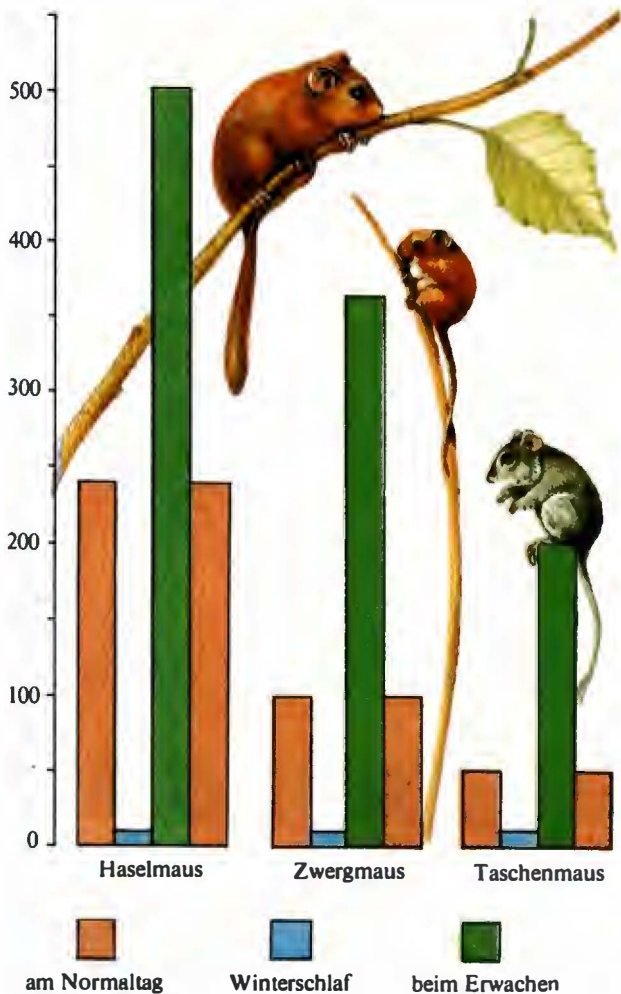
Körpergewicht
in Gramm



Die Gewichtsveränderung von Feldhamstern im Laufe des Jahres. Sowohl Tiere in gleichbleibend kalter Umgebung als auch solche in warmer Umgebung zeigen diese Veränderungen.

Interesse, sondern enthalten für die Landwirtschaft wesentliche Schlußfolgerungen, die z. B. eine Steuerung der Eiproduktion ermöglichen. Und es ist ja letztlich ein Ziel der menschlichen Tätigkeit, die Naturgesetze sinnvoll zu nutzen und anzuwenden.

Ziehen viele Vögel im Herbst über Tausende Kilometer zur Südhalbkugel, um dem fliehenden Sommer hinterherzueilen, so haben die ebenfalls warmblütigen Säugetiere keine so gute Möglichkeit, den ungünstigen Witterungsbedingungen zu entgehen. Die Natur schlug hier einen anderen, nicht weniger interessanten Weg ein. Eine Reihe



Im Winterschlaf sinkt die Atemfrequenz (Atemzüge je Minute) der Winterschläfer beträchtlich im Vergleich zum Wachzustand. Beim Erwachen aus dem Winterschlaf kommt es vorübergehend zu einer enormen Stoffwechselaktivierung.

von Säugetierarten kann in Winterschlaf verfallen, gewissermaßen die Winterszeit »verschlafen«. Einige davon, wie Hamster, Igel, Murmeltier, Siebenschläfer, Fledermäuse, sind allgemein bekannt.

Dieser Winterschlaf ist kein gewöhnlicher Schlaf, sondern es vollziehen sich bedeutende Veränderungen der Organfunktionen, wobei die wichtigste wohl die aktive Senkung der Körpertemperatur um etwa 30°C ist. Wir haben bereits erwähnt, daß chemische Prozesse in Abhängigkeit von der Temperatur verschieden rasch ablaufen. Senkt man die Temperatur um 10°C, so verlangsamt sich eine chemische Reaktion um das Zwei- bis Dreifache. Wenden wir diese Erkenntnis auf den Organismus des Winterschläfers an, so verstehen wir den Vorteil der Körpertemperatursenkung: Es werden alle Stoffwechselprozesse enorm verlangsamt, und damit sinkt der Energiebedarf bedeutend. Die Winterschläfer setzen in Vorbereitung auf den Winterschlaf Fettpolster an, die ihnen als Energielieferanten während dieser Zeit dienen werden. Es handelt sich auch hier um einen endogen angelegten Mechanismus: Hamster nehmen den ganzen Sommer hindurch stetig zu, und das auch unter gleichbleibenden äußeren Bedingungen. Im Vergleich zum Frühjahrswert kann das Gewicht um 25 Prozent steigen.

Wenn die Zeit des Winterschlafes herankommt, haben manche Tierarten in unterirdischen Bauen Nahrungsvorräte angelegt, von denen sie zehren, wenn sie zwischen einzelnen Schlafperioden wach sind, denn nicht alle schlafen wochenlang wie das Murmeltier oder der Igel. Der Hamster wacht jeweils nach wenigen Tagen des Winterschlafes auf, d. h., er erhöht durch aktive endogene Regelmechanismen seine Körpertemperatur, nimmt Nahrung zu sich, gibt Stoffwechselprodukte ab und beginnt eine neue Schlafperiode.

Das Eintreten in den Winterschlaf geschieht in mehreren Etappen. Im Ruheschlaf sinkt die Körpertemperatur jeden Tag tiefer ab. Anfangs erfolgt zur Aktivitätszeit, die z. B. beim Hamster abends und nachts liegt, eine Wiedererwärmung, bis schließlich in einer darauffolgenden Ruhephase die Temperatur unter einen kritischen Wert absinkt. Die Aufrechterhaltung der Winterschlaftemperatur

von wenigen Grad über Null (bei Fledermäusen sogar teilweise unter 0°C) ist ein aktiver Regelvorgang.

Das im Gehirn gelegene Regelzentrum für die Körpertemperatur ist die »Kommandozentrale« für die Einstellung der erforderlichen Bluttemperatur, indem es Sollwerte vorgibt. Über die Tätigkeit verschiedener Organe wird dann das Blut erwärmt oder abgekühlt, wie es der vorgegebene Wert verlangt. Dieses Regelzentrum bleibt im tiefen Winterschlaf genauso aktiv wie die Zentren für Atmung und Blutkreislauf. Sinkt die Umgebungstemperatur unter die Körpertemperatur des scheinbar leblosen Winterschläfers, so erfolgt Stoffwechselaktivierung oder sogar Erwachen, um ein Einfrieren zu vermeiden.

Die Einschränkung der Stoffwechselfvorgänge im Winterschlaf können wir indirekt z. B. an der Atemfrequenz erkennen. Eine wache Haselmaus macht etwa 240 Atemzüge in einer Minute, im Winterschlaf atmet sie bei 5°C Körpertemperatur im Mittel nur etwa zehnmal in derselben Zeit. Mißt man die Herzfrequenz eines Igels im Sommer, dann erhält man für eine Minute etwa 170 Kontraktionen. Derselbe Igel weist im Winterschlaf bei 4°C Körpertemperatur lediglich zwei Herzschläge je Minute auf.

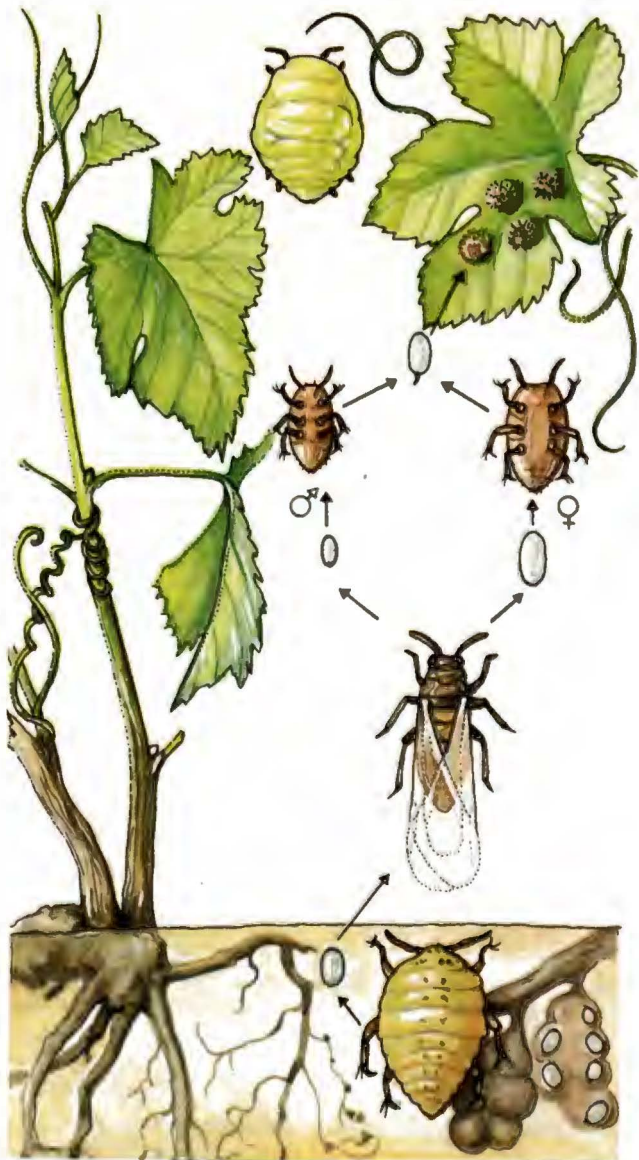
Das Wiedererwärmen und die Rückkehr in den Wachzustand gehen in Abhängigkeit von der Tiergröße innerhalb weniger Stunden vor sich und stellen einen dramatischen Vorgang dar. Die Erwärmung der vorderen Körperhälfte geht rascher vonstatten, der Stoffwechsel steigt enorm an, es wird zur Wiedererwärmung richtig »eingeheizt«. Gerade hieran läßt sich zeigen, daß ein aktiver Regelvorgang zugrunde liegt, denn die Stoffwechselintensivierung beim Erwachen, die man durch Messungen des Sauerstoffverbrauches nachweisen kann, führt zu bedeutend größerem Stoffumsatz als bei der höheren Normaltemperatur.

Registriert man die Hirnströme eines erwachenden Winterschläfers, so wird man z. B. im Großhirn zunächst Ruhe vorfinden. Bei Temperaturen über 10°C beginnt beim Hamster allmählich die Tätigkeit der Hirnrinde, was wir an der zunehmenden Frequenz der registrierten Wellen erkennen. Die menschliche Hirnrinde benötigt wesentlich höhere Temperaturen, um aktiv sein zu können.

Frühlingszeit – Hochzeitszeit

Die Paarungszeit vieler Tiere ist das Frühjahr; das Ablegen der Eier und das Brüten bzw. die Tragezeit und im Anschluß daran das Heranwachsen der Jungen können somit unter günstigen Umweltbedingungen im Sommer und bis in den Herbst hinein erfolgen. In vielen Fällen wurde bereits nachgewiesen, daß die Tageslänge für den Beginn der Fortpflanzungsperiode entscheidend ist. Die Geschlechtspartner müssen zur gleichen Zeit fortpflanzungsbereit sein, so daß ein Außenfaktor, wie das Licht, für die Realisierung dieser Synchronisation hervorragend geeignet ist. Gibt es keine zeitliche Abstimmung zwischen Männchen und Weibchen, ist der Fortbestand der Art äußerst gefährdet, wenn nicht gar unmöglich. Gibt z. B. das Froschweibchen seine Eier ins Wasser ab, so muß unmittelbar darauf das Sperma des Männchens die Eier befruchten. Schlüpft die Eintagsfliege, so muß sofort der fortpflanzungsbereite Geschlechtspartner zur Verfügung stehen, denn nur wenige Stunden bis Tage lebt das geschlechtsreife Tier.

Insbesondere von Insekten wissen wir, daß eine Fortpflanzungsperiode innerhalb eines Jahreszyklus die mehrfache Zeugung von Nachkommen einschließen kann. Das bedeutet, daß vom Beginn der Fortpflanzungsperiode an unter Umständen viele Generationen von Nachkommen vom gleichen Elternpaar hervorgebracht werden. Eine Bienenkönigin, die während des sogenannten Hochzeitsfluges im Frühjahr begattet wurde, legt in ihren vier bis fünf Lebensjahren etwa 500 000 Eier ab, täglich manchmal 2 000. Um das zu schaffen, muß sie von Arbeitsbienen fast pausenlos gefüttert werden. Auch Ameisenköniginnen sind im Verlaufe ihrer jährlichen »Legeperioden« im Frühjahr und Sommer äußerst produktiv. Der Samenvorrat, der während des Hochzeitsfluges dem Weibchen zugeführt wurde, reicht für das gesamte Leben, das bei der Roten Waldameise bis zu 20 Jahre betragen kann. Für die Überwinterung legen sowohl Ameisen als auch Bienen Futterreserven an, ähnlich wie es von den Winterschläfern bekannt ist. Erntet der Imker den Honigvorrat der Bienen, muß er »Ersatzfutter« geben. Eine erstaunliche Methode,



»Futternvorräte« anzulegen, stellen die »Honigtöpfe« dar. Der Hinterleib einiger Arbeiterinnen von Ameisenarten, die in amerikanischen Trockengebieten leben, ist durch Honigfüllung enorm vergrößert. Dieser Vorrat wird in den alljährlichen langen Trockenzeiten allmählich von den übrigen Ameisen aufgebraucht.

Einen Jahresrhythmus ganz besonderer Art findet man bei Blattläusen. Die Reblaus lebt an Weinstöcken und entwickelt sich als Blattlaus im Frühjahr aus den Eiern, die unter der Rinde des Weinstockes überwintert haben. Die Blattläuse wiederum legen unbefruchtete Eier, aus denen sich wieder solche Blattläuse oder Wurzelläuse entwickeln. Diese Formen schädigen die Wirtspflanze, besonders bei einer Massenvermehrung. Werden die Tage kürzer, legen die Blattläuse Eier, aus denen geflügelte Tiere entstehen, die durch ihre Beweglichkeit die Art verbreiten und wiederum Eier legen, und aus diesen schlüpfen Männchen und Weibchen. Männliche und weibliche Tiere paaren sich. Das Weibchen legt nur ein Ei, das unter der Rinde des Rebstockes abgelegt wird und überwintert. Den Ruhezustand nennt man Diapause.

Ganz bescheiden nehmen sich – im Vergleich zu Insekten oder bestimmten Wirbeltieren (Fische) – die Zahlen erzeugter Nachkommen bei warmblütigen Tieren aus, wobei wir natürlich berücksichtigen, daß bei weitem nicht alle Individuen, die z. B. bei den Insekten gezeugt werden, bis zur Geschlechtsreife gelangen. Es ist zu beobachten, daß mit zunehmender Chance einer Erhaltung des Individuums bis zur Geschlechtsreife die Anzahl der gezeugten Nachkommen geringer werden kann.

Die Fortpflanzungsperiode ist im Jahreslauf durch eine bestimmte Hormonkonstellation gekennzeichnet. Voraussetzung für die Fortpflanzung ist das Reifen der Gonaden unter dem Einfluß von Geschlechtshormonen. Die Gonaden können wiederum selbst Geschlechtshormone produzieren. Diese rufen Veränderungen im Verhalten der Tiere hervor, wodurch letztlich die Paarung und Fortpflanzung ermöglicht wird. Dazu gehören unter anderem die Verminderung der Individualdistanz zwischen

Männchen und Weibchen, Lautäußerungen (Vogelgesang, Röhren der Hirsche), Kampfhandlungen zwischen Männchen. Aber auch morphologische Merkmale, wie das Hochzeitskleid bei Vögeln oder das Geweih der Hirsche, sind alljährlich hervorgebrachte äußere Zeichen der Geschlechtshormonproduktion.

Es ließ sich an vielen Tieren im Experiment zeigen, daß die Zeiten geschlechtlicher Aktivität auch unter konstanten Umweltbedingungen gesetzmäßig mit solchen geschlechtlicher Inaktivität abwechseln, was auf den endogenen Charakter dieser Jahresperiodik hinweist.

Bei vielen Wirbeltieren läuft das Fortpflanzungsprogramm der Paarung, Befruchtung der Eizellen und der sich sofort anschließenden Entwicklung des Keimlings bis zum Schlüpfen bzw. der Geburt der Nachkommen ohne Unterbrechung ab. Schon vom zeitigen Frühjahr an ist allerorten die Paarbildung zu beobachten, wobei die Paarbindung von längerer oder nur sehr geringer Dauer sein kann.

Eine Besonderheit im Fortpflanzungsrythmus einiger Säugetiere ist das zum Teil starke zeitliche Auseinanderklaffen zwischen Begattung, Befruchtung, Eieinnistung und Embryonalentwicklung. Einen solchen zeitweise unterbrochenen Fortpflanzungsrythmus findet man beim Reh, der im Sommer mit der Paarung (Blattzeit) beginnt. Bis zum Jahresende bleibt die Entwicklung des befruchteten Eies im Anfangsstadium stehen, und erst dann wächst der Embryo bis zur Geburt des Kitzes im Mai ununterbrochen heran.

Etwas Ähnliches ist bei der Pelzrobbe zu beobachten. Dieses ans Wasserleben angepaßte Säugetier geht im Sommer zur Geburt der Jungen und der sich gleich danach vollziehenden erneuten Paarung an Land. Das befruchtete Ei nistet sich jedoch erst einige Monate später in der Gebärmutterwand ein, so daß nach einer Entwicklungszeit von acht Monaten die Geburt des nächsten Jungen zum gleichen Zeitpunkt im kommenden Sommer stattfinden kann. Eine so genaue Zeitplanabstimmung ist nur möglich, wenn hier eine endogene Komponente zumindest mitwirkt.

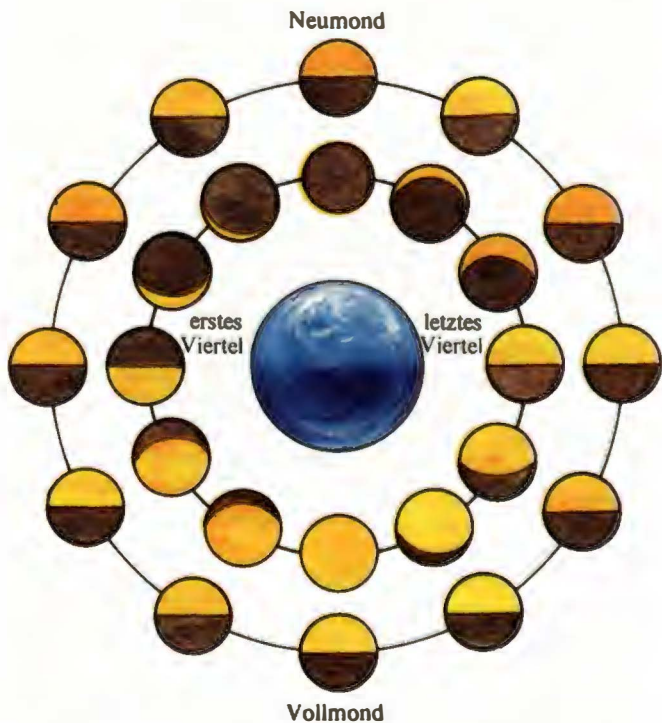
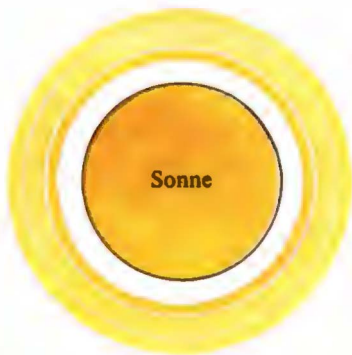


Die Entwicklung des Wasserfrosches als Metamorphose über die kiemenatmende Kaulquappe zum lungenatmenden schwanzlosen Frosch

Zwischen Sichel und Vollmond

Der auffallendste Himmelskörper nach der Sonne ist für uns auf der Erde der Mond, der in 24 Stunden und 50 Minuten einmal die Erde umkreist. Er besitzt wie alle bekannten Himmelskörper ein Gravitationsfeld, und seine Anziehungskräfte wirken bis auf unsere Erde, was – im Verein mit der Anziehungskraft der Sonne und der Fliehkraft auf der Erde – zur Entstehung von Ebbe und Flut in den Weltmeeren führt. Diese Gezeiten stellen in den betroffenen Gebieten an die Lebewesen besondere Anforderungen, zumal der Gezeitenrhythmus vom Tag-Nacht-Rhythmus abweicht. Gelegentlich ist aber auch von Einflüssen des Mondes auf das Wetter die Rede. Manche »Bauernregeln« beispielsweise behaupten das. In »Leben wir unter kosmischen Einflüssen?« schreibt Dr. Friedemann dazu: »Ein Beispiel dieser Art ist etwa die Regel, wonach im Winter bei Vollmond mit starkem Frost zu rechnen ist. Tatsächlich sinken in klaren Vollmondnächten im Winter die Temperaturen vor allem über Schneeflächen stark ab. Daran ist aber nicht der Vollmond schuld, sondern die fehlende Wolkendecke, die sonst die Wärmeabstrahlung vom Erdboden in den Weltraum vermindert. Der Mond hat also ursächlich mit der starken Abkühlung nichts zu tun. Er signalisiert uns nur in anschaulicher Weise, daß wir wolkenlosen Himmel haben.«

Die Mondphasen, die im Laufe eines Mondmonats von der Erde aus gesehen werden (innerer Kreis). Das stets gleichmäßig von der Sonne beschienene Teilstück des Mondes (äußerer Kreis) ist für uns infolge der Mondbahn um die Erde unterschiedlich sichtbar.



Im Wechsel der Gezeiten

Fischer und Seefahrer an den Küsten der Weltmeere sind darauf eingestellt, daß stundenweise weite Küstenstreifen durch das zurückweichende Meer freigelegt und einige Stunden später wieder von einer mehr oder weniger hohen Flutwelle überspült werden. An der atlantischen Küste Frankreichs betragen die gezeitenabhängigen Wasserstandsunterschiede etwa 11 m.

Zahlreiche Pflanzen und Tiere leben in der Gezeitenzone der Weltmeere, es ist ihr Biotop. Ein Überleben ist dort nur möglich, wenn der Aktivitätsrhythmus auf Ebbe und Flut eingerichtet ist. Die Periodenlänge des Gezeitenrhythmus ist jedoch geringfügig länger als der durch die Erdumdrehung gegebene 24-Stunden-Tag.

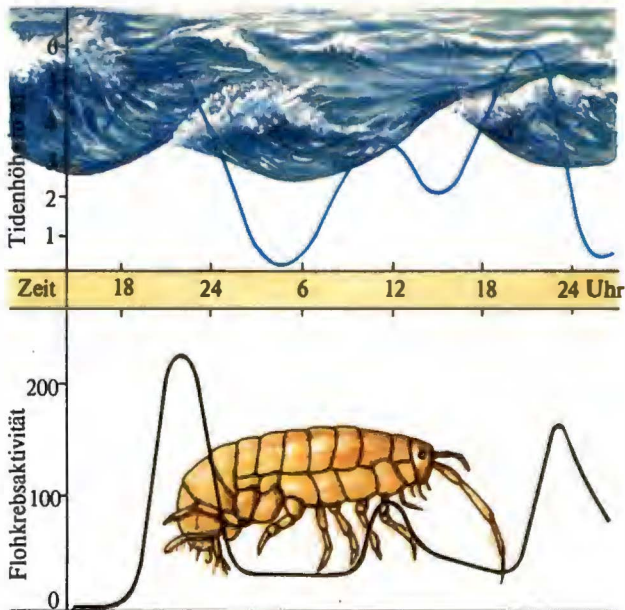
In der Gezeitenzone sind Ebbe und Flut die ökologisch wichtigsten Faktoren für die Existenz dort lebender Organismen. Sie fungieren als primärer Zeitgeber.

Der Wechsel von Feuchtigkeit und Trockenheit sowie die starke Wasserbewegung stellen hohe Anforderungen an die Pflanzen und Tiere. Algen müssen die relativ starke Austrocknung während der Ebbe überstehen und außerdem besondere Verankerungsmöglichkeiten entwickeln. Tiere müssen sich, wenn sie nicht im zurückweichenden Wasser bleiben, bei Ebbe in den Schlick eingraben. Es ließ sich zeigen, daß Bewegungsaktivität und Atmungsintensität dieser Tiere, wie verschiedener Würmer, Krebse und Muscheln, während der Ebbe deutlich abnehmen. Bei einigen Arten konnte das Weiterbestehen dieses Rhythmus auch im Labor unter konstanten Bedingungen nachgewiesen werden.

Die bei Ebbe freiliegenden Küstenstreifen werden von vielen Vögeln zur Nahrungssuche bevölkert, denn der Individuenreichtum der Schlickküste ist bemerkenswert.

Durch den Gezeitenrhythmus gesteuert, werden Eiabgabe und Larvenschlupf der meisten Meerestiere dieser Region während der Flut vollzogen, dagegen kann die Befruchtung bei Pflanzen in der Regel nur während der Ebbe erfolgen.

Es ist erstaunlich, wie genau die Aktivität vieler Organis-



Flohkrebse zeigen im Labor eine Rhythmik der Schwimmaktivität, die annähernd synchron zur Rhythmik des Wasserstandes bei Ebbe und Flut in ihrem ehemaligen Biotop ist.

men auf Ebbe und Flut synchronisiert ist. Und dieser dem Gezeitenverlauf entsprechende Aktivitätsrhythmus wird auch unter Laborbedingungen aufrechterhalten.

Nicht weniger interessant sind Beobachtungen über rhythmische Vorgänge bei Pflanzen und Tieren, die mit dem Mondmonat von 29,53 Tagen zusammenhängen. Bei bestimmten Meeresalgen konnte man nachweisen, daß die Geschlechtsprodukte, die der Vermehrung der Algen dienen, in Abhängigkeit vom Mondlicht nur alle 14 Tage ins Wasser abgegeben werden und dann innerhalb kurzer Zeit (1 Stunde).

Bei einer Mücke, *Clunio marinus*, konnte ein mit dem Mondmonat übereinstimmender Schlüpfrythmus entdeckt werden. Am Abend nach Neumond und nach Voll-

mond schlüpfen sie während der Ebbe in großen Mengen. Sie paaren sich am Strand, die Weibchen legen die Eier ab, und damit ist ihr Lebenslauf erfüllt. Diese Rhythmik bleibt auch im Labor erhalten. Die zeitliche Abstimmung über den Mondmonat schafft die Voraussetzung für das Zusammentreffen der Geschlechter, er ist Zeitgeber.

Fast unglaublich erscheinen die Berichte über den Palolowurm (*Eunice viridis*), der in den Korallenriffen der Südsee lebt. Er ist ein Ringelwurm (Annelid), ein Verwandter unseres Regenwurmes. Im Oktober/November reifen die Geschlechtsprodukte heran und füllen den gesamten hinteren Teil des Wurmes aus. Zu Beginn des letzten Mondviertels löst sich dieser Teil vom Palolowurm ab und bildet in den Küstengewässern der Südseeinseln durch Eigenbeweglichkeit Schwärme aus, die von den Bewohnern mit Körben und Netzen massenhaft aus dem Wasser geschöpft werden. Es schließt sich ein großes Festessen an; frisch oder gebacken werden die Geschlechtsprodukte verzehrt. Der Termin für dieses Fest wird genau vorausbestimmt, aus der Erfahrung kennt man den Zusammenhang mit der Mondphase. Ähnliches gilt für verwandte Arten in anderen Teilen der Weltmeere.

Alle genannten Vorgänge deuten auf endogene Verankerung einer Zeitspanne mit der Dauer eines Mondtages oder eines Mondmonats hin, und da diese Rhythmik auch ohne das Mondlicht erhalten bleibt, sind die Wirkungen des Magnetfeldes in Betracht zu ziehen.

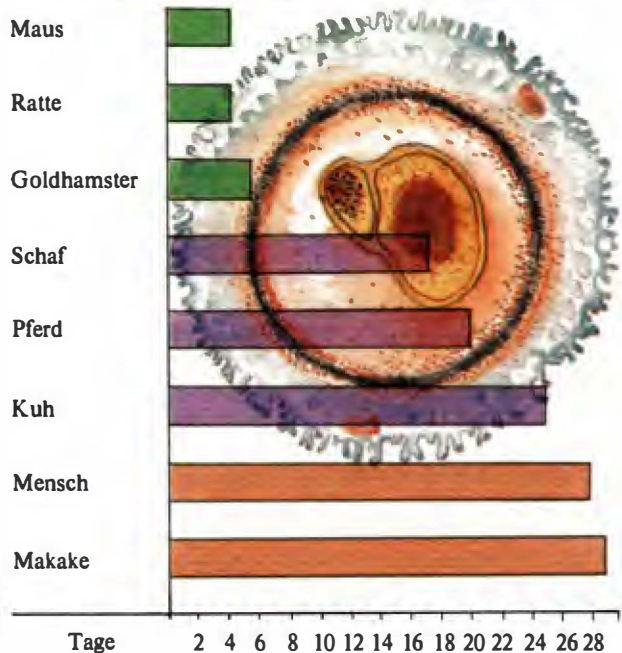
Wir wissen bereits, daß das Licht ein entscheidender Faktor für die rhythmischen Lebensprozesse ist, und so wird auch vorstellbar, daß Mondlicht in diesem Sinne wirksam werden kann. Tatsächlich bleiben in mond hellen Nächten dämmerungsaktive Tiere länger als sonst in Bewegung, nachtaktive dagegen kommen später zum Vorschein. Der Mond als Spiegel des Sonnenlichts »hintergeht« also die Rotation der Erde, bringt eine Verlängerung des »Tages«, wenn auch mit wesentlich geringerer Leuchstärke.

Menschen unter Mondeinfluß?

Der Glaube an Wirkungen des Mondes auf den Menschen ist viele Jahrhunderte alt. Uns ist das Wort »mondsüchtig« als Bezeichnung für einen Menschen, der bei Vollmond im Schlafe auf dem Dachfirst seines Hauses wandelt, durchaus geläufig. Zunehmend beschäftigt sich die Wissenschaft mit der Frage nach dem realen Kern solcher und ähnlicher Erscheinungen. Gibt es überhaupt nachweisbare Einflüsse des Mondes auf Funktionen des menschlichen Organismus?

Ein vielfach untersuchtes Phänomen ist der mögliche Zusammenhang zwischen Mondmonat und dem endogen angelegten Rhythmus der Eireifung bei der Frau. Die

Die Länge des Eireifungszyklus verschiedener Säugetierarten, die mehrmals im Jahr befruchtungsfähige Eier bilden



annähernde Übereinstimmung von Menstruationszyklus und Mondmonat mit etwa 28 Tagen gab Anregung zu entsprechenden Analysen. Es fanden sich Autoren, die aus umfangreichem Datenmaterial eine Häufung des Menstruationsbeginns während der Neumond- oder der Vollmondphase ablesen konnten, während andere Forscher keine Regelmäßigkeit eines Zusammenhanges feststellten.

Bedenkt man, welche Vielfalt von Eireifungszyklen bei polyöstrischen Säugetieren (Laborratte: 4 Tage Periodendauer; Rind: 21 Tage) vorkommen, so scheint es ziemlich unwahrscheinlich, daß gerade beim Menschen dieser Zyklus mit dem Mondmonat synchronisiert ist.

Auch andere Lebensvorgänge des Menschen wurden hinsichtlich einer Mondbeeinflussung untersucht, so die Harnsäureausscheidung, die Hellempfindlichkeit des Auges, Geburten- und Sterbehäufigkeit sowie Krankheitsverläufe.

In der Tat gibt es ernst zu nehmende Untersuchungen über den Rhythmus der Harnsäureausscheidung und Messungen über die mondmonatsabhängige Veränderung der spektralen Hellempfindlichkeit des menschlichen Auges. Es ändert sich das Farbsehen in der Weise, daß um die Zeit des Neumondes die Empfindlichkeit zum blauen Bereich verschoben ist, zur Zeit des Vollmondes zum roten, also dem längerwelligen Bereich des sichtbaren Spektrums.

Über die Verteilung der Geburten- bzw. der Sterbehäufigkeit liegen umfassende, einander zum Teil widersprechende Angaben vor, weshalb wir nur mit Vorsicht darauf hinweisen wollen.

Insgesamt läßt sich feststellen, daß der Einfluß des Mondmonats von 29,53 Tagen auf Funktionen des menschlichen Organismus durchaus zu vermuten ist, daß jedoch zur Zeit – unter anderem auf Grund der Schwierigkeit, einwandfreies Datenmaterial zu gewinnen – schlüssige Aussagen noch nicht möglich sind. Ein Faktor hierbei ist z. B. die Problematik des zeitlich ähnlichen Verlaufs der Sonnenrotation, denn die Dauer einer Rotation beträgt etwa 27 Tage, ist also nur wenig kürzer als die Dauer des Mondmonats.

Von den Zeitgrenzen des Lebens

Biologische Rhythmen im Tausendstel-Sekunden-Bereich, wie die Nervenimpulse, und solche von vieljähriger Dauer, wie die »Lebenslängen«-Perioden eines Lindenbaumes, sind Ausdruck der Vielfalt der in der belebten Natur herrschenden zeitlich geordneten Abläufe. Die Schlagfolge des Herzens der Wirbeltiere und wirbelloser Tiere ist so unterschiedlich, daß es schwer vorstellbar ist, mit welcher geophysikalischen Schwingung sie abgestimmt sein sollte. Ähnliches ist über die Lebensdauer eines Individuums zu sagen, die in ihrer Wiederholung von Generation zu Generation ebenfalls als ein Rhythmus angesehen werden kann. Auch für die mehrjährigen Schwankungen der Tieranzahlen einer Art in ihren Lebensräumen, wie wir sie von Mäusen oder Insekten kennen, scheint es keine geophysikalischen eindeutigen Bezugsgrößen zu geben.

Elf Jahre sind eine lange Zeit

Die terrestrischen und extraterrestrischen physikalischen Bedingungen sind die entscheidenden Voraussetzungen für biologische Existenzformen, wobei ohne den Mond das irdische Leben wohl denkbar wäre, ohne die Sonne aber nicht. Sie liefert beständig einen Energiestrom gewaltigen Ausmaßes, auf seiner Grundlage sind die energiereichen organischen Strukturen auf der Erde entstanden.

Im 17. Jahrhundert beschäftigte man sich in Europa erstmals wissenschaftlich mit der Veränderlichkeit der Sonne selbst. Galilei beobachtete die Sonnenflecken. Heute weiß man, daß sich Intensität und Ausdehnung der

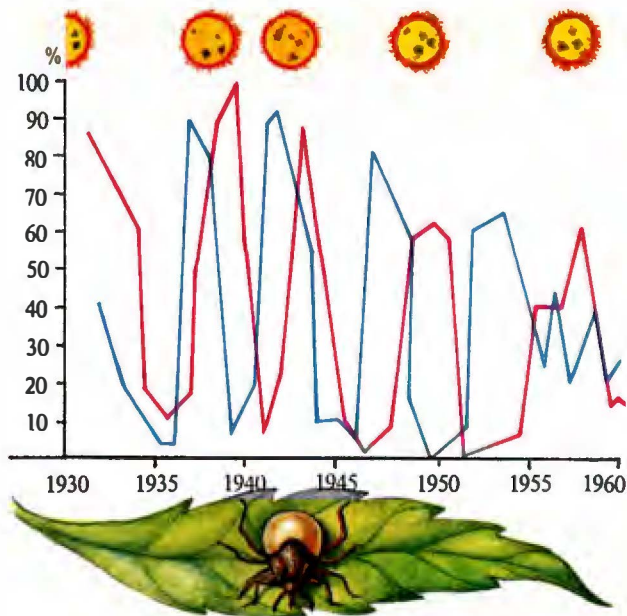
Sonnenflecken periodisch ändern, wobei die Abstände zwischen zwei Aktivitätsmaxima im Mittel etwa elf Jahre betragen. Energieumsetzungen großen Ausmaßes spielen sich dabei auf der Sonne ab. Die Gebiete der Sonnenflecken, die den Durchmesser der Erde annehmen können, haben eine geringere Temperatur als die hellere Umgebung und besitzen ein Magnetfeld, das 1000mal stärker als das normale Sonnenmagnetfeld sein kann. Sonneneruptionen, die in der Umgebung der Sonnenflecken stattfinden, führen zu starker Strahlung mit erhöhten Anteilen von UV- und Röntgenstrahlung.

Bei starker Sonnenfleckenaktivität treten heftige und häufig wechselnde Extreme der Naturerscheinungen auf der Erde auf. Schon vor mehr als 100 Jahren entdeckte man Zusammenhänge zwischen Häufigkeit und Stärke von Erdbeben, Magnetstürmen, Polarlichtern, Temperaturschwankungen in der Luft, Stürmen und Niederschlägen und der Anzahl der Sonnenflecken. Daß die von der Sonne ausgehenden gewaltigen Kräfte nicht nur im Bereich der unbelebten Natur durch Änderung der erdmagnetischen und atmosphärischen Bedingungen wirksam werden, ist eine ganz natürliche Schlußfolgerung.¹

Beim Blick in Ökosysteme wird deutlich, daß insbesondere die Lebenszyklen relativ kurzlebiger Arten mit möglichen Massenvermehrungen unter diesen ursprünglich solaren Einflüssen stehen. Wanderheuschrecken gelten noch heute als die gefürchtetsten Schädlinge der Landwirtschaft warmer Länder. Die weltweit auftretenden Massenplagen haben einen der Sonnenaktivität entsprechenden etwa elfjährigen Rhythmus. In den Jahren der größten Massenvermehrung ziehen die Tiere zu Millionen in Schwärmen über das Land und fressen alles kahl.

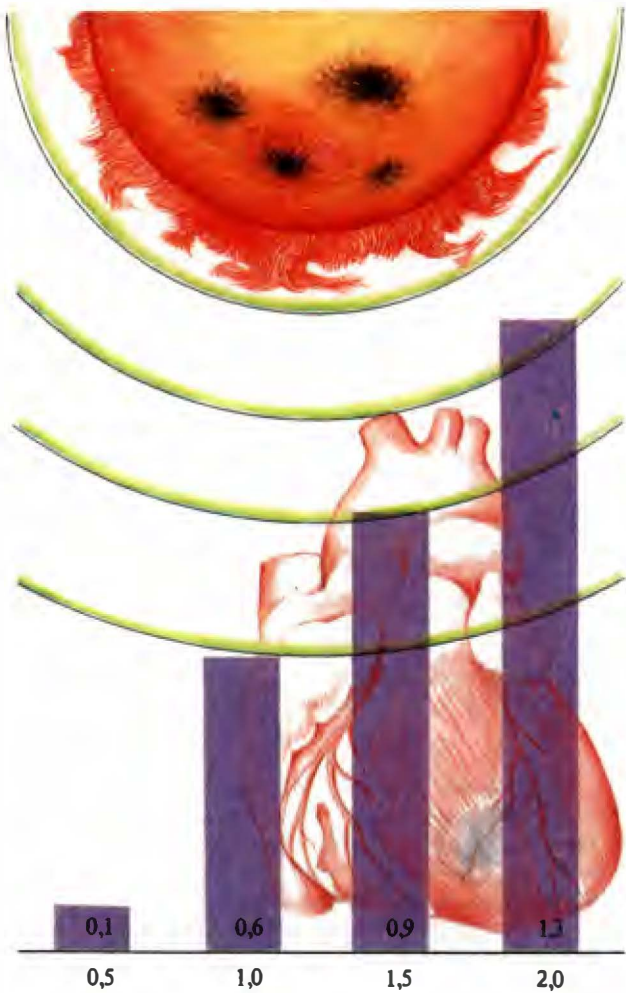
Der Rhythmus des Massenauftretens von Dorsch und Hering läßt sich ebenfalls mit dem Sonnenaktivitätsrhythmus in Beziehung setzen. Die Analyse des Massenwechsels von Nagetieren führt zu ähnlichen Ergebnissen. Eine interessante Beobachtung wurde aus dem Fernen Osten

¹ Vgl. Christian Friedemann: *Leben wir unter kosmischen Einflüssen? akzent-Reihe, Bd. 20, Leipzig 1978*



Intensität der Sonnenfleckenaktivität (rote Kurve) und Häufigkeit der von Zecken verursachten Hirnhautentzündung beim Menschen (blaue Kurve) über einen Zeitraum von 30 Jahren

der Sowjetunion mitgeteilt. 1956, einem Jahr hoher Sonnenaktivität, hatte eine immense Vermehrung der Eichhörnchen stattgefunden. Nach einer Überschwemmung im Amurgebiet wanderten diese nach Norden; bis zu 300 Eichhörnchen je Stunde durchquerten die Siedlungen. Diese unaufhaltsame Wanderung in unwirtliche Gebiete führte zu einem Massensterben der Tiere. Die Eichhörnchen waren von Zecken befallen, die auch auf den Menschen übergingen. Die Zecken wiederum enthielten zahlreiche Enzephalitisviren, die Erreger der für den Menschen gefährlichen Zeckenzephalitis. In jahrzehntelangen systematischen Untersuchungen konnte gefunden werden, daß diese Viren zu Zeiten hoher Sonnenfleckenaktivität ein Vermehrungs- und Vitalitätsmaximum erreichen.



Der Zeitpunkt des Eintritts von Herzinfarkten ist vom Einfluß der Sonne auf die Erde abhängig. Magnetstürme führen zu verstärkter Teilchenstrahlung, die ein bis zwei Tage nach ihrem Ausbruch die Erde erreichen. Bei Vervielfachung der Teilchenmenge im Vergleich zu ruhiger Sonne kommt es zu einer Erhöhung der Infarktfälle auf das Dreizehnfache der Werte, die bei ruhiger Sonne eintreten.

Nicht nur die Enzephalitisviren weisen eine sonnenabhängige Periodik auf, auch bei anderen Krankheitserregern ist das der Fall. Weltweite Grippeepidemien, von denen wir noch die von 1957 und 1968 gut in Erinnerung haben, sind ein Ausdruck dieser Tatsache.

Die bekannteste Erscheinung der Wirkung der rhythmischen Sonnenaktivitätsveränderungen im Pflanzenreich ist wohl die unterschiedliche Breite der Jahresringe an Baumstämmen. Die Jahre hoher Sonnenfleckenaktivität werden durch breite Ringe, also schnellen Holzwuchs, die Jahre geringer Aktivität durch schmale Ringe widergespiegelt. Auch an fossilen Stämmen ist eine solche Periodik nachweisbar.

Die Veränderungen der solaren Einflüsse auf die Erde zeigen sich auch an Funktionen des menschlichen Organismus. Hierzu gibt es bereits eine Anzahl interessanter Daten.

Die Sonnenaktivität schwankt nicht nur im (etwa) Elf-Jahres-Rhythmus, sondern auch in kürzerem Abstand. Man hat in Frankreich mehrere hunderttausend plötzlicher Todesfälle an Herzinfarkt und Schlaganfall mit den Daten über die Sonnenaktivität verglichen. Die größte Sterblichkeit ergab sich an den Tagen stärkster Veränderung der Sonnenfleckenaktivität, zu dieser Zeit lag die Anzahl der Todesfälle 11- bis 16mal höher als bei ruhiger Sonne. Bei unruhiger Sonne ist die Empfindlichkeit im Bereich des Nervensystems erhöht, was durch die Zunahme der Anfallshäufigkeit bei bestimmten Nervenerkrankungen belegt ist.

Nachweisbar ist also, daß die Sonne durch die periodische Änderung ihrer Magnet- und Strahlungsbedingungen rhythmische Lebensprozesse beeinflusst. Die Gewinnung verlässlicher Daten erfordert jedoch sehr zeitaufwendige Untersuchungen.

Aus dem gegenwärtigen Stand der Erkenntnis heraus ist die Frage nach der Zeitgeberwirkung der Sonnenaktivitätsänderungen zu bejahen, jedoch ist ungeklärt, inwiefern eine endogene Komponente in den Organismen vorhanden ist. Der Rhythmus der Sonnenfleckenaktivität hat nämlich einen sehr großen Schwankungsbereich, die Abstände der Maxima liegen zwischen 7 und 17 Jahren. Eines aber ist

gewiß, daß in den kommenden Jahrzehnten, unter anderem auch durch die Raumfahrt, interessante Ergebnisse auch auf diesem Gebiet zu erwarten sind.

1 000 Schwingungen in einer Sekunde

Die Herztätigkeit ist ein rhythmischer Vorgang, bei dem durch ein Zentrum (Sinusknoten) im Herzen regelmäßig elektrische Impulse erzeugt werden, die den Herzmuskel zur Kontraktion anregen. Dadurch wird das Blut in die Arterien gepumpt. Nach jeder Kontraktion folgt eine Erschlaffung des Herzmuskels. Dieser Vorgang wiederholt sich beim Menschen in jeder Minute 60- bis 80mal, das ganze Leben hindurch. Bei manchen Tieren ist die Anzahl der Herzkontraktionen in einer Minute viel höher, das Herz einer Maus schlägt etwa 400mal, das eines Kolibris bis zu 1 000mal pro Minute.

Die Herztätigkeit spüren wir am Herzschlag und am Puls, wir können aber auch die elektrischen Vorgänge – wir bezeichnen ihre Meßwerte als EKG (Elektrokardiogramm) – erfassen. Das Erstaunlichste des Herzrhythmus ist, daß er auch erhalten bleibt, wenn das Herz aus dem Körper herausgelöst und in körperähnlicher Flüssigkeit aufbewahrt wird.

Beobachten wir uns weiter: Etwa 15mal in einer Minute atmen wir ein und aus. Die Frequenz dieses Rhythmus kann genau wie die des Herzens den Leistungsanforderungen des Körpers angepaßt werden. Atmung und Herzschlag sind zwei Rhythmen, die miteinander eng verbunden sind. Über die Atmung wird der Sauerstoff bereitgestellt, der mit dem Blut zu den einzelnen Organen transportiert wird, andererseits wird mit dem Blut das Kohlendioxid aus den Organen abtransportiert und über die Lunge nach außen abgegeben.

Innerhalb unseres Körpers spielen sich noch mehr verschiedenartige Vorgänge kurzer Periodendauer ab. Jede Nervenzelle, unser ganzes Nervensystem, arbeitet rhythmisch. Alle Umwelteindrücke, die über ein Sinnesorgan empfangen werden, pflanzen sich als bioelektrische Impulse im Nervensystem fort. Ein einzelner Impuls dauert

nur ca. eine Tausendstelsekunde. Viele solcher Impulse ergeben Meldungen über die Vielfalt unserer Umwelt und über den Zustand des eigenen Körpers. In Abhängigkeit von der Reizstärke können bis zu 1000 Impulse in einer Sekunde gebildet werden.

Das Gehirn stellt eine Ansammlung gewaltiger Mengen von Nervenzellen dar, allein die Großhirnrinde enthält etwa $16 \cdot 10^9$. Die räumliche und zeitliche Ordnung des Gehirns des Menschen stellt die höchstentwickelte Form der Materie dar: Sie ermöglicht uns die Selbsterkennung.

Die Tätigkeit des Gehirns, die in der zeitlich geordneten rhythmischen Aktivität wechselnder Anzahlen von Nervenzellen erfassbar ist, gibt auf Grund ihrer Kompliziertheit der Forschung noch bedeutende Rätsel auf.

Legt man Metallelektroden auf die Kopfhaut, so können mit sehr empfindlichen Meßgeräten die elektrischen Spannungsänderungen, die bei der Hirntätigkeit entstehen, registriert werden. Wir nennen diese Aufzeichnungen Elektroenzephalogramm (EEG). Das, was wir äußerlich messen, ist die Aktivität der Großhirnrinde. Will man Rhythmen anderer Gehirnteile registrieren, muß man die Elektroden in die Schädelkapsel einführen. Das ist nur an Versuchstieren oder bei Operationen möglich.

Die elektrische Tätigkeit der Hirnrinde ist für die verschiedenen Aktivitätszustände charakteristisch, wobei solche Oberflächenmessungen natürlich nicht die Aktionspotentiale einzelner Nervenzellen, sondern die Summe vieler erfassen. Bei Aufmerksamkeit der Versuchspersonen sind die Hirnrhythmen schnell (etwa 18 Wellen je Sekunde), doch schon das Schließen der Augen bewirkt eine Verlangsamung des Rhythmus und eine Erhöhung der Wellen, so wie es bei Schläfrigkeit der Fall ist. Bei tiefem Schlaf messen wir nur zwei bis drei Wellen je Sekunde.

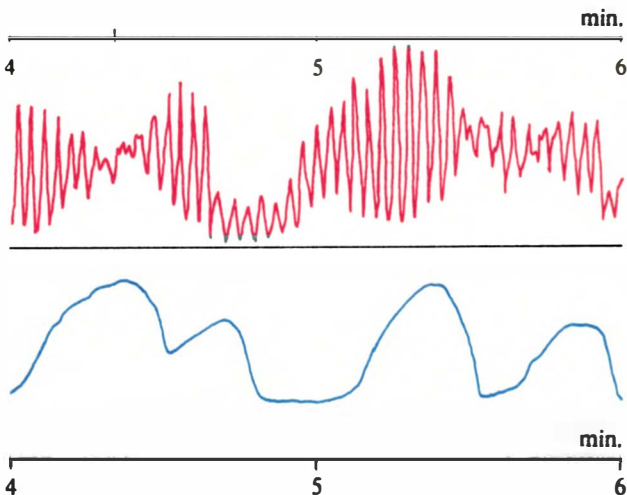
Auch während unserer nächtlichen Träume ist ein typisches Hirnstrombild feststellbar. Seltsamerweise erinnert es an das EEG des Wachzustandes. Deshalb heißt diese Phase der Hirntätigkeit paradoxer Schlaf. Sie ist durch lebhaftere Hirntätigkeit, aber auch durch weitgehende Unempfindlichkeit für Außenreize gekennzeichnet. Diese Erscheinung ist nicht nur vom Menschen bekannt, auch Hunde und Katzen zeigen sie.

Bei Erkrankungen des Gehirns (z. B. epileptische Anfälle oder Tumor) sind starke Abweichungen der rhythmischen Ordnung der Gehirnströme meßbar.

Die Aufzeichnungen der Herz- und Hirnrhythmen sind einige der Beispiele dafür, daß aus Rhythmusstörungen auf den Funktionszustand der entsprechenden Organe geschlossen wird. In Zukunft werden besonders für medizinische Belange entsprechende Analysen auch für andere Lebensvorgänge herangezogen werden.

Wir hatten festgestellt, daß das Herz bei den Tieren eine selbständig funktionierende rhythmische Tätigkeit ausführt, die jedoch vom Körper beeinflusbar ist. Dies ist zur Anpassung an unterschiedliche Leistungsanforderungen notwendig. Ähnliche Zusammenhänge finden wir im Verdauungskanal. Der Darm kontrahiert rhythmisch, der Nahrungsbrei wird durchmischt und transportiert. Das beobachten wir an einem Wasserfloh genauso wie am Menschen. Entnimmt man einem Versuchstier, z. B. einer

Aus einem Tierorganismus herausgelöste Darmabschnitte (von der Laborratte) kontrahieren in körperwarmer Nährlösung automatisch rhythmisch weiter. Dünndarm (oben) und Dickdarm (unten)

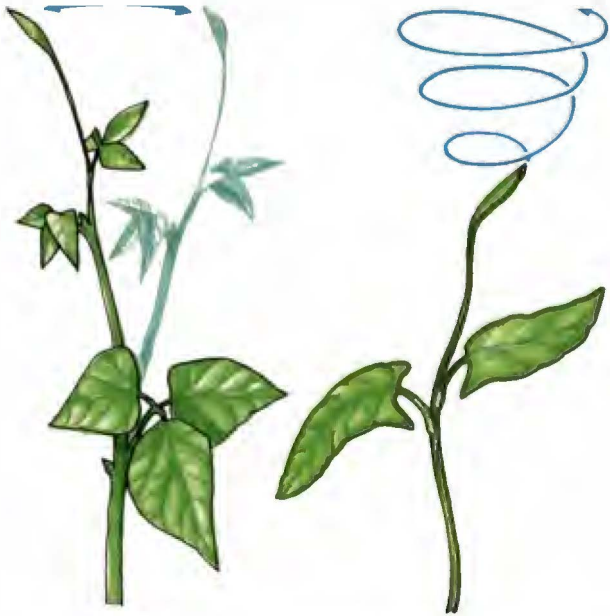


Laborratte, sofort nach dem Abtöten ein Darmstück und bringt es in eine Nährlösung, so kontrahiert es stundenlang weiter, Dünndarmstücke verkürzen sich in einer Minute etwa 25mal, Dickdarmstücke nur 5mal. Außer Verkürzungen in Längsrichtung gibt es auch Quereinschnürungen. Sogar die Stärke der Kontraktionen verändert sich rhythmisch. Es soll nicht unerwähnt bleiben, daß isolierte Darmstücke in Abhängigkeit von der Tageszeit ihre Frequenz ändern. Der Rattendünndarm kontrahiert nachts schneller als am Tage: Die Darmwand selbst enthält die Taktgeber für diese Rhythmen. Durch Einflüsse aus dem zentralen Nervensystem wird im Organismus diese Tätigkeit allerdings weiter modifiziert. Solche Einflüsse können einerseits in Abhängigkeit vom Tagesgang der Aktivität des zentralen Nervensystems erfolgen, andererseits aber auch zufälliger aktueller Natur sein, z. B. bei Schreck, Angst oder Freude.

Ein spezieller Teil des Verdauungssystems ist der Magen. Seine rhythmischen Kontraktionen werden uns am ehesten bewußt, wenn wir Hunger haben. Und Hungergefühl stellt sich wiederum rhythmisch ein. Der etwa 4-Stunden-Abstand zwischen zwei Mahlzeiten, den wir als angenehm empfinden, geht auf die natürlichen Zeitabläufe der Verdauung zurück. Bei sehr kleinen Säugetieren muß der Nahrungsaufnahmerhythmus bedeutend kürzer sein, da für die Aufrechterhaltung der hohen Körpertemperatur wesentlich mehr Energie erzeugt werden muß als bei großen Säugetieren. Die kleinsten Vögel der Erde, die Kolibris, müssen in der Nacht sogar ihre Körpertemperatur senken, damit ihr Energieverbrauch vermindert wird, andernfalls würden sie in ihrer notwendigen Ruhezeit verhungern.

Kurzdauernde Rhythmen sind nicht auf Tiere beschränkt. Blätter von Pflanzen bewegen sich sowohl im 24-Stunden-Rhythmus als auch in kürzeren Abständen, wobei diese der 24-Stunden-Rhythmik untergeordnet sind. Man nennt solche Blattbewegungen Nebenschwingungen.

Bohnenblätter führen Bewegungen mit einer Periodenlänge von zwei bis drei Stunden aus. Der Blattstiel von Mimosen verändert etwa alle 40 Minuten seine Stellung.



Nickbewegungen der Bohnenpflanze während des Wachstums

Bei Rankenpflanzen kreisen die jungen Ranken so lange, bis sie eine Stütze gefunden haben, um die sie sich herumranken. Diese kreisenden Suchbewegungen erfolgen bei verschiedenen Arten unterschiedlich schnell. Ein Umlauf kann 40 Minuten bis mehrere Stunden dauern. Eine entsprechende Rhythmik liegt bei den Windepflanzen (z. B. Stangenbohne oder Hopfen) vor, wo sich der gesamte Sproß um eine Stütze windet. Der Durchmesser des Kreises, den die Sproßspitze des Hopfens dabei beschreibt, kann 50cm betragen. Eine einzige Kreisbewegung dauert einige Stunden, die Zaunwicke benötigt weniger als zwei Stunden dafür. Noch schneller bewegen sich Blättchen einer indischen Kleeart, des Wandelklee, nur zwei bis drei Minuten dauert hier eine Periode. Diese Schwingungen erfolgen ohne äußeren Anlaß. Sie sind mit elektrischen Ladungsveränderungen an der Pflanzen-

zellmembran verbunden, die man durchaus mit den Nervenimpulsen bei Tieren vergleichen kann. Die elektrische Ladung an Zellwänden von Süßwasser- und Landpflanzen beträgt zwischen 100 und 150 Millivolt; an einer Nervenzelle mißt man vergleichsweise etwa 90 Millivolt. Allerdings sind die rhythmischen Veränderungen der elektrischen Ladung bei Pflanzen meist nicht so stark ausgeprägt wie bei Tieren.

Auch den Bewegungen einzelliger Organismen liegen solche Vorgänge zugrunde.

Manche Dorfteiche sind zeitweise ganz grün von der Unmasse darin lebender Flagellaten, von denen die Art *Euglena viridissima* am bekanntesten ist. Ihre Geißel führt unablässig rhythmische Bewegungen aus, wodurch die einzellige Alge, um ihre eigene Achse rotierend, vorwärtsgetrieben wird. Auch Bewegungsumkehr und Vergrößerung bzw. Verringerung der Frequenz ist möglich, das bedeutet, daß dieser Kurzzeitrhythmus in der Lage ist, auf Umweltreize zu reagieren.

Ein umfassendes System möglicher Periodendauern ist noch nicht gefunden worden. Ein eventueller Zeitgeber in der unbelebten Natur könnte das periodisch sich ändernde Magnetfeld unserer Erde sein.

Wie lange läuft die Uhr des Lebens?

Sprechen wir von einem alten Menschen, so haben wir eine ganz bestimmte Vorstellung über sein Aussehen und über wesentliche Züge seines Verhaltens. Genauso können wir Aussagen über den jugendlichen Menschen machen.

Das Leben des Menschen, von seiner Entwicklung im Mutterleib über die Geburt, das Säuglings- und Kindesalter, Jugendstadium, Erwachsenen- und Greisenalter bis zum Tod, vollzieht sich in einer gesetzmäßigen Aufeinanderfolge der einzelnen Lebensabschnitte. Generation für Generation wiederholen sie sich, so daß wir auch hier von einer Rhythmik sprechen können. Ein Individualleben entspricht einer Periode.

Ein Menschenleben dauert heute etwa 70 Jahre, es ist gleichsam wie ein Uhrwerk, das, einmal aufgezogen, ab-

läuft und nach bestimmter Zeit stehenbleibt, wenn nicht unvorhergesehene Störungen den Gang der »Uhr« vorzeitig abbrechen.

Unterschiedlich lange läuft die Uhr des Lebens bei den einzelnen Lebewesen. Die Eintagsfliege lebt ihrem Namen gemäß nur einen bis wenige Tage als ausgewachsenes Tier, sie besitzt gar keinen Darm und kann keine Nahrung zu sich nehmen. Nur die Fortpflanzung wird vollzogen, dann stirbt sie. Ein einzelnes Bakterium gar hat noch geringere Lebensdauer, ist andererseits jedoch »unsterblich«, denn aus einem Bakterium entstehen durch Teilung zwei Bakterien und aus diesen vier und so fort, eine endlos scheinende Kette. Die Rekordhalter in ihrem individuellen Dasein sind jedoch höhere Pflanzen. Bäume mit einem Alter von mehreren hundert Jahren sind gar nicht so selten, und sogar 1 000jährige soll es geben. Das Alter von Bäumen in Gebieten mit jahreszeitlich wechselndem Klima kann man ziemlich genau an den Jahresringen erkennen. Auch Klimaschwankungen vergangener Jahrzehnte und zum Teil Jahrhunderte sind daran ablesbar.

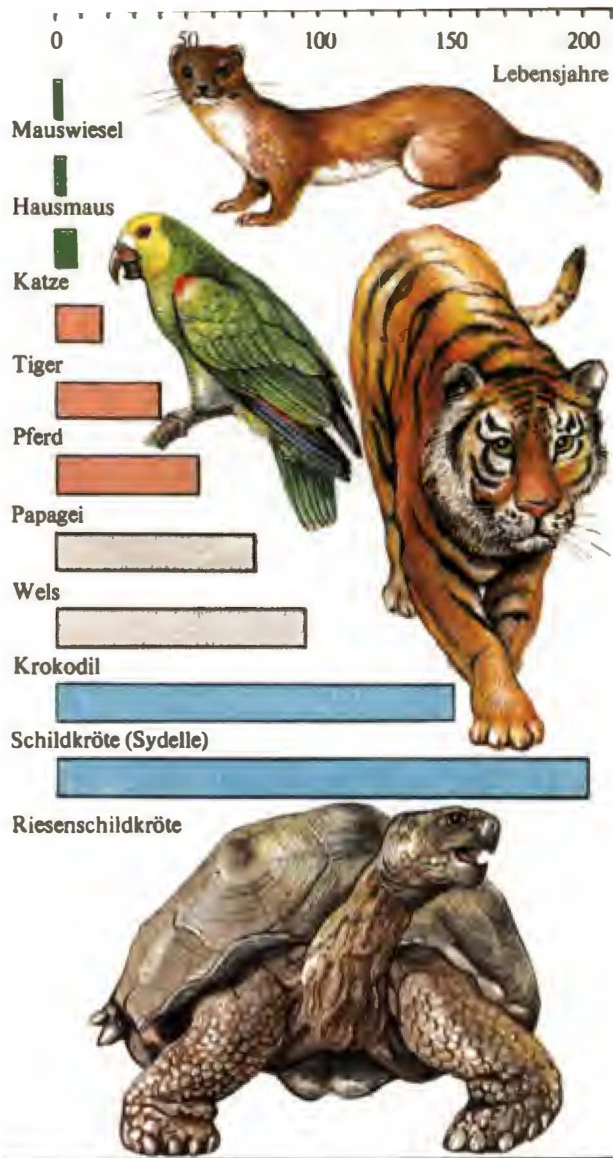
Im Verlaufe eines Individualzyklus, wie wir den Ablauf eines Lebens bei einem Tier oder einer Pflanze nennen, spielen sich zum Teil ganz erhebliche Gestalts- und Funktionsveränderungen ab. Betrachten wir den Wasserfrosch. Er gehört zu der Gruppe der Wirbeltiere, die uns in ihrem Individualleben zeigen, wie etwa der Übergang vom Wasser- zum Landleben einst vor sich gegangen sein könnte. Wenn sich die Frösche im Frühling im Wasser paaren, geben die Weibchen den Laich ab. Die befruchteten Eier entwickeln sich innerhalb weniger Wochen zu kleinen Kaulquappen, die durch Kiemen atmen und einen Schwanz besitzen, der die schwimmende Fortbewegung ermöglicht; von Beinen ist noch nichts zu sehen. Die Kaulquappen wachsen ununterbrochen, bis die Hinterbeine und dann die Vorderbeine zum Vorschein kommen. Beim Übergang aufs Land muß die Lungenatmung ermöglicht werden, so daß hier einschneidende Veränderungen im Atmungs- und Blutkreislaufsystem vor sich gehen. Der Schwanz wird nicht abgeworfen, sondern von der Kaulquappe aufgebraucht, also »verdaut«. Aus der ans Wasser gebundenen Kaulquappe ist ein Frosch geworden, der sich auf dem



In einem Leben mit einer Dauer von 72 Jahren verbringt ein Mensch etwa 24 Jahre schlafend, von diesen 24 Jahren sind 6 Jahre aktiver Schlaf.

Lande wie auch im Wasser aufhalten kann. Den Winter verbringt der Frosch am Grunde von Gewässern. Im nächsten Jahr dann kommt er zur Fortpflanzung.

Dieser kurz skizzierte Entwicklungsweg, den wir als Metamorphose bezeichnen, verdeutlicht uns den genetisch vorprogrammierten Ablauf eines Individuallebens. Die entscheidende Rolle bei der Steuerung dieses Zeitprogramms spielt das Nervensystem, es veranlaßt die Hormondrüsen zu bestimmten Zeitpunkten zu vermehrter bzw. verminderter Hormonproduktion. Die Metamorphose des Frosches wird durch Hormone der Schilddrüse gesteuert. Entfernt man einer Kaulquappe die Schilddrüse, dann findet die Umwandlung zum Frosch nicht statt!

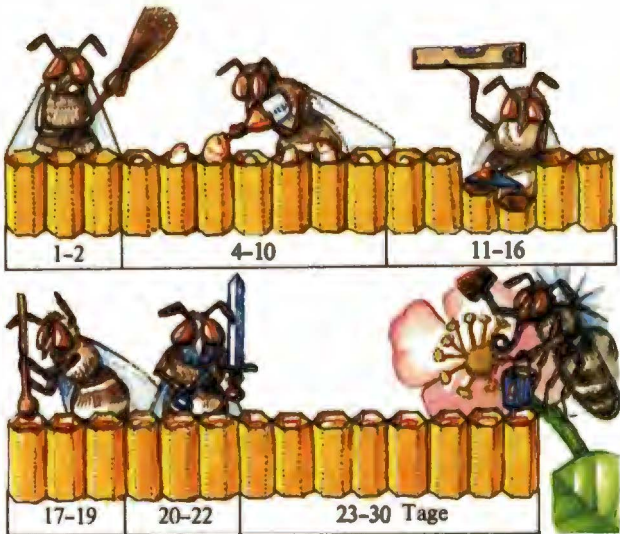


Beim Ablauf der »Lebensuhr« von Insekten fallen uns ebenfalls sehr interessante Details auf, die von der unerschöpflichen Vielfalt möglicher Zeitprogramme im Tierreich zeugen. Im Sommer taucht an warmen Tagen in unserer Wohnung des öfteren ein »Brummer« auf, die durch ihre Fluggeräusche auf sich aufmerksam machende Schmeißfliege. Wie läuft ihre Lebensuhr? Die Weibchen legen nach der Begattung befruchtete Eier ab, aus denen nach etwa 20 Stunden junge weiße Larven schlüpfen, die Maden. Sie leben nun einige Tage als »die Maden im Speck«, denn vorsorglich hat die Mutter die Eier an Stellen abgelegt, wo die Maden sofort Nahrung finden, z. B. am Sonntagsbraten oder am Harzer Käse. Die Larven wachsen rasch und müssen sich wegen ihrer relativ starren Außenhaut mehrmals häuten. Im dritten und letzten Larvenstadium leben die Fliegenmaden etwa vier Tage, dann werden sie zu einer unbeweglichen bräunlichen Tönnchen-Puppe, aus der dann nach einem grundlegenden Umbau im Inneren die fertige Fliege schlüpft, die manchmal den folgenden Winter überdauern kann. Dieser Entwicklungsweg ist ebenfalls eine Metamorphose, die wir wegen des vollständigen Gestaltwandels als Holometabolie bezeichnen.

Bei staatenbildenden Insekten gibt es außer diesem Entwicklungsgang bis zum erwachsenen Insekt noch Besonderheiten während des weiteren Lebens. Die Arbeitsbienen z. B. üben in ihrem Erwachsenenendasein in strenger zeitlicher Abfolge die verschiedenen, für die Erhaltung des Bienenstaates notwendigen Tätigkeiten aus. Auch dieses Zeitprogramm ist erblich verankert, wenn auch nicht ganz starr; nur wenige Wochen ihres kurzen Lebens ist die Arbeitsbiene wirklich das, was wir uns im allgemeinen vorstellen, eine Nektarsammlerin.

Im Pflanzenreich geht es nicht weniger abwechslungsreich zu. Pflanzen mit einem grundlegenden Gestaltwandel sind die Farne. Aus Farnsporen, die an der Farnwedelunterseite entstanden sind, entwickeln sich am Erdboden kleine, einem Moosblättchen ähnliche »Blättchen«,

Vielfältig sind die Lebenslängen der einzelnen Tierarten



Die Honigbienenarbeiterin übt während ihres Daseins als ausgewachsenes Insekt in festliegender Reihenfolge verschiedene Tätigkeiten aus.

die Prothallien. Auf diesen Blättchen, die im Boden mit winzigen Wurzeln verankert sind, entwickeln sich männliche und weibliche Keimzellen, die beim Erreichen ihrer Reife miteinander verschmelzen. Das ist in der Regel wenige Wochen nach Beginn der genannten Sporenkeimung der Fall. Die Gegenwart von Wasser ist dabei unbedingt erforderlich. Nun entsteht auf dem Prothallium endlich die uns bekannte Farnpflanze mit ihren dekorativen Blattwedeln. Das winzige Prothallium geht zugrunde. Die Farnpflanze kann, versehen mit »Wurzeln«, Stamm und Blättern, viele Jahre gedeihen. An der Unterseite der Blätter bilden sich winzige Behälter, in denen die Sporen entstehen, die wiederum der Verbreitung dienen; wenn sie auf den Waldboden verstreut werden, keimen sie erneut zu Prothallien aus.

Wir haben an einigen Beispielen gesehen, wie reichhaltig die Möglichkeiten des Lebensablaufes von Organismen

sein können. Zum anderen kommen wir beim Durchdenken der dargestellten Abläufe zu der Erkenntnis, daß letztlich jedes biologische System einen artspezifischen Zeitbedarf zur Realisierung seiner Erhaltung hat. Kann die Fortpflanzung einschließlich der eventuellen Pflege der Nachkommen u. a. nicht realisiert werden, muß die Art aussterben. Die Lebenslängen und die darin eingeschlossenen Teilzeitprogramme dienen primär der Arterhaltung.

Begründen kann man nur mit Wissen

Schon mehrmals mußten wir im Verlaufe der Darlegungen feststellen, daß noch wesentliche Fragen zur »Uhr des Lebens« ihrer Lösung harren. Dabei stellen sich dem Chronobiologen als Forscher besondere Schwierigkeiten entgegen, muß er doch mehrere Tage ohne Unterbrechung Meßwerte erheben oder über ein ganzes Jahr, unter Umständen sogar mehrere Jahre, mit möglichst gleichartigem Material an Tieren oder Pflanzen eine einzige Meßkurve gewinnen. Dieser große Aufwand rechtfertigt sich aber, denn ein Spiegelbild der objektiven Gesetze biologischer Abläufe ist nur über die zeitliche Darstellung von Meßwerten möglich.

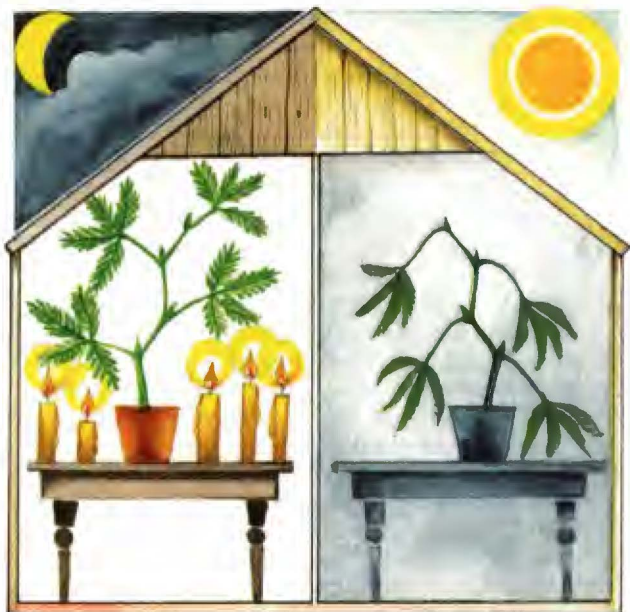
Um den ursächlichen Phänomenen der zeitlichen Ordnung im Lebendigen auf die Spur zu kommen, ist eine interdisziplinäre Forschung zwischen Biologen, Biophysikern, Biomathematikern, Biokybernetikern und Biochemikern unerlässlich. Dabei steht nicht nur eine mögliche biologische Eigenzeit ernsthaft zur Diskussion, sondern vor allem auch eine Übersicht der vorhandenen Ordnung aller Schwingungselemente. Sollte z. B. ein einziger Parameter der Jahresrhythmik gemessen werden, lassen sich mehrere Zeitintervalle verfolgen – neben der Tagesrhythmik auch oft eine 12-Stunden-Rhythmik, eine solche von acht oder sechs Stunden und noch kurzzeitigere Oszillationen, und alle oder einzelne von ihnen können nun in Kopplung mit Schwingungen anderer Parameter treten. Zu diesem wahrhaft »babylonischen« Schwingungsdurcheinander kommt zuzüglich noch eine Addition oder Subtraktion der Einzelemente untereinander.

Vom Forscher und der Forschung

Spontane Beobachtungen über die Rhythmizität von Lebensvorgängen gibt es schon seit Jahrhunderten, ja Jahrtausenden, ebenso wie man seit Menschengedenken etwas über die periodischen Veränderungen der Gestirne weiß. Nur zeigen spontane Beobachtungen lediglich die Erscheinung, nach der Gesetzmäßigkeit muß oft viele Jahre wissenschaftlich geforscht werden. Mißerfolge und Irrtümer bleiben nicht aus – ein sehr natürlicher Prozeß bei der Suche nach den Zusammenhängen in unserer Umwelt.

Erste genauere Beobachtungen über Rhythmizität von Pflanzen machte in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts der französische Astronom Jean-Jacques de Mairan. Er war auf die tagesrhythmischen Blattbewegungen von Mimosen aufmerksam geworden und fand, daß auch in einem geschlossenen Schrank die Blätter am Tage aufgerichtet und in der Nacht gesenkt waren. Er sah darin einen Beweis, daß die Pflanze in dem dunklen Schrank irgendwie »merken« müsse, wann die Sonne auf- bzw. untergeht.

Der französische Botaniker Henri Louis Duhamel du Monceau (1700–1781) wiederholte etwa 30 Jahre später diese Versuche. Er achtete streng auf absoluten Lichtabschluß der Pflanzen und kam zu demselben Ergebnis. Er konnte weiterhin zeigen, daß die Temperaturdifferenz zwischen Tag und Nacht keinen Einfluß auf diesen Tagesrhythmus hat, denn auch bei konstanter Temperatur blieb der Rhythmus erhalten. Erst ein Jahrhundert später beschäftigte sich ein Schüler der weltberühmten französischen Naturforscher Lamarck, Cuvier und Geoffroy, der Schweizer Botaniker Augustine Pyrame de Candolle (1778–1841), wiederum systematisch mit diesen Erscheinungen. Er wies die Exaktheit des pflanzlichen Tagesrhythmus auch unter veränderten Temperatur- und Feuchtebedingungen nach und stellte das Weiterlaufen der täglichen Blattbewegungen im Dauerlicht fest. Und nicht nur das, er bemerkte auch die Veränderung der Periodenlänge und die Einstellung auf einen von 24 Stunden abweichenden Betrag; für die von ihm benutzten Mimosen waren das etwas mehr als 22 Stunden. Er beschrieb damit als erster die freilaufende Periodik. Eine weitere Gesetz-



Dem Botaniker de Candolle (1778–1841) gelang es als erstem, die große Bedeutung des Zeitgebers Licht anschaulich zu machen. Des Nachts regelmäßig künstlich beleuchtete Mimosen richteten ihre Blätter auf und falteten sie in künstlicher Dunkelheit tagsüber zusammen.

mäßigkeit entdeckte er, indem er den Pflanzen ein künstliches Lichtregime mit Dunkelheit am Tage und Beleuchtung in der Nacht anbot. Nach einigen Tagen des Überganges hatten sich die Pflanzen auf den neuen vorgegebenen Tagesrhythmus exakt eingestellt. Damit hatte de Candolle die Inversität gefunden, eine Erscheinung, die heute vielfach genutzt wird, um am Tage nächtliche Verhaltensweisen an Organismen untersuchen oder Einzelrhythmen in der Phase des Überganges voneinander trennen zu können.

Und wieder verging ein Jahrhundert, ehe der deutsche Botaniker Erwin Bünning die bis dahin bekannten Ergebnisse und mutmaßlichen Äußerungen verschiedener

Wissenschaftler zur Hypothese vom endogenen Charakter der Tagesrhythmik und der großen Bedeutung des Tageslichtes zusammenfaßte; er sprach von einer physiologischen Uhr, die sich in jeder Zelle befindet.

Das zentrale Objekt der Beobachtung tierischer Organismen war natürlicherweise seit jeher der Mensch. Um das Jahr 1700 beschäftigte sich der Italiener **Ramazzani** bereits mit den Problemen der Nachtarbeit des Menschen, und er kam zu der Auffassung, daß der natürliche Lauf der Gestirne tags Arbeit und nachts Schlaf gebiete. Schon im 13. Jahrhundert gab es Aufzeichnungen von Zünften zum Problem der Nachtarbeit.

Systematische Untersuchungen über die Tagesrhythmik des Menschen unternahm im vorigen Jahrhundert der deutsche Wissenschaftler **Gierse**; er fand, daß die Körpertemperatur am Tage höhere Werte als in der Nacht aufweist.

Ende des vorigen Jahrhunderts konnte von mehreren Forschern der Tagesrhythmus der körperlichen und geistigen Leistungsfähigkeit nachgewiesen werden, wobei hier schon auf die Individualmuster mit den unterschiedlich liegenden Maxima hingewiesen wurde. Auch über die Umkehrbarkeit des Tagesrhythmus beim Menschen gab es erste Untersuchungen. — Zu heute noch gültigen Modellvorstellungen über das Prinzip der biologischen Schwingungen trugen wesentlich die deutschen Zoologen **Bethe** und **Erich von Holst** in den dreißiger und vierziger Jahren unseres Jahrhunderts bei.

In den letzten Jahrzehnten widmeten sich zunehmend mehr Wissenschaftler in der gesamten Welt dem Problem der Zeitstruktur lebender Systeme. Aus den in mühevollen Versuchen gewonnenen Erkenntnissen sind umfangreiche Anwendungsmöglichkeiten hervorgegangen.

Je tiefer man in Gesetzmäßigkeiten eines Bereiches der Natur eindringt, desto schärfer werden die Forderungen an Exaktheit und an die Einbeziehung zunächst belanglos erscheinender Faktoren. Untersucht man einen beliebigen Lebensvorgang, so müssen Tages- und Jahreszeit sowie Alter und Geschlecht des Lebewesens definiert sein. Im allgemeinen wird jedoch auch heute noch meist nur einem oder wenigen dieser Faktoren genügend Aufmerksamkeit

geschenkt. So kommen häufig quantitative Versuchsergebnisse zustande, die eigentlich unter verschiedenen Bedingungen gewonnen wurden, aber zur Beantwortung gleicher oder ähnlicher Grundfragen in »einen Topf geworfen« werden.

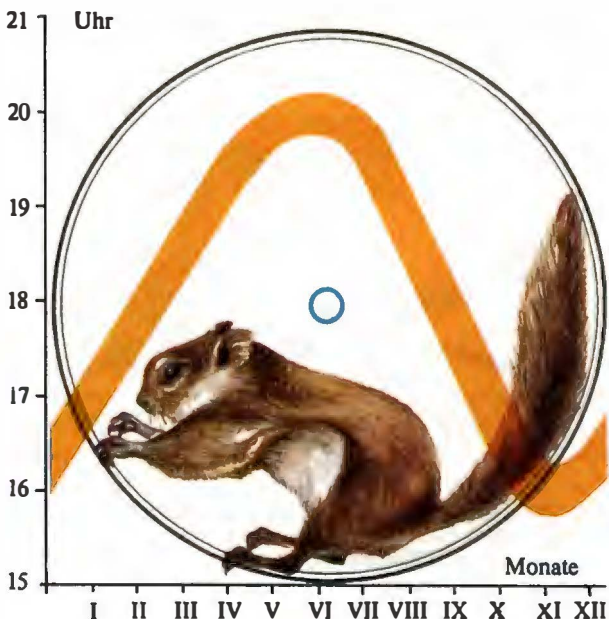
Ein solcher Fall liegt dann vor, wenn am Tage mit nachtaktiven Tieren, z. B. Ratte und Maus, gearbeitet wird, um ein Pharmakon für den Menschen zu testen. Man prüft morgens, d. h. zur Schlafenszeit der Tiere, sucht aber Versuchsergebnisse für den zu dieser Tageszeit hochaktiven Homo sapiens.

In diesem Zusammenhang werden Erkenntnisse über die tagesrhythmisch unterschiedliche Empfindlichkeit gegenüber radioaktiver Strahlung, wie sie in der Krebsbehandlung eingesetzt wird, lebenswichtig, denn von einem zur »falschen« Zeit durchgeführten Tierversuch kann man wohl keine Rückschlüsse auf die ärztliche Praxis ziehen.

Die moderne biorhythmische Forschung ist mit recht großem finanziellem Aufwand verbunden – man denke daran, daß die Versuchsobjekte schon vor den Versuchen unter definierten Licht-, Temperatur-, Feuchte- u. a. Bedingungen leben müssen, um sich als Gruppe miteinander synchronisieren zu können. Weiterhin sind gleiches Alter und Geschlecht erforderlich, d. h., der Versuch muß unter Umständen monatelang vorbereitet werden, und schließlich sollen Apparaturen, die Dauermessungen und -registrierungen ermöglichen, sowie Rechnerkapazitäten zur Verfügung stehen.

Vererbte »Zeitmuster«?

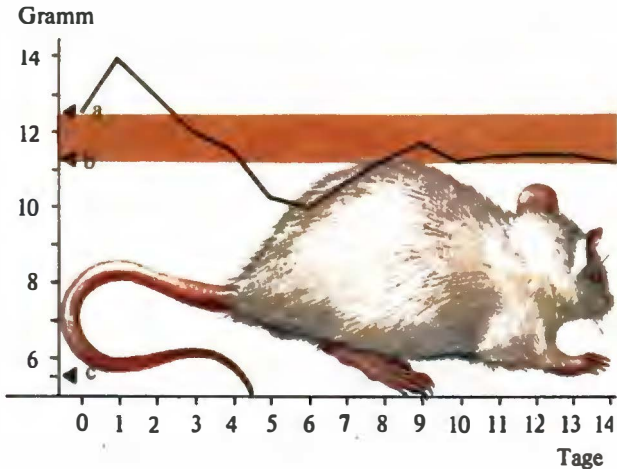
Betrachtet man das bisher Gesagte, dann lassen sich einige Schlußfolgerungen ableiten, von denen wohl die wesentlichste so lauten könnte: Alle bisher untersuchten biologischen Systeme zeigen als Ausdruck ihrer zeitlichen Komponente ein oszillatives, also rhythmisches Verhalten. Den einzelnen Funktionen gemäß sind die Periodendauern unterschiedlich lang, und in einer Funktion wiederum sind mehrere Schwingungsdauern möglich, die einander überlagern. Dadurch entsteht im Organismus neben der



Abendlicher Aktivitätsbeginn von Flughörnchen im Laufrad im Verlaufe eines Jahres. Es zeigt sich deutlich die Abhängigkeit dieses Zeitpunktes von der jahreszeitlich sich ändernden Sonnenuntergangszeit.

morphologischen eine zeitliche Ordnung, die sich aus den mehr oder weniger miteinander verknüpften und voneinander abhängigen zeitdeterminierten Bioregelkreisen ergibt. Durch welche Mechanismen im pflanzlichen und tierischen Organismus diese zeitliche Ordnung der Einzelschwingungen zueinander aufrechterhalten wird, ist noch nicht sicher bekannt. Auf jeden Fall ist den Kommunikationssystemen, wie Nerven- und Hormonsystem, starke Beachtung bei der Klärung dieses Sachverhaltes zu widmen.

Das Licht ist als bedeutender Zeitgeber der 24-Stunden- und der Jahresrhythmik erkannt worden. Der Energieträger Sonnenlicht synchronisiert die belebte Natur mit



*Jedem Zeitpunkt des Tages können wir ein bestimmtes Gewicht der Leber zuordnen. Setzt man Versuchstiere (in unserem Beispiel Ratten) einem um 12 Stunden verschobenen Hell-Dunkel-Wechsel aus, dann dauert es etwa 10 Tage bis zur Umstellung der Gewichtsrhythmik. Die Kurve wurde zur ursprünglichen 10-Uhr-Zeit aufgenommen.
 a – mittleres Gewicht für 10 Uhr; b – mittleres Gewicht für 22 Uhr; c – Zeitpunkt der Beleuchtungsumkehr*

der unbelebten. Die vorgegebene Zeitkomponente der unbelebten Natur in Form des Tag-Nacht-Wechsels stellt Anforderungen an die Lebewesen, denen nur sinnvoll entsprochen werden kann, wenn von vornherein Rhythmität als grundlegende Eigenschaft des Lebendigen gegeben ist. Die Evolution der Lebewesen schließt, da räumliche und zeitliche Komponenten eine untrennbare Einheit bilden, die Evolution der vererbten Zeitstrukturen mit ein. Zeiteinpassung ist eine Seite der Sicherung der Existenz. Die artspezifischen vererbten Zeitprogramme sind in unterschiedlichem Grade von Außenfaktoren beeinflussbar, was sich unter anderem aus der Funktion des jeweiligen Ablaufes für die Erhaltung des Individuums ergibt. Vererbte Zeitprogramme, für die man bis heute keine natürlichen äußeren Zeitgeber gefunden hat, kann man als

endogen bezeichnen, z. B. kurzzeitige Blattbewegungen, die Herztätigkeit, die Atmung. Andere vererbte Zeitprogramme, die in bestimmten Grenzen auf von außen vorgegebene Periodenlängen eingestellt werden, kann man als exogen-endogen bezeichnen, z. B. Tages-, Gezeiten-, Jahresrhythmik. Unter konstanten Umweltbedingungen zeigen sie eine Spontanperiodik. Und schließlich gibt es Rhythmen, zu denen zwar eine Erbanlage vorhanden ist, die aber nur dann als solche in Erscheinung treten, wenn äußere Faktoren diese induzieren, wie das bei einigen Blütenbewegungen der Fall ist.

Eindrucksvolle Beweise zur Vererbung der Zeitmuster hat man durch Kreuzungsexperimente erhalten. Bei Kreuzung zweier Rassen einer bestimmten Mückenart, die sich durch verschiedene Zeiten ihrer Schlüpfmaxima am Tage unterscheiden, entstand eine Tochtergeneration, deren Schlüpfmaximum zwischen diesen beiden Zeiten lag. Schlüpften die Ausgangsrassen am häufigsten nach 14 Uhr bzw. gegen 19 Uhr, so beobachtete man das Schlüpfmaximum der Tochtergeneration aus diesen beiden Rassen nach 16 Uhr. Die Aufwendigkeit derartiger Versuche ist wohl ein Grund, weshalb hierzu bisher nur so wenig Material vorliegt.

Je höher ein Lebewesen organisiert ist, desto vieltätiger ist das Bild der möglichen Oszillationen, die in ihm vereinigt sind. Man faßt den Organismus als einen Multioszillator auf, wobei jeweils mehrere Schwingungen miteinander gekoppelt sind.

Änderungen einer beteiligten Schwingung führen zu zwangsläufigen Änderungen der damit gekoppelten Schwingungen, wobei der Grad der Kopplung über das Maß der Abhängigkeit entscheidet. Biologische Schwingungen können in bestimmten Zeitbereichen, die wir als Ziehbereich kennengelernt haben, gedehnt oder eingengt werden. Der maximal mögliche Ziehbereich im Verhältnis zur zugrunde liegenden Periodendauer ist ein Maß für die biologische Varianz der untersuchten Schwingung hinsichtlich ihrer Zeitkomponente. Des weiteren ist es möglich, durch zeitliche Verschiebungen von Zeitgeberbedingungen biologische Schwingungen umzukehren, zu invertieren. Durch Lichtgabe in der Nacht und Dunkelheit

am Tage wird über ein mehrtägiges Stadium der Desynchronisation vollständige Inversion erreicht. Die Amplitude biologischer Schwingungen läßt sich ebenfalls beeinflussen; so führt hohe Lichtintensität bei Tagtieren zur Erhöhung der Aktivität, bei Nachttieren zu ihrer Verminderung.

Die bereits erwähnten individuellen Unterschiede der Zeitmuster innerhalb einer Art, wie wir sie beim Menschen am Beispiel der Tagesrhythmik als Morgen- und Abendtypen vorgestellt haben, sind ein Beleg für die im biologischen Material liegende Variabilität der Artmuster, wie sie uns auch für morphologische Eigenschaften des Organismus bekannt ist. Erinnert sei nur an die vier morphologischen Typen der Menschen.

Was haben Bienen und Seeleute gemeinsam?

Als Beispiel zur Herausarbeitung von Gesetzmäßigkeiten kann uns die Tierorientierung dienen.

Soll ein Schiff erfolgreich den Ozean überqueren, darf der Kompaß nicht fehlen. Doch aus der Geschichte ist uns bekannt, daß schon lange vor seiner Erfindung große Entdeckungsreisen durchgeführt wurden. Aus Überlieferungen wissen wir, daß die Gestirne die entscheidende Orientierungsquelle waren. Der Stand der Sonne am Tage und der Sternenhimmel in der Nacht gaben Auskunft über die Himmelsrichtung. Diese Orientierungsquelle benutzten auch Seefahrer, die von Südamerika aus Polynesien zu Beginn unserer Zeitrechnung besiedelten, Mehr als 3000 km Luftlinie liegen zwischen dem vermutlichen Ausgangsgebiet Peru und den berühmten Osterinseln; noch einmal so weit ist es bis Tahiti.

Die eindrucksvollsten »Nautiker« unter den Tieren sind die Zugvögel. Aber nicht nur sie, sondern auch viele andere Tiere führen Wanderungen durch (Insekten, Fische) und müssen demnach über Mechanismen verfügen, die es ihnen erlauben, ihre Ziele sicher anzusteuern.

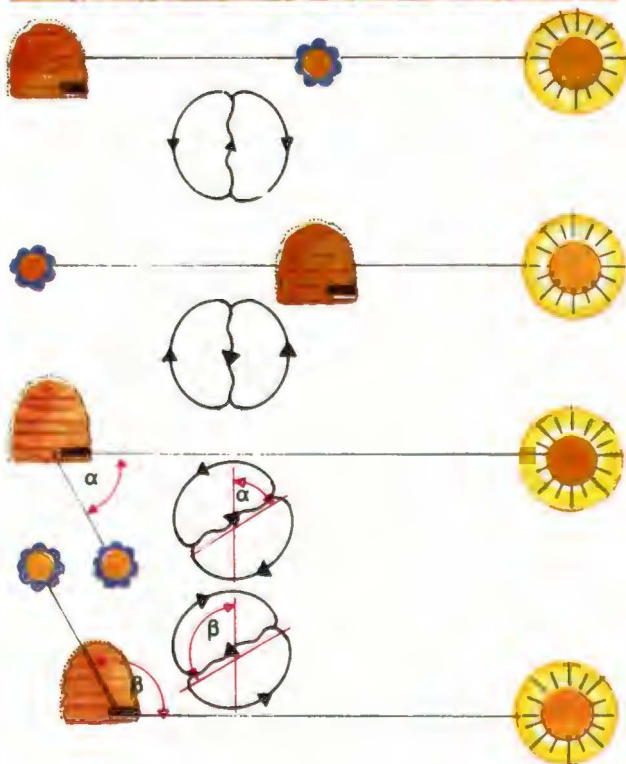
Ganz beständige Wanderer unter den Landsäugetieren sind die Rentiere. Sie ziehen auf geradem Wege im Herbst

mehrere hundert Kilometer in Nord-Südrichtung und im Frühsommer zurück. Ihre Wege sind so ortsfest, daß die Jagd auf Rentiere zu genau festgelegten Terminen an bestimmten Orten erfolgen kann. Die Wanderwege der Rentiere waren in vergangener Zeit Wegweiser für die Erkundung nördlicher Landstriche durch den Menschen.

Exzellente Wanderer unter den Insekten sind viele Schmetterlinge. Der Distelfalter fliegt zielgerichtet aus Italien oder gar aus Nordafrika im Frühjahr in Richtung Norden, er überwindet die Alpen und zieht bis Skandinavien, bis zu 8000 km ist er manchmal unterwegs. Die Weibchen legen ihre Eier ab und beenden ihr Leben in den nördlichen Gefilden. Im Herbst geschieht das Verwunderliche: Die jungen Falter ziehen auf den gleichen Wegen, die ihre im Süden geborenen Eltern benutzten, nach dem Süden. Dort werden nun wiederum Eier abgelegt, aus denen sich junge Falter entwickeln, die im Frühjahr ihre große Flugreise nach Norden beginnen. Ohne vorherige Kenntnis, ohne Führung finden die Tiere ihren Weg über Meere, Gebirge und Flüsse.

Auf den ersten Blick scheinen die genannten Beispiele keine Beziehung zu unseren Betrachtungen über die innere Uhr zu haben. Müßte nicht aber ein ziehender Vogel- oder Heuschreckenschwarm, wollte er sich nach der Sonne orientieren, »wissen«, daß sich der Sonnenstand im Tageslauf ändert? Zweifellos setzt uns die Genauigkeit, mit der Wanderzüge beginnen oder enden, in Erstaunen. Aus dem vorigen Jahrhundert wird berichtet, daß jedes Jahr am 8. Mai Blauwale an bestimmten Küstenstellen Norwegens erschienen, nachdem sie viele Kilometer quer über den Atlantischen Ozean gewandert waren.

In den letzten Jahrzehnten hat sich die biologische Wissenschaft intensiv mit zahlreichen Erscheinungen der Tierorientierung beschäftigt. Als Forschungsobjekt für derartige Untersuchungen eigneten sich besonders gut die Bienen als hochorganisierte, vom Menschen gehaltene Insekten. Es stellte sich heraus, daß diese Lebewesen in der Lage sind, Futterquellen in unterschiedlicher Entfernung von ihrem Bienenstock sicher zu finden. Wie ist das möglich?



Kehrt eine Biene von einer erfolgreichen Futtersuche in den finsternen Bienenstock zurück, dann beginnt sie auf einer Wabe, die, wie wir wissen, senkrecht im Bienenstock hängt, einen »Tanz«; und weil sie bei diesem »Tanz« ihren Hinterleib schwänzelnd hin und her bewegt, spricht man von einem Schwänzeltanz. Dieser Schwänzeltanz stellt ein gerichtetes Laufen auf der Wabe dar, das etwa einer Acht entspricht. Bald schließen sich andere Arbeitsbienen an, laufen mit und werden genauso aufgeregt wie die »Vortänzerin«. Dieses Laufen wird mehr oder weniger lange wiederholt. Danach fliegen die »Mittänzerinnen« zu den Futterquellen, sie wissen den Weg, aber woher? Im Schwänzeltanz ist die Information enthalten! Läuft die Biene bei Rückkehr von erfolgreicher Suchaktion auf der Wabe immer wieder senkrecht von unten nach oben, so befindet sich die Futterquelle genau auf der Linie, die entstehen würde, wenn man vom Bienenstock in Richtung des Sonnenstandes eine Verbindung herstellen würde. Die Entfernung zur Futterquelle erfahren die Bienen aus der Dauer des Tanzes. Läuft die »Vortänzerin« auf der Wabe von unten nach oben rechts, dann liegt die Futterquelle im entsprechenden Winkel rechts von der gedachten Achse: Bienenstock – Sonnenstandsrichtung. Läuft sie auf der Wabe von oben nach unten, liegt die Futterquelle in der Reihenfolge Sonne – Bienenstock – Futter, also »hinter« dem Bienenstock usw. Das allein ist jedoch noch kein Beweis, daß hier eine innere Uhr beteiligt ist. Erst wenn man die informierten Bienen am Ausfliegen hindert, kann man mit Überraschung feststellen, wie sicher auch nach Stunden die richtige Himmelsrichtung eingeschlagen wird, obwohl ja die Sonne längst nicht mehr am Ausgangsort zu sehen ist. Die Biene »weiß« demnach etwas über die vergehende Zeit, dank ihrer »biologischen Uhr«.

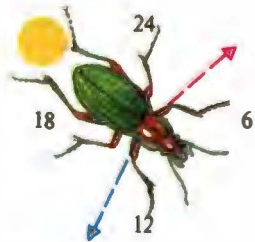
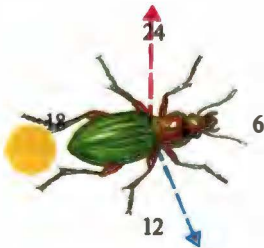
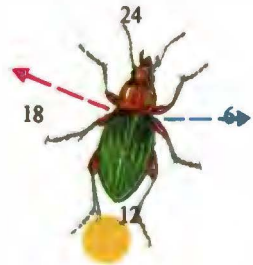
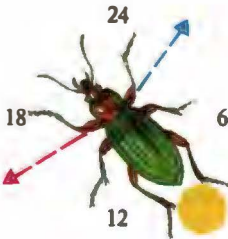
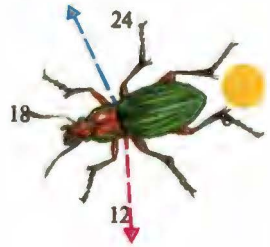
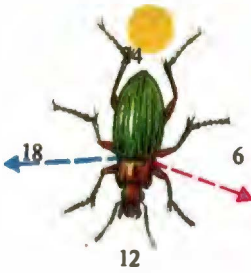
Noch schöner läßt sich das folgendermaßen beweisen: Ist die Zeit gekommen, da ein Bienenvolk eine neue Unterkunft sucht, schwärmen Spurbienen aus, um geeignete

Tanzsprache der Bienen. Das wiederholte gerichtete Laufen auf der Bienenwabe aktiviert eine zunehmende Zahl der Arbeiterinnen, die durch Mitlaufen der vorgegebenen Winkel die Information über eine neue Futterquelle aufnehmen.

Plätze zu finden. Ist die Suche positiv verlaufen, wird im dunklen Stock getanzt, wie es oben bereits erklärt wurde. Dieses Tanzen kann mehrere Stunden anhalten, und hierbei wird der Tanzwinkel entsprechend dem sich ändernden Sonnenstand variiert. Ohne Zutritt des Sonnenlichtes kennt die Biene also den Sonnenstand; sie kann die Zeit messen. Was aber geschieht, wenn die Sonne nicht scheint? Selbst dann ist eine Orientierung möglich. Man vermutete, daß den Bienen polarisiertes Himmelslicht als Orientierung diene. Aber wie sich herausstellte, war die Sonnenkompaßorientierung nur eine Seite der Problematik. An Untersuchungen bei Laufkäfern ließ sich nämlich zeigen, daß diese Insekten nicht nur am Tage, sondern auch in der Nacht ganz gesetzmäßig bestimmte Laufrichtungen einhalten. Auf einem riesigen Betonfeld freigelassene Käfer schlagen zu jeder Tages- und Nachtzeit definierte Wege ein, der Laufwinkel ändert sich von Stunde zu Stunde um einen exakt feststellbaren Betrag. Aus dem Laufwinkel ließe sich somit ungefähr die Tagesstunde ablesen. Daß für diese Leistung der Tiere, die wir Orientierungsrhythmik nennen, da sie sich täglich wiederholt, weder Sonnen-, Mond- oder Sternenschein vonnöten sind, konnte man bei Versuchen in unterirdischen Höhlen beweisen. Es scheint das Magnetfeld der Erde als eine ständig vorhandene, rhythmisch schwankende physikalische Größe von Bedeutung für solche Orientierungsvorgänge zu sein.

Bei den Zugvögeln ist die Einhaltung einer bestimmten Flugrichtung über viele Stunden untrennbar mit Zeitmeßvorgängen im Organismus verbunden. Soll die Sonne Orientierungsquelle sein, wie man zunächst infolge der »Sonnenkompaß«-Versuche annahm, müssen auch die Vögel den Tagesgang einrechnen können.

An Versuchen mit Staren und Grasmücken hat man nachgewiesen, daß auch die Konstellation der Sterne und der Sternbilder als Orientierungsquellen dienen. In einem Planetarium im Herbst freigelassene zugunruhige Grasmücken zogen dem Planetariumshimmel gemäß nach »Süden«. Mit Hilfe von Radargeräten und Flugzeugen konnte man jedoch feststellen, daß Zugvögel auch in dichten Wolken ihre Richtung beibehalten können. Sonne



Laufkäfer, auf einen Punkt (gelb) gesetzt, laufen zu jeder Tages- und Nachtzeit in zwei zum Sonnenstand konstanten Winkeln vom Ausgangspunkt weg. Da sich der Sonnenstand kontinuierlich ändert, müssen die Käfer, bezogen auf irdische Bezugspunkte, stetig ihren Laufwinkel ändern. Man spricht von Orientierungsrhythmik. Da die Orientierung auch nachts funktioniert, kann nicht das Licht der Sonne Orientierungsquelle allein sein.

und Sterne allein können also hier die Richtungsmarken nicht sein.

Viele Versuche beweisen, daß magnetische Felder zumindest eine Rolle bei der Orientierung spielen.

Das letzte Wort jedoch ist noch nicht gesprochen. In Modellen versucht man die bisher gewonnenen Erkenntnisse zu verallgemeinern, um daraus weitere Ansatzpunkte für die Klärung des Mechanismus Fernorientierung – Zeitverrechnung zu gewinnen. Eines ist zumindest sicher: Im Tier ist die Fähigkeit zu diesen Vorgängen endogen angelegt und die dafür maßgeblichen Faktoren sind miteinander verknüpft.

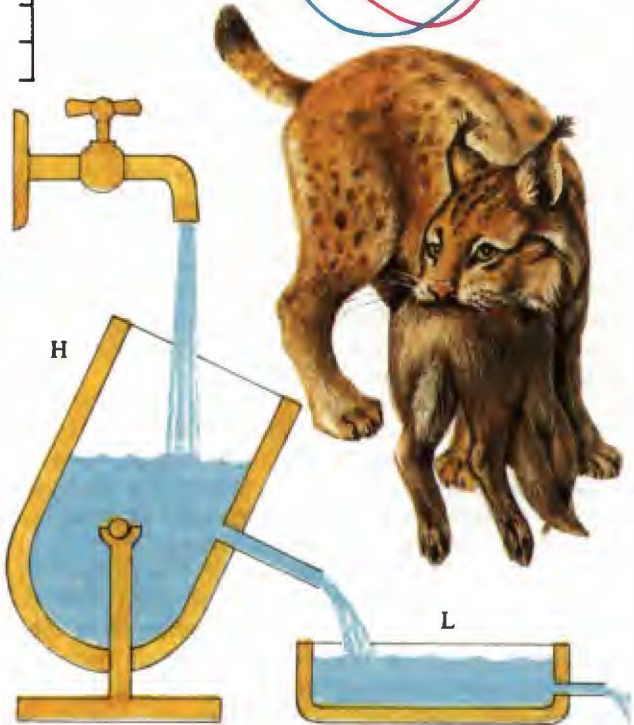
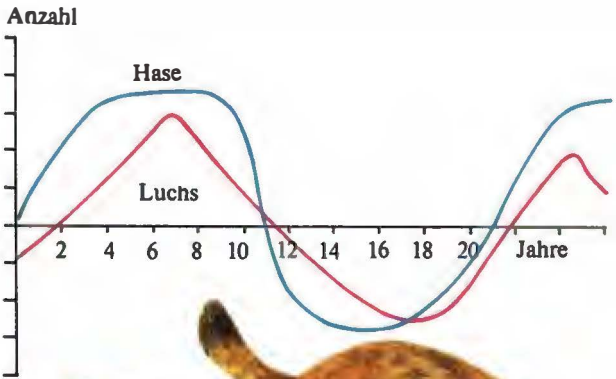
Erkenntnisgewinn und Modellvorstellung

Der Forscher unterscheidet sich von vielen anderen Menschen dadurch, daß er stets auf der Suche nach bisher unbekanntem oder noch nicht exakt genug determinierten objektiven Gesetzen in Natur und Gesellschaft ist. Die Gesetze spiegeln allgemeine, notwendige und wesentliche Zusammenhänge wider, wobei die besondere Gabe der forschenden Menschen darin besteht, zu noch unerkannten Zusammenhängen vorzudringen und sie zu verallgemeinern.

Neue Methoden bei der Findung und Anwendung des bis dahin Unbekannten eröffnen sozusagen ein neues oder

Modellvorstellung der Veränderung der Anzahlen von Räuber (Luchs) und Beute (Hase) : Gute Umweltbedingungen mit reichlichem Graswuchs als Futter für die Hasen soll ein reichlicher Wasserfluß in das Gefäß H (Hasen) symbolisieren.

Bei einer bestimmten Hasenhäufigkeit im Gebiet läuft durch das Überlaufrohr eine gewisse Menge an Wasser schon in das Gefäß L (Luchse), und diese nehmen nun somit in der Anzahl ebenfalls zu, wenn auch wesentlich langsamer. Bei Erreichung einer Hasenüberpopulation bricht diese sehr schnell zusammen: Dieser Effekt wird durch das exzentrisch aufgehängte Wassergefäß gezeigt, das bei einer bestimmten Füllung plötzlich kippt. Die Beute wird nun vom Räuber schnell und sicher in Menge gefangen, er vermehrt sich nun seinerseits kurzfristig auch noch einmal sehr schnell, d. h., für unser Modellbeispiel ist das Wasser in großen Mengen von Gefäß H nach L geschwappt. Die nun zahlreich anzutreffenden Luchse



verbrauchen sehr schnell diesen einmaligen Vorrat an Hasen und gehen dann plötzlich an Nahrungsverknappung in großer Anzahl ein; denn nun muß sich das Hasengefäß bis zur Überlaufmarke erst wieder füllen, bis die Durststrecke für alle Räuber, hier die Luchse, vorbei ist.

doch größeres Fenster zum noch Unerreichten und ermöglichen damit einem wachsenden Kreis von Forschern, die begonnene Richtung einzuschlagen. Erkenntnisgewinn weckt Suche nach weiteren Erkenntnissen.

Auf dem Fachgebiet der Chronobiologie wirkte in diesem Sinne äußerst befruchtend die von E. Bünning begründete Hypothese von der vererbaren physiologischen Uhr, die in den mehr als 40 Jahren seit ihrer Formulierung nichts von ihrer Wirksamkeit eingebüßt hat. Ähnliche Bedeutung für die grundlegende Erscheinung der Biorhythmik, die absolute und relative Koordination (Kopplung), hat die Modellvorstellung E. v. Holsts, die er aus der Beobachtung von Flossenbewegungen bei Fischen ableitete. Das biologisch real Erkannte wurde in ein künstlich geschaffenes mechanisches Modell eingebaut, das die wesentlichen Eigenschaften des lebendigen Vorbildes wiedergab, nämlich die Zuordnung zweier rein äußerlich unabhängiger Schwingungen. Je weiter unsere Erkenntnis fortschreitet, um so mehr nähern wir uns von mehreren, zunächst unvollständigen Teilmodellen einem Gesamtmodell. Das führt zu Verbesserungen des jeweiligen Modells, woraus sich wiederum Schlußfolgerungen für das weitere Eindringen in das Wesen des biologischen, hier rhythmischen, Vorganges ableiten.

Von Gesamtmodellen biorhythmischer Vorgänge sind wir jedoch noch weit entfernt. So ist zwar das allgemeinste Modell des Biorhythmus, die Sinusschwingung, für eine grundsätzliche Aussage über das Prinzip der biorhythmischen Abläufe brauchbar, jedoch erlaubt sie keine determinierten Angaben zu speziellen Fragen.

Soll ein hinreichend genaues Modell biorhythmischer Vorgänge gewonnen werden, sind auf jeden Fall die Grundgesetze der Kybernetik einzubeziehen, denn ohne Rückkopplung ist ein periodisch geordneter zeitlicher Ablauf einfach undenkbar. Ohne Regelvorgänge könnten sich Bioschwingungen, einmal angestoßen, entweder durch Dämpfung schnell verlieren oder aber unter bestimmten Voraussetzungen aufschaukeln und letztlich das System zerstören. Die kybernetische Regelung gewährleistet das Aufrechterhalten einer bestimmten Amplitude und Frequenz der biologischen Schwingung, wobei wir nicht

außer acht lassen dürfen, daß zu verschiedenen Zeiten die Vorgaben für Frequenz und Amplitude durchaus unterschiedlich sein können. Treffen bereits innerhalb eines Organismus zahlreiche biorhythmische, kybernetisch geregelte Vorgänge aufeinander, so funktionieren die Beziehungen der Organismen untereinander ebenfalls nach den kybernetischen Regelprinzipien.

Modellvorstellungen ähnlich dem in unserer Abbildung veranschaulichten Hase-Luchs-Modell gelten für viele Nahrungsbeziehungen. Diese einfachen Annäherungsmodelle beschreiben natürlich nur Teile des Grundprinzips und sollen lediglich die generelle Arbeitsmöglichkeit mit Modellvorstellungen aufzeigen. Modell und Versuch sollten sich stets gegenseitig befruchten und somit die Wahrheitsfindung beschleunigen.

Neue Beziehungen zwischen Mensch und Natur?

Die Entwicklung der menschlichen Gesellschaft erfordert die immer bessere Nutzung der natürlichen Umwelt für die Reproduktion arterhaltender Bedingungen und die Veränderung dieser Bedingungen zugunsten des Menschen. Dabei sind die Eingriffe des Menschen in seine natürlichen Lebensräume, seine Biotope, ganz erheblich; es sind Kulturbiotope entstanden, die wir z. B. als Kultursteppe kennen, erzeugt durch die großflächige landwirtschaftliche Nutzung des Bodens. Andererseits stellt die Industrie neue Beziehungen zwischen Mensch und Natur her, und nicht zuletzt schafft der Mensch durch seine umbaute Umwelt ein eigenes Bioklima.

Nicht nur veränderte Temperatur-, Wind- und Feuchtebedingungen sind entstanden, sondern durch die künstliche Beleuchtung zum Teil wesentlich von den natürlichen Bedingungen abweichende Lichtverhältnisse.

Der Arbeitsprozeß als grundlegende Tätigkeit des Menschen unterliegt bestimmten zeitlichen Normen, die sich aus den biologischen Zeitabläufen des Menschen und aus den technischen Erfordernissen ergeben. Dabei spielt die Zeitabstimmung eine bedeutende Rolle, was in den Kommunikationssystemen besonders zum Ausdruck kommt.

Das Anwachsen der Erkenntnisse über die zeitliche Ordnung des Menschen erlaubt in zunehmendem Maße das zielgerichtete Eingreifen in diesen Bereich. Das betrifft die Behandlung von Krankheiten und die Prophylaxe genauso wie die aus der notwendigen Schichtarbeit resultierenden Probleme.

In bezug auf andere Organismen sind die Erkenntnisse

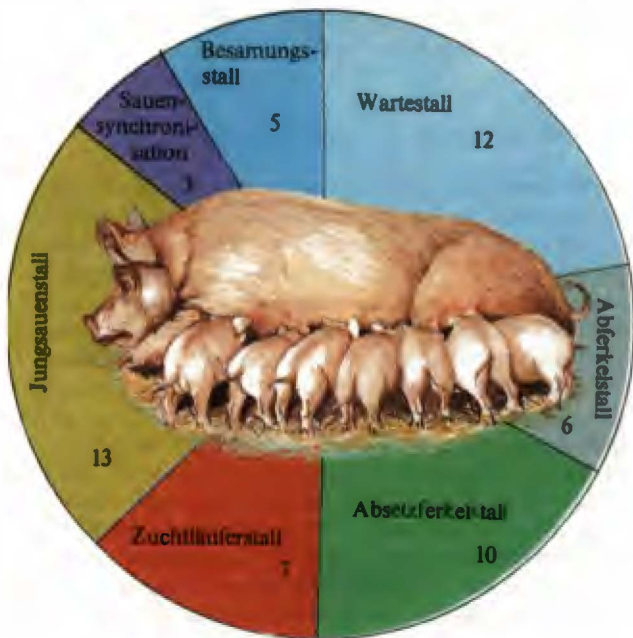
über die rhythmische Ordnung der zeitlichen Abläufe von großer Bedeutung in der Landwirtschaft.

Landwirtschaft kontra Biologie?

Weite Areale der Erde sind durch den Anbau von Nutzpflanzen und die Haltung von Haustieren wesentlich verändert worden. Wir leben in einem Kulturbiotop. Wollen wir vom Menschen noch unberührte Biotope kennenlernen, müssen wir meist besondere Expeditionen unternehmen. Die von uns genutzten Pflanzen und Tiere sind durch die Züchtung »schon längst nicht mehr das, was sie einmal waren«. Ein Schwein aus unseren Mastanlagen wäre unfähig, in Freiheit längere Zeit zu überleben. Diese hochgezüchteten Fleisch- und Fettlieferanten sind bereits so empfindlich gegen Veränderungen der Umwelt, daß der Transport mit einem Fahrzeug zum Schlachthof genügen kann, Herzversagen und damit den Tod herbeizuführen.

Die Hühner sind gleichsam zu Eierlegemaschinen geworden, die in Abweichung von ihrem natürlichen Jahresrhythmus das ganze Jahr über Eier legen. Das wird durch Eingreifen in die zeitliche Ordnung des weiblichen Organismus induziert, indem durch künstliche Beleuchtung und Spezialfutter in den Hühnerställen die Zeitgeberrolle des Lichtes genutzt wird, um die Legebereitschaft der Hennen aufrechtzuerhalten. Die Tiere werden jeweils etwa ein Jahr »verwendet«. Mit dieser Maßnahme ist es gelungen, eine kontinuierliche Versorgung mit Frischeiern zu gewährleisten.

Um Veränderungen des zeitlichen Ordnungsgefüges handelt es sich ebenfalls, wenn mit dem Ziel einer rationalen Arbeitsorganisation des Menschen die Fortpflanzung von Schweinen in einer Zuchtanlage gesteuert wird. Der Eireifungszyklus des Hausschweines unterscheidet sich von dem seiner wildlebenden Vorfahren dadurch, daß er das ganze Jahr über abläuft. Etwa alle drei Wochen werden Eizellen befruchtungsfähig. Durch Verabreichung von Hormonpräparaten kann in einer ganzen Zuchtanlage die Eireifung gehemmt werden, so daß keine Ovulation erfolgt. Setzt man die Ovulationshemmer gleichzeitig ab, kommt



Die Ferkelaufzucht kann durch die gleichzeitige Verabreichung von Oestrushemmern und deren gleichzeitiges Absetzen bei einer großen Zahl von Sauen in Zeitraum und Umfang bedeutend besser geplant werden. Die Zahlen geben die Verweildauer in Wochen an.

es innerhalb weniger Tage bei allen Tieren zur Brunst, so daß vorausbestimmt werden kann, wann eine Periode der Ferkelaufzucht im Arbeitsablauf eingeplant werden muß. Auch bei Rindern und Schafen lassen sich entsprechende Maßnahmen zur Einleitung einer solchen Zyklussynchronisation durchführen. Daß dieser Eingriff in die zeitlichen Abläufe nicht problemlos ist, zeigt sich an einer Verminderung des Befruchtungserfolges gegenüber spontan ovulierenden Tieren.

Der Mensch bestimmt auch die Lebenslänge der von ihm genutzten Tiere und Pflanzen. Schlacht- und Erntetermine werden entsprechend dem gewollten optimalen Nutzensertrag festgelegt, sie beenden unter Umständen die Existenz

des Individuums lange vor dem biologisch natürlichen Lebensende. Viele Gemüsesorten werden zum Verbrauch vor ihren Blühterminen geerntet, wie Salat, Spinat, Kohl, Spargel; Tiere werden zum Teil im Jugendstadium geschlachtet, wie die beliebten Broiler oder Kälber. Kartoffeln und Samen vieler anderer Pflanzen kommen erst nach einer Periode des Vorkeimens unter günstigen Licht-, Temperatur- und Feuchtebedingungen auf den Acker bzw. in den Garten. Für den Zeitpunkt der Aussaat und die Spanne bis zum Erreichen der Blühtermine landwirtschaftlicher Kulturen spielt die Reaktion als Kurz- oder Langtagspflanze eine Rolle. Am Beispiel des Spinats wurde das bereits erläutert. In diesem Zusammenhang soll auch das Wintergetreide erwähnt werden. Unsere Getreidearten sind Langtagspflanzen. Sät man sie im Herbst aus, so keimen sie bald, und sie wachsen vegetativ. Das Winterweizenfeld ist grün unter dem Schnee. Es ist jedoch kein Temperatureffekt, daß die Pflanzen ausschließlich Blätter bilden. Auch in einem warmen Raum bleibt der Winterweizen vegetativ, wenn er dem Licht des kurzen Wintertages ausgesetzt ist. Erst wenn im Frühjahr die Dunkelheitsdauer abnimmt, beginnt die Ausbildung des Stengels und der Blüten. Die bei uns angebauten Erbsensorten sind ebenfalls Pflanzen, die nur unter Langtagsbedingungen zum Blühen gelangen; ein feldmäßiger Anbau in äquatornahen Gebieten wäre nicht sinnvoll. Andererseits könnten in unseren Breiten, auch wenn alle anderen Bedingungen vorhanden wären, weder das Zuckerrohr noch der Kaffeebaum zur Blüte kommen.

Besondere Probleme ergeben sich für den Anbau landwirtschaftlicher Kulturen in den nördlichen Gebieten der Erde, wo mit der immer weiter vordringenden Besiedlung auch die Forderung nach Eigenversorgung mit landwirtschaftlichen Produkten steht. In kostenaufwendigen Anlagen mit künstlicher Regulation der Beleuchtung und der klimatischen Faktoren wird Gemüse angebaut. Für Getreide ist das zumindest gegenwärtig noch nicht möglich. Durch die Züchtung von Sorten mit sehr kurzer Wachstums- und Reifezeit versucht man, die Anbaugrenzen mehr und mehr nach Norden zu verschieben.

Alle diese Bemühungen dienen letztlich dem Versuch,

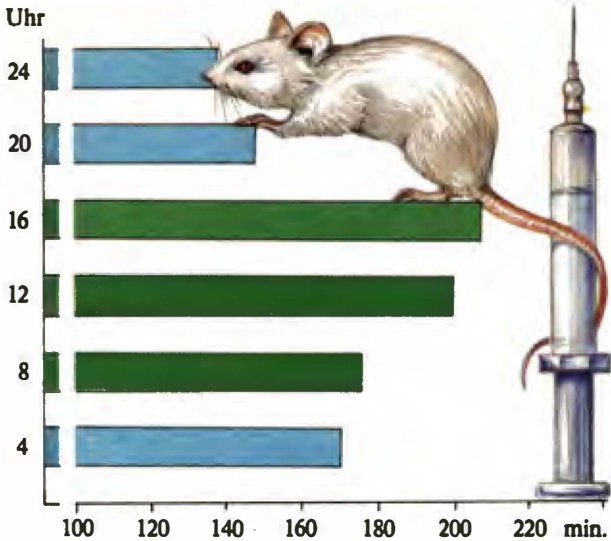
die biologische Uhr so zu beherrschen, daß in kürzester Zeit unsere Nahrungs- und damit Energiequellen reproduziert werden. Umfangreiche Forschungstätigkeit ist noch zu leisten, um die pflanzlichen und tierischen Organismen in all ihren zeitlichen Eigenschaften zu erkennen und die Kenntnis sinnvoll für höhere Produktivität in der Landwirtschaft zu nutzen.¹

Dreimal täglich eine Pille

Ein wichtiger Platz in unserem Alltagsleben kommt Maßnahmen zur Erhaltung bzw. Wiederherstellung der Gesundheit zu, die uns volle Arbeitsfähigkeit und Wohlbefinden garantieren. Wenn wir an medizinische Betreuung denken, fallen uns sofort Medikamente aller Art ein. Jedem ist die übliche Form »dreimal täglich« bekannt, wenn es um die Einnahme von Tabletten oder Tropfen geht. Unser Denken ist jedoch bereits so geschult, daß wir bei dieser Zeitfestlegung auf die Frage stoßen, ob nach den neueren Erkenntnissen solche pauschalen Anweisungen in jedem Falle für den Organismus das günstigste sind. So wie alle Funktionen tagesrhythmischen Veränderungen unterliegen, ist auch eine Zeitabhängigkeit der Empfindlichkeit für Medikamente zu vermuten. Damit könnte ein zu verschiedenen Zeiten in gleicher Menge gegebenes Medikament durchaus unterschiedliche Wirkung hervorrufen, oder umgekehrt könnten unterschiedliche Medikamentenmengen, zu verschiedenen Zeiten gegeben, die gleiche Wirkung haben. Durch eine dem Empfindlichkeitszustand des Organismus angepaßte Dosierung könnten optimale Heilerfolge erzielt, schädliche Nebenwirkungen vermieden oder eingeschränkt und andererseits erhebliche Mengen pharmazeutischer Produkte eingespart werden.

Wie bei jeder ähnlichen Fragestellung ist es notwendig, Tierversuche zugrunde zu legen. Meist steht man hier vor der Schwierigkeit der Übertragung gewonnener Ergebnisse auf den Menschen. Will man nun sogar die diurnalen

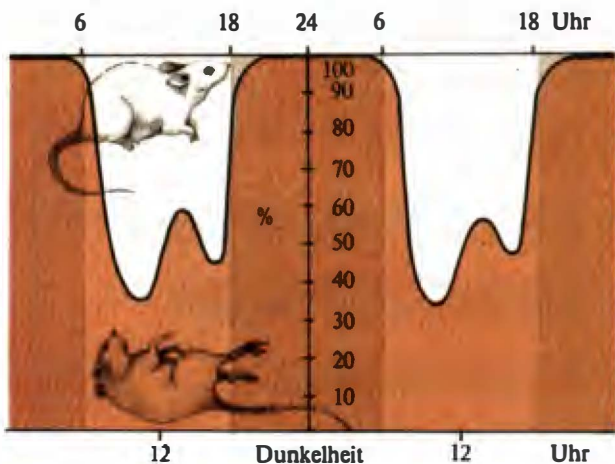
¹ Vgl. Martin Nichelmann: *Licht und Leben. akzent-Reihe, Bd. 58, Leipzig 1982*



Die Narkosedauer von Tieren ist bei gleicher Menge des Narkotikums abhängig von der Tageszeit, zu der es gegeben wird. Weißen Mäusen wurde zu verschiedenen Uhrzeiten jeweils 85 mg/kg Körpergewicht Pentobarbital verabreicht.

(täglichen) Rhythmen berücksichtigen, gestaltet sich das Problem noch komplizierter, denn gerade die üblichen Versuchstiere, wie Ratte und Maus, sind im Gegensatz zum Menschen nachtaktiv. Ungeachtet dieser Erschwernisse ist es notwendig, die Problematik »Medikamentenwirksamkeit im Tagesverlauf« zu bearbeiten, was wir an einigen Beispielen belegen wollen.

Gibt man einem Versuchstier ein Narkotikum, z. B. ein Barbiturat, so ist es für die Dauer der eintretenden Narkose durchaus nicht gleichgültig, zu welcher Tageszeit es gegeben wird. Injiziert man Mäusen zu Beginn ihrer Aktivitätszeit, also abends, eine bestimmte Menge, dann ist die Schlafdauer viel kürzer als bei Injektion gegen Ende der Aktivitätszeit oder zu Beginn der Ruhezeit am Morgen. Es folgt hieraus, daß das aktivitätshemmende Mittel dann am wenigsten wirksam ist, wenn die endogen angelegte Rhyth-



Gibt man weißen Mäusen den stark anregend wirkenden Stoff Koffein in einer Menge von 300 mg/kg, so sterben, abhängig vom Zeitpunkt der Stoffgabe, zwischen 30 und 100 Prozent der Tiere. Die Empfindlichkeit ist in diesem Falle während der Ruhezeit am geringsten.

mik der Motorialaktivität ihr Maximum erreicht, und am wirksamsten bei gleichsinniger Lage der Aktivitätsrhythmik, also in der Nähe ihres Minimums.

Mit dem tageszeitlichen Wandel der Reaktivität des Organismus steht auch die tödliche Wirkung von Medikamenten im Zusammenhang, was für die praktische Medizin von außerordentlicher Bedeutung ist. Die tödliche Dosis ist zu verschiedenen Tageszeiten unterschiedlich.

Gibt man Mäusen ein Zytostatikum, das der Krebsbehandlung dient, in ziemlich hoher Dosis, so daß auch die gesunden Zellen erheblich geschädigt werden, ist die Sterberate – abhängig vom Zeitpunkt der Einwirkung des Medikamentes – unterschiedlich hoch. Wurde das Medikament zur Mitte oder gegen Ende der Ruhezeit gegeben, starben nur halb soviel Mäuse wie nach Medikamentengabe um die Mitte der Aktivitätszeit. Benutzt man nun ein solches Medikament in der Krebsbehandlung, natürlich in niedrigerer Dosis, kann das Leben krebserkrankter Ver-

suchstiere (Ratten) bei Gabe des Medikamentes zu Beginn der Aktivitätszeit am meisten verlängert werden.

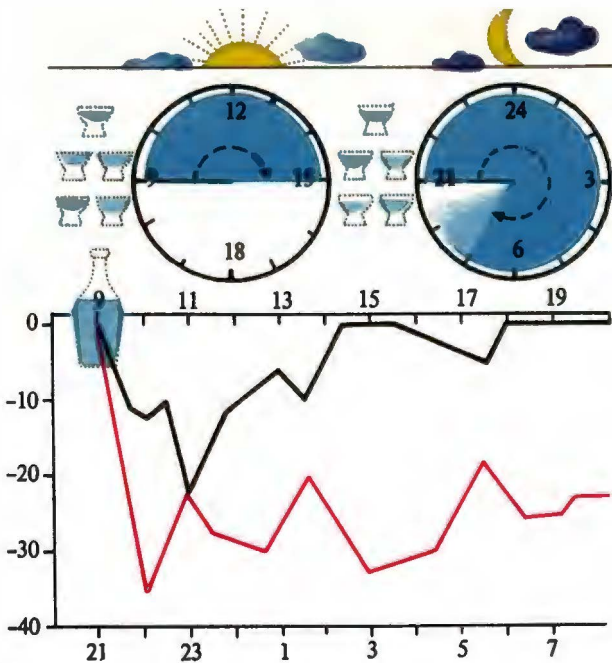
Für die Praxis würde sich daraus die Forderung ableiten, zeitliche Wirkungsoptima und Nebenwirkungsminima herauszuarbeiten, was für zahlreiche Therapien von großem Nutzen wäre, nicht nur für den Patienten, sondern auch für den ökonomischen Einsatz. Gerade für solche teuren und unter Umständen gefährlichen Behandlungsmethoden, wie die Strahlentherapie bei Krebs, ist die zeitgerechte Anwendung, d.h. zu Zeiten der größten Strahlenempfindlichkeit der Krebszellen und minimaler Empfindlichkeit der normalen Zellen, ein anzustrebendes Ziel.

Gift bleibt Gift!

Es ist bekannt, daß zahlreiche Genußmittel, in größeren Mengen vom Organismus aufgenommen, als Gifte wirken, d.h. den Körper in charakteristischer Weise schädigen. Aus der Kenntnis über die tageszeitabhängige Wirksamkeit von Medikamenten läßt sich unschwer ableiten, daß es ein Unterschied ist, ob man die zum Genuß gebräuchlichen Mittel, wie Kaffee, Tee, Alkohol, Zigaretten u.a., am Morgen oder am späten Abend zu sich nimmt.

Wenn wir aus den Wirkungen des Koffeins bei Mäusen oder Ratten auf den Menschen zu schließen versuchen, würde das heißen, daß die Weckwirkung des Bohnenkaffees am Tage wesentlich stärker als in der Nacht ist. Leider sind uns bisher nur wenige Versuche bekannt, in denen Wirkungskurven am Menschen erarbeitet wurden. Um zu derartigen verallgemeinernden Ergebnissen zu gelangen, müßten sich z. B. mindestens 40 Personen gleichen Geschlechts, ähnlichen Alters für bestimmte Zeit nur diesen Versuchen widmen können, wenn wir vier Zeitpunkte des Tages testen wollten. Je weniger Personen zur Verfügung stehen, desto länger wird die Versuchsserie, denn zwischen jedem Versuch muß eine angemessene Pause von Tagen, sogar Wochen liegen.

Bezüglich der Alkoholwirkung auf den Menschen gibt es einige interessante Ergebnisse. Alkohol ist ein Narko-



Die unterschiedliche Nachwirkung von Alkoholgenuß am Morgen (schwarz) und am Abend (rot) auf die Lösung von Aufgaben. Am Tage werden etwa 6 Stunden nach Genuß von fünf Schnäpsen die Nüchternleistungen wieder erreicht, in der Nacht jedoch auch nach 10 Stunden noch nicht.

tikum mit einer ausgeprägten exzitatorischen Phase, d. h., das Erregungsstadium vor Eintritt der Schlafphase ist relativ lang. Die dämpfende und einschläfernde Wirkung tritt je nach Menge des Alkohols erst nach gewisser Zeit ein. Prüft man nun in einer Versuchsanordnung die »Fahrleistung« entsprechender Versuchspersonen, so stellen sich deutliche Unterschiede zwischen Tag und Nacht heraus. Die Fahrleistungen verschlechtern sich in jedem Falle nach der Aufnahme von etwa »fünf Doppelten« ganz erheblich gegenüber nüchternen Personen, wobei jedoch Gewöhnung an Alkoholgenuß nach den bisher erzielten

Untersuchungsergebnissen die Wirkung verringert. Etwa ein bis zwei Stunden nach der Alkoholaufnahme werden die schlechtesten Fahrleistungen gezeigt. Hierin unterscheiden sich Personen, die um 9 Uhr, und solche, die um 21 Uhr getrunken haben, nur wenig. Je schwerer die zu lösenden Fahraufgaben sind, desto stärker macht sich die Alkoholwirkung bemerkbar. Am Tage läßt die Einschränkung der Leistungsfähigkeit hinsichtlich Reaktionszeiten, Manövrierfähigkeit u. a. allmählich nach und gleicht sich zwischen 15 und 18 Uhr wieder den Werten einer nüchternen Person an, d. h. aber doch, daß mehr als sechs Stunden die notwendigen Leistungen nicht erbracht werden können.

Bei Alkoholaufnahme am Abend sieht dieser Verlauf deutlich anders aus. Die Alkoholwirkung ist bis früh 6 Uhr noch nicht abgeklungen, alle geforderten Fahrleistungen sind noch deutlich schlechter als bei nüchternen Personen. Weiterhin ist festzustellen, daß die Leistungsdifferenz vom geforderten Nüchternwert prozentual um so größer ist, je schwerer die gestellte Aufgabe ist. Wir schlußfolgern daraus, daß nach Alkoholgenuß am Abend die Wiederaufnahme einer Autofahrt oder einer anderen Tätigkeit erst wesentlich später erfolgen darf als nach derselben Menge Alkoholgenuß am Tage, obwohl der Blutalkoholwert identisch ist.

Aber nicht nur die Wirksamkeit von Genußmitteln ist von der Tageszeit abhängig, selbst für die Effektivität der Nahrungsverwertung in Abhängigkeit von der Zeit der Nahrungsaufnahme trifft das zu. Man hat mit freiwilligen Versuchspersonen dazu folgende Untersuchungen durchgeführt:

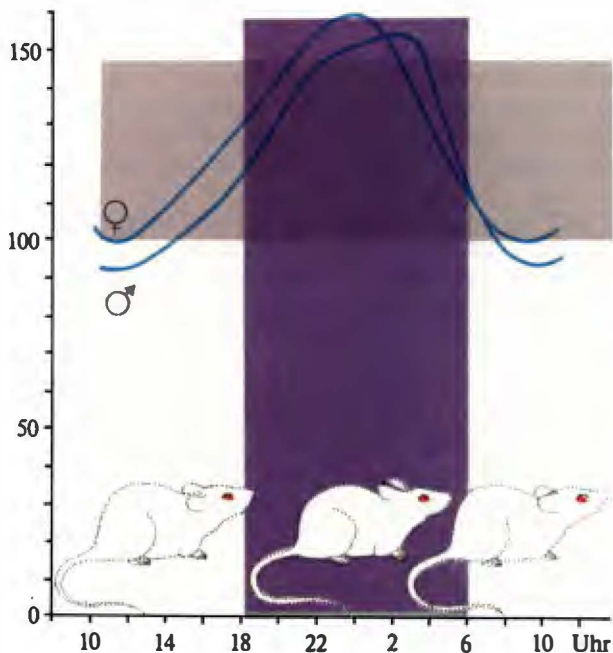
Sie durften beliebig viel essen, aber nur einmal am Tage. Eine Gruppe aß nur früh, die andere nur abends. Es zeigte sich, daß das Abendessen für die Erhaltung oder Zunahme des Körpergewichtes günstiger ist als das Frühstück. Gibt man eine für den ganzen Tag erforderliche Kalorienmenge entweder am Morgen oder am Abend, so nehmen die Personen, die am Morgen essen, ab. Wer also gegen Fettansatz kämpfen muß, sollte deshalb gerade die Abendmahlzeit geringhalten, und er darf zu Beginn des Tages eine normale Mahlzeit zu sich nehmen.

In vielen Betrieben, insbesondere in solchen der chemischen Industrie, ist es nicht vermeidbar, daß der arbeitende Mensch mit Giften in Berührung kommt, bei flüchtigen oder stäubenden Substanzen vorwiegend durch Einatmen, bei anderen Stoffen durch Berühren. Um Gefahren für die Gesundheit und das Leben minimal zu halten, sind sogenannte Maximale Arbeitsplatz-Konzentrationen (MAK-Werte) festgelegt, die angeben, welche Menge eines für den Menschen schädlichen Stoffes am Arbeitsplatz im Höchstfall zulässig ist.

Auf Grund der Ergebnisse biorhythmischer Unter-

An Laborratten verabreichtes Acrylnitril führt am Tage bereits in einer Menge von etwa 100 mg/kg Tiergewicht bei der Hälfte der Tiere zum Tode, während in der Mitte der Nacht die tödliche Dosis bei 150 mg liegt.

Acrylnitril (mg/kg)



suchungen entsteht natürlich auf neue Weise die Frage, ob die derzeit noch üblichen Pauschalzahlen, gewonnen aus Versuchen, bei denen die Tageszeit keine Berücksichtigung fand, im Interesse der Werktätigen in jedem Falle aufrechterhalten werden können. Das trifft insbesondere für die Arbeit rund um die Uhr zu. Am Beispiel des Acrylnitrils, eines Zwischenproduktes bei der Herstellung von Polyacrylnitril, soll das verdeutlicht werden.

Verabreicht man Ratten zu ausgewählten Zeiten des Tages diesen Stoff, so müssen jeweils unterschiedliche Mengen eingesetzt werden, um gleiche Sterberaten zu beobachten, d. h. die LD 50 (LD 50 = Letale Dosis für 50% der Tiere). Am Tage, zur Ruhezeit der Tiere, gegebenes Gift führt schon in Mengen unter 100 mg/kg Körpergewicht bei der Hälfte der Tiere zum Tode, während in der Nacht annähernd 150 mg/kg für dieselbe Wirkung benötigt werden, d. h., die Toleranz gegen Acrylnitril ist in der Aktivitätszeit wesentlich größer. Auch Unterschiede zwischen männlichen und weiblichen Tieren sind feststellbar, die LD 50 liegt um 16 Uhr für Männchen bei 100 mg/kg, für Weibchen bei etwa 120 mg/kg.

Auf den Menschen übertragen könnte das bedeuten, daß in der Nacht der gültige MAK-Wert bereits gesundheitsschädigend wirkt. Es ergibt sich die Forderung nach Aufstellung einer MAK-Werte-Skala. Ein sporadisch herausgegriffener Wert genügt nicht, um der realen Wirkung des Stoffes auf den Organismus zu entsprechen.

So wird deutlich, daß die Kenntnis biorhythmischer Prozesse unbedingter Bestandteil jeder Ausarbeitung von Maßnahmen im Gesundheitswesen, bei der Festlegung von arbeitshygienischen Normen sein muß, um dem gesetzmäßig verlaufenden Auf und Ab des Lebens gerecht zu werden.

Keiner lebt für sich allein

Licht ist, wie wir feststellten, der primäre Zeitgeber für viele Tiere und Pflanzen. Durch Veränderung des Verhältnisses von Licht und Dunkel oder durch zeitliche Verlagerungen lassen sich im Verlaufe von mehreren

Tagen die tagesrhythmischen Lebensvorgänge verschieben oder umkehren, z. B. 12 Stunden Licht in der Nacht und 12 Stunden Dunkelheit am Tage, also LD 12:12, führen zu einer Umkehrung der Tagesschwungung. Das Licht stellt den synchronisierenden Faktor dar.

Auch beim Menschen spielt der Tag-Nacht-Wechsel eine entscheidende Rolle für die Synchronisation der Funktionen auf 24 Stunden. Aber es zeigte sich bei verschiedenen Forschungen am Menschen, die äußerst schwierig sind, weil er als intensiv denkendes Wesen einer Fülle von Einflüssen unterliegt und selbst aktiv bewußt zahlreiche seiner Handlungen steuern kann, daß der Licht-Dunkel-Wechsel als primärer Zeitgeber für den in die Gesellschaft eingeordneten Menschen in Frage zu stellen ist.

Die sozialen Beziehungen des Menschen sind so komplex und bestimmend für den einzelnen, daß die Annahme berechtigt ist, soziale Zeitgeber ganz vorn einzurangieren. In einer Versuchsreihe, zu der sich Versuchspersonen freiwillig zu Messungen bereit erklärt hatten, genügte ein Gongzeichen, das mit der Aufforderung zur Abgabe einer Urinprobe verbunden war, um den von der Umwelt völlig isolierten Menschen auf 24 Stunden oder eine längere Tagesdauer zu synchronisieren. Es reichte also lediglich das Bewußtwerden einer sozialen Verbindung. In anderen Untersuchungen war zu erkennen, wie sich zwei Versuchspersonen aufeinander synchronisierten, wenn sie, isoliert von der Umwelt, zusammenlebten.

Hierbei spielt natürlich die Auswahl der Versuchspersonen eine große Rolle. Es dürfte sich unschwer aus bereits früher Gesagtem ableiten, daß sich Morgen- und Abendtypen schlechter miteinander synchronisieren als gleiche Typen.

Das Familienleben und der Arbeitsalltag verlaufen in einer zeitlichen Ordnung. Die Regelmäßigkeit der Wiederkehr aller Tätigkeiten ist letztlich Ausdruck unserer biologischen Grundlage und ist mit unendlich vielen sozialen Bindungen und Abhängigkeiten verknüpft, von denen jede eine zeitliche Komponente enthält. Tagesbeginn der Familie, Berufsverkehr, Arbeitsbeginn, Arbeitspausen, Arbeitende, Einkauf, Abendgestaltung usw. brauchen wir nur zu nennen, um diese Verbindung zu erkennen. Um auf

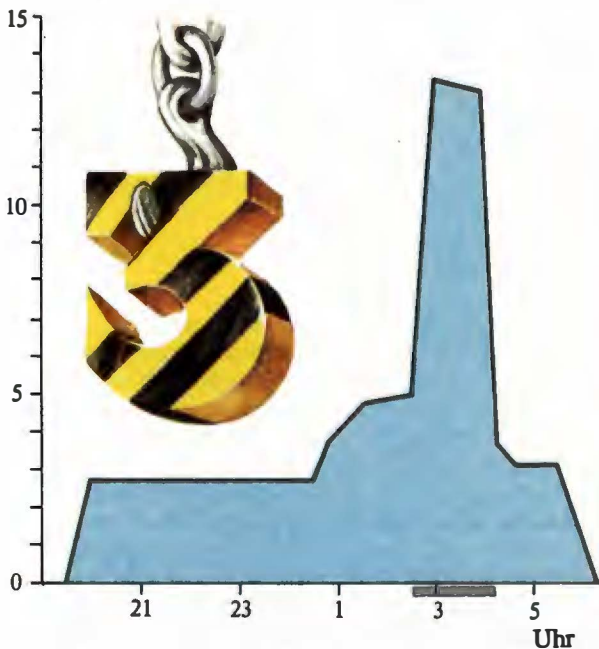
die Minute genau den sozialen Verpflichtungen nachkommen zu können, hat der Mensch die Uhr erfunden.

Wie wichtig der soziale Kontakt für die Synchronisation der einzelnen Funktionen im menschlichen Organismus sein kann, zeigen Beobachtungen an alten, sozial isoliert lebenden Menschen. Die Funktionen neigen zur Desynchronisation, womit die natürliche Harmonie des funktionellen Systems gestört wird und sich die Labilität erhöht.

Probleme mit der Zeit?

An zahlreichen Beispielen von Tieren und von Pflanzen haben wir bereits die Einsicht in den tagesrhythmischen Verlauf der Lebensprozesse gewonnen, und wir wissen auch, daß der Mensch in der Regel tagaktiv ist. Wie reagiert er auf Schichtarbeit? Im Prinzip ist es möglich, daß sich die Körperfunktionen an einen veränderten Tagesrhythmus anpassen. Es interessiert uns die Frage, ob es eine vollständige zeitliche Umstellung geben kann und welche Faktoren eventuell dagegenwirken. Man hat verschiedene physiologische Parameter daraufhin untersucht. Die Körpertemperatur hat im Normalfall ihr Maximum gegen Abend und ihr Minimum gegen Morgen. Wird nun Nachtarbeit ausgeführt und die Tageszeit zum Schlafen verwendet, tritt im Verlaufe einiger Tage eine Veränderung in der Weise ein, daß das Temperaturminimum in die Tagesmitte wandert. Die Lage des Maximums läßt sich jetzt allerdings nicht mehr exakt feststellen. Aus zahlreichen Untersuchungen geht hervor, daß eine vollständige Umkehr des Tagesrhythmus der Körpertemperatur nicht erfolgt. An Nachtschwestern hat man Blutdruck, Puls und spezifisches Blutgewicht bestimmt und stellte hierbei unterschiedliches Verhalten der einzelnen Größen fest. Wider Erwarten zeigten Puls- und Blutdruckwerte so wie bei tags arbeitenden Personen ihre Höchstwerte am Tage und die Tiefstwerte in der Nacht. Das spezifische Blutgewicht dagegen hatte sich an die Umkehr der Lebensweise angepaßt. Während der nächtlichen Arbeitszeit wurden die Maximalwerte erreicht, wie das sonst bei Tagarbeit der Fall ist.

Anzahl der Probanden



Die Befragung von Beschäftigten in der Nachtschicht nach dem Zeitpunkt der stärksten Müdigkeit ergibt eine deutliche Häufung der Angaben für die Zeit um 3 Uhr.

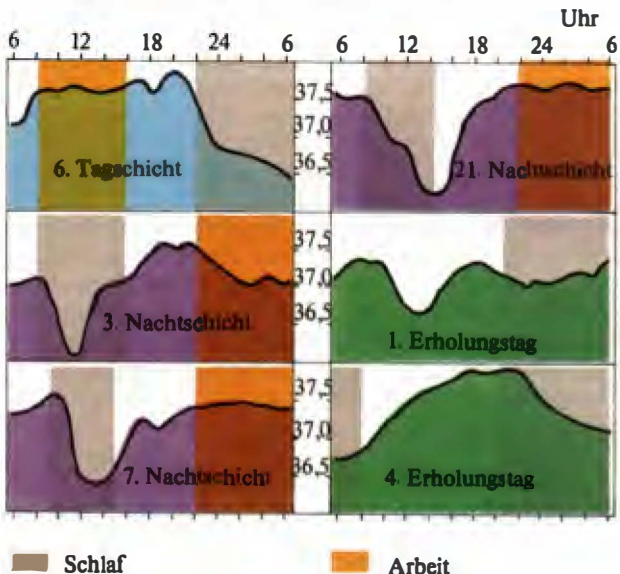
Befragungen über den »toten« Punkt in der Nachtschicht, wo für die Dauer von etwa 15 bis 30 Minuten größte Anstrengungen gegen das Einschlafen unternommen werden müssen, ergaben relativ einheitliche Zeiten. Bei der Überprüfung der Gesamtleistung stellten sich bei körperlicher Arbeit keine nachweisbaren Unterschiede zwischen Tag- und Nachtarbeit heraus, dasselbe gilt für Unfallhäufigkeiten. Sind die von außen herangetragenen Arbeitsanforderungen gleichmäßig, fällt es nicht so schwer, eine bestimmte Leistungsfähigkeit aufrechtzuerhalten.

Die Einstellung zur Erfüllung der notwendigen Leistung

spielt ebenfalls eine Rolle. Während der Nachtschicht gibt es Sekunden geistiger »Abwesenheit«, die bei Analyse der dazugehörigen Hirnwellen (EEG) als schlafähnlicher Zustand definiert werden können.

Die Schichtarbeit stellt sozusagen zwei Leistungsanforderungen, einmal durch die Arbeitstätigkeit selbst und zum anderen durch die Belastung der biorhythmischen Synchronisation, die stetig zu einer Veränderung ansetzt, aber nicht zu Ende geführt wird, d. h. keinen stabilen Zustand erreicht. Diese Anforderungen können kompensiert werden und fallen in den Rahmen eines Belastungstrainings. Bei den gegenwärtigen Erfahrungen neigt man zu der Auffassung, daß Morgentypen nicht so gut für Nachtarbeit geeignet sind wie Abendtypen.

Während einer längerdauernden Nachtschichtperiode stellt sich die Körpertemperatur auf die Tagesumkehr ein. Die Rückkehr zum normalen Tag-Nacht-Wechsel bringt zunächst einen Verlust jeglicher Tagesrhythmik der Körpertemperatur. Nach 10 bis 12 Tagen ist der normale Tag-Nacht-Rhythmus wieder erreicht.

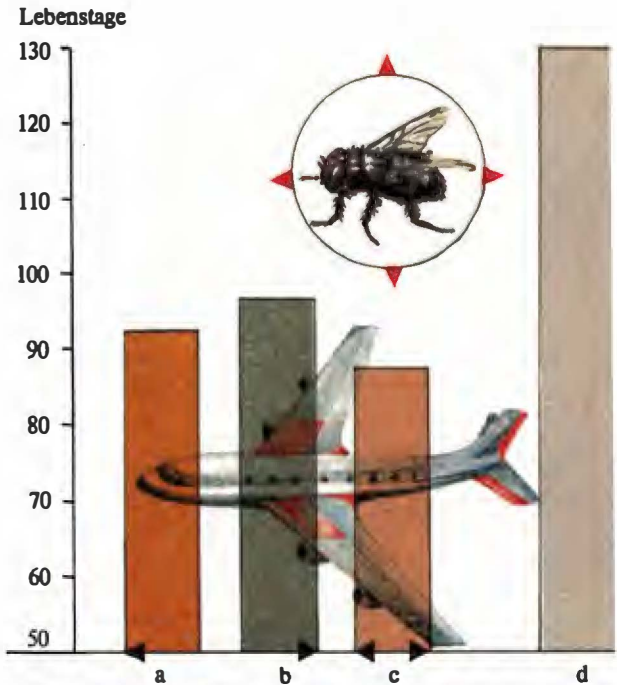


Ein wesentliches Problem der Schichtarbeit ist der Tagesschlaf. Im allgemeinen ist dieser Schlaf nicht so tief und langanhaltend wie der Nachtschlaf. Viele Schichtarbeiter schlafen nach der Nachtschicht nur vier bis sechs Stunden, Frauen mit Schulkindern haben in der Regel ein ständiges bedeutendes Schlafdefizit aufzuweisen. Insbesondere sind Dauernachtarbeiter, z. B. Nachtwächter oder Nachtschwestern, von einem solchen Schlafdefizit betroffen, denn als wichtigste Ursache für den geminder-ten und gestörten Tagesschlaf kommt die Lärmeinwirkung von außerhalb und innerhalb der Wohnung in Frage. Von außerhalb stört insbesondere der Verkehrslärm oder die Nähe von Kinderspielflächen.

Innerhalb der Wohnung ist das Vorhandensein eines abgeteilten Schlafraumes ganz wesentlich. Ist das nicht der Fall, so treten bei den meisten davon betroffenen Schichtarbeitern regelmäßig Schlafschwierigkeiten auf.

Die sozialen Zeitgeber sind es, die man als Ursache dafür annimmt, daß auch in mehrfach aufeinanderfolgenden Nachtschichten die Körperfunktionen nicht voll umgestellt werden. Die sozialen Zeitgeber, die insbesondere durch einen abweichenden Tagesverlauf der übrigen Familie wirksam werden, sind, wie bereits betont, beim Menschen ganz bedeutend. Hieraus ergeben sich insgesamt Konsequenzen für die noch anzusetzende Forschung und die praktische Anwendung gewonnener Erkenntnisse.

Nicht nur durch Schichtarbeit schafft der Mensch veränderte Beziehungen zwischen dem normalen 24-Stunden-Rhythmus der Aktivität und der geophysikalischen Umwelt; auch den Geschwindigkeiten eines Flugzeuges kann sich die biologische Uhr nicht ohne weiteres anpassen. Dabei überquert man in kurzer Zeit mehr oder weniger viele Zeitzonen, und im Ankunftsland muß man sich dann auf den veränderten Tag-Nacht-Wechsel umstellen. Diese Umstellung auf den neuen Tagesrhythmus verläuft, wie schon erwähnt, über ein Stadium der Desynchronisation zahlreicher Funktionen. Als Folge der plötzlichen Zeitverstellung tritt ein Abfall der körperlichen und geistigen Leistungsfähigkeit auf Grund der Desynchronisation der einzelnen Funktionen ein; die Umstellung auf den neuen Tag-Nacht-Wechsel erfolgt für einzelne Funktionen unter-



Die Lebensdauer von Fliegen wurde beobachtet nach einmaligem Transport (simuliert) am 50. Lebenstag nach Westen (a), nach Osten (b), nach mehrmaligem Hin- und Hertransport (c). Zum Vergleich die am Ort gebliebenen Tiere (d).

schiedlich rasch. Bei der Untersuchung mehrerer Bestandteile des Urins, wie Kalium- und Natriummenge, wurde gefunden, daß bei vier Stunden Zeitverschiebung (Flug nach Osten) mindestens vier Tage zur Anpassung an den veränderten Tag benötigt wurden, die Tageskurve der Körpertemperatur verändert sich noch langsamer.

Personen, die oft weite Flugreisen unternehmen müssen, leiden natürlich unter diesen Umstellungen. In Versuchen ließ sich feststellen, daß die Umstellung nach West-Ost-Flügen in der Regel schwieriger ist als umgekehrt. Außerdem fand man, daß sich sozial aktive Menschen

schneller an das neue Lichtregime anpassen als solche, die nur geringen Kontakt zur neuen Umwelt aufnehmen.

Die Frage der Beziehung zwischen dem 24-Stunden-Rhythmus des Menschen zum 24-Stunden-Rhythmus des Erdentages wird bei Raumflügen besonders aktuell. Die Kosmonauten in der sowjetischen Orbitalstation Salut 6 erlebten in 24 Stunden 16 »Tage«. Um dieser Situation zu begegnen, wurden in der Station dem normalen Erdentag entsprechende Lichtverhältnisse ermöglicht.

Es hieße Eulen nach Athen tragen, wollten wir nach unseren zahlreichen Beobachtungen über die rhythmisch-zeitliche Ordnung lebender Systeme an der Notwendigkeit und dem Wert dieses Phänomens in der Natur zweifeln. Wie in der unbelebten Natur Zeit und Raum nicht zu trennen sind, ist es auch in der belebten Natur – beides sind Formen der Materie. Alles, was ist, hat eine Vergangenheit und eine Zukunft. Wir sehen während unseres menschlichen Lebens mehr oder weniger große Ausschnitte davon. Zeitliche Vorgänge, die uns unvorstellbar lang, aber schon berechenbar erscheinen, wie die Abkühlung der Erde, stehen neben solchen, die uns unfassbar kurz, aber ebenfalls berechenbar erscheinen, wie das Leben einer Eintagsfliege oder der Zerfall eines Atoms.

In den biologischen Strukturen wird in besonders beeindruckender Art und Weise bewiesen, daß eine räumliche Struktur, sei es eine Pflanze oder ein Tier, einfach nicht ohne eine zeitliche Ordnung vorstellbar ist.

Das Rhythmische in den Lebensvorgängen gestattet die Messung von Zeit. Es ermöglicht arterhaltende und individuenerhaltende Einstellung auf die belebte und die unbelebte Umwelt. Durch das Auf- und Abschwingen der Lebensvorgänge wird eine Verschwendung von Energie vermieden – letztlich eine Maßnahme, mit geringstem Aufwand an Zeit und Energie das Leben zu erhalten. Die Anwendung der Erkenntnisse über den rhythmischen Charakter der biologischen Abläufe ist eine Seite zur Optimierung unseres Lebens. Wir stehen in einem Wettlauf mit der Zeit, tragen sie aber auch selbst in uns, sind ein Teil davon.

**»akzent« – die Taschenbuchreihe
mit vielseitiger Thematik:
Mensch und Gesellschaft,
Leben und Umwelt, Naturwissenschaft
und Technik. – Lebendiges Wissen
für jedermann, anregend und aktuell,
konkret und bildhaft.**

Weitere Bände:

Lange, Die Farben der Tiere

Oppermann, Târnovo –

Zarenstadt des Balkan

Scheikov, Leben und Symmetrie

Marcinek, Droht eine nächste Kaltzeit?

Nichelmann, Licht und Leben

Mohrig, Wie kam der Mensch zur Familie?

Günther, Straßen, Brücken, Türme