www.naturwissenschaftlicher-verein.de

NATUR und WISSEN

Mitteilungen aus dem Naturwissenschaftlichen Verein in Hamburg

Fotos: Sauer & Hausdorf

Heft 9
8. Jahrgang 2012

Bernhard Hausdorf:

Brauchen wir ein neues Artkonzept?

In wie viele Arten kann die Heideschneckengattung *Xerocrassa* auf der Insel Kreta eingeteilt werden? Als theoretische Basis für die Arbeit an taxonomischen Fragestellungen wie dieser ist ein fundiertes Artkonzept erforderlich.

ISSN 1614-0931

REISE SPECIALS

Mit Windrose Finest Travel unterwegs zu aussergewöhnlichen Zielen, begleitet von erfahrenen Reiseleitern

11 Tage

Pro Person im Doppel ab
6.090 EUR

EXKLUSIV-CHARTER: GALAPAGOS – ECUADORS ARCHE NOAH

EXPEDITION INS PARADIES DER TIERE AN DER SEITE DES EVOLUTIONSBIOLOGEN DR. MATTHIAS GLAUBRECHT

Sie sind das absolute Traumziel eines jeden Naturliebhabers – die Galapagosinseln mit ihrer einzigartigen Tierwelt. Tausend Kilometer vor dem Festland Ecuadors ragen die Vulkaninseln des Archipels aus dem Ozean. Reisen Sie an Bord der eigens gecharterten Yacht »Isabela II« auf den Spuren Charles Darwins, und erleben Sie die spektakuläre Tier- und Pflanzenwelt unter der sachkundigen Führung des renommierten Evolutionsbiologen Dr. Matthias Glaubrecht und des Geowissenschaftlers Dr. Helge Fischer. Mit ihren Vorträgen erhalten Sie Einblicke in Evolutionsbiologie und Geografie, Vulkanologie, Wirtschaft und Gesellschaft Ecuadors.

TERMINE 02.03. – 12.03. | 09.11. – 19.11.2013

DIE SERENGETI LEBT

SAFARI ZU DEN GROSSEN TIERWANDERUNGEN OSTAFRIKAS BEGLEITET VOM ZOOLOGEN PROF. DR. HARALD SCHLIEMANN

Nirgendwo auf der Welt kann man den Zug von Millionen Wildtieren so eindrucksvoll und ungestört erleben wie in den Savannen Ostafrikas. Die schier unüberschaubare Menge vorwärtsdrängender Gnus, Steppenzebras und Antilopen bietet ein überwältigendes Naturschauspiel. Der Ngorongoro-Krater, die endlosen Grasebenen der Serengeti und der Tarangire Nationalpark bilden die einzigartige Naturkulisse dieses ewig wiederkehrenden »Circle of Life«. Wenn sich die vielstimmige Nacht über das Camp senkt oder Sie an den Originalschauplätzen den Erzählungen Hemingways oder Tania Blixens lauschen, wird Afrika Sie unweigerlich in seinen magischen Bann gezogen haben. Begleiten Sie uns, und erleben Sie, dass „die Serengeti lebt"!

TERMINE 13.03. – 23.03. | 07.10. – 17.10.2013

11 Tage

Pro Person im Doppel ab
4.590 EUR

10 Tage

Pro Person im Doppel ab
5.490 EUR

BOTSWANA HAUTNAH

MIT DR. THOMAS KAUFFELS, DIREKTOR DES OPEL ZOOS IM TAUNUS, ZU DEN NATURWUNDERN BOTSWANAS

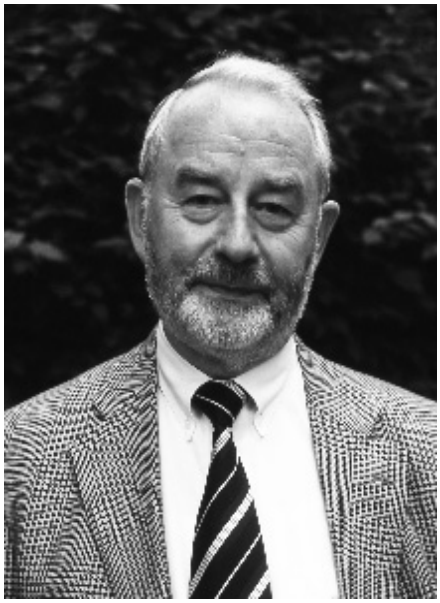
Eine der letzten Wildnisse der Erde – das ist Botswana: anderthalb mal so groß wie Deutschland, aber bewohnt von nur zwei Millionen Menschen. Stattdessen sind hier Millionen von Tieren beheimatet, die die unterschiedlichsten Naturräume vorfinden; von den endlosen trockenen Weiten der Kalahari-Wüste bis zur Wasserwunderwelt des Okavango-Deltas. Dieses Delta ist ein einmaliges Naturparadies und gehört zu den großartigsten Naturschauspielen der Welt. Und da das Land auf sanften, umweltfreundlichen Tourismus setzt, kann es sich, bewahrt vor zu großem Andrang, seine Ursprünglichkeit bewahren – ein Segen für Natur und Naturliebhaber.

TERMINE 02.03. – 11.03. | 10.06. - 19.06. | 01.11. – 10.11.2013

Informationen und Buchungen unter:
www.windrose.de, info@windrose.de oder (030) 20 17 21-0
Windrose Finest Travel GmbH, Fasanenstr. 33, 10719 Berlin

WINDROSE
FINEST TRAVEL

Editorial



Liebe Mitglieder des Naturwissenschaftlichen Vereins, liebe Leser!

Auch mit dem vorliegenden Heft von NATUR und WISSEN, es ist bereits die Nr. 9, bekommen Sie Gelegenheit, sich den Inhalt der Vorträge seit Erscheinen der vorigen Ausgabe in Erinnerung zu rufen und sich über den Verein und seine Arbeitsgruppen zu informieren. Ich möchte allen, die an diesem Heft mitgewirkt haben, herzlich danken!

Auf der Mitgliederversammlung im März wurde u.a. auch der Vorstand neu gewählt. Die Veränderungen, die geplant waren und realisiert wurden, sollen hier noch einmal zusammengefasst werden: Herr PD Dr. Ralf Thiel ist zum 2. Vorsitzenden gewählt worden; er vertritt demgemäß seit seiner Wahl den Verein mit nach außen und kann zugleich prüfen, ob er zu gegebener Zeit für das Amt des 1. Vorsitzenden kandidieren möchte. Voraussetzung für diese Wahl war, dass Dr. Gerhard Linke sich bereit erklärte, nicht wieder für den 2. Vorsitz zu kandidieren, Anlass genug, Herrn Linke für seine langjährige Arbeit und sein Engagement als 2. Vorsitzender herzlichen Dank zu sagen; er bleibt dem Vorstand auf einer anderen Position erhalten und wird weiter geowissenschaftlichen Sachverstand in seine Arbeit einbringen. Eine weitere Veränderung betrifft die Vorstandsposition des stellvertretenden Schriftleiters unserer Publikationen. Hier ist es gelungen, Herrn Dr. Peter Spork zu gewinnen. Er ist vielen Vereinsmitgliedern als Autor in dieser Zeitschrift und als Vortragender in unserer Reihe Chronobiologie bekannt. Herr Spork ist freiberuflich als Wissenschaftsjournalist tätig, seine Mitwirkung im Vorstand ermöglicht uns neue Einsichten, da er gleichsam von „außen“ auf unsere Arbeit blicken kann. Auf jeden Fall wird er unsere Öffentlichkeitsarbeit konstruktiv begleiten.

Und noch ein Hinweis auf eine weitere geplante Änderung im Vorstand: Der Vorstand ist sich einig, auf der nächsten Mitgliederversammlung einen Vertreter aus den Arbeitsgruppen als Mitglied des Vorstandes zur Wahl vorzuschlagen. Das ist ein längst fälliger Schritt, der die Bedeutung der Arbeitsgruppen für unseren Verein unterstreicht.

Unsere Vortragsreihe gegen Ende des letzten Jahres war dem hoch aktuellen Forschungsgebiet der Chronobiologie gewidmet, dem wir eine Fülle von Ergebnissen verdanken, die weit in unser Alltagsleben hineinreichen. Unser Mitglied Prof. Dieter Mergenhagen gab eine Einleitung zu dieser Thematik und Dr. Peter Spork referierte über neue Erkenntnisse zum Schlaf des Menschen und in der Tierwelt. Aus der Frankfurter Senckenbergischen Anatomie kam Prof. Jörg Stehle zu uns und berichtete darüber, wie Nervenzellen die Zeit messen. Diese Referenten werden sich nicht zurückgesetzt fühlen, wenn der abschließende Vortrag von Prof. Till Roenneberg, Direktor des Instituts für medizinische Psychologie in München und Nestor der Chronobiologie-Forschung, als Höhepunkt der Vortragsreihe bezeichnet wird. Er zeigte anhand eines riesigen statistischen Materials, wie wir unser Leben zwischen den Einflüssen der inneren und der äußeren Uhr zubringen und gab Ratschläge, wie wir zu unserem gesundheitlichen Nutzen im Einklang mit unseren Rhythmen leben können. Es ist eine große Freude, dass wir ausführliche Beiträge zum Thema Chronobiologie in dieses Heft aufnehmen konnten.

Aber Sie finden auch zu den Vorträgen der Monate Januar bis Mai 2012 umfangreiche Zusammenfassungen in unserem aktuellen Heft, die die Vielseitigkeit der Allgemeinen Veranstaltungen belegen: Prof. Bernhard Hausdorf berichtete über seine Vorstellungen eines neuen Artkonzeptes, Dr. Reinhold Hanel über die Bedrohung des Europäischen Aals. Die Bedeutung des Vibrissensystems für die Nahrungssuche der Robben behandelte Prof. Guido Dehnhardt, und Frau Dr. Ortrun Mittelsten Scheid referierte über die Laborpflanze Arabidopsis. Der Vortrag von Frau Prof. Jutta Schneider über Paarungsstrategien kannibalistischer Spinnen bildete den Abschluss der Vorträge des ersten Halbjahres.

Allen Vortragenden sei dafür gedankt, dass sie sich nach ihren Vorträgen bereit gefunden haben, für NATUR und WISSEN den Inhalt ihrer Vorträge auch noch zu Papier zu bringen! Es ist schon Tradition, dass wir zu Beginn des Heftes über den Sommerausflug berichten und dass das Heft mit Mitteilungen aus den Arbeitsgruppen abgeschlossen wird. Hier finden Sie vor allem einen Bericht über die Exkursion der Mikropaläontologie ins Osnabrücker Land und über eine geologische Exkursion nach Marburg.

Auch in diesem Jahr möchte ich wieder an Sie appellieren, sich aktiv an der Gewinnung neuer Mitglieder für unseren Verein zu beteiligen. Sie wissen am besten, wie die Attraktivität unserer Veranstaltungen, der Arbeitsmöglichkeiten in unseren Fachgruppen und die Vorzüge der Exkursionen zu vermitteln sind. Ich bitte Sie herzlich, an die Zukunft unseres Vereins zu denken und sich an der Werbung neuer Mitglieder aktiv zu beteiligen. Ich gestehe, es beunruhigt mich, dass es in meiner langen Amtszeit nicht gelungen ist, die Mitgliedersituation zu verbessern.

Wir hoffen, Sie finden Gefallen an dem vorliegenden Heft. Bitte teilen Sie uns mit, was Ihnen gefällt, und natürlich bitten wir Sie auch um Mitteilung, wenn Sie Kritikwürdiges finden.

Ich freue mich darauf, Sie bei unseren zukünftigen Veranstaltungen zu treffen und bin mit herzlichen Grüßen

Ihr Harald Schliemann

Das Inhaltsverzeichnis finden Sie auf der letzten Umschlagseite.

Harald Schliemann:
Besuch des Instituts für Ökologischen Landbau und Fahrt auf der Wakenitz

Das Herrenhaus, Foto: Stiewe

Das Ziel unseres diesjährigen Ausfluges war das Institut für Ökologischen Landbau in Westerau. Eine nachmittägliche Flußfahrt auf der romantischen Wakenitz von Lübeck bis zum Nordende des Ratzeburger Sees sollte unseren Ausflugstag beschließen.

Wir wurden morgens bei unserer Ankunft in Westerau um 10 Uhr vom Leiter

Einführung durch Herrn Rahmann, Foto: Schliemann

des Instituts, Herrn Professor Rahmann, empfangen. In dem feudalen Herrenhaus des Gutes gab er uns einen Überblick über die Aufgaben seines Instituts und die bewegte Geschichte des Gutsbetriebes bis hin zu dem jetzigen Status einer Forschungseinrichtung des Johann Heinrich von Thünen-Instituts. Dieses Institut mit Sitz in Braunschweig fasst als Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei fünfzehn dem Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz unterstellte Forschungsinstitute zusammen.

Nach dieser Einführung im Herrenhaus und bei allerbestem Wetter ging es ins Gelände. Dafür warteten auf uns zwei große von Traktoren gezogene Leiterwagen, auf denen wir gut zwei Stunden lang, auf Strohballen hockend, durch die Felder des Instituts gefahren wurden. Prof. Rahmann und der technische Leiter des Guts, Herr Klein, fuhren die Traktoren selbst und erklärten bei zahlreichen Stops die Besonderheiten der ökologischen Wirtschaftsweise des Betriebes ausführlich und überaus kenntnisreich. Alle denken sicher gern an die niemals trockenen, aber umso lehrreicheren Ausführungen zurück – wohl kaum einer von uns Teilnehmern hat gewusst, wie komplex die Anforderungen an eine ökologische Feldwirtschaft und Tierhaltung sind.

Das Gut umfasst rund 5000 Hektar. Auf einem Großteil dieser Fläche wird in verschiedenen Versuchstechniken Pflanzenbau betrieben und die Erzeugnisse für die Ernährung von 100 Milchkühen, 50 Schweinen und 60 Milchziegen verwendet. Die Bevorratung der Futtermittel ist hoch technisiert und bedarf nur wenig Personals. Die Tierhaltung erfolgt ebenfalls unter Versuchsbedingungen. So werden die Kühe in Freilaufställen mit elektronisch geregelter Futterzuteilung gehalten, haben aber auch ausgedehnte Weideflächen zur Verfügung. Alle Bemü-

Rustikale Rundfahrt, Fotos: Stiewe

hungen gelten dem ökologischen Landbau und der ökologischen Nutztierhaltung. Produktanalytik wird in eigenen Labors betrieben. Die Forschungsergebnisse stehen den Behörden, der Öffentlichkeit und der landwirtschaftlichen Fachwelt zur Verfügung.

Damit die Vereinsmitglieder, die nicht an dem Ausflug teilnehmen konnten, ebenfalls Gelegenheit haben, sich über die Grundlagen ökologischer Landwirtschaft aus erster Hand zu informieren, haben wir Professor Rahmann für den April 2013 eingeladen, über seine Arbeit bei uns einen Vortrag zu halten. Näheres ist dann dem Programm für den April 2013 zu entnehmen.

Nach Rückkehr von der Exkursion in die Felder des Instituts wartete im Speiseraum des Herrenhauses ein rustikaler Eintopf sowie ein leckerer Nachtisch auf uns, und dies zu einem sehr moderaten Preis! Diese Gastlichkeit verdankten wir dem Umstand, dass das Küchenpersonal nur für uns seine Wochenend-Freizeit unterbrochen hatte, um uns zu bekochen und zu bedienen.

Um ca. 14 Uhr verließen wir das Herrenhaus des Gutes in Richtung Lübeck, und zu meiner Freude gab es nur zufriedene Mienen: Wir hatten einen mehr als oberflächlichen Eindruck in die Praxis ökologischer Landwirtschaft getan, waren bei strahlendem Sonnenschein durch eine schöne Landschaft gefahren worden und hatten bei allem das Gefühl, sehr willkommene Gäste gewesen zu sein.

An der Moltkebrücke in Lübeck bestiegen wir kurz nach 15 Uhr eines der kleinen Schiffe der Firma Quandt und fuhren während der nächsten knapp zwei Stunden auf der Wakenitz bis zur Anlegestelle Rothenhusen. Diese gemütliche, langsame Fahrt auf der Wakenitz, die beiderseits von üppiger Vegetation begleitet wird, bei immer noch ausgezeichnetem Wetter war ein besonders schöner Abschluss dieser Exkursion, an der insgesamt 41 Vereinsmitglieder teilgenommen hatten. Von Rothenhusen brachte uns der Bus in gut einer Stunde zum Zoologischen Museum zurück.

Die Schweine fühlen sich „sauwohl", Foto: Stiewe

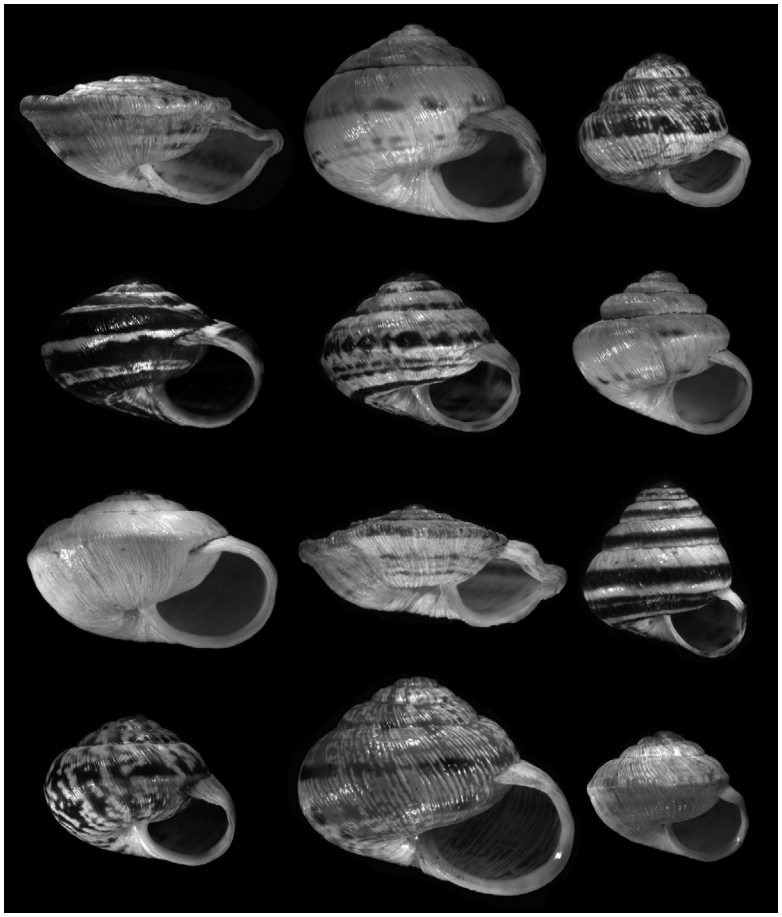
Fahrt auf der Wakenitz, Foto oben: Schliemann
Foto unten: Stiewe

Vortrag vom 26.1.2012

Bernhard Hausdorf, Hamburg:

Brauchen wir ein neues Artkonzept?

Obwohl die „Art“ eine der wichtigsten Einheiten der Biologie ist, ist die Definition des Begriffs nach wie vor umstritten. Neue Erkenntnisse über Artbildungsprozesse erfordern Korrekturen bestehender Artkonzepte. Eine wichtige Erkenntnis ist, dass Arten trotz andauerndem Genaustausch mit anderen Arten differenziert bleiben und sich weiter differenzieren können. Dies ist seit langem für Pflanzen bekannt. Natürliche Hybridisierung kommt jedoch nicht nur bei etwa 25% der Pflanzenarten vor, sondern wurde auch bei etwa 10% der Tierarten gefunden. Durch genetische Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass Hybridisierung tatsächlich in vielen Fällen zu Introgression von Allelen in andere Arten geführt hat.



In wie viele Arten kann die Heideschneckengattung *Xerocrassa* auf der Insel Kreta eingeteilt werden? Als theoretische Basis für die Arbeit an taxonomischen Fragestellungen wie dieser ist ein fundiertes Artkonzept erforderlich.
Fotos: Sauer & Hausdorf

Die zweite neue Einsicht betrifft uniparentale Organismen wie asexuelle Bakterien oder parthenogenetische Taxa. Analysen von uniparentalen Organismen haben gezeigt, dass diese durch die gleichen Muster diskreter genetischer und morphologischer Variation wie biparentale Gruppen charakterisiert sind. Der Begriff „Art“ wird für alle Organismen verwendet. Daher sollte ein allgemeines Artkonzept alle Phänomene entlang des Kontinuums der reproduktiven Systeme abdecken.

Weitere Erkenntnisse über die Natur der „Art“ wurden durch Studien paralleler Artbildungsprozesse gewonnen. Parallele Artbildung ist ein Fall von paralleler Evolution, bei dem ähnliche Eigenschaften, die zu reproduktiver Isolation beitragen, unabhängig in separaten, nah verwandten Linien entstehen, sodass eine polyphyletische Einheit resultiert, die unabhängig von der Stammart evolviert. Zum Beispiel sind Stichlings-Populationen, die sich an unterschiedliche ökologische Bedingungen anpassen, reproduktiv deutlich voneinander isoliert, während Populationen, die sich unabhängig voneinander an dasselbe Habitat angepasst haben, nicht isoliert sind.

Nach dem Biologischen Artkonzept sind Arten „Gruppen von sich tatsächlich oder potentiell kreuzenden natürlichen Populationen, die reproduktiv von anderen solchen Gruppen isoliert sind“. Der zentrale Punkt im Biologischen Artkonzept ist die reproduktive Isolation, die Unfähigkeit von Individuen, die zu verschiedenen Arten gehören, sich erfolgreich miteinander fortzupflanzen. Eine konsequente Anwendung des Biologischen Artkonzepts würde daher die Zusammenfassung aller Arten erfordern, bei denen nachgewiesen werden konnte, dass sie sich regelmäßig kreuzen und Genaustausch zwischen ihnen erfolgt, auch wenn diese Arten dennoch differenziert bleiben und allgemein anerkannt sind. Außerdem kann das Biologische Artkonzept aufgrund der Fokussierung auf reproduktive Isolation nur für biparentale, sich sexuell reproduzierende Organismen angewandt werden.

In den letzten Jahren wurde das Lineage-Artkonzept populärer, das Arten als „separat evolvierende (Segmente) von Metapopulations-Lineages“ beschreibt. Um das Lineage-Artkonzept zu verstehen, müssen zuerst die Begriffe „Lineage“ und „Population“ definiert werden. Eine Lineage wird als „eine Ahnen-Nachfahren Sequenz von Populationen“ definiert. Der Begriff Population ist in der Regel als eine Gruppe von konspezifischen Organismen, die eine mehr oder weniger gut begrenzte geographische Region besiedeln, definiert. Es gibt mehrere Varianten dieser Definition. In jedem Fall muss festgelegt werden, welche der Individuen, die zusammen in einer Region auftreten, eine Population bilden. In einigen Definitionen von „Population“ wird die üblichere Formulierung „konspezifische Organismen“ durch „sich kreuzende Individuen“ ersetzt. Eine solche Definition der Population führt das Biologische Artkonzept durch die Hintertür ein, indem es in der Definition der Population implementiert wird. Wenn die übliche Definition der Population als eine Gruppe von konspezifischen Organismen, die eine mehr oder weniger gut begrenzte geographische Region besiedeln,

akzeptiert wird, kann eine Population nur begrenzt werden, wenn wir entscheiden können, welche Organismen Artgenossen sind. Daher muss definiert sein, was eine Art ist, bevor Populationen begrenzt werden können. Das Lineage-Artkonzept verlagert das Problem der Definition des Begriffs „Art“ auf das Problem der Definition des Begriffs „Population“ und führt zu einem Zirkelschluss oder einer impliziten Umformulierung des Biologischen Artkonzepts.

Darüber hinaus ist das wichtigste Kriterium „separat evolvierend“ im Lineage-Konzept nicht genau definiert. Die Eigenschaft „separat evolvierend“ ist zweifellos der Kern aller modernen Artkonzepte. Um jedoch ein nützliches Kriterium in einem Artkonzept zu sein, muss angegeben werden, was „separat evolvierend“ bedeutet. Es ist unklar, wie Gruppen, die aufgrund von Introgression an einigen Loci Allele austauschen, während sie an anderen Loci separat evolvieren, eingestuft werden sollen.

Außerdem klassifiziert das Lineage-Artkonzept kohärente polyphyletische Einheiten, die durch parallele Artbildung entstanden sind und von der Stammart getrennt evolvieren, nicht als eigene Arten, da sie keine separaten Ahnen-Nachfahren-Sequenzen darstellen.

Aufgrund der dargestellten Probleme stellt das Lineage-Artkonzept keinen nennenswerten Fortschritt hin zu einem allgemein anwendbaren Artkonzept dar.

Eine ebenfalls häufig zitierte Alternative zum Biologischen Artkonzept ist das Phylogenetische Artkonzept. Nach einer Version des Phylogenetischen Artkonzepts, ist eine Art „ein diagnostizierbarer Cluster von Individuen, innerhalb von dem eine Vorfahren-Nachfahren Beziehung besteht, außerhalb von dem keine solche Beziehung besteht, und der ein Muster von phylogenetischer Ahnen-Nachfahren Beziehung zu anderen derartigen Einheiten zeigt“.

Ein Vorteil des Phylogenetischen Artkonzepts im Vergleich zu dem Biologischen Artkonzept ist, dass das Phylogenetische Artkonzept grundsätzlich auch für uniparentale Organismen angewendet werden kann. Allerdings gibt es mit diesem Konzept sowohl bei uni- als auch in biparentalen Organismen Probleme. Bei uniparentalen Organismen, bei denen kein oder kaum Genaustausch vorkommt, wird jeder Klon mit einer Mutation als eigene Art klassifiziert. Bei biparentalen Organismen können auch nur geographisch isolierte Populationen als eigene Arten klassifiziert werden. Daher führt dieses Konzept zu einer taxonomischen Inflation.

Die Bedingung „innerhalb von dem eine Vorfahren-Nachfahren Beziehung besteht, außerhalb von dem keine solche Beziehung besteht“ beschränkt die Cluster von Individuen, die als „Arten“ eingestuft werden, auf diejenigen, die durch Barrieren für Genfluss begrenzt sind. Die Erkenntnis, dass Hybridisierung und Introgression zwischen eng verwandten Arten häufig sind, bedeutet jedoch, dass viele derzeit anerkannte Arten keine separaten „Vorfahren-Nachfahren Beziehung“ aufweisen, sondern dass einige Individuen, die zu einer Art gehören, Vorfahren haben können, die zu einer anderen gleichzeitig existierenden Art gehören. Daher würde eine konsequente Anwendung des Phylogenetischen Artkonzepts ähnlich wie die des Biologischen Artkonzepts die Zusammenfassung vieler gut differenzierter und allgemein anerkannter Arten erfordern, die sich dennoch regelmäßig kreuzen.

Außerdem weisen auch polyphyletische Arten, die durch parallele Artbildung entstanden sind, keine von der Stammart getrennte „Vorfahren-Nachfahren-Beziehung“ auf und können daher im Rahmen des Phylogenetischen Artkonzept nicht von der Stammart separiert werden.

Mallet erkannte, dass das Biologische Artkonzept im Anbetracht von Genfluss zwischen separat evolvierenden Einheiten unhaltbar ist. Er fügte Genetik zu dem phänetischen Artkonzept, das Arten als Gruppen von Individuen mit wenigen oder keinen intermediären Formen definiert, und formuliert die genotypische Cluster-Definition, wonach eine Art „ein genotypischer Cluster, der sich mit verwandten Clustern [geographisch] überlappen kann, ohne mit ihnen zu verschmelzen“ist.

Ein Vorteil dieser Definition ist, dass Gruppen von Individuen, die trotz regelmäßigen Genaustauschs differenziert bleiben, als Arten klassifiziert werden. Dieses Konzept ist auch für uniparentale Organismen anwendbar. Allerdings würde die Annahme der genotypischen Cluster Definition der Art zu der gleichen unerwünschten Konsequenz führen wie die Umsetzung des Phylogenetischen Artkonzepts, nämlich dass jeder genetisch unterschiedliche Klon als eigene Art klassifiziert wird.

Die Vorhersage, dass Arten früher oder später genotypische und phänotypische Cluster bilden, kann von den meisten Artkonzepten abgeleitet werden. Somit ist dies zweifellos ein nützliches Kriterium für die vorläufige Abgrenzung von Arten. Arten, die sich gerade erst getrennt haben, können mit einer zufälligen Auswahl von genetischen Markern jedoch oft noch nicht als verschiedene Cluster erkannt werden. Dies gilt insbesondere für polyphyletische Einheiten, die durch parallele Artbildung entstanden sind.

Wu entwickelte ein Modell des Artbildungsprozesses, das auf „Speziationsgenen“ beruht. Speziationsgene sind Gene, die für differentielle Anpassung an unterschiedliche natürliche oder sexuelle Umgebungen verantwortlich sind. Differentielle Anpassung ist eine Form der Divergenz, bei der die alternativen Allele eines Gens in zwei Gruppen von Individuen entgegengesetzte Fitness-Effekte haben. Zu Beginn des Artbildungsprozesses unterscheiden sich divergierende Populationen nur an wenigen Loci, die für differentielle Anpassung verantwortlich sind. Allele dieser Loci werden in der Regel nicht zwischen den Populationen ausgetauscht. Im Rest des Genoms findet jedoch Genfluss statt. Im Laufe der weiteren Differenzierung nehmen die Regionen differentieller Anpassung zu und der Umfang des Genflusses zwischen den beiden Genpools wird durch die Kopplung angrenzender Genombereiche mit solchen Regionen allmählich reduziert. Wenn die Populationen nicht länger in der Lage sind, bei Kontakt zu verschmelzen, werden sie nach dem Genischen Artkonzept von Wu als Arten klassifiziert, auch wenn sie noch einen Teil ihrer Genome durch Genfluss teilen. Am Ende des Prozesses sind die beiden Populationen vollständig reproduktiv isoliert. Erst dann werden sie nach dem Biologischen Artkonzept als Arten eingestuft.

Nach dem Genischen Artkonzept sind Arten „Gruppen, die differentiell angepasst sind und die bei Kontakt nicht in der Lage sind, die Gene, die diesen adaptiven Merkmalen zugrunde liegen, direkt oder durch intermediäre Hybrid-Populationen auszutauschen“.

Dieses Konzept spezifiziert, in welchen Fällen Gruppen von Individuen trotz Genfluss zwischen diesen Gruppen als Arten klassifiziert werden können. Es kann auch auf uniparentale Organismen angewendet werden. Das Genische

Artkonzept berücksichtigt jedoch ausschließlich Arten, die durch differentielle Anpassung beruhend auf Mutationen in Genen entstanden sind. Einheiten, die separat evolvieren, da sie aufgrund nichtgenischer Mutationen reproduktiv isoliert sind, werden im Genischen Artkonzept nicht berücksichtigt.

Aus einer Generalisierung des Genischen Artkonzepts entstand das Differentielle Fitness Artkonzept, das Arten als „Gruppen von Individuen, die reziprok durch Merkmale charakterisiert sind, die sich in anderen Gruppen negativ auf die Fitness auswirken würden und die nicht regelmäßig zwischen Gruppen ausgetauscht werden können, wenn diese in Kontakt kommen", definiert.

Ebenso wie das Genische Artkonzept spezifiziert dieses Artkonzept, in welchen Fällen Gruppen von Individuen trotz Genfluss zwischen diesen Gruppen als Arten klassifiziert werden können. Das Differentielle-Fitness-Artkonzept kann auf das gesamte Spektrum von uni- bis zu biparentalen Organismen angewendet werden. Im Gegensatz zu dem Genischen Artkonzept ist dieses Artkonzept nicht auf Mutationen in Genen, die zu differentieller Anpassung beitragen, beschränkt, sondern berücksichtigt alle Unterschiede, zum Beispiel auch chromosomale Veränderungen. Die Unterschiede können durch differentielle Anpassung, durch natürliche oder sexuelle Selektion entstanden sein, können aber auch das Ergebnis von nicht-adaptiven Prozessen wie genetischer Drift sein.

Anschrift des Verfassers:
Prof. Dr. Bernhard Hausdorf
Zoologisches Museum der Universität Hamburg
Martin-Luther-King-Platz 3
20146 Hamburg
Email:
hausdorf@zoologie.uni-hamburg.de

Vortrag vom 23.2.2012

Reinhold Hanel, Hamburg:

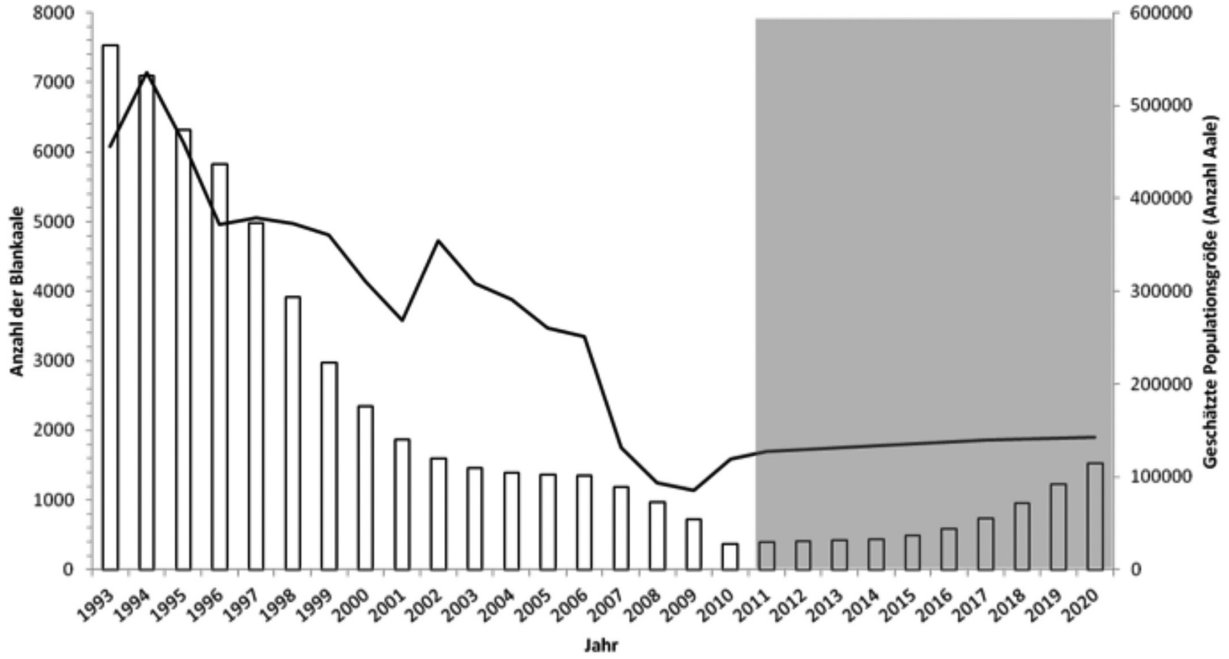
Die vielen ungelösten Rätsel im Leben des Europäischen Aals

Der Bestand des Europäischen Aals (*Anguilla anguilla)* geht seit den 1960er Jahren drastisch zurück. Die Größe der Laicherbestandsbiomasse wird dabei noch auf 2% bis 12% der ursprünglichen Werte geschätzt (ICES, 2002). Ähnliches gilt für das Aufkommen an Glasaalen. Die Glasaal-Rekrutierung in der Atlantik-Region beträgt nur noch 5% der Durchschnittswerte der Jahre 1960 bis 1979, im Bereich der Nordsee liegen die Vergleichswerte bei unter 1%, ohne Anzeichen auf Erholung (ICES, 2011). Die Europäische Kommission will dem dramatischen Rückgang des Aal-Bestandes mit einer Erhöhung der in die Sargassosee abwandernden Blankaale begegnen und verpflichtete die Mitgliedstaaten zur Erarbeitung von flussgebietsspezifischen Aalbewirtschaftungsplänen (Verordnung (EG) Nr. 1100/2007 des Rates von 18. September 2007). Danach soll sichergestellt werden, dass zumindest 40% jener Zahl an Aalen, die unter naturnahen, nicht anthropogen beeinflussten Bedingungen die Flussgebiete besiedeln würden, abwandern und damit zur Fortpflanzung beitragen können.

Als mögliche Gründe für die Bestandsabnahme des Europäischen Aals wurden neben starkem fischereilichen Druck und Schadstoffbelastung vor allem auch der zunehmende Habitatverlust durch wasserbauliche Maßnahmen sowie sogenannte Turbinenverluste an Flusskraftwerken genannt. Auch der zunehmende Fraßdruck durch fischfressende Vögel (vor allem Kormorane), Schwächung durch (eingeschleppte) Parasiten, Krankheitsbelastungen durch Viren ebenso wie negative Auswirkungen einer Klimaveränderung werden als mögliche Ursachen diskutiert. Alle diese Faktoren können vor allem in Summe mittel- bis langfristig gravierenden Einfluss auf die Entwicklung des Aal-Bestandes nehmen, wobei aufgrund der einzigartigen Reproduktionsbiologie des Aals als eine panmiktische Art von einigen Wissenschaftlern sogar ein vollständiges Aussterben nicht ausgeschlossen wird.

Als Folge dieser Entwicklung gibt es innerhalb Europas Bestrebungen, Aalbesatzmaßnahmen nur noch in jenen Gewässern durchzuführen, die aufgrund ihrer Struktur und ökologischen Beschaffenheit gewährleisten, dass sich darin gesunde Laichfische entwickeln können. Die Qualität von Laichern wurde bisher vor allem anhand der Auswirkungen verschiedener Einflussgrößen wie Schadstoffen, Parasiten und Viren auf die Bewältigung der simulierten Schwimmstrecke zu den Laichgründen in der Sargassosee untersucht. Dabei wurde festgestellt, dass etwa der Befall mit dem Schwimmblasen-Parasiten *Anguillicoloides crassus* (Lefebvre et al., 2004; Palstra et al. 2007), aber auch virale Erkrankungen (EVEX, EVE, *Herpesvirus anguillae*) (Van Ginneken et al., 2005) ebenso wie Schadstoffbelastungen etwa mit Dioxinähnlichen Substanzen (PCBs) (Palstra et al., 2006) zu teils massiven Beeinträchtigungen der Schwimmleistung bzw. der Gonadenentwicklung führen und damit die Laicherqualität massiv beeinträchtigen.

Detaillierte Informationen und Einschätzungen der tatsächlichen Beeinflussung der einzelnen Faktoren auf den Bestand des Europäischen Aals im Sinne einer von ihnen hervorgerufenen spezifischen Mortalität sind allerdings nach wie vor nicht verfügbar. In einem Model-Gewässer (der Schwentine in Schleswig-Holstein) wurden nun über einen Zeitraum von mehr als 3 Jahren Anzahl, Gesundheitszustand und Wanderverhalten abwandernder Blankaale ermittelt. Außerdem wurden fischereiliche Sterblichkeit und Besatzmaßnahmen für den Zeitraum seit 1993 ausgewertet und mit der Zahl tatsächlich aus dem Flussgebiet abwandernder Aale verglichen. Die Untersuchungen sollten Erkenntnisse über die Hauptabwanderungszeiten von Blankaalen liefern und Umwelteinflüsse identifizieren, die den Zeitpunkt von Abwanderungsereignissen beeinflussen. Dadurch sollte eine Abschätzung des potentiellen Beitrags des Schwentine-Sys-



Entwicklung des Aalbestandes in der Schwentine laut deutschem Aalbestandsmodell (German Eel Model „GEM II" (Oeberst und Fladung, 2012). Linie: Geschätzte Populationsgröße in Stück. Balken: Anzahl der potentiell abwandernden Blankaale. 1993 - 2010: modelliert nach erfassten Eingangsparametern. Grau unterlegt: Prognose (bis 2020) der Entwicklung des Bestandes ohne kommerzielle/Freizeit- Fischerei.

tems zur Laicherbestandsbiomasse des Aals geliefert und die Auswirkung verschiedener Management-Maßnahmen auf die Entwicklung der Blankaalabwanderung modelliert werden.

Die tatsächlich beobachtete jährliche Blankaalabwanderung pro Hektar lag weit unter den erwarteten Werten für die Flussgebietseinheit Schlei/Trave. Ausmaß und Zeitpunkt der jährlichen Blankaalabwanderung variierte stark. Offenbar wurde der Beginn der herbstlichen Hauptabwanderung vor allem durch Schüttung und Temperatur beeinflusst. Die Ergebnisse legen nahe, dass ein durchgängiges Monitoring dieser Umweltparameter dazu genutzt werden kann, Abwanderungsereignisse besser vorherzusagen und damit anthropogene Einflüsse während der Blankaalabwanderung zu minimieren.

Darüber hinaus verringern hohe Befalls-Intensitäten mit dem Schwimmblasen-Parasiten *Anguillicoloides crassus*, sowie fallweise Infektionen mit dem Rhabdovirus EVEX die Laicherqualität der Aale. Auffallend war auch die beobachtete geringe Wandergeschwindigkeit der abgewanderten Blankaale in der Ostsee. Inwieweit vor allem die verringerte Wandergeschwindigkeit damit zusammenhängt, dass es sich bei den untersuchten Tieren ausschließlich um Besatzaale handelte, bedarf einer weitergehenden Klärung. Die Summe dieser Daten ermöglicht es schließlich, die größtenteils auf Modell-Annahmen beruhenden Schätzungen der Zahl abwandernder Aale für ein Gewässersystem zu validieren und verschiedene Eingangsparameter des den meisten der deutschen Aalmanagement-Pläne zugrunde liegenden „deutschen Aalbestandmodells (GEM II)" zu überprüfen. Durch die Wahl eines geschlossenen Gewässersystems wurde zudem erstmalig gewährleistet, die Frage der Bedeutung von Besatz für die Wiederauffüllung des Bestandes zu untersuchen.

Lesehinweise:

ICES, 2010. Report of the ICES/EIFAC Working Group on Eels (WGEEL). International Council for the Exploration of the Sea. ICES CM 2010/ACOM:18.

ICES, 2011. Report of the Workshop on Age Reading of European and American Eel (WKAREA2), 22-24 March 2011, Bordeaux, France. ICES CM 2011/ACOM:43. 35 pp.

Lefebvre, F., Mounaix, B., Poizat, G., Crivelli, A.J., 2004. Impacts of the swimbladder nematode *Anguillicola crassus* on *Anguilla anguilla* : variations in live rand spleen masses., Journal of Fish Biology, 64: pp 435-447.

Palstra, A.P., van Ginneken, V.J.T., Murk, A.J., van den Thillart, G.E.E.J.M., 2006. Are dioxin-like contaminants responsible for the eel (*Anguilla anguilla*) drama? Naturwissenschaften, 93: 145.

Palstra, A.P., Heppener, D.F.M., van Ginneken, V.J.T., Szekely, C., van den Thillart, G.E.E.J.M., 2007. Swimming performance of silver eels is severely impaired by the swimbladder parasite *Anguillicola crassus*. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 352: 244–256.

Van Ginneken, V., Ballieux, T.B., Willemzer, R., Coldenhoff, K., Lentjes, E., Antonissen, E., Haenen, O., van den Thillart, G. 2005. Hematology patterns of migrating European eels and the role of EVEX virus. Comparative Biochemistry and Physiology - Part C, 140: 97-102.

Oeberst, R., Fladung, E., 2012. German Eel Model (GEM II) for describing eel, *Anguilla anguilla* (L.), stock dynamics in the river Elbe system. Information on Fishery Research, 59: 9-17.

Anschrift des Verfassers:

PD Dr. Reinhold Hanel
Johann Heinrich von Thünen-Institut
für Fischereiökologie
Palmaille 9
22767 Hamburg
Email: reinhold.hanel@vti.bund.de

Vortrag vom 22.3.2012

Guido Dehnhardt, Frederike D. Hanke, Rostock:

Das Vibrissensystem der Robben

Vom biologischen Phänomen zur technischen Anwendung

Im Frühjahr 2009 verirrte sich ein Heringsschwarm in die weltweit größte Robbenforschungsanlage, die am Marine Science Center (MSC) der Universität Rostock beheimatet ist. Die Seehunde, die in dieser Anlage zur Erforschung ihrer sensorischen und kognitiven Fähigkeiten gehalten werden, begannen zu jagen (Abb.1*) - sie entpuppten sich – obschon allesamt in Gefangenschaft geboren – als hervorragende Jäger und zeigten, zu welchen Jagdleistungen Seehunde in der Lage sind. Doch nicht immer sind die Bedingungen bei der Jagd so optimal wie im Frühjahr 2009 in Rostock. In große Wassertiefe dringt nur wenig oder gar kein Sonnenlicht, und auch knapp unter der Wasseroberfläche kann die Sicht durch starke Trübheit eingeschränkt sein. Seehunde jagen nicht nur tagsüber, sondern auch bei Nacht, wo Dunkelheit die Funktionsweise selbst eines so lichtsensitiven Auges wie dem des Seehunds einschränken kann. Prinzipiell verfügen Seehunde unter Wasser über eine gute Sehschärfe, die eine erfolgreiche visuell gesteuerte Jagd auf Fische problemlos ermöglichen würde. Dies gilt allerdings nur für klares Wasser. Nimmt die Trübheit des Wassers zu, so verschlechtert sich die Sehschärfe drastisch (Weiffen et al. 2006). Wie können Seehunde auch dann noch Fische erbeuten? Sie besitzen ein sehr sensitives Sinnessystem, welches die Funktion der Augen übernehmen kann, wenn diese keine oder nur geringe Informationen über die Umwelt liefern können: die Barthaare oder Vibrissen. Das sind Sinneshaare, deren Funktionsweise die Forscher am Marine Science Center in zahlreichen Experimenten Schritt für Schritt verstehen gelernt haben.

Vibrissen finden sich bei fast allen Meeressäugern und treten bei den Robben im Kopfbereich symmetrisch auf (Abb.2*). Man unterscheidet hier die mystazialen Vibrissen, die zahlreich auf der Oberlippe in horizontal verlaufenden Reihen angeordnet sind, die rhinalen Vibrissen, von denen sich jeweils ein einzelnes Haar hinter jeder Nasenöffnung befindet und die nur bei den Hundsrobben wie z. B. dem Seehund auftreten, und die supraorbitalen Vibrissen, die in geringer Zahl oberhalb der Augen anzutreffen sind. Die Haare selbst unterscheiden sich innerhalb der Robben in ihrer Oberflächenstruktur. Während die Vibrissen der Seehunde eine wellenförmige Struktur aufweisen (Abb.3*), besitzt z. B. der Kalifornische Seelöwe Vibrissen mit einer glatten Oberfläche. Die Vibrissen sind in der Haut in Follikeln verankert; die Bewegung der Vibrissen im Follikel wird auf Rezeptorzellen übertragen, die mechanische Reize aufnehmen. Generell ähneln sich die Follikel aller Vibrissen tragenden Tiere sehr stark, jedoch gibt es bei den Robben einige Besonderheiten. Die Follikel bei Robben sind sehr viel größer und werden durch eine gegenüber Landsäugern wie Ratte oder Katze 10-fach erhöhte Anzahl an Nervenfasern versorgt. Darüber hinaus findet sich bei den Robben ein weiterer Blutsinus, d. h. dass noch mehr Blut den Follikel umströmt als bei Landsäugern.

Welche Funktion hat nun das Vibrissensystem? Es ist von Landsäugern bekannt, dass diese ihre Vibrissen einsetzen, um aktiv Objekte zu ertasten – ein Prozess der als Haptik bezeichnet wird. Beim Menschen erfüllt die Hand diese Funktion. Eine haptische Objektidentifizierung könnte für Robben bei der Suche nach Beutetieren im Sediment des Meeresbodens, z. B. nach Plattfischen, hilfreich sein. Dies entspräche einem Einsatz der Vibrissen, wie er bei australischen Schwimmratten beim Aufspüren von Beute am Gewässergrund zu beobachten ist. In zahlreichen Experimenten konnte gezeigt werden, dass Robben tatsächlich in der Lage sind, mit Hilfe ihrer Vibrissen die Größe, Struktur und Form von Objekten zu erkennen und zu unterscheiden. Beobachtet man die Robben beim Tastvorgang, so fällt auf, dass die Vibrissen der Robben starr nach vorne gestellt sind. Bei einer Größenunterscheidung bewegen die Tiere ihre Vibrissen mit Hilfe kleinster Kopfbewegungen über das Objekt. Die durch die Kopfbewegungen erfahrene mechanische Auslenkung liefert dann die Größeninformation. Dahingegen lösen Menschen diese Aufgabe über kinaesthetische Informationen, Informationen die von Rezeptoren des Bewegungsapparates geliefert werden.

In den Experimenten zur Erforschung der Haptik präsentierte sich das Vibrissensystem als ein sehr sensitives Sinnessystem. Die Sensitivität wurde mit Lamellenplatten getestet, deren Rillenbreite variierte. Die Seehunde waren in der Lage, Lamellenplatten zu unterscheiden, die weniger als 9% in der Rillenbreite variierten. Aus eigener Erfahrung im Umgang mit Seehunden bei sehr niedrigen Außentemperaturen wussten die Wissenschaftler des MSC, dass die Empfindlichkeit und die Beweglichkeit des eigenen haptischen Sinnessystems, die Finger, durch Kälte eingebüßt wird. Eine Wiederholung des Lamellentests im Winter in 1 Grad kaltem Wasser brachte jedoch ans Licht, dass die hohe Sensitivität der Vibrissen der Seehunde selbst unter diesen Bedingungen erhalten bleibt (Dehnhardt et al. 1998b). Ein Blick auf die Vibrissen durch eine Wärmekamera ließ verstehen (Abb.4*), dass in kalter Umgebung die Vibrissen selektiv über das stark ausgebildete Blutsinussystem der Follikel aufgeheizt werden und dadurch die Funktionalität des Sinnessystems vollständig erhalten bleibt.

Robben jagen jedoch nicht nur bodenlebende Fische, die man durch aktives Tasten aufspüren könnte, sondern auch schnell schwimmende Fische im Freiwasser. Diese Fische verraten sich durch Wasserbewegungen. Sollten Seehunde in der Lage sein, diese Wasserbewegungen mit ihren Vibrissen ähnlich dem Seitenlinienorgan von Fischen zu spüren? Tatsächlich konnte ein Seehund in einem Experiment feinste Wasserbewegungen von weniger als 0,001 mm, die von einer vibrierenden Kugel hervorgerufen wurden, wahrnehmen (Dehnhardt et al. 1998a). Betrachtet man nun die Wasserbewegungen eines schwimmenden Fisches, so fällt auf, dass die Wasserbewegungsspur, die sogenannte hydrodynamische Spur des Fisches, teilweise noch Minuten nachdem ein Fisch eine Stelle im Wasser passiert hat, in abgeschwächter, aber für den Seehund nach wie vor detektierbarer Stärke erhal-

ten bleibt. Ein Seehund könnte also der hydrodynamischen Spur eines Fisches folgen, um diesen dann zu erbeuten - ähnlich dem Verfolgen einer Duftspur durch an Land lebende Säuger. Am Marine Science Center ersetzte im Experiment ein U-Boot, welches ebenfalls eine komplexe hydrodynamische Spur hinterläßt, den Fisch. Die Seehunde wurden mit einer Maske über den Augen auf die Spur geschickt. Was keiner erwartet hatte: die Seehunde nahmen die Spur direkt und scheinbar mühelos auf und verfolgten sie bis zum U-Boot (Abb.5*); und das über Distanzen von bis zu 40 m und ungeachtet dessen, ob das U-Boot eine Kurve oder geradeaus fuhr (Dehnhardt et al. 2001). Auch die Verfolgung der hydrodynamischen Spur eines Artgenossens gelang problemlos. Hiermit war ein bisher nicht beschriebener Orientierungsmechanismus dokumentiert, der Ausgangspunkt für eine Vielzahl an Folgeexperimenten darstellte. In diesen wurde überzeugend gezeigt, dass Seehunde aus einer hydrodynamischen Spur blitzschnell die Bewegungsrichtung, die Größe und Form eines sich bewegenden Objektes extrahieren können (Wieskotten et al. 2011). Da sich die hydrodynamischen Spuren von Fischart zu Fischart unterscheiden, wäre es also sogar denkbar, dass die Tiere Informationen über die Fischart und auch die Größe des Fisches extrahieren und damit schon beim Auftreffen auf eine Spur, abschätzen könnten, ob sich die Verfolgung einer spezifischen Spur lohnen würde. Eine detaillierte Videoanalyse (Particle Image Velocimetry, PIV) des hydrodynamischen Diskriminations- oder Detektionsvorgangs durch einen Seehund brachte ans Licht, dass sich die Tiere bei der Untersuchung der hydrodynamischen Spur vor allen Dingen auf die innerhalb der Spur vorhandenen Wirbel konzentrieren. In der aktuellen Forschung am Marine Science Center werden deshalb nun einzelne Wirbel mit Hilfe eines Wirbelgenerators erzeugt. Diese Einzelereignisse detektieren die Seehunde wiederum spielend leicht. Aufbauend darauf können nun spezifische Eigenschaften der Wirbel wie z. B. die Größe variiert oder spezifische Vibrissenregionen gezielt gereizt werden, um die Leistung des Vibrissensystem im Detail weiter verstehen zu lernen.

In den Verhaltensexperimenten kam die Frage auf, wie ein Seehund während des Schwimmens, aus der Eigenbewegung heraus das komplexes Muster der verhältnismäßig schwachen hydrodynamischen Spur lesen kann? An sich sind die Vibrissen sehr flexible, biegsame Haare. Bemerkenswerterweise sind sie jedoch während des Schwimmens unter Wasser nahezu starr. Dies trat auf Videoaufnahmen zu Tage, die von einer im Kopfbereich befestigten Kamera aufgezeichnet wurde, die die Vibrissen während einer hydrodynamischen Spurverfolgung filmte (Abb.6*). Eigentlich sollten bei der Umströmung der Vibrissen, genau wie z. B. auch bei der Umströmung eines Zylinders, fortlaufend Wirbel gebildet werden, die als sogenannte Karmansche Wirbelstraße hinter dem Objekt deutlich detektierbar wären. Durch die Ablösung der Wirbel wird eine Kraft auf die Vibrisse ausgeübt, die diese in Schwingung versetzen müsste. Dass diese Schwingungen nicht auftreten, liegt in der wellenförmigen Oberflächenbeschaffenheit der Vibrisse des Seehunds begründet. Messungen einzelner Vibrissen im Strömungskanal sowie numerische Simulationsrechnungen zeigten, dass durch die komplexe Oberfläche Wirbel direkt bei Entstehung am Haar wieder zerstört werden. Die Vibrissen erfahren also nur eine Erregung durch externe Wirbel wie sie z. B. in den hydrodynamischen Spuren von Fischen enthalten sind und können somit direkt das äußere Ereignis messen (Miersch et al. 2011). Ganz anders verhalten sich die glatten Seelöwenvibrissen. An diesen Vibrissen greifen zehnfach größere Kräfte an als an den Vibrissen der Seehunde (Miersch et al. 2011), d. h. Seelöwen müssen ein externes Ereignis aus einem großen Hintergrundrauschen herausrechnen. Allerdings sind auch Seelöwen in der Lage, hydrodynamische Spuren zu verfolgen. Nach unserem bisherigen Kenntnisstand gelingt ihnen dies, da die Schwingungen ihrer beim schnellen Schwimmen angeströmten Vibrissen nicht chaotisch sind, sondern in Abhängigkeit von der Schwimmgeschwindigkeit einer Eigenfrequenz entsprechen, deren Modulation beim Auftreffen einer hydrodynamischen Spur die Robbe wahrnimmt.

Ein Gegenstand, der in einem Strömungsfeld nicht in Schwingungen versetzt wird, wie es die Seehundvibrisse veranschaulicht, ist für die Technik äußerst interessant. Die Übertragung eines solchen biologischen Mechanismus in die Technik ist Ziel der bionischen Forschung. In einem bionischen Ansatz könnten nun also die Erkenntnisse der Funktionsweise der Vibrissen genutzt werden, um Sensoren für Forschungs-U-Boote zu bauen oder um gebäudetechnische Lösungen für z. B. Fundamente von Off-Shore-Windkraftanlagen zu entwickeln.

Sei es die Erforschung der Detektierbarkeit einzelner Wirbel, sei es eine Übertragung der Erkenntnisse in die Technik im Sinne der Bionik oder seien es Experimente zur Leistungsfähigkeit des Vibrissensystems unter Freiwasserbedingungen - die Forscher am Marine Science Center haben noch eine spannende Forschungszeit vor sich.

Lesehinweise:

Dehnhardt G, Mauck B, Bleckmann H (1998a): Seal whiskers detect water movements. Nature 394:235-236

Dehnhardt G, Mauck B, Hanke W, Bleckmann H (2001): Hydrodynamic trail-following in harbor seals (*Phoca vitulina*). Science 293:102-104

Miersch L, Hanke W, Wieskotten S, Hanke FD, Oeffner J, Leder A, Brede M, Witte M, Dehnhardt G (2011): Flow sensing in pinniped whiskers. Philosophical Transactions of the Royal Society of London B Biological Sciences 366:3077-3084

Anschrift der Verfasser:

Prof. Dr. Guido Dehnhardt
Universität Rostock
Institut für Biowissenschaften
Sensorische und kognitive Ökologie
Albert-Einstein-Str. 3
18059 Rostock
Email: guido.dehnhardt@uni-rostock.de
und
Marine Science Center
Am Yachthafen 3A
18119 Rostock - Hohe Düne

*) **Die Abbildungen finden Sie auf der dritten Umschlagseite**.

Vortrag vom 5.4.2012

Ortrun Mittelsten Scheid, Wien:

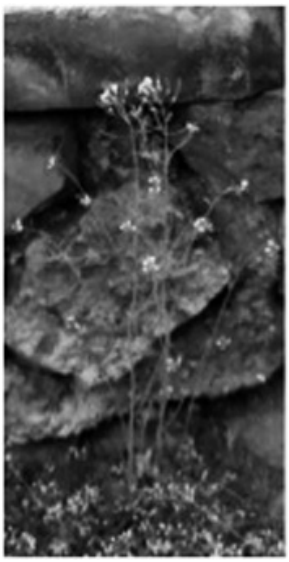
Arabidopsis thaliana: ein nützliches Unkraut hat Karriere gemacht

Arabidopsis thaliana, die Ackerschmalwand, wird weltweit von tausenden ForscherInnen auf verschiedene Aspekte ihrer Biologie untersucht und macht immer wieder Schlagzeilen, in der Fachliteratur und gelegentlich auch in der Tageszeitung. Wie kam es, dass eine kleine Pflanze, die weder besonders schön noch von praktischem Nutzen ist, zum Star der modernen Pflanzenwissenschaften wurde?

Wichtige Argumente dafür wurden bereits vor fast 70 Jahren von Friedrich Laibach vorgebracht: er hat die kurze Generationszeit, den geringen Platzbedarf, die vielen natürlich vorkommenden Varianten und die geringe Chromosomenzahl hervorgehoben und *Arabidopsis* mit der Fruchtfliege, dem Haustier der GenetikerInnen, verglichen. Allerdings dauerte es noch Jahrzehnte, bis diese Vorzüge in der breiteren Pflanzenwissenschaft bekannt und zunächst hauptsächlich in der Vererbungsforschung genutzt wurden. Die weitgehende Selbstbestäubung bei *Arabidopsis* führt nämlich zu grosser Einheitlichkeit der genetischen Information innerhalb einzelner Pflanzen, die dann bei Kreuzungen klare Verhältnisse liefert. Für den Boom der Arabidopsis-Forschung in den letzten 30 Jahren war dann aber die Entdeckung ausschlaggebend, dass die genetische Bauanleitung für diese Pflanze, das Genom, im Vergleich zu dem anderer Arten aussergewöhnlich klein ist. Damit wurden auch die MolekularbiologInnen aufmerksam und wählten *Arabidopsis* zum Modellorganismus der Genomforschung. In Zusammenarbeit eines internationalen Konsortiums wurde das erste pflanzliche Genom sequenziert und im Jahr 2000 veröffentlicht, zur gleichen Zeit wie das erste menschliche Genom. Weitere globale Initiativen haben wichtige Ressourcen in Form von Datenbanken, Mutantensammlungen und Saatgutzentren geschaffen, die die Forschung in grossem Ausmaß unterstützt und manches Projekt überhaupt erst möglich gemacht haben. Ergebnisse aus unzähligen Experimenten zur Aktivität einzelner Gene, und viele weitere Informationen, werden auch heute weiter gesammelt und öffentlich zugängig gemacht.

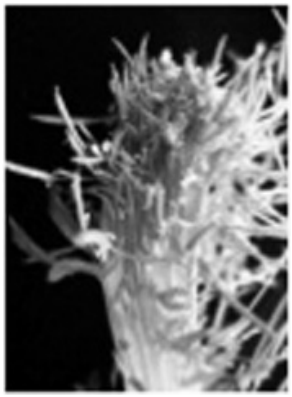
Zusätzlich zu den schon erwähnten Vorzügen kam die technisch einfach durchzuführende Erzeugung von Mutanten. Für die meisten der über 20.000 Gene gibt es *Arabidopsis*-Linien, bei denen einzelne Gene ihre Funktion verloren haben und die sich gerade dadurch eignen, anhand der Ausfallerscheinungen die Genfunktion zu untersuchen. Elektronisch erfasste Kataloge geben Auskunft, wie die Gendefekte auf der Ebene der DNA-Sequenz beschaffen sind. Samen der entsprechenden Linien können wie im Versandhandel bestellt werden. Ebenfalls wichtig ist die leichte genetische Modifikation durch Einbau von neuen Genen, die es erlaubt, maßgeschneiderte Genvarianten auf ihre Funktion zu testen oder Proteine um einen fluoreszierenden Anteil zu verlängern und sie damit in lebenden Zellen sichtbar zu machen. Ein weiterer Vorteil, der in den letzten Jahren einen neuen Schub in der *Arabidopsis*-Forschung bewirkt hat, ist die weite Verbreitung der Art über mehrere Kontinente und viele Breitengrade, Höhenmeter und verschiedene Lebensräume. Das erlaubt, die dabei entstandene genetische Vielfalt zwischen Populationen mit den Anpassungsmechanismen an die verschiedenen Standorte in Verbindung zu bringen. Hierzu wird zur Zeit die Genomanalyse auf 1001 verschiedene *Arabidopsis*-Varianten ausgedehnt.

Junge Pflanze



Blühende Pflanze

Normalform



Mutante

Es gibt wenige Bereiche der Pflanzenbiologie, zu denen keine Experimente an *Arabidopsis* einige grundlegende Erkenntnisse beigesteuert haben. Einblicke in Entwicklungsprozesse wie Blühinduktion, Befruchtung, Embryo- und Samenbildung, Hormonregulation, Lichtwahrnehmung und Energiehaushalt, Schädlingsabwehr und Stressresistenz, DNA-Reparatur, genetische und epigenetische Genregulation in Pflanzen sind in tausenden von Veröffentlichungen beschrieben worden und haben oftmals die Tür für deren Verständnis auch in anderen Arten, einschliesslich vieler landwirtschaftlich wichtiger Pflanzen, geöffnet. Dabei hat die verwandtschaftliche Nähe von *Arabidopsis* zu Raps, Senf, oder den Kohlgewächsen geholfen; die Gemeinsamkeiten schliessen aber oft auch die weiter entfernten Verwandten wie Getreide oder Bäume ein. Selbst in der medizinisch motivierten Forschung findet man Moleküle, deren Funktion zuvor schon in *Arabidopsis* verstanden und die im Laufe der Evolution in Pflanzen und Tieren offenbar beibehalten wurden.

Nobody is perfect, und das gilt auch für *Arabidopsis*. Natürlich ist Kleinheit ein

Nachteil, wenn man für Experimente grosse Materialmengen braucht. Es kann auch sein, dass das kleine Genom eine Art Ausnahme im Pflanzenreich darstellt und andere Genome eventuell anders organisiert sind. Die kurze Lebenszeit von *Arabidopsis* erlaubt auch keine Erforschung von Alterungsprozessen, und der Einbau von Luftstickstoff, der z.B. die Schmetterlingsblütler in Zusammenarbeit mit Bakterien auszeichnet, kann mit *Arabidopsis* nicht gut untersucht werden. Dafür bieten sich neue Technologien an, genetische und epigenetische Informationen, Genaktivitäten im grossen Maßstab, eine Vielzahl von Stoffwechselprodukten, Signalmolekülen und Energieträgern gleichzeitig zu erfassen. Zusammen mit der Verfeinerung der Analysemethoden, hochauflösender Mikroskopie an lebendem Material und den sich rasant entwickelnden bioinformatischen Methoden zur Datenverarbeitung und zum Nachbilden komplexer Zusammenhänge gibt es nach wie vor spannende und relevante Fragestellungen, die mit Hilfe des unscheinbaren Krauts bearbeitet werden können und sollten. Von *Arabidopsis* konnten wir bisher und können wir noch viel lernen.

Anschrift der Verfasserin:
PD Dr. Ortrun Mittelsten Scheid
Gregor Mendel Institute of Molecular Plant Biology GmbH
Dr. Bohr-Gasse 3
1030 Wien, Österreich
Email:
ortrun.mittelsten_scheid@gmi.oeaw.ac.at

Vortrag vom 24.5.2012

Jutta Schneider, Hamburg:

Paarungsstrategien kannibalistischer Spinnen

Bei der australischen Kugelspinne *Latrodectus hasselti* machen die Männchen bei der Kopulation einen charakteristischen Rückwärtssalto, der ihr Abdomen direkt auf die Chelizeren der Weibchen platziert. Das Weibchen beginnt das Männchen zu verzehren und das Männchen kann seine Kopulation verlängern und mehr Spermien übertragen. Das Männchen stirbt jedoch nicht immer dabei, sondern es gelingt einem Teil der Männchen auch den zweiten Taster oder Pedipalpus (männliche Spinnen haben paarige sekundäre Kopulationsorgane) in einer weiteren Kopulation mit diesem Weibchen zu entleeren. Sein Überleben trotz beginnendem Kannibalismus sichert sich das Männchen durch eine abdominale Einschnürung, wobei alle wichtigen Organe in den vorderen Teil es Abdomens gezogen werden und vorerst geschützt sind. Nach der zweiten Kopulation stirbt das Männchen in der Regel. Bei der Wespenspinne *Argiope bruennichi* empfängt das Weibchen ein balzendes Männchen friedvoll im Netz, begibt sich innerhalb von Sekunden in eine Stellung, die dem Männchen Zugang zu den Geschlechtsöffnungen gewährt und scheint das Männchen zur Kopulation einzuladen. In der Sekunde, in der das Männchen seinen Taster mit der Geschlechtsöffnung des Weibchen verbindet, krümmt sich das Weibchen und beginnt augenblicklich Seide aus den Spinnwarzen zu ziehen und das Männchen einzuspinnen. In etwa 70% der Fälle endet dieser Angriff tödlich für das Männchen. Um zu überleben, muss das Männchen spätestens 10 Sekunden nach Kopulationsbeginn abspringen. Anstatt zu flüchten, geht das oft verletzte Männchen (in der Regel verliert es Beine) zurück zum gleichen Weibchen, von dem es wieder freundlich empfangen wird. Diese zweite Kopulation endet immer tödlich für das Männchen. Es versucht erst gar nicht abzuspringen, sondern kopuliert so lange bis die meisten im Pedipalpus gespeicherten Spermien übertragen sind.

Bei der südafrikanischen *Nephila fenestrata* schleicht sich das Männchen von oben an das viel größere Weibchen heran und beginnt auf ihrem Körper zu balzen. Schließlich inseriert das Männchen einen seiner beiden Taster in eine Geschlechsöffnung und beginnt mit der Spermienübertragung. Nach einigen Sekunden beginnt das Weibchen mit dem dritten Beinpaar über die Geschlechtsöffnung zu streichen, als wollte es das Männchen abstreifen. Das viel kleinere Männchen presst sich fest auf den Körper des Weibchens und kann in der Regel weiterkopulieren bis das Weibchen weitere Bewegungen macht. Etwa 30% der Männchen gelingt es nicht, sich zu retten, und sie werden gefressen. Um eine frühzeitige Unterbrechung der Kopulation zu vermeiden, hat das Männchen die Option, zu warten bis das Weibchen mit dem Fressen einer Beute beschäftigt ist. Sogenannte opportunistische Kopulationen während das Weibchen frisst, enden nur äußerst selten mit dem Tod des Männchens. Auch hier wird das Männchen versuchen, beide Taster in den beiden Geschlechtsöffnungen des Weibchens zu entleeren.

Für das Phänomen des sexuellen Kannibalismus, das diese drei Arten auch als Repräsentanten ihrer Gattungen gemeinsam haben, hat es schon viele Erklärungsversuche gegeben. In den genannten Beispielen wird deutlich, dass die Männchen sexuellen Kannibalismus vermeiden können, es aber nicht immer tun. Es gibt unterschiedliche Verhaltensweisen nach der ersten und nach der zweiten Kopulation und das macht Sinn, wenn man sich die Begattungsorgane der Männchen genauer ansieht. Spinnenmännchen übertragen Spermien mit umgewandelten Beinen, den Pedipalpen, die paarig vorliegen. Die Männchen unserer Beispielarten können pro Kopulation je einen Pedipalpus benutzen und sie brechen während der Paarung ein Stück davon ab, das in der Geschlechtsöffnung der Weibchen verbleibt. Die abgebrochenen Stücke dienen als Paarungspfropf und verhindern mehr oder weniger effizient zukünftige Kopulationen in diese Öffnung. Entscheidend ist hierbei, dass die Taster nach einer erfolgreichen Kopulation beschädigt sind und nicht mehr benutzt werden können, sodass Männchen nach zwei Kopulationen steril sind. Mit diesem Wissen wird verständlich, warum sich die Männchen nach der 1. Kopulation gegen den Kannibalismus wehren, nach der zweiten aber nicht mehr, denn danach haben sie keinen reproduktiven Wert mehr und durch den

Pfropf ihre Vaterschaft gesichert – zumindest gilt das für die ersten beiden Arten. Warum überleben die Männchen von *N. fenestrata* dann auch die zweite Paarung? Hier liegt der Fall etwas anders, denn Rivalen können den Pfropf ihres Vorgängers entfernen. Die „Eunuchen" verteidigen ihre Weibchen aggressiv gegen Rivalen und sichern auch auf diese Weise ihre Vaterschaft.

Die drastischen Anpassungen der Männchen haben die Funktion, die gesamte Vaterschaft der Eier eines Weibchens zu sichern auf Kosten weiterer Paarungschancen: die Männchen sind monogam und es handelt sich um ein monogynes Paarungssystem. Bei den Webspinnen (Araneae) sind monogyne Paarungssysteme in mindestens drei Familien unabhängig voneinander entstanden. Die drei dargestellten Arten sind exemplarisch für jede der drei Familien: 1. Araneidae: *Argiope bruennichi*; 2. Nephilidae: *Nephila fenestrata*; 3. Theridiidae: *Latrodectus hasselti* (Abb.1). Ein mathematisches Modell zeigt, dass Monogynie stabil sein kann, wenn das Geschlechterverhältnis zu den Männchen hin verschoben ist und das Männchen Möglichkeiten besitzt, seine Vaterschaft mit einem Weibchen zu sichern, denn nur dann ist der mittlere Erfolg der monogynen Strategie größer als der mittlere Erfolg einer polygamen Alternative. Je geringer der Männchenüberschuss, umso besser muss der Vaterschaftsschutz sein. Diese wichtigsten Kriterien sind bei allen Beispielarten erfüllt. Besonders interessant sind neben den Gemeinsamkeiten aber auch die Unterschiede. Zum Beispiel sind die Paarungspfropfen unterschiedlich gut darin, einen Spermienspeicher dauerhaft zu sichern. Interessanterweise sind die Weibchen bei *A. bruennichi* besonders aggressiv und die Kannibalismusrate nach der ersten Kopulation ist auch besonders hoch. In dieser Art sichert ein Paarungspfropf die Geschlechtsöffnung in sehr effizienter Weise, d.h. wenn das Männchen beide Taster benutzen kann, haben die Eier des Weibchens nur diesen einen Vater. Möglicherweise entspricht dies nicht den Interessen des Weibchens. Tatsächlich haben wir gute Hinweise darauf, dass die Weibchen einen Vorteil haben, wenn sie mehrfach kopulieren und so kommt es zu einem Geschlechterkonflikt um die Paarungsrate. Eine unserer Arbeitshypothesen ist somit, dass die Kannibalismusrate invers mit der Güte des Vaterschaftschutzes zusammen hängt (Abb. 2). Um diese Hypothese zu testen, sind jedoch noch mehr Daten über mehr Arten notwendig.

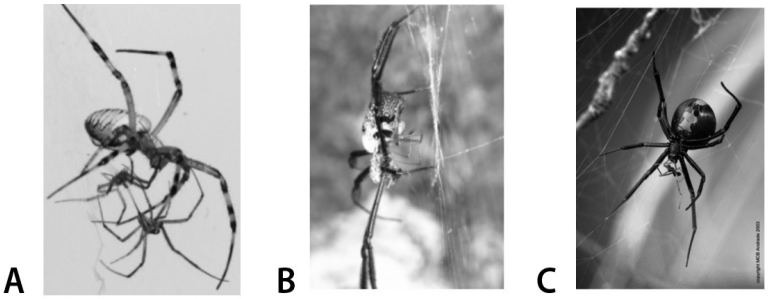


Abb. 1: A *Argiope bruennichi,* B *Nephila fenestra*, C *Latrodectus hasselti*

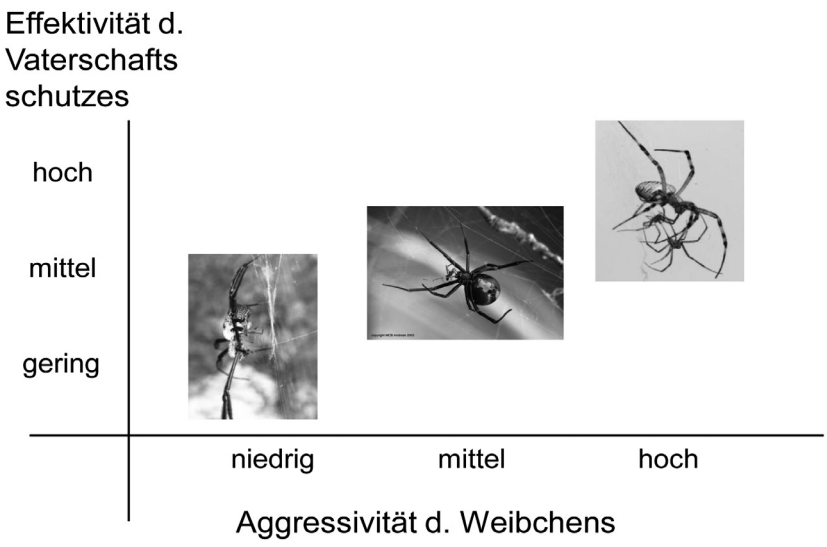


Abb. 2: Hypothetischer Zusammenhang zwischen der Aggressivität des Weibchens nach der ersten Kopulation und der resultierenden Kannibalismusrate und dem Potential der Männchen ihre Vaterschaft zu sichern und das Weibchen zu monopolisieren.

Eine besonders interessante Konstellation findet sich in der Gattung *Nephila.* Hier ist das ursprüngliche Paarungssytem monogyn, jedoch haben die Männchen einiger Arten, wie z.B. *N. senegalensis* wieder die Möglichkeit mit mehreren Weibchen zu kopulieren, da sie ihre Taster nicht beschädigen. Hier ist auch sexueller Kannibalismus relativ selten. Die monogynen Vorfahren haben jedoch die Spermienproduktion in der Adultphase eingestellt, denn die Pedipalpen mussten ja nur einmal nach der Geschlechtsreife gefüllt werden. *Nephila senegalensis* Männchen produzieren auch keine Spermien mehr als adultes Männchen, können aber bis zu 7 Weibchen befruchten. Sie tun das, indem sie ihren Spermienvorrat portionieren.

Monogyne Paarungssysteme haben erst vor kurzer Zeit Beachtung gefunden und sie stellen ein hochspannendes Feld für die Überprüfung evolutionärer Thesen dar. In diesem Kontext wird es noch viel zu entdecken geben.

Lesehinweise:

Schneider, J. M. and Fromhage, L., 2010. Monogynous mating strategies in spiders. in P. I. Kappeler, editor. Behaviour: Evolution and Mechanisms. Springer, Heidelberg.

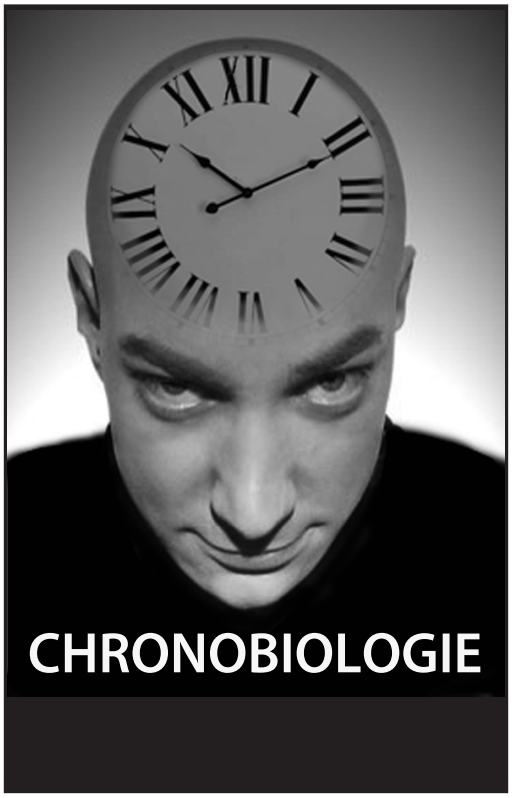
Fromhage, L., M. A. Elgar, and J. M. Schneider, 2005. Faithful without care: the evolution of monogyny. Evolution 59:1400-1405.

Miller, J. A., 2007. Repeated evolution of male sacrifice behavior in spiders correlated with genital mutilation. Evolution 61:1301-1315.

Anschrift der Verfasserin:

Prof. Dr. Jutta Schneider
Zoologisches Museum der Universität Hamburg
Martin-Luther-King-Platz 3
20146 Hamburg
Email: jutta.schneider@uni-hamburg.de

Die Funktionen aller Lebewesen spielen sich in ihrer zeitlichen Abfolge in periodischen physiologischen Rhythmen ab. Dies gilt für Funktionszustände und Aktivitäten aller Organisationsstufen des Lebens, für die einzelne Zelle und für Gewebe ebenso wie für Organe, komplexe Organismen und Lebensgemeinschaften. Die Chronobiologie erfasst die Phänomene dieser rhythmischen Lebensäußerungen und erforscht sowohl ihre Ursachen als auch ihre Bedeutung für die zeitliche Organisation der Lebewesen.
Grundlegend ist, dass sich das Leben an die Rhythmen der Außenwelt (z.B. Tag- und Nachtwechsel, Wechsel der Jahreszeiten) durch die Entwicklung endogener Rhythmen angepasst hat – mit dem selektiven Vorteil der Stabilisierung der Lebensäußerungen und ihrer Synchronisation mit den Zeitgebern und Veränderungen der Umwelt. Störungen in diesem Gefüge können freilich auch zu Desynchronisationen und chronopathologischen Reaktionen führen.



Im ersten Referat unserer Vortragsreihe wird unser Mitglied Professor Mergenhagen aus der Hamburger Botanik die Grundlagen und Ziele chronobiologischer Forschung erläutern. Der Wissenschaftsjournalist Dr. Spork, ebenfalls Mitglied des Naturwissenschaftlichen Vereins, wird im zweiten Vortrag über die neuesten Erkenntnisse des Schlafes der Menschen und auch der Tierwelt referieren. Professor Stehle, Dr. Senckenbergische Anatomie Frankfurt, wird sodann berichten, wie die Uhren in unserem Kopf funktionieren, wie also die Nervenzellen die Zeit messen. Den Abschluss der Reihe bildet der Vortrag von Professor Roenneberg, Institut für medizinische Psychologie München, der u.a. über den sog. „sozialen Jetlag“ referieren wird, der sich durch Desynchronisation endogener Rhythmik und äußerer Signale ergeben kann.

Vortrag vom 24. November 2011:

Dieter Mergenhagen, Hamburg:

Chronobiologie - was ist das?

Über Zeitmessung in der belebten Natur

Im Vortrag von Herrn Peter Scharf sind wir bereits auf unser heutiges Thema eingestimmt worden. Dabei ist vieles von der physikalischen Seite der Zeit erwähnt und genannt worden und vielleicht hat sich auch der eine oder die andere von Ihnen inzwischen die Mühe gemacht, im Internet, im Konversationslexikon oder im konventionellen Physiklehrbuch nachzulesen, was es mit der Zeitdilatation nach Einstein auf sich hat oder was man unter den Lorenz-Transformationen versteht. Diesen Bereich können wir heute verlassen und uns der biologischen Zeit zuwenden. Dabei kommen wir auf jeden Fall mit der Newtonschen Definition aus. Sie lautet folgendermaßen:

Die absolute, wahre und mathematische Zeit verfließt an sich und vermöge ihrer Natur gleichförmig und ohne Beziehung auf irgendeinen äußeren Gegenstand. Sie wird auch mit dem Namen Dauer belegt. Die relative, scheinbare und gewöhnliche Zeit ist ein fühlbares und äußerliches, entweder genaues oder ungleiches Maß der Dauer, dessen man sich gewöhnlich statt der wahren Zeit bedient, wie Stunde, Tag, Monat, Jahr. Die natürlichen Tage, welche als Zeitmaß gewöhnlich für gleich gehalten werden, sind nämlich eigentlich ungleich. Diese Ungleichheit verbessern die Astronomen dadurch, dass sie die Bewegung der Himmelskörper nach der richtigen Zeit messen. Es ist möglich, dass keine gleichförmige Bewegung existiert, durch welche die Zeit genau gemessen werden kann, alle Bewegungen können beschleunigt oder verzögert werden; allein der Verlauf der absoluten Zeit kann nicht geändert werden. Dieselbe Dauer und dasselbe Verharren findet für die Existenz aller Dinge statt; mögen die Bewegungen geschwind, langsam oder Null sein.

Für uns heute ist diese Definition völlig klar und ohne weiteres verständlich, für Newtons Zeitgenossen wird dies eher nicht gegolten haben. Und mit dieser Festlegung können wir nun auch den Begriff Chronobiologie definieren.

Chronobiologie ist der Teilbereich der Biologie, der untersucht, wie Organismen sich in der Zeit orientieren, wie sie sich in der Zeit zurechtfinden, wie sie mit der Zeit umgehen, wie sie Zeit messen. Dabei benutzen die Organismen verschiedene kosmische Parameter wie z.B. den Licht-Dunkel-Wechsel, der durch die Drehung der Erde um ihre eigene Achse verursacht wird, den Wechsel der Jahreszeiten, wie er durch die Rotation der Erde um die Sonne zustande kommt, den Wechsel von Ebbe und Flut oder die Aufeinanderfolge von Vollmond und Neumond als Zeitvorgabe.

Wenn wir Menschen uns mit unserem heute sehr ausgeprägten Zeitbewusstsein bei unseren Handlungen in der Zeit orientieren wollen, benutzen wir eine Uhr. Einfaches Beispiel: weil Sie rechtzeitig zu diesem Vortrag kommen wollten, benutzten Sie ein Zeitmessgerät, das Ihnen

anzeigt, wieviel Zeit sie bis zum Beginn der Veranstaltung noch hatten. Dies ist trivial, so trivial, dass kaum jemand mehr darüber nachdenkt. Es ist aber wiederum nicht so trivial, dass wir bereit sind hinzunehmen, dass fast alle anderen, nichtmenschlichen Organismenarten es genauso machen. Und wenn das so ist, dann müssen fast alle Organismen eine eigene, individuelle Uhr besitzen, so, wie fast jeder von uns seine eigene Armbanduhr bei sich hat.

Vom Begriff her betrachtet, ist auch die Uhr der Organismen ganz einfach eine Zeitmesseinrichtung. Und weil es sich weder um eine Zeigeruhr, wie Sie sie von den Kirchtürmen kennen, noch um eine Digitaluhr, wie Sie sie am Handgelenk tragen, noch eine Sonnenuhr, wie man sie an manchen alten Häusern findet, handeln kann, sondern weil es sich um eine Uhr in lebenden Organismen, in biologischen Systemen handelt, bezeichnen wir sie als Biologische Uhr. Und sie tut genau das, was jede andere Uhr auch tut: sie misst die Zeit und heißt eben genau deshalb auch Uhr.

Ähnlich wie bei den technischen Uhren, gibt es auch bei den Biologischen Uhren verschiedene Varianten, je nach dem, welche Zeitspanne gemessen werden soll. So gibt es, wie schon vorhin angedeutet, eine Jahresuhr, die, anthropomorph gesprochen, für einen Zeigerumlauf ein Jahr benötigt, eine Monduhr, eine Tideuhr, eine Wochenuhr und natürlich vor allem eine Tagesuhr, die für einen Zeigerumlauf einen Tag braucht. Alle diese Uhren gehen nicht sehr genau, sondern weichen mehr oder weniger viel von der vorgegebenen Zeiteinheit, also z.B. die Tagesuhr von einem Sonnentag ab. Franz Halberg, ein Österreicher, der später lange Zeit in Minneapolis in den USA gewirkt hat, hat dafür in den 50er Jahren des vorigen Jahrhunderts den Begriff Circadiane Uhr geprägt.

Das Wort „circadian“ leitet sich vom Lateinischen circadianus = ungefähr 1 Tag ab. Es ist ein Kunstwort, kommt im klassischen Latein nicht vor und wurde ähnlich wie das altbekannte cottidianus = täglich gebildet. Es besagt, dass die Rhythmik, um die es hier geht, eine Dauer oder Periodenlänge von etwa, also ungefähr einem Tag hat.

Analog wurden die Begriffe circannuale Uhr für die Jahresrhythmik, circalunare Uhr für die Monduhr, circatidale Rhythmik für die Gezeitenuhr und circaseptane Rhythmik für die Wochenuhr gebildet.

Die wichtigste und mit Abstand bekannteste Uhr ist die circadiane Uhr, weil sie nicht nur in unserem menschlichen Körper zahlreiche, lebenswichtige Funktionen steuert oder beeinflusst, sondern auch in fast allen Tier- und Pflanzenarten wichtige Funktionen erfüllt. Im Vergleich dazu werden die anderen erwähnten Uhren oft nur bei besonders angepassten Gattungen oder Arten gefunden.

Zu diesem Begriff gibt es eine ganze Reihe von weiteren Wortbildungen, die aber nahezu synonym benutzt werden können:

Innere Uhr;
Physiologische Uhr;
Biologische Uhr;
Tag-Nacht-Rhythmik;
Circadiane Rhythmik;
Circadiane Periodik;
Circadiane Oszillationen.

Alle diese oben genannten Uhren messen die Zeit, und zwar Zeit in der Newtonschen Definition; Einsteins Definition spielt bei den Biologischen Uhren, wie schon gesagt, keine Rolle.

Im weiteren Verlauf dieses Vortrages möchte ich mich nun vor allem auf die Circadiane Uhr beschränken, weil sie, wie gerade erwähnt, die wichtigste und bekannteste der Biologischen Uhren ist.

Sie ist schon sehr alt, mindestens 37 Millionen Jahre, wie sich aus Untersuchungen an Dasycladaceen ablesen lässt; vermutlich ist sie aber noch wesentlich älter.

Dennoch ist sie noch nicht sehr lange bekannt.

Als erster hat Androsthenes (auf dem Feldzug Alexanders, ca. 330 v. Chr.), also vor mehr als 2300 Jahren an Tamarisken Blattbewegungen im Tag-Nacht-Rhythmus beobachtet. Mehr als 2000 Jahre später, Anfang des 18. Jahrhunderts, hat der französische Astronom De Mairan Vergleichbares beschrieben und festgestellt, dass solche Blattbewegungen auch im Dunkeln ablaufen.

Auch Pfeffer hat solche Versuche gemacht und hier in Hamburg war es Rose Stoppel, die sich mit der Biologischen Uhr Anfang des letzten Jahrhunderts (um 1900) beschäftigt hat.

Erst in den 30er Jahren des vorigen Jahrhunderts hat Erwin Bünning die Wissenschaft um die Biologische Uhr richtig salonfähig gemacht und eine erste systematische Untersuchung vorgelegt.

Sehr viele Funktionen in den Reichen der Organismen werden durch die Biologische Uhr gesteuert oder zumindest beeinflusst. Einige der am meisten verwendeten Parameter zur Untersuchung dieser Steuerung sind beim Menschen die Rektaltemperatur, bei den Vögeln Bewegungsaktivität, bei Säugetieren die Laufradnutzung, bei Insekten der Schlüpfrhythmus und bei Pflanzen die Blattbewegungen.

Zur genaueren Erläuterung sei hier die Rhythmik des Schwimmverhaltens bei *Chlamydomonas reinhardtii* dargestellt (Abb. 1). Gezeigt wird ein circadianer Rhythmus, bei dessen Registrierung der untersuchte Organismus unter konstanten äußeren Bedingungen lebte, also nicht durch äußere Licht- oder Temperatursignale gesteuert wurde. Es wird deutlich, dass dieser Organismus eine Einrichtung besitzt, die solche Rhythmen verursacht und die wir getrost als Uhr bezeichnen können (Die Messtechnik ist für das prinzipielle Verständnis eher unwichtig und wird deshalb hier nicht beschrieben).

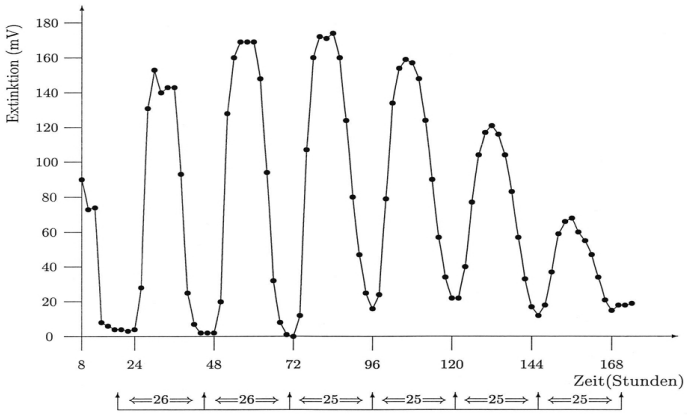


Abb. 1: Circadiane Periodik des Wildstammes von *Chlamydomonas reinhardtii*; ↑⟸ 25 ⟹↑ markiert den Abstand in Stunden zwischen zwei aufeinanderfolgenden Minima.

Uns stellt sich nun die Frage, welche Eigenschaften hat diese sogenannte Biologische

Uhr? Was sind die Basismerkmale dieser Inneren Uhr?

1. Endogene Natur

Die erste und wichtigste Eigenschaft der circadianen Uhr ist ihre sogenannte endogene Natur. Diese Aussage bedeutet, dass die Schwingungen, die Sie gerade gesehen haben (Abb. 1), also die Zeitmessung in den Organismen, nicht durch von außen wirkende Parameter wie z.B. den Licht-Dunkel-Wechsel ausgelöst wird, sondern auch dann vorhanden sind, wenn Dauerlicht herrscht, wie das zum Beispiel in den Polarregionen während der Sommermonate der Fall ist. Dies festzuhalten, ist ganz wichtig; denn in der wissenschaftlichen Gemeinschaft war es lange Zeit höchst umstritten, ob es diese endogene Natur der Inneren Uhr wirklich gibt. Dabei wurde von den Gegnern oft angeführt, dass exogene Faktoren nicht sicher auszuschließen seien. So seien die Schwankungen des Erdmagnetfeldes ubiquitär und nicht abschirmbar, auch Variabilitäten im Schwerkraftfeld der Erde könnten eine Rolle spielen und die beobachteten Schwingungen auslösen.

Erst unser Experiment an Bord der Raumfähre Challenger hat alle diese Vermutungen eindeutig widerlegt, weil selbst eine einzellige Grünalge, *Chlamydomonas*, im Weltall, losgelöst von erddrehungsbedingten Einflussfaktoren, ihre circadiane Rhythmik beibehalten hat und einen Rhythmus produziert hat, der eine Periode von etwa 26 Stunden beträgt, also circadian ist.

Aus heutiger Sicht, ausgestattet mit dem Begriff Uhr, ist es natürlich selbstverständlich, dass diese Innere Uhr unabhängig von äußeren Einflüssen funktionieren muss. Niemand würde ein Gerät als Uhr benutzen, das im Dunkeln nicht läuft oder bei Neumond, Vollmond, einer Sonnenfinsternis oder während eines Gewitters mit blauschwarzen Wolken eine andere Laufgeschwindigkeit hätte als bei Sonnenschein. Ähnlich unabhängig von äußeren Einflüssen ist auch die physiologische Uhr. Und sie kann es nur dann sein, wenn sie einen eigenen Zeitmessmechanismus besitzt, also endogen ist. Bevor allgemein akzeptiert wurde, dass es diese Circadiane Uhr wirklich gibt, musste zweifelsfrei nachgewiesen werden, dass sie auch dann geht, wenn sie keine von außen kommenden Signale bekommt. Wir sagen, dass die Uhr ohne externe Zeitgeber laufen muss. Dieses Wort ist ein seltenes Beispiel dafür, dass auch ein deutsches Wort im internationalen Sprachgebrauch verwendet wird. Solche externe Zeitgeber, die die Biologische Uhr steuern können, können Licht-Dunkel-Wechsel, Temperaturzyklen, zyklische Stoffkonzentrationen, Magnetfelder und vieles andere mehr, wie zum Beispiel auch soziale Lebensbedingungen, sein. Die Circadiane Uhr läuft aber auch ohne solche Zeitgeber in einer konstanten äußeren Umgebung ohne Lichtwechsel, bei stabiler Temperatur und ohne andere Schwankungen von Umweltparametern. Dass dies so ist, wurde lange Zeit bezweifelt, und es gab zeitweilig heftige Kontroversen, ob die Messungen solcher Rhythmen tatsächlich unter ganz konstanten Bedingungen durchgeführt wurden und nicht ein verborgener Zeitgeber die Schwingungen verursachte. Inzwischen ist dies aber allgemein anerkannt.

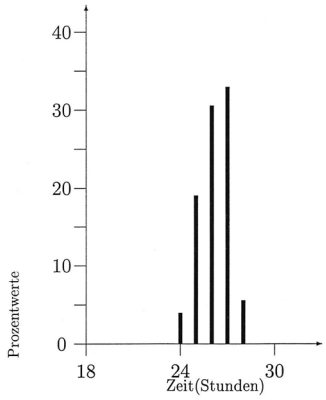


Abb. 2: Intervall-Histogramm des circadianen Rhythmus beim Wildstamm *Chlamydomonas reinhardtii*

LD[1])-Schema Stunden	Summe Stunden	Periode Stunden
2:2	4	24
4:4	8	24
8:8	16	16
10:10	20	20
12:12	24	24
14:14	28	28
18:18	36	36
24:24	48	48

[1]) LD = künstlicher Licht-Dunkel-Wechsel

Abb. 3: Zellbeweglichkeit bei der Grünalge *Euglena gracilis*

Temperatur °C	Periode Stunden
20.0	23.6±0.59
22.0	23.7±0.10
25.0	23.4±0.87
27.0	23.5±0.22
30.0	23.5±0.45
35.0	24.0

Abb. 4: Temperaturkompensation bei der Grünalge *Euglena gracilis*

Unter konstanten äußeren Bedingungen, also zum Beispiel im Dauerlicht, weicht die Länge der Periode, also der Zeit, die für einen Umlauf benötigt wird, meist signifikant von der Länge des Sonnentages, also von 24 Stunden, ab. Dies gilt für Einzeller genauso wie für den hochentwickelten Menschen. Diese Periodenlänge kann von Tag zu Tag etwas schwanken und um 1-2 Stunden um einen Mittelwert pendeln.

Bei *Chlamydomonas* ist es sogar so, dass die Periodenlänge in verschiedenen Populationen des gleichen Stammes, also zum Beispiel des Wildtyps um einen solchen Mittelwert pendelt (Abb. 2).

2. Entrainability = Aufprägbarkeit fremder Rhythmen durch externe Zeitgeber.

Bringt man einen Organismus in eine Umwelt, in der z.B. ein externer Rhythmus von 10 Stunden Licht und 10 Stunden Dunkelheit herrscht, so folgt die Biologische Uhr diesem Rhythmus und entwickelt eine 20-Stunden-Rhythmik. Dies gilt für einen recht weiten Bereich von externen Rhythmen, jedoch nicht unbeschränkt; er ist von Organismenart zu Organsimenart verschieden weit. Ist der Bereich überschritten, prägt der Organismus seinen eigenen, sozusagen privaten, dann aber circadianen Rhythmus aus (Abb. 3).

3. Stabilität der Periode bei verschiedenen Temperaturen innerhalb bestimmter Grenzen = Temperaturkompensation.

Auch wenn sich die Temperatur in der Umwelt ändert, bleibt die Periode der biologischen Uhr konstant, wie man es bei einer guten Uhr erwarten kann (Abb. 4).

4. Phasenverschiebung

Diese Eigenschaft circadianer Rhythmen ist nicht so einfach zu durchschauen und bedarf einer umfangreicheren Erläu-

terung, wenn man sie wirklich verstehen will. Dafür fehlt uns hier die Zeit, sodass ich mich jetzt darauf beschränke, eine eher oberflächliche und damit vielleicht nicht ganz korrekte Beschreibung zu geben: Stört man eine circadiane Rhythmik, die z. B. im künstlichen Dauerdunkel freilaufend schwingt, durch einen kurzen Lichtpuls, so verschiebt sich das nächste Schwingungsmaximum um einen bestimmten Zeitbetrag, dessen Ausmaß davon abhängt, zu welcher Rhythmuszeit der Störpuls auftritt. Die Folgen eines solchen Störpulses sind also nicht immer dieselben, sondern können sehr unterschiedlich sein. Dieses Verhalten ist reproduzierbar, quantifizierbar und lässt sich graphisch darstellen.

Diese vier beschriebenen Eigenschaften sind bei fast allen Biologischen Uhren vorhanden, die bis heute untersucht wurden. Nur wenn alle 4 Basismerkmale bei einer Rhythmik vorhanden sind, spricht man von einer circadianen Rhythmik im strengen Sinn.

5. Unempfindlichkeit gegen äußere Einflüsse

Dieses Merkmal ist von qualitativer Natur: es besagt vor allem, dass die Innere Uhr recht unempfindlich gegen zahlreiche Chemikalien ist; dies spielte vor allem vor der Einführung der Molekularbiologie eine sehr wichtige Rolle, weil fast alle Bemühungen, den Uhrmechanismus durch chemische Substanzen in ihrer Funktion zu stören und aus der Antwort auf diese Störung etwas über den Mechanismus auszusagen, fehlschlugen. Salopp formuliert heißt das: man muss den untersuchten Organismus fast tot schlagen, um die Uhr still zu legen - so wichtig ist sie für die Lebewesen. Umso erstaunlicher ist, wie wenig die Menschen auf ihre eigene Uhr achten und weder Tageszeit noch Jahreszeit in ihren persönlichen Lebensrhythmus einplanen. Ursache dafür ist natürlich die Erfindung des künstlichen Lichtes.

Wenn Sie sich selbst genauer beobachten, werden Sie feststellen, dass Sie auch schon oft Erfahrungen mit dieser Inneren Uhr, sozusagen Ihrer Privatuhr, gemacht haben: wenn Sie zum Beispiel morgens nach einer durchfeierten Nacht nicht aus dem Bett kommen, wenn Sie nach einem Atlantikflug fast im Stehen einschlafen, während Ihre Gastgeber über dem großen Teich gerade das Fernsehabendprogramm einschalten, oder wenn Sie als Schichtarbeiter von der Spät- zur Frühschicht wechseln müssen. Und da möchte man so manches Mal diese Uhr beeinflussen, sie vorstellen oder sie zurücksetzen können, sie jedenfalls dazu bringen, sich kooperativ zu verhalten. Und um das zu können, müsste man wissen, wie sie funktioniert, wo eigentlich das Uhrwerk sitzt und wo der Knopf oder die Rändelschraube ist, mit der man den Zeiger verstellen kann.

Dies geht jedoch nicht so einfach, wie der Vergleich zwischen Innerer Uhr und Zeigeruhr zeigt.

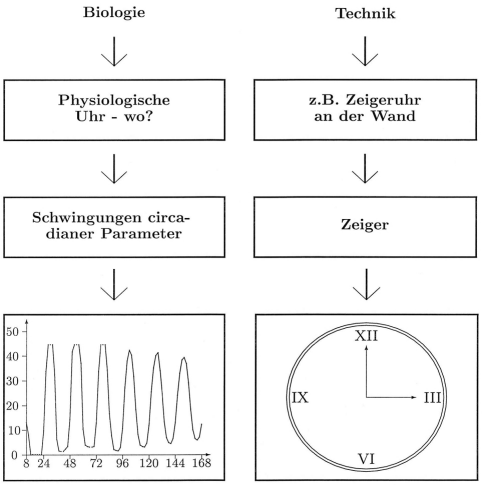


Abb. 5: Vergleich Biologische und Technische Uhr

Der Zeiger einer Pendeluhr zum Beispiel ist oft ein Blechstück, das man verschieben kann; als Zeiger der Biologischen Uhr kann man einen gerade gemessenen Wert etwa der Temperatur ansehen, doch wie wollen Sie den verschieben?

Ich habe nun die Eigenschaften der Biologischen Uhr recht ausführlich beschrieben. Nur dann, wenn diese Bedingungen für eine im Organismus auftretende Schwingung eines Parameters erfüllt sind, kann man davon ausgehen, dass ihr eine Circadiane Uhr zugrunde liegt. Oftmals beobachtet man jedoch Schwingungen, die verschwinden, wenn der betrachtete Organismus unter konstanten äußeren Bedingungen, also zum Beispiel im Dauerlicht oder Dauerdunkel untersucht wird. In einem solchen Fall spricht man dann von tagesperiodischen Schwankungen, die dann aber nicht Zeichen für eine Innere Uhr sind. Dies wird allerdings auch oft verwechselt.

Ich habe Ihnen auch gezeigt, dass diese Innere Uhr zahlreiche Funktionen in den Lebensprozessen der Organismen steuert und dass es sich bei ihr um eine sehr wichtige biologische Funktion handelt. Um so mehr liegt es nahe zu fragen, wie diese Uhr funktioniert, welcher Mechanismus hinter ihr steckt. Man geht heute davon aus, dass eine oder mehrere Rückkoppelungsschleifen den zentralen Schwingungsgenerator ausmachen, der freilaufend und unabhängig von äußeren Zeitgebern die Schwingungen verursacht. Ich möchte zunächst an einem einfachen Schema das Prinzip dieses Generators erklären. Gedanken dieser Art sind noch nicht sehr alt, es gibt sie seit etwa 20 Jahren; davor hatte man natürlich auch Ideen entwickelt, wie die Uhr funktionieren könnte. Sie waren aber alle nicht durch Experimente abgesichert und auch nicht wirklich überprüfbar. Erst die Einführung molekularbiologischer Techniken und Untersuchungsmethoden hat nachprüfbare Theorien entstehen lassen und deshalb will ich Ihnen die Funktion einer solchen Rückkoppelungsschleife an Hand eines molekularbiologischen Ansatzes erläutern.

Wie wir gesehen haben, muss man, um den Funktionsmechanismus der Biologischen Uhr erklären zu können, ein System zur Verfügung haben, das schwingungsfähig ist. Wie ein solches System funktionieren kann, lässt sich am besten am Regelkreis einer Heizungsanlage demonstrieren.

Das System funktioniert folgendermaßen: die Heizung wird angeschaltet und das Wasser im Heizsystem wird warm; ein Messfühler erfasst die Temperatur und informiert einen Thermostaten, der die Heizung nach Erreichen der eingestellten Temperatur abschaltet; nach Abkühlung wiederholt sich das Spiel; durch die Rückkoppelung des Temperaturwertes über den Thermostaten kommt es zur Schwingung der Temperatur um einen bestimmten Mittelwert.

Ein ähnliches System scheint in der Zelle installiert zu sein (Abb. 7). Für die Rhythmik zuständige DNA wird im Zellkern transcribiert; es entsteht m-RNA, die translatiert wird, so dass sich schließlich Protein anhäuft. Die m-RNA wird allmählich wieder abgebaut oder zerfällt; das Protein kann auch abgebaut werden oder zerfallen. Es wird aber auch in den Zellkern eingeschleust und

hemmt dort die Transcription seiner eigenen m-RNA, indem das zugehörige Gen abgeschaltet wird. Nach einiger Zeit zerfällt auch das Protein im Kern; die Hemmung wird aufgehoben und das Gen und die Transcription werden wieder angeschaltet. In das System können weitere Regelelemente eingebaut sein.

Dieses System ist durch die Rückkoppelung über den Promoter an der DNA schwingungsfähig.

Der beschriebene Regelkreis ist in charakteristischer Weise in der Zelle verteilt: Transcription im Kern; Translation im Zytoplasma.

Vergleichbare Abläufe sind bei zahlreichen Organismen, wie z.B bei *Drosophila* und Maus, entwickelt worden und stützen die These, dass das Basisprinzip der Schwingungserzeugung bei vielleicht allen Organismen mit circadianer Rhythmik gleich ist.

Es gibt aber auch Kritik an diesen Hypothesen: zum einen ist es die theoretisch angenommene Instabilität, wenn eine circadiane Schwingung nur auf der Basis einer oder zwei Rückkoppelungsschleifen aufrecht erhalten werden soll; zum anderen findet sich die circadiane Periodik auch bei Systemen ohne Zellkern; hier seien *Acetabularia* und Erythrozyten genannt. In beiden Beispielen gibt es keine Protein- und RNA-Synthesen, aber sehr wohl circadiane Periodik.

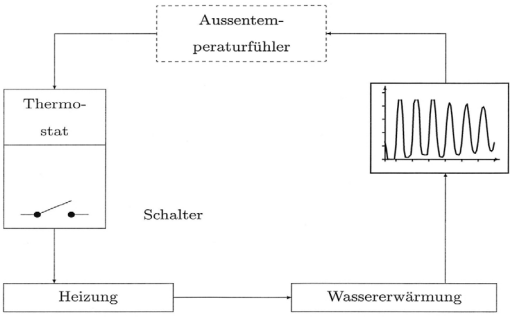


Abb. 6: Heizungsregelung

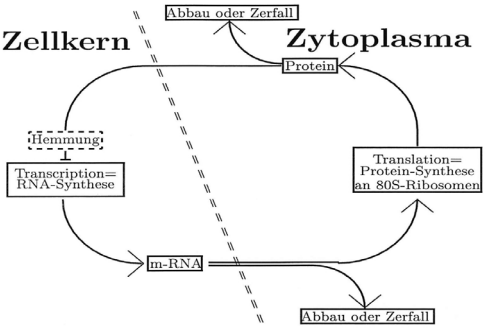


Abb. 7: Rückkopplungsschleife mit DNA, RNA und Protein

Nun hoffe ich, dass es mir gelungen ist, Ihnen einen Einblick in das weite Feld der Chronobiologie zu geben. Das Gebiet ist sehr lange völlig vernachlässigt worden und hat erst in jüngster Zeit die Aufmerksamkeit erhalten, die ihm vor allem deswegen zukommt, weil ja alle Organismen irgendwie mit der Zeit leben müssen. Symptomatisch für das ganze Gebiet ist die Entwicklung im Teilbereich circadiane Rhythmik: das Interesse an ihm schwingt ähnlich wie die circadianen Oszillationen zwischen euphorischem Interesse und apathischem Verhalten hin und her. Auf eine Phase der Arbeit im Verborgenen folgte gegen Ende des vorigen Jahrhunderts molekularbiologische Euphorie mit der Hoffnung, bald den Mechanismus der biologischen Uhr vollständig beschreiben zu können. Inzwischen hat sich wieder mehr Nüchternheit breit gemacht und wir müssen zugeben, dass das Rätsel Uhr noch keineswegs gelöst ist, wenn es auch zahlreiche gut verwertbare Ansätze vor allem in der Chronotherapie und im Verständnis der Schlafphysiologie und –Pathologie gibt, wovon Sie ja auch demnächst aus berufenerem Munde hören werden. Viel weniger als über den Mechanismus der circadianen Uhr wissen wir über die zu Anfang genannten anderen Circarhythmen, sodass wir mit Recht sagen können, dass es noch viele Forschungsaufgaben im Bereich der Chronobiologie gibt.

Anschrift des Verfassers:
Prof. Dr. Dieter Mergenhagen
Biozentrum Klein Flottbek
Ohnhorststr. 18
22609 Hamburg
Email: merg@botanik.uni-hamburg.de

Vortrag vom 1. Dezember 2011:

Peter Spork, Hamburg:

Schlafen Sie sich schlau, glücklich, jung und gesund

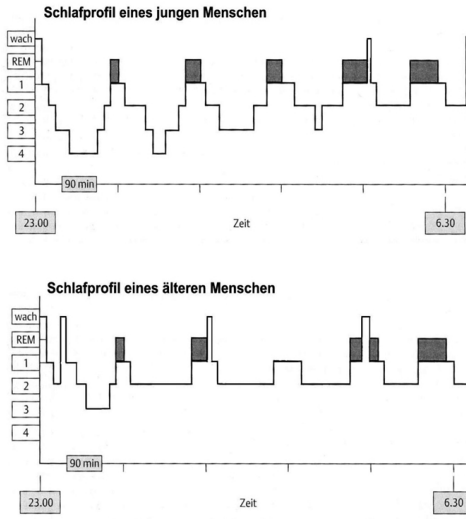
Wer dauerhaft zu wenig schläft, leidet geistig und körperlich. Denn wir schlafen nicht nur zum Vergnügen.

Für einen 17-jährigen, ganz normalen Schüler wie Randy Gardner darf diese Rechenaufgabe kein Problem sein. Er soll von der Zahl 100 immer wieder sieben abziehen. Doch Gardner stoppt bei 65. John Ross, sein Neurologe, wartet einen Moment und hakt schließlich nach. Der Schüler aus San Diego, USA, reagiert patzig: „Was soll ich denn machen?“ Gardner hat alles vergessen. Auch sonst scheint es dem Jungen nicht gerade gut zu gehen. Ross notiert, Gardner habe „eine ausdruckslose Erscheinung, undeutliche Aussprache ohne Intonation, muss zum Sprechen ermuntert werden“.

Es ist das Jahr 1965. 250 Stunden hat der sonst so nette, umgängliche Junge nicht mehr geschlafen. Er wird auch die nächste Nacht überstehen und damit den bis heute gültigen Wachbleib-Weltrekord erreichen. Ein Rekord, den er vermutlich nie mehr verliert. Denn mittlerweile ist klar: Schlafentzugsexperimente, die länger als vier Tage dauern, sind ethisch unvertretbar, sie sind sehr gefährlich und sie sind eigentlich unmöglich.

In den letzten zwei Jahrzehnten fanden Schlafforscher heraus, dass Schlafentzug Versuchstiere binnen zwei Wochen töten kann, dass Menschen, die mehrere Tage und Nächte wach sind, unentwegt Schlafattacken erleiden und dass ein übermüdetes Gehirn sich für Sekundenbruchteile laufend selbst verschafft, was für seine Arbeitsfähigkeit offenbar unerlässlich ist: tiefen Schlaf.

Endlich erkunden Wissenschaftler systematisch die dunkle Seite unserer Existenz. Sie entdecken, was Gehirn und Körper in jenem Drittel ihrer Lebenszeit tun, in dem das Wachbewusstsein abgeschaltet ist. Das Denkorgan verarbeitet dann das zurückliegende Geschehen. Es verfestigt wichtige Tagesinhalte und löscht unbrauchbare. Es verlagert Daten aus dem



Typische Schlafprofile: Im Laufe einer Nacht durchwandern wir mehrere, etwa 90 Minuten lange Zyklen aus den Schlafstadien eins bis vier und dem REM-Schlaf. Mit zunehmender Schlafdauer wird der Schlaf insgesamt weniger tief, und die REM-Phasen werden länger. Ältere Menschen haben einen flacheren Schlaf und wachen häufiger für längere Zeit auf. (Quelle: P. Spork, Das Uhrwerk der Natur, Rowohlt 2004.)

Kurzzeit- in das Langzeitgedächtnis, verknüpft neue Infos mit alten Eindrücken, und trainiert unbewusste Bewegungsabläufe, ohne sie wirklich auszuführen. Zur gleichen Zeit regeneriert sich der Körper, das Immunsystem bekämpft Infektionen oder bereitet sich auf eine zukünftige Krankheitsabwehr vor. Und das komplexe Stoffwechselgeschehen kommt zur Ruhe, damit unser Inneres auch in den nächsten Tag ausbalanciert starten kann.

Angesichts dieser wichtigen Aufgaben ist es kein Wunder, dass Menschen, die ihr persönliches Schlafbedürfnis dauerhaft ignorieren, viel riskieren: Anhaltender Schlafmangel kann dumm, dick und krank machen.

Diese Erkenntnis hat sich aber noch nicht herumgesprochen. Mathias Basner, Schlafforscher an der Universität von Pennsylvania, USA, fand heraus, dass jene Menschen, die besonders viel arbeiten auch am wenigsten schlafen. Statt Freizeit zu opfern, verzichten sie lieber auf Schlaf. Gerade unter den Leistungsträgern, die besonders viel arbeiten müssen, ist es sogar chic, damit zu prahlen, nur vier Stunden Schlaf pro Nacht zu brauchen. Dabei ist inzwischen bewiesen: die extremen Kurzschläfer sind eine so verschwindend kleine Gruppe, es kann unmöglich sein, dass fast jeder Manager dazugehören will.

Ausreichend schläft nur, wer tagsüber nicht müde wird und am Wochenende keinen Schlaf nachholen muss. Besonders fatal: Der Körper lernt rasch, diese Zeichen zu ignorieren. Das Schlafbedürfnis ist individuell verschieden und zum größten Teil genetisch festgelegt. Sieben bis acht Stunden braucht die überwiegende Mehrheit der Menschen, alles zwischen fünf und zehn Stunden ist normal. Wer nicht mehr als vier Stunden pro Nacht schlafen kann und tagsüber nie schläft, sollte zum Arzt.

„Chronischer Schlafentzug ist häufig und hat viele Auslöser: medizinische Umstände wie anhaltende Schmerzen oder Schlafstörungen, ungünstige Arbeitsbedingungen sowie soziale oder häusliche Verpflichtungen", weiß David Dinges, ebenfalls aus Pennsylvania. Er fand heraus, dass Menschen, die längere Zeit zu wenig schlafen, die gleichen Symptome zeigen, wie Menschen, die eine oder mehrere Nächte gar nicht schlafen durften. Aufmerksamkeit, Gedächtnis und Reaktionsfähigkeit ließen bei Probanden, deren Schlafzeit für zwei Wochen begrenzt wurde, kontinuierlich nach. Der Leistungsabfall verlief umso rascher, je größer der Schlafentzug war. Schließlich diagnostizierte Dinges „fortschreitende neurokognitive Dysfunktion im Aufmerksamkeits-System und dem Arbeitsgedächtnis".

Besonders verblüffte ein zweites Resultat: Wir merken schon nach kurzer Zeit nicht mehr, dass uns zu viele Geschäftstermine, häufige Jetlags und überzogene Arbeitszeiten, die uns Schlafenszeit stehlen, immer schläfriger machen und unsere Denkfähigkeit bedrohen. Dinges' Testpersonen verloren das Gespür für ihre Müdigkeit. Schon nach wenigen Nächten sagten sie, sie würden sich tagsüber nicht schlechter fühlen als am Vortag. Nicht nur diese mangelhafte Selbsteinschätzung haben übernächtigte Menschen mit Betrunkenen gemein: Nach 17 Stunden ohne Schlaf, schneiden wir in Leistungstests ungefähr so schlecht ab wie mit einem halben Promille Alkohol im Blut. Nach 24 Stunden Schlafentzug steigt unsere Reaktionszeit gar auf Werte, die wir ausgeschlafen nur mit einer Promille Alkoholgehalt erreichen.

Wem diese Resultate nicht zu denken geben, der sollte sich vielleicht ein Beispiel an Albert Einstein und Johann Wolfgang von Goethe nehmen. Beide waren ausgesprochene Langschläfer, die täglich mindestens neun Stunden am Stück schlummerten. Der Schlaf sei „ein treuer Freund, der allen frommt", dichtete der eine. Der andere schwor sogar tagsüber auf kurze Nickerchen, die als Power-Naps seit wenigen Jahren wieder in Mode kommen. Völlig zu recht übrigens, denn einige Studien konnten inzwischen zeigen, dass auch kurze Nickerchen am Tage dem Gehirn bei seiner wichtigen Schlafarbeit helfen.

Sollten Einstein und Goethe ein Stück ihrer Genialität also dem Schlaf verdanken? Dieser Verdacht drängt sich geradezu auf, wenn man die neueren Resultate der Gedächtnisforschung betrachtet: Das schlafende Gehirn ist phasenweise mindestens so aktiv wie das wache.

Einen faszinierenden Einblick in jene Arbeit, die das Denkorgan dabei erledigt, lieferten Reto Huber und Kollegen aus Madison, USA. Ihre Versuchspersonen sollten vor dem Schlafen trainieren, mit einer Computermaus den Cursor auf einem Bildschirm immer wieder neu von einem Startpunkt zu einem Ziel zu verschieben. Dabei wurde die Cursorposition - ohne Wissen der Probanden – systematisch gestört. Die Steuerzentren der Hand mussten nun unbewusst lernen mit der Abweichung umzugehen, so wie jeder Mensch implizit weiß, dass er sich beim Erklimmen einer Rolltreppe anders bewegen muss als auf einer statischen Treppe. Bewusst wird einem das übrigens erst, wenn die Rolltreppe steht.

„Diesen Test haben wir ausgewählt, weil wir damit sehr gut unbewusste Lerneffekte studieren können und gleichzeitig aus früheren Versuchen wissen, welche klar umgrenzte Hirnregion er aktiviert", erklärt Huber.

Nach dem Training mussten die Probanden mit einer Kappe schlafen, die mit 256 Elektroden gespickt war. Das Resultat war eine extrem genaue Hirnstromableitung, die auch kleine Unterschiede auflöste. So gelang es, eine Verknüpfung zwischen Lernerfolg und lokaler Hirnaktivität herzustellen: Jene Hirnregion, die das Üben des Tests am meisten beansprucht hatte, musste offenbar auch besonders viel Schlafarbeit erledigen, denn dort zeigten die Nervenzellen intensiver als anderswo das typische Erregungsmuster des Tiefschlafs. „Der Schlafdruck muss hier besonders groß gewesen sein", sagt Huber. Zusätzlich schnitten die Probanden beim nächsten Training nur dann besser ab, wenn sie zwischenzeitig geschlafen hatten.

Das erstaunlichste Fazit erbrachte aber der Vergleich der Versuchspersonen: „Wir fanden eine deutliche Korrelation zwischen der Abnahme der Fehlerhäufigkeit im Test und der lokal begrenzten Zunahme der Aktivität im Tiefschlaf“, sagt Huber. Die Teilnehmer, die – warum auch immer - über Nacht am meisten dazugelernt hatten, hatten in der entscheidenden Hirnregion auch am tiefsten geschlafen. Überspitzt formuliert, folgt aus diesem Experiment, dass letztlich jede einzelne Gehirnzelle ihre Schlaftiefe selbst regelt, und dass diese Schlaftiefe direkt abhängig davon ist, wie stark die Zelle zum unbewussten Training im Schlaf beitragen muss.

„Sleep is of the brain, by the brain and for the brain“, weiß Schlafforscher Allan Hobson aus Boston. Er ist überzeugt, dass die schlüssigsten Antworten auf die Jahrtausende alte Frage nach dem biologischen Sinn des Schlafs aus den Neurowissenschaften stammen. Wir schlafen für unser Gedächtnis, für unsere Kreativität und für die Aufrechterhaltung unseres Bewusstseins.

Eine Schlafkur, bei der man in den Ferien mehrere Wochen lang keinen Wecker stellt und abends zu Bett geht, wenn man müde wird, kann also dem Geist auf die Sprünge helfen. Und sie macht einen körperlich leistungsfähiger. „Moderne Menschen schlafen im Durchschnitt etwa eine Stunde weniger als vor 20 Jahren. Vielleicht sind viele unserer so genannten Zivilisationskrankheiten langfristige Folgen dieses Trends“, sagt die Basler Chronobiologin Anna Wirz-Justice. „Es gibt inzwischen viele Untersuchungen, die Schlafmangel und Stoffwechselkrankheiten miteinander in Verbindung bringen.“

Besonders stark nimmt seit einigen Jahren das metabolische Syndrom zu. Betroffene sind viel zu schwer, haben drastisch erhöhte Blutfettwerte, meist zu hohen Blutdruck und neigen zur Zuckerkrankheit. Ist es wirklich nur ein Zufall, dass dieser Trend zeitgleich mit der allgemeinen Abnahme der Schlafmenge erfolgt? Wohl nicht: Ein Biologenteam um Ruud Buijs vom Institut für Hirnforschung in Amsterdam versucht den Ursachen des metabolischen Syndroms schon seit Jahren auf den Grund zu gehen. Sie fanden überzeugende Belege, dass das Verbindende zwischen den vielen Facetten der Krankheit, an der allein jeder vierte US-Amerikaner leidet, eine Störung der zeitlich organisierten Stoffwechselkontrolle durch die inneren Uhren ist. Wer schlecht und immer wieder zu ungewohnten Zeiten schläft, bringt seine biologischen Rhythmen durcheinander, und das kann seinen Stoffwechsel kaputt machen.

Karine Spiegel, Hormonforscherin aus Brüssel, fand sogar direkt heraus, dass zu wenig Schlaf den Kohlenhydratstoffwechsel und das Hormonsystem durcheinander bringt. Sie ließ gesunde junge Menschen sechs Nächte lang nur vier Stunden schlafen. Danach waren die Blutwerte so schlecht wie sonst nur bei Menschen mit hohem Risiko für Diabetes und Herzinfarkt. „Eine Schlafschuld dürfte den Schweregrad chronischer Alterskrankheiten verstärken“, urteilt Spiegel. Oder anders gesagt: Wer zu wenig schläft, wird schneller alt und erhöht sein Risiko, an Diabetes oder Herz-Kreislauf-Leiden zu erkranken.

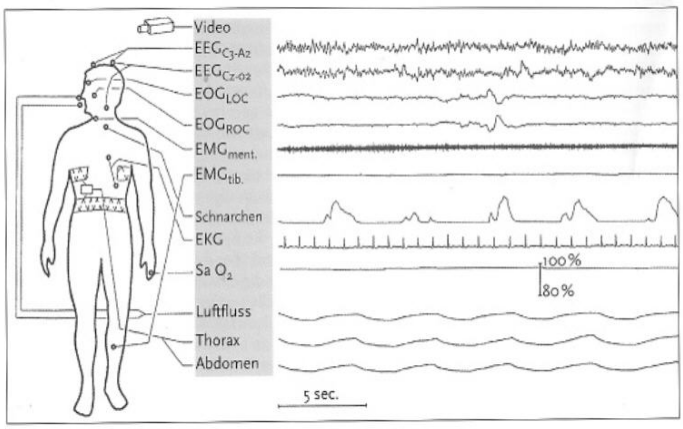
In der ersten Schlafhälfte, wenn wir besonders häufig in den Tiefschlaf fallen, schüttet der Körper Wachstumshormon aus. Es sorgt für eine regelrechte Verjüngungskur. Eltern sollten zum Beispiel immer dafür sorgen, dass ihre Kinder viel Schlaf abbekommen. Nur das Wachstumshormon lässt die Heranwachsenden nämlich in die Länge schießen, und das wird fast ausschließlich im Tiefschlaf ausgeschüttet. Kinder und Jugendliche mit ernsten Schlafstörungen bleiben deshalb oft deutlich kleiner als gute Schläfer.

Erwachsene wachsen zwar nicht mehr in die Länge, doch das Wachstumshormon steuert bei ihnen die Wundheilung und das Haut- und Haarwachstum, weshalb es wenig Sinn macht, sich abends zu rasieren. Außerdem regt es überall im Körper Zellteilungen an und sorgt so für eine Regeneration fast aller Organe, die sich ja laufend erneuern müssen, indem sie alte abgestorbene Zellen durch neue ersetzen. Doch die Tiefschlaf-Kur macht uns nebenbei auch noch fit, stark und gesund. Denn das Immunsystem arbeitet jetzt auf Hochtouren und erzeugt zudem haufenweise neue Abwehrzellen aller Art, das Knochenmark liefert neue rote Blutkörperchen, damit wir auch am nächsten Tag ausreichend frischen Sauerstoff tanken können, und es entstehen zusätzliche Muskelfasern. Vielleicht sollten all jene Leistungssportler, die mit Wachstumshormon dopen, stattdessen in Zukunft mehr schlafen.

Auch beim Übergewicht zweifelt kaum mehr jemand an einem direkten Zusammenhang zum Schlafmangel. Emmanuel Mignot von der Stanford Universität ermittelte, dass Menschen, die weniger als acht Stunden pro Nacht schlafen, umso mehr zunehmen, je weniger Schlaf sie bekommen. Normalschläfer hätten im Blut vergleichsweise geringe Werte des Hungerhormons Ghrelin und hohe Werte des körpereigenen Appetitzüglers Leptin. Schlafen wir zu wenig, essen wir folglich mehr als wir müssten, vermutet Mignot: „In westlichen Gesellschaften, wo chronischer Schlafentzug häufig und Nahrung leicht erhältlich ist“, könnten die beobachteten Effekte „entscheidend zur Verbreitung von Übergewicht beitragen“.

Der Besorgnis erregende Trend macht nicht einmal vor Kindern halt: Kanadische Forscher entdeckten unlängst, dass Fünf- bis Zehnjährige, die nur acht bis zehn Stunden am Tag schlafen, dreieinhalb mal so oft Übergewicht haben wie Kinder, die die altersgerechte Schlafmenge von 12 bis 13 Stunden bekommen.

Dass die moderne Leistungsgesellschaft das Schlafbedürfnis trotz all dieser Untersuchungen noch immer unterschätzt, sei ein tragischer Fehler, warnt der Schlafforscher Mark Mahowald aus Minnesota, USA: Eigentlich leide „jeder an Schlafmangel, der zum Aufstehen einen Wecker



Polysomnographie: Was Ärzte im Schlaflabor messen: Hirnströme (EEG), Augenbewegungen (EOG) links und rechts, Muskelspannungen (EMG) an Kinn und Wade, Schnarchgeräusche, Herzströme (EKG), Blutsauerstoffgehalt (SaO2), Luftfluss durch Nase und Mund sowie Atembewegungen. (Quelle: T. Penzel, H. Peter, J.H. Peter, Gesundheitsberichterstattung des Bundes 27, 2005)

braucht“. So gesehen, gehören geregelte Arbeitszeiten zu den schrecklichsten Erfindungen der Menschheit. Nach gut 80 Jahren moderner Schlafforschung ist klar: Schlafen macht uns glücklicher. Es steigert unsere geistige und körperliche Leistungsfähigkeit, hilft uns, Gelerntes aller Art zu verinnerlichen, hält uns länger jung und gesund.

Manch einer hofft, die Wissenschaft werde den Schlaf eines Tages überflüssig machen. Irgendwann würden die Schlafforscher entdecken, mit welchen Tricks wir den Zwang zum Schlafen abschalten oder zumindest reduzieren könnten. Doch dieser Ansatz führt in die völlig falsche Richtung. Er ignoriert, dass der Schlaf zum Leben gehört, wie das Wachen. „90 Prozent unserer Gesundheit sind vom Schlaf abhängig“, sagte der berühmte US-Amerikanische Schlafforscher William Dement im Jahr 2006 der New York Times.

Tief und ausreichend zu schlafen nutzt also allen: den Krankheitsanfälligen und den rundum Gesunden. Passende gesundheitspolitische Empfehlungen sind gar nicht so schwer umzusetzen. Verglichen mit anderen Maßnahmen dürften sie eine große präventive Kraft entfalten ohne viel zu kosten:

1. Die Aufklärung über den Schlaf sollte Bestandteil der allgemeinen Krankheitsvorsorge werden. Schlaf und Entspannung scheinen ähnlich wichtig für die Gesundheit zu sein wie Bewegung und ausgewogene Ernährung.

2. Die Sommerzeit gehört abgeschafft. Das längere abendliche Licht verschiebt die Rhythmen vieler Menschen nach hinten. Sie können nicht rechtzeitig einschlafen.

3. Arbeitszeiten müssen flexibler und die Zahl der Überstunden muss begrenzt werden. Nur so können viele Menschen ihren individuellen Schlafrhythmus und –bedarf ans Arbeitspensum anpassen.

4. Zumindest ab der Mittelstufe sollte die Schule später beginnen, damit Schüler mit hohem Schlafbedarf oder langsamen inneren Uhren nicht benachteiligt sind. G-8-Gymnasien sollten Lehrpläne entschlacken oder zu G-9 zurückkehren, damit Schüler nicht noch mehr Schlaf für Freizeit opfern müssen. (Eliteschulen in China schreiben ihren Schülern übrigens feste Schlafzeiten vor.)

5. Wir brauchen eine andere Schlaf- und Pausenkultur. Ähnlich wie in Japan sollten der Schlaf in der Öffentlichkeit und das Kurznickerchen am Arbeitsplatz gesellschaftliche Anerkennung finden.

6. Wir brauchen eine stärkere Rhythmisierung des Alltags: Tagsüber sollten wir Arbeit und Unterricht häufiger für längere Zeit unterbrechen, um ans Tageslicht zu gehen und Zeit für körperliche Aktivität oder Entspannungsübungen zu haben. Nachts sollten wir dagegen weniger aktiv sein und früher zu Bett gehen.

7. Moderne Erkenntnisse der Chronobiologie, zum Beispiel zur Schichtarbeit und zum Einfluss von Licht auf unsere innere Rhythmik, müssen dringend ernst genommen werden.

Es geht darum, dem Beschleunigungswahn der Gegenwart eine Kultur des Schlafs entgegenzusetzen, ein Recht auf Regeneration. Niemand verlangt, dass wir leben um zu schlafen. Aber wir sollten uns die Zeit nehmen, ausreichend zu schlafen, um besser zu leben.

Und wem diese Argumente nicht reichen, der sei an die Notizen des Neurologen Ross erinnert, der einst Randy Gardners spektakulären Selbstversuch überwachte: Schon nach 48 schlaflosen Stunden hatte der Schüler Schwierigkeiten, Gegenstände zu fokussieren oder zu ertasten. Am dritten Tag wurde er schwermütig, am vierten tauchten Gedächtnislücken und Konzentrationsschwierigkeiten auf. Schließlich bekam er Probleme mit seiner Wahrnehmung, hielt ein Ver-kehrsschild für einen Menschen und sich selbst für einen berühmten Footballspieler. Wir haben es selbst in der Hand, es nicht so weit kommen zu lassen.

Lesetipps:

Peter Spork: Das Uhrwerk der Natur. Chronobiologie - Leben mit der Zeit. rororo science, 2004. Nur noch als Rowohlt E-Book erhältlich.

Peter Spork: Das Schlafbuch. Warum wir schlafen und wie es uns am besten gelingt. rororo, 2009. Auch als Rowohlt E-Book erhältlich.

Weitere Infos zu Büchern und Autor sowie eine Möglichkeit zum Download des Newsletters Epigenetik finden Sie im Internet: www.peter-spork.de

Vortrag vom 8. Dezember 2011:

Jörg H. Stehle, Frankfurt/M.:

Die Uhren in unserem Kopf - wie messen Nervenzellen Zeit?

(Eine schriftliche Version des Vortrags lag uns leider nicht vor, daher kann hier nur die Zusammenfassung wiedergegeben werden)

Der wiederkehrende Wechsel zwischen Tag und Nacht und die durch die Ekliptik der Erdachse bedingten Jahreszeiten haben das Leben auf unserer Erde von Anbeginn maßgeblich beeinflusst. Die Antizipation der sich ändernden Beleuchtungsverhältnisse stellt somit einen ganz entscheidenden Selektionsvorteil dar, um zum Beispiel Nahrungserwerb zu optimieren und Fressfeinden zu entgehen. Uhrenmechanismen, die mit einer circadianen (circa: ungefähr; dies: Tag) Periodenlänge ‚ticken’, kommen deshalb mit einem ganz ähnlichen molekularen Räderwerk in Lebewesen von Bakterien bis hin zu Säugetieren vor. Im menschlichen Gehirn hat sich ein Organisationsprinzip herausgebildet, bei dem ein zentraler circadianer Schrittmacher, der in einem sehr alten Hirnabschnitt liegt, allen anderen Organen, Geweben und Zellen den Takt vorgibt. Der Vortrag wird zunächst das Uhrwerk selbst vorstellen, dann Mechanismen der Weitergabe von ‚Uhrzeit’ an unseren Körper erläutern, und schließlich beispielhaft die Bedeutung der chronobiologischen Forschung für ein besseres Verständnis von Gedächtnisleistungen an Hand aktueller eigener Forschungsergebnisse erläutern.

Anschrift des Verfassers:
Prof. Dr. Jörg H. Stehle
Institut der Anatomie III
Johann Wolfgang Goethe-Universität
Theodor-Stern-Kai 7
60590 Frankfurt am Main
Email: Stehle@em.uni-frankfurt.de

Vortrag vom 15. Dezember 2011:

Till Roenneberg, München:

Die Folgen des Weckers

(Transskript eines in Otzenhausen frei gehaltenen Vortrags)

Ich heiße Sie willkommen am Nachmittag. Der Nachmittag ist für viele eigentlich erst der Morgen, für andere schon der Abend, und darum geht es letztendlich in meinem Vortrag. Es geht nicht um (physikalische) Zeit, sondern es geht um (biologische) Zeiträume. Der Begriff ‚Zeiträume' liefert bereits eine Definition der Chronobiologie.

Rhythmen

In der Chronobiologie geht es um die innere Repräsentation von vier Zeiträumen auf unserer Erde, die einen regelmäßigen Rhythmus haben. Der kürzeste ist der Gezeitenrhythmus mit seinen 12 ½ Stunden. Alle Tiere und Pflanzen, die im Gezeitenraum leben, brauchen eine innere Uhr, die ihnen voraussagt, wann Ebbe und Flut eintreten. Bei den inneren Uhren geht es hauptsächlich um Voraussagen. Wenn ich mit Ihnen wetten würde, welche sechs Lottozahlen am kommenden Sonntag gezogen werden, dann würden Sie sofort dagegen wetten (zur Sicherheit würden Sie einen Lottoschein mit genau diesen sechs Zahlen ausfüllen), weil Sie wissen, dass ich diese sechs Zahlen nicht voraussagen kann. Wenn ich aber mit Ihnen wetten würde, wann die nächste Flut kommt und wann morgen die Sonne aufgeht, dann würden Sie diese Wette nicht eingehen, weil diese Voraussage so gut und zuverlässig ist, dass wir sie in Tabellen nachschlagen können. Genau dies ist das Prinzip der inneren Uhren. Sie errichten in uns eine Repräsentation des jeweiligen Zeitraums, mit dessen Hilfe sie voraussehen kann, was als nächstes im Zeitraum auf den Organismus zukommt.

Der nächste Zeitraum ist der 24-Stunden-Rhythmus, der Tageszeitraum, über den ich hier vor allem reden werde. Ein dritter Zeitraum mit einer noch längeren Periode ist der Mondrhythmus mit seinen 28,5 Tagen. Er betrifft relativ wenige Organismen auf dieser Erde. Ein Beispiel bietet der Ameisenlöwe, ein Insekt, das sich von Ameisen ernährt. Hierzu baut er im Sand einen Trichter – eine Ameisenfalle. Er vergräbt sich am Fuße dieses Trichters und macht einfach nur den Mund auf, wenn Ameisen reinfallen. Er hat anscheinend, im Gegensatz zu mir, kaum Schwierigkeiten mit der Vermischung von Sand und Essen. Je nach Mondphasen baut er den Trichter größer oder kleiner.

Der vierte Rhythmus ist der Jahresrhythmus. Auch er ist für Säugetiere (als auch für uns) sehr relevant. Eines der drastischsten Beispiele für den Jahresrhythmus ist die Größe des Hamsterhodens. Wenn die Tage kürzer als zwölf Stunden sind, ist der Hamsterhoden winzig. Sobald aber im Frühjahr die Tag-Nachtgleiche eintritt, wenn also die Tageslänge zwölf Stunden überschreitet, explodiert der Hamsterhoden um ein Vielfaches. Es wird dann so groß, dass man jedwede quantitativen Vergleiche mit anderen männlichen Organismen lieber bleiben lassen sollte. Wir Männer könnten unter diesen Umständen gar nicht mehr richtig laufen.

Das heißt aber nicht, dass der Mensch keinen Jahresrhythmus erlebt oder besser erlebte. Vor hundert Jahren hatten die Menschen weltweit einen sehr starken Jahresrhythmus, wie sich unter anderem an der monatlichen Geburtenrate ablesen lässt. In Spanien, zum Beispiel, war der Jahresrhythmus der Geburten bis zum Ende des Bürgerkrieges sehr ausgeprägt, schwächte sich dann ab, behielt aber auch danach noch eine relativ große Amplitude (Abb. 1). Dies galt auch noch nach dem Ende des Zweiten Weltkriegs. Dann aber setzte Franco eine massive Industrialisierung in Spanien durch, und mit ihr kam der Rhythmus zum Erliegen. Bei uns in Deutschland verschwand der Jahresrhythmus in der Reproduktion bereits Anfang des 19. Jahrhunderts; für diesen Jahresrhythmus ist übrigens nicht der Zeitpunkt der Geburt bestimmend, sondern die Zeit der Konzeption.

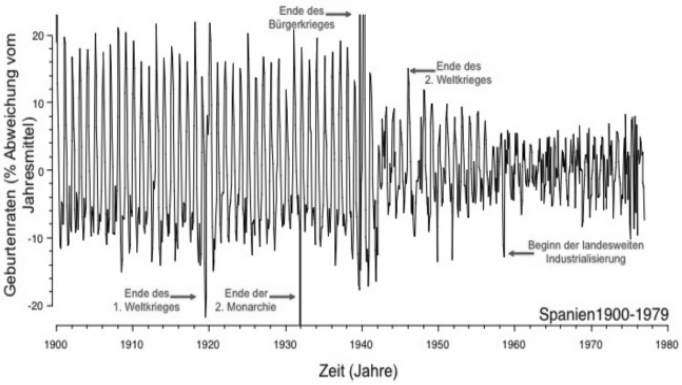


Abb. 1: Jahresrhythmus der Geburtenraten in Spanien von 1900 bis 1979. Bis in die späten 50er Jahre verliefen die Geburten, oder besser der Erfolg der Konzeptionen, noch in einem regelmäßigen Jahresrhythmus, der zeitgleich mit einer massiven Industrialisierung des ländlichen Spaniens schließlich verschwand.

Mit der Industrialisierung beginnt also eine Zeit, in der wir die Rhythmizität in unserem Leben nicht mehr ernst nehmen, weil wir uns zunehmend von den Signalen der Umwelt abschirmen, die unsere inneren Uhren erkennen lassen, in welchem Abschnitt des Zeitraums wir uns befinden.

Zeiträume

Das schöne Wort „Zeit-Raum" gibt es nur im Deutschen. Es hat letztendlich nicht so viel mit der Zeit selber zu tun, sondern beschreibt einen Raum in der Zeit. Die „räumliche" Struktur erkennt man auch daran, dass sich Organismen in der Evolution sowohl im „Raum-Raum" entwickeln konnten (und Nischen suchten) als auch im „Zeit-Raum". Und alle, die Sie hier sitzen, inklusive mir, der hier steht, stammen von Säugetieren ab, die als tagaktive Reptilien die Erde beherrschten. In diesem Fall gab es nur zwei Ausweichmöglichkeiten, den „Raum-Raum" und den „Zeit-Raum". Ersterer ermöglichte einen Nischenwechsel vom Boden in die Luft. Dazu musste man „fliegen lernen", dafür haben sich die Vögel „entschieden". Die ersten Vögel waren immer noch tagaktiv, und ihre Nachfahren sind dann erst im Nachhinein nachtaktiv geworden. Unsere Säugetier-Vorfahren haben den Wechsel in den „Zeit-Raum" gewählt. Wir sind alle durch den nächtlichen Flaschenhals gegangen. Das heißt, die ersten Säugetiere haben die Nische der Reptilien

verlassen, indem sie Warmblütler wurden und so nachts aktiv sein konnten. Das brachte große Vorteile, denn ihre Feinde waren sehr langsam, so dass sie leicht davonlaufen konnten; ihr Futter war auch langsam, so dass sie es leicht fangen konnten. Erst später wurden wir dann zu tagaktiven Säugetieren, so wie wir heute hier sitzen.

Die innere Uhr

Nun zu dem eigentlichen Thema des Vortrages. Die Soziobiologie unserer Zeit wird bestimmt durch zwei Uhren: die innere Uhr (sie sitzt nicht nur im Gehirn, sondern auch in allen anderen Körperzellen) und die soziale Zeit, die vor allen Dingen durch unsere Arbeitswelt geregelt wird. Beide stehen eng im Zusammenhang mit unserer Lichtexposition (wann und wie viel Licht wir wann abkriegen). Die beiden Uhren, die biologische und die soziale, und unsere tägliche Lichtexposition, bestimmen, wann wir am besten schlafen und wann wir mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht einschlafen können. Ob wir zu den von der inneren Uhr vorgegebenen Zeiten schlafen oder eben nicht, beeinflusst unsere Gesundheit und unsere Leistungsfähigkeit, und somit auch unser Wohlbefinden.

Zunächst einmal zu unserer inneren Uhr. In dem Zusammenhang möchte ich Ihnen ein Experiment zeigen, bei dem ich schon sehr früh, als 17-jähriger Schüler, das Glück hatte, mitmachen zu dürfen. Das Experiment fand bei Jürgen Aschoff in Erling-Andechs am Max-Planck-Institut für Verhaltensphysiologie statt, wo ich damals als Zeithilfe arbeitete: Aschoff und sein Kollege Rütger Wever haben zwei Appartements in einen Hügel gebaut, die von allem abgeschirmt waren, das ihren Bewohnern irgendwelche zeitlichen Informationen liefern könnte. Es gab also keine Fenster, keine Radios und kein Interaktionen mit anderen Menschen. In diesem so genannten „Andechser Bunker“ lebten die Versuchspersonen ungefähr vier bis sechs Wochen, währenddessen ihre Aktivität, ihr Schlaf und viele andere Messgrößen aufgezeichnet wurden (Abb. 2).

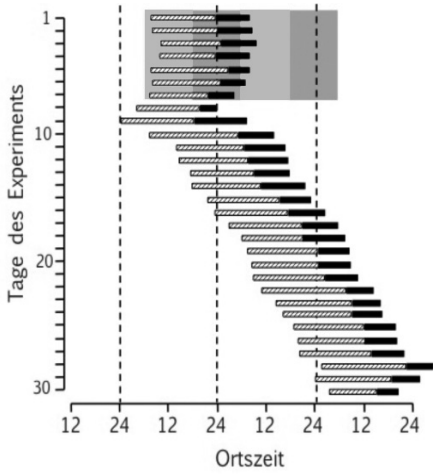


Abb. 2: Schlaf-Wach Rhythmus einer Versuchsperson im „Andechser Bunker“. Die schraffierten Teile der täglichen Balken stellen die Aktivzeiten und die schwarzen Teile die Schlafzeiten der Versuchsperson dar. In der ersten Woche hatte die Versuchsperson noch Zugang zur Außenwelt; danach wurde sie von allen zeitlichen Informationen abgeschirmt. In dieser Zeit läuft der Rhythmus „frei“ mit seiner eigenen Tageslänge, die von der inneren Uhr bestimmt wird.

In der ersten Woche hatten die Versuchspersonen noch Kontakt zur Außenwelt. In dieser Zeit sind sie jeden Tag ungefähr zur selben Zeit ins Bett gegangen und ungefähr zur selben Zeit wieder aufgestanden. Sobald dann aber die Schleusen geschlossen wurden, sind sie nicht etwa in ein zeitliches Chaos verfallen, sie haben vielmehr nach ihrem eigenen, inneren Rhythmus gelebt. Diese Experimente konnten beweisen, dass auch beim Menschen, wie es schon von den Tieren und Pflanzen her bekannt war, eine innere Uhr den Tagesrhythmus bestimmt. Da diese inneren Tage nicht genau 24 Stunden lang waren, sondern wie in diesem Beispiel etwas länger als 24 Stunden dauerten, stand die Versuchsperson jeden Tag etwas später auf, so dass sie sich langsam gegenüber der Ortszeit verschoben – in der Abbildung nach rechts.

Heute – fünfzig Jahre später – wissen wir, dass diese innere Uhr nur über Licht gesteuert werden kann. Das Licht wird dabei nicht von der Haut, sondern über die Augen wahrgenommen und dem Uhren-Zentrum im Gehirn übermittelt. Es fällt auf die Retina und wird dann den Sehnerv hochgeleitet bis zu einem kleinen Kern aus Zellen im Gehirn, dem Nucleus suprachiasmaticus, kurz SCN. Die Neurone dieses Kerns ticken in einem circa-24 Stunden-Rhythmus, der durch einen molekularen Mechanismus innerhalb der Zellen zustande kommt. Mittlerweile wissen wir, dass alle unsere Zellen einen 24 Stunden-Rhythmus generieren können – von der komplexen Leberzelle bis hin zu der viel primitiveren Zelle eines roten Blutkörperchens. Wir haben also nicht nur eine innere Uhr, sondern viele Millionen, die alle synchronisiert werden müssen. Die Neurone des SCN synchronisieren sich durch den Licht-Dunkel-Wechsel und geben die Information an alle Zellen im Körper weiter.

Es gibt praktisch nichts im Körper, das nicht von dieser inneren Uhr bestimmt oder beeinflusst wird. Es ist also die Innenzeit, die maßgeblich ist für unser Physiologie, unser Verhalten, unsere Biologie, unser Immunsystem, für alles, was in uns stattfindet verantwortlich ist, und nicht die Außenzeit.

Bei den Versuchen von Jürgen Aschoff wurden auch physiologische Parameter, wie die Körpertemperatur oder biochemische Marker wie etwa Cortisol oder Kalium im Urin oder im Blut bestimmt. Damals wurde die Körpertemperatur über Rektalsonden gemessen, mittlerweile hat man bessere Methoden. Die Chronobiologen haben auch Astronauten im All untersucht, die einmal zu den Versuchsleitern sagten, „Wir machen alles mit, außer Psychologen und Rektalsonden“.

Wie gesagt – alles hängt von der inneren Uhr ab, aber trotz dieser Bedeutung wird die Innenzeit weder in der Medizin noch in der Forschung ausreichend beachtet. Vor ein paar Wochen habe ich einen Vortrag vor Jugendpsychiatern gehalten, die mir in der Diskussion berichteten, dass sie ihre jugendlichen Patienten immer zur gleichen Zeit testen. Diese Tatsache ist bereits ein riesiger Fortschritt gegenüber früher, da man die Tageszeit bei Messungen und Versuchen gar nicht beachtete. Dennoch reicht die tägliche Konstanz in den Messzeiten nicht aus.

Dies gilt, wenn Sie zum Beispiel die Aktivitätsrhythmen eines Gesunden mit dem eines depressiven Patienten vergleichen; die gesunde Versuchsperson schläft etwa zwischen elf Uhr abends und sieben Uhr morgens, während die meisten depressiven Patienten einen verschobenen Tagesrhythmus haben, der nicht nur den Schlaf und die Aktivität betrifft, sondern alle Körperfunktionen, so dass diese jugendlichen Psychiatrie-Patienten tagsüber praktisch schlafen und dafür nachts aktiv sind. Wenn man beide morgens um zehn Uhr testet, können Sie keine vergleichbaren Aussagen machen. Die Innenzeit ist also ungeheuer wichtig – nur wird dieser Tatbestand leider zu oft übersehen.

Chronotypen

Kommen wir zurück auf die Bunkerexperimente, deren Ergebnisse zeigten, dass

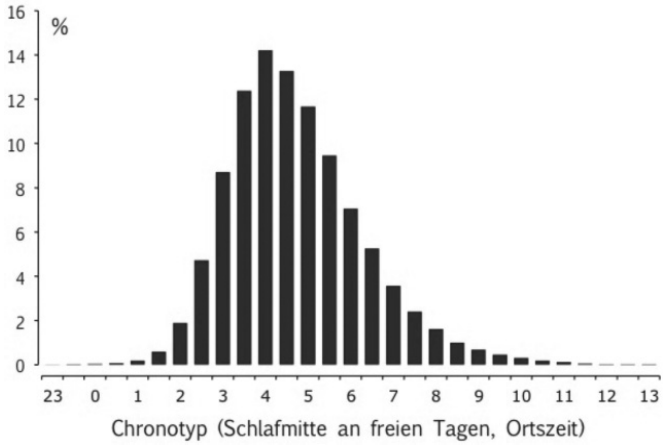


Abb. 3: Verteilung der Chronotypen in der zentraleuropäischen Bevölkerung bezogen auf die Schlafmitte an freien Tagen.

die Geschwindigkeit der inneren Uhr bei verschiedenen Menschen unterschiedlich ist – schneller oder langsamer. Die innere Tageslänge ist genetisch bedingt. Nur sehr wenige von den Versuchspersonen durchleben einen genauen 24-Stunden -Innentag. Noch weniger haben eine Eigenrhythmik, die etwas kürzer ist als 24 Stunden. Die meisten Menschen weisen eine etwas längere Tagesrhythmik unter den konstanten Experimentalbedingungen auf.

Doch was sagen uns die Bunkerexperimente über die reale Welt, in der unsere innere Uhr normalerweise immer mit dem 24-Stunden-Tag-Nacht-Rhythmus synchronisiert ist? Je länger der Rhythmus, der unter konstanten Bedingungen im Bunker frei läuft, desto später bettet sich die dazugehörige Uhr in den Tag-Nacht-Rhythmus ein. Das heißt, schnelle innere Uhren sind früh dran, und langsame spät. Die innere Uhr ist nichts Esoterisches, sie hat vielmehr neuronale, anatomische Orte, an denen sie koordiniert wird, und in jeder Zelle ein biochemisches genetisch bedingtes Uhrwerk, das den Circa-24-Stunden-Rhythmus produziert.

Wenn man eine langsame innere Uhr hat, ist man ein später „Chronotyp", wie man sagt, und wenn sie schnell tickt, ist man ein früher Chronotyp. Uns interessieren vor allem die Menschen im Alltag und nicht so sehr ihr Verhalten im Bunker. Deshalb nutzen wir in unserer Forschung den Zusammenhang zwischen der Geschwindigkeit der inneren Uhr (im Bunker) und ihrer Synchronisation (im realen Leben). Wir befragen die Bevölkerung, wann einzelne Menschen schlafen und wann sie aktiv sind. Hierzu verwenden wir einen kurzen Fragebogen, dessen Stärke in seiner Einfachheit besteht. Wir fragen: Wann gehen Sie ins Bett? Wie lange lesen Sie zum Beispiel noch im Bett? Wann machen Sie sich fertig zum Schlafen? Wann schlafen Sie ein? Wie lange brauchen Sie zum Einschlafen? Wann wachen Sie auf und wann stehen Sie auf? Diese Fragen stellen wir getrennt für Arbeitstage und für freie Tage.

Aus diesen Angaben errechnen wir den Chronotyp, basierend auf dem Verhalten an freien Tagen, denn uns interessiert nicht der Arbeitgeber, sondern die innere Uhr. Als erste Maßzahl für den Chronotyp berechnen wir die Mitte des Schlafes an freien Tagen: Wenn jemand um eins einschläft und um 9.30 Uhr aufwacht, dann liegt die Schlafmitte um Viertel nach fünf.

Sie können alle unseren Fragebogen im Internet beantworten (www.theWeP.org). Wenn Sie Ihre E-Mail Adresse angeben, bekommen Sie ein PDF zurückgeschickt, das Ihnen sagt, wo sich Ihr Chronotyp und Ihr Schlafverhalten im Vergleich zum Rest der Bevölkerung befinden. Mittlerweile haben wir weit über 110.000 ausgefüllte Fragebögen in unserer Datenbank. Mit dieser großen Zahlenmenge kann man viele Einblicke ins menschliche Verhalten bekommen. Die Chronotypen (bezüglich der Schlafmitte an freien Tagen) bilden in der Bevölkerung eine Normalverteilung mit einer leichten Lastigkeit in Richtung spätere Typen (Abb. 3), wobei die extremen Lerchen und die extremen Eulen bis zu 12 Stunden auseinander liegen. Warum die Verteilung so breit ist, werden wir noch besprechen.

Wir haben natürlich sorgfältig überprüft, wie valide die Antworten auf unseren Fragebogen sind, zum Beispiel mit Hilfe von Schlaftagebüchern oder Aktimetrie, mit der man Bewegungen aufzeichnet. Es ist ganz erstaunlich, wie genau die Ermittlung des Chronotyps mit Hilfe dieses einfachen Fragebogens gelingt – bis hinunter zum Tagesrhythmus von biochemischen Werten, die wir unter Laborbedingungen in sogenannten konstanten Routinen bestimmen. Die Probanden müssen flach in einem abgedunkelten Raum liegen, dürfen weder schlafen noch aufstehen und müssen jede Stunde Blut abgeben oder irgendwelche Tests durchführen. So kann man zum Beispiel den Cortisol-Rhythmus aufzeichnen, und es zeigte sich, dass die Tageszeit, zu dem der Cortisol-Rhythmus sein tägliches Minimum erreicht, signifikant mit dem errechneten Chronotyp korreliert. Wir können also den Ergebnissen im Ganzen vertrauen – vom Verhalten und kognitiven Fähigkeiten bis hinab auf die biochemischen Rhythmen in Zellen.

Ob Früh- oder Spättyp, unter normalen Bedingungen sind alle gesunden inneren Uhren genau auf 24 Stunden synchronisiert. Ein extremer Spättyp entspricht zwar nicht der Norm, dennoch ist er kein Patient, der Schlafprobleme hat, wie es oft noch von der Medizin ausgelegt wird, er ist nur spät dran, schläft spät ein und wacht spät auf, kann aber in seinem von der inneren Uhr vorgegebenen Fenster hervorragend schlafen. Allerdings kollidiert sein Rhythmus mit dem Alltagsrhythmus der Gesellschaft. Die Diskrepanz zwischen Innenzeit und Außenzeit nennen wir „sozialen Jetlag", auf diesen gehe ich später noch im Detail ein.

Warum aber beträgt die angeborene innere Tageslänge bei den meisten

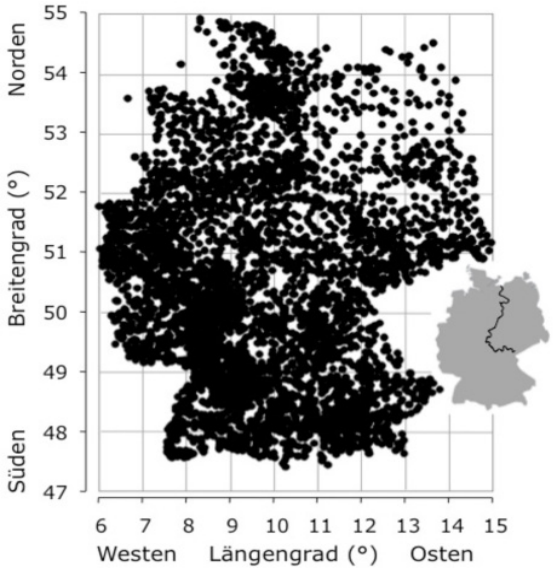


Abb. 4: Verteilung der Wohnorte der deutschen Teilnehmer unserer Internet-Befragung. Die einzelnen Punkte repräsentieren je nach Bevölkerungsdichte wenige bis tausende von Teilnehmern.

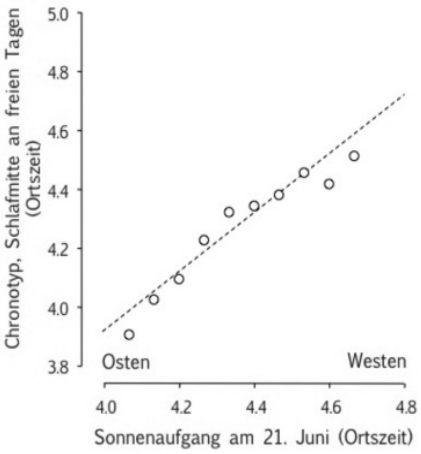


Abb. 5: Durchschnittlicher Chronotyp für jeden Längengrad in Deutschland von Ost nach West (vertikale Achse), aufgetragen gegen den Zeitpunkt des Sonnenaufgangs (als Beispiel wurde der 21. Juni gewählt).

Menschen 25 Stunden? Der wichtigste „Zeitgeber" für die innere Uhr ist der Tag-Nacht Rhythmus. Im Gegensatz zu nachtaktiven Organismen sollte die innere Uhr des tagaktiven Menschen eher durch den Sonnenaufgang als durch den Sonnenuntergang gestellt werden. Hierfür ist es vorteilhaft, dass der Rhythmus etwas länger als 24 Stunden tickt, da er so immer wieder in den Sonnenaufgang hineinwandert, von dem er dann gestellt werden kann. Die innere Uhr nachtaktiver Tiere sollte eher durch den Sonnenuntergang gestellt werden, sie haben daher meist einen Rhythmus, der kürzer als 24 Stunden tickt. Sie „wandern" mit ihrer Innenzeit auf den Sonnenuntergang zu, der sie dann stellt.

Die Synchronisation der inneren Uhr

Aber stellt der Tag-Nacht Wechsel wirklich unsere innere Uhr? Sind wir nicht viel eher durch die sozialen Rhythmen der Gesellschaft, wie Arbeitszeiten und Tagesschau getaktet? Um das herauszufinden, haben wir ein schönes Experiment gemacht – schön, weil es so billig ist. Wir haben unsere Datenbank befragt, ob Tagesschau oder Licht-Dunkel-Wechsel die innere Uhr von zivilisierten Menschen synchronisiert. Wir haben alle deutschen Teilnehmer ausgewählt und ihre Wohnorte in eine Karte eintragen (Abb. 4).

Anschließend haben wir diese Deutschlandkarte nach Längengraden in Scheiben geschnitten und in jeder dieser Scheiben den durchschnittlichen Chronotyp ermittelt. Die Ergebnisse waren verblüffend, denn die Zeiten lagen auf einer Linie parallel zum Sonnenaufgang (Abb. 5). Licht ist also der wichtigste Zeitgeber für unsere Uhr.

Wir erstellen derzeit mit Hilfe von Fragebögen eine Weltkarte des Schlafes und finden sehr interessante und systematische Ergebnisse. Vergleicht man beispielsweise die Verteilung der Chronotypen in Zentraleuropa mit der in Süd-Indien, so ist ein europäischer Frühtyp im Vergleich zur Bevölkerung Indiens ein ganz normaler Chronotyp, weil dort die Gesamtbevölkerung sehr viel früher ist. Das liegt auch am Licht. Jeder, der mal in Indien gearbeitet hat, weiß, dass man dort sehr viel mehr Außenlicht mitbekommt, als hier in Zentraleuropa.

Seien wir mal ehrlich, wie lange halten wir uns heute noch unter freiem Himmel auf? Unsere Datenbank sagt, es seien im Bevölkerungsdurchschnitt nicht mehr als 15 Minuten an Arbeitstagen. Wenn man sich jedoch zwei Stunden draußen aufhält, unter richtigem Licht (ich komme gleich noch darauf, was ich unter „richtigem" Licht verstehe), dann kann sich der Chronotypus um fast eine Stunde nach vorne schieben. Wegen unseres chronischen Lichtmangels sind wir alle viel zu spät dran. Denn je schwächer der Zeitgeber, desto mehr muss die innere Uhr ihre innere Nacht in den Sonnentag „reinrutschen", damit sie ihre lichtsensitiven Zeiten genügend Licht aussetzt. Ganz extreme Frühtypen werden durch Lichtmangel sogar noch früher, und das erklärt, warum die Verteilung der Chronotypen so breit ist (Abb. 3).

Unterschiede beim Licht

Die Lichtunterschiede zwischen drinnen und draußen sind immens. In einem Innenraum können Sie froh sein, wenn Sie 200-300 Lux mitbekommen. Selbst am regnerischsten Tag des Jahres bekommen Sie im Freien ohne ein Dach über dem Kopf bereits 10.000 Lux, und an einem Sonnentag mehr als 100.000 Lux.

Der Grund, warum uns das nicht so recht bewusst wird, liegt daran, dass wir tagaktive Wesen sind, die unsere Augen, unsere Lichtwahrnehmung, hauptsächlich für das Lesen und das Erkennen benutzen. Dieses visuelle System ist ein Kontrastsystem, das sich auch noch an verschiedenen Helligkeiten adaptiert. Unser Sehsystem interessiert nur, ob beispielsweise der schwarze Buchstabe dunkler ist als die Seite, auf der er gedruckt ist, und eben nicht dafür, wie hell es wirklich ist. Wir merken daher nicht, dass wir uns die ganze Zeit in einem biologischen Dauerdunkel aufhalten.

Unser Lichtmangel hat auch drastische Auswirkungen auf die innere Uhr, da Licht für sie der wichtigste Zeitgeber ist. Ohne ausreichendes Licht kommen wir in große Schwierigkeiten, besonders bezüglich unserer Diskrepanz zwischen dem, was die soziale Welt von uns will, und was die innere Uhr uns vorschreibt. Um das zu verstehen, zeige ich Ihnen Beispiele von Schlaftagebüchern.

Spättypen, die ihre Arbeitszeiten selbst bestimmen können, gehören zu den glücklichsten Menschen in unserer Gesellschaft. Sie zeigen keine signifikanten Unterschiede zwischen freien Tagen und Arbeitstagen. Solche Spättypen gehen zum Beispiel gegen vier Uhr morgens ins Bett und stehen gegen 11.30 Uhr auf. Sie schlafen nicht länger als andere, nur später. Und unsere Sprache, die sonst so präzise ist, macht einen moralisch begründeten Fehler, der Journalisten besonders gerne unterläuft: „Erzählen Sie mir etwas über Frühaufsteher und Langschläfer".

Lang ist nicht der Gegensatz zu früh! Spät ist der Gegensatz zu früh, und lang ist der Gegensatz zu kurz; darüber hinaus wird die individuelle Schlafdauer auch von den Genen bestimmt. Es gibt Menschen, die kommen mit drei oder vier Stunden Schlaf aus, andere brauchen 12 bis 13 Stunden. Mittlerweile haben wir die ersten Gene gefunden, die Menschen zu Lang- oder Kurzschläfern machen. Es gibt also Frühaufsteher und Spätaufsteher, und es gibt Kurzschläfer und Langschläfer. Unter den Frühaufstehern gibt es ebenso viele Kurz- und Langschläfer wie unter den Spätaufstehern. Wann man schläft und wie lang man schläft, das sind zwei unabhängige biologische Eigenschaften des Menschen, was unsere Sprache jedoch noch nicht bemerkt zu haben scheint.

Die zweitglücklichsten Typen in unserer Gesellschaft sind die Frühtypen. Extreme Früh- und Spättypen liegen soweit auseinander, dass sie sich ein Bett teilen könnten – ohne sich jemals zu begegnen. Manche Frühtypen schlafen von alleine bereits zwischen acht und neun Uhr abends ein und wachen, auch wieder von alleine, zwischen vier und fünf Uhr morgens auf, also lang bevor der arbeitstägliche Wecker den Rest der Bevölkerung aus dem Schlaf reißt.

Die beiden bisher geschilderten Chronotypen sind relativ selten, und dass

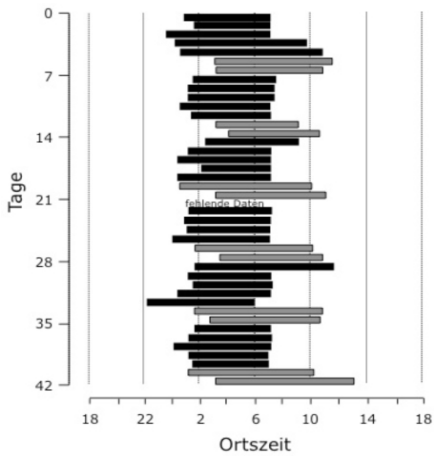


Abb. 6: Schlaftagebuch eines relativ späten Chronotyps. Die schwarzen Balken stellen den Schlaf an Arbeitstagen dar und die grauen Balken den Schlaf an freien Tagen. Die Schlafenden an Arbeitstagen fallen alle auf eine Linie, zeigen also keine biologische Varianz. Sie weisen darauf hin, dass dieser Mensch an Arbeitstagen durch einen Wecker aus dem Schlaf gerissen wird. Daher ist die Schlafdauer an Arbeitstagen wesentlich kürzer als an freien Tagen, und die Schlafmitte zeigt einen klaren Wochenrhythmus.

Menschen ihre Arbeitszeiten selber wählen können, ist auch selten. Die Abbildung 6 zeigt, was die meisten von uns durchmachen.

Das Schlafmuster dieser Menschen sieht so aus, als flögen sie am Freitagabend nach New York und kämen am Montag wieder zurück. Und die exakten Aufwachzeiten an Arbeitstagen lassen vermuten, dass sie nur durch den Wecker ihren Schlaf beenden können, um rechtzeitig bei der Arbeit zu sein. Dadurch bauen sie an Arbeitstagen ein mehr oder weniger großes Schlafdefizit auf. Die Tatsache, dass es den meisten Menschen ähnlich geht wie in dieser Abbildung gezeigt, liegt einfach daran, dass unsere inneren Uhren durch Lichtmangel immer später werden, während unsere Arbeitszeiten noch in der agrarwirtschaftlichen Kultur hängengeblieben sind. Dies gilt auch für die noch herrschende Moral über Schlafzeiten: der „Frühaufsteher“ ist der gute Mensch, während „Langschläfer“ als liederlich angesehen wird.

Sozialer Jetlag

Der Unterschied zwischen den Zeiten, die uns vom sozialen Umfeld abverlangt werden, und den Zeiten, die uns unsere Biologie vorschreibt, haben wir „sozialen Jetlag“ genannt. Der Zustand, den wir täglich erfahren müssen, ähnelt in der Tat dem wirklichen Reise-Jetlag, nur dass wir an Ort und Stelle bleiben. Der Reise-Jetlag hat den Vorteil, dass sich unsere innere Uhr in wenigen Tagen anpassen kann, weil sie einem neuen Licht-Dunkel-Wechsel ausgesetzt ist. Pro Stunde Zeitverschiebung brauchen wir ungefähr einen Tag. Der soziale Jetlag ist im Gegensatz dazu chronisch, da wir immer im gleichen Tag-Nacht-Wechsel bleiben.

Mit dem „sozialen Jetlag“ können sich offenbar die meisten Menschen identifizieren. Als wir 2006 diesen Begriff in einer Veröffentlichung einführten, konnte man bei Google zwei Einträge finden; das waren Ankündigungen von zwei meiner Vorträge, in dessen Titel der Begriff vorkam. Schon 14 Tage nach Erscheinen der Arbeit, bekamen Sie bereits 15.000 Hits bei Google; mittlerweile finden Sie zwischen 600.000 und 800.000 Einträge. Allerdings beziehen sich die meisten dieser Einträge nicht auf das moderne Schlafverhalten; eine (offensichtlich sehr erfolgreiche) Punkband hat sich nämlich so genannt, und die meisten Hits bei Google sind auf die Band zurückzuführen.

Doch welche Konsequenzen hat der soziale Jetlag? Eine Konsequenz ist, dass mittlerweile – mit steigender Tendenz von fast 2 % pro Jahr – 85 % der Bevölkerung einen Wecker benutzen, um an Arbeitstagen wach zu werden. Das klingt eigentlich trivial; der Wecker ist so sehr Teil unseres Alltags, dass ich sehr lange gebraucht habe, um das wahre Phänomen zu begreifen. „Wecker“ heißt ganz einfach, dass wir zum Aufstehen gezwungen werden, bevor die biologische Schlafzeit zu Ende ist. Nur 7 % der Bevölkerung bekommt an Arbeitstagen ausreichend Schlaf. Diese Zahlen sollten uns zu denken geben.

Aber was ist ausreichender Schlaf? Diese Frage lässt sich relativ einfach beantworten: Wenn ich Sie an einem Arbeitstag nach Ihrem Aufwachen in ein dunkles Schlaflabor lege und Sie nicht mehr weiter schlafen können, dann haben Sie offensichtlich keinen Schlafmangel. Wenn Sie jedoch wieder einschlafen, und dann auch noch unmittelbar in den REM-Schlaf verfallen, dann hatten Sie definitiv noch nicht ausreichend geschlafen.

Die innere Uhr und der Wecker, das Mahnmal unserer sozialen Zeit, können also um mehrere Stunden auseinander klaffen. Lassen Sie uns auf die Konsequenzen dieser Situation noch näher eingehen. Wie bereits gesagt, sind Schlaflänge und Schlafzeitpunkt, also der Chronotyp, zwei unabhängige genetische Eigenschaften, doch das ist nur die halbe Wahrheit. Wenn die soziale Zeit mit ins Spiel kommt, zeigen beide einen deutlichen Zusammenhang. Wenn man die durchschnittliche Schlafdauer in der Bevölkerung bei verschiedenen Chronotypen an Arbeitstagen aufträgt und das Ergebnis betrachtet, erkennt man, daß sowohl die Frühtypen als auch die Spättypen zu wenig Schlaf bekommen – erstere an freien Tagen letztere an Arbeitstagen (Abb. 7).

Die meisten Frühtypen erhalten an den Wochenenden ein Schlafdefizit, weil sie von der Mehrheit der Spättypen dazu „überredet“ werden, weit nach dem Aufmachen ihres inneren Schlaffensters ins Bett zu gehen („Sei doch nicht so langweilig und komm doch einmal mit“). Am nächsten Morgen werden sie aber zu ihren üblich frühen Zeiten von ihrer inneren Uhr geweckt werden. Dieser innere Wecker ist ähnlich wie der äußere Wecker, nur noch gemeiner, da man ihn nicht abstellen kann. Er sagt, „Ist mir doch egal, wann du ins Bett gegangen bist, Zeit zum Aufstehen“. Da die Frühtypen eigentlich viel früher ins Bett gehen sollten, kriegen sie zu wenig Schlaf unter dem sozialen Druck der Spätgesellschaft.

Im Gegensatz dazu ist es der soziale Druck der Arbeitszeiten, der Spättypen zu wenig schlafen lässt. In diesem Fall kommt das Signal zum Einschlafen von der inneren Uhr, aber das Signal zum

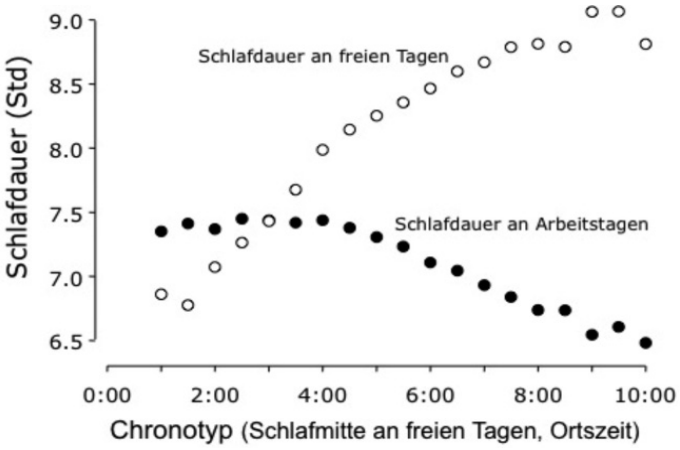


Abb. 7: Durchschnittliche Schlafdauer an Arbeitstagen (Punkte) und an freien Tagen (Kreise) in Abhängigkeit vom Chronotyp.

Aufwachen vom äußeren Wecker. Viele Spättypen, müssen die Hälfte ihrer freien Tage verpennen, um ihr arbeitswöchentliches Schlafdefizit wieder aufzuholen. Dafür bekommen sie von der Gesellschaftsmoral noch eins auf den Deckel, die sie als Langschläfer betitelt.

In der Schule

Chronotyp und Schlafbedürfnis sind zwar angeborene Eigenschaften, hängen aber auch von anderen Faktoren ab; zum Beispiel davon, wie viel Licht wir tagsüber und wie viel Dunkelheit wir nachts erhalten, aber auch vom Alter: In der Kindheit und Jugend schlafen wir im Wochendurchschnitt relativ viel, mit zunehmendem Alter aber immer weniger. In unserer Lebensmitte entwickelt sich ein relativ stabiles Schlafmuster, und im Alter bekommen wir (wohlgemerkt im Wochendurchschnitt) dann wieder ein bisschen mehr Schlaf. Spannend wird die Angelegenheit, wenn man das Schlafmuster getrennt für Arbeitstage und freie Tage betrachtet. Die meisten Menschen bekommen an Arbeitstagen chronisch zu wenig Schlaf und müssen diesen daher an freien Tagen nachholen. Zwar haben sich inzwischen die Arbeitszeiten ein wenig geändert, unter dem Druck einer Bevölkerungsmehrheit, deren innere Uhr aus Lichtmangel immer später wird. Bei den Schulzeiten ist bisher jedoch nichts passiert. Die Frage nach dem Warum gibt eine ernüchternde Antwort. Man braucht die Schulbusse, um Arbeiter zur S-Bahn oder zur Fabrik zu fahren, und deshalb muss man die Schüler vorher zur Schule karren.

Dies ist besonders tragisch. Der soziale Jetlag erreicht zwischen 17 und 21 Jahren sein absolutes Maximum, da die innere Uhr sich in der Pubertät und der Adoleszenz immer weiter nach hinten schiebt und erst bei jungen Frauen mit neunzehn einhalb und bei jungen Männern mit 21 Jahren wieder über den Rest des Lebens früher wird (Abb. 8). Die meisten von uns haben mindestens zweimal in ihrem Leben erfahren – einmal bei sich selbst und einmal bei ihren Kindern – welche unglaubliche Kapazität Jugendliche haben, die Nacht zum Tag zu machen.

Dieses Alter ist eine der wichtigsten Zeiten in unserer Entwicklung – nicht nur das Lernen betreffend. Und trotzdem nimmt es unsere Gesellschaft in Kauf, dass diese armen Jugendlichen den größten sozialen Jetlag abbekommen.

Kinder sind Frühtypen, Jugendliche Spättypen, alte Leute wieder Frühtypen. Viele Erwachsene – wie auch viele Lehrer – sagen, die jungen Leute bräuchten doch nur früher ins Bett zu gehen und nicht vor dem Fernseher oder in der Disko rumhängen, dann hätten sie nicht ein so ausgeprägtes Schlafdefizit. Das ist jedoch Unsinn. Forscher haben jetzt auch bei Ratten und bei Mäusen gezeigt, dass dieses Disco-Argument nicht stimmt. Die Folge dieser unerträglichen Situation ist, dass die meisten Jugendlichen in der Schule völlig verpennt sind.

Eine Kollegin in Amerika hat den Versuch gemacht, 16-, 17- und 18-jährige Jugendliche am Schultor abzufangen und mit ins Schlaflabor zu nehmen. Sie zeigen dort typische Symptome von Narkolepsie, das heißt, sie schliefen sofort wieder ein und verfielen sogleich in den REM-Schlaf. Wenn Sie bei Jugendlichen, die in der Klasse sitzen, die Gehirnströme, also ein EEG messen, dann können Sie zeigen, dass diese Schüler immer wieder in einen Mikroschlaf fallen, von dem weder der Mikroschlafende noch der Lehrer etwas merkt. Durch diese Erkenntnisse habe ich begriffen, warum ich manchmal in der Schule noch nicht mal die Frage verstanden habe. Viele von diesen Fragen hätte ich sicher beantworten können, aber es tauchte nur plötzlich ein Gesicht aus dem Nichts auf, das sagte, „Das können Sie doch sicher beantworten, Roenneberg". Man schaut dann das Gesicht der Lehrkraft an und denkt „Ja wahrscheinlich, wenn ich die Frage gehört hätte".

Jugendliche Schüler sollen (rechtzeitig) am Abend einschlafen, wenn sie den niedrigsten Schlafdruck während des gesamten Tages erfahren, sollen aber dann in den ersten Stunden des Unterrichts ihr Bestes geben, wenn ihre innere Uhr den Zeitpunkt des höchsten Schlafdrucks erreicht. Die innere Uhr passt sich nicht einfach an das an, was zeitlich von einem verlangt wird. Das widerspricht den Lehrern, die sagen, die brauchen ja nur ins Bett gehen. Natürlich können sie ins Bett gehen, aber einschlafen können sie deshalb noch lange nicht.

Man könnte das Disco-Argument sogar umdrehen. Jugendliche sind nun mal Spättypen – wohin sollen die denn gehen, ohne den Rest der Bevölkerung aufzuwecken, wenn nicht in die Disco? Sie ist ein Reservat für jene Spättypen, die nach den Vorgaben ihrer inneren Uhr genau dann schlafen sollten, wenn sie in der Schule Prüfungen absolvieren müssen. Es ist erstaunlich, wie wenig ernst das Schulsystem die Aufgabe eines effizienten Lernens nimmt und die Einsichten der Chronobiologie ignoriert.

Männer und Frauen

In Abbildung 8 haben Sie bereits gesehen, dass Frauen und Männer in fast allen Altersgruppen im Durchschnitt verschiedene Chronotypen sind – Frauen meist früher als Männer. Mit unseren Ergebnissen haben wir vielleicht auch einen Grund dafür gefunden, warum statistisch gesehen Männer jüngere Frauen heiraten – weil sie dann nämlich ähnliche Chronotypen sind und gemeinsam frühstücken können!

Es gibt weitere, spekulative, aber interessante Aspekte in Sachen innerer Uhr, Chronotypen und Partnerschaft. Wir haben unsere Teilnehmer neben den eigentlichen Schlafzeiten auch gebeten, ihren Chronotyp subjektiv einzuschätzen – in sieben Kategorien zwischen extremer Frühtyp und extremer Spättyp. Bei solchen Fragen unterlaufen Menschen natürlich Fehler, aber statistisch gesehen antworten Frauen und Männer ziemlich gut, so dass wir einen guten Zusammenhang zwischen subjektiver Einschätzung und dem aus den eigentlichen Schlafzeiten berechneten Chronotyp finden. Wir heben sie auch gebeten, den Chronotyp

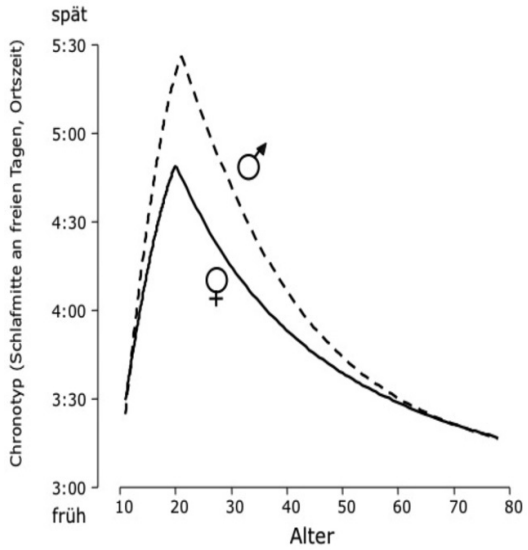


Abb. 8: Chronotyp in Abhängigkeit des Alters, getrennt für Männer (gestrichelte Linie) und Frauen (durchgezogenen Linie).

ihres Partners anhand dieser Kategorien zu beurteilen.

Als ich die Ergebnisse dieser Partnerschaftsbefragung zum ersten Mal sah, dachte ich „Typisch, wir Männer haben keine Ahnung!“. Alle Männer schätzen nämlich im Durchschnitt ihre Frauen als mittlere Chronotypen ein – die Korrelation zwischen „selbst“ und „Partner“ ergab eine waagerechte Linie. Dann wurde mir aber klar, dass das eigentlich auch so sein sollte, wenn sich die Partnerwahl nicht nach dem Chronotyp, sondern nach ganz anderen Kriterien richtet. Deshalb war das Ergebnis, wie Männer ihre Partner einschätzen, vollkommen korrekt.

Ganz anders die Frauen: In deren Einschätzung waren die Männer im Durchschnitt ein ganz ähnlicher Chronotyp wie sie selbst. Die Chronotypen der einschätzenden Frauen korrelierte hoch mit denen der eingeschätzten Männer. Aber warum kamen sie subjektiv zu dieser wahrscheinlich falschen Einschätzung? Man kennt aus soziologischen Untersuchungen bei Schichtarbeitern, dass Männer, wenn die Frauen zuhause sind, zusammen mit ihren Frauen ins Bett gehen, auch wenn sie noch gar nicht müde sind (warum das so ist, überlasse ich Ihrer eigenen Phantasie), aber zu ganz anderen Zeiten, meist viel späteren, wenn ihre Frauen nicht zuhause sind. Sie sehen, die Einschätzung der Frauen ist doch irgendwie richtig: „Mein Mann geht immer mit mir zusammen ins Bett, also muss er derselbe Chronotyp wie ich sein“.

Schlafdefizite und Zeitumstellung

Je größer ihr sozialer Jetlag, desto größer ist das Schlafdefizit, das Menschen über die Arbeitswoche anhäufen, und das gilt nach unseren Daten bis zum Rentenalter. Einer der ersten Defizite, die sich aus mangelndem Schlaf ergeben, besteht darin, dass man in psychologischen Tests nicht mehr so gut abschneidet. Wie eine Studie kürzlich zeigte, kann man zum Beispiel nicht mehr richtig einschätzen, was die Mimik anderer Menschen zum Ausdruck bringt, ob das Gesicht Ärger oder Freude zeigt. Es sind die sozialen Kompetenzen, die bei Schlafdefizit als erstes den Bach runter gehen.

Der soziale Jetlag zeigt auch einen Jahresrhythmus. Im Winter ist er höher als im Sommer, weil unsere innere Uhr in den dunklen Tagen noch später dran ist, wir aber immer zu den gleichen Zeiten zur Arbeit gehen müssen. Das verbessert sich dann im Laufe des Frühlings, wenn die Tage wieder länger werden. Diese Erleichterung hält aber leider nicht lange an, denn unsere Gesellschaft hat vor einigen Jahrzehnten (ohne uns zu fragen) den „kollektiven“ Beschluss gefasst, ab einem bestimmten Tag im Jahr eine Stunde früher zur Arbeit zu gehen. Damit wir das nicht merken, werden die Uhren umgestellt. Diesen Unsinn nennen wir die Sommerzeit. Unsere Daten zeigen, dass diese Zeitumstellung unseren sozialen Jetlag drastisch erhöht, besonders natürlich bei den späteren Chronotypen. In vielen Diskussionen über die Sommerzeit, die übrigens nicht, wie das Wort suggeriert, die Zeit umstellt, sondern nur die Uhr, kommt immer das Argument, abends sei es doch dann viel länger hell. Ich antworte dann, „Nein, es ist abends nicht länger hell, Sie kommen nur früher nach Hause.“

Die Sommerzeit teilt die Menschen in zwei Lager, in strikte Befürworter und strikte Ablehner, wobei das Kontingent der Ablehner immer größer wird. Dieser Trend steht im Einklang mit unseren Befunden, dass sich die innere Uhr der Menschen (durch Lichtmangel) zu immer späteren Zeiten verschiebt. Die Sommer-(Uhr)-Zeit-Umstellung wurde also sicher nicht von Spättypen beschlossen. Das könnte daran liegen, dass die meisten Führungskräfte durch die selektiven Mechanismen der Gesellschaft eher Kurzschläfer und Frühtypen sind. Wenn Sie in verantwortungsvoller Position sind, können Sie als Spättyp schlecht sagen „Machen Sie mir den Termin nach 11 Uhr“. Sie können aber als Frühtyp auch nicht sagen „Machen mir keine Termine nach 18 Uhr“. Es waren also diese Kurzschläfer und Frühtypen in Führungspositionen, die das Einführen der Sommer-(Uhr)-Zeit-Umstellung entschieden haben.

Das Argument, es sei doch nur ein winziges Stündchen gilt bei näherer Betrachtung nicht, denn im Jahresverlauf hat diese Umstellung einen viel größeren Effekt als eine Stunde. Im Winter stehen wir parallel mit dem Sonnenaufgang auf (meist einige Stunden früher als die Sonne). Mit den länger werdenden Tagen werden wir dann immer früher. Zum Zeitpunkt der Sommerzeitumstellung hört die innere Uhr jedoch abrupt auf, sich nach dem Sonnenaufgang zu richten und bleibt bei einer fixen Ortszeit einfach stehen. Sobald wir dann im Herbst die geraubte Stunde wieder zurück bekommen, fängt sie sofort wieder an, sich nach dem Sonnenaufgang zu richten.

Im Winter steht man also vor dem Sonnenaufgang auf. Dann irgendwann im Frühjahr mit dem Sonnenaufgang, und danach steht die Sonne vor uns auf. Diese jahreszeitliche Entwicklung wird von der Einführung der Sommerzeit abrupt unterbrochen und wirft uns 3 ½ bis 4 Wochen zurück, denn plötzlich stehen wir wieder nach Sonnenaufgang auf. Diese Intervention ist also viel mehr als nur ein „Stündchen“! Im Herbst beginnt dieses Spiel von neuem. Erst stehen wir nach der Sonne auf, dann mit ihr und dann vor ihr. Bei der Umstellung stehen wir plötzlich wieder vor ihr auf. Diese ständigen Wechsel für unsere innere Uhr gaukeln uns Licht-Dunkel Situationen vor, die folgenden Vergleich zulassen: Die Bevölkerung wird im Frühjahr von Frankfurt in den Süden Marokkos verfrachten, muss aber weiter nach den Zeiten in Frankfurt arbeiten. Im Herbst wird sie dann wieder vom Süden Marokkos zurück nach Frankfurt transportiert.

Der wahre Preis des Weckers

Ich habe bereits mehrfach erwähnt, dass sich der Chronotyp der Menschen, die in industrialisierten Ländern leben, im Laufe der Jahre aus Lichtmangel nach später verschiebt. Ich will Ihnen nun zeigen, was dieser Aussage zugrunde liegt. Viele Studien haben gezeigt, dass die Schlafdauer in den vergangenen Jahrzehnten kürzer geworden ist. Diese Studien haben jedoch nie die Schlafdauer an freien und an Werktagen getrennt betrachtet. Unsere Daten zeigen, dass dies nur für den Schlaf an Werktagen zutrifft. In den vergangenen zehn Jahren ist die Schlafdauer an freien Tagen sehr konstant geblieben, wahrscheinlich da sie bereits am Anschlag ihrer Nachholkapazität ist. Insgesamt ist es allerdings richtig, dass wir immer weniger schlafen. Unser Chronotypus ist allerdings immer später geworden, einhergehend mit der Tatsache, dass wir uns immer weniger draußen unter freiem Himmel aufhalten – sowohl im Sommer als auch im Winter. Wir sind also zunehmend weniger draußen, so dass wir immer schwächere Zeitgeber erleben und sich dadurch unser durchschnittlicher Chronotyp verspäten. Die Arbeitszeiten sind hingegen konstant geblieben, so dass wir an Arbeitstagen zu wenig schlafen und dies an unseren freien Tagen gar nicht mehr aufholen können. Aber hat das Konse-

quenzen für unsere Gesundheit? Was also ist der wahre Preis des Weckers?

Es besteht ein erschreckend signifikanter Zusammenhang zwischen Rauchen und sozialem Jetlag. Je mehr Sie in einer Diskrepanz zwischen biologischer und sozialer Uhr leben, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass Sie Raucher sind. Es ist nicht die Menge, die Sie rauchen, sondern einfach nur, ob Sie Raucher oder Nichtraucher sind. Im Zusammenhang mit Rauchen gibt es eigentlich nur drei Zustände: Sie sind Nichtraucher und waren das schon immer, Sie sind Nichtraucher, weil Sie sich das Rauchen abgewöhnt haben, oder Sie rauchen immer noch. Doch in welchem Alter fangen wir an zu rauchen? In der Pubertät, also in der Zeit, in der wir dem größten sozialen Jetlag ausgesetzt sind. Der soziale Jetlag ist sicherlich nicht die Ursache, warum wir Raucher werden – dafür gibt es zahlreiche andere Gründe –, aber es hilft sicher nicht dem Gruppendrang zugunsten des Rauchens entgegenzuwirken, wenn man als jugendlich später Chronotyp jeden Schultag unter physiologischem Stress steht. Wenn man dann auch noch merkt, Rauchen ist nicht nur cool, sondern wirkt stimulierend, so dass man auch noch besser in der Schule aufpassen kann, dann ist dies ein zusätzlicher Grund, Raucher zu werden.

Wenn Sie später als Erwachsener weiterhin sozialen Jetlag erleben, finden Sie keine Gelegenheit aufzuhören. Falls sich jedoch Ihre soziale Jetlag-Situation verbessert, dann können Sie es leichter schaffen Nichtraucher zu werden

Wie sieht es mit anderen Stimulanzien aus? Der Alkoholkonsum korreliert auch positiv mit dem sozialen Jetlag, und es wird mehr Kaffee getrunken, mittlerweile werden allerdings andere koffeinhaltigen Getränke bevorzugt. Schlaf wird oft als sinnlose Zeit in unserem Leben betrachtet, das ist allerdings ein vollkommen falscher Ansatz, denn guter Schlaf, so wie wir ihn in unserem von der inneren Uhr vorgegebenen Schlaffenster bekommen, ist für unser Wohlbefinden, unsere Gesundheit, unsere soziale Kompetenz und für unsere Leistungsfähigkeit eine wichtige Voraussetzung. Wer nicht genug schläft, hat viel weniger von seiner Wachzeit.

Schichtarbeit

Die extremste Form des sozialen Jetlags ist die Schichtarbeit. Um das Schlaf-Wach-Verhalten von Schichtarbeitern zu untersuchen, setzen wir die bereits erwähnte Aktimetrie ein, wobei die Probanden ein armbanduhrartiges Gerät tragen, mit dem wir sowohl die Aktivität als auch die Lichtexpositionen aufzeichnen können. Aus den gewonnenen Daten können wir dann das Schlafverhalten ablesen. Wie zu erwarten, hängt das Schlafverhalten in den einzelnen Schichten vom Chronotyp des einzelnen Mitarbeiters ab. Frühtypen bekommen sehr wenig Schlaf nach den Nachtschichten, da sie von ihrer inneren Uhr geweckt werden, sobald der größte Schlafdruck „weggeschlafen“ ist, während Spättypen in der Frühschicht den kürzesten Schlaf bekommen, da sie ihre innere Uhr nicht rechtzeitig einschlafen lässt, während sie nach Nachtschichten hervorragend „nachschlafen“ können.

Wir haben ein Verfahren entwickelt, das uns mit Hilfe der Lichtaufzeichnungen erlaubt, das Verhalten der inneren Uhr verschiedener Chronotypen zu modellieren und vorauszusagen. Dieses Verfahren setzen wir derzeit ein, um bessere Schichtsysteme für die jeweiligen Chronotypen vorschlagen zu können.

Da sich die innere Uhr von Schichtarbeitern nicht wirklich an die verschiedenen Schichten anpasst, ähnelt es einem Experiment das Chronobiologen “forced dissynchrony“ nennen. Sie lassen dabei Menschen einen 26 oder 22 Stundentag leben, an den sich die inneren Uhren nicht synchronisieren können. Dadurch kann man jede Konstellation zwischen Innenzeit und Wachzeit untersuchen: Wie lange war der Proband wach und welche Innenzeit herrscht gerade, wenn man eine experimentelle Messung macht? Zum Beispiel, wie gut werden Rechenaufgaben gelöst, oder wie ist der derzeitige Status eines Blutwertes?

Diese „forced dissynchrony“ Experimente haben gezeigt, dass alle relevanten Parameter des Metabolismus durcheinander gebracht werden, so dass die Messergebnisse aussehen wie Patienten mit metabolischem Syndrom oder Diabetes II. Andere Versuche an Mäusen haben gezeigt, dass ein ständiger Wechsel in den Synchronisationsbedingungen die Lebenserwartung der Tiere drastisch verkürzt. All diese Versuche sprechen dafür, dass Schichtarbeit krank macht, so wie es epidemiologische Studien bereits aufgezeigt haben. Das heißt, es wird dringend Zeit, alternative Schichtpläne zu entwickeln, die die Innenzeit mit berücksichtigen.

In der eigenen Zeit leben

Optimierte Schichtpläne schaffen eine Win-Win-Situation. Die Gesundheit der Arbeitnehmer wird verbessert, worauf auch weniger Krankenkosten für die Gesellschaft anfallen. Darüber hinaus wird die Produktivität erhöht, weil die Arbeitnehmer mehr Leistung durch ein Leben (Schlafen und Wachen) gemäß ihrer Innenzeit erbringen.

Wie bereits besprochen, wirkt die Innenzeit der biologischen Uhr auf alle Aspekte unseres Daseins, vom Metabolismus bis zu psychophysischen oder kognitiven Tagesleistungen. So zeigt selbst die Feinmotorik (wie wir sie zum Beispiel beim Schreiben einsetzten) einen ausgeprägten Tagesgang. Auch unsere Fähigkeit, verschiedene Tätigkeiten gleichzeitig durchzuführen, ist tagesrhythmisch. „Gleichzeitig“ ist hierbei eigentlich nicht richtig, da unser Gehirn eigentlich nur eine Aufgabe bearbeitet, es kann allerdings stroboskopisch zwischen verschiedenen Tätigkeiten hin und her springen. Dieses Springen nennt man „Task-Switching“. Andere Beispiele sind die Handkraft, aber auch das Sprachverständnis und die Sprachproduktion. All diese kognitiven Fähigkeiten haben einen klaren Tagesgang.

Wir haben für diese verschiedenen Fähigkeiten einfache Messverfahren entwickelt, mit denen wir nun in den Fabrikalltag gehen und die Leistungen, ebenso wie das Schlafverhalten im Feld messen können. Diese Messungen zusammen mit unseren Computermodellierungen bilden dann die Grundlage zu optimierten Schichtplänen. Unser Ziel ist es, jedem Menschen so gut wie möglich gemäß seiner individuellen Innenzeit leben und arbeiten zu lassen, was weit über die Schichtarbeitsforschung hinausgeht. Ein Leben nach der eigenen inneren Uhr verbessert die Gesundheit und macht uns leistungsfähiger. Beides ist eine wichtige Voraussetzung für Lebensqualität und birgt zudem auch Vorteile für die Produktivität am Arbeitsplatz.

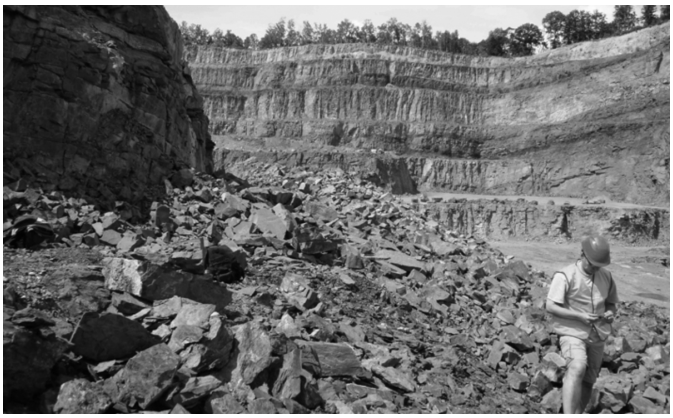
Anschrift des Verfassers:
Prof. Dr. Till Roenneberg
Institut für Medizinische Psychologie
Ludwig-Maximilians-Universität
Goethestr. 31
80336 München
Email:
till.roenneberg@med.uni-muenchen.de

Michael Hesemann, Hamburg:

Bericht über die Exkursion der AG Mikropaläontologie Hamburg in das Osnabrücker Land am 23./24.6.2012,

geleitet und vorbereitet von Dieter Ketelsen und Heribert Schwandt

Als rundherum gelungen und sehr interessant darf die Wochenendexkursion ins Osnabrücker Land bezeichnet werden. Es wurden reichhaltige Funde gemacht. Heribert Schwandt und Dieter Ketelsen haben die Exkursion ausgezeichnet vorbereitet. Durch ihre langjährige Sammeltätigkeit und Kontakte zu lokalen Sammlern kennen sie sich sowohl in der Stratigraphie wie auch bei den zu findenden Fossilien und Mineralien sehr gut aus. Es waren zehn Teilnehmer dabei.



Piesberg, Flöz Bänkchen, Foto: Wawczyniak

Kalkriese, Kimmeridge, Oberer Jura, Foto: Hesemann

Kalkriese, Hirschkäfer, Foto: Wawczyniak

Tortenschlacht in Lotte, Foto: Ketelsen

Die erste Station war der Piesberg mit seinen berühmten Pflanzenfossilien des Karbon, genauer Westfal D. Gefunden wurden verschiedene Farne, von Einzelblättern bis hin zu verästelten Wedeln, vor allem *Neuropteris* und Keilblattgewächse wie *Sphenophyllum*. Stücke des Baumschachtelhalmes *Calamites*, *Sigillaria, Lepidodendron* als Vertreter der Siegel- oder Schuppenbäume und verschiedene Mineralien rundeten die Funde ab. Wir trafen den lokalen Sammler Michael Sowiak, der uns einen Schwertschwanz, *Euproops,* Schabenflügel und Spinnenteile als Tagesfund zeigen konnte. Nach knapp fünfstündigem Aufenthalt im Flöz Johannisstein und Bänkchen zogen wir schwer bepackt und beglückt mit unseren Schätzen weiter.

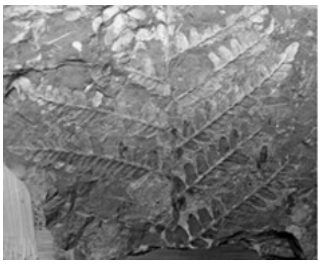
Zum Tagesausklang begaben wir uns weiter in der Erdgeschichte in die Trias in das Geotop des ehemaligen Steinbruchs in Hollage mit Oberem Muschelkalk/Keupersandstein. Dann besuchten wir eine Sandgrube mit eiszeitlichen Geschieben und abgeschüttetem Aushub von Muschelkalk sowie zwei der Baustellen Uni, Westerberg und B 68. Gefunden wurden Muschelbretter und Grabgänge. Erschöpft vom Tageswerk erfreute uns das Hotel Lingemann mit leckeren Köstlichkeiten und großen Zimmern zu für uns Hamburger moderaten Preisen.

Am Sonntag ging die erdgeschichtliche Reise weiter voran in den Jura (Kimmeridge) nach Kalkriese. Hier lohnte sich die Probennahme von Ton für eine mikropaläontologische Untersuchung. Gefunden wurden viele Brachiopoden, darunter eine große Rhynchonella (*Zeilleria sp.*), Seeigel (*Echinobrissus*), Steckmuscheln (*Gervillella*) und gesteinsbildende Austern (*Nanogyra*). Ein Hirschkäferweibchen und rezente Koprolithen wurden gesichtet. Ebenfalls im Jura (Bajocium) befanden wir uns in zwei weiteren Gruben am Voßberg. Hier machten wir erfolgreiche Jagd auf „vergoldete“ (=pyritisierte) Ammoniten (*Sonninia*) und Muscheln (*Inoceramus*). Einsetzender Regen zwang uns zu einer Tortenschlacht in

Lotte. Auch vom Voßberg nahmen wir Material zur mikropaläontologischen Untersuchung mit.

Zuhause heißt es nun die 10 kg oder mehr Material zu sichten, zu bestimmen und das Schönste in Vitrinen zu platzieren. Wer nicht wie Dipl. Geologe Marc Theodor im Gelände fleißig notiert und die detaillierten Erläuterungen mitgeschrieben hat, findet im Exkursionsführer einen Einstieg in Stratigraphie, Fossilien- und Mineralien der besuchten Aufschlüsse. Heribert Schwandt hat in die Steinkerngalerie unter Karbon zahlreiche Bilder von den Pflanzenfossilien des Piesbergs eingestellt:
www.steinkern.de/steinkern-de-galerie
Weitere Infos unter
http://www.mikrohamburg.de/HomePalaeo.html

Ammonit Sonninia von der Grube Voßberg, Foto: Dieter Ketelsen


Piesberg, kleiner Farnwedel, Foto: Hesemann

Bericht der AG Mikropaläontologie (AGM) über die Aktivitäten 2012

Die AGM hat ein produktives Jahr 2012 mit 12 Gruppenabenden, 1 Exkursion und dem 3-tägigem Stand auf der Messe Mineralien in den Hamburger Messehallen. Zu den Gruppenabenden kommen 8-15 Mitglieder und Interessierte. Es traten neue Mitglieder in den NWV ein.

Die veränderte Gruppenstruktur mit einem Leitungsteam hat sich bewährt: Matthias Burba (Vertreter beim Naturwissenschaftlichen Verein, Mikroskop-Fototechnik, Diatomeen u.v.a.), Michael Hesemann (Foraminiferen, Schriftführer, Projekte, Kontaktpflege u.v.a.), Dieter Ketelsen (Foraminiferen, Exkursionen und Kontakte zu Hobby-Paläontologen und deren Gruppen), Thomas Steuer (Otolithen u.a.). Der sanfte Druck auf die Mitglieder, auch mal einen Abend zu gestalten, hatte Erfolg. Sowohl die Themenpalette als auch die Anzahl der aktiven Mitglieder wurde erweitert. Der NWV gab Finanzmittel für die Anschaffung einer professionellen Dünnschliffeinrichtung frei, um die sich Matthias Burba kümmert.

2012 im Überblick

Nach einem offenen Arbeitsabend im Januar führte Michael Hesemann im Februar in die „Foraminiferen der Karibik und des Golfs von Mexiko“ ein. Es standen Proben aus Florida und Kuba zu Verfügung. Im April hielt Dipl. Geologe Marc Theodor einen Vortrag über „Die Foraminiferen der Eozän/Oligozän-Grenze von Atzendorf (Sachsen-Anhalt)“. Nach dem Vortrag konnten Proben aus unterschiedlichen Atzendorf-Horizonten durchgesehen werden. Am Abend im Mai wurde eine reichhaltige Mittelmeerprobe aus Mallorca durchgesehen, die Familie Meyer mitgebracht hatte. Im Juni folgte die Durchsicht einer Pliozän-Probe aus Salice auf Sizilien aus dem Bestand. Dieter Ketelsen führte am 23/24. Juni die Exkursion ins Osnabrücker Land (siehe separater Bericht). Thomas Steurer hielt im Juli einen Einführungsvortrag über Fischgehörsteine (Otolithen) und Dieter Ketelsen stellte Material aus seiner Sammlung zur Verfügung. Im August berichtete Michael Hesemann über die Analyse eines Bohrkerns aus Hamburg Moorburg für das Geologische Landesamt. Danach wurde Moorburgmaterial durchgesehen. Im September führte Archäologe Lars Achenbach in die Welt der Pollen ein. Im Oktober und November folgen zwei Vorträge von Matthias Burba über 3D-Fotografie und Diatomeen. Auf der Mineralien-Messe vom 7.-9. Dezember machen wir wieder unseren Stand und halten zwei Vorträge über Foraminiferen und Otolithen.

Aktivitäten des Foraminifera.eu-Projektes

Über die Monatsabende hinaus arbeiten einzelne Mitglieder in verschiedenen Arbeitsbereichen des Foraminifera.eu-Projektes: www.foraminifera.eu/about.html. So wurden bzw. werden 8 Vorträge über Foraminiferen gehalten. Für das Geologische Landesamt werden Bohrkernanalysen durchgeführt. Die Foraminiferenausstellung mit 15 Plakaten und diversen Exponaten wird im Naturparkhaus Augsburg von September-Dezember 2012 gezeigt und eine Foram-Vitrine im Calvert Marine Museum Maryland USA von April-August. Auf der 100 Jahre-Tagung der Paläontologischen Gesellschaft in Berlin im September berichtet Michael Hesemann über das Foraminifera.eu Projekt, das sich mit 150 Besuchern pro Tag wachsender Beliebtheit erfreut und von über 50 Fachleuten unterstützt wird. Die Arbeitsgruppe zum Sternberger Gestein hat einige Ergänzungen auf ihrer Webseite gemacht und die AG Maastricht sich mit Proben aus Hemmoor, Lägerdorf, dem Ostseeboden (Pipelinebohrung), Maastricht und den USA beschäftigt. Rund 200 mit Dr. Rosenfeldt gefertigte REM-Aufnahmen werden bei einem AG-Treffen in Oldenburg diskutiert. Zusammen mit einem pensionierten britischen Marinebiologen wird ein Unterkreide (Aptum)-Profil bei Lagos/Portugal beprobt und der Foraminiferengehalt ermittelt.

Planung 2013

Die Jahresplanung 2013 wird erst im November abgeschlossen. Als Themen sind bisher vorgesehen:
Michael Hesemann: Planktische Foraminiferen
Dieter Ketelsen, Michael Hesemann: Gewinnung von Mikrofossilien aus Gesteinen.
Thomas Steurer: Fischotolithen
Peter Laging: Fossile Fischschuppen
Alle: Vorbereitung Messestand Dezember 2013

erstellt von Michael Hesemann,
Schriftführer AG Mikropaläontologie im Naturwissenschaftlichen Verein in Hamburg
Email: michael@foraminifera.eu
http://www.mikrohamburg.de/HomePalaeo.html

Eckart Frischmuth und Wolfgang Linz, Geologische Gruppe:
Geologische Exkursion nach Marburg und in das weitere Hinterland der Stadt

Die geologische Sommerexkursion der Geologischen Gruppe des Naturwissenschaftlichen Vereins in Hamburg führte 2011 unter der wissenschaftlichen Leitung von Herrn Professor Dr. Vogler nach Marburg und in das weitere Hinterland der Universitätsstadt. Thema der achttägigen Exkursion waren die Stationen der Erdgeschichte von besonderer Bedeutung für die Prozesse der Bildung und Abtragung des variszischen Gebirges sowie des Vulkanismus und des Klimas in dieser Region.

a) Zur Geologie des Exkursionsgebietes und seiner Umgebung

Die **Geologische Karte von Hessen** stellt geologische Bausteine dar, die sich durch Alter, Gesteinsbestand und vor allem durch ihre Geschichte unterscheiden. So bringt jeder dieser unterschiedlichen Bausteine seine eigenen Themen mit, von denen es wichtige, spannende, aber auch schöne gibt. Das Rheinische Schiefergebirge besteht aus Gesteinen des Paläozoikums. Besonders attraktiv sind die Kalkriffe aus der Devon-Zeit. Schon zu Beginn der variszischen Gebirgsbildung wurden Sedimente umgelagert, zu denen die unterkarbonischen Kulm-Grauwacken gehören. Der Abtragungsschutt des variszischen Gebirges – die Molasse – besteht aus kontinentalem Schotter des Rotliegenden, die von marinen Sedimenten und Evaporiten des Zechsteins überdeckt werden. Beide liegen über dem gefalteten und anschließend abgetragenen Gebirge und schließen die postvariszische Diskordanz ein. Im „Hühnerstall-Aufschluss" in Roth bei Marburg präsentiert sich diese als Winkeldiskordanz: „Die lustigen Hühner sind inzwischen leider verspeist", doch die Schichtlücke zwischen gefaltetem Oberdevon und Zechstein-Fanglomeraten (110 Ma) wird noch liebevoll gepflegt. Das Erdmittelalter folgt mit der Trias aus Buntsandstein, Muschelkalk und Keuper. Vor allem der rote Sandstein der Buntsandstein-Zeit dominiert in Hessen. Er entstand im warmen Wasser tropischer Wüsten gleich neben großen Dünen. Auch den Muschelkalk kann man in einem der sogenannten „alpidischen" Graben besichtigen. Neben den Strukturen des gefalteten Schiefergebirges einerseits und des mesozoischen Schichtstufenlandes andererseits kommen die tektonischen Graben – Rheintalgraben und Hessische Senke, sowie der tertiäre Vulkanismus – Vogelsberg und Westerwald – gut zur Geltung. Während Ablagerungen von Jura und Kreide fehlen, füllen sich seit dem Tertiär die großen Grabenstrukturen der Hessischen Senke, so der Horloff-Graben oder die Wetterau. Verknüpft mit diesen Graben sind die Alkali-Olivin-Basalte des Eifel-Hot-Spots und ihre verwandten Vulkanite in der Rhön, im Vogelsberg, dem Westerwald und in der Hessischen Senke. Der Vogelsberg ist ein Modell für das natürliche Ende blühender Landschaften durch einen immer noch aktiven Vulkanismus. Schon vor dem Tertiär begann eine fast durch das gesamte Tertiär fortschreitende Abkühlung des Klimas, die bis ins heutige Quartär reicht mit seinem natürlichen zyklischen Klimawandel im 100.000-Jahre-Rhythmus. Der rapide natürliche Klimawandel bis in die aktuelle holozäne Zwischenwarmzeit ist in der Kiesgrube von Niederweimar ablesbar. Es folgt eine Ablagerung des Ascheregens, der vor 11000 Jahren vom Laacher-See-Vulkan herüber wehte. Bis zur Besiedlung der Lahn-Auen durch unsere Vorfahren im Neolithikum vor 6.000 Jahren reicht hier die Dokumentation.

Prof. Vogler, Leiter der Exkursion, Foto: Linz

b) Aufschlüsse und Aussichtspunkte

1. Wüstenklima

In der Umgebung von Marburg werden die versteinerten Zeugen eines heißen tropischen Wüstenklimas in Hessen vor 250 Ma sichtbar. **Im Steinbruch „Am Weimarschen Kopf"** lassen sich Wüstenflüsse des Unteren Buntsandsteins nachvollziehen und in der **Sandgrube „An der Rickshell"** ist Dünensand des Mittleren Buntsandsteins aufgeschlossen.

2. Postvarizische Winkeldiskordanz

Auf den Spuren der Variszischen Gebirgsbildung befindet man sich im **„Hühnerstall"-Aufschluss in Roth** südlich von Marburg. Die „Kulm-Grauwacken" sind synorogene Ablagerungen, die die Entwicklung der Sedimentation im Rheinischen Becken - im Unterkarbon - und deren Faltung und Schieferung - im Oberkarbon - widerspiegeln. Die postvariszische Diskordanz manifestiert sich durch das Auflager der Permischen Molasse auf der Verwitterungsoberfläche des Variszischen Gebirges vor 255 Ma: es ist ein Schuttfächer, der von episodischen Regenfluten umgelagert wurde.

3. „Der prächtige Lahn-Marmor"

Im Zuge der Kaledonischen Gebirgsbildung war im Silur im Norden ein Kontinent entstanden, der aufgrund der roten Verwitterungsfarben seiner Sedimente als „Old Red- Kontinent" bezeichnet wird. Im südlich gelegenen Rheinischen Schiefergebirge entstand teils unter terrestrischen Bedingungen, teils in flachmarinem Milieu während des frühen Devons ein großes Becken, das den rötlichen Abtragungsschutt aufnahm, der mehrere 1000 m Konglomerate, Sandsteine und Tonsteine im späteren Bergischen Land, im Sauerland und Siegerland sowie im Taunus umfasste. Die Herkunft der Sedimente aus den Kaledoniden lässt sich mit Hilfe der Korngefüge im Inneren ihrer Sandkörner detailliert belegen.

Der bei **Villmar an der Lahn** gewonnene devonische Kalkstein, der Lahn-Marmor war im 19.Jh. ein Exportschlager. Auf der nahebei gelegenen **Burg Runkel** sind noch dekorative Lahn-Marmor-Exponate ausgestellt. Im **Kalksteinbruch der Fa. Schäfer in Niedertiefenbach** sind dickbankige bis massige Riffschuttkalke des Vorriffbereichs mit Korallen und Stromatoporen aufgeschlossen. Entlang von Störungen ist hier der devonische Massenkalk durch aufsteigende hydrothermale Lösungen zu Dolomit umgewandelt

worden, die dem Kalk auch Quarz und Manganmineralien zuführten. Besonders sehenswert sind hier die beim Abbau freigelegten alten Karsthöhlensysteme, die mit mächtigen, unsortierten Schuttsedimenten verfüllt sind. Die Decken dieser Höhlen sind größtenteils durch die fortschreitende Verwitterung eingebrochen und haben zu einer bizarren Landschaft geführt.

4. „Hessische Alpen" und ihre Umgebung:

Unterwerra-Grauwackengebirge und der Altmorschener Graben, die Evaporite des Zechstein-Meeres und der Gips-Karst

Mit dem Besuch des sogenannten Unterwerra-Grauwackengebirges (z.B. an der **Jausenstation Weißenbach**) und seiner Umgebung gewinnt man einen Einblick in die alpidischen Stressfelder des Hessischen Mittelgebirges, das daher auch mit dem Begriff „Hessische Alpen" belegt wird. Die Gips-Karst-Landschaft erschließt sich zwischen **Ruckerode und Hundelshausen**.

Alpidische Plattentektonik, Paläomagnetik und das tektonische Stressfeld in Europa

Der Zusammenstoß zwischen den beiden Kontinenten Afrika und Europa führt seit der mittleren Kreide-Zeit dazu, dass sich Stressfelder in der kontinentalen Kruste Mitteleuropas ausbreiteten. Die Alpen waren damals noch nicht vorhanden, aber große Überschiebungen schoben die Gesteine auf ihrem Rücken bis an die Erdoberflache, die von einem Meer bedeckt war. Diese Kollision der Kontinente begann im Raum der heutigen Ostalpen, also in Österreich. Speziell in Kärnten, der Steiermark und im Salzburgischen finden wir die Spuren dieser Tektonik und der daraus entwickelten Sedimente. Der Grund für diese frühe Gebirgsbildung war die sich ändernde Relativbewegung zwischen den beiden Kontinenten. Bezogen auf Europa wanderte Afrika während des Juras und der unteren Kreide ohne Kollision frei nach Osten. Zwischen Afrika und Europa öffnete sich damals der sogenannte „Piemonteser Ozean", dessen Gesteine wir heute vom Semmering bei Wien über das Matterhorn bis nach Genua finden. In der mittleren Kreidezeit änderte sich die Bewegungsrichtung Afrikas langsam nach Ostnordost. Hier setzte leichte Kollision ein. In der Zeit der Oberkreide wanderte Afrika relativ nach Westen bis Westnordwest. Die leichte Kollision mit Subduktion schritt in Richtung auf die Westalpen fort. Dabei kam es zu einer heftigen Drehung der Afrikanischen Kruste im Gegenuhrzeigersinn. Irgendwann im frühen Tertiär schob sich Afrika nach Norden und damit frontal in den Europäischen Kontinent. Seine Drehung im Gegenuhrzeigersinn gab Afrika

Buntsandsteinbruch (Bernburg Sandstein), Foto: Linz

Gipssteinbruch der Firma Orth, Foto: Linz

Verkarstung von Lahnmarmor, Kalksteinbruch Niedertiefenbach, Foto: Linz

Bunter Lahnmarmor, Unikabruch in Villmar, Foto: Linz

dabei jedoch nicht auf. So wanderte auch seine Druckspannung in der Kruste Europas von Nordnordost im Oligozän nach Nordnordwest im Miozän. Auch heute noch herrscht diese Nordnordwest orientierte Druckspannung in großen Teilen Europas vor.

Das tektonische Stressfeld in Europa und seine Folgen für Hessen

Diese „brutale" Kollision der Kontinente seit dem frühen Tertiär ist der eigentliche Motor für das Zerbrechen der europäischen Kruste. Es öffneten sich zuerst Dehnungsbrüche in Nordnordost-Orientierung (wie der Rheintalgraben und Altmorschener Graben), später dann solche in Nord-Süd-Orientierung (wie der Leinetalgraben) und dann zum Schluss in Nordnordwest-Orientierung (wie die Niederrheinische Bucht). Durch die Rotation des Stressfeldes gerieten die ursprünglichen Abschiebungen der frühen Grabenflanken bald unter starke Scherspannungen, die sich zunehmend als Seiten-Verschiebungen reaktivierten. An den Knicks in den Seiten-Verschiebungen pressten sich isolierte Blocke des tieferen Untergrundes nach oben (z.B. das Unterwerra-Grauwacken-Gebirge), während in der direkten Nachbarschaft oft tiefe, isolierte Becken einbrachen. Die Abwärts-Bewegung in den Becken und die Aufwärts-Bewegung in den Mini-Gebirgen verstellte die Schichtfolge. Sie haben früher zu dem Begriff der Fahrstuhltektonik geführt. Im Detail sind allerdings viel kompliziertere Bewegungen abgelaufen. Insbesondere, wo hochplastischer Gips im Untergrund beteiligt war, entstand eine gewaltige Eigendynamik als Reaktion auf die Bewegungen des Untergrundes. Und die Erdbeben entlang der Kollisionsfront beweisen uns, dass der Druck von Afrika auf Europa bis heute anhält. So gesehen ist auch die Tektonik in den „Hessischen Alpen" noch nicht abgeschlossen. Insbesondere die steile Morphologie der Bruchflächen am Rand der Becken und Graben oder am Rand der heute „Pop up" genannten Struktur aus Grauwacken zeigt, wie aktiv diese Tektonik noch ist.

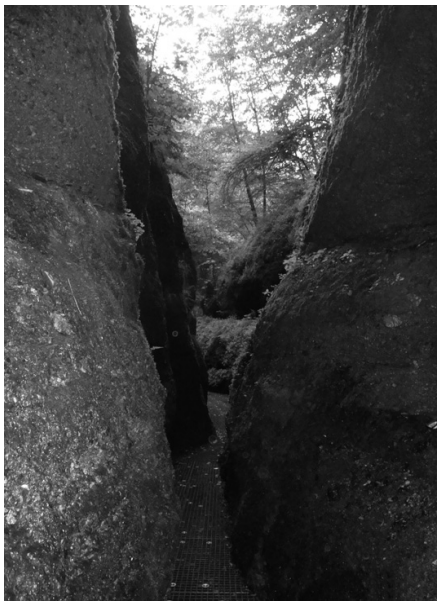
5. Das Marburger Stadtbild

Der Bausandstein der Buntsandstein-Zeit ist für das Marburger Stadtbild prägend. Er ziert prominente Sakral- und Profanbauten. Der Fachwerkbau ist seit historischer Zeit eine dominante Alternative.

6. Von der Vergänglichkeit des Variszischen Gebirges

a) Die Aufschlüsse zwischen Kieselbach und Dorndorf im Buntsandstein zeigen außergewöhnlich gut erhaltene Sedimentstrukturen. Bei Betrachtung z.B. einer Wechselfolge von Sandsteinbänken mit eingeschalteten, dünnen Tonlagen fällt zunächst die Horizontalschichtung der Sandsteinbänke ins Auge, die durch einen ausgeprägten farblichen Wechsel in der Schichtung noch hervorgehoben wird. Die Bankunter- und Bankoberseiten zeigen an, dass die Schichtflächen meist nicht parallel liegen, sondern an den Enden jeweils aufeinander zulaufen: Es handelt sich um Querschnitte von Rinnen ehemaliger Flussläufe der Buntsandstein-Zeit, die Sediment- Material in Form von Sand und Ton transportierten und bei nachlassender Strömungsenergie ablagerten. Die Sandstein-Bänke zeigen eine deutliche Schrägschichtung, die sich in charakteristischer Art und Weise an der Basis der Bänke flach anschmiegt und am Top der Bänke von der darüber folgenden Sandschicht winkelig abgeschnitten wird. Im rechten Teil des östlich gelegenen Steinbruchs fällt eine Bank besonders durch ihre unruhigen Schichtungsgefüge auf. Wie in Falten gelegte Schichten präsentieren sich bei näherer Betrachtung als Veränderung der ehemals horizontalen Schichtung durch Entwässerung der Sande nach ihrer Ablagerung. Insbesondere gleichkörnige Sande mit einheitlichem Korngrößenspektrum neigen dazu bei nur geringem Porenwasserüberdruck fließfähig zu werden und können dadurch die hier beobachteten Strukturen hervorrufen. Feiner körnige, tonige Ablagerungen, die zwischen den Sandbänken erkennbar werden, sind derAbsatz der feinen Trübe im Anschluss an Schichtflutereignisse, wie sie in Wüsten typisch sind.

b) Vom Frankenstein bei Bad Salzungen hat man einen weiten Ausblick in Richtung Osten auf die Fränkische Linie, die den Thüringer Wald in Nordwest-Südost-Richtung begrenzende Randverwerfung. Sie ist Teil eines Störungssystems, das über 500 km quer durch Deutschland bis nach Osterreich verfolgt werden kann. Exemplarisch kann hier am Ostrand des Werra-Beckens die Abhängigkeit zwischen der Geologie im Untergrund und der durch sie geprägten Morphologie bzw. Landschaftsgestaltung studiert werden. Die Deckschichten des Buntsandsteins über dem Salz führenden



Drachenschlucht bei Eisenach, Foto: Linz

Alfred-Wegener-Plakette,Uni Marburg, Metereologisches Institut, Foto: Linz

Zechstein fallen nach Westen ein. Das Zechstein-Salz steht am Frankenstein in etwa 200 m Tiefe an. Die Senke vor dem Thüringer Wald, der Moorgrund, ist dadurch entstanden, dass Grundwasser die anstehenden Salze ausgelaugt hat. Die durch die alpidische Orogenese hervorgerufene Heraushebung des Thüringer Waldes zur heutigen Mittelgebirgslandschaft erfolgte nicht an einer einzigen Verwerfung, sondern an einem durch einzelne Schollen gestaffelten Bruchsystem. Eine solche Scholle bildet das Ruhlaer Kristallin mit den höchsten Erhebungen am westlichen Rand des Thüringer Waldes. Gneise, Glimmerschiefer und Granite sind während der variszischen Gebirgsbildung bereits nahe an die damalige Erdoberfläche gehoben worden und dann im Tertiär gemeinsam mit den permischen Ablagerungen in ihr heutiges Erosionsniveau gelangt.

c) **Frostsprengungen und fließendes Wasser** schufen in Zehntausenden von Jahren mit Hilfe mitgeführter Gerölle die **Drachenschlucht bei Eisenach**, eine einzigartige Klamm, die seit 1832 als Teil des Anna-Tals für Wanderer erschlossen ist. Der gesamte nördliche Anteil des Thüringer Waldes wird von den grobklastischen, sedimentären Ablagerungen des Rotliegenden eingenommen. Grobklastisch heißt nichts anderes, als dass es sich um Schuttsteine und Brekzien handelt, wie sie heute noch am Fuße von Hochgebirgen vorwiegend in ariden Klimaten vorkommen. Die Entstehung solcher Sedimente setzt starke Hebungsraten im Hinterland voraus, so dass in kurzer Zeit große Mengen an Schutt erodiert und angeliefert werden können. Der Transportweg ist dabei sehr kurz, so dass weder eine Klassierung nach Korngrößen noch eine „Zurundung" der einzelnen Gesteinsbruchstücke in fließendem Wasser stattfinden kann. Die Gesteine sind vielmehr massig und unsortiert. Von der kleinsten bis zur größten Korngröße der Bruchstücke liegt alles durcheinander. Abgesehen von der Einregelung länglicher Gesteinsbrocken parallel der alten Landoberfläche sind keine sedimentären Strukturen erkennbar.

7. Hot Spot-Vulkanismus am Beispiel des Vogelsbergs

Der seit dem Tertiär immer noch aktive mitteleuropäische Hot-Spot-Vulkanismus kann in eindrucksvoller Weise am Beispiel des Vogelsbergs - Europas größtem Vulkan - u.a. in einer Reihe von Steinbrüchen, die sich noch im Abbau befinden, studiert werden.

Junger Vulkanismus in Mitteleuropa

Wenn es um dieses Thema geht, so erinnert man sich an den Kaiserstuhl, den Westerwald, die Eifel, die Rhön, aber auch die Vulkane der Hessischen Senke sind bekannt. Alle diese Vulkangebiete - wie auch der Vogelsberg - haben eine gemeinsame Quelle: einen heißen Fleck (Hot Spot), dessen gedachtes Zentrum nahe Darmstadt liegt und der an der Erdoberfläche einen Radius von knapp 300 km hat. Zu diesem Hot Spot gehört eine Aufwölbung, von deren Zentrum sich die Schichten des Erdmittelalters – Trias, Jura und Kreide – in Gestalt einer flachen Kuppel zu allen Himmelrichtungen neigen. So wird klar, dass nicht nur der Vulkanismus, sondern auch die Geomorphologie – die Gestalt der Erdoberflache – von der zufälligen Lage einer thermischen Anomalie im Erdmantel abhängen. Das Alter der Förderung am Vogelsberg reicht von 17,6 bis 15,2 Ma. Neben Konvektionszellen gibt es eine weitere Möglichkeit der heißen Materie aufzusteigen. Das sind sehr dünne Schlote, die an ihrer Basis – sie liegt an der Kern/Mantel-Grenze in 2900 km Tiefe – dort anormal überhitzte Materie radial ansaugen und senkrecht nach oben leiten. Die Position dieser Hot Spots wird durch thermische Anomalien der Konvektion im flüssigen Erdkern vorherbestimmt. Solche Schlote aus überhitztem Mantelgestein haben Durchmesser von nur 20 bis 150 km. Wo sich der Schlot der Erdoberflache nähert, bildet sich dieser heiße Fleck. Beide Arten der Materialbewegung, in Konvektionszellen oder im Mantelschlot, erfolgen im festen Zustand durch plastisches Fließen. Schmelze – auch Magma genannt – ist daran nicht beteiligt. Die Aufstiegsgeschwindigkeit eines solchen Mantel-Diapirs beträgt einige Dezimeter pro Jahr. Nehmen wir an, sie sei 2,9 dm/a, dann würde der Hot Spot für die 29.000.000 dm von der Kern-/Mantel-Grenze bis an die Erdoberflache also 10 Ma brauchen. Wenn sie sich einmal gebildet haben, bleiben die Hot Spots über mehrere 100 Ma sehr ortsfest. Auch die mitteleuropäischen Vulkane von der Auvergne bis zum Vogelsberg werden allesamt auf einen, den Eifel-Hot Spot zurückgeführt.

Die Folgen eines Hot Spots für die „Haut" der Erde

Die „Haut" der Erde wird rissig, wenn ein Hot Spot unter einem Kontinent aufsteigt. Denn daraus folgt eine Erwärmung der Lithosphäre, die sich zu einer riesigen Kuppel aufwölbt. Der Durchmesser solch einer Aufdomung der kontinentalen Erdkruste misst 500 km. Die Höhe der Aufdomung beträgt nur ca. 1 km, weshalb diese Kuppeln morphologisch nicht als Gebirge in Erscheinung treten. Durch die Aufwölbung der Erdkruste werden Zugspannungen im Gestein erzeugt, die sich kreisförmig um das Zentrum der Aufwölbung scharen. Dadurch zerreißt die Erdkruste in Spalten senkrecht zur Zugspannung. Meist bilden sich drei Spalten in radialer Anordnung, die sich im Zentrum zu einem dreiarmigen Grabenstern treffen. Das schönste Beispiel für einen so hoch entwickelten Hot-Spot-Dom mit Grabenstern ist der Äthiopische Hot Spot, in dem der Rote-Meer-Graben, der Golf von Aden und die Äthiopisch-Ostafrikanischen Graben zusammentreffen. Doch so weit sind die Verhältnisse in Mitteleuropa noch lange nicht. Suchen wir hier nach einem dreiarmigen Grabenstern, so könnte man einwenden, dass der Oberrheingraben und der Niederrheingraben sowie der Leinegraben/Hessische Senke sich gerade unter dem Vogelsberg-Westerwald-Eifel-Vulkangebiet bei Darmstadt treffen. Die Aufdomung hat das Rheinische Schiefergebirge von seiner permo-mesozoischen Bedeckung entblößt. Aber noch ist nicht absehbar, wohin die Entwicklung dieser Graben geht. Seit sich der Nordatlantik vor 60 Ma zu öffnen begann, hat die Bedeutung der west-europäischen Graben für das Zerbrechen des Kontinents abgenommen. Stattdessen wurden sie in das tektonische Geschehen rund um die Gebirgsbildung der Alpen einbezogen. Die Zeitspanne der vulkanischen Aktivität entsprechend der paläomagnetischen und radiometrischen Datierungen im Vogelsberg war im Miozän mit 2,4 Millionen Jahren geologisch gesehen relativ kurz. Seit mehr als 15 Millionen Jahren unterliegen also die Gesteine des Vogelsberges der Verwitterung und Abtragung. Dass vulkanische Aktivität nicht nur Basalt-Decken produziert, weiß man aus der West- und Ost-Eifel, wo in einem wesentlich jüngeren Vulkangebiet mächtige Tuff-Ablagerungen und Schlackenkegel um kleine Ausbruchszentren auftreten. Diese haben im Vogelsberg gleichfalls existiert, sind aber aufgrund ihrer geringen Härte oder Widerstandsfähigkeit gegenüber den Basalten größtenteils bereits wieder abgetragen worden.

Vulkanismus und Tektonik

Der Horloff-Graben zeigt, dass die Grabentektonik von Rheintalgraben und Hessischer Senke teilweise jünger ist als der Vulkanismus des Vogelsbergs. Geologisch-tektonisch gesehen ist es der Horloff-Graben, der hier in Süd/Südwest-Nord/Nordost-Richtung in den Vogelsberg einschneidet. Die Verhältnisse sind vergleichbar mit dem Oberrheingraben zwischen Schwarzwald und Vogesen. Als Graben- Schultern erkennt man auch hier die Abschiebungen als randliche Begrenzungen deutlich in der Morphologie. Der Graben ist jünger als die Basalte, da seine Randverwerfungen in die miozänen Basalte des Vogelsberges einschneiden und diese sich im Zentrum des Grabens nach unten versetzen. Die Füllung des Grabens ist sedimentären Ursprungs: Es sind dies

die so genannten „jüngeren Braunkohlen“ des obersten Tertiärs, die über einer Basalt-Decke abgelagert wurden. Nach oben hin werden die Braunkohlen zunächst von Löss und den nacheiszeitlichen Talauensedimenten des Flüsschens Horloff überlagert.

8. Klimawandel

In der **Kiesgrube von Niederweimar bei Marburg** kann man den rapiden Temperaturanstieg ins Holozän unmittelbar beobachten: Er begann noch in der ausgehenden Kaltzeit vor 18.000 a und mündete in eine Warmzeit vor etwa 11.000 a. Die vulkanische Eruption am Laacher See hinterließ dort eine Ascheschicht von 7 m und erreichte nach einem Flug von 150 km bei Marburg noch eine „Dicke“ von knapp 10 cm. Heute liegt der Tuff mit einem radiometrischen Alter von 11.000 a knapp über den eiszeitlichen Kiesen in den ersten Auelehmen einer „warmzeitlichen Lahn“.

Quartäre Warm- und Kaltzeiten

Das Quartär steht für 2,6 Ma Eiszeit. Seit dieser Zeit sind beide Pole dauerhaft vereist. Ein Eiszeitalter ist dadurch definiert, dass beide Pole vereist sind. Man untergliedert das Quartär in das Pleistozän und das Holozän. Das Pleistozän ist das Zeitalter der vergangenen Kaltzeiten (Glaziale) und Warmzeiten (Interglaziale). Das Holozän ist das Zeitalter der aktuellen Warmzeit, das vor ca. 12.000 Jahren begann und das sich jetzt gerade anschickt, zu Ende zu gehen. Aus den Datierungen der Geologen kann man schließen, dass ein Interglazial durchschnittlich 15.000 Jahre dauert.

Anschrift der Verfasser:
Dr. Eckart Frischmuth
Am Grasweg 16
21217 Seevetal 2
Email: ecki.frisch@gmx.net

Dr. Wolfgang Linz
Trifftstr. 39
21075 Hamburg
Email: rewolinz@t-online.de

Kurzberichte

Dr. Wolfgang Linz: Jahresbericht 2011 der Geologischen Gruppe

Im Laufe des Jahres 2011 fanden sieben Vorträge statt, im einzelnen:

Mittwoch, 12. Januar:	Herr Ullrich Münder, Lübeck Kambrium in Schweden
Mittwoch, 23. Februar:	Dr. Hans- Joachim Spitzenberger, Seevetal Antarktis, ein Kontinent in Extremen
Mittwoch, 23. März:	Prof. Dr. Friedhelm Thiedig, Hamburg Das Herz von Gondwana - Geschichte eines eisbedeckten Kontinents
Mittwoch, 21. September:	Prof. Dr. Friedhelm Thiedig, Hamburg Auf den Spuren von Humboldt in Ekuador - Bilder einer naturkundlichen Reise
Mittwoch, 19. Oktober:	Dr. Ullrich Kotthoff, Hamburg Von Blumen und Bienen - Evolution der Blütenpflanzen und der sozialen Insekten
Mittwoch, 02. November:	Herr Matthias Bräunlich, Hamburg Innenansichten eines Plutons - Insel Rödö, Schweden

Die Jahresexkursion der geologischen Gruppe führte 24 Teilnehmer nach Oberhessen, wo sie unter der kompetenten Leitung von Prof. Dr. Wolf-Stefan Vogler, Geologie-Professor an der Universität Marburg, vom 17. bis 24.6. die Geologie des Gebietes erkundeten. Ein Bericht über diese Exkursion (siehe oben) sowie eine Bildergalerie können auch im Netz unter www. geogruppehamburg.de eingesehen werden. Den Einführungsvortrag hielt am 18. Mai Prof. Dr. Wolf-Stefan Vogler, Marburg unter dem Titel: Gebirgsbildung, Vulkane, Klima - Erdgeschichte in der Umgebung von Marburg
Am Mittwoch, den 25. Mai führte uns Herr Dr. Seehann, Hamburg durch die Bergedorfer Institute für Holztechnologie, Forst- und Holzwirtschaft, Weltforstwirtschaft des v. Thünen- Instituts.
Am Mittwoch, den 7. Dezember lud die Gruppe zur Nachbereitung der Exkursion und zum weihnachtlichen Beisammensein in das Geologisch-Paläontologische Museum ein.

Uwe Grave: Jahresbericht 2011 der Arbeitsgruppe für Geschiebekunde

Veranstaltungsprogramm 2011
Normal am 2. Montag des Monats, 18.30 Uhr im Geomatikum, Bundesstr. 55, Hamburg (beim Schlump), Hörsaal 3 im EG (hilfsweise Raum 1111 im XI. OG)

- Herr Dr. Wolfgang Weitschat, Bargteheide:	Jäger und Gejagte – im Bernstein
- Dr. Frank Rudolph, Wankendorf:	Die Namen der Steine, Anmerkungen zur zoologischen Nomenklatur; Zur Bennung von Fossilien und zu den Regeln, denen sie unterliegt; was bedeuten Zusätze wie „cf.“ oder „sp“; wann wird der Autorenname in Klammern gesetzt?
- Dr. Uwe Marheinecke, Hamburg:	Der Kreislauf der Gesteine.
- Herr Michael Hesemann, Hamburg:	Foraminiferen im Geschiebe,Einführung, Sternberger Gestein und Heiligenhafener Kieselgestein.

- Herr Stefan von Boguslawski, Hamburg:	Die vielfältigen Aufgaben der Höhlengruppe Nord; u.a. Eiszeitfunde in der Schillathöhle.
- Herr Heribert Schwandt, Oststeinbek:	Fossilien aus Ägypten (Hourghada), oberes Pleistozän
- Herr Werner Bartholomäus, Hannover:	Urkalk als Marmorgeschiebe von Fennoskandia.
- Herr Ingo Herkstroeter, Geesthacht:	Von sog. Wasseradern, Wünschelruten und Heilkräften - Spannendes und Erschreckendes rund um die Esoterik.
- Prof. Dr. Thiedig, Norderstedt:	Eiszeiten und Geschiebe auf dem Gondwana-Kontinent

Veranstaltungen der Gesellschaft für Geschiebekunde

- Herr Heribert Schwandt, Oststeinbek:	Der Dogger von Velpe, Osnabrückerland.
- Herr Dipl. Geol. Werner Bartholomäus, Hannover:	Hyolithen vom Kambrium bis Perm.
- Herr Volker Goldbach, Tremsbüttel:	anstelle einer Führung durch ein Privatmuseum (Weinstein) ein Vortrag über dasselbe und seine Sammlungen.
- Herr Karsten Witteck, Oststeinbek:	Moler-Fossilien vom Limfjord, Dänemark.

weitere Aktivitäten:

- Neujahrsempfang, 1. Freitag (7. Jan. 2011) jeden Jahres im Geomatikum (Bestimmung von Fossilien, heitere Vorträge, Teilnehmer aus HH, SH, NI, MV, kaltes Büffet aus Mitgebrachtem).
- Messestand auf der Hamburger Mineralmesse vom 2. bis 4. Dezember 2011. anwesende Gruppen: Gesellschaft für Geschiebekunde; Geolog.-Paläontologische AG, Kiel; Geopark Nordisches Steinreich; AG Kristallin der GfG; AG Mikrofossilien.
- Jahrestagung der GfG vom 15. bis 17. April 2011 in Lübeck.
- Geschiebesammlertreffen vom 28. bis 30. Oktober 2011 in Wankendorf (Vorträge, Exkursion).

Dr. Georg Rosenfeldt: Tätigkeitsbericht 2011 der Mikrobiologischen Vereinigung (MIKRO)

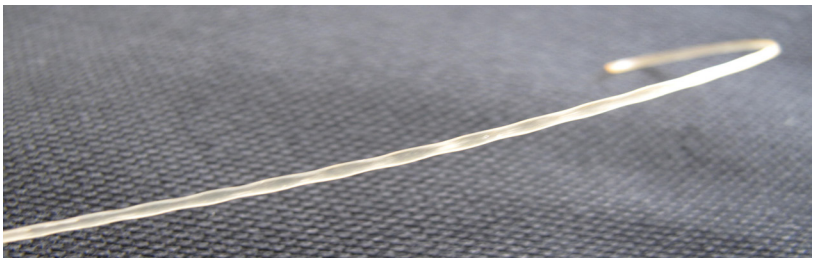
Im Jahre 2011 wurden zehn Veranstaltungen durchgeführt, i.d.R. am dritten Freitag des Monats. Die Teilnehmerzahl schwankte zwischen fünf und vierzehn. Wegen dieser starken Schwankungen war es nicht möglich, externe Referenten einzuladen. Es zeichnet sich jedoch ab, dass wieder mehr Mitglieder der MIKRO eigene Beiträge liefern werden.
Es konnten einige neue Mitglieder für den NWV geworben werden, die Website http://www.mikrohamburg.de war hierbei sehr hilfreich.
Die Zusammenarbeit mit dem ZSU ist nach wie vor ausgezeichnet, wobei sich das ZSU sehr um die Werbung für den NWV und seine Arbeitsgruppen bemüht. Weiterhin werden praxisorientierte Veranstaltungen der MIKRO von der Schulbehörde als Lehrerfortbildung anerkannt. Leider ist die Resonanz bislang enttäuschend, aber verloren gegangenes Terrain zurück zu erobern, ist eben ein langwieriges Geschäft.
Das REM, das uns zur Verfügung steht, wurde weiterhin eifrig genutzt, ganz überwiegend von der Arbeitsgruppe Mikropaläontologie. Außerdem wurden von der MIKRO ehrenamtlich mehrere dreistündige Vorführungen für Oberstufenschüler durchgeführt. Auch dies dient nicht zuletzt dazu, den NWV und seine Arbeitsgruppen unter Lehrkräften bekannt und attraktiv zu machen.

Liste der Veranstaltungen 2011

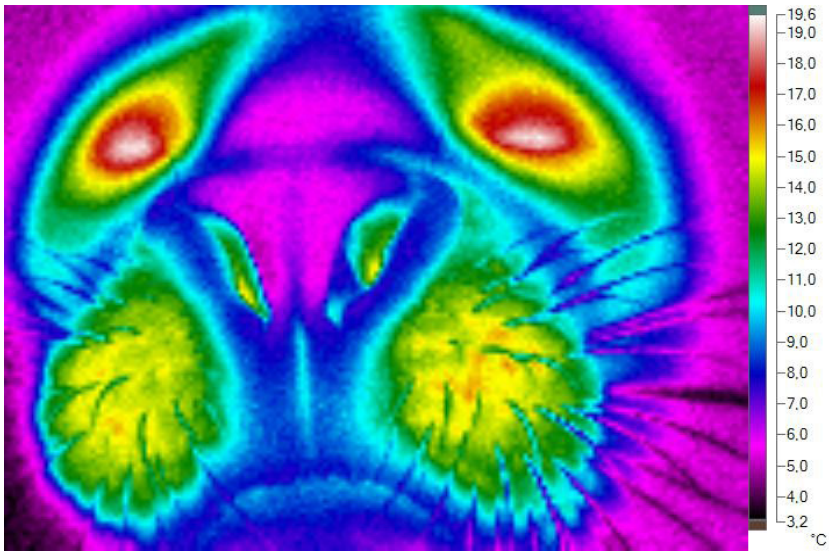
21.01.2011, 18:00	Praktikum zum Vortragsthema
20:00 Dr. G. Rosenfeldt (Hamburg):	Mikroskopische Untersuchun von Hölzern
18.02.2011, 18:00	Praktikum zum Vortragsthema
20:00 Dr. G. Rosenfeldt (Hamburg):	Der mikroskopische Feinbau höherer Pflanzen
10.03.2011, 18:00	Praktikum
20:00 Dr. G. Rosenfeldt (Hamburg):	Der verborgene Generationswechsel der Blütenpflanzen
15.04.2011, 18:00	Praktikum zum Vortragthema
20:00 M. Neumann (Bliedersdorf):	Selbstgefertigte Pflanzenschnitte – Herstellung, Färbung, Einbettung und Interpretation
20.05.2011, 18:00	Praktikum zum Vortragsthema
20:00 Dr. O. Ammerpohl (Kiel):	Gene unterm Mikroskop - Fluoreszenzmikroskopie und klinische Diagnostik
24.06.2011, 18:00	Arbeitsabend Plankton (Dr. G. Rosenfeldt)
16.09.2011, 18:00	Praktikum zum Vortragsthema
20:00 Dr. G. Rosenfeldt (Hamburg):	Chromosomen unterm Mikroskop
21.10.2011, 18:00	Praktikum zum Vortragsthema
20:00 Dr. G. Rosenfeldt (Hamburg):	Mikroanatomische Studien an Fischen
18.11.2011, 18:00	Praktikum zum Vortragsthema
20:00 Dr. G. Rosenfeldt (Hamburg):	Das mikroskopische Bild einheimischer Hölzer
16.12.2011, 18:00	Arbeitsabend mit zahlreichen Experimenten
Dr. G. Rosenfeldt (Hamburg):	Mikrochemische Nachweise - Kristalle unter dem Mikroskop

Abb. 1

Abb. 2



oben: Abb. 3, unten: Abb. 4



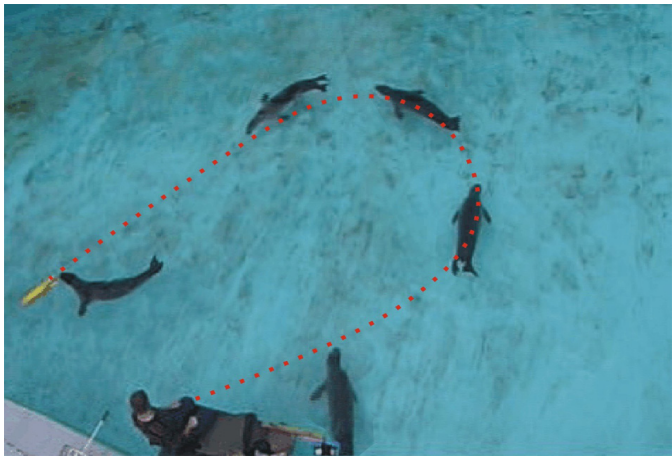


Abb. 5

Abb. 6

Abbildungen zum Beitrag auf Seite 8:

Guido Dehnhardt, Frederike D. Hanke, Rostock:

Das Vibrissensystem der Robben:

vom biologischen Phänomen zur technischen Anwendung

Abb. 1
Ein Seehund des Marine Science Centers Rostock interagiert mit einem Heringsschwarm, der im Frühjahr 2009 über viele Wochen in der Seehundanlage verweilte.

Abb. 2
Seehunde besitzen mystaziale Vibrissen im Schnauzenbereich, zwei einzelne Vibrissen hinter den Nasenöffnungen (rhinale Vibrissen) und einige supraorbitale Vibrissen oberhalb der Augen.

Abb. 3
Seehunde besitzen Vibrissen, die eine wellige Oberflächenstruktur aufweisen.

Abb. 4
Auf dem Bild eines Seehundkopfes, welches mit Hilfe einer Wärmebildkamera aufgezeichnet wurde, zeigt sich das Vibrissensystem, wie auch die Augen, als ein sehr gut durchblutetes Sinnesorgan.

Abb. 5
Ein Seehund verfolgt mit einer Maske über den Augen die hydrodynamische Spur eines U-Bootes.

Abb. 6
Ein Seehund trägt eine Maske über den Augen, an die ein Kamerakopf befestigt wurde. Auf seinem Rücken befindet sich die Rekordereinheit der Kamera. Auf diese Weise konnten die Vibrissen bei der hydrodynamischen Spurverfolgung gefilmt werden.

www.naturwissenschaftlicher-verein.de

NATUR WISSEN schaftlicher Verein in Hamburg

NATUR und WISSEN

Mitteilungen aus dem Naturwissenschaftlichen Verein in Hamburg

Heft 9 – 8. Jahrgang 2012

Inhalt

Editorial 1

Aktuell: Sommerausflug 2011

Harald Schliemann: Besuch des Instituts für ökologischen Landbau und Fahrt auf der Wakenitz 2

Allgemeine Veranstaltungen: Vorträge

Bernhard Hausdorf: Brauchen wir ein neues Artkonzept? 4
Reinhold Hanel: Die vielen ungelösten Rätsel im Leben des Europäischen Aals 6
Guido Dehnhardt, Frederike D. Hanke: Das Vibrissensystem der Robben 8
Ortrun Mittelsten Scheid: *Arabidopsis thaliana*: ein nützliches Unkraut hat Karriere gemacht 10
Jutta Schneider: Paarungsstrategien kannibalistischer Spinnen 11

Öffentliche Vortragsreihe 2011

Dieter Mergenhagen: Chronobiologie - was ist das? Über Zeitmessung in der belebten Natur 13
Peter Spork: Schlafen Sie sich schlau, glücklich, jung und gesund .. 17
Jörg H. Stehle, Frankfurt/M.: Die Uhren in unserem Kopf - wie messen Nervenzellen Zeit?..... 20
Till Roenneberg, München: Die Folgen des Weckers 21

Berichte aus dem Verein und den Arbeitsgruppen

Michael Hesemann: Bericht über die Exkursion der AG Mikropaläontologie Hamburg in das Osnabrücker Land 29
Michael Hesemann: Bericht der AG Mikropaläontologie (AGM) über die Aktivitäten 2012 30
Eckart Frischmuth und Wolfgang Linz: Geologische Exkursion nach Marburg und in das weitere Hinterland der Stadt 31
Wolfgang Linz: Jahresbericht 2011 35
Uwe Grave: Jahresbericht 2011 35
Georg Rosenfeldt: Tätigkeitsbericht 2011 36

Impressum

Herausgeber: Naturwissenschaftlicher Verein in Hamburg – gegründet 1837.
Verantwortl. i. S. d. Pressegesetzes: Prof. Dr. Harald Schliemann.
Schriftleitung: Dr. Hans-Joachim Spitzenberger, Dr. Eckart Frischmuth.
Wissenschaftliche Beratung: Prof. Dr. Harald Schliemann.
Redaktion: Peter Stiewe.
Namentlich gekennzeichnete Artikel geben die Meinung des Verfassers, nicht in jedem Falle die der Redaktion wieder.
Druck: Hamburger Printservice, Martin-Luther-King-Platz 4, 20146 Hamburg.
Redaktionsadresse: NATUR und WISSEN, c/o Zoologisches Museum Hamburg, Martin-Luther-King-Platz 3, 20146 Hamburg.
Email: nwv.zoologie@uni-hamburg.de
Erscheinungsweise: NATUR und WISSEN erscheint einmal jährlich. Erscheinungsort: Hamburg.
Auflage: 400 Exemplare. ISSN 1614-0931.
Der Bezugspreis für diese Zeitschrift ist im Mitgliedsbeitrag enthalten.

Sommerausflug 2011

Seite 2

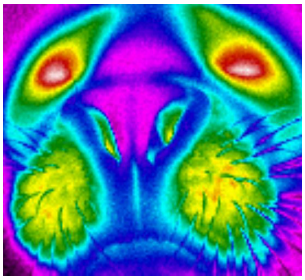
Das Ziel unseres diesjährigen Ausfluges war das Institut für ökologischen Landbau in Westerau. Eine nachmittägliche Flußfahrt auf der romantischen Wakenitz von Lübeck bis zum Nordende des Ratzeburger Sees sollte unseren Ausflugstag beschließen.

Foto: Schliemann

Das Vibrissensystem der Robben

Seite 8

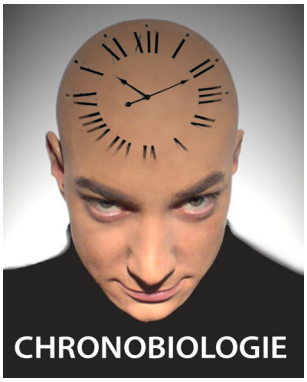
Im Frühjahr 2009 verirrte sich ein Heringsschwarm in die weltweit größte Robbenforschungsanlage, die am Marine Science Center (MSC) der Universität Rostock beheimatet ist.



Öffentliche Vortragsreihe 2011: Chronobiologie

Seite 13

Die Funktionen aller Lebewesen spielen sich in ihrer zeitlichen Abfolge in periodischen physiologischen Rhythmen ab. Dies gilt für Funktionszustände und Aktivitäten aller Organisationsstufen des Lebens.



Exkursion der AGM in das Osnabrücker Land

Seite 29

Als rundherum gelungen und sehr interessant darf die Wochenendexkursion ins Osnabrücker Land bezeichnet werden. Es wurden reichhaltige Funde gemacht. Heribert Schwandt und Dieter Ketelsen haben die Exkursion ausgezeichnet vorbereitet.

Foto: Wawczyniak