

Heft 15

# Denkströme

---

Journal der  
Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig

Im Auftrag der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig  
herausgegeben von Pirmin Stekeler-Weithofer



Leipziger Universitätsverlag 2015

Gedruckt mit Unterstützung des Sächsischen Staatsministeriums  
für Wissenschaft und Kunst

Wissenschaftlicher Beirat: Isolde Röske, Wilfried Hofmann, Wolfgang Huschner, Elmar  
Peschke, Hans Ulrich Schmid, Jürgen Tomas, Hans Wiesmeth, Christian Winter

Redakteur: Stefanie Kießling

Redaktion Denkströme:

Sächsische Akademie der Wissenschaften zu Leipzig

Karl-Tauchnitz-Str. 1, 04107 Leipzig, denkstroeme@saw-leipzig.de

Die Online-Ausgabe ist über <<http://www.denkstroeme.de>> abrufbar.

Dort finden sich auch alle Informationen zur Manuskripteinreichung.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen  
Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet  
über <<http://dnb.d-nb.de>> abrufbar.

Jede Verwertung des Werkes außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist unzu-  
lässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Übersetzung, Nachdruck, Mikroverfilmung  
oder vergleichbare Verfahren sowie für die Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen.  
[Der voranstehende Eintrag bezieht sich nur auf die beim Leipziger Universitätsverlag  
erschienene Druckauflage. Die PDF-Dateien der Online-Ausgabe stehen unter der Crea-  
tive Commons BY-NC-ND-Lizenz <[http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/  
de/](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/de/)>. Für weitergehende Nutzungen setzen Sie sich bitte mit den jeweiligen Autoren in  
Verbindung.]

© 2015 Sächsische Akademie der Wissenschaften zu Leipzig

Verlag: Leipziger Universitätsverlag

Gestaltung und Satz:

Barbara Zwiener, Sächsische Akademie der Wissenschaften zu Leipzig

Druck: druckhaus köthen GmbH

Printed in Germany

ISSN: 1867-6413

# Inhaltsverzeichnis

Editorial	5
<b>Beiträge</b>	
Helmut Obst	
Ein jegliches hat seine Zeit ... Vortrag zum Interdisziplinären Festkolloquium anlässlich des 70. Geburtstages von Elmar Peschke	9
Pirmin Stekeler-Weithofer	
Was ist Zeit? Zur philosophischen Geografie eines spekulativen Begriffs	15
Wolfgang Huschner	
Probleme bei der Angabe von Jahres- und Tagesdatierungen in mittelalterlichen Urkunden	35
Ortrun Riha	
Medizin und Zeit – (nicht nur) medizinhistorische Überlegungen	50
Jörg Kärger	
Die Zeit als physikalische Grundgröße und ihre Merkwürdigkeiten	68
Eckhard Mühlbauer	
Bedeutung von Uhrengenen in <i>Epiphysis cerebri</i> und endokrinem Pankreas	102
Andreas Simm	
Altern: Chancen und Risiken	117
Elmar Peschke	
Danksagung	127
Uwe-Frithjof Haustein	
Schlusswort	132

## Inhaltsverzeichnis

### **Anhang**

Vita academica Elmar Peschke	135
Publikationsverzeichnis Elmar Peschke	138
Autoren	153
Programm Festkolloquium	154

## Editorial

Das Thema ›Zeit‹ fasziniert uns nicht zuletzt deswegen, weil es eine Grundform unseres Daseins betrifft, die uns zu nahe ›vor den Augen liegt‹, als dass wir sie – so wie den Raum – ›sehend‹ erfahren könnten. In den theoretischen Naturwissenschaften tritt die Zeit darum durch eine metaphorische Brechung auf: als gerichtete Linie, die als solche eine *räumliche* Form ist, oder als Bereich ›reeller‹ Zahlen, mit denen man die Linie mathematisch als Punktmenge darstellt. Doch damit versteht man das Konkrete der Zeit noch lange nicht. Denn die Zeit ist kein äußeres Phänomen, sondern die allertiefste Grundform des Seins als Prozess und Vollzug. Sie kann uns daher nie *rein gegenständlich* werden. Das hat zur Folge, dass sogar die theoretische Physik Probleme hat, die immer implizit vorausgesetzte Zeitrichtung, den Zeitpfeil, angemessen zu deuten.

In jedem Fall ist das Thema Zeit hochkomplex, und zwar weil es alle Prozesse der Welt betrifft. Doch wie wir Zeit ›messen‹ und ›wahrnehmen‹, das hängt vom jeweiligen Kontext und Interesse ab. Sogar die räumliche Lage, in der sich jemand relativ zu der sich um ihn bewegenden Umwelt befindet, geht in die *lokale Perspektive* der Zeitmessung und damit in die *Relationen* der lokalen Uhrentakte zu den Uhrentakten anderer Taktgeber an anderen Orten auf anderen Bewegungsbahnen ein. Dabei ist am Ende jedes physische Ding aufgrund seiner inneren Prozesse ein solcher Taktgeber. Diese Relativität der Zeit, wie sie spätestens seit Leibniz bekannt ist, wird für die Physik wirklich dramatisch in den Lorentz-Transformationen der Relativitätstheorie, die endgültig zeigen, dass wir den Raum der Relativbewegungen der Dinge und die Zeit nicht mehr fein säuberlich voneinander trennen können.

Aber nicht nur in der Physik, auch sonst wandelt sich der Blick ›auf die Zeit‹ immer auch ›mit der Zeit‹. So kann man das Typische der Moderne darin sehen, dass jetzt das geflügelte Wort ›Zeit ist Geld‹ wahr wird. Zeit wird zu einem Gut erhoben, das es optimal zu nutzen gilt und von dem wir wegen der potentiellen Unendlichkeit des Geldreichtums nie genug zu haben scheinen. Den Denkfehler unbegrenzten Zeitsparens und der unbeschränkten Jagd nach Reichtum angesichts der Endlichkeit des Lebens hat freilich schon die antike Philosophie erkannt.

Seit jeher versuchen Gelehrte die Grundform des Zeitlichen hervorzuheben und zu bedenken. Die *begrenzte Lebenszeit* einzelner Lebewesen erfordert aber eine andere Betrachtung der Zeit als z. B. *Epochen*, die eingeklammerten Zeiten einer bestimmten Seinsweise, etwa von Menschen, Lebewesen oder Dingen, auch der Erde oder des Sonnensystems. Daher fassen die Wissenschaften diverse Aspekte der ›Zeit‹ auf verschiedene Weisen in Worte oder in Formeln.

Einer der faszinierendsten Forschungszweige ist hier die noch recht junge Wissenschaft von den Zeitstrukturen, die jedem Organismus innewohnen, die Chronobiologie. Schon im 18. Jahrhundert erkannte der Geophysiker und Astronom Jean-Jacques d'Ortous de Mairan, dass die Bewegung von Pflanzenblättern eben nicht nur von äußeren Faktoren wie dem Tageslicht abhängig ist, sondern einem eigenen Rhythmus folgt. Doch es sollte fast 200 Jahre dauern, bis sich diese Erkenntnis wissenschaftlich durchzusetzen begann. Heute ist die Chronobiologie eine Wissenschaft von medizinisch, gesellschaftlich und ökonomisch hoher Relevanz. Denn wenn wir wissen, wie wir ›ticken‹, wissen wir, wie wir leben.

Auch die Sächsische Akademie der Wissenschaften zu Leipzig weiß sich der Chronobiologie verpflichtet: Von Anfang 2000 bis Ende 2014 förderte sie das Akademievorhaben ›Zeitstrukturen endokriner Systeme‹, das an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg angesiedelt war und von Professor Dr. Elmar Peschke geleitet wurde. Im Fokus des Interesses stand die Frage, wie das blutzuckersenkende Hormon Insulin und das sogenannte Schlafhormon Melatonin sich wechselseitig beeinflussen. Die Ergebnisse zeigen, dass unsere veränderten Lebensverhältnisse mit Schichtarbeit, Schlafmangel und Dauerernährung unsere innere Uhr entscheidend stören, was wiederum das Risiko erhöht, an Diabetes mellitus zu erkranken. Da die Funktionszusammenhänge nun aber bekannt sind, eröffnen sich für die Therapie neue Möglichkeiten.

Seinen feierlichen Abschluss fand das Projekt nach 15-jähriger Laufzeit am 5. Mai 2015 – dem 70. Geburtstag Elmar Peschkes – mit dem Symposium ›Die Zeit‹. Dem Anlass entsprechend trug die Veranstaltung ganz bewusst interdisziplinären Charakter und hat den thematischen Bogen über alle Klassen der Akademie gespannt. In sieben Vorträgen präsentierten Theologen, Philosophen, Historiker, Physiker, Biologen und Mediziner ihre jeweils eigenen wissenschaftlichen Perspektiven auf das Phänomen Zeit. Diese Vorträge sind im vorliegenden Heft versammelt. Ihre Lektüre ist mitunter sehr anspruchsvoll, doch wer sich die Zeit nimmt und den Gedanken der Autoren Schritt für Schritt nachspürt, dem wird sich ein neuer ›Zeitkosmos‹ erschließen.

*Pirmin Stekeler-Weithofer*

Beiträge



Helmut Obst

## Ein jegliches hat seine Zeit ...

Vortrag zum Interdisziplinären Festkolloquium  
anlässlich des 70. Geburtstages von Elmar Peschke

Ein jegliches hat seine Zeit, und alles Vornehmen unter dem Himmel hat seine Stunde.

Geboren werden und sterben, pflanzen und ausrotten, was gepflanzt ist,  
würgen und heilen, brechen und bauen,  
weinen und lachen, klagen und tanzen,  
Steine zerstreuen und Steine sammeln, Herzen und ferne sein von Herzen,  
suchen und verlieren, behalten und wegwerfen,  
zerreißen und zunähen, schweigen und reden,  
lieben und hassen, Streit und Friede hat seine Zeit.  
(Prediger 3,1–8)<sup>1</sup>

Diese Worte aus dem Buch der »Prediger Salomo« gehören zu den bekanntesten, weil bei unterschiedlichen Anlässen oft zitierten Texten des Alten Testaments.

Sie, lieber Herr Peschke, haben sich für den heutigen Tag eine kleine Meditation – mehr kann es hier nicht sein – über die uralte Weisheit »Alles hat seine Zeit« gewünscht. Warum spricht dieser Text unabhängig von der jeweiligen weltanschaulichen Überzeugung seit Jahrtausenden so viele Menschen an? Ich vermute, weil hier die allgemein menschlichen Erfahrungen vom Zeitmaß aller Dinge des Lebens in 14 Gegensatzpaaren anschaulich und poetisch eindrucksvoll – nicht zuletzt in der Übersetzung Martin Luthers – geschildert werden. Jeder kann und wird sich angesprochen fühlen und das nicht allein intellektuell, verstandesmäßig, sondern ebenso, wenn nicht noch mehr, gefühlsmäßig.

Alle Dinge haben ihr Zeitmaß. »Mit all seinem Tun und Leben ist der Mensch – handelnd und leidend – ganz und gar in die ›Zeit‹ hineingebannt. Er fährt gleichsam in einem Eisenbahnzug, aus dem er während der ganzen Lebensstrecke nicht aussteigen kann.«<sup>2</sup> Das soll uns, betont ein Exeget dieses

---

1 Hier und im Folgenden wird zitiert nach der Ausgabe: *Die Bibel oder die ganze Heilige Schrift des Alten und Neuen Testaments nach der deutschen Übersetzung D. Martin Luthers* (Stuttgarter Jubiläumsbibel), Stuttgart 1937.

2 Helmut Lamparter, *Das Buch der Weisheit*, Stuttgart 1959, S. 54.

Textes, zum Nachdenken über die Zeit veranlassen, über die unlösbare Verwobenheit des menschlichen Lebens in die Zeit. Auch hat man die Zeit als den Pulsschlag der Schöpfung bezeichnet. Der Mensch sieht sich in eine Welt von Raum und Zeit mit rätselhaften Hintergründen gestellt.

Elementare Fragen brechen dabei auf. Eine lautet: Was ist die Zeit? Sie ist wohl ebenso schwer zu beantworten wie die Frage: Was ist das Leben? Dabei gehört die Zeit wie der Raum zu den primären Kategorien menschlichen Wahrnehmens. Sie erscheint »als eine von Menschen nicht beeinflussbare und umfassende Eigenschaft der Welt, die alles der Verzeitlichung unterwirft«.<sup>3</sup>

Die Zeit ist – wen wird das wundern – ein wichtiges Thema der Theologie und der Philosophie, seit es beide gibt. Dabei tritt immer auch das Gegenteil von Zeit – die Ewigkeit – in den Blick. Der in der Zeitlichkeit verhaftete Mensch sehnt sich nach Ewigkeit. Aber was ist Ewigkeit? Wie bei der Zeit sind auch hier die Definitionen vielfältig und unterschiedlich, ja können ratlos machen. Zeit zählt zwar zu den Grund- und Basisgrößen der Physik, steht letztlich aber in einem weltanschaulichen Deutungshorizont. Ewigkeit als ergänzender Gegensatz zur Zeit spielt in fast allen Religionen bei aller Unterschiedlichkeit im Einzelnen eine wichtige Rolle und ist Gegenstand tiefsinniger Überlegungen. Im Christentum gehört Ewigkeit zu den wesenhaften Eigenschaften Gottes. Gott ist der Ewige, der Raum und Zeit hervorgerufen hat und Raum und Zeit wieder in die Ewigkeit führen wird. Gelegentlich hat man die materielle, an Raum und Zeit gebundene Welt als ein Stück Eis im Meer der Ewigkeit beschrieben, ein Stück Eis, das schließlich wieder zu Wasser werden wird, also die Zeit wieder in die Ewigkeit eingeht.

Der bekannte Laientheologe und Görlitzer Schuhmachermeister Jakob Böhme (1575 bis 1624), von dem Hegel sagt, er sei »der erste deutsche Philosoph«, pflegte Freunden ins Stammbuch zu schreiben:

Wem Zeit ist wie Ewigkeit  
und Ewigkeit wie Zeit,  
der ist befreit  
von allem Streit.<sup>4</sup>

Die religiöse Sicht, dass die Ewigkeit vor und hinter der Zeit steht, will aber die Bedeutung der Zeit nicht entwerten. Zeit als Grundbedingtheit der Schöpfung gehört unlösbar zum Leben, »alles hat seine Zeit«. Dass wir als Menschen jen-

---

3 Jörg Rüpke, Art. »Zeit«, in Christoph Auffahrt, Jutta, Bernhard und Hubert Mohr (Hg.), *Metzler Lexikon Religion*, Stuttgart/Weimar 2000, Bd. 3, S. 697.

4 Eberhard Hermann Pälz (Hg.), *Jakob Böhme, Glaube und Tat. Eine Auswahl aus dem Gesamtwerk*, Berlin 1957, S. 12.

seits objektiver Zeitmessungen die Zeit unterschiedlich wahrnehmen, ist Teil unserer täglichen Erfahrungen. Im Alter scheint sich die Zeit zu verkürzen, andererseits können Stunden, ja Minuten der seelischen und körperlichen Qual endlos erscheinen, als eine Ewigkeit.

Otto Kaiser betont: »[...] als Phänomen, als Erscheinung ist uns die Zeit nur im Jetzt aus dem rätselhaften Augenblick gegeben, in dem die Zukunft Gegenwart wird und die Gegenwart in der Vergangenheit versinkt.«<sup>5</sup>

Friedrich Schiller (1759 bis 1805) hat das poetisch so ausgedrückt:

Dreifach ist der Schritt der Zeit:  
Zögernd kommt die Zukunft hergezogen,  
pfeilschnell ist das Jetzt verflogen,  
ewig still steht die Vergangenheit.

Es ist in unserem Zusammenhang interessant, welche unterschiedlichen Begriffe die griechische Sprache für Zeiterfahrungen verwendet. Da ist das Wort *aion*. Es kann damit, so auch beispielsweise im Neuen Testament, die ›Vorzeit‹ oder ›Urzeit‹ gemeint sein. Mit Blick auf die Zukunft gewinnt dann das Wort gerade aus der Zeiterfahrung heraus eine die Zeit transzendierende Bedeutung im Sinne von Ewigkeit, die zum Wesen des Göttlichen bzw. Gottes gehört.

Die formale Zeitauffassung mit Jahren, Tagen, Stunden und Minuten wird durch das Wort *chronos* charakterisiert. Wir kennen die Chronologie als die Wissenschaft von der Zeiteinteilung, der Zeitfolge oder Zeitrechnung.

Durch *kairos* wird die Zeit inhaltlich qualifiziert. Es geht um die Bezeichnung für die richtige Gelegenheit, den rechten Augenblick. So bedurfte die für unmöglich gehaltene deutsche Wiedervereinigung des rechten *kairos*.

Aber wie auch immer definiert: Zeit gehört auf Erden zum Leben, zu seiner Deutung und praktischen Bewältigung und dabei »hat alles seine Zeit«. Für den Verfasser unseres Textes ist Gott der Herr der Zeit. Es ist Gott, betont er, der das Tun des Menschen begrenzt und dessen Erfolg.

Man arbeite, wie man will, so hat man keinen Gewinn davon.  
Ich sah die Mühe, die Gott den Menschen gegeben hat, daß sie darin geplagt werden.  
Er aber tut alles fein zu seiner Zeit und lässt ihr Herz sich ängsten, wie es gehen solle in der Welt; denn der Mensch kann doch nicht treffen das Werk, das Gott tut, weder Anfang noch Ende.  
(Prediger 3,9–11)

---

<sup>5</sup> Otto Kaiser, Art. »Die Wende der Zeit im Alten Testament«, in Jens Kotjatko-Reeb u. a. (Hg.), *Nichts Neues unter der Sonne? Zeitvorstellungen im Alten Testament*, Berlin/Boston 2014, S. 4.

Helmut Lamparter bemerkt dazu:

Der Bemühung des Menschen ist eine Grenze, ein Maß und Ziel gesetzt, das er nicht überschreitet. Er kann sich noch so sehr abarbeiten – er erreicht mit alledem doch nicht mehr, als ihm zugemessen ist (V. 9). Der Erfolg seiner Mühe und Plage steht ganz und gar in Gottes Hand, welche dem Bauen und Brechen, dem Pflanzen und Ausreißen, dem Sammeln und Wegwerfen jeweils ihre Stunde bestimmt. Gottes Hand bewegt den Zeiger an der Uhr und kein Mensch hat die Macht, ihn umzustellen. Und zwar tut Gott ›alles fein zu seiner Zeit‹ (V. 11) – daran ist kein Zweifel!<sup>6</sup>

Doch diese Erkenntnis des Predigers Salomo führt nicht in Fatalismus oder Nihilismus. Der Glaube, dass Gott nicht sinnlos – wenn auch oft unerforschlich – handelt, ermutigt ihn, die Zeit zu nutzen und das Leben zu bejahen. Denn, so heißt es in unserem Text weiter:

Denn ein jeglicher Mensch, der da ißt und trinkt und hat guten Mut in aller seiner Arbeit, das ist eine Gabe Gottes.  
(Prediger 3,13)

Die Zeit als Gabe Gottes anzusehen und recht zu nutzen, ist eine Aufforderung, die im Alten wie im Neuen Testament immer wieder begegnet. Die Reformatoren des 16. Jahrhunderts haben dann, ich nenne es einmal so, geradezu eine Ethik der Zeit und – mit ihr verbunden – eine besondere Arbeitsethik entwickelt. In der größten evangelischen Erneuerungsbewegung nach der Reformation, dem Pietismus, spielt der Umgang mit der Zeit eine herausgehobene Rolle, die wesentlich die sogenannten preußischen Tugenden mitbestimmt hat.

Ich erwähne das besonders, weil Erhard Peschke, der Vater unseres Jubilars, einen Großteil seines wissenschaftlichen Lebenswerkes der Erforschung der theologischen Gedankenwelt August Hermann Franckes (1663 bis 1727) und des Halleschen Pietismus gewidmet hat. Aus der Sicht Franckes ist eine strenge, verantwortliche Zeitökonomie, zu der auch Pünktlichkeit zählt, für einen echten Christen unverzichtbar, ja gehört zu seinen Kennzeichen. »Der Müßiggang ist ›ein Polster oder Küssen des Satans«, sagt Francke.<sup>7</sup>

Am 4. Januar 1713 hielt er eine sehr bekannt gewordene, oft gedruckte Predigt: *Der rechte Gebrauch der Zeit/ so fern dieselbe gut/ und so fern sie böse ist.*<sup>8</sup>

---

<sup>6</sup> Lamparter, Buch der Weisheit (Fn. 2), S. 56.

<sup>7</sup> Erhard Peschke, *Studien zur Theologie August Hermann Franckes*, Bd. 1, Berlin 1964, S. 91.

<sup>8</sup> August Hermann Francke, *Der rechte Gebrauch der Zeit/ So fern dieselbe gut/ und so*

Darin macht Francke es den Christen zur Pflicht, dass

sie immer etwas gutes aus der Zeit als aus einem schnell vorbey lauffenden Strom heraus reissen/ so ihnen mit in die Ewigkeit folge/ [...]; denn so rauschen unsere Tage dahin wie ein Strom/ und ein Jahr gehet nach dem andern hin/ ehe wirs uns versehen. Nehmen wir nun der Zeit nicht wohl wahr/ und achtens nicht/ daß ietzt eine Stunde/ und denn wieder eine unnütz verlaufft/ so leiden wir immer Schaden/ und zwar solchen/ den wir nicht wieder ersetzen können.<sup>9</sup>

Die Gelassenheit im Umgang mit der Zeit, wie wir sie beim Prediger Salomo im *Buch der Weisheit* finden, kennt Francke nur sehr bedingt. Er rechnet mit jeder Stunde, warnt dabei aber mit Bezugnahme auf eine Stelle der *Sprüche Salomos* (V. 20,21) vor Hektik, »weil das allzu hitzige treiben und eilen in allen Dingen mehr Hinderung als Förderung giebet«.<sup>10</sup>

Auch Francke wusste:

Ein jegliches hat seine Zeit, und alles Vornehmen unter dem Himmel hat seine Stunde.

Geboren werden und sterben [...] hat seine Zeit.

(Prediger 3,1 f.)

Diese unbestreitbare, ja banale uralte und stets neue menschliche Erfahrung kann trösten und kann ängstigen, je nach weltanschaulichem Standpunkt des darüber Nachdenkenden.

Man hat unsere Gesellschaft angesichts der digitalen Revolution als »Beschleunigungsgesellschaft« charakterisiert. Alles geht immer schneller und rascher. Und doch: »Die Beschleunigungsgesellschaft wird ihrer selbst nicht mehr Herr. Die Folgen betreffen jeden Einzelnen.«<sup>11</sup> Es mehren sich deshalb die Stimmen, die eine »Entschleunigungskultur« fordern. Denn es bleibt dabei, »alles hat seine Zeit« und das menschliche Leben steht wie vor Jahrtausenden in der Spannung von Geburt und Tod. Der religiöse Glaube relativiert diese Spannung, indem er Zeit und Ewigkeit in ein letztlich nicht gegensätzliches Verhältnis setzt. Damit eröffnet er über Geburt und Tod, über die Zeit hinausführende Dimensionen. Dennoch gilt auch dann mit Blick auf das menschliche

---

*fern sie böse ist.* Nachwort von Carmela Keller (Kleine Texte der Franckeschen Stiftungen, Bd. 12), Halle 2008.

9 Ebd., S. 16 f.

10 Erhard Peschke (Hg.), *August Hermann Francke, Werke in Auswahl*, Berlin 1969, S. 183.

11 Zitiert nach Werner Thiede, »Die Beschleunigungsgesellschaft. Wie digitales Tempodiktat dem Posthumanismus zuarbeitet«, in *Materialdienst der EZW* 78/5 (2015), S. 164–172, hier S. 165.

Helmut Obst

Leben in der Welt von Zeit und Raum und alle damit zusammenhängenden konkreten Erfahrungen: »Ein jegliches hat seine Zeit und alles Vornehmen unter dem Himmel hat seine Stunde.«

Und das gilt auch für meine kleine Meditation anlässlich Ihres Geburtstages, lieber Herr Peschke, sie hat ebenfalls ihre Zeit und deshalb muss ich schließen.

Pirmin Stekeler-Weithofer

## Was ist Zeit?

Zur philosophischen Geografie eines spekulativen Begriffs

### 1. Der Spruch des Anaximander

Der erste gesicherte Text der Philosophiegeschichte behandelt schon das Thema Zeit. Es ist der Spruch des Anaximander von Milet (um 610 bis 546 v. Chr.), der gemäß der Tradition noch mit dem fast mythischen Thales von Milet (um 625 bis 547 v. Chr.) zusammengearbeitet hat und praktisch das gesamte vorsokratische Denken besonders über Anaximenes von Milet (um 585 bis 526 v. Chr.), Xenophanes von Kolophon (um 570 bis 470 v. Chr.) und Heraklit von Ephesos (um 520 bis 460 v. Chr.) beeinflusst hat. Der Spruch lautet in meiner Wiedergabe: »Aus was aber die Dinge entstehen, in das hinein erfolgt auch ihr Vergehen gemäß kausaler Notwendigkeit; denn sie schaffen einander den rechten Ausgleich (*dike*) und zahlen sozusagen Buße (*tisis*) dafür, dass sie aus einer harmonischen Balance ausbrechen, und das alles nach der Ordnung der Zeit.«<sup>1</sup>

Im griechischen Text steht, so würde ein Philologe sagen, nichts von einer *kausalen* Notwendigkeit. In der Tat findet sich da nur der Ausdruck ›*kata to chreon*‹, wörtlich etwa: ›nach dem, was so sein muss‹. Gerechtfertigt ist der vorgeschlagene Gebrauch des in der Moderne ubiquitären Begriffs des Kausalen durch die offenkundige Modernität des Programms des Anaximander. Es soll ja jede Intervention anthropomorpher Götter zugunsten ewiger Strukturen, Kräfte und Gesetze aufgehoben werden. Für jeden *Ausbruch aus einer harmonischen Balance* müssen die Dinge, wie Anaximander sagt, einen *Ausgleich* leisten. Scheinbar ›wörtlichere‹ Übersetzungen sprechen von einer *Kompensation* ›für ihre Ungerechtigkeit‹ (*adikia*). Das Wort ›*dike*‹ steht aber nur

---

<sup>1</sup> Vgl. dazu z. B. neben den zahlreichen Ausgaben von *Die Fragmente der Vorsokratiker*, hg. von Hermann Diels und Walther Kranz, den zugänglichen Text von Geoffrey S. Kirk, John E. Raven und Malcolm Schofield, *Die Vorsokratischen Philosophen. Einführung, Texte und Kommentare*, Stuttgart 2001, S. 128, aber auch den wichtigen Aufsatz von Martin Heidegger, »Der Spruch des Anaximander«, in ders., *Holzwege*, 7. Aufl., Frankfurt a. M. 1994, S. 321–374.

in einem Spezialsinn für das Recht. Im Allgemeinsinn meint es *das Richtige*, was sich besonders auch bei Heraklit, Parmenides aus Elea (um 520/515 bis 460/455 v. Chr.) und Platon (428/427 bis 348/347 v. Chr.) aufzeigen lässt.<sup>2</sup> Entsprechend ist das Wort ›*adikia*‹ nur in ethischen Kontexten klar mit ›Unrecht‹ zu übersetzen, sonst aber verweist es auf jede Abweichung von einer Richtschnur oder *Norm* des *Normalen*. Daher halte ich meinen Übersetzungsvorschlag für sinngemäß präziser als die mir bekannten Alternativen.

Die Ordnung der Zeit und die kausale Ordnung sind in gewissem Sinn ein und dasselbe. Nur was zeitlich früher ist, kann kausal wirken. Und praktisch alles, was zeitlich früher ist, hat irgendeinen kausalen Einfluss auf das, was später geschieht. Das ist eine moderne Einsicht, die aber nicht weitab liegt von einer reinen Selbstverständlichkeit, einem ›Truismus‹ oder einer Plattitüde.

Von besonderer Bedeutung ist dabei, dass sich Ereignisse und Geschehensabläufe ebenso wie typische Bewegungen in ihrer Form wiederholen. Man denke etwa an den klaren Fall von Pendeln oder dann auch von Planeten. Das aus der Ruhelage gebrachte Pendel strebt zum Beispiel zur Ruhelage zurück. Und auch die ›Unordnung‹ in der bloß mechanischen und chemischen Natur, die durch das Leben entsteht, wird sozusagen mit der Rückkehr zum Ausgang, dem Tode, bestraft. Es liegt etwas erschreckend Schönes in dem Gedanken, der nicht nur als philosophische Anschauung, sondern auch als Rahmen für alle wissenschaftlichen Darstellungen und Erklärungen generischer Formen von Prozessen und Bewegungen wahrhaft groß ist.

## 2. Das Rätsel gibt es nicht

Was aber ist die Zeit? Die Frage ist schon so gestellt, dass sich jedem, der ihre Vorgeschichte kennt, der Gedanke des Aurelius Augustinus (354 bis 430) aufdrängt,<sup>3</sup> nach dem wir, solange wir nicht danach gefragt werden, ganz genau zu wissen meinen, was Zeit sei; wenn wir aber dieses Wissen explizieren

---

2 Vgl. z. B. Heraklit, *Fragmente*, hg. von Bruno Snell, 11. Aufl., Zürich 1995, B 23 und B 28.

3 »Was ist also die Zeit? Wenn mich niemand darüber fragt, so weiß ich es; wenn ich es aber jemandem auf seine Frage erklären möchte, so weiß ich es nicht. Das jedoch kann ich zuversichtlich sagen: Ich weiß, daß es keine vergangene Zeit gäbe, wenn nichts vorüberginge, keine zukünftige, wenn nichts da wäre. Wie sind nun aber jene beide Zeiten, die Vergangenheit und die Zukunft, da ja doch die Vergangenheit nicht mehr ist, und die Zukunft noch nicht ist?« Aurelius Augustinus, Bischof von Hippo, Kirchenvater und Heiliger, *Confessiones*, XI, 14, dt. Ausgabe: *Bekenntnisse*, übersetzt von Joseph Bernhart, Frankfurt a. M. 1955.

wollen, geraten wir in Probleme. Da der Gedanke alle Arten von Festvorträgen schmückt oder in der Absicht des Redners schmücken sollte, wird er offenbar für wahr, ja für unmittelbar einsichtig gehalten. Man mag sich daher vielleicht wundern, dass ich anderer Meinung bin. Was Zeit sei, so behaupte ich, wissen wir nur dann nicht, wenn wir nicht nachdenken. Wenn wir nachdenken, wissen wir es sehr wohl. Die Zeit ist nur dem ein Rätsel, der noch nicht weiß, dass derartige Rätsel nur dann entstehen, wenn man zwar über einen Begriff, hier den Begriff der Zeit, nachzudenken versucht, aber noch nicht gelernt hat, was das überhaupt heißt, und auch die Methoden noch nicht kennt, wie in solchen Fällen richtigerweise nachzudenken ist. D. h., derartige Rätsel entstehen, wenn und weil wir das Nachdenken, die Reflexion, Begriffsexplikation noch nicht begreifen.

Das Rätsel der Zeit stellt sich am Ende als Sonderfall einer ganzen Klasse von Rätseln dar, die, wie spätestens Georg Wilhelm Friedrich Hegel (1770 bis 1831) bemerkt hat, allesamt Rätsel begrifflicher Reflexion sind, genauer unseres eigenen »spekulativen«, d. h. metastufigen, Redens über »logische Geografien« (Gilbert Ryle, 1900 bis 1976). Deren Themen sind die Formen unseres objektstufigen Denkens, Redens, Urteilens, Wissens und Handelns. Dies gilt für das Rätsel des Raumes ebenso wie für das Rätsel der Seele, es gilt für die Frage: »Was ist Kausalität?« in ähnlicher Weise wie für die Frage »Was ist Freiheit?« oder Immanuel Kants (1724 bis 1804) alles umfassende Frage »Was ist der Mensch?«

Wie aber kann ich es wagen, die tiefsten Rätsel der Philosophie so gering zu schätzen und zu behaupten, sie resultierten selbst nur aus einem Mangel an Verständnis philosophischer Reflexion? Gerade zu unserer Frage, was Zeit sei, gibt es doch eine ehrwürdige Tradition des Philosophierens, in der sich die größten Denker zu Wort gemeldet – und einander widersprochen haben? Wie sollte ich diese Widersprüche auflösen können, noch dazu in einem kurzen Text? Nun, vielleicht geht es weniger darum, Rätsel endgültig aufzulösen, als eher darum, sie und ihr Zustandekommen zu verstehen. Man kann dann, wie Ludwig Wittgenstein (1889 bis 1951) treffend gesagt hat, das Philosophieren, d. h. das Nachdenken über die Begriffe, jederzeit abbrechen und die Erörterung neuer begrifflicher Fragen und Probleme anfangen. Die gesamte Tätigkeit des Philosophierens erhält dabei einen anderen, einen viel weniger existentiellen Stellenwert, als sie dies in der Tradition hatte, und zwar eben dadurch, dass alle Dogmatismen, welche eine angebliche objektive Wahrheit oder eine angebliche authentische Existenz von Unwahrern und Uneigentlichem ausgrenzen, als problematische Ansprüche entlarvt werden. Hierin besteht auch das berühmte »Ende der Philosophie« von dem bei und über Wittgenstein manchmal die Rede ist. Es handelt sich nicht um das Ende des philosophischen Nachdenkens, sondern um das Ende der Ansprüche einer metaphysisch-ideologischen Philo-

sophie, auf sogenannte Welträtsel eine allgemeine Antwort geben zu können. Die Ablehnung dieses Anspruchs bedeutet nicht etwa, dass die Philosophie, nachdem sie sich endlich explizit als begriffsanalytische begreift und damit ein nachmetaphysisches Zeitalter propagiert, keine Antworten mehr geben könnte oder wollte, sondern dass es, wie Wittgenstein immer wieder betont, in der rechten Sicht der Dinge bestimmte Probleme nicht mehr gibt. Die Fragen werden nicht durch Thesen oder Hypothesen, Theorien oder Spekulationen, durch einen Glauben oder ein vermeintliches Wissen beantwortet, sondern als Fragen aufgelöst. D. h., sie werden als partiell falsch gestellt ausgewiesen. Eben dies gilt auch für unsere Frage »Was ist die Zeit«?

### 3. Eine kurze Geschichte der Zeit

Hier werde ich mich allerdings nicht in erster Linie mit der Schilderung der Methode einer solchen Auflösung beschäftigen, sondern etwas anderes tun. Ich werde mich der Geschichte der Fragen nach der Zeit und deren Einbettung in andere metaphysische und weltanschauliche Fragen zuwenden. Dabei erinnere ich als erstes an Platons Erklärung, dass die Zeiterfahrung als Erfahrung von Bewegung und Veränderung nur zur Welt der Phänomene, der Erscheinungen gehört. Dieser Welt der Erscheinungen, die immer auch eine Welt des äußeren Scheins sein kann und oft auch ist, stellt Platon eine wahre und unbewegte, unveränderliche und zeitlos wahre Welt, die Welt der Ideen und Formen, und, im Falle von Verläufen, eine Welt der ewigen Wiederkehr des Gleichen entgegen. Genauer: Platon entwirft das Konzept der Erklärung der Phänomene durch eine ewig wahre Strukturtheorie, ein Konzept, das gerade in der Wissenschaft geläufig ist, obwohl man auf seine Formen und Grundlagen allzu selten explizit reflektiert, sondern diese vielmehr nur praktisch anwendet. Für Platon ist dabei, wie er im Dialog *Menon* sagt, jedes theoretische Wissen eine Art der Wiedererinnerung, *anamnesis*. Diese scheint Erinnerung an eine längst schon vorhandene Wesensschau zu sein. Ich betone ausdrücklich, dass diese gängige Lesart von Platons Texten nur ein Schein ist. Denn Platon spricht in Wirklichkeit davon, dass wir die Phänomene, die wir theoretisch erklären, in gewissem Sinne schon kennen, ebenso wie die Bedingungen dessen, was eine gute Erklärung ist. Das jedenfalls schlage ich als angemessene Lesart seiner schwierigen Überlegungen vor. Alles Begreifen ist demnach ein Auffassen einer theoretischen Erkenntnis über sich reproduzierende Formen und steht daher in Analogie zu bekannten Fällen, in denen wir sagen: »Aha, jetzt sehe ich es, jetzt habe ich es, jetzt verstehe ich es«. Man denke an das Einsehen eines mathematischen Beweises, das am Ende darin besteht, ein geometrisches Konstruk-

tionsverfahren wie die Verdoppelung der Fläche eines Quadrats ab jetzt immer reproduzieren zu können.

Als zweites erinnere ich an die ebenso berühmte Formel des Aristoteles (384 bis 322 v. Chr.), Zeit sei das Maß, oder besser und genauer: die Zahl (*arithmos*) der Bewegung.<sup>4</sup> Diese Formel ist schon bewusst wissenschaftstheoretisch und zugleich pragmatisch artikuliert. Sie steht im Rahmen des Protests des Aristoteles gegen die Abwertung der Realität einer Welt der Veränderungen zu einer bloßen Welt der Erscheinungen, wie er sie bei den pythagoreischen Mathematikern, bei Parmenides und den Eleaten und dann auch bei Platonikern vermutet. Dabei war diese Abwertung der Welt des Veränderlichen, des Zeitlichen, selbst schon Ein- oder Widerspruch gegen die noch ältere ›These‹ des Heraklit gewesen, nach der wir, wie eine oberflächliche Lektürepradition sagt, nie zweimal in denselben Fluss steigen können.

Heraklit ist subtiler als seine Leser. Denn er sagt: »In die gleichen Ströme steigen wir und steigen wir nicht; wir sind es und sind es nicht.«<sup>5</sup> D.h., etwas bleibt gleich und etwas ändert sich, sowohl an uns selbst als auch am Fluss, im Laufe der Zeit. Und er fügt als Erläuterung hinzu, die in den Herausgaben der Fragmente leider falsch einsortiert ist: »Steigen wir hinein in die gleiche Ströme, fließt andres und andres Wasser herzu.«<sup>6</sup> Dies ist offenbar in der Tat eine tiefe Einsicht zum Begriff der Zeit. Sie sagt nicht einfach, dass alles Reale im Fluss ist, sich ununterbrochen ändert und nichts wirklich gleich bleibt, sondern, dass es aus der Sicht des gegenwärtigen Daseins immer nur das Gegenwärtige ›gibt. D. h., es gibt die Dinge, Ereignisse und Prozesse ›für uns‹ nur dadurch, dass sie irgendwie ›herausstehen‹ im Sinne des lateinischen Wortes ›*existere*‹: Sie zeigen sich uns also in der ausgedehnten Gegenwart, in unserer Epoche des Daseins. Eine *Epoche* ist dabei eine eingeklammerte Zeit, ein offenes Zeitintervall. Was zuvor oder danach sein wird, ›gibt‹ es für uns nicht, es sei denn, als aktuelle Erinnerung und aktuelle Voraussicht, also als Rekonstruktion von Vergangenheit oder Konstruktion einer möglichen Zukunft.

Dabei hängt es nun aber von den betrachteten Entwicklungen ab, was *epochal* als Gegenwart, Vergangenheit und Zukunft anzusehen ist. Für die Entwicklung des modernen Menschen sind z. B. das antike Athen und Rom bei rechter Betrachtung nicht Vergangenheit, sondern noch Gegenwart, wie die Klassische Deutsche Philosophie und Literatur um 1800, von Johann Gottfried

---

4 »Wir messen nicht nur die Bewegung mittels der Zeit, sondern auch mittels der Bewegung die Zeit und können dies, weil sich beide wechselseitig bestimmen«, Aristoteles, *Physik* IV 12, 220b, 14–16.

5 Heraklit, Fragmente (Fn. 2), B 49a.

6 Ebd., B 12.

Herder (1744 bis 1803) bis Friedrich Hölderlin (1770 bis 1843) und Hegel, ganz richtig erkannt hat. Für den Gegenstandsbereich der modernen Physik beginnt die Gegenwart vielleicht mit dem Großereignis, das den schönen Namen ›Urknall‹ trägt. Für die verschiedenen Seinsformen, Projekte und auch Moden des 20. und 21. Jahrhunderts gibt es dann natürlich viele verschiedenen Einklammerungen von Epochen, die je nur aus der Binnensicht Gegenwart waren oder noch sind, z. B. der gegenwärtig noch laufende Prozess des sozialkulturellen Untergangs der Bourgeoisie als Erbe des im langen 19. Jahrhundert schon untergegangenen Adels. Je nach Weltgegend sind inhaltlich bestimmte ›Zeiten‹ noch Zukunft oder schon Vergangenheit, wie z. B. die Entwicklung eines gewaltenteiligen republikanischen Rechtsstaates. Durch ihre Anerkennung als Voraussetzung jeder funktionstüchtigen Demokratie im vollen modernen Sinne einer demokratisch verfassten *res publica* sind sie auch gegenwärtig. Das erklärt die sonst etwas schwierige Rede von einer *Ungleichzeitigkeit des Gleichzeitigen*.

Die Einsicht Heraklits in die Begrenztheit allen realen Seins auf seine Epoche und die Relativität der Bestimmung von Gleichheiten und Verschiedenheiten wird dann in der Philosophie der Eleaten, bei Parmenides, besonders aber im Neuplatonismus, etwa bei Plotin (205 bis 270), partiell verdeckt durch die scheinbar radikale Gegeneinsicht, dass es in Wahrheit kein Entstehen gibt, da nichts aus nichts entstehen könne. *In Wirklichkeit* gebe es daher keine Veränderungen, am Ende nicht einmal Bewegung; die gebe es nur in der Erscheinung. Denn alles, was wirklich existiert, müsse *als Substanz*, als etwas Bleibendes in der Zeit existieren.

Aus diesem Gedanken entsteht das neue Rätsel der Zeit, wie Augustinus es noch sah: Alles, was es in der Welt gibt, gibt es in der Zeit, und zwar als zeitübergreifend Bleibendes. Dass die Zeit selbst nicht in diesem Sinne existieren kann, leuchtet ein. Es müsste ja sonst die Zeit als etwas Bleibendes in der Zeit geben, was absurd klingt und paradox ist. In der Zeit gibt es primär immer nur die Gegenwart, deren Dauer von einem relevanten Prozessverlauf abhängt, auf dessen Ende zu warten ist, bevor die relevante Zukunft beginnt. In eben diesem Sinn ist jedes Jetzt immer schon ausgedehnt; und die Rede von einem Zeitpunkt als momentane oder gar plötzliche Trennung der Vergangenheit von der Zukunft ist eine idealistische Übertreibung und Metapher. *In der Zeit* gibt und gab es also immer nur, was in je eigens und näher bestimmbarer Weise *zeitliche Dauer* hat, also in gewissem Sinn *gegenwärtig bleibt*. Das Vergangene gibt es nicht mehr und das Zukünftige noch nicht.

Die Zeit selbst aber *gibt* es nicht, jedenfalls nicht als Gegenstand, so wenig wie den Raum oder die Welt. Es gibt Dinge *in* der Welt, *im* Raum. Es gibt Prozesse *in* der Zeit, so wie es einzelne Zahlen *im* Bereich der natürlichen Zah-

len gibt, wie wir sagen. D. h., *Titelwörter* wie »die Zeit«, »der Raum« oder »die Welt« artikulieren *spekulative Begriffe*, wie sich Hegel ausdrückt, ohne dabei verstanden worden zu sein. Denn das sind *hochstufige Reflexionsbegriffe*.

Wenn wir dennoch *auch* sagen, dass es die *Zeit gibt* und den Raum, die Welt oder die Zahlen, dann sagen wir, wie Rudolf Carnap (1891 bis 1970) klar gesehen hat,<sup>7</sup> dass es die Rede- und Unterscheidungsbereiche der zeitlichen und räumlichen Ordnungen von Prozessen und Bewegungen als Rahmen oder *frameworks* für interne Existenzaussagen gibt. Zahlen zum Beispiel gibt es im Rahmen der natürlichen Zahlen als abstrakte Gegenstände, die *nicht* zur Welt der wahrnehmbaren Erfahrungsdinge gehören, da dieser ein Rahmen für ganz andere Gegenstände ist. Wir unterscheiden ja abstrakte Gegenstände von erfahrbaren Dingen. Aber auch die ewigen Gesetze der Welt gehören nicht zur Welt der je bloß gegenwärtigen Erfahrungen im Sinne von Wahrnehmbarkeiten, sondern in einen anderen Rahmen, den des kausalen Erschließens von prognostischen Sätzen und damit in eine eigene Praxis der Erklärung von Erfahrung.

Platon verbindet, so scheint es, Heraklit in gewisser Weise mit Parmenides und erklärt, dass das, was sich ändert, die Phänomene, nicht das Wahre und Bleibende ist oder sein kann, das wir in den Wissenschaften als Gegenstände allgemeinen Wissens anzusehen haben. Diese sind nicht durch bloße Berichte über Einzelereignisse gegeben. Sie gehören damit auch nicht in den Bereich der *historia* oder *empeiria* im Sinn der bloßen Konstatierungen von präsentischen oder früheren Wahrnehmungen bzw. »sinnlichen Erfahrungen«.

Sogar schon im Fall von Körperdingen ist nur das, an dem sich äußere Eigenschaften ändern, etwas Bleibendes, Substanz, und das auch nur in der Zeitepoche seiner innerweltlichen Existenz. Die äußeren, wahrnehmbaren Eigenschaften, die sich ändern, mal präsent, mal nicht präsent sind, existieren nicht »für sich«. Sie sind bloß wechselnde Akzidenzen der relativ fest bleibenden Dinge.

Da aber auch diese Dinge entstehen und vergehen, so wie Lebewesen geboren werden und sterben, ist das eigentliche Bleibende immer bloß eine *typische Form*, die sich in vielen verschiedenen Manifestationen oder Repräsentationen zeigen mag. Das ist die Kerneinsicht von Platons Ideenlehre.

Wahrheit kommt immer nur Aussagen zu, die wenigstens zeitunabhängig verständlich sind. Wenn ich jetzt sage, es sei wahr, dass vor meinem Fenster ein Baum steht, sage ich, es sei wahr, dass vor dem Fenster, durch das ich am 6.12.2014 um 17 Uhr hinausschaue, ein Baum steht. Wahr ist also immer, was als bleibend wahr aufgefasst werden kann, und das sind die zeitunabhängigen

---

<sup>7</sup> Rudolf Carnap, *Meaning and Necessity. A Study in Semantics and Modal Logic*, 2. Aufl., Chicago 1947, Supplement A: Empiricism, Semantics, an Ontology, S. 206 ff.

Aussagen, zu denen auch diejenigen zählen, welche die Form haben: Zur so und so bestimmten Zeit hat oder hatte der Gegenstand g die Eigenschaft E. Da Aussagen, die über die Zukunft handeln, also etwas prognostizieren wie z. B. einen zukünftigen Seekrieg, ihrem Inhalt nach rein *modal* sind, also nur eine allgemeine *Möglichkeit* oder *Wahrscheinlichkeit* betreffen, erklärt Aristoteles mit vollem Recht, dass man die Prognose zukünftiger Einzelereignisse in aller Regel ›noch‹ nicht als ›wahr‹ oder ›falsch‹ im zeitallgemeinen Sinn ansehen darf. Empirische Wahrheit über Einzelnes ist immer *a posteriori* fixiert, *ex post* bestimmt, also erst *nach* dem Ereignis, was bekanntlich auch Kant klar einsieht. *A priori* wissen wir nur etwas über *Allgemeinheiten*, über Arttypen von Sachen und Ereignissen.

Aber nicht der sich ändernde Sinneseindruck ist etwas Wahres. Wahr ist vielmehr eine *Aussage*, welche das Zukommen einer allgemeinen Eigenschaft E zu einem Gegenstand g behauptet und dann in gewissem Maße in der Anschauung kontrollierbar ist. Dazu muss sich eine Benennung N auf relativ perspektiveninvariante Weise auf den Gegenstand g, die Substanz, beziehen, welche zur bestimmten Zeit die Eigenschaft E angeblich haben soll oder wirklich hat, zu einer anderen Zeit vielleicht nicht. So bezieht sich etwa der Name ›Eiffelturm‹ auf den Eiffelturm oder der Name ›Sokrates‹ auf Sokrates (469 bis 399 v. Chr.). Hier werden der Ding- und der Personenbegriff offenbar als erste Annäherung an den Substanzbegriff aufgefasst. Solche ›relativen‹ Substanzen gibt es *in der Zeit*. D. h., sie bleiben trotz äußerer Veränderungen eine Zeit lang ›mit sich identisch‹, wie wir auf höchst obskure Weise zu sagen pflegen. Es handelt sich um die Zeit ihrer Gegenwart, die Epoche ihrer Existenz.

Alles, was es nun im *idealen* Sinn als *ewige* Substanz gibt, ist so, dass ihm die Zeit, die Veränderlichkeit, wie man sagt, gar *nichts anhaben* kann. Das liegt am Ende daran, dass die Aussagen, in denen *diese* Substanznamen vorkommen, völlig *zeitallgemein* sind. Das aber heißt, dass wir uns hier nicht (›mehr‹) *direkt auf die reale Welt des Zeitlichen* beziehen, sondern auf *zeitübergreifende begriffliche Formen*. Empirische Bezugnahmen auf die wirkliche Welt sind durch solche allgemeinen Formen (*eidē, genē*) *vermittelt*. Das aber heißt, dass sogar schon die Wahrnehmung begrifflich und theoretisch durch die Formstrukturen des platonischen *eidos* vermittelt ist, das ja ›Begriff‹, ›Art‹, ›Form‹ bedeutet. Dass das so ist, hat Hegel klar herausarbeitet. Dabei stehen einer solchen *generischen* oder auch *eidetischen Form*, die wir als abstrakten bzw. allgemeinen Gegenstand in einer Theorie thematisieren, eine zugehörige Idee (*idea*) als *Vollzugs-* oder *Seinsform* gegenüber, die als solche nie voll zu vergegenständlichen ist.

Reale Dinge und Phänomene sind in der Zeit und ändern sich mit der Zeit. Sie sind im Unterschied zu den eidetischen Formen, Begriffen, Gattungen oder

Bedeutungen selbst nicht substantiell existent. Gerade auch die Zeit selbst existiert nicht im Sinne einer Substanz. Sie ist vielmehr, wie man mit Hegel sagen könnte, Moment des Seins, und mit Martin Heidegger (1889 bis 1976) eben damit ein sogenanntes Existential.

#### 4. Kräfte und Seelen

Überlegungen dieser Art, freilich ohne dass dies alles schon sprachanalytisch explizit gemacht wäre, bilden nun durchaus auch schon den Ausgangspunkt der Reflexionen des Augustinus. Erst die Sprachanalyse differenziert hier bewusst zwischen der abstrakten Eigenschaft als der (relativ) konstanten Bedeutung oder Gebrauchsform von Ausdrücken (über die wir metastufig wie über einen Gegenstand sprechen können), und dem, was jeweils konkret wahrgenommen wird, dem Phänomen.

Eine der Konsequenzen aus der begriffsanalytischen und zugleich spekulativen Unterscheidung zwischen Substanzen und Akzidenzen, zwischen Bestehendem und bloßen Phänomenen ist die, dass nicht der Leib, sondern *die Seele*, die *Seinsform* als Idee oder als ›Eidos‹ *Substanz* ist. Sie ist das eigentlich Existierende, das, was mit sich bei allem äußeren Wechsel des Leibes über Zeiten hinweg gleich bleibt. Der Leib ändert sich nämlich in vielerlei Hinsicht: Er wird größer, wenn das Kind erwachsen wird, er wird alt und stirbt, er nimmt Stoffe auf und scheidet Stoffe aus, ja, wir wissen, was die Griechen zumindest ahnten, dass bei einem lebenden Wesen kein Hautteilchen, ja keine Zelle, in ihrer Materie über die Zeit hinweg identisch bleibt. Identisch bleibt nur die *psychē*, die Lebens- und Formkraft des Lebendigen. Die Seele wird so zur Kraft der Selbsterhaltung der Form des Lebens während des Lebens. Im Bereich des Körperlichen und Leiblichen ändert sich dagegen ›alles‹ ununterbrochen. Dabei ist dann auch zwischen der Seele des Einzelwesens, seiner einzelnen Lebensform, und der Art-Form der Gattung zu unterscheiden.

Im Falle des Menschen wird spätestens seit Aristoteles und seinem grandiosen Buch *Über die Seele / De Anima* die *Geistseele* als Art-Form oder Idee des *humanen* Lebens, um deren Erhalt es uns geht, wenn wir von der Menschheit und einer *humanitas* sprechen, kategorial vom bloß pflanzlichen und tierischen Leben unterschieden, also von der *vegetativen* und der *animalischen* Seele. Die menschliche Seele ist eben nicht bloß Formkraft des animalischen Lebens, sondern die Kraft des Denkens, Vernunft, Bewusstsein und Selbstbewusstsein. Die denkende menschliche Seele und nur diese, nicht der Leib und seine Sinne, hat, so sagt man seither, Zugang zum Reich der beständigen Bedeutungen, Begriffe, Ideen und der Wahrheit. Was auch immer sich an uns

in oder mit der Zeit ändert: unser Leib und vielleicht auch unsere animalische *psychē*, unser emotionaler Charakter oder unsere Lebenskraft, wir bleiben uns, so scheint es, in einem immer gleich, nämlich in unserer ›Vernunftseele‹, in der Fähigkeit, zu denken. Das tun wir darin, dass wir ›ich‹ sagen können und konkreter etwa: »ich erinnere mich an mich damals« oder »ich denke gerade über x nach«. In aller Regel beziehen wir uns dabei nicht auf einen Teil unsers Leibes oder unseren Leib überhaupt, etwa als Gesamt seiner Materiepartikel, sondern auf uns als denkende Personen. Das war der – zunächst durchaus nachvollziehbare – Gedanke des René Descartes (1596 bis 1650) und seines ›*cogito ergo sum res cogitans*‹.

Ich verknüpfe hier offenbar einen Gedanken der Antike mit dem Gedanken des Descartes, dass wir unserer selbst als denkender Wesen, als *res cogitans*, gewisser sind als irgendeiner Wahrheit über die externe Welt der *res extensa*. Dieses mit sich identische personale Ich heißt traditionell (nicht erst seit Descartes, sondern seit Platon) ›menschliche Seele‹ und wird als zeitlose Substanz angesehen, die als solche durch die Veränderungen in der Zeit nicht in ihrer Substantialität berührt ist. »Ich bleibe ich,« so denkt man, »auch wenn man mir z. B. den Finger, die Hand, den Arm abnähme oder ein fremdes Herz einsetzte.«

Man stellt sich schon im alten Indien und dann auch in Griechenland vor, dass man alle äußerlichen Eigenschaften, am Ende den gesamten Leib, austauschen könnte, ohne dass sich etwas an der Identität der Seele, des Inneren, änderte. Heute treten ähnliche Vorstellungen auf, wenn man an Avatare denkt. Mit diesem argumentativen Schachzug wird die Seele als ›unsterbliche Substanz‹ ausgegeben, und um diese *Unsterblichkeit* der Seele war es auch Descartes zu tun. Platon glaubt scheinbar und die Orphiker und andere Sekten im Hellenismus glauben wirklich an Seelenwanderung und Wiedergeburt. Es handelt sich dabei um die Übernahme ›orientalischer‹ Einflüsse. Dabei sind uns die gegenseitigen Einflüsse kaum noch präsent, weder die, welche von Ägypten, Mesopotamien oder Persien nach Westen und Osten ausstrahlen, noch die hellenistischen Einflüsse auf das spätere Denken in Indien, das sich von dort vielleicht auch auf China und Japan ausdehnt, z. B. durch Vermittlung skeptizistischer Logiker, zu denen auch der einflussreiche buddhistische Philosoph Nagarjuna (ca. 2. Jhd.) zählt.

Der Gedanke der Ewigkeit oder Unsterblichkeit der Seele, nicht aber der Seelenwanderung, wird im Zeitalter des Hellenismus von der jüdischen Gelehrtengruppe der Pharisäer übernommen, trotz des Protests der jüdischen Orthodoxie der Sadduzäer gegen diese philosophischen Neuerungen. Legitimiert werden die Neuerungen durch eine Praxis der kunstvollen theologischen Interpretation der tradierten Texte der Tora, wie sie als Lehre von einem mehrfachen Schriftsinn gerade auch vom Christentum übernommen, aber bekannt-

lich schon bei Philo von Alexandrien (15/10 v. bis 40 n. Chr.) vertreten wird. Diese Lehre ermöglicht zuallererst die breite Debatte um den wahren Sinn der tradierten Texte – an der offenbar auch Laienbewegungen wie die des Johannes des Täufers und Jesus und seine Anhänger teilnahmen, nicht nur Schriftgelehrte wie Paulus. Letzterer richtet sich insbesondere gegen den jüdischen Messianismus, indem er den hingerichteten Jesus zum schon gekommenen Messias erklärt. Gegen die leere Hoffnung auf eine Zukunft des Staates Israel ›los von Rom und Europa‹ setzt Paulus seine Idee der Selbstorganisation substaatlicher Gemeinden und einen entsprechenden ethischen Universalismus. Dabei wird die eschatologische Zeitstruktur des Messianismus allerdings in eine Erwartung einer Wiederkunft des Christus und einer Auferstehung des Leibes als Garant der Individualität der Seele nur transformiert, nicht ganz aufgehoben.<sup>8</sup> Die innige Verbindung zwischen pythagoreisch-platonischen, besser: neuplatonischen, Lehren von der Seele und der Vorstellung von ihrer Ewigkeit oder Unsterblichkeit spiegelt sich auch in den späteren vier Evangelien wider.

Doch nicht die Seele ist hier unser Problem, sondern die Zeit, in der die Seele mit sich identische Substanz und daher ›unsterblich‹ sein soll, auch wenn sie ›von Gott‹ mit der Geburt bzw. der Zeugung gemäß christlicher Dogmatik ›erschaffen‹ wird. Hier führt die Frage nach einem möglichen Anfang und Ende der Zeit, wie man sagen möchte, fast unmittelbar zur These, die Zeit selbst sei unendlich, ohne Anfang und ohne Ende, und damit identisch mit der Ewigkeit. Die Seele hat also in der Theologie einen Anfang in der Zeit, aber kein Ende, während Gott immer war und immer sein wird und damit in gewissem Sinn die einzige wahre Substanz ist. Bei Baruch de Spinoza (1632 bis 1677) wird diese Substanz mit der Welt oder Natur im Ganzen identifiziert – was bekanntlich zum Pantheismusstreit der Goethe-Zeit führt.

Diese kurze Erzählung zum Verhältnis der Begriffe der Seele und der Zeit, der Sterblichkeit des Leibes und der Idee der Unsterblichkeit in Philosophie- und Theologiegeschichte zeigt uns nun erst Status und Bedeutung der Frage nach der Zeit für diejenigen *Weltanschauungen*, welche die europäische Tradition entwickelt hat. Die europäischen *Welthaltungen* sind bis heute durch sie charakterisiert. Das gilt auch dann noch, wenn der jüdisch-christliche Messia-

---

<sup>8</sup> Es sollte uns nicht wundern, dass die Lehre des Jesus von beiden jüdischen theologischen Lagern verfolgt wird und die des Paulus sogar auf Widerstand bei den Jerusalemer Judenchristen um Jakobus und Petrus stößt. Die Idee der individuellen Seele und einer ›Kirche‹ war durchaus ›moderner‹ als die pharisäische Tradition. Sie wird sozusagen als integrierte ›christliche‹ Theologie auf jüdisch-hellenistischer Grundlage von anderen Kirchenlehrern, unter ihnen dem für den Westen des Reiches besonders bedeutsamen Augustinus, weiter ausgebaut. Der oft zu Unrecht beklagte ›ewige Streit‹ um die ›wahre Lehre‹ ist dabei von Anfang an Teil der Bewegung selbst.

nismus als überschwängliche Zukunftshoffnung säkularisiert oder verweltlicht wird in den Verheißungen einer glücklicheren Zukunft für später Geborene, wie er die sozialistischen Bewegungen weltweit kennzeichnet.

## 5. Zeit als Form innerer Anschauung

Jede Schilderung der Entwicklung der Antworten auf die Frage nach der Zeit in der traditionellen Philosophie und in den Wissenschaften führt uns früher oder später von Aristoteles und Augustinus zu Descartes und Gottfried Wilhelm Leibniz (1646 bis 1716), zu Isaac Newton (1642 bis 1727) und schließlich zu Kant. Aus dessen Perspektive heben sich im Rückblick die Zeitbegriffe der Vorgänger und der Zusammenhang des Begriffs der Ewigkeit mit dem der Seele ohnehin klarer und deutlicher ab. Kant erklärt nämlich, in gewissem Sinn ähnlich wie die antike Tradition, dass die Zeit keine objektive Existenz habe, sondern nur Form der inneren Anschauung sei, so wie der Raum nicht etwa als ein Behälter mit unendlicher Ausdehnung aufzufassen sei, sondern als Form der äußeren Anschauung.

Was besagen diese zunächst doch kryptischen Formeln? Was soll eine innere Anschauung und was eine äußere Anschauung sein und was ist deren Form? Warum akzeptiert Kant nicht die Vorstellung, die Zeit sei einfach als gerichtete Zahlengerade vorzustellen, in der eine niederere Zeitzahl das Vorher im Vergleich zum Nachher einer höheren Zeitzahl und gleiche Zeitzahlen Gleichzeitigkeiten ortsunabhängig bestimmen? Dabei hat man sich die Zeitzahlen als Ergebnisse chronometrischer Messungen und damit als Maßzahlen von relativen Bewegungen zu denken, gerade so, wie dies die schon erwähnte Formel des Aristoteles allem Anschein nach meint. Aristoteles weiß nämlich, dass man in jedem Zeitvergleich eine Standardbewegung, möglichst eine zyklische, etwa die der Zeiger einer Uhr oder die Relativbewegung der Erde und der Sonne, als Vergleichsgegenstand und Zähleinheit gebraucht. Die Zeit ist dann einfach der abstrakte Titel für alle möglichen derartigen Zeitvergleiche.

Dass die Zeit ohne Anfang und ohne Ende sei, bedeutet dabei nicht viel mehr, als dass man sich zu jedem möglichen Augenblick oder zu jedem zyklischen Ablauf einen nächsten und einen vorhergehenden vorstellt, ähnlich wie man sich zu jeder ganzen Zahl (zu denen ja auch die negativen gehören) einen Vorgänger und einen Nachfolger vorstellt. Die Unendlichkeit der Zeit und die Unendlichkeit der Zahlen sind nun aber in der Tat, wie Kant gegen Newton betont, von ein und derselben Art: Es gibt sie beide nur potentiell, nur in einer gedachten Extrapolation faktischer Beobachtungen und faktischer Messungen. Faktisch messen wir immer nur Endliches; etwa nur endliche Zeiten. Unend-

liches gibt es nur, wenn wir über die allgemeine Form dieser Zahl- oder Maßpraxis sprechen.

In ebendieser Ablehnung einer aktualen Unendlichkeit der Zeit oder des Raumes liegt nun der Witz von Kants Formel und der Sinn seiner Kritik an Descartes und Newton, die zugleich Kritik an der theologischen Tradition der Annahme einer aktualen Unsterblichkeit oder einer aktualen unendlichen Dauer der Seele als Substanz ist. Was auch immer die üblichen Lesarten sagen, es gibt für einen mitdenkenden Leser überwältigende Evidenzen dafür, dass Kant einfach nicht an die reale Existenz Gottes oder der menschlichen Seele, und schon gar nicht an eine reale Ewigkeit geglaubt hat. Denn er wusste: Eine Unendlichkeit bzw. die Ewigkeit ist nichts als die Form der Extrapolation von nicht fest begrenztem Endlichen bzw. realen Dauern, sie entsteht als *façon de parler* über diese Form. Mit anderen Worten: Die Ewigkeit gibt es nur in der Vorstellung der Menschen. Die Zeit selbst ist nichts als die Form eines möglichen oder als möglich gedachten Zeitvergleichs.

Die äußeren Ausdehnungen sind also die räumlichen oder, wie wir dazu sagen, die des Raumes. Sie werden praktisch ausgemessen. Die räumlichen Formen werden in der synthetischen und analytischen Geometrie mathematisch idealisiert dargestellt. Der Raum ist für Kant geradezu die Form dieser Mess- und Darstellungspraxis räumlicher Verhältnisse – zu einer festen Zeit. Dabei wird erst einmal davon abstrahiert, dass die Messung selbst Zeit braucht. Der Raum wird als unendlich vorgestellt, nur weil wir uns zu jedem endlichen Raum einen größeren zumindest denken, genauer, ihn mathematisch darstellen können.

Denken wir uns nun irgendein Ding D als festen Bezugspunkt, von dem aus wir fiktiv die räumlichen Verhältnisse betrachten, so wie wir sie von unserem Leib L aus betrachten. Dann bewegt sich D bzw. L zwar relativ zu anderen Dingen oder Körpern, aber in Bezug auf D bzw. L bewegen sich nur die anderen Dinge. Diese Relativität von Ruhe und Bewegung war schon Galilei (1564 bis 1642) und Newton zumindest implizit, Leibniz explizit klar. Kant betont dies im Grunde nur etwas deutlicher: Die Bewegung und Veränderung, die der reale Beobachter von L oder der fiktive von D aus an anderen Dingen anschauen kann, wird für ihn selbst zur *inneren Zeiterfahrung*. Dabei kann ein Mensch unter Umständen den Ablauf seiner Empfindungen, Wahrnehmungen und Erinnerungen als Zeitmaß benutzen, etwa wenn es sich um einen menschlichen Betrachter handelt. Ansonsten betrachtet man die Zustände einer Uhr unter Einschluss der Zeigerstellungen als ›innere‹ Zustände, welche einen nicht mehr rein subjektiven, sondern gemeinsamen Maßstab abgeben für einen Vergleich äußerer Bewegungen, der aber immer noch perspektivisch, d. h. von der Uhr abhängig bleibt.

Die Erklärung, die Zeit sei die Form des inneren Sinnes, ist nach dieser Lesart nicht wesentlich verschieden von der Formel des Aristoteles, die Zeit sei die Maßzahl der Bewegung. Es wird hier nur explizit auf das Subjekt des Messenden, seine Identität und lokale, perspektivische ›Ruhelage‹ bei allem äußerlichen Wechsel mitverwiesen. Dabei beachte man die strukturelle Analogie zur traditionellen Vorstellung von einer substantiellen Seele, in Bezug auf welche alles Äußerliche veränderlich ist. Auf diese Analogie hat besonders Leibniz in seiner Monadenlehre schon aufmerksam gemacht.

Wenn wir uns nun eine bei allem äußeren Wechsel von sich aus als ruhend und bleibend erfahrene Beobachterperspektive denken und sie an einem Ort situieren, dann sind diese Orte in der Perspektive von außen relativ bewegt. Daher ist jede vorgestellte Betrachterperspektive eine mögliche Bewegungslinie eines Dinges, so wie sich unser Leib und damit unsere Perspektive eben auch als bewegt darstellt, je nach Wahl des äußeren Bezugspunkts. Die ›objektive‹ Raumordnung entsteht durch Perspektiventransformation. Es ist klar, dass diese Transformationen die Bewegungen und damit die Zeit mitberücksichtigen müssen.

## 6. Zeitmessung und moderne Naturwissenschaft

Gegen Kants Deutung der bei Newton begriffsanalytisch noch nicht weiter befragten Konzepte der Zeit und des Raumes treten nun im 20. Jahrhundert zwei ganz unterschiedliche Arten einer fundamentalen Kritik auf: die naturwissenschaftliche oder besser physiktheoretische Kritik Albert Einsteins (1879 bis 1955) und seiner Relativitätstheorie und die philosophische Kritik Heideggers.

Einstein hat in vermeintlicher Kritik gegen Kant dessen ›aristotelischen‹ Grundgedanken eigentlich nur radikalisiert. Der Anlass war freilich nicht eine abstrakte begriffsanalytische Reflexion, sondern ein konkretes Problem, in das ein ›naives‹, d. h. nicht weiter begrifflich und theoretisch reflektiertes, Verständnis der Zeit und Zeitzahlen gerät, wenn man die Theorien der klassischen Dynamik mit der Maxwellschen Elektrodynamik in Beziehung setzt und wenn man empirische Befunde wie die von Albert A. Michelson (1852 bis 1931) und Edward W. Morley (1838 bis 1923) theoretisch angemessen berücksichtigt. Diese Probleme erzwingen eine erneute Beschäftigung mit der Frage, wie die Zeitmaßzahlen der Physik als Werte der in den Bewegungsgesetzen vorkommenden Zeitvariablen konkret zustande kommen und wie Datierungen von Ereignissen an anderen, fernen Orten faktisch zu verstehen sind. Über die Aussagen, welche die spezielle Relativitätstheorie über die Zeit fällt, wird man sich zum mindestens im Grundsatz dann nicht mehr wundern, wenn man das folgende weiß:

1. Die Lichtausbreitung ist faktisch die schnellstmögliche Bewegung und dann auch schnellstmögliche Wirkung. Sie wird mit gutem Grund als limitierender Grenzwert aller Geschwindigkeiten vorgeschlagen. Man kann zwar *kontrafaktisch* mit rein logisch-mathematischen Möglichkeiten einer simultanen *actio in distans* operieren; aber diesen rein mathematischen Bildern eines euklidischen dreidimensionalen Raumes und einer raumunabhängigen Zeitgeraden entspricht nichts in der Realität.

2. Die Frage, wie sich eine Datierung mit einer lokalen Uhr (die Eigenzeit) zur Datierung von einer Uhr an einem anderen, relativ bewegten Ort aus per Informationsübertragung verhält, ist keine rein definitorische Frage, sondern hängt von allgemeinen (»empirischen«) Tatsachen ab. Die Theorie der speziellen Relativitätstheorie ist ein System von Transformationsregeln, welche das Verhältnis verschiedener möglicher Datierungen und Zeitmessungen zueinander bestimmen. Dass die Zeit relativ sei, bedeutet dabei, dass es bei der Zeitmessung nicht bloß auf die verwendete Uhr, sondern auch auf den Ort, also auf die relative Bewegung der Uhr zu anderen realen Dingbewegungen und zu anderen bewegten Uhren ankommt. Der Unterschied zur traditionellen Auffassung von der Zeit als linearer Ordnung ortsunabhängiger Zeitzahlen – bestimmt durch möglichst gute, d. h. orts- und bewegungsinvariante Uhren, die idealiter bei jedem Zusammentreffen die gleichen Zeitzahlen liefern – besteht in der Problematisierung der in der Tat nicht trivialen Ortsinvarianz. Das Ergebnis ist: Es gibt keine idealen Uhren.

Dabei bleibt die Zeit durchaus eine Form des »inneren« Sinnes, wenn man diesen Ausdruck Kants angemessen interpretiert: Jede Zeitmessung misst oder zählt »innere«, etwa zyklische, Bewegungsabläufe eines Geräts, einer Uhr oder eines lokalen dynamischen Systems, auch eines Organismus, und es werden in Bezug auf diese inneren Zustände und ihre Zählung (als Ausdruck einer Reihung) äußere Ereignisse und Bewegungen vergleichend datiert.

Dass hier die Informationsübertragung wichtig wird, sollte uns nicht allzu sehr wundern. Schon im Alltag sind Aussagen darüber, was an einem fernen Ort jetzt stattfindet oder schon stattgefunden hat, von uns nur in einer möglichen Zukunft selbst kontrollierbar, etwa indem wir hinfahren und die Folgen besichtigen oder uns von dem Ereignis berichten lassen, die jeweils lokalen Datierungen miteinander vergleichen und in eine – von möglicherweise mehreren – lineare Ordnung der Abfolgen bringen. Aussagen über Ereignisse, die »jetzt« an fernen Orten stattfinden, sind daher als eine Art Prognose anzusehen für etwas, was wir in der Zukunft erfahren können. Und was wir jetzt erfahren, etwa die Lichtwahrnehmung eines fernen Sterns, ist ferne Folge einer Ursache, die in der Vergangenheit liegt und deren Datierung abhängig ist von der Wahl eines bestimmten Mess-Ortes und darum keineswegs absolut oder eindeutig.

Berühmt wurde diese Einsicht und mit ihr Einstein als erste Pop-Ikone der Wissenschaft nicht etwa nur dadurch, dass sie für die Physik, konkreter die Dynamik, also für das Verständnis ihrer Daten, Gleichungen und Gesetze bedeutsam ist, sondern dadurch, dass auf der Grundlage der Lorentz-Transformationen allerlei scheinbare Paradoxa auftreten, z. B. die berühmte *Zeitdilatation*. Sie besagt, dass ein relativ zu einem anderen erheblich schneller im Raum bewegter Körper langsamer ›altert‹, d. h., dass der äußere Bewegungszustand Einfluss hat auf die Geschwindigkeit der inneren Abläufe im bewegten Körper. Die Geschichten, die man aus dieser Tatsache spinnt, sind bekannt. Man stellt sich vor, dass einer auf eine sehr schnelle Reise geht, zurückkommt und noch in gutem Alter vielleicht seine eigenen Urururenkel antrifft. Dass es sich hier um eine faktisch unmögliche *science fiction* handelt, in der mathematische Aspekte eines allgemeinen Rahmens rein metaphorisch mit einer speziellen Vorstellung kommentiert werden, davon sieht man zugunsten des spannenden Märchens ab. Die Geschwindigkeiten der bewegten Festkörper relativ zum Sonnensystem und Sternen-All würden nämlich viel zu groß, sodass die Zerstörung des Lebens, ja schon größerer Festkörper, die unmittelbare Folge wäre. Anders gesagt, Beschleunigungen, welche in die Nähe der Lichtgeschwindigkeit führen, verwandeln die Dinge schon längst und passen daher konkret nur für Elemente der Teilchenphysik. Richtig aber bleibt: Uhren als Zeittaktgeber liefern nur in sehr begrenzter Weise gute Zeitzahlen und Datierungen, und zwar in Abhängigkeit von ihrem relativen Bewegungszustand.

## 7. Sein und Zeit

Einen radikal neuen Blick auf die Zeit in ihrem Verhältnis zu unserem Dasein lehrt Heidegger – gegenüber den eleatisch-platonischen und aristotelischen Traditionen in den Wissenschaften und gegen neuplatonische Traditionen in den Theologien des Christentums, aber auch des Judentums und des Islams – indem er auf seine Weise Kant zu Ende denkt.<sup>9</sup> Er betont, dass jeder ›objektive‹ oder ›kosmologische‹ Zeitbegriff abkünftig ist gegenüber der unmittelbar *erlebten* Zeitlichkeit unseres Daseins. Die Zeitlichkeit unseres Daseins zeigt sich, Heidegger zufolge, wesentlich darin, dass wir uns immer, wenn es uns um uns selbst geht, um unsere *Zukunft* sorgen. Ein Selbstverhältnis kann zwar auch darin bestehen, dass es uns um unsere *Vergangenheit*, um die Erinnerung an das geht, was wir gewesen sind und was wir getan haben. Ein Interesse an irgendeinem Wissen und an irgendeinem Ding, gerade auch an uns selbst und

---

<sup>9</sup> Martin Heidegger, *Sein und Zeit* [1927], 16. Aufl., Tübingen 1987.

unserer Selbsterhaltung, haben wir aber immer nur, wenn wir eine mögliche Zukunft entwerfen. Jede Zukunft ist modal, bloß eine Möglichkeit. Das gilt wesentlich auch für unsere eigene Zukunft. Der *Entwurf* bestimmt, wer wir sein können. Er bestimmt damit auch mit, wer wir sein werden.

Aus dieser Struktur der Sorge um ein gutes Weiterleben rührt nach Heidegger die Angst oder Beengung, die wir spüren mögen, wenn wir an die Endlichkeit dieser Sorge und dieses Daseins denken und diese Tatsache der Endlichkeit, die Tatsache unseres Todes, als eine wesentliche Grenze jeden Selbstbezugs akzeptieren müssen. Die Sorge des Daseins um das zukünftige Dasein geht dabei, wie schon erwähnt, in vielerlei Hinsicht auch über den Tod hinaus, etwa wenn es uns darum geht, wie wir von unseren Kindern und von zukünftigen Generationen gesehen werden. Immer aber bleibt dieser Horizont begrenzt, eine Art ausgedehnte, aber endliche Gegenwart.

Nach Heidegger ist Zeit also unmittelbar bestimmt durch den Unterschied der Präsenz des Daseins oder menschlichen Lebens, seine Gerichtetheit oder Intention auf Zukünftiges und seine Erinnerung an Vergangenes, nicht durch die Maßzahlen für intersubjektive Datierungen etwa zu technischen, auch prognostischen Zwecken, oder durch das Ordnen und Zählen innerer Ereignisfolgen.

Heidegger betont darüber hinaus noch emphatischer als Kant oder Hegel, dass ein recht begriffenes und authentisch ergriffenes Leben die Tatsache zu akzeptieren hat, dass wir nicht unsterblich sind, und dass es eine Seele nur als *façon de parler*, als Redeweise über unser menschliches Dasein gibt. Im Existentialismus französischer Prägung wurde dieses Akzeptieren der Endlichkeit, ähnlich wie schon bei Friedrich Nietzsche (1844 bis 1900), zu einer Art heroischer Tat stilisiert, was Heidegger freilich so kaum intendiert hat. Ihm geht es eher um die Einsicht, dass alles objektive Wissen der Wissenschaften, wie auch der objektive Begriff einer gemessenen und datierten Zeit, sekundär ist gegenüber ursprünglicheren und in den Wissenschaften immer schon vorausgesetzten Lebenserfahrungen. Die Wissenschaft von der Natur wird in den meisten ihrer Teile als Technikwissenschaft entlarvt, als Mittelwissen für alle möglichen Besorgungen, das trotz oder gerade wegen der behaupteten Objektivität seine eigenen Sinnbestimmungen und Voraussetzungen leicht übersieht. Dem verdeckten Anthropozentrismus der Darstellungsformen der Naturwissenschaft korrespondiert eine selbstvergessene, verdinglichende Beschreibung von uns selbst als Gegenstände einer bloßen Beobachtung von außen – etwa im Behaviorismus, in dem mit dem Betrachter gerade die Mittel-Zweck-Beziehungen dieser Darstellungen und der vorgängigere Bezug des Seins jedes Dings und der Wahrheit jeder Aussage zum vorausgesetzten Dasein ausgeblendet werden. Das *Dasein* ersetzt hier ganz offenkundig die (humane) Lebenswelt, das als Thema

von Edmund Husserls (1859 bis 1938) Phänomenologie anzusehen ist. In appellativer Erinnerung an Existentialien wie die Zeitlichkeit der Sorge oder des Gewissens werden Grundstrukturen titelartig explizit gemacht.

Für die kosmologische Frage nach der Zeit ergibt sich aus Husserls und Heideggers Analysen die Einsicht, dass alle Modelle, die wir vom Entstehen der Welt entwerfen und in denen wir von einem Anfang oder einem Ende der Zeit reden, von uns entworfene mathematische Vorstellungen sind. Die Zeit tritt als ein Teilaspekt der Struktur realer raumzeitlicher Messungen und idealer Messbarkeiten auf. Der Wahrheitsanspruch eines solchen Modells, das in der modernen Physik mit einem Anfang etwa nach Art des Urknalls und mit einem Ende des Wärmetodes der Entropie gedacht ist, reduziert sich am Ende darauf, dass wir die Bilder in den Bereich unserer technisch (experimentell) und empirisch (in Beobachtungen) bewährten Theorien und damit in unsere guten Erfahrungen mit diesen Theorien einbetten.

Am Entwurf dieser Bilder ist *per se* nichts Falsches. Wir machen uns ja zu allerlei Zwecken allerlei Bilder. Falsch ist nur, sie objektiv und/oder existentiell zu missdeuten, wie dies z. B. bei philosophierenden Wissenschaftlern wie Roger Penrose (geb. 1931) oder Stephen Hawking (geb. 1942) geschieht. Dass die Erde weder ewig bestand noch ewig bestehen wird, sollte als Truismus gelten und unser Selbstverhältnis und unsere Lebenshaltung nicht mehr beeindrucken. Es ist ebenso selbstverständlich wie das Wissen um unsere Sterblichkeit, das uns ebenfalls weniger beeindrucken sollte, als es dies zumeist tut. Es geht nämlich nicht darum, den Tod zu vermeiden, sondern das Leben gut zu führen.

Indem mit diversen Kosmologien allerlei pseudoethische und pseudo-religiöse Emphasen verbunden sind, zu denen die wichtigsten der Sinn-Nihilismus und der Sozialdarwinismus samt dem zugehörigen Rassismus zählen, sind diese neuzeitlichen und modernen Theorien nicht weniger metaphysisch und unwissenschaftlich als irgendwelche anderen kosmologischen Modellbilder der Menschheitsgeschichte. Das Problem ist, dass diese spekulativen Rekonstruktionen mit einem in Form und Status unverstandenen ›objektiven‹ Wahrheitsanspruch auftreten und sich nicht als moderne Mythen begreifen, deren Funktion die Anpassung eines Weltbildes an allgemeine Erfahrungen, nicht die ›Deskription‹ einer erfahrungswissenschaftlich erforschten ›objektiven Wahrheit‹ an sich ist. Hier wird die Naturwissenschaft und ihr Begriff von Zeit und Raum möglicherweise zur Ideologie, ähnlich wie z. B. der Materialismus oder Physikalismus eine Welthaltung und nicht etwa eine wahre oder falsche ›Theorie‹ ist, gerade dort, wo das Wissen vom Menschen in den schon von der Sache her *ideologiekritischen* Geisteswissenschaften und der Philosophie nicht mehr als ›wissenschaftlich‹ verstanden wird. Wenn man dann nicht einmal mehr über die Wissenschaft, ihre Kriterien der Geltung, d. h. über die praktische

Bedeutung und Bedeutsamkeit ihrer Wahrheitsansprüche, selbst nachdenkt, was nur im Denkmodus von Philosophie und Geisteswissenschaften geschehen kann, verrät man sogar noch das humane Projekt der Wissenschaft selbst.

## 8. Zeit und Sein

Gegen jede Tradition des Messianismus, jede Ewigkeit und jede unsterbliche Seele, mit der ein heroisches Leben rein auf die Zukunft hin ausgerichtet wird, hat sich der spätere Heidegger in einer radikalen Kehre wieder Heraklit zugewandt. Es geht ihm dabei um die Bedeutung der *Gegenwart* und damit um die Bedeutsamkeit der gelassenen Anerkennung aller Endlichkeiten und nur begrenzten Machbarkeiten gegen ein überschwängliches Wollen und Sollen. Das richtet sich auch gegen eine übersteigerte Verantwortlichkeit für eine vage Zukunft, sozusagen unter anderem gegen seinen Schüler Hans Jonas (1903 bis 1993) und partiell auch gegen die Konzeption einer *vita activa* seiner früheren Geliebten Hannah Arendt (1906 bis 1975), vor dem Hintergrund der Gedanken Nietzsches zum Vorrecht der Gegenwart angesichts einer unüberschaubaren Veränderlichkeit der Welt. An die Stelle hypostasierter ethischer Werte tritt eine Bestimmung dessen, was ein gutes humanes Leben aus der Binnenperspektive gegenwärtigen Vollzugs ist. Die Bedeutsamkeit dieser unaufhebbaren Perspektivität wird verkannt, wenn man Heidegger mit Jacques Derrida (1930 bis 2004) ›Präsentismus‹ vorwirft, mit Walter Benjamin (1892 bis 1940) selbst weiter messianisch denkt oder mit Emanuel Levinas (1906 bis 1995) Martin Bubers (1878 bis 1965) Dialogphilosophie utopisch überhöht. Es geht Heidegger weniger um ein gutes Ich-Du-Verhältnis als um die Einsicht, dass jedes Wissen einer Wahrheit in der *Offenheit der erscheinenden Gegenwart* verbleibt. Am Ende gilt das auch für jede kleine sinnvolle Sorge – wenn man nur in der Lage ist, die relevante Gegenwart ihres Inhalts zu bestimmen, der dann allerdings zeitlich weiter reicht als das eigene beschränkte Leben und weit mehr Menschen umfasst als bloß den Einzelnen, seine Verwandten und vielleicht noch ›sein Volk‹.

Der Appell an das Hier und Jetzt als Ort des wahren Lebens richtet sich mit Nietzsche auch gegen blinde Vergötterungen von Techniken, die immer nur Mittel, nie aber für sich selbst Erfüllungen schaffen. Zu diesem Ergebnis kommt Heidegger erst in späteren Neujustierungen seiner Analysen des Verhältnisses von *Sein und Zeit*, die ihn zunächst auf einen »Holzweg« und nicht in die »Lichtung des Seins« geführt hatte – um hier seine eigenen Worte zu gebrauchen. Seine ›Kehre‹ ist daher nicht etwa als Umwendung oder gar Bekehrung zu deuten, auch wenn sich die Betrachtungsweise aus *Sein und Zeit* partiell

umdreht. Zunächst hatte er den der Strukturaspekt der Sorge um die Zukunft im Dasein, d. h. im Leben der Menschen, für ursprünglicher erklärt als den Begriff der intersubjektiven und objektiven Zeit in ihrer Gerichtetheit von einer unveränderbaren Vergangenheit über die gegebene Gegenwart in eine partiell offene Zukunft. Jetzt wird das Sein oder Dasein der Menschen seinerseits eingebettet in ein ›Seinsgeschehen‹, d. h. in die *Geschichtlichkeit* der Bedingungen menschlichen Lebens, gerade auch der zugehörigen Institutionen wie Wissenschaft und Kunst, Wirtschaft und Politik. Und es werden die üblichen Bilder von dieser Geschichte als konventionalisierte Erzählungen destruiert.

Es geht dabei natürlich um die Menschenzeit, nicht um die individuelle Lebenszeit des Einzelnen, um die Menschenpraxis und nicht bloß um eine Vernunft, um die Seinsgeschichte und nicht nur um die je eigene Geschichte. Es geht um die allgemeine Entwicklung geistigen Lebens, in welche das einzelne Dasein geworfen ist und in dem die Einzelperson zu dem wird, was sie ist. Und es geht um eine Hoffnung auf ein freies Leben.

Die Zeit als Natur- und Kulturgeschichte wird dabei sozusagen zum *Medium* des Daseins. Die Teilnahme an einem allgemeinen Geist macht uns zu Personen, zu vernünftigen Wesen oder unvernünftigen – je nachdem, wie wir diese Möglichkeiten ergreifen, die uns die Zeit, unsere Epoche, anbieten.

Heidegger kehrt hiermit, bildlich gesprochen, zurück zu einem neuen und zugleich alten Gott, zu *Chronos*, und damit zum Anfang der Philosophie in Heraklits Kontrastierung des empirischen Werdens und dem stehenden *Logos*. Eben damit aber kehrt er auch zurück zum Programm des Deutschen Idealismus, zunächst zu Hölderlin, um dann die gleichen Feldwege abzugehen wie Hegel, wobei sein Gang freilich auf eine ganz eigene, nicht logische, sondern ästhetisch-appellative Weise vorgestellt wird. Wie dies im Einzelnen aussieht, das vorzuführen reicht mir und uns heute freilich ›die Zeit‹ nicht hin, die wir uns eilig ›sparen‹, um schneller ans Ende zu kommen.

Wolfgang Huschner

## Probleme bei der Angabe von Jahres- und Tagesdatierungen in mittelalterlichen Urkunden<sup>1</sup>

Die Überprüfung von Datierungen in den überlieferten Annalen, Chroniken und Urkunden aus mittelalterlicher Zeit gehört zu den Standardaufgaben von Quelleneditoren und Historikern. Die Feststellung, Analyse und Interpretation menschlichen Handelns in Raum und Zeit erfordern zuvor die kritische Prüfung der Datierungen in den tradierten Dokumenten.<sup>2</sup> Als Beispiel für die geschichtswissenschaftliche Relevanz urkundlicher Datierungen, zu denen die Angaben über Ort und Zeit der Urkundenausstellungen gehörten, seien Untersuchungen zu den Regierungsformen und zur politischen Struktur des ottonischen Imperiums kurz vorgestellt.

Das 962 durch Otto I. (936 bis 973) wiedererrichtete westliche christliche Imperium bildete in der Binnensphäre eine Union zwischen dem nordalpinen ostfränkisch-deutschen und dem südalpinen italienischen Königreich.<sup>3</sup> Politisch waren das Imperium und die darin existierenden Regna polyzentrische Gebilde. Sie bestanden aus vielgestaltigen personalen Beziehungsgefügen von geistlichen und weltlichen regionalen Herrschaftsträgern. Adelsfamilien verfügten in ihren Regionen in der Regel über eigene Besitzungen und Herrschaftsrechte, die unabhängig vom König oder Kaiser waren. Deshalb musste der Herrscher bei allen wichtigen Entscheidungen, die das gesamte Imperium oder nur eine Region betrafen, die Interessen der betroffenen geistlichen und weltlichen Fürsten berücksichtigen. Sie bildeten und trugen das Imperium gemeinsam mit dem Herrscher. Man bezeichnet diese ottonische Regierungsform in der aktuellen Forschung als »konsensuale Herrschaftsausübung«.<sup>4</sup> Die Hauptaufgabe des

---

1 Mit Fußnoten versehene und geringfügig veränderte Fassung des Vortrags, der auf dem Ehrenkolloquium für Prof. Dr. med. Elmar Peschke anlässlich seines 70. Geburtstages am 5. Mai 2015 in der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig gehalten wurde.

2 Theodor Sickel, »Beiträge zur Diplomatik VI«, in ders., *Beiträge zur Diplomatik I–VIII*, Hildesheim/New York 1975, S. 355 f., 384–388, 395–399, 427–457.

3 Gyula Pápay, Karte »Das Reich Ottos des Großen um 973«, in Matthias Puhle (Hg.), *Otto der Große, Magdeburg und Europa*, 2 Bde., Mainz 2001, Bd. 1, S. 12.

4 Bernd Schneidmüller, »Konsensuale Herrschaft. Ein Essay über Formen und Kon-

Königs bzw. Kaisers bestand darin, in dem komplexen Netzwerk der sozialen Führungsgruppen das integrative Zentrum zu bilden. Dem König oblag es, den geistlichen und weltlichen Fürsten eine Teilhabe an der Regierung des Reiches zu ermöglichen, die ihrem Rang bzw. ihrem Selbstverständnis entsprach. Das durch die Herrscher zu koordinierende Zusammenwirken mit den Erzbischöfen, Bischöfen und Äbten oder Äbtissinnen sowie mit den Herzögen, Markgrafen und Grafen war für die politische Organisation des ottonischen Reiches konstitutiv. Die einzige deutlich raumstrukturierende Institution, an die sich die ottonischen Herrscher anlehnen konnten, war die Kirchenorganisation mit ihrer Gliederung in Erzbistümer und Bistümer.<sup>5</sup> Besondere Unterstützung erhielten sie durch geistliche und weltliche Amtsträger am Königs- bzw. Kaiserhof.<sup>6</sup>

## Der reisende Hof der Ottonen

Das ottonische Imperium verfügte über keine Hauptstadt. Dafür fehlten die administrativen, infrastrukturellen, verkehrstechnischen und wirtschaftlichen Voraussetzungen. Die gewöhnliche Regierungstätigkeit der Herrscher vollzog sich im Rahmen einer immerwährenden Reise des Hofes durch verschiedene Gebiete des Reiches. Der reisende Kaiser- oder Königshof, der unterwegs tage- oder wochenweise an verschiedenen Orten Station machte, war das bewegliche politische Zentrum des gesamten Imperiums. Eine reisende Regierungsweise ist für solche früh- und hochmittelalterlichen Reiche charakteristisch, die einen vielgestaltigen Herrschaftsaufbau aufweisen, in dem personale Beziehungen und naturalwirtschaftliche Bedingungen dominieren und eine reduzierte Schriftlichkeit existieren. Im Unterschied zu den ottonischen Herrschern verfügten die oströmisch-byzantinischen Kaiser mit Konstantinopel über eine Hauptstadt und einen festen Regierungssitz mit relativ ausdifferenzierter Administration sowie etablierten Ritualen und Zeremonien.<sup>7</sup> Aus der Perspektive

---

zepte politischer Ordnung im Mittelalter«, in Paul-Joachim Heinig u. a. (Hg.), *Reich, Regionen und Europa in Mittelalter und Neuzeit. Festschrift für Peter Moraw* (Historische Forschungen, Bd. 67), Berlin 2000, S. 53–87.

5 Wolfgang Huschner, »Die ottonisch-salische Reichskirche«, in Matthias Puhle und Claus-Peter Hasse (Hg.), *Heiliges Römisches Reich Deutscher Nation 962 bis 1806. Von Otto dem Großen bis zum Ausgang des Mittelalters*, 2 Bde., Dresden 2006, Bd. 1, S. 98–109.

6 Wolfgang Huschner, »Der ottonische Kaiserhof (962–1002). Aufgabenspektrum und Personalstruktur«, in *Le corti nell'alto medioevo* (Settimane di Studio della Fondazione Centro Italiano di Studi sull'alto medioevo, Bd. 62), 2 Bde., Spoleto 2015, Bd. 1, S. 197–230.

7 Peter Schreiner, *Byzanz 565–1453* (Oldenbourg Grundriss Geschichte, Bd. 22), 4. Aufl., München 2011, S. 66–72; Michael Featherstone, »Space and ceremony in the Great

der Zeitgenossen repräsentierte das oströmisch-byzantinische Imperium im Früh- und Hochmittelalter die ununterbrochene Kontinuität zum antiken Römischen Reich. An diesem Modell orientierten sich nicht nur die westlichen christlichen Imperien der Karolinger und Ottonen, sondern auch die muslimischen Kalifate.<sup>8</sup> Im 10. Jahrhundert stand der Basileus bzw. der Hauptkaiser in Konstantinopel an der Spitze der christlichen Welt. Der neue westliche Kaiser Otto I. und der bereits seit 927 amtierende Zar Peter von Bulgarien konkurrierten um den zweiten Rang *nach* dem Basileus.<sup>9</sup>

Die hauptsächlichen Informationen über die Reisewege ottonischer Herrscher stammen aus den Datierungen der überlieferten Kaiser- und Königsurkunden. Sie enthalten in der Regel Angaben über den Ort sowie über das Jahr, den Monat und den Tag der Ausstellung. Diese Datierungselemente geben damit Auskunft über die wechselnden Aufenthaltsorte der ottonischen Herrscher, weil die Urkunden mit dem königlichen oder kaiserlichen Siegel beglaubigt werden mussten, das man am reisenden ottonischen Hof mitführte. Um die erforderlichen periodischen Zusammenkünfte zwischen dem Herrscher und den regionalen geistlichen und weltlichen Fürsten zu ermöglichen, reisten sowohl die Herrscher als auch die Fürsten und trafen sich an zuvor verabredeten Orten. An der Berliner Humboldt-Universität untersuchte eine Forschergruppe unter der Leitung von Eckhard Müller-Mertens (1923 bis 2015) in den 1980er Jahren die ottonische und frühsalische Reise-, Urkunden- und Versammlungspraxis auf der Grundlage neuer Methoden. In seiner Pilotstudie über Otto I. von 1980 verwendete Müller-Mertens erstmals eine Kombination von quantitativen und qualitativen Kriterien, um die Reisen des Herrscherhofes in Raum und Zeit zu verfolgen und differenziert zu beurteilen.<sup>10</sup>

Bei der systematischen Analyse der Reise- und Versammlungspraxis stellte sich heraus, dass die Treffpunkte für Hoftage, Synoden und kleinere Zusammenkünfte nicht gleichmäßig über das nordalpine ostfränkisch-deutsche Königreich verteilt, sondern vor allem in drei Regionen stattfanden, die man in der

---

Palace of Constantinople under the Macedonian Emperors«, in *Le corti nell'alto medioevo* (Settimane di Studio della Fondazione Centro Italiano di Studi sull'alto medioevo, Bd. 62), 2 Bde., Spoleto 2015, Bd. 2, S. 587–607.

8 Almut Höfert, *Kaisertum und Kalifat. Der imperiale Monotheismus im Früh- und Hochmittelalter*, Frankfurt a. M. 2015.

9 Wolfgang Huschner, »Kaiser der Franken oder Kaiser der Römer? Die neue imperiale Würde Ottos I. im euromediterranen Raum«, in Matthias Puhle und Gabriele Köster (Hg.), *Otto der Große und das Römische Reich. Kaisertum von der Antike zum Mittelalter*, Regensburg 2012, S. 518–527.

10 Eckhard Müller-Mertens, *Die Reichsstruktur im Spiegel der Herrschaftspraxis Ottos des Großen* (Forschungen zur mittelalterlichen Geschichte, Bd. 25), Berlin 1980.

Fachliteratur als »politische Zentralräume« bezeichnet. Das waren das damalige *Ostsachsen-Nordthüringen* mit den politischen Vororten Allstedt, Magdeburg, Memleben, Quedlinburg, Wallhausen und Werla, das *Rhein-Main-Gebiet* mit Frankfurt, Ingelheim, Mainz und Worms sowie *Niederlothringen* bzw. das *Niederrhein-Maas-Gebiet* mit Aachen, Köln und Nimwegen. An verschiedenen Orten dieser drei Zentralräume hielt sich der Herrscher am häufigsten und am längsten auf; hier fanden weitaus die meisten Versammlungen zwischen den Herrschern und den geistlichen und weltlichen Fürsten statt. Mithilfe der Zusammenkünfte wurden durch die periodische Präsenz der regionalen Repräsentanten auch jene Gebiete in die Königsherrschaft integriert, in welche der Herrscherhof nie oder nur selten reiste.<sup>11</sup> Die Eigenbesitzungen der Ottonen in Ostsachsen und Nordthüringen bildeten die ökonomische Basis für die längeren Aufenthalte des Herrschers in diesem Zentralraum. Das ostsächsisch-nordthüringische Gebiet war in der Regel der Ausgangs- und Endpunkt der königlichen Reisen. Dort hielt sich der Herrscherhof besonders lange auf, dort traf sich der König häufig mit Fürsten aus anderen Gebieten. Aufgrund dieser und anderer Kriterien qualifizierte Müller-Mertens *Ostsachsen-Nordthüringen* als Basislandschaft des ottonischen Königtums.<sup>12</sup> Seine Untersuchungsergebnisse, die später noch durch weitere Studien über karolingische, ottonische und früh-salische Herrscher flankiert wurden,<sup>13</sup> bilden die wichtigste wissenschaftliche Grundlage dafür, dass das heutige Bundesland Sachsen-Anhalt die ottonische Tradition in den Vordergrund rücken kann, wie das besonders in den national wie international stark beachteten Magdeburger Ottonen-Ausstellungen von 2001 und 2012 geschehen ist.<sup>14</sup>

---

11 Eckhard Müller-Mertens, »Verfassung des Reiches, Reichsstruktur und Herrschaftspraxis unter Otto dem Großen«, in Matthias Puhle (Hg.), *Otto der Große, Magdeburg und Europa*, 2 Bde., Mainz 2001, Bd. 1, S. 189–198; S. 190, Karte »Die Intensität königlicher Herrschaft im Reich Ottos des Großen«; S. 194, Karte »Itinerar Ottos des Großen. Politische Zentralräume des Regnum 936–973«; S. 196, Karte »Hauptausstellungsgebiete ottonischer Königs- und Kaiserurkunden«. Die kartografische Gestaltung der drei Karten im Beitrag von Eckhard Müller-Mertens übernahm Gyula Pápay (Rostock).

12 Müller-Mertens, Reichsstruktur (Fn. 10), S. 143–148.

13 Elfie-Marita Eibl, »Zur Stellung Bayerns und Rheinfrankens im Reiche Arnulfs von Kärnten«, in *Jahrbuch für Geschichte des Feudalismus* 8 (1984), S. 73–113; Eckhard Müller-Mertens und Wolfgang Huschner, *Reichsintegration im Spiegel der Herrschaftspraxis Kaiser Konrads II.* (Forschungen zur mittelalterlichen Geschichte, Bd. 35), Weimar 1992; Dirk Alvermann, *Königsherrschaft und Reichsintegration. Eine Untersuchung zur politischen Struktur von regna und imperium zur Zeit Kaiser Ottos II. (967) 973–983* (Berliner Historische Forschungen, Bd. 28), Berlin 1998.

14 Matthias Puhle (Hg.), *Otto der Große, Magdeburg und Europa*, 2 Bde., Mainz 2001 (27. Ausstellung des Europarates und Landesausstellung Sachsen-Anhalt im Kulturhisto-

Wie schon erwähnt, existierten im nordalpinen Königreich neben *Ostsachsen-Nordthüringen* noch zwei weitere Zentralräume. Im *Rhein-Main-Gebiet* sowie in *Niederlothringen* nutzte Otto I. für die wirtschaftliche Absicherung seiner Aufenthalte ehemals karolingische Besitzungen. Die Verbindungswege zwischen diesen drei Zentralräumen, die sogenannten Königstraßen, waren infrastrukturell so weit organisiert, dass der Herrscherhof sie auf seinen Durchreisen regelmäßig nutzen konnte. Dafür nahmen die Ottonen oft Beherbergung und Verpflegung durch bischöfliche Kirchen und königliche Klöster in Anspruch. Dagegen hielten sich die Könige in den Zentralräumen vorzugsweise an den königlichen Pfalzen auf. Die zu den Versammlungen in die Zentralräume anreisenden geistlichen und weltlichen Fürsten mussten dafür eigene Infrastrukturen errichten. Die Herrscher aus Schwaben reisten meist zu Versammlungen in das *Rhein-Main-Gebiet* und die aus Bayern begaben sich oft nach *Ostsachsen-Thüringen*. Für spezifische Treffen zwischen dem Herrscher und bayerischen Fürsten wurde auch mehrfach Regensburg, der politische Vorort Bayerns, genutzt. Ansonsten durchquerten die ottonischen Herrscher Bayern und Schwaben meist nur auf dem Weg nach Italien.<sup>15</sup> Für Zusammenkünfte mit den Herrschern in Italien reiste der ottonische Hof auf die Apenninhalbinsel und blieb dort meist mehrere Jahre. Aufgrund der qualitativ höheren Infrastruktur mit antiken Grundlagen konnten Pavia und Ravenna in Oberitalien sowie Rom in Mittelitalien als politische Zentralorte für Versammlungen und kleinere Zusammenkünfte mit geistlichen und weltlichen Fürsten dienen.<sup>16</sup> Umgekehrt reisten auch geistliche und weltliche Fürsten aus Italien oder ihre Boten und Gesandten in nordalpine Zentralräume, wenn sich der ottonische Hof dort aufhielt.<sup>17</sup> Innerhalb der drei Zentralräume nördlich der Alpen bildete die Verbindung zwischen *Ostsachsen-Nordthüringen* und dem *Rhein-Main-Gebiet* die wichtigste Verkehrsachse für die politische Organisa-

---

rischen Museum Magdeburg, 27. August bis 2. Dezember 2001); Matthias Puhle und Gabriele Köster (Hg.), *Otto der Große und das Römische Reich. Kaisertum von der Antike zum Mittelalter*, Regensburg 2012 (Landesausstellung Sachsen-Anhalt aus Anlass des 1100. Geburtstages Ottos des Großen im Kulturhistorischen Museum Magdeburg, 27. August bis 9. Dezember 2012).

15 Müller-Mertens, Reichsstruktur (Fn. 10), S. 107–121; ders., Verfassung (Fn. 11), S. 194, Karte »Itinerar Ottos des Großen. Politische Zentralräume des Regnum 936–973«; Alvermann, Königsherrschaft (Fn. 13), S. 157–162.

16 Alvermann, Königsherrschaft (Fn. 13), S. 148–157, 182–184, 196–198.

17 Rudolf Schieffer, »Urkunden, die über die Alpen getragen wurden«, in Olaf B. Rader unter Mitarbeit von Mathias Lawo (Hg.), *Turbata per aequora mundi*. Dankesgabe an Eckhard Müller-Mertens (Monumenta Germaniae Historica. Studien und Texte, Bd. 29), Hannover 2001, S. 37–47.

tion des nordalpinen Reiches.<sup>18</sup> Erst unter den staufischen Herrschern änderte sich dann die ottonisch-salische Konfiguration der politischen Zentralräume endgültig. Die Bedeutung des *Rhein-Main-Gebiets* für die politische Organisation des Reichsverbandes blieb erhalten, *Ostsachsen-Nordthüringen* verlor dagegen seinen Status als Zentralraum.

Die ottonischen Herrscher begaben sich mit dem sogenannten engeren Hof auf die Reise, der mehrere hundert Personen umfasste. Darunter befanden sich natürlich auch Logistik-Experten. Sie waren für die Planung und logistische Absicherung der Reisen und Aufenthalte des Herrscherhofes verantwortlich. Dazu gehörten nicht nur die Reisen zu Hoftagen und Synoden, sondern auch die Vorbereitung der Feiern der großen Kirchenfeste Weihnachten, Ostern und Pfingsten. Bei Zusammenkünften in Verbindung mit herausragenden Festen des Kirchenjahres, vor allem an den Herren-, Marien- und Apostelfesten, konnte sich der ottonische Hof auf tausend und mehr Personen erweitern.<sup>19</sup> Deshalb kam bei potenziellen Gastgeber für solch einen erweiterten Hof nicht immer die ganz große Freude auf, wenn der König zur Feier eines Osterfestes, die mindestens zwei Wochen dauerte, einen Bischofssitz auswählte.

Bevor man Aussagen über die Reise- und Versammlungspraxis der ottonischen Herrscher sowie über die politische Struktur des Reiches treffen konnte, mussten u. a. die Datierungen in den Kaiser- und Königsurkunden kritisch geprüft werden. Jede Herrscherurkunde bzw. jedes Diplom enthält drei Hauptbestandteile: das Eingangsprotokoll in der ersten Zeile (in verlängerter Schrift ausgeführt), den Kontext in der Mitte (in diplomatischer Minuskel geschrieben) und das Schlussprotokoll mit dem Herrschermonogramm und dem Siegel im unteren Teil des Pergaments. Die letzte Zeile des Schlussprotokolls und damit auch die letzte Zeile eines Diploms enthält die Datierung.<sup>20</sup> Den Ausstellungsmonat und den Ausstellungstag gab man in den ottonischen

---

18 Wolfgang Huschner, *Königliche Herrschaftspraxis im ottonisch-frühsalischen Reich (919–1056)*. Kurseinheit 3: *Königliche Herrschaftspraxis und Reichsintegration in früh-salischer Zeit (1024–156)*, Fernuniversität – Gesamthochschule – in Hagen, Hagen 1993, S. 39–42.

19 Wolfgang Huschner, »Kirchenfest und Herrschaftspraxis. Die Regierungszeiten der ersten beiden Kaiser aus liudolfingischem Hause (936–983)«, in *Zeitschrift für Geschichtswissenschaft* 41 (1993), S. 24–55, 117, 134; ders., *Kaiserhof* (Fn. 6), S. 200–210.

20 Zur inhaltlichen Gliederung und grafischen Gestaltung solcher Herrscherurkunden vgl. beispielsweise die Abbildungen und Beschreibungen der Diplome Ottos I. Nr. 361 und 387 sowie des Diploms Ottos II. Nr. 18 (MGH-Editionen) für die erzbischöfliche Kirche von Magdeburg, in: Matthias Puhle und Gabriele Köster (Hg.), *Otto der Große und das Römische Reich* (Fn. 14), S. 623–627.

Diplomen üblicherweise in Form des antiken Römischen Kalenders an. Man orientierte sich an dem durch Caesar eingeführten Julianischen Kalender, der das Jahr mit  $365\frac{1}{4}$  Tagen maß und alle vier Jahre im Februar einen Schalttag einschob. Das Ausstellungsjahr wurde in mehreren Formen ausgedrückt. Im 10. Jahrhundert datierte man nach der Inkarnationsära, d. h., nach der Menschwerdung des Herrn; man vermerkte also das entsprechende Jahr nach Christi Geburt. Dazu kamen die Regierungsjahre der Herrscher als König und Kaiser. Als Stichtag für die Berechnung galt die Wahl oder Krönung eines Königs oder Kaisers. Außerdem datierte man noch nach Indiktionszahlen. Bei der Indiktion handelt es sich um einen fünfzehnjährigen Steuerzyklus, der 297 durch Kaiser Diocletian (von 284 bis 305, gest. 311/312) eingeführt wurde (Berechnungsgrundlage: Jahr 3 vor Chr. Geburt = erstes Jahr einer Indiktion).<sup>21</sup>

Als Beispiel sei ein original überliefertes Diplom Ottos I. für das Kanonissenstift Quedlinburg angeführt (Abb. 1).<sup>22</sup> Die Monats- und Tagesdatierung (*Dat. non. kal. sep.*; neun Tage vor den Kalenden des September) ist in diesem Diplom mit dem 24. August aufzulösen. Als Inkarnationsjahr ist in römischen Zahlen 956 eingetragen. Zu diesem Jahr passt die Indiktionszahl 14. Die Angabe von 22 Regierungsjahren Ottos I. als König weist dagegen auf das Jahr 957 (Königserhebung Ottos I. erfolgte am 8. August 936). Ausnahmsweise ist in dieser Datierung auch noch die Zahl der Mondära mit 14 (richtig) angegeben. Demzufolge stimmen drei der vier Jahresangaben überein. Das spricht am ehesten für 956 als Ausstellungsjahr. Unproblematisch ist die Angabe des Ausstellungsortes Quedlinburg direkt unter der zeitgenössischen Skizze des Quedlinburger Burgberges. Unter Berücksichtigung weiterer Kriterien darf man mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit davon ausgehen, dass sich König Otto I. am 24. August 956 in Quedlinburg befand und dort diese Urkunde ausfertigen und beglaubigen ließ. Darin dokumentierte man die Güterschenkung Ottos I. im Umfang von sechs Dörfern für den Unterhalt seiner Tochter Mathilde in Verbindung mit deren Aufnahme in dieses Damenstift.

---

21 Hermann Grotefend, *Taschenbuch der Zeitrechnung des deutschen Mittelalters und der Neuzeit*, 13. Aufl., Hannover 1991, S. 1–11.

22 Theodor Sickel (Hg.), *Die Urkunden Konrad I., Heinrich I. und Otto I.* (Monumenta Germaniae Historica. Diplomata regum et imperatorum Germaniae, Bd. I), Hannover 1879–1884, Diplom Ottos I. Nr. 184 (D O. I. 184), S. 266 f.; Wolfgang Huschner, »Diplom König Ottos I. für das Kloster St. Peter in Quedlinburg«, in Matthias Puhle (Hg.), *Otto der Große, Magdeburg und Europa* (Fn. 14), Bd. 2, S. 115 f. mit Abbildung des D.O.I.184.

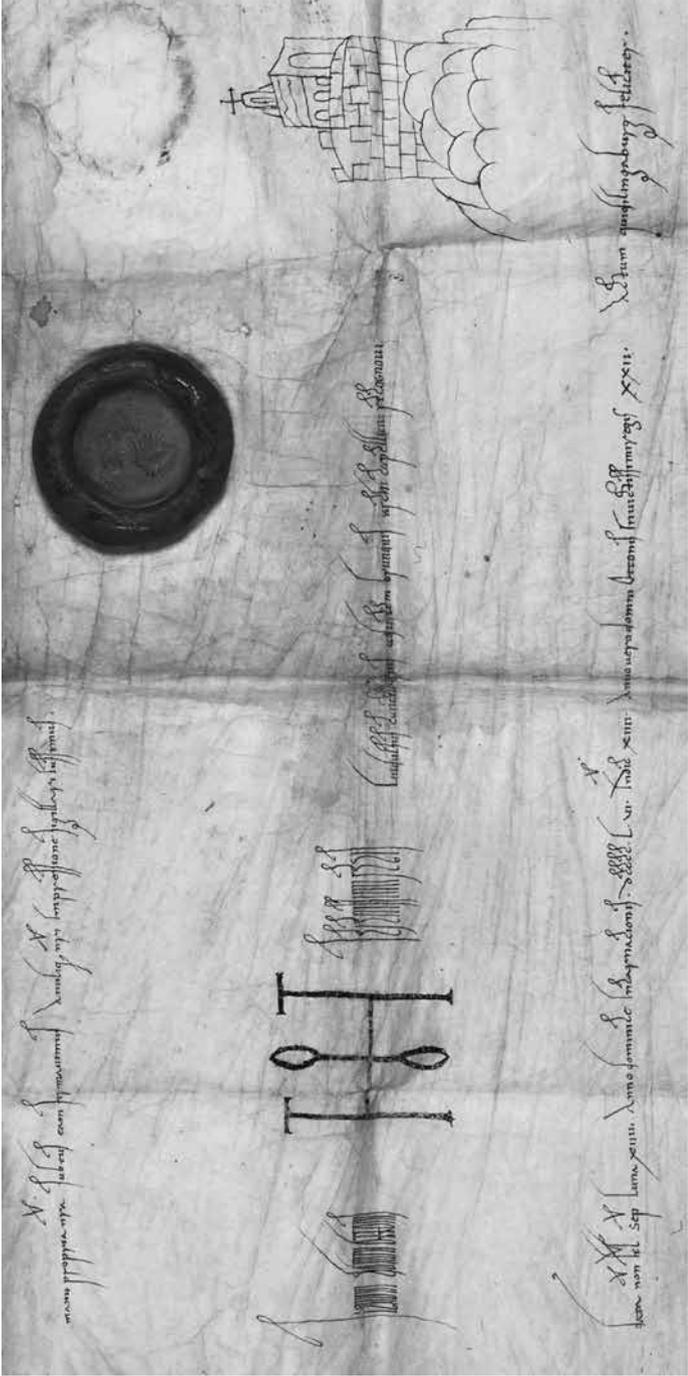


Abb. 1: Originaldiplom König Ottos I. für das Kanonissenstift Quedlinburg, 956 August 24 (D O. I. 184); Eschatokoll mit der Datierung. LHASA, MD, Rep. U 9, A Ia, Nr. 9.

Schwieriger zu interpretieren sind die Datierungsmerkmale in der Originalurkunde über einen Gütertausch zwischen König Otto I. und dem Grafen Billing.<sup>23</sup> Diese Urkunde Ottos I. wurde vier Tage vor den Nonen des Dezember (*Data IIII. non. desemb.*), also am 2. Dezember, ausgestellt. Als Ausstellungsort ist Allstedt (*actum in loco Altsteti*) eingetragen. Fraglich ist allerdings, in welchem Jahr der König in Allstedt war. Als Inkarnationsjahr ist in der Datierung 957 vermerkt, die Indiktion (14) verweist auf das Jahr 956 und das königliche Regierungsjahr (24) auf 960. Allein mit den eingetragenen Datierungsmerkmalen lässt sich keine Entscheidung über das Jahr treffen, in dem Otto I. einen Gütertausch mit dem Grafen Billing in Form dieser Urkunde dokumentieren ließ. Es muss letztlich offen bleiben, ob dieses Diplom 956, 957 oder 960 in Allstedt ausgefertigt wurde.

Theodor Sickel, der die Diplome Ottos I. in den 1870er und 1880er Jahren im Rahmen der Diplomata-Reihe der *Monumenta Germaniae Historica* edierte, hatte häufig große Schwierigkeiten, sie in eine chronologische Ordnung zu bringen. Er schrieb:

Es ist eine alte Klage der Historiker [...], dass sich die Urkunden Ottos durch grosse Verwirrung in den Zeitangaben unvortheilhaft auszeichnen, dass nur selten Regierungsjahre, Jahre nach Christi Geburt und Römerzinszahlen sich in Uebereinstimmung befinden und dass so der Ansetzung der Diplome oft unüberwindbare Schwierigkeiten bereitet werden [...]. Erwägen wir, dass allüberall, wo elementares Wissen einigermaßen verbreitet ist, begabtere Köpfe auch zu höherem Streben angeregt werden [...], so spricht es wahrlich nicht zu Gunsten der spätkarolingischen und der sächsischen Periode, dass das christliche Abendland seit Alcuin und Dungal so gar keinen Fortschritt in den mathematischen Disciplinen aufzuweisen hat und dass der Erneuerer dieser Studien, Gerbert [von Aurillac, W. H.], nach Spanien in die Schule gehen musste.<sup>24</sup>

Die ottonischen Königs- und Kaiserurkunden wurden in der Regel von ranghohen Geistlichen geschrieben, die an Domschulen ausgebildet worden waren. Dom- und Klosterschulen waren die höchsten Bildungseinrichtungen im ottonischen Reich, Universitäten gab es noch nicht. Die offenkundigen Schwierigkeiten bei der Berechnung von Inkarnations- und Regierungsjahren sowie der Indiktionszahlen lassen darauf schließen, dass im 10. Jahrhundert an vielen Domschulen des nordalpinen Reiches nur noch die Fächer des Triviums in den sieben Freien Künsten gelehrt wurden: Grammatik, Rhetorik und Dialektik. Die Fächer des Quadriviums Arithmetik, Geometrie, Musik

---

23 Ebd., Diplom Ottos I. Nr. 198, S. 278.

24 Sickel, Beiträge zur Diplomatik VI (Fn. 2), S. 427 f.

und Astronomie sind wahrscheinlich nur selten vermittelt worden. Seit den 960er Jahren nahm die Präzision bei der Angabe der Jahresdatierungen aber deutlich zu. Der Grund dafür dürfte der jahrelange Aufenthalt des ottonischen Hofes in Italien gewesen sein. Auf diese Weise kamen Geistliche aus dem nordalpinen Reich, u. a. aus Sachsen und Thüringen, längerfristig in direkten Kontakt mit dem ehemaligen Kernland des antiken Römischen Reiches. Dort war es im Frühmittelalter zwar auch zu einer Reduzierung des Bildungskanons gekommen, aber im 10. Jahrhundert nahmen die Bildungsstandards wieder zu.

Als erstes Beispiel sei auf eine ottonische Kaiserurkunde für die bischöfliche Kirche von Reggio Emilia verwiesen (Abb. 2). Sie wurde in Pavia ausgestellt und korrekt auf den 20. April 962 datiert; Inkarnations- und Kaiserjahr sowie die Indiktionszahl stimmen überein.<sup>25</sup> Als zweites Beispiel kann eine weitere Kaiserurkunde für denselben Empfänger dienen. Dieses Diplom wurde in Lucca in der Toskana ausgestellt und auf den 8. August (*Data VI. id. aug.*) des Jahres 964 datiert. Inkarnations- und kaiserliches Regierungsjahr sowie die Indiktion stimmen auch hier fehlerfrei überein.<sup>26</sup> Beide Urkunden wurden von italienischen Schreibern verfasst und niedergeschrieben. Die Schreiber nordalpiner Herkunft orientierten sich offenbar an ihren italienischen Kollegen und datierten nun ebenfalls korrekter.

*observetur, manus proprie scriptionis signo roboratum anuli nostri impressione subter iussimus sigillare.*

¶ Signum Ottonis serenissimi (M.) imperatoris. ¶

¶ Liutgerus cancellarius advicem Uuidonis archicancellarii et episcopi recognovi et subscripsi. ¶ (SI. 2.)

*Data XII. kal. mai. anno dominicae incarnationis DCCCCLXII, indictione v, anno imperii invictissimi imperatoris Ottonis primo; actum Pavia civitate; feliciter amen.*

Abb. 2: Diplom Ottos I. Nr. 242, Eschatokoll, in Sickel, Die Urkunden Konrad I., Heinrich I. und Otto I. (Fn. 22), S. 346.

Eine Urkunde Kaiser Ottos II. (973 bis 983) für die erzbischöfliche Kirche von Magdeburg, in der man zuvor durch Otto I. vergebene Privilegien bestätigte, wurde 968 von einem Schreiber nordalpiner Herkunft, einem Geistlichen der Empfängerseite, hergestellt. In der Datierung verwies man aber nur auf den regierenden Hauptkaiser Otto I., um die Relationen zwischen Haupt- und Mit-

<sup>25</sup> Sickel, Die Urkunden Konrad I., Heinrich I. und Otto I. (Fn. 22), Diplom Ottos I. Nr. 242, S. 343–346; Datierung: S. 346.

<sup>26</sup> Ebd., Diplom Ottos I. Nr. 268, S. 381–383; Datierung: S. 383.

kaiser darzustellen. Otto II. war zu Weihnachten 967, also noch während der Regierungszeit seines Vaters, in Rom zum Mitkaiser erhoben worden. In der Datierung der ottonischen Herrscherurkunde stimmen Inkarnations-, Kaiserjahr und Indiktion überein. Sogar die Königsjahre Ottos I. berechnete man nun richtig: Zum Zeitpunkt der Urkundenausstellung befand sich Otto I. in seinem 33. Regierungsjahr als König.<sup>27</sup>

In einer Schenkungsurkunde Kaiser Ottos III. (983 bis 1002) für seine Schwester Adelheid (977 bis 1044), die Äbtissin von Quedlinburg war, datierte man korrekt auf den 26. April 999. Inkarnationsjahr, die Regierungsjahre Ottos III. als König (16) und als Kaiser (3) sowie die Indiktion stimmen überein. Diese repräsentative Kaiserurkunde, die als optischen Mittelpunkt ein besonders großes Herrschermonogramm enthält, wurde wohl von einem Schreiber oder einer Schreiberin der Empfängerseite angefertigt. Ausgestellt wurde sie in Rom.<sup>28</sup>

Die Datierungsangaben in den ottonischen Herrscherurkunden wurden in den 970er und 980er Jahren zunehmend präziser und waren deutlich seltener fehlerhaft als in den 940er und 950er Jahren. Ein Grund dafür dürfte die verbesserte Ausbildung an den Domschulen nördlich der Alpen gewesen sein. In den 960er und 980er Jahren wurden offenbar viele Abschriften von Büchern, die sich in den vergleichsweise reich bestückten Klöstern und Kirchen Italiens befanden, nach Norden transferiert, um die Rahmenbedingungen für die Ausbildung der Domschüler zu verbessern. Einen gelehrten Geistlichen aus Mailand namens Gunzo konnte Otto I. sogar bewegen, samt seiner Bibliothek in das nordalpine Reich zu kommen, um dort zu unterrichten. Er lehrte wahrscheinlich an der Domschule in Würzburg.<sup>29</sup>

---

27 Theodor Sickel (Hg.), *Die Urkunden Otto des II.* (Monumenta Germaniae Historica. Diplomata regum et imperatorum Germaniae, Bd. II/1), Hannover 1888, Diplom Ottos II. Nr. 18, S. 26; Wolfgang Huschner, »Diplom Kaiser Ottos II. für die erzbischöfliche Kirche von Magdeburg (MGH, D O. II. 18)«, in Matthias Puhle und Gabriele Köster (Hg.), *Otto der Große und das Römische Reich* (Fn. 14), S. 624–626 mit Abb. des Diploms (S. 625).

28 Theodor Sickel (Hg.), *Die Urkunden Otto des III.* (Monumenta Germaniae Historica. Diplomata regum et imperatorum Germaniae, Bd. II/2), Hannover 1893, Diplom Ottos III. Nr. 321, S. 747 f.; Wolfgang Huschner, »Diplom Kaiser Ottos III. für seine Schwester, Äbtissin Adelheid von Quedlinburg«, in Matthias Puhle und Gabriele Köster (Hg.), *Otto der Große und das Römische Reich* (Fn. 14), S. 643 f. mit Abb. des Diploms (S. 644).

29 Wolfgang Huschner, *Transalpine Kommunikation im Mittelalter. Diplomatische, kulturelle und politische Wechselwirkungen zwischen Italien und dem nordalpinen Reich (9.–11. Jahrhundert)*, 3 Teile (Monumenta Germaniae Historica. Schriften, Bd. 52/I-III), Hannover 2003, Teil 2, S. 447–479.

Die seit 962 bestehende enge Verbindung mit Ober- und Mittelitalien führte aber auch zu neuen Unsicherheiten bei den Urkundenschreibern. Die Frage, an welchem Stichtag das Jahr zu wechseln sei, wurde in den Gebieten des lateinisch geprägten Europa unterschiedlich beantwortet. Im ostfränkisch-deutschen Reich nördlich der Alpen favorisierte man den 25. Dezember, das Fest Christi Geburt. Im westfränkisch-französischen Reich bevorzugte man den Ostersonntag, das höchste Fest des Kirchenjahres, als Zäsur. In Mittelitalien galt vielerorts der 25. März, Mariae Verkündigung, als Stichtag für den Jahreswechsel. Dabei gab es zwei Varianten dieses Annunciationsstils: In Pisa wechselte man das Jahr am 25. März *vor* dem andernorts gepflegten Dezemberbrauch, in Florenz am 25. Dezember danach. Die ottonischen Hofgeistlichen, die für Urkundendatierungen zuständig waren, mussten lernen, dass ihnen noch eine weitere Variante für den Jahreswechsel begegnen konnte. In Süditalien, wo sich Otto I. und Otto II. wiederholt mittelfristig aufhielten, wechselte man das Jahr nach oströmisch-byzantinischem Brauch am 1. September.<sup>30</sup> Man bemühte sich am ottonischen Hof aber nicht um Normierung. Jede Kaiserurkunde war das Ergebnis von mündlichen Verhandlungen zwischen der Empfänger- und der Ausstellerseite. Man datierte so, wie die Empfängerseite es wünschte oder wie es der jeweilige Urkundenschreiber gewohnt war. So wechselte der Schreiber eines Diploms Kaiser Ottos III. für das Kloster Peterlingen im Königreich Burgund, in der heutigen Schweiz, das Inkarnationsjahr erst am 25. März, also am Kirchenfest Mariae Verkündigung, oder zu Ostern (998: 17. April). Das Diplom wurde an einem 6. Februar ausgestellt. Die in der Datierung aufgeführten Regierungsjahre Ottos III. als König und als Kaiser sowie die Indiktion weisen gemeinsam auf das Jahr 998. Das Inkarnationsjahr ist aber noch mit 997 angegeben. In einem weiteren Diplom von demselben Schreiber, das auf den 22. April datiert ist, erscheint dann 998 als Inkarnationsjahr.<sup>31</sup>

Die Datierungsangabe waren auch häufig eine schwierige Hürde für Urkundenfälscher. So wurde mit einer Fälschung versucht, die Schenkung eines Landgutes (Wulferstedt) durch Otto I. an die erzbischöfliche Kirche von Magdeburg zu dokumentieren (Abb. 3).

---

30 Grotefend, Taschenbuch (Fn. 21), S. 11–14.

31 Sickel, *Die Urkunden Otto des III.* (Fn. 28), *Diplome Ottos III.* Nr. 273, 279, S. 692 f., 703–705; Wolfgang Huschner, »Abt Odilo von Cluny und Kaiser Otto III. in Italien und in Gnesen«, in Michael Borgolte (Hg.), *Polen und Deutschland vor 1000 Jahren. Die Berliner Tagung über den »Akt von Gnesen«* (Europa im Mittelalter, Bd. 5), Berlin 2002, S. 111–161, hier S. 122–125.

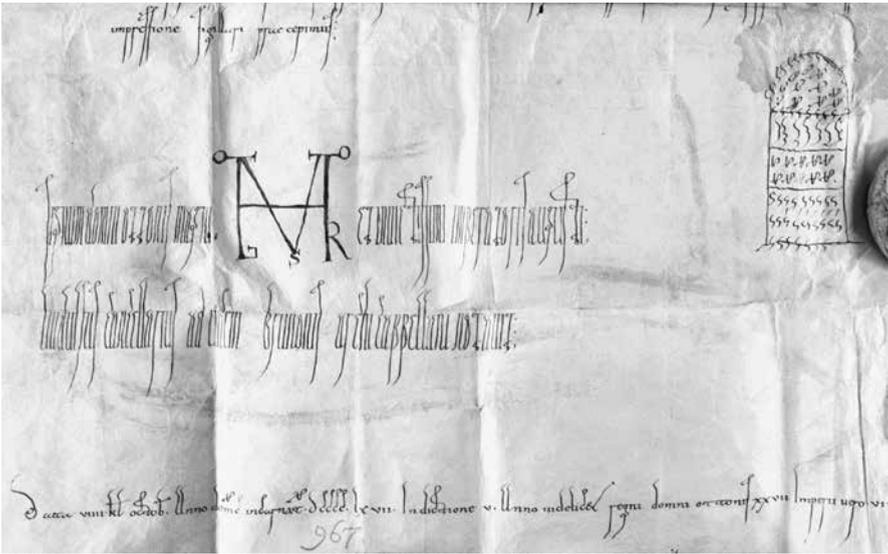


Abb. 3: Gefälschtes Diplom Kaiser Ottos I. für die Kirche St. Mauritius in Magdeburg, 967 September 23 (D O. I. 345); Eschatokoll. LHASA, MD, Rep. U 1, I, Nr. 25.

Der Fälscher muss ein ranghoher Geistlicher an der Magdeburger Kirche gewesen sein. Er besaß Zugang zum Kirchenarchiv, wo man die Originalurkunden Ottos I. und Ottos II. aufbewahrte, an denen er sich orientierte. Im Text der Urkunde führte er die ranghöchsten nordalpinen Befürworter für diese Schenkung auf: die Kaiserin Adelheid (gest. 999) und den Erzbischof (Wilhelm) von Mainz (954 bis 968). Für den Fall, dass jemand gegen die Bestimmungen dieser Urkunde verstoßen sollte, wurde die Strafe Gottes und seines Märtyrers Mauritius, des Schutzpatrons der Magdeburger Kirche, am Tag des Jüngsten Gerichts angedroht.<sup>32</sup> Der Fälscher hatte allerdings große Schwierigkeiten mit der Datierung seines Elaborats. Die Jahresangaben gerieten ihm ziemlich durcheinander. Als Inkarnationsjahr wählte er 967. Seine Indiktionszahl (5) weist auf 962 oder 977. Das gewählte Regierungsjahr Ottos I. als König (27) entspricht dem Jahr 963 und das angegebene Regierungsjahr als Kaiser weist wiederum auf 967. Bei der Tagesdatierung versuchte der Fälscher offenbar, den 22. September, den Festtag des heiligen Mauritius, zu fixieren, um den Hauptpatron der Magdeburger Kirche indirekt nochmals als Beschützer der Schenkung auftreten zu lassen. Auch das ist ihm wegen mangelnder Sicherheit im

<sup>32</sup> Sickel, Die Urkunden Konrad I., Heinrich I. und Otto I. (Fn. 22), Diplom Ottos I. Nr. 345, S. 471 f.

Umgang mit dem römischen Kalender misslungen. Er datierte sein Elaborat statt auf den 22. auf den 23. September. Für den modernen Historiker ist es relativ leicht, diese Fälschung zu entlarven. Im Schlussprotokoll wählte der Fälscher die Form eines Herrschermonogramms, die erst seit den späten 970er Jahren in der Regierungszeit Otts II. üblich wurde. Im Schlussprotokoll seines Falsifikats führte er Erzbischof Brun von Köln (953 bis 965), den Bruder Ottos I., als Erzkaplan auf; Brun war allerdings schon im Dezember 965 verstorben.<sup>33</sup> Geschicktere Fälscher übernahmen aus einer Originalurkunde, an der sie sich orientierten, alle Datierungsangaben, ohne sie zu verändern.

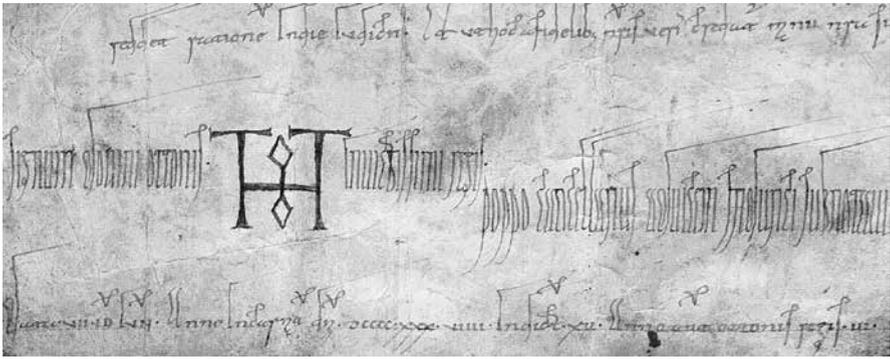


Abb. 4: Originaldiplom König Ottos I. für den Markgrafen Gero, 945 Mai 4 (D O. I. 65); Eschatokoll mit der Datierung. LHASA, Abt. Dessau, U I, Nr. 3.

Der mit diesem Beitrag zu ehrende Jubilar wurde am 5. Mai 1945 geboren. Zufällig ist eine Originalurkunde König Ottos I. überliefert, die fast genau 1000 Jahre vor der Geburt des Jubilars ausgestellt wurde (Abb. 4). Es handelt sich um die Dokumentation einer königlichen Schenkung (Dorfmark Trebnitz) an den Markgrafen Gero (937 bis 965), einen ranghohen Fürsten im östlichen Sachsen.<sup>34</sup> Im Hinblick auf die Datierungen erweist sie sich als ein Glücksfall. Alle drei Jahresangaben, das Inkarnationsjahr (945), die Indiktion (3) und auch das Regierungsjahr Ottos I. als König (9) stimmen überein und deuten auf das Jahr 945. Der Schreiber, ein Hofgeistlicher, datierte diese Königsurkunde auf den 4. Mai (*Data IIII. non. mai.*). Das war im Jahr 945 der Sonntag Cantate, der vierte Sonntag nach Ostern. Sonntag als Ausstellungstag dieser Königsurkunde

<sup>33</sup> Huschner, *Transalpine Kommunikation* (Fn. 29), Teil 2, S. 763–767, Teil 3, Abb. 72a–72d.

<sup>34</sup> Helmut Beumann, Art. »Gero I., Markgraf der sächsischen Ostmark seit 937, gest. 20. Mai 965«, in *Lexikon des Mittelalters*, Bd. 4, München/Zürich 1989, Sp. 1349.

passt gut zu dem Ereignis, das 1000 Jahre später stattfand. Elmar Peschke wurde 1945 an einem Samstag geboren. In mittelalterlicher Zeit begann der Sonntag nach Sonnenuntergang am Samstag. Es besteht also ein fast taggenauer tausendjähriger Abstand zwischen der Ausstellung der Urkunde Ottos I. für den Markgrafen Gero und dem Tag der Geburt des Jubilars.

Ortrun Riha

## Medizin und Zeit – (nicht nur) medizinhistorische Überlegungen

Das Thema ›Zeit‹ bietet eine Fülle von Anknüpfungspunkten zu Medizin, Medizingeschichte und Medizinethik, von denen im Folgenden einige aktuelle Aspekte angesprochen werden sollen. Bewusst ausgeklammert ist hier das ebenso traditionsreiche<sup>1</sup> wie innovative Feld der Biorhythmik, dem der geschätzte Jubilar so viel verdienstvolle Aufmerksamkeit gewidmet hat.<sup>2</sup>

Ausgehend von dem berühmtesten hippokratischen Merkspruch geht es im Folgenden zunächst um das Spannungsverhältnis von (Lebens)Zeit und Erfahrung, das bei schnellem Wandel und in forschungsintensiven Kontexten von besonderer Brisanz ist. Hier wird aus der Perspektive der Medizingeschichte kurz auf die Historizität der Medizin sowie auf die Kontingenz des medizinischen Denkens hingewiesen. Danach sollen – um ein Wort aus dem zitierten Aphorismus aufzugreifen – Augenblicke bzw. Zeitfenster in der Medizin thematisiert werden. Aus medizinethischer Sicht lässt sich an den Begriff der ›Kranken-Geschichte‹ anknüpfen, um auch die im modernen Medizinbetrieb immer knapper werdende Ressource Zeit ins Bewusstsein zu rücken. Und schließlich widmen wir uns den Konsequenzen aus der Begrenztheit der Lebenszeit und in diesem Zusammenhang speziell dem Alter als der am stärksten im Zunehmen sowie im Wandel begriffenen Lebensphase. Doch beginnen wir, wie es sich in Medizingeschichte und -ethik gehört, mit Hippokrates (ca. 460 bis 370 v. Chr.):

---

1 Erste chronobiologische Beobachtungen an Pflanzen erfolgten bereits im 18. Jahrhundert. Sie wurden zu Beginn des 20. Jahrhunderts wieder aufgegriffen (u. a. von dem Leipziger Botaniker Wilhelm Pfeffer) und erreichten einen vorläufigen Höhepunkt in den 1960er Jahren. Eine nun schon vierzig Jahre alte Zusammenfassung des damals erreichten Wissensstandes z. B. bei Hans Genuit, *Bio-Kurven*, 3 Teile, Bietigheim-Bissingen 1976.

2 Ich nenne exemplarisch nur die die Ergebnisse zusammenfassenden Sammelbände: Elmar Peschke (Hg.), *Endokrinologie I–V*, 5 Bde. (Abhandlungen der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig, Math.-nat. Kl., Bde. 60/1, 63/2, 64/4, 65/3, 66/1), Stuttgart u. a. 2003–2014; ders. (Hg.), *Chronobiologie* (Nova Acta Leopoldina N. F., Bd. 114, Nr. 389), Stuttgart 2011. Ansonsten sei auf den Beitrag von Eckhard Mühlbauer in diesem Band verwiesen.

Das Leben ist kurz, die Kunst ist lang.  
Der rechte Augenblick ist rasch enteilt.  
Der Versuch ist trügerisch, das Urteil schwierig.  
Man muss aber nicht nur sich selbst als einen erweisen, der das Nötige tut,  
sondern auch der Patient, seine Umgebung und die Außenwelt.<sup>3</sup>

Wie nachdenkenswert dieser vor vielen Jahrhunderten formulierte Aphorismus ist, zeigt seine Wirkungsgeschichte: Zumindest der erste Teil gehört bis heute zu den am meisten zitierten (wenn auch nicht immer richtig verstandenen)<sup>4</sup> Maximen. Schon Seneca (ca. 1 bis 65 n. Chr.) hat sich in seiner Schrift *De brevitate vitae* mit der Wendung »Ars longa vita brevis« voller Respekt explizit auf den »größten der Ärzte« bezogen<sup>5</sup> und Goethe (1749 bis 1832) lässt in *Wilhelm Meisters Lehrjahre* den berühmten Lehrbrief (7. Buch, 9. Kapitel) folgendermaßen beginnen: »Die Kunst ist lang, das Leben kurz, das Urteil schwierig, die Gelegenheit flüchtig.«<sup>6</sup>

## Medizin und Erfahrung

Der erste Teil des Aphorismus bezieht sich auf die enorme Bedeutung der Erfahrung in der hippokratischen Heilkunde – eine Erfahrung, die damals in Form von mehr oder weniger unsystematischen Beobachtungen über mehrere Ärztegenerationen hinweg gesammelt und aufgezeichnet wurde. Aus dieser nur von einer rudimentären physiologischen Theorie gestützten Empirie sind nicht nur die Aphorismen gespeist, sondern auch die Prognosen und die

---

3 Hippokrates, *Aphorismen* 1, 1. Übersetzung u. a. in *Hippokrates Werke*, aus dem Griechischen übersetzt und mit Erläuterungen von J[ohann] F[riedrich] C[arl] Grimm und L[udwig] Lilienhain, Bd. 1, Glogau 1837, S. 113; Hippokrates, *Sämtliche Werke*, hg. und kommentiert von Robert Fuchs, Bd. 1, München 1895; Richard Kapferer und Georg Sticker, *Die hippokratischen Lehrsätze (Aphorismen)* (Die Werke des Hippokrates, Bd. 14), Stuttgart 1934.

4 Missverständlich ist insbesondere das Wort »Kunst«, vgl. z.B. die falschen Antworten unter <https://de.answers.yahoo.com/question/index?qid=20080424042219AAox3hd> (28.7.2015).

5 Lucius Annaeus Seneca, *De brevitate vitae*, übersetzt und hg. von Marion Giebel (Reclams Universal Bibliothek, Bd. 18545), Stuttgart 2010, I. 2; [http://la.wikisource.org/wiki/De\\_brevitate\\_vitae#I](http://la.wikisource.org/wiki/De_brevitate_vitae#I). (28.7.2015).

6 Johann Wolfgang von Goethe, *Werke* [Hamburger Ausgabe], textkritisch durchgesehen und mit Anmerkungen versehen von Erich Trunz, 10. Aufl., München 1982, Bd. 7, S. 496, Anm. S. 700.

Krankengeschichten (missverständlich als ›Epidemien‹ bezeichnet) im *Corpus Hippocraticum*.<sup>7</sup> Auch in der heutigen Medizin spielt Erfahrung eine nicht zu unterschätzende Rolle, vor allem hinsichtlich praktischer Fertigkeiten und klinischer Einschätzungen. Während jedoch die ›Alte Medizin‹ über viele Epochen hinweg von den früher gemachten und beschriebenen Erfahrungen profitieren konnte – Medizingeschichte war insofern bis ins frühe 19. Jahrhundert hinein ein klinisches Fach –, sind in unserer Zeit das lebenslange Lernen von Neuem und die ständige Anpassung an rasch wechselnde Präferenzen zwingend notwendig. Das gilt für die gesamte Arbeitswelt,<sup>8</sup> aber in der Medizin erfolgt die Obsoleszenz des Wissens besonders schnell.<sup>9</sup>

Als ein populäres Beispiel sei die Therapie des Magen- und Zwölffingerdarmgeschwürs genannt: Im 19. und frühen 20. Jahrhundert brachte man die Entstehung in Verbindung mit Rauchen, Alkohol, Kaffee und scharfem Essen, woraus eine entsprechende (recht fade) Diät als konservative Behandlung resultierte, wenn der Defekt nicht operativ gedeckt wurde.<sup>10</sup> Die Erfolge waren eher mäßig, sodass es nicht verwundert, dass ab den 1950er Jahren ein anderes Erklärungsmodell aufkam, das ein neues Modewort aufgriff – Stress. Dass Belastungen und Ärger ›auf den Magen schlagen‹, ist eine banale Alltagserfahrung, insofern hatte dieses Konzept durchaus *prima facie*-Plausibilität. Die therapeutische Konsequenz waren Psychotherapie und Entspannungsübungen.<sup>11</sup> Parallel gewann die Vorstellung einer Übersäuerung an Bedeutung. Die schon in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts praktizierten und noch heute als Hausmittel gegen Magenbeschwerden empfohlenen Rollkuren mit Kamillen- oder sonstigem Kräutertee oder mit dünnem Haferschleim wurden weiterhin angeboten. Darüber hinaus wurden Bismutsalze<sup>12</sup> verabreicht und in den 1970er Jahren

---

7 Louis Bourgey, *Observation et expérience chez les médecins de la collection hippocratique*, Paris 1953; Mirko Dražen Grmek (Hg.), *Die Geschichte des medizinischen Denkens. Antike und Mittelalter*, München 1996.

8 Die Notwendigkeit ständiger berufsbegleitender Weiterbildung betonen z. B. Cornelia Schneider und Lisa Juliane Schneider, *Reife Leistung. Erfolgreich älter werden im Beruf*, Freiburg i. Br. 2014.

9 Über das Phänomen der Wissensveränderung in Abhängigkeit von neuen theoretischen Konzepten: Paul Thagard, *How scientists explain disease*, Princeton 1999.

10 Ich nenne im Folgenden nur einige exemplarische Monografien: Kurt Goette, *Das Magengeschwür (Ulcus pepticum ventriculi et duodeni) und seine Behandlung*, Stuttgart 1940; Reinhold Boller, *Die Behandlung des Magen- und Zwölffingerdarmgeschwürs*, Wien 1947.

11 Carola Burkhardt, *Psychosomatik der Ulcuskrankheit*, med. Diss. München 1971.

12 Bernd Achten, *Moderne Gastritis- und Ulkustherapie mit Wismut. Eine Lehrmeinung im Wandel*, München u. a. 1990.

kamen mit Natriumhydrogenkarbonat sowie Aluminium- und Magnesiumhydroxid-Gel weitere Antazida auf. Die ebenfalls an der Säureproduktion ansetzenden H<sub>2</sub>-Rezeptorenblocker (Cimetidin, 1976) sowie Protonenpumpeninhibitoren (Omeprazol, 1992) gehörten zu den umsatzstärksten Arzneimitteln ihrer Zeit.<sup>13</sup> Als *ultima ratio* wurde eine Vagotomie durchgeführt.<sup>14</sup> Daneben erkannte man, dass auch Medikamente wie Aspirin sowie Hormone wie Kortison zu Geschwüren und Magenblutungen führen können. Das 1982 von den Australiern John Robin Warren (geb. 1937) und Barry Marshall (geb. 1951) publizierte gänzlich andere Modell einer bakteriellen Infektion mit *Helicobacter pylori* fand diesem ›Mainstream‹ gegenüber erst einmal keine Zustimmung, weil man sich nur schwer vorstellen konnte, dass Bakterien in dem sauren Milieu des Magens überleben können. 2005 erhielten die beiden Forscher allerdings den Nobelpreis und heute ist die Triple-Therapie (Clarithromyzin mit Metronidazol bzw. Amoxicillin plus ein Protonenpumpenblocker) etablierte Praxis zur Eliminierung des Keims. Allerdings gibt es wegen der hohen Durchseuchung der Bevölkerung bei gleichzeitig viel geringerer Ulkus-Inzidenz Tendenzen, *Helicobacter pylori* nur als notwendige, aber nicht hinreichende Bedingung für die Entstehung eines Geschwürs zu interpretieren, zu der weitere Faktoren kommen müssen, z. B. Blutgruppe 0, Stoffwechselstörungen oder sonstige genetische Faktoren.

## Medizin und ihr historischer Ort

Es geht also in unseren Tagen relativ schnell, dass ein etabliertes Verfahren Geschichte wird. Das ist jedoch nicht der Grund, weshalb die Medizin – wie auch die beiden anderen ›hohen Fakultäten‹ (Theologie und Rechtswissenschaften) – die Betrachtung ihrer eigenen Historie seit jeher in ihrem universitären Lehrprogramm verankert hat. Das Lernen aus der Geschichte<sup>15</sup> im Sinne eines

---

13 Fred Halter (Hg.), *Zukunftsaspekte in der Ulkusforschung*, München 1986; Torsten Lothar Kudela, *Behandlungskonzepte der Ulkuskrankheit des oberen Gastrointestinaltrakts am Krankenhaus Altstadt in den Jahren 1996–1999*, med. Diss. Magdeburg 2008; Birger Bida und Peter Seipelt, *Die Therapie des Ulcus ventriculi et duodeni mit Dimeticon und Famotidin*, med. Diss. Magdeburg 1998. Famotidin ist ein H<sub>2</sub>-Antihistaminikum (H<sub>2</sub>-Rezeptorenblocker), aber Dimeticon ist äußerlich ein Läusemittel und wird innerlich gegen Blähungen eingesetzt.

14 Claude Muller und Sebastiano Martinoli, *Die proximal-selektive Vagotomie in der Behandlung der gastroduodenalen Ulkuskrankheit*, Berlin u. a. 1985.

15 Lateinisch: *Historia magistra vitae*. Die Phrase stammt aus Cicero, *De oratore* II, 36.

›Wissensrecyclings‹ hat zwar ausgedient,<sup>16</sup> aber ›lehrreich‹ bleibt die historische Rückschau weiterhin, vor allem, weil sie den Blick schärft für die Kontingenzen und Historizität ärztlichen Denkens und Handelns.<sup>17</sup> Dies ist keineswegs die neueste geschichtswissenschaftliche Mode: Ein kritischer Geist wie Goethe hat das schon vor über 200 Jahren klar erkannt, und das gibt Gelegenheit, die zweite Stelle aus seinem Werk heranzuziehen, wo der Dichterkönig den ersten hippokratischen Aphorismus zitiert, den *Faust*.

Wagner: Ach Gott! Die Kunst ist lang,  
Und kurz ist unser Leben.  
Mir wird, bei meinem kritischen Bestreben,  
Doch oft um Kopf und Busen bang.  
Wie schwer sind nicht die Mittel zu erwerben,  
Durch die man zu den Quellen steigt!  
Und eh' man nur den halben Weg erreicht,  
Muß wohl ein armer Teufel sterben.

Faust: Das Pergament, ist das der heil'ge Bronnen,  
Woraus ein Trunk den Durst auf ewig stillt?  
Erquickung hast du nicht gewonnen,  
Wenn sie dir nicht aus eigener Seele quillt.

Wagner: Verzeiht! es ist ein groß Ergetzen,  
Sich in den Geist der Zeiten zu versetzen;  
Zu schauen, wie vor uns ein weiser Mann gedacht,  
Und wie wir's dann zuletzt so herrlich weit gebracht.

Faust: O ja, bis an die Sterne weit!  
Mein Freund, die Zeiten der Vergangenheit  
Sind uns ein Buch mit sieben Siegeln.  
Was ihr den Geist der Zeiten heißt,  
Das ist im Grund der Herren eigener Geist,  
In dem die Zeiten sich bespiegeln.  
Da ist's denn wahrlich oft ein Jammer!

---

16 Reinhart Koselleck, »Historia Magistra Vitae. Über die Auflösung des Topos im Horizont neuzeitlich bewegter Geschichte«, in ders., *Vergangene Zukunft. Zur Semantik geschichtlicher Zeiten* (Suhrkamp-Taschenbuch Wissenschaft, Bd. 757), Frankfurt a.M. 1989, S. 38–66; Mikuláš Teich und Albert Müller (Hg.), »Historia Magistra Vitae?«, in *Österreichische Zeitschrift für Geschichtswissenschaften* 16/2 (2005), S. 5–10. Speziell für die Medizingeschichte: Ortrun Riha, »Die Geschichte als Lehrmeisterin im Zeitalter der verlorenen Unschuld«, in dies. und Achim Thom (Hg.), *90 Jahre Karl-Sudhoff-Institut*, Leipzig 1996, S. 1–19.

17 Alfons Labisch, »Historizität«, in ders. und Norbert Paul (Hg.), *Historizität. Erfahrung und Handeln – Geschichte und Medizin*, Stuttgart 2004, S. 11–36.

Man läuft euch bei dem ersten Blick davon.  
Ein Kehrriechtfaß und eine Rumpelkammer  
Und höchstens eine Haupt- und Staatsaktion  
Mit trefflichen pragmatischen Maximen,  
Wie sie den Puppen wohl im Munde ziemen!<sup>18</sup>

Was Faust hier ironisiert, ist einerseits die Überheblichkeit der Gegenwärtigen, die mitleidvoll auf die unwissenden Vorfahren herabschauen, und andererseits die naive Vorstellung eines problemlosen ›Lernens aus der Geschichte‹, der zufolge Geschichte quasi ein Steinbruch oder ein Selbstbedienungsladen für bedarfsgerechte Erfahrungskonserven sei. Gerade im Zusammenhang mit Hippokrates kommt bis in unsere Tage in Sonntagsreden dieses Missverstehen bzw. diese Funktionalisierung von Geschichte zum Ausdruck (»Schon Hippokrates hat dies oder das gesagt und deshalb müssen wir dies oder das tun«). So wenig wie man aus zweieinhalbtausend Jahre alten Texten etwas für die Medizin(ethik) der Gegenwart entnehmen kann, kann man die historischen Beschreibungen aus dem *Corpus Hippocraticum* im Sinn einer retrospektiven Diagnose nach unserem eigenen Krankheitsvorstellungen interpretieren;<sup>19</sup> d. h., man kann schon, aber ein historisch seriöses Ergebnis wird man nicht oder nur unter besonderen Kautelen erzielen. Medizin ist ein Kind der jeweiligen Zeit und findet an einem spezifischen historischen, sozialen und kulturellen Ort statt.

## Konjunkturen der Medizin

Ein zweites Themenfeld der Medizingeschichte ist die Aufdeckung und Deutung von historischen Konjunkturen, die in Wechselwirkung mit dem zeitlichen Kontext der Medizin stehen. Das 19. Jahrhundert war beispielsweise wegen des rasanten Wachstums der großen Städte, mit dem die Infrastruktur nicht mithalten konnte, ein Jahrhundert der Seuchen. Relativ hilflos stand man ihnen bei einem Ausbruch gegenüber; deshalb war die Prävention umso wichtiger. Diesem Umstand verdankte die Hygiene ihren kompetenhaften Aufstieg zur gesellschaftlich relevanten Leitwissenschaft.<sup>20</sup> Unter den klinischen

---

18 Johann Wolfgang von Goethe, *Faust. Eine Tragödie*, in ders., Werke (Fn. 6), Bd. 3, S. 25 f., V. 558–584.

19 Karl-Heinz Leven, »Krankheiten. Historische Deutung versus retrospektive Diagnose«, in Norbert Paul und Thomas Schlich (Hg.), *Medizingeschichte. Aufgaben, Probleme, Perspektiven*, Frankfurt a. M. 1998, S. 153–185.

20 Ortrun Riha und Marta Fischer (Hg.), *Hygiene als Leitwissenschaft. Internationale Tagung in Leipzig, 7.–8. 10. 2013* (Relationes, Bd. 16), Aachen 2014.

Fächern war es die Chirurgie, die sich nach der Entdeckung der Anästhesie und der Einführung der Asepsis zur lebensrettenden Disziplin und damit zur »Königin der Medizin« entwickelte.<sup>21</sup> Im 20. Jahrhundert wurde das die Genetik, mit deren Erkenntnissen Unerklärliches erklärt werden konnte, zunächst auf dem Gebiet der Evolution, dann – medizinrelevant – im Bereich des menschlichen Körpers. Nicht umsonst gehen in den letzten Jahren überproportional viele Nobelpreise an Forschergruppen, die auf diesem Gebiet tätig sind, und die medizinische Grundlagenforschung aller Fächer bedient sich ganz überwiegend des molekular(genetisch)en Paradigmas. Das 21. Jahrhundert will nun endlich den Menschen im Innersten verstehen.<sup>22</sup> Einen Teil dazu trägt die Genetik bei, aber einen besonderen Deutungsanspruch erhebt die Hirnforschung, weil sie sich mit dem Organ befasst, dessen Ausprägung für den Menschen konstituierend ist.<sup>23</sup>

Was sicher für künftige Historikergenerationen ein Faszinosum unserer Zeit sein wird, ist der Zerfall der Medizin in verschiedene Realitätskompartimente, wofür man ohne weiteres Ernst Blochs (1885 bis 1977) geistreiches (wenn auch aus ganz anderem Kontext stammendes<sup>24</sup>) Wort von der »Gleichzeitigkeit des Ungleichzeitigen« benutzen kann. Der »Hightechmedizin« steht als Konkurrenz die oft als »Alternativmedizin« bezeichnete »Komplementärmedizin« gegenüber, deren vorgeblicher Ergänzungscharakter darüber hinwegtäuscht, dass hier verschiedene Denksysteme aufeinander prallen: Fortschritt trifft auf Tradition, Statistik, Evidenz und Reproduzierbarkeit auf Subjektivität, Objektivität und Technik auf Esoterik und Intuition. Nur die völlige Vernachlässigung wissenschaftstheoretischer Reflexion und historischer Kenntnisse ermöglicht es, dass sogar auf naturwissenschaftlicher Grundlage ausgebildete Ärzte von diesen Methoden der Laienmedizin Gebrauch machen, weil viele Patienten dies fordern.<sup>25</sup> Auf diese Weise lebt die Heilkunde vergangener Zeiten

---

21 Vgl. hierzu den damaligen Bestseller: Jürgen Thorwald, *Das Jahrhundert der Chirurgen*, Stuttgart 1956.

22 Ortrun Riha, »Von der Säftelehre zur Molekulargenetik – Die Vielfalt der Menschenbilder in der Medizin«, in Udo Ebert, Ortrun Riha und Lutz Zerling (Hg.), *Menschenbilder – Wurzeln, Krise, Orientierung* (Abhandlungen der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig, Phil.-hist. Kl., Bd. 82/2), Stuttgart/Leipzig 2012, S. 93–107.

23 Zuletzt kritisch: Marcus Knaup, *Leib und Seele oder mind and brain? Zu einem Paradigmenwechsel im Menschenbild der Moderne*, Freiburg i. Br./München 2013.

24 Bloch entwickelte die Vorstellung von »Ungleichzeitigkeit(en)« im Zusammenhang mit seiner Analyse des Nationalsozialismus in seinem Werk *Erbschaft dieser Zeit* (Zürich 1935).

25 Gerd Marstedt und Susanne Moebus, *Inanspruchnahme alternativer Methoden in der Medizin* (Gesundheitsberichterstattung des Bundes, Heft 9), Berlin 2002, <https://www.>

(z. B. die ›Hildegardmedizin‹ aus dem 12. Jahrhundert und die Homöopathie aus der Goethezeit) und anderer Kulturen (z. B. Ayurveda und die sogenannte ›Traditionelle Chinesische Medizin‹) in der Gegenwart weiter – wenn auch in der Regel ein bisschen an unsere Medizin und an mitteleuropäische Gewohnheiten angepasst.

## Augenblicke in der Medizin

Wenn der hippokratische Arzt bedauert, dass der rechte Augenblick rasch entweicht, so spiegelt das eine typisch antike Vorstellung wider. *Kairós* ist eine Allegorie, in der verschiedene zeitbezogene Metaphern zusammenfließen. Am kompaktesten hat der kunsthistorisch versierte Epigrammatiker Poseidippos aus Pella (ca. 310 bis 240 v. Chr.) die Eigenschaften des Augenblicks in einem seiner *Epigramme aus Olympia* geschildert. Als Erklärung zu einer rund hundert Jahre vorher entstandenen und nun offenbar rätselhaft gewordenen *Kairós*-Statue von der Hand des berühmten Bildhauers Lysipp aus Sikyon, die im Vorhof eines Tempels in Pella aufgestellt war, findet sich folgender Dialog:

*Wer bist du?*

Ich bin Kairos, der alles bezwingt!

*Warum läufst du auf Zehenspitzen?*

Ich, der Kairos, laufe unablässig.

*Warum hast du Flügel am Fuß?*

Ich fliege wie der Wind.

*Warum trägst du in deiner Hand ein spitzes Messer?*

Um die Menschen daran zu erinnern, dass ich spitzer bin als ein Messer.

*Warum fällt dir eine Haarlocke in die Stirn?*

Damit mich ergreifen kann, wer mir begegnet.

*Warum bist du am Hinterkopf kahl?*

Wenn ich mit fliegendem Fuß erst einmal vorbeigeglitten bin, wird mich auch keiner von hinten erwischen, so sehr er sich auch bemüht.

*Und wozu schuf Euch der Künstler?*

Euch Wanderern zur Belehrung.<sup>26</sup>

---

gbe-bund.de/pdf/Alternat.pdf (28.7.2015); Matthias Schweiger, *Medizin – Glaube, Spekulation oder Naturwissenschaft? Gibt es zur Schulmedizin eine Alternative? Eine historisch-philosophisch begründete Auseinandersetzung zwischen Schulmedizin und alternativer Medizin*, 2. Aufl., München 2005; Raymond Becker u. a. (Hg.), »Neue« Wege in der Medizin. *Alternativmedizin – Fluch oder Segen?* (Akademie-Konferenzen, Bd. 10), Heidelberg 2010.

<sup>26</sup> Text nach: Johannes Gründel, Art. »Kairos«, in *Lexikon für Theologie und Kirche*, Bd. 5, Freiburg i. Br. 1996, Sp. 1129–1131, hier Sp. 1131, online z. B. unter <http://www.anth->

Die merkwürdige Haartracht verdeutlicht die offenbar schon im alten Griechenland geläufige Redewendung von der Gelegenheit, die man beim Schopf packen muss, weil sonst die einmalige Chance vorbei ist. Ganz analog heißt es bei Friedrich Schiller (1759 bis 1805): »Was man von der Minute ausgeschlagen, bringt keine Ewigkeit zurück.«<sup>27</sup>

In der ›Alten Medizin‹ stand im Zusammenhang mit *Kairós* der Begriff der ›Krise‹ im Raum: In der Krise entscheidet sich, ob ein Patient gesund wird oder stirbt, und hier kann ein geschickter Arzt die Wendung zum Positiven bewirken. Heute dagegen sind es Notfallsituationen, in denen das Zeitfenster für die Rettung des Patienten nur kurz offen steht. Nach einem Herzstillstand muss innerhalb von drei bis fünf Minuten mit der Wiederbelebung begonnen werden; nach acht bis zehn Minuten ist mit einem irreversiblen Hirnschaden zu rechnen. Diskutiert wird momentan über die Intervalle bei Herzinfarkt und Schlaganfall, nach denen noch eine Lyse (als Versuch, den das betroffene Blutgefäß verstopfenden Blutpfropf aufzulösen) sinnvoll ist. Wegen der knappen Frist von einer Stunde (maximal gelten 90 bis 120 Minuten als akzeptabel) wird ein Herzinfarkt mit der im Elektrokardiogramm (EKG) charakteristischen ST-Hebung inzwischen als ›golden hour disease‹ bezeichnet.<sup>28</sup> Beim Schlaganfall wird ein Lysebeginn nach drei bis viereinhalb Stunden angestrebt, sechs Stunden sind gerade noch vertretbar.<sup>29</sup>

---

rowiki.at/Kairos (28. 7. 2015). Andere Übersetzung unter <http://www.e-kairos.net/literatur.php> (28. 7. 2015). Parallele Ausgaben: Hermann Beckby (Hg.), *Anthologia Graeca. Griechisch–Deutsch*, Bd. 1 (Buch I–VI), Berlin 2014; Dirk Uwe Hansen (Hg.), *Anthologia Graeca*, Bd. 1 (Bücher I–V), übersetzt und erläutert von Jens Gerlach (Bibliothek der griechischen Literatur, Bd. 72), Stuttgart 2011. Poseidippos erscheint jeweils im 2. Buch an 49. Stelle, der zitierte Text hat die Nr. 13.

27 Friedrich Schiller, *Resignation. Eine Phantasie*, Z. 99f. (Frühfassung) bzw. Z. 89f. (Spätfassung), in ders., *Sämtliche Werke* [Hanser-Ausgabe], 7. Aufl., München 1984, Bd. 1, S. 130–133, hier S. 133.

28 Vgl. z. B.: <http://www.notmed.info/mkongold.html> (28. 7. 2015); Hannes Alber, »STEMI und NSTEMI: Zeitfenster für Intervention?«, in *Wiener Medizinische Wochenschrift Skriptum* 1 (2009), S. 6–8, online: <http://www.springer.com/medicine/journal/12545> (28. 7. 2015).

29 Ulrich Scharmer, »The need for speed« – nach sechs Stunden schließt sich beim ischämischen Schlaganfall das Zeitfenster für die Lyse«, <http://www.medscapemedizin.de/artikelansicht/4903254>, Eintrag vom 19. 1. 2015 (28. 7. 2015); Susanne Krome, »Schlaganfall. Zeitfenster vor rTPA-Lyse entscheidend«, in *Deutsche Medizinische Monatsschrift* 34 (2014), <https://www.thieme.de/de/innere-medizin/schlaganfall-zeitfenster-rtpa-lyse-entscheidend-63364.htm> (28. 7. 2015), referiert wird eine Studie von Gumbinger u. a. aus *British Medical Journal* 348 (2014), S. 3429; letzter Stand: Beatrice Hamberger, »Schlaganfall-Studie bestätigt Lyse-Zeitfenster von 4,5 Stunden«, <http://www.gesundheitsstadt-ber->

Innerhalb des menschlichen Lebens gibt es natürlich auch Zeitfenster. Diese sind nicht so knapp bemessen, aber dennoch bei der Lebensplanung einzukalkulieren. Die fruchtbaren Tage im weiblichen Zyklus werden sowohl zur Verhütung als auch bei Kinderwunsch beachtet, seit die beiden Frauenärzte Hermann Knaus (1892 bis 1970) und Kyūsaku Ogino (1882 bis 1975) ihre Beobachtungen 1919 publiziert hatten. In unseren Zeiten des fehlenden Nachwuchses wird viel über die Limitationen der weiblichen Fruchtbarkeit innerhalb der Biografie diskutiert, denn jenseits des 35. Lebensjahres nimmt bei Frauen die Chance auf eine Schwangerschaft rapide ab. Die Vereinbarkeit nicht nur von Beruf und Familie, sondern auch von Karriere und Familie ist insofern eine gesellschaftliche Herausforderung.<sup>30</sup> Ist das Kind erst einmal auf der Welt, gibt es ein weiteres Zeitfenster: Nach einem Jahr muss die Mutter wieder das Ausgangsgewicht erreicht haben, sonst bleibt ihr das schwangerschaftsbedingte Übergewicht erhalten.<sup>31</sup>

Doch kehren wir zu den Augenblicken in der Medizin zurück, wo nicht nur ein, sondern sogar mehrere weitere wichtige Zeitpunkte nicht unerwähnt bleiben sollen, die einen eigenen Namen bekommen haben: ›Point of no return‹. Diese Metapher findet sich auch außerhalb der Medizin in vielerlei Kontexten,<sup>32</sup> doch wir wollen uns auf die Beispiele aus diesem Bereich beschränken. Mit ›Point of no return‹ wird erstens der Eintritt des Hirntodes beschrieben, weil in der Folge der Tod des Menschen unumkehrbar eintreten wird.<sup>33</sup> Zweitens bezeichnet man in der Intensiv- und Palliativmedizin so den Beginn der Sterbephase, ab dem keine Lebensrettung mehr möglich und deshalb das ärztliche Bemühen auf größtmöglichen Komfort zu richten ist.<sup>34</sup> Und drittens wird der Ausdruck seit 2012 offiziell in den Leitlinien zur Prophylaxe des Alkoholentzugsdelirs benutzt: Wenn der ›Point of no return‹ überschritten ist, hat das Delir bereits begonnen

---

lin.de/schlaganfall-studie-bestaetigt-lyse-zeitfenster-von-45-stunden-5432/ Eintrag vom 14. 1. 2015 (28. 7. 2015).

30 Vgl. z. B. Jürgen Dorbritz und Martin Bujard, *Wer bekommt (noch) Kinder? Fertilität in Deutschland. Jahrestagung der DGD, Berlin 2012*, [http://www.demographie-online.de/fileadmin/dgd/meeting2012/Vortraege/Dorbritz\\_Bujard\\_DGD\\_2012\\_2.pdf](http://www.demographie-online.de/fileadmin/dgd/meeting2012/Vortraege/Dorbritz_Bujard_DGD_2012_2.pdf) (30. 7. 2015).

31 »Kritisches Zeitfenster von einem Jahr bestätigt« (7. 4. 2014), <http://www.biermann-medizin.de/fachbereiche/gynaekologie/medizin-forschung/kritisches-zeitfenster-einem-jahr-bestaetigt> (28. 7. 2015).

32 Unter [https://de.wikipedia.org/wiki/Point\\_of\\_no\\_Return](https://de.wikipedia.org/wiki/Point_of_no_Return) (30. 7. 2015) fehlt die medizinische Bedeutung komplett.

33 Vgl. z. B. D[ag] Moskopp, »Hirntodkonzept«, in Hugo Karel Van Aken u. a., *Intensivmedizin*, 3. Aufl., Stuttgart u. a. 2014, S. 1054.

34 Vgl. z. B. Katrin Elina Clemens und Eberhard Klaschik, »Symptomatische Therapie in der Finalphase«, in *Im Focus Onkologie* 9/7–8 (2006), S. 61–64, [http://www.onkosupport.de/e974/e1743/e1850/e2100/e1856/ifo0607\\_61.pdf](http://www.onkosupport.de/e974/e1743/e1850/e2100/e1856/ifo0607_61.pdf) (30. 7. 2015).

und eine Alkoholgabe ist kontraindiziert.<sup>35</sup> Diese Stichpunkte mögen genügen – sie zeigen, wie groß die Affinität der Medizin zum *Kairós* bis heute ist.

## Patient und Zeit

Was wäre die moderne Medizin ohne die visuelle Darstellung des Ablaufs (patho)physiologischer Prozesse? Kurven gehören so selbstverständlich zum klinischen Alltag, dass sich kaum jemand fragt, wer eigentlich die geniale Idee hatte. Ohne die historischen Hintergründe beleuchten zu wollen, sei mit Blick auf die Lokalgeschichte Leipzigs darauf hingewiesen, dass hier zwei Personen wirkten, die die Aufzeichnung von Vorgängen im Körper wesentlich vorangetrieben und so der Objektivierung klinischer Befunde den Boden bereitet haben: Der Physiologe Carl Ludwig (1816 bis 1895) entwickelte in seiner Marburger Zeit ab 1846 das Kymographion, mit dem der Zusammenhang von Blutdruck und Herzschlag illustriert werden konnte,<sup>36</sup> und der Internist Carl Reinhold August Wunderlich (1815 bis 1877) führte in den 1860er Jahren die Registrierung der Körpertemperatur in Form von Fieberkurven ein.<sup>37</sup> Nicht nur statische Befunde, sondern auch Dynamiken und Verläufe objektiv dokumentieren zu können, war ein Meilenstein in der klinischen Medizin.

Doch auch zuvor schon spielte die ›Geschichte‹ des Patienten (und nicht nur sein aktueller Zustand) eine große Rolle: Dass wir noch immer das griechische Wort ›Anamnese‹ für diese ›Krankengeschichte‹ benutzen, deutet auf eine zweieinhalb Jahrtausende lange Tradition hin. Das Gleiche gilt für andere griechische Begriffe, wie ›Katamnese‹, ›Epikrise‹ und ›Prognose‹, die allesamt den Faktor Zeit bereits durch ihre Präfixe zum Ausdruck bringen.<sup>38</sup> Ebenfalls zeitbezogen (und zwar mit Blick auf die Dauer einer Erkrankung) sind die seit der Antike bekannten Ausdrücke ›akut‹ und – ganz besonders auffällig – ›chronisch‹.<sup>39</sup>

---

35 Vgl. z. B. Hans Walter Striebel, *Operative Intensivmedizin. Sicherheit in der klinischen Praxis*, 2. Aufl., Stuttgart 2014, S. 755 und 759.

36 Originalpublikation: Carl Ludwig, »Beiträge zur Kenntniss des Einflusses der Respirationsbewegungen auf den Blutlauf im Aortensysteme«, in *Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medicin* (1847), S. 242–302.

37 Dies hat sich sogar international herumgesprochen: Philip A. Mackowiak und Gretchen Worden, »Carl Reinhold August Wunderlich and the Evolution of Clinical Thermometry«, in *Clinical Infectious Diseases* 18/3 (1994), S. 458–467. Originalpublikation: Carl Reinhold August Wunderlich, *Das Verhalten der Eigenwärme in Krankheiten*, Leipzig 1868.

38 *Kat(a)*- und *epi*- bedeuten ›danach‹, *pro*- ›vorher‹.

39 Griechisch *chronos* = ›Zeit‹.

In den letzten Jahrzehnten haben chronische Krankheiten gegenüber den akuten an Bedeutung gewonnen und die Anforderungen an die ärztliche Begleitung von ›Langzeitpatienten‹ verändert. Am besten untersucht ist die Bewältigung von Dauerschmerzen, die die Lebensqualität bis zur Unerträglichkeit mindern können.<sup>40</sup> Hierzu findet sich in der Literatur eine weitere zeitbezogene Metapher: Arzt und Patient schreiben als Ko-Autoren eine ›Krankengeschichte‹ in dem Sinn, dass sie therapeutische Strategien, Vor- und Nachteile bzw. Risiken usw. gemeinsam festlegen.<sup>41</sup> Je länger ein krankhafter Zustand dauert und je länger ein Leiden behandelt werden muss, desto größer ist die Bedeutung der individuellen Krankheitsverarbeitung durch den Patienten (heute meistens ›Coping‹ genannt), seines soziokulturellen Kontextes und seiner persönlichen Erfahrungen. Die Herausforderung für den ärztlichen Partner ist die Einbeziehung des Unausgesprochenen, das Erkennen von Sinngebung und Symbolik, ganz in Analogie zur Textinterpretation. Dieses genaue Hinhören ist nicht jedermanns Sache, sondern eine Begabung des ›guten Arztes‹.<sup>42</sup> Nicht umsonst ist Musikalität ein wichtiger Prädiktor für Erfolg in klinisch-praktischer Tätigkeit. Ein Zeitfenster, in dem sich der Patient öffnet und man Zugang zu ihm gewinnen könnte, schließt sich ganz schnell durch Unachtsamkeit oder eine unbedachte Äußerung. Im Patientengespräch gilt insofern genau wie im sonstigen Leben der schöne Hexameter von Horaz (65 bis 8 v. Chr.): »Et semel emissum volat irreparabile verbum« (Episteln I.18,71).<sup>43</sup>

---

40 Barbara Supa, *Facetten des Schmerzes Total Pain in der Mäeutik. Wie finden sie sich wieder?*, Saarbrücken 2015; Harro Albrecht, *Schmerz. Eine Befreiungsgeschichte*, München 2015.

41 Peter Ubel, *Guter Rat ist möglich. Wie Ärzte und Patienten gemeinsam die besten Entscheidungen treffen*, Bern 2013.

42 Birgit Hibbeler, »Zwischen Samaritertum und Ökonomie: Was ist ein guter Arzt?«, in *Deutsches Ärzteblatt* 108/51-52 (2011), S. A2758–A2763, <http://www.aerzteblatt.de/pdf.asp?id=118010> (28. 7. 2015). Vgl. ferner Claudia Witt (Hg.), *Der gute Arzt aus interdisziplinärer Sicht*, Essen 2010; Olaf Reddemann, »Wie bin ich ein guter Arzt, eine gute Ärztin? Techniken sind hilfreich, heilsam aber ist nur die Liebe«, in Astrid Lampe, Peer Abilgaard und Klaus Ottomeyer (Hg.), *Mit beiden Augen sehen: Leid und Ressourcen in der Psychotherapie. Luise Reddemann zum 70. Geburtstag* (Leben lernen, Bd. 261), Stuttgart 2013, S. 146–164.

43 Horaz, *Satiren und Episteln*, hg. und übersetzt von Otto Schönberger (Schriften und Quellen der Alten Welt, Bd. 33), 2. Aufl., Berlin 1991: »Einmal hinausgeschickt, fliegt das Wort unwiederbringlich.« Zur Problematik: Hubert Feiereis und Reinhard Saller (Hg.), *3 heiße Eisen. Der schmerzende Dialog oder Vom heillosen Sprechen*, München 1992.

## Ressource Zeit

Die gerechte Ver- bzw. Zuteilung knapper Ressourcen (Allokation) ist in der Medizinethik ein häufig diskutiertes Thema. Debattiert wird über Geld und Organe, Betten auf der Intensivstation, Facharzttermine usw. So wichtig auch das allgemeine ›Zeitmanagement‹ ist – hier interessiert uns die wichtigste Ressource des ›guten Arztes‹ im direkten Kontakt zum Patienten, die Zeit. Neben Fachkompetenz und Gewissenhaftigkeit gehören Zuhören können und Einfühlungsvermögen zu den ärztlichen Schlüsselqualifikationen. Leider sieht die Realität in Klinik und Praxis anders aus. Beim Hausarzt kalkuliert man »acht Minuten pro Patient«,<sup>44</sup> ein Visiten›gespräch‹ im Krankenhaus dauert unter drei Minuten. Dieser von den Patienten oft beklagte (und mit einem Wechsel zu komplementären Angeboten beantwortete) Verlust sprachlicher Kommunikation und menschlicher Zuwendung in der modernen Medizin hat durchaus nachvollziehbare und nicht nur negativ zu bewertende Gründe: Die sinkende Bedeutung des individuellen Befindens hängt mit einem Kennzeichen der naturwissenschaftlich basierten Medizin zusammen, nämlich mit der Objektivierung des sogenannten ›Pathologischen‹ und damit des Krankheitsbegriffs. Das war der Schlüssel zum immensen Erfolg dieses modernen Typs der Heilkunde, aber man kann es natürlich auch kritisch als Technisierung bezeichnen, einhergehend mit einem reduktionistischen Menschenbild, das das subjektive Leiden des Kranken zugunsten von Labor und Bildgebung ausklammert.<sup>45</sup> Im Ergebnis jedenfalls muss der heutige Arzt innerhalb seines Arbeitsrahmens um ein Vielfaches mehr an Zeit für Technik bzw. für technische Untersuchungen sowie für deren Befundung, Aus- und Bewertung usw. aufwenden als je zuvor. Dass das Gespräch dabei an Bedeutung verliert, ist also nicht überraschend, konterkariert aber das soeben skizzierte Ideal der gemeinsamen Entscheidungsfindung – die moderne Medizin ist nicht ohne Paradoxa.

---

44 Martina Janning, »Barmer-GEK-Arztreport. Acht Minuten pro Patient«, in *Pharmazeutische Zeitung* 155/4 (2010), S.7, <http://www.pharmazeutische-zeitung.de/fileadmin/jahrgangspdf/2010/HEFT04.pdf> (28.7.2015); *aerzteblatt.de* berichtet von 7,8 Minuten: »Ärzte wünschen sich mehr Zeit für Patienten«, Nachricht vom 14. 10. 2011, <http://www.aerzteblatt.de/nachrichten/47689/Aerzte-wuenschen-sich-mehr-Zeit-fuer-Patienten> (28.7.2015).

45 Vgl. Riha, *Menschenbilder* (Fn. 22).

## Des Menschen Zeit

Der letzte Abschnitt des menschlichen Lebens ist das Alter – darüber besteht Einigkeit. Doch wie soll man es definieren, zumal der Anteil dieser Phase an der Gesamtbiografie immer länger und gleichzeitig sozial wie biologisch immer individueller wird?<sup>46</sup> Nicht mehr aktuell ist eine inzwischen rund dreißig Jahre alte Definition der Weltgesundheitsorganisation (WHO):<sup>47</sup> Demnach wurden Personen zwischen 49 und 59 Jahren als ›alternd‹ (›ageing‹) bezeichnet, zwischen 60 bzw. 65<sup>48</sup> und 74 Jahren als ›älter‹ (›older‹, etwas positiver konnotiert ›elderly‹) – dies ist auch der Standard-Sprachgebrauch der Vereinten Nationen (UN) geblieben. Oft wird für dieses meistens noch mit guter Gesundheit einhergehende (reichliche) Jahrzehnt die Bezeichnung ›Drittes Alter‹ benutzt, die Betroffenen sind ›junge Alte‹. Eigentlich ›alt‹ (›old‹) sind in der westlichen Welt Personen zwischen 75 und 89 Jahren (›Viertes Alter‹, ›alte Alte‹); Personen über 90 sind ›uralt‹ bzw. ›sehr alt‹ (›very old‹). Die WHO hat inzwischen selbst Abstand von dieser Einteilung genommen. Das hat verschiedene Gründe: Erstens gibt es weltweit erhebliche Unterschiede, die diese Klassifizierung relativieren. Ein Gesundheitsprojekt in Afrika, wo die Grenze für eine ›older person‹ bei 50 Jahren liegt, gab Anlass zu einer expliziten Distanzierung von fixen chronologischen Grenzen.<sup>49</sup> Zum zweiten versteht sich die WHO als Vorkämpferin gegen Stereotype, die bei der ›sozialen Konstruktion‹ des Alters negativ zu Buche schlagen und als *ageism* zu Altersdiskriminierung führen können. Drittens steht momentan die Prävention stark im Vordergrund, d. h., das Anliegen der WHO ist das Altern in Gesundheit. Und nicht zuletzt werden nach WHO-eigenen Vorgaben Veränderungen in der körperlichen Leistungsfähigkeit heute gänzlich unabhängig vom Alter beschrieben und klassifiziert (*International Classification of Functioning, Disability and Health*, kurz ICF).

Dass dennoch in vielen Köpfen der westlichen Leistungsgesellschaft ein Zerrbild des Alters existiert, mag angesichts der allgemeinen Hochschätzung

---

46 Hierzu sei auf den Beitrag von Andreas Simm in diesem Band verwiesen. Vgl. ansonsten Simone Schnurr, *Singularisierung im Alter. Altern im Kontext des demographischen Wandels* (Münchner Studien zur Erwachsenenbildung, Bd. 7), Berlin 2011.

47 Die Originalpublikation ist nicht mehr auf der Homepage der WHO zu finden. Die genannten Grenzen werden jedoch immer noch zitiert, sowohl in Handbüchern wie auch in Online-Lexika, z. B. <http://www.pflegewiki.de/wiki/Altersf%C3%BCrsorge> (12. 8. 2015).

48 Kriterium ist der reguläre Eintritt in den Ruhestand, der in einzelnen Ländern unterschiedlich ist.

49 WHO, ›Definition of an older or elderly person. Proposed Working Definition of an Older Person in Africa for the MDS Project‹, <http://www.who.int/healthinfo/survey/ageingdefnolder/en/> (12. 8. 2015).

von körperlicher Fitness, Jugendlichkeit, Schönheit, Aktivität, ›Freiheit‹ usw. nicht überraschen. Neu ist dieses Phänomen aber nicht. Als Beispiel nenne ich nur eine für die Jugendbegeisterung im ›Sturm und Drang‹ typische Szene aus Goethes *Faust II*. Dort findet sich in der ersten Szene des zweiten Aktes das folgende Statement des Baccalaureus, das einige Klischees enthält, die man auch heute ohne Weiteres hören könnte:

Anmaßlich find' ich, dass zur schlecht'sten Frist  
Man etwas sein will, wo man nichts mehr ist.  
Des Menschen Leben lebt im Blut, und wo  
Bewegt sich's wie im Jüngling so?  
Das ist lebendig Blut in frischer Kraft,  
Das neues Leben sich aus Leben schafft.  
Da regt sich alles, da wird was getan,  
Das Schwache fällt, das Tücht'ge tritt heran.  
Indessen wir die halbe Welt gewonnen,  
Was habt ihr denn getan? Genickt, gesonnen,  
Geträumt, erwogen, Plan und immer Plan!  
Gewiss! Das Alter ist ein kaltes Fieber  
Im Frost von grillenhafter Not.  
Hat einer dreißig Jahr vorüber,  
So ist er schon so gut wie tot.  
Am besten wär's, euch zeitig totzuschlagen.<sup>50</sup>

Das im Zitat entfaltete Defizitmodell vom Alter herrscht auch in der Geriatrie vor, was nicht erstaunlich ist, denn dort hat man es nicht mit den fiten und aktiven Senioren zu tun, sondern mit denjenigen, die krank, oft pflegebedürftig und vielfach eingeschränkt sind.<sup>51</sup> So gibt es als Faustregel z. B. die drei M (Multimorbidität, Multikausalität und Multifinalität) und die sechs I (Intellektminderung, Immobilität, Intoleranz, Instabilität, Inkontinenz, Iatrogene Störungen). Dieses nachvollziehbare, aber nichtsdestoweniger äußerst negative Altersbild der Geriatrie hat eine nicht zu unterschätzende Wirkung auf die Wahrnehmung älterer bzw. alter Patienten gerade seitens jüngerer Ärzte.

---

50 Johann Wolfgang von Goethe, *Faust. Der Tragödie zweiter Teil*, 2. Akt, 1. Szene, in ders., Werke (Fn. 6), S. 208, V. 6774–6789.

51 Hierfür nur zwei Beispiele: Werner Hansen (Hg.), *Medizin des Alterns und des alten Menschen* (Querschnitt konkret), Stuttgart 2007; Siegfried Steidl und Bernhard Nigg, *Gerontologie, Geriatrie und Gerontopsychiatrie. Ein Lehrbuch für Pflege- und Gesundheitsberufe*, 4. Aufl., Wien 2014. Eine Analyse dieses Befundes mit einem Schwerpunkt auf Ratgeberliteratur: Welf-Gerrit Otto, *Zwischen Leisten und Loslassen. Bilder von Multimorbidität, Vulnerabilität und Endlichkeit in Altersratgeberliteraturen der Gegenwart*, Diss. Marburg 2013, <http://archiv.ub.uni-marburg.de/diss/z2013/0241/pdf/dwgo.pdf> (24. 8. 2015).

Die gut gemeinte Integration des Themas ›Der alte Mensch‹ in die studentische Ausbildung entfaltet hier nach meinen Erfahrungen geradezu fatale Wirkungen, indem dieser Patientengruppe jede Lebensqualität abgesprochen wird. Entsprechend gering ist die Bereitschaft, sich für alte Patienten zu engagieren.

Außerhalb der Medizin existieren erfreulicherweise durchaus positive Leitbilder vom Alter:<sup>52</sup> In der Wirtschaft weiß man aufgrund des schon jetzt spürbaren Fachkräftemangels die sachliche und soziale Kompetenz, die Erfahrung, Zuverlässigkeit und Einsatzbereitschaft älterer Arbeitnehmer sehr zu schätzen und investiert gerne in begleitende Weiterbildungsmaßnahmen. Dass die Produktivität im Alter nachlasse, hat sich längst als unberechtigtes Vorurteil erwiesen.

Auch als Konsumenten sind die ›jungen Alten‹ – nunmehr ›Best Ager‹ genannt – von Interesse, und zwar nicht nur bei ›alterstypischen‹ Produkten, wie Haftcreme, Treppenliften oder Heizdecken: Im gehobenen Preissegment insgesamt sind die wohlhabenden ›Woopies‹ (*Well off old people*) als ›Master Consumers‹ gern gesehen und für sie werden auch spezielle hochwertige Produkte entwickelt, z. B. im Bereich der Mode- und Reisebranche sowie der Möbel- und Automobilindustrie.<sup>53</sup>

## Gegen die Zeit

So vielversprechend das Gesagte klingt, es sei nicht verschwiegen, dass hinter diesem neuen positiven Altersleitbild eine Falle lauert: Zum einen werden schichtspezifische Nachteile verschleiert, zum anderen perpetuieren sich die Maßstäbe und Werte der konsumorientierten Leistungsgesellschaft in eine Lebensphase hinein, in der man sich davon eigentlich frei machen könnte. Die Abschaffung des ›Lebensabends‹ zwingt beinahe zu Aktivität und Engagement,<sup>54</sup>

---

52 Thomas Rentsch, Harm-Peer Zimmermann und Andreas Kruse, *Altern in unserer Zeit. Späte Lebensphasen zwischen Vitalität und Endlichkeit*, Frankfurt a. M. 2013.

53 Kirsten Wiese, *Von der Greisenrepublik bis Generation50plus. Die sprachliche Darstellung von Altersbildern in ausgewählten Zeitschriften*, Berlin 2010; Julian Wangler, *Hoffnungsträger und Schreckgespenster. Eine empirische Untersuchung zur Rezeption und Wirkung medialer Altersrepräsentationen* (Gesellschaft – Altern – Medien, Bd. 6), München 2013.

54 Vgl. Tina Denninger u. a., *Leben im Ruhestand. Zur Neuverhandlung des Alters in der Aktivgesellschaft* (Gesellschaft der Unterschiede, Bd. 12), Bielefeld 2014; Dirk Hofäcker, »The emerging trend of work beyond retirement age in Germany. Increasing social inequality?«, in *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie* 48/5 (2015), S. 473–479.

verstärkt den ohnehin schon bestehenden Machbarkeitswahn und fördert eine Mentalität, die Krankheit und Beschwerden auf eigenes Verschulden zurückführt.

Wir scheinen also auf dem Weg zu einer Abschaffung des Alters bzw. zur ›Age Irrelevant Society‹ zu sein und die Medizin ist hierbei maßgeblich involviert.<sup>55</sup> Im Zuge einer Medikalisierung des Alters dient der mittlere Lebensabschnitt als Orientierung und unter diesem Normierungs- bzw. Konformitätsdruck erscheint mehr und mehr das Alter als behandlungsbedürftiger Zustand.<sup>56</sup> Nun gibt es keinen ernst zu nehmenden medizinethischen Grund dagegen, altersbedingte Krankheiten aufzuschieben oder zu lindern und auch ›normale‹ Auswirkungen des Alterns zu behandeln. Die in Deutschland – verglichen mit europäischen Nachbarstaaten – auffallend hohen Operationsanzahlen beim Gelenkersatz legen allerdings die Vermutung nahe, dass der vorhandene Wohlstand wirtschaftliche Interessen für ein wachsendes Kundenfeld generiert, was wiederum die Indikationsstellungen großzügig erweitert und für die Allgemeinheit hohe Kosten verursacht.

Daneben gibt es auch individuell zu bezahlende Angebote der ›Anti-Aging-Medizin‹:<sup>57</sup> Obwohl es kaum nachgewiesene Effekte gibt, floriert der Markt für kommerzielle ›Life style-Angebote‹, z.B. in Form von Nahrungsergänzungsmitteln oder ›medizinischen‹ Pflegeprodukten (›cosmeceuticals‹) aus der Apotheke. Es ist ein alter Traum, die Auswirkungen des Alterns – und gesundheitliche (diätetische) Versäumnisse der Vergangenheit – rückgängig machen zu können; das ist jedoch den bisherigen Ansätzen im Sinne eines Enhancements<sup>58</sup> noch nicht gelungen. Die Beseitigung des Alters und ein Quantensprung hinsichtlich der Verlängerung des Lebens sind jedoch Gegenstand

---

55 Kritische Analyse mit interdisziplinärer Perspektive: Kristina Mann, *Bilder des Alter(n)s. Der metaphorische Charakter des ›Seniorentellers‹ im Schnittbereich von Gerontologie und Soziolinguistik. Eine qualitative Analyse*, Berlin/Münster 2015.

56 Der Begriff ›Medikalisierung‹ bedeutet, dass die Medizin sich Aufgabenfelder erobert, die vorher anderweitig oder gar nicht versorgt wurden, und geht letztlich zurück auf ein Buch, das zum Klassiker in Medizingeschichte und Medizinsoziologie geworden ist: Ivan Illich, *Die Nemesis der Medizin. Die Kritik der Medikalisierung des Lebens* (Beck'sche Reihe, Bd. 1104), 5. Aufl., München 2007.

57 Julia Maria Derra, *Das Streben nach Jugendlichkeit in einer alternden Gesellschaft*, Baden-Baden 2012; Christian Trapp (Hg.), *Ewige Jugend? Aspekte eines alten Menschheitstraums*, Münster 2012.

58 Udo Ebert, Ortrun Riha und Lutz Zerling (Hg.), *Der Mensch der Zukunft – Hintergründe, Ziele und Probleme des Human Enhancements* (Abhandlungen der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig, Phil.-hist. Kl., Bd. 82/3), Leipzig 2013.

aktueller Grundlagenforschung (Telomer-Telomerase-Hypothese) und wurden bereits mit einem Nobelpreis gewürdigt.<sup>59</sup>

Das ist Zukunftsmusik und vielleicht auch gar nicht wünschenswert. Dem verehrten Jubilar seien jedenfalls noch viele aktive und erfüllte Jahre gewünscht, um deren Sinngehalt man sich sicher keine Sorgen machen muss, hat er sich doch in weiser Voraussicht an eine Maxime gehalten, die schon Konfuzius (551 bis 479 v. Chr.) für die Lebensplanung empfohlen hat: »Man muss sich einen Stecken in der Jugend schneiden, damit man im Alter daran gehen kann«.

---

<sup>59</sup> Catherine Brady, *Elizabeth Blackburn and the story of telomeres. Deciphering the ends of DNA*, Cambridge, Mass. 2007.

Jörg Kärger

## Die Zeit als physikalische Grundgröße und ihre Merkwürdigkeiten

Unter den Grundgrößen der Physik lädt insbesondere der Begriff der Zeit zu vielfältiger Betrachtung ein. Runde Geburtstage, die Meilensteine in unserem Dasein, sind hierzu willkommener und gern benutzter Anlass. Die Beiträge des vorliegenden Heftes verdeutlichen, wie reichhaltig der Ertrag solcher Betrachtungen sein kann. So war es auch mir Ehre und Vergnügen zugleich, zum interdisziplinären Festkolloquium unseres hochgeschätzten Jubilars, das zu diesem Heft führte, aus ganz persönlicher Sicht, nämlich der des Physikers, über Besonderheiten der Zeit zu sprechen. Man möge mir bitte nicht verübeln, dass ich auf einige Bilder, die ich zum Kolloquium gezeigt habe, auch hier nicht verzichten wollte – selbst wenn sie mitunter von dem gewohnten Bild der Illustrationen in wissenschaftlichen Journalen abweichen. Einige Abbildungen zur aktuellen Forschung sind allerdings hinzugekommen. Mit wenigen eingestreuten Gleichungen bin ich zudem meiner Überzeugung gefolgt, dass – genau wie Bilder – auch Formeln oft mehr als tausend Worte sagen können, selbst wenn es modern ist, dies mitunter in Abrede zu stellen.

### Messgrößen und deren Verlässlichkeit

Zur Beschreibung der Welt und der in ihr ablaufenden Vorgänge stützt sich die Physik auf Messgrößen. Das sind Eigenschaften von Objekten oder Prozessen, für die wohldefinierte Messvorschriften existieren, die zu eindeutigen Ergebnissen führen. Allerdings werden solche Größen subjektiv oft ganz anders wahrgenommen, als sich bei ihrer Messung ergeben würde. Zwei wohlbekannt Beispiele seien dafür genannt: Zum ersten das berühmte Experiment mit den drei Wasserschüsseln. Hierbei taucht der Experimentator zunächst eine Hand in die kalte, die andere in die warme Schüssel. Kommen danach beide Hände in die mittlere Schüssel mit lauwarmem Wasser, wird genau das gleiche Wasser von einer Hand als kalt, von der anderen als warm empfunden. Zum zweiten sei der im Laufe einer Wanderung immer schwerer werdende Rucksack erwähnt, der eigentlich – nach Entnahme des Wegproviant – leichter hätte werden müssen.

Wahrnehmung und Bewertung der physikalischen Grundgrößen Temperatur und Masse unterliegen offensichtlich einer dramatischen Sinnestäuschung. Ähnliches passiert beim Betrachten der Zeit. So schien uns in der Kindheit die Wartezeit bis zum Weihnachtsfest endlos zu sein, während uns mit zunehmendem Alter immer öfter das Grausen darüber packt, wie schnell die Zeit vergeht. Die Ursachen, die in den genannten Beispielen zur Fehlbewertung von Temperatur und Masse führen, sind offensichtlich Gewöhnung und Ermüdung. Wie es zu den Merkwürdigkeiten bei der Bewertung der Zeit kommt, verdient aber eine etwas längere und tiefer gehende Betrachtung.

Eine Objektivierung der Messung der Zeitdauer eines Vorgangs ist dadurch möglich, dass man sie mit der Schwingungsdauer eines wohldefinierten Systems vergleicht, z. B. eines Pendels. Von Galileo Galilei (1564 bis 1642) wird erzählt, dass er – als wohl erste Tauglichkeitsprüfung eines solchen Vergleichsnormals – die Pendelbewegung des Kronleuchters im Dom zu Pisa studierte (Abb. 1). Hierbei hatte er – in »orientierenden« Messungen – zunächst seinen Puls als Zeitmaßstab benutzt, was er aber schnell wieder verwarf: Die Faszination des Beobachteten (dass sich eine Pendelbewegung nämlich in der Tat als Vergleichsnormal eignet, weil die Schwingungsdauer nahezu unabhängig vom Pendelausschlag ist) ließ sein Herz schneller schlagen. Wohlwissend, wie anspruchsvoll das Vergleichsnormal zur Zeitmessung mitunter sein muss, benutzt man heute die Periodendauer einer Strahlung, die beim Übergang zwi-



Abb. 1: Galileo Galileis Beobachtung der Pendelbewegung des Kronleuchters in der Kathedrale zu Pisa. Fresko von Luigi Sabatelli (1772–1850).

Foto: Kunsthistorisches Institut Florenz – Max-Planck-Institut.



Abb. 2: Zwillingspärchen der Fontänenuhren CSF1 und CSF2 der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB). In einem Laserstrahl bildet sich eine Wolke von Cäsiumatomen, die – wäre sie sichtbar – einer Wasserfontäne ähnelte. Foto: PTB.

schen zwei wohldefinierten Zuständen des Cäsiumatoms entsteht (Abb. 2). Im täglichen Leben sind hierfür natürlich eine gewöhnliche Uhr und die von ihr angezeigten Sekunden, Minuten, Stunden oder Tage – je nach dem, für welchen Bereich die Aussagen zu treffen sind – in der Regel vollkommen ausreichend.

## Täuschungen mit der Zeit

Trotz dieses absoluten Vergleichsnormals scheinen nun aber mit wachsendem Alter gleichlange Zeitabschnitte immer schneller zu vergehen. Um dies erklären und verstehen zu können, müssen wir uns natürlich vor Augen halten, dass es sich hierbei nicht um einen Uhrenvergleich mit der Kindheit handelt, sondern um einen Vergleich subjektiver Wahrnehmungen. Die Objektivierung dieser subjektiven Wahrnehmung ist der Verdienst zweier Gelehrter der Leipziger Universität, des Physiologen Ernst Heinrich Weber (1795 bis 1878) und des Physikers Gustav Theodor Fechner (1801 bis 1887).

Sie beobachteten, dass die subjektiv empfundene Stärke von Sinneseindrücken nicht proportional zur Intensität des physikalischen Reizes selbst, sondern nur mit dessen Logarithmus anwächst. Wenn wir also zwei unterschiedliche Stärken eines physikalischen Reizes mit den (objektiven) Größen  $J_1$  und

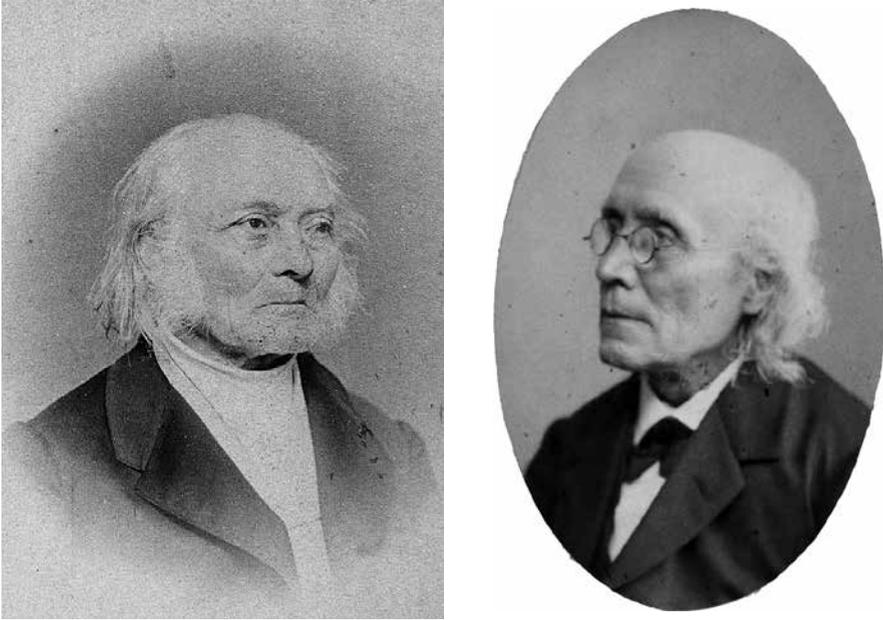


Abb.3: Die »Väter« der Objektivierung subjektiver Sinneseindrücke: Ernst Heinrich Weber (li.) und Gustav Theodor Fechner (re.). Fotos: Universitätsbibliothek Leipzig, Fotoalbum 11, Professoren der Universität Leipzig (li.) und Universitätsbibliothek Leipzig, NL 249.

$J_2$  betrachten, sind diese mit den jeweiligen (subjektiven) Empfindungsstärken  $E_1$  und  $E_2$  über eine Beziehung der Form

$$E_2 - E_1 = C (\log J_2 - \log J_1) \equiv C \log \frac{J_2}{J_1} \quad (1)$$

verknüpft.  $C$  bedeutet hierbei eine Konstante.

Mit Gl. (1) erschließt sich uns beispielsweise sofort auch die zur Quantifizierung der Hörempfindung eingeführte Phon-Skala. Sie basiert auf einem Wert von  $C = 10$ . Zudem wird der Empfindungsstärke (der »Lautstärke«) eines Tones der Reizstärke  $J_1$ , die gleich dem Zehnfachen der Reizstärke  $J_0$  des Tones ist, der (bei einer repräsentativen Probandenanzahl) gerade eine Tonempfindung auslöst, ein Wert von 10 Phon zugeordnet. In diesem konkreten Fall erscheint also Gl. (1) in der Form

$$E_{1000 \text{ Hz}} = 10 (\log J - \log J_0) \equiv 10 \log \frac{J}{J_0}, \quad (2)$$

wobei das der Empfindungsstärke beigelegte Suffix 1000 Hz darauf hinweist, dass dieser Betrachtung eine Tonfrequenz von 1000 Hz zugrunde liegt. Diese

liegt eine reichliche Oktave oberhalb des Kammertons (A1, 440 Hz) und damit in der Nähe unserer größten Hörempfindlichkeit.

Die in den Gln. (1) und (2) erscheinende Größe  $\log J$  steht für den Zehnerlogarithmus, also für die Zahl  $x$ , die im Exponenten von 10 erscheinen muss, damit sich gerade  $J$  ergibt. Die Beziehungen  $10^x = J$  und  $\log J = x$  stellen damit ein und denselben Sachverhalt dar, woraus durch Kombination beider Beziehungen die Identität  $\log 10^x \equiv x$  folgt. Setzt man  $10^{x_i} = J_i$  (mit  $i = 1,2$ ) und betrachtet die Beziehung  $10^{x_1} \times 10^{x_2} \equiv 10^{x_1+x_2}$ , führt diese Identität zum Gesetz der Additivität der Logarithmen eines Produktes (bzw. zu deren Differenzen beim Betrachten von Quotienten, wovon in den Gln. (1) und (2) Gebrauch gemacht wurde).

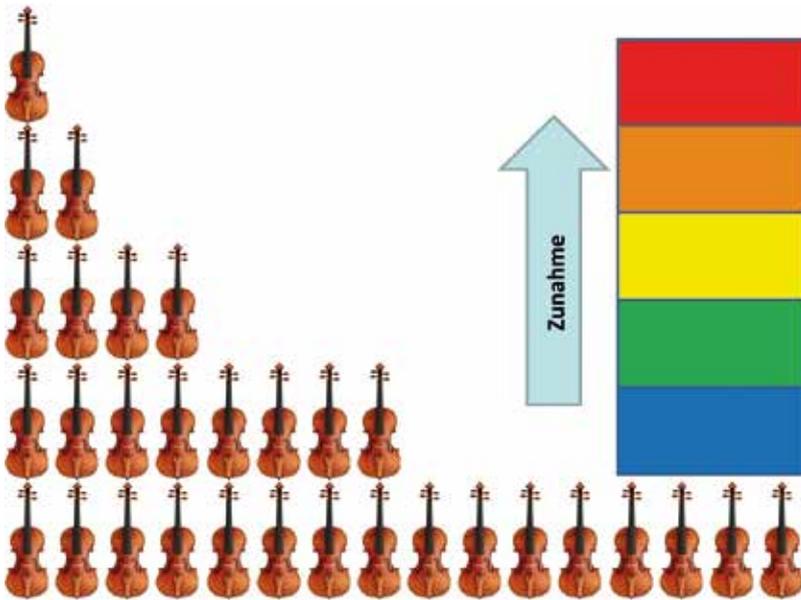


Abb.4: Weber-Fechnersches Gesetz: Die Stärke eines Sinnesindrucks wächst nur mit dem Logarithmus der Reizstärke und nicht mit der Reizstärke selbst. Wenn also nach Hinzunahme einer zweiten Geige die Lautstärke in gleichem Maße weiter gesteigert werden soll, reicht es nicht, jeweils (nur) eine weitere Geige hinzuzunehmen. Die Anzahl der Instrumente muss vielmehr immer wieder um den gleichen Faktor (hier also 2) vergrößert werden.

Mit den Additivitätsgesetzen des Logarithmus erschließt sich uns die Grundaussage des Weber-Fechnerschen Gesetzes besonders deutlich. Es sind ja in der Tat nicht die Absolutwerte der Größe eines physikalischen Reizes, sondern viel eher dessen relative Änderungen, die wir registrieren. Abb.4 illustriert diesen

Sachverhalt. Wenn die Anzahl der Geigen von eins auf zwei erhöht wird, steigt unsere Empfindung der Lautstärke (die »Klangfülle«) keinesfalls im gleichen Maße weiter, wenn eine weitere hinzukommt. Es muss vielmehr der gleiche *Prozentsatz* an Geigen hinzukommen. Im Beispiel brauchen wir also erneut eine Steigerung um 100 %, also zwei Geigen zusätzlich – und bei gleichbleibender weiterer Steigerung zunächst vier Geigen mehr und schließlich insgesamt 16 Instrumente. Kein Wunder also, wenn in einem Orchester die Anzahl der Streicher die der Blechbläser, die von Natur aus viel lauter sind, dramatisch übersteigt.

Wir wollen diese Überlegung nun mit dem Weber-Fechnerschen Formalismus unterlegen. Mit Gl. (1) gilt für die Steigerung der Empfindungsstärke bei Hinzunahme einer zweiten Geige

$$E_2 - E_1 = C(\log(2J) - \log J) = C \log 2, \quad (3)$$

wobei  $J$  die Lautstärke einer Geige (also die Größe des von ihr ausgehenden Reizes) bezeichnen soll und wir mit  $\log(2J) = \log 2 + \log J$  wiederum das Additivitätsgesetz der Logarithmen benutzt haben. Entsprechend gilt im Vergleich zwischen einer (also  $2^0$ ) und  $2^n$  Geigen

$$E_{2^n} - E_1 = C(\log(2^n J) - \log J) = n \times C \log 2 \quad (4)$$

also die  $n$ -fache (und nicht die  $2^n$ -fache) Steigerung der Empfindungsstärke im Vergleich zur Steigerung bei der Hinzunahme der zweiten Geige.

### Geburtstagstorte als Zeitmesser

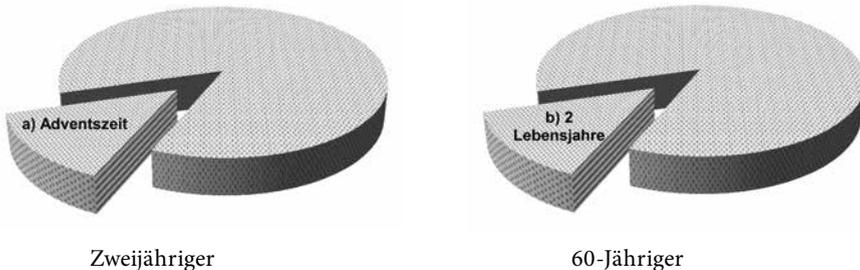


Abb. 5: Zeitempfinden nach dem Weber-Fechnerschen Gesetz: Die Adventszeit nimmt im Leben eines Zweijährigen den gleichen Zeitraum ein wie für einen 60-Jährigen zwei Lebensjahre.



Abb. 6: Jubilar, aufgenommen am 60. Geburtstag mit seiner Arbeitsgruppe vor dem Anatomiegebäude der Universität Halle.

Anlassgemäß überträgt Abb. 5 die Überlegungen zum Klangempfinden auf das Zeitempfinden, indem der Umfang einer Geburtstagstorte als Maß für das jeweilige Lebensalter angesehen werden soll. Die Adventszeit – also ca. 20 Tage – erscheint in der Torte eines Zweijährigen als relativ großes Stück. Für den Sechzigjährigen – wie etwa für unseren Jubilar vor 10 Jahren, aufgenommen vor »seinem« Institut inmitten seiner Arbeitsgruppe (Abb. 6) – entspricht das gleichgroße Tortenstück einer Zeit von etwa zwei Jahren, mit der Adventszeit als einem winzigen Teilstück, seinem Dreißigstel. Kein Wunder, dass sie wie im Fluge vergeht!

## Was im Gedächtnis haften bleibt

Es lässt sich sogar noch ein weiterer Grund dafür finden, warum mit wachsendem Alter die Zeit immer schneller zu verstreichen scheint. Bewusst oder unbewusst werden Messungen nämlich immer durch Vergleiche vorgenommen. Bei der Wahrnehmung von Zeit könnte z. B. hierzu die Anzahl von Er-



Abb. 7: Jubilar am Tag seiner Berufung auf die Professur für Anatomie an der Universität Halle 1992, gemeinsam mit seiner Ehefrau vor dem jetzigen Leopoldina-Hauptsitz.

eignissen betrachtet werden, die uns im Gedächtnis geblieben sind. Und dass mit wachsendem Alter immer weniger im Gedächtnis haften bleibt, ist eine Erfahrung, die höchstwahrscheinlich nicht nur ich allein sammle. Als Beispiel nehme man die unterschiedliche Fülle von Eindrücken, die – zumindest hypothetisch – zwei Reisende entsprechend unterschiedlichen Alters auf der Reise von Leipzig nach Halle a. d. Saale machen könnten. Anlass der Reise sei die Berufung unseres Jubilars auf die Professur für Anatomie an der Universität Halle-Wittenberg 1992. Ein kleiner Junge wird u.a. das Gewimmel auf dem Bahnsteig sehen, Schlösser an der Strecke bestaunen, zahlreiche Kirchen zählen und springenden Rehen hinterherschauen. Dem gereiften Herrn wird nur die Leipziger Bahnhofshalle und – welch Zufall – der Jubilar mit seiner Ehefrau vor dem heutigen Hauptsitz der Leopoldina in Erinnerung bleiben.

## Grundgröße mit Richtung

Unter den Besonderheiten der Zeit steht ihre Unumkehrbarkeit wohl im allerdirektesten Bezug zum Anlass des Festkolloquiums, und damit auch dieses Beitrags. Während nämlich eine Masse erhöht und erniedrigt werden und eine Bewegung in die eine wie die genau entgegengesetzte Richtung erfolgen kann, schreitet die Zeit – zumindest in der uns umgebenden realen Welt – unerbittlich voran. Ein gütiges Geschick kann einem 70. sehr wohl einen 80. Geburtstag folgen lassen, hingegen bleibt der Weg zurück zum 60. versperrt.

Der hierin zum Ausdruck kommende Richtungssinn der Zeit ist auch deshalb bemerkenswert, weil er in den Grundgesetzen der Mechanik gar nicht vorkommt. Dies lässt sich in wenigen Zeilen zeigen, wenn wir uns in unserer Betrachtung auf den einfachen Fall einer eindimensionalen Bewegung  $x(t)$  einer Masse  $m$  beschränken.  $x(t)$  bezeichnet dabei den Ort (also den Koordinatenwert in Bewegungsrichtung) der (punktförmig gedachten) Masse  $m$  zum Zeitpunkt  $t$ . Die Änderung des Ortes mit der Zeit (d. h., die erste Ableitung der Funktion  $x(t)$  nach der Zeit,  $\frac{dx(t)}{dt}$ ) ist bekanntlich die Geschwindigkeit  $v(t)$  und die Änderung der Geschwindigkeit mit der Zeit (also die erste Ableitung  $\frac{dv(t)}{dt}$  der Geschwindigkeit oder die zweite Ableitung  $\frac{d^2x(t)}{dt^2}$  des Ortes nach der Zeit) heißt Beschleunigung. In Newtons klassischem Grundgesetz der Mechanik,

$$F(x) = m \frac{d^2x}{dt^2}, \quad (5)$$

wird der quantitative Zusammenhang zwischen der Größe der Beschleunigung und ihrer Ursache, nämlich der auf den Massenpunkt  $m$  wirkenden Kraft  $f(x)$ , hergestellt. Bei vertikaler Bewegung im Schwerfeld (also beim freien Fall oder senkrechten Wurf) wäre zum Beispiel  $x$  die jeweilige Höhe und die wirkende Kraft wäre die Schwerkraft. In guter Näherung ist diese unabhängig von der jeweiligen Höhe  $x$  und es gilt  $F(x) = -mg$ , wobei  $g \approx 9,81 \text{ ms}^{-2}$  die Erdbeschleunigung bezeichnet. Das Minuszeichen erscheint, wenn wir – wie üblich – die Höhenkoordinate  $x$  als vom Erdboden aus nach oben gerichtet betrachten, weil dann die Kraft (und damit, wegen Gl. (5), auch die Beschleunigung) der Koordinate entgegengesetzt gerichtet ist.

Nach den Regeln der klassischen Mechanik muss also die Zeitfunktion  $x(t)$ , die den Bewegungsablauf eines Massenpunktes unter dem Einfluss einer Kraft  $F(x)$  beschreibt, Gl. (5) genügen. Es muss also ihre zweite Ableitung, multipliziert mit der Masse, gerade gleich der auf sie wirkenden Kraft sein. Wir wollen nun in einem Gedankenexperiment die Zeit umkehren, also das Geschehen wie auf einem rückwärts laufenden Film betrachten. Dann würde der

Bewegungsablauf offensichtlich der Funktion  $x(-t)$  folgen. Zur Berechnung ihrer Zeitableitung halten wir uns vor Augen, dass die Zeitfunktion  $x(-t)$  auch als Funktion  $x(\varphi)$  der (zugegebener Maßen sehr simplen) Zeitfunktion  $\varphi(t) = -t$  geschrieben werden kann. Nach der Kettenregel der Differentialrechnung ist nun die Ableitung einer Funktion  $x(\varphi(t))$ , die selbst Funktion einer Funktion ist, gleich dem Produkt der Ableitungen der beiden Funktionen. Nun ist im betrachteten Fall die Ableitung der (simplen) Zeitfunktion  $\varphi(t) = -t$  nach der Zeit einfach gleich  $-1$ . Damit ergibt sich bei Zeitumkehr, dass die erste Ableitung einer Zeitfunktion lediglich mit  $-1$  multipliziert werden muss, also ihr Vorzeichen ändert. Das ist uns auch sofort verständlich, weil sich ja bekanntermaßen in einem rückwärts laufenden Film auch alles rückwärts bewegen wird. Bei der zweiten Ableitung, also bei zwei aufeinanderfolgenden ersten Ableitungen, kommt nun ein zweiter Faktor  $-1$  hinzu. Dies bedeutet eine erneute Vorzeichenumkehr, sodass die zweite Ableitung einer Funktion bei Zeitumkehr unverändert bleibt. Wenn das gesamte Weltgeschehen also bereits umfassend vom Newtonschen Grundgesetz, Gl. (5), widergespiegelt würde, könnte dieses genauso auch in umgekehrter Richtung erfolgen. Wenn ein Bewegungsablauf  $x(t)$  Gl. (5) erfüllt, genügt dieser Gleichung immer auch der umgekehrte Bewegungsablauf  $x(-t)$ .

In wenigen weiteren Zeilen können wir uns allerdings auch davon überzeugen, dass die Invarianz der mechanischen Grundgesetze gegenüber Zeitumkehr sofort verschwindet, wenn Gl. (5) genauer gefasst und z. B. der Einfluss des Luftwiderstandes berücksichtigt wird. Neben der Schwerkraft unterliegt der Massepunkt streng genommen auch der Reibungskraft, die wiederum eine Funktion der Geschwindigkeit, also der ersten Ableitung des Ortes nach der Zeit, ist. Wie wir gerade gesehen haben, ändert diese aber bei Zeitumkehr ihr Vorzeichen. Damit kann eine Funktion  $x(t)$ , die einer um den Reibungsterm erweiterten Gl. (5) genügt, nach Änderung der Zeitrichtung dieser Gleichung nicht mehr genügen. Auch dies ist uns wohlbekannt. Wenn wir z. B. den freien Fall eines Steins betrachten, bei dem die Reibung nahezu noch keine Rolle spielt, so würde dieser, wenn er mit dem Betrag seiner Fallgeschwindigkeit vom Boden aus wieder senkrecht nach oben geworfen würde, genau wieder seine Anfangshöhe erreichen. Um den Bewegungsablauf zu verfolgen, brauchte man also einen beim freien Fall aufgenommenen Film in der Tat nur rückwärts laufen zu lassen. Führt man das gleiche Experiment dagegen mit einem größeren Objekt von geringerer Dichte, etwa einem Gummiball, durch, würde bereits bei geringen Fallhöhen der Luftwiderstand zur Wirkung kommen und der senkrechte Wurf nach oben in keiner Weise zu dem Bewegungsablauf führen, wie er in einem rückwärts laufenden Film vom Fall des Balles gezeigt wird.

## Vom Süßen des Kaffees

Abb. 8 zeigt, wie sich Fruchtsirup vom Boden eines Gefäßes aus in der darüber befindlichen Flüssigkeit ausbreitet. Die hierbei ablaufenden Prozesse sind ähnlich denen beim Auflösen eines Stückes Würfelzucker in einer Kaffeetasse und uns daher in ihren Grundzügen bekannt. Es zeigt sich nämlich zunächst, dass der Prozess der Ausbreitung äußerst langwierig ist. Selbst nach 24 Stunden hat sich der Sirup erst über einen nur sehr kleinen Teil des Gefäßes verteilt. Wir kennen diesen Effekt vom Kaffeesüßen sehr wohl und haben deshalb schon längst zum Löffel gegriffen und die Flüssigkeit in der Tasse der besseren Durchmischung wegen umgerührt.

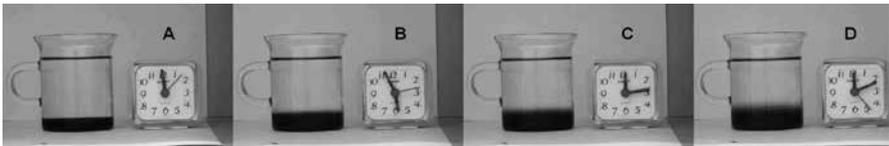


Abb. 8: Die Zeit bekommt eine Richtung: Fruchtsirup verteilt sich vom Boden des Gefäßes aus über die gesamte darüber befindliche Flüssigkeit – wenn auch sehr langsam (A direkt nach dem Einfüllen, B nach 6 Stunden, C nach 12 Stunden, D nach 24 Stunden). Eine Rückkehr zum Anfangszustand ist ausgeschlossen. Aus: Nikolaus Nestle, »Diffusion: Macroscale Dwarf and Nanoscale Giant«, in *Diffusion Fundamentals – Online 6* (2007), 1.1–1.24, hier S. 4.

Die Auflösung des Zuckers oder des Fruchtsirups in der umgebenden Flüssigkeit liefert uns ein weiteres schönes Beispiel für den Richtungssinn der Zeit. In beiden Fällen strebt das »System«, also der Kaffee mit dem darin befindlichen Zucker bzw. die Mischung von Wasser und Fruchtsirup, einem Zustand zu, in dem der gelöste Stoff gleichmäßig verteilt ist. Eine Umkehr ist ausgeschlossen. Eine Präsentation der in Abb. 8 gezeigten Momentaufnahmen in umgekehrter Reihenfolge würde sofort als Fälschung erkannt.

Wir wollen nun nach den Mechanismen fragen, die der Zeit im betrachteten Beispiel einen Richtungssinn geben. Grundlage unserer Überlegungen ist dabei die Tatsache, dass alle Bausteine unserer Materie – also insbesondere die Atome und Moleküle – einer ständigen regellosen Bewegung unterworfen sind, die als Diffusion (von *diffundere*, lateinisch für »ausbreiten«) bezeichnet wird. Erstmals beobachtet wurde dieses Phänomen einer permanenten, unregelmäßigen Teilchenbewegung durch den schottischen Botaniker Robert Brown (1773 bis 1858),<sup>1</sup> als er Pflanzenpollen in wässriger Lösung im optischen Mikro-

<sup>1</sup> Robert Brown, »A brief Account of Microscopical Observations made in the Months

skop betrachtete.<sup>2</sup> Die Begriffe ›Diffusion‹ und ›Brownsche Bewegung‹ werden deshalb auch oft synonym verwendet. Analoge Beobachtungen sind – dank beeindruckender Entwicklungen auf dem Gebiet der Mikroskopie – inzwischen selbst mit Atomen<sup>3</sup> und Molekülen<sup>4</sup> möglich geworden.

Mit einer einfachen Modellvorstellung können wir uns eine wichtige Besonderheit dieser Bewegung erschließen. Wir nehmen hierzu an, dass die Bewegung in gleichgroßen Schritten der Länge  $l$  erfolgt, wobei die Schritte mit gleichgroßer Wahrscheinlichkeit vorwärts wie rückwärts (also in  $(+x)$ - und in  $(-x)$ -Richtung) gerichtet sein können. Die Verschiebung während des  $n$ -ten Schrittes bezeichnen wir mit  $l_n$ . Jeweils mit der Wahrscheinlichkeit  $\frac{1}{2}$  gilt also  $l_n = +l$  oder  $l_n = -l$ . Die Unbestimmtheit in der Schrittrichtung hat zur Folge, dass für die Verschiebung nach  $n$  Schritten, also für

$$x_n = l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n = \sum_{i=1}^n l_i, \quad (6)$$

kein allgemeingültiger Wert angegeben werden kann. Offensichtlich sind, je nach Schrittfolge, alle Positionen zwischen den maximalen Verschiebungen in  $(+x)$ -Richtung, also  $+nl$  (wenn nämlich alle Schritte in  $(+x)$ -Richtung erfolgen, d. h. für  $l_i = +l$ ), und in  $(-x)$ -Richtung, also  $-nl$ , möglich. Dieses Ergebnis ist in keiner Weise verwunderlich, denn ein beliebig herausgegriffenes Molekül kann ja in der Tat zu ganz unterschiedlichen Orten gelangt sein.

Einen wohldefinierten Wert erhalten wir aber dann, wenn wir – bei Beobachtung hinreichend vieler Moleküle – einen geeigneten Mittelwert betrachten. Da die Summanden auf der rechten Seite von Gl. (6) mit jeweils gleicher Wahrscheinlichkeit die Werte  $+l$  und  $-l$  annehmen, ist der Mittelwert jedes Summanden, und damit auch der ganzen Summe, allerdings gleich Null. Auf diesem Weg können wir also kein brauchbares Maß der molekularen Beweglichkeit

of June, July, and August, 1827, on the Particles contained in the Pollen of Plants [...], in *The Philosophical Magazine* 4 (1828), S. 161–173.

2 Gero Vogl, *Wandern ohne Ziel: Von der Atomdiffusion zur Ausbreitung von Lebewesen und Ideen*, Berlin/Heidelberg 2007; Helmut Mehrer und Nicolaas A. Stolwijk, »Heroes and Highlights in the History of Diffusion«, in Christian Chmelik u. a. (Hg.), *Diffusion Fundamentals III*, Leipzig 2009, S. 21–52; Jean Philibert, »One and a Half Century of Diffusion: Fick, Einstein, before and beyond«, in Jörg Kärger (Hg.), *Leipzig, Einstein, Diffusion*, Leipzig 2010, S. 41–82.

3 Steffen Renisch u. a., »Dynamics of Adatom Motion under the Influence of Mutual Interactions: O/Ru(0001)«, in *Physical Review Letters* 82/19 (1999), S. 3839–3843.

4 Andreas Zürner u. a., »Visualizing single-molecule diffusion in mesoporous materials«, in *Nature* 450 (2007), S. 705–709; Christoph Bräuchle, Don C. Lamb und Jens Michaelis (Hg.), *Single Particle Tracking and Single Molecule Energy Transfer*, Weinheim 2010.

erhalten. Die Situation ändert sich aber, wenn wir stattdessen den Mittelwert des Quadrats der Verschiebung betrachten. Ausgehend von Gl. (6) führen uns nun einige wenige Umformungen zu einer überraschend simplen Beziehung:

$$\langle x_n^2 \rangle = \langle (l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n)^2 \rangle = \left\langle \sum_{i=1}^n l_i^2 + \sum_{i \neq j} l_i l_j \right\rangle = \sum_{i=1}^n \langle l_i^2 \rangle + \sum_{i \neq j} \langle l_i \rangle \langle l_j \rangle = n l^2 \quad (7)$$

Hierbei bedeuten die spitzen Klammern  $\langle \dots \rangle$  um eine Größe, dass jeweils deren Mittelwert zu betrachten ist. Zunächst haben wir (mit dem zweiten Gleichheitszeichen) davon Gebrauch gemacht, dass das Quadrat einer Summe als Summe der Quadrate aller Summanden ( $l_i^2$ ) und aller Produkte unterschiedlicher Summanden ( $l_i l_j$ ) dargestellt werden kann. Weiterhin (nächstes Gleichheitszeichen) haben wir benutzt, dass der Mittelwert einer Summe gleich der Summe der Mittelwerte der Summanden und der Mittelwert eines Produktes unabhängiger Faktoren gleich dem Produkt der Mittelwerte dieser Faktoren ist. Die letzte Gleichung ergibt sich schließlich wegen  $l_i^2 = l^2$  (für sowohl  $l_i = +l$  als auch  $l_i = -l$ ) und wegen  $\langle l_i \rangle = \langle l_j \rangle = 0$ , wovon wir bereits bei der Berechnung des Mittelwerts der Verschiebungen Gebrauch gemacht hatten.

Wenn wir nun noch bedenken, dass die Schrittzahl  $n$  linear mit der Zeit  $t$  anwächst, lässt sich Gl. (7) in eine Beziehung der Form

$$\langle x^2(t) \rangle = 2Dt, \quad (8)$$

umschreiben, wobei der hier erscheinende Proportionalitätsfaktor  $D$  als Diffusionskoeffizient bezeichnet wird. Mit dieser Beziehung gelang Albert Einstein (1879 bis 1955) in seinem *annus mirabilis* 1905 die Erklärung der Brownschen Molekularbewegung.<sup>5</sup> Etwa zur gleichen Zeit kam auch der polnische Physiker Marian von Smoluchowski (1872 bis 1917) zu einem ähnlichen Ergebnis.<sup>6</sup> Gl. (8) heißt deshalb auch die Einstein- oder Einstein-Smoluchowski-Beziehung.

Der Artikel, dem Abb.8 entnommen ist, trägt den Titel *Diffusion: Macroscale Dwarf and Nanoscale Giant*.<sup>7</sup> Gl.(8) erleichtert uns das Verständnis, wieso (in Bezug auf die Effizienz des Stofftransports) Diffusion in der Tat mikroskopisch ein Riese, makroskopisch aber nur ein Zwerg ist.

5 Albert Einstein, »Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen«, in *Annalen der Physik* 17 (1905), S. 549–560.

6 Marian von Smoluchowski, »Zur kinetischen Theorie der Brownschen Molekularbewegung und der Suspensionen«, in *Annalen der Physik* 21 (1906), S. 756–780.

7 Nikolaus Nestle, »Diffusion: Macroscale Dwarf and Nanoscale Giant«, in *Diffusion Fundamentals – Online* 6 (2007), 1.1–1.24, hier S. 4, [http://www.uni-leipzig.de/diffusion/pdf/volume6/diff\\_fund\\_6\(2007\)1.pdf](http://www.uni-leipzig.de/diffusion/pdf/volume6/diff_fund_6(2007)1.pdf) [25.10.2015].

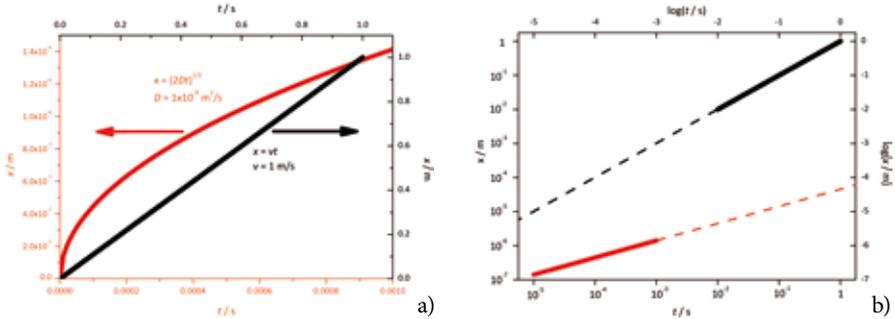


Abb. 9: Raum-Zeit-Gesetze bei der gerichteten Bewegung (mit  $v = 1 \text{ m/s}$ ) und bei Diffusion ( $D = 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ ) in linearer (a) und logarithmischer (b) Darstellung. Im Unterschied zur linearen Darstellung (a) können mit der Auftragung der Logarithmen von Zeit und Verschiebung (also von  $\log 10^n = n$  an Stelle von  $10^n$ ) in (b) viele Größenordnungen überstrichen werden, sodass beide Bewegungsarten innerhalb einer Darstellung (mit einheitlicher Achsenbeschriftung) gezeigt werden können. Die Funktionswerte von (a) sind in (b) fett gezeichnet. Die dünnen Linien in (b) setzen den Wertebereich in Regionen fort, die in (a) nicht gezeigt werden können. Mit den bereits beim Umgang mit dem Weber-Fechnerschen Gesetz benutzten Logarithmen-Beziehungen finden wir, wegen  $\log x = \log \sqrt{2Dt} = \log \sqrt{2D} + \log \sqrt{t} = \log \sqrt{2D} + \frac{1}{2} \log t$  und  $\log x = \log (vt) = \log v + \log t$ , dass der Logarithmus der Ortsverschiebung in beiden Fällen linear mit dem Logarithmus der Zeit anwächst, wobei der Anstieg bei der Diffusion nur halb so groß ist wie bei der gerichteten Bewegung – genau so, wie es in (b) auch wiedererkannt werden kann.

Hierzu betrachten wir als Maß für die Wegstrecke, die von diffundierenden Molekülen während der Zeit  $t$  zurückgelegt wird, die Quadratwurzel von deren mittlerem Verschiebungsquadrat, also nach Gl. (8) die Beziehung  $\sqrt{\overline{x^2(t)}} = \sqrt{2D} \sqrt{t}$ . Abb. 9 vergleicht diese Abhängigkeit mit der Wegstrecke

$$x(t) = vt, \tag{9}$$

die bei einer Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit  $v$  zurückgelegt wird. Dabei sehen wir, dass mit der Zeit und den zurückgelegten Wegstrecken die durch Diffusion verursachten Verschiebungen immer langsamer anwachsen. Genau dies entspricht unserer Erfahrung beim Umrühren des Kaffees. Eine Ausbreitung des Zuckers über das gesamte Fassenvolumen, also über »makroskopische« Dimensionen, würde viel zu große Zeiträume in Anspruch nehmen. Mit kürzer werdender Beobachtungszeit (und damit auch kürzeren Wegstrecken) gewinnen aber die diffusionsbedingten Verschiebungen gegenüber der Translation immer mehr an Bedeutung.

Diesen Sachverhalt kann man zum Beispiel im Stoffwechsel lebender Organismen wiederfinden, wo im mikroskopischen Bereich, also in Zellen und Geweben, dominierender Transportmechanismus die Diffusion

ist,<sup>8</sup> während der Transport über makroskopische Dimensionen über das Gefäßsystem erfolgt. Diese Überlegungen lassen sich auf den großtechnischen Einsatz von mikroporösen Materialien übertragen,<sup>9</sup> wo Porengrößen im Molekülgrößenbereich in hocheffizienter (und zudem ressourcensparender und umweltverträglicher) Weise zur Stofftrennung<sup>10</sup> oder durch katalytische Umwandlung zur Erzeugung höherwertiger Stoffe<sup>11</sup> eingesetzt werden. Wieder folgen im Bereich makroskopischer Dimensionen – also in den Reaktoren oder Adsorbentien, wie sie im Hintergrund von Abb. 10a zu sehen sind, bis hin zu den Zwischenräumen in der Schüttung der einzelnen Partikel und den sie durchziehenden Kanälen – die molekulare Verschiebung der mit Gl. (9) gegebenen Gesetzmäßigkeit. Entscheidend für die angestrebte Veredelung des Einsatzproduktes, also für die Trennung eines Molekülgemisches oder für die katalytische Umwandlung in ein höherwertiges Produktmolekül, ist dagegen, wie schnell die Moleküle in das Mikroporensystem eindringen und aus diesem wieder austreten können.<sup>12</sup> Wie Abb. 10b veranschaulicht, kann nämlich der Gewinn an veredelten Produktmolekülen nie schneller sein, als es die Moleküldiffusion im Porenraum und der Austausch mit der Umgebung erlauben.

Wir wollen noch einem möglichen Missverständnis vorbeugen, das beim Betrachten von Abb. 9a entstehen könnte. Aus dem Anstieg der dort gezeigten Kurven (also der Ableitung des Ortes nach der Zeit) als Maß für die Geschwindigkeit im Fortschreiten der betrachteten Objekte können wir völlig zu Recht schließen, dass die Ausbreitungsgeschwindigkeit der gerichteten Bewegung, also für  $x = vt$ , mit wachsender Zeit, und zugleich damit auch mit

---

8 Robert Knauss u. a., »Self-Diffusion of Water in Cartilage and Cartilage Components as Studied by Pulsed Field Gradient NMR«, in *Magnetic Resonance in Medicine* 41/02 (1999), S. 285–292; Douglas S. Martin, Martin B. Forstner und Josef A. Käs, »Apparent Subdiffusion Inherent to Single Particle Tracking«, in *Biophysical Journal* 83 (2002), S. 2109–2117; Holger A. Scheidt, Daniel Huster und Klaus Gawrisch, »Diffusion of Cholesterol and Its Precursors in Lipid Membranes Studied by <sup>1</sup>H Pulsed Field Gradient Magic Angle Spinning NMR«, in *Biophysical Journal* 89 (2005), S. 2504–2512; Holger A. Scheidt u. a., »Cholesterol's Aliphatic Side Chain Modulates Membrane Properties«, in *Angewandte Chemie (International Edition)* 52 (2013), S. 12848–12851.

9 Ferdi Schüth, Kenneth S. W. Sing und Jens Weitkamp (Hg.), *Handbook of Porous Solids*, Weinheim 2002.

10 Douglas M. Ruthven, Shamsuzzaman Farooq und Kent S. Knaebel, *Pressure Swing Adsorption*, New York 1994.

11 Gerhard Ertl u. a. (Hg.), *Handbook of Heterogeneous Catalysis*, 2. Aufl., Weinheim 2008.

12 Jörg Kärger, Christian Chmelik und Rustem Valiullin, »Die innere Größe macht's: Moleküldiffusion in nanoporösen Materialien«, in *Physik Journal* 12 (2013), S. 39–45.

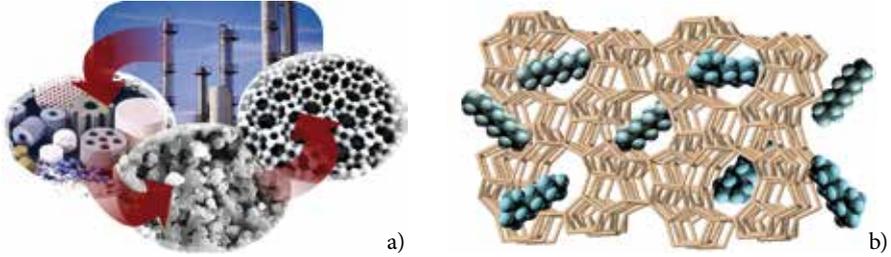


Abb. 10: Einsatz mikroporöser Materialien in großtechnischen Anlagen zur Stofftrennung und -wandlung (a). Dabei kann der Gewinn an veredeltem Produkt nie schneller erfolgen, als es durch den Stofftransport (die Diffusion) im Porensystem erlaubt wird (b). Aus: Jörg Kärger, Christian Chmelik und Rustem Valiullin, »Die innere Größe macht's: Moleküldiffusion in nanoporösen Materialien«, in *Physik Journal* 12 (2013), S. 39–45.

wachsender Verschiebung, konstant (nämlich gleich  $v$ ) bleibt. Bei Diffusion dagegen würde, gemäß

$$\frac{d\sqrt{x^2(t)}}{dt} = \frac{d\sqrt{2Dt}}{dt} = \sqrt{2D} \frac{d\sqrt{t}}{dt} = \sqrt{D/2} \frac{1}{\sqrt{t}}, \quad (10)$$

die Ausbreitungsgeschwindigkeit mit wachsender Zeit abnehmen. Genau deshalb, und weil andererseits mit ebendieser Formel leicht zu sehen ist, dass die Ausbreitungsgeschwindigkeit mit kürzer werdender Zeit (und damit mit kürzeren Verschiebungen) immer größer wird, wurde ja bei Nestle<sup>13</sup> die Diffusion als mikroskopischer Riese und makroskopischer Zwerg bezeichnet. Einem Trugschluss würde man allerdings dann unterliegen, wenn man mit Gl. (10) zu beliebig kleinen Zeiten geht. Denn dann würde die Geschwindigkeit über alle Grenzen wachsen, in der Sprache der Mathematik also unendlich groß werden. Damit würde sie auch die Geschwindigkeit  $v$  einer jeden »normalen« Translationsbewegung beliebig übertreffen können. Das kann natürlich nicht der Fall sein, da – wie Abb. 10b auch veranschaulicht – die Moleküle vom Porensystem in ihrer translatorischen Beweglichkeit eher eingeschränkt werden. Deshalb lagen in der linearen Darstellung der Weg-Zeit-Gesetze in Abb. 9a die (als typische Größenbereiche gewählten) Ordinatenwerte für die Translation bei Bruchteilen von Metern, während sie für die Diffusion nur Bruchteile von Mikrometern (also Tausendstel von Millimetern) betragen. Dennoch bleibt das Problem, dass nach Gl. (10) auch dann noch, sofern nur  $t$  hinreichend klein ist,  $\frac{d\sqrt{x^2(t)}}{dt}$  als Maß für die Geschwindigkeit der Ausbreitung der diffundierenden Moleküle beliebig groß wird. Das Problem löst sich aber so-

13 Nestle, Diffusion (Fn. 7).

fort, wenn wir daran denken, dass Gl. (8), und damit auch Gl. (10), nur einen bestimmten Geltungsbereich besitzen – eine Eigenschaft, die sie im Grunde genommen mit allen Gesetzen teilen. Dieser Geltungsbereich erschließt sich uns mit der Herleitung dieser Beziehungen in Gl. (7) sofort: Gl. (8) gilt nämlich immer nur dann, wenn Diffusionswegstrecken betrachtet werden, die die elementaren Verschiebungen (wie z. B. in Abb. 10b die Sprünge von einem Hohlraum des Porensystems in den Nachbarhohlraum) bei weitem übertreffen. Damit verliert also Gl. (8) ihre Gültigkeit beim Übergang zu beliebig kleinen Verschiebungen bzw. Beobachtungszeiten  $t$ . Genau dies wäre aber die Voraussetzung dafür, dass die Geschwindigkeit dieser Verschiebungen über alle Grenzen wachsen kann.

Wir wollen uns abschließend wieder dem Anfangsbefund dieses Abschnitts zuwenden, dass sich also weder der Sirup im Wasser noch der Zucker in der Kaffeetasse auf dem Boden des Gefäßes bzw. als Zuckerstückchen, das einmal hineingeworfen wurde, wieder zusammenfinden kann. Um der Ursache hierfür auf den Grund zu kommen, gehen wir davon aus, dass die von uns betrachtete Komponente (also der Zucker oder die Bestandteile des Fruchtsirups) nicht gleichmäßig über das System verteilt ist. Vielmehr nehmen wir an, dass ein Konzentrationsgefälle (also z. B. vom Zuckerstück aus in den noch ungesüßten Kaffee) vorliegt, wie es in Abb. 11 gezeigt ist.

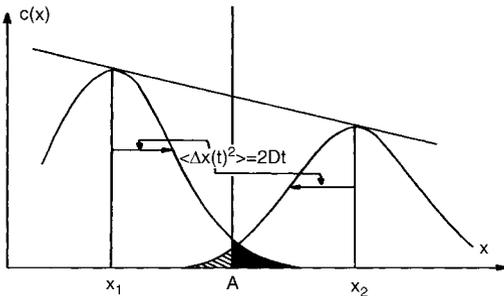


Abb. 11: Gerichteter Diffusionsstrom durch ungerichtete Zufallsbewegung bei Konzentrationsgradienten: Durch die Fläche A treten mehr Teilchen von rechts nach links als von links nach rechts und führen somit zu einem Diffusionsfluss in Richtung fallender Konzentration (Gl. 11).

Aus: Jörg Kärger, Douglas M. Ruthven und Doros N. Theodorou, *Diffusion in Nanoporous Materials*, Weinheim 2012, S. 33.

ven und Doros N. Theodorou, *Diffusion in Nanoporous Materials*, Weinheim 2012, S. 33.

Wir betrachten nun eine Fläche senkrecht zur Richtung des Gefälles, die wir mit  $A$  bezeichnen wollen. Der Teilchenstrom (genauer: die Teilchenstromdichte)  $j$  durch diese Fläche lässt sich als (Netto-)Zahl der Moleküle angeben, die pro Zeiteinheit und Flächeneinheit durch diese Fläche in Koordinatenrichtung getreten sind. Zur Abschätzung von deren Größe zeigt Abb. 11 schematisch die Verteilung von diffundierenden Teilchen nach einer Zeit  $t$ , nachdem sie sich an Positionen  $x_1$  und  $x_2$  beiderseits der Fläche befunden haben. Die Teilchenzahlen, die jeweils von der einen auf die andere Seite gelangt sind, sind durch die

unterschiedlich schraffierten Flächen in den Verteilungskurven der Moleküle dargestellt. Als Maß für die Breite dieser Kurven begegnet uns die weiter oben hergeleitete Gl. (8) für das mittlere Verschiebungsquadrat. Zugleich stellen wir fest, dass wegen der höheren Konzentration auf der linken Seite mehr Moleküle von links nach rechts als von rechts nach links diffundieren. Damit muss der Diffusionsstrom in Richtung fallender Konzentration zeigen, also zu einem Abbau des Konzentrationsgefälles führen. Unerbittlich schreitet die Zeit voran, in Richtung auf eine Gleichverteilung aller Komponenten. Eine Zeitumkehr und damit ein Wiederentstehen von Konzentrationsgradienten im System sind also ausgeschlossen.

Aus Abb. 11 lässt sich zudem unmittelbar ablesen, dass die Diffusionsstromdichte mit wachsendem Konzentrationsgradient und mit wachsendem Diffusionskoeffizient zunimmt. In der Tat sind diese drei Größen auf die einfachste mögliche Weise über die Beziehung

$$j = -D \frac{dc}{dx} \quad (11)$$

miteinander verknüpft. Gl. (11) wurde von dem Mediziner Adolf Fick (1829 bis 1901) in Anlehnung an die Fourierschen Gesetze der Wärmeleitung aufgestellt und in akribischen Messungen zur Auflösungsgeschwindigkeit von Salz in Wasser verifiziert. Er veröffentlichte seine Ergebnisse genau ein halbes Jahrhundert vor Albert Einsteins *annus mirabilis* in den *Annalen der Physik und Chemie*,<sup>14</sup> die übrigens – genau wie die *Annalen der Physik*, in denen Einstein seine grundlegende Diffusionsarbeit publizierte<sup>15</sup> – in Leipzig herausgegeben wurden. Gln. (8) und (11) sind für wechselwirkungsfreie Teilchen äquivalent und können einfach ineinander umgerechnet werden.<sup>16</sup>

## Ostpol der Kernmagnetischen Resonanz

Wenn in Leipzig ein Festkolloquium zum Thema »Zeit« stattfindet und dabei von Diffusion bzw. molekularer Ausbreitung als Indikator für deren Richtungssinn gesprochen wird, darf eine Methode zur Erforschung dieses Phänomens, die in Leipzig eine große Tradition besitzt, nicht unerwähnt bleiben,

---

14 Adolf Fick, »Über Diffusion«, in *Annalen der Physik und Chemie* 94 (1855), S. 59–86.

15 Einstein, Bewegung von suspendierten Teilchen (Fn. 5).

16 Jörg Kärger, Douglas M. Ruthven und Doros N. Theodorou, *Diffusion in Nanoporous Materials*, Weinheim 2012; Helmut Mehrer, *Diffusion in solids. Fundamentals, Methods, Materials, Diffusion-Controlled Processes*, Berlin 2007; Jörg Kärger (Hg.), *Leipzig, Einstein, Diffusion*, Leipzig 2014.

nämlich die kernmagnetische Resonanz (Nuclear Magnetic Resonance: NMR). In gewisser Weise beginnt Leipzigs Verbindung mit der kernmagnetischen Resonanz bereits vor der Beobachtung der ersten Signale. Felix Bloch (1905 bis 1983), dem dies nahezu zeitgleich mit Edward Purcell (1912 bis 1997) in den zeitigen Fünfzigerjahren des vorigen Jahrhunderts in den USA gelang, hatte nämlich Anfang der Dreißigerjahre in Leipzig als erster Doktorand des jungen Werner Heisenberg (1901 bis 1976) in Leipzig seine Dissertation angefertigt, bevor er vor den Nazis aus Deutschland fliehen musste. In den Jahren 1940 bis 1942 war Werner Heisenberg Sekretar der Mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse der Sächsischen Akademie der Wissenschaften und damit einer der berühmtesten Vorgänger unseres Jubilars in dieser Funktion. Bloch und Purcell stehen am Anfang einer beachtlichen Reihe von Forschern, die für ihre Arbeiten auf dem Gebiet der kernmagnetischen Resonanz mit dem Nobelpreis – in übrigens ganz unterschiedlichen Disziplinen – geehrt wurden.<sup>17</sup>

Dass auch Leipzig in der Entwicklung dieses Wissenschaftszweiges eine wichtige Rolle gespielt hat – und in wachsendem Maße wieder spielt – ist uns von Richard Ernst, einem aus der Serie der Nobelpreisträger, bei einem seiner Kolloquia in Leipzig in besonders einprägsamer Weise bestätigt worden, als er nämlich Leipzig als den ›Ostpol der Magnetischen Resonanz‹ bezeichnete. Abb. 12 erinnert an diesen Ritterschlag aus berufenem Munde und zeigt die Leipziger Urväter der NMR, Harry Pfeifer (1929 bis 2008) und Artur Lösche (1920 bis 1995), wobei letzterer über viele Jahre, nämlich von 1984 bis 1991, auch Vizepräsident unserer Akademie war. Wie man dem Kernspin auf dem Cartoon ansieht, fühlt er sich offensichtlich bei seiner Präzessionsbewegung in Leipziger Magnetfeldern sehr wohl. So wurde Leipzig zu einem Zentrum in der Weiterentwicklung und Anwendung der NMR in ganz unterschiedlichen Fachgebieten, gebündelt im Leipziger Magnetresonanzzentrum, unter Leitung des Mediziners Thomas Kahn<sup>18</sup> und des Physikers Jürgen Haase,<sup>19</sup> mit Vertretern der Universität aus Medizin, Veterinärmedizin, Chemie und Physik sowie des Max-Planck-Instituts für Kognitions- und Neurowissenschaften.

---

17 Siehe Jörg Kärger, »Signals in Post-War Ruins, Five Orders of Magnitude and Pore Spaces Explored by NMR Diffusometry«, in *Diffusion Fundamentals – Online* 14 (2010) 1.1–1.22, hier S. 4, [http://www.uni-leipzig.de/diffusion/pdf/volume14/diff\\_fund\\_14\(2010\)1.pdf](http://www.uni-leipzig.de/diffusion/pdf/volume14/diff_fund_14(2010)1.pdf) [26.10.2015].

18 Thomas Kahn und Harald Busse (Hg.), *Interventional Magnetic Resonance Imaging*, Berlin/Heidelberg 2012.

19 Jürgen Haase und Mark S. Conradi, »Sensitivity enhancement for NMR of the central transition of quadrupolar nuclei«, in *Chemical Physics Letters* 209 (1993), S. 287–291; Jürgen Haase, »First <sup>2</sup>H NMR at 58 T«, *Applied Magnetic Resonance* 27 (2004), S. 297–302.

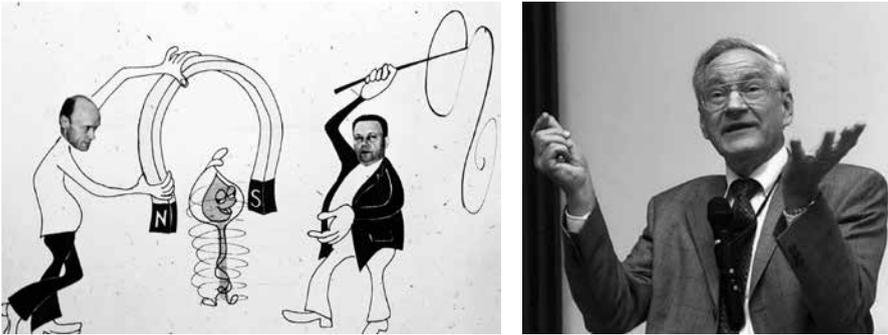


Abb. 12: Harry Pfeifer und Artur Lösche machen Leipzig zum Ostpol der Magnetischen Resonanz, wie Richard Ernst während seines Vortrags 1992 darlegt. Aus: Jörg Kärger, »Signals in Post-War Ruins, Five Orders of Magnitude and Pore Spaces Explored by NMR Diffusometry«, in *Diffusion Fundamentals – Online 14* (2010) 1.1–1.22, hier S. 4.

Diffusionsphänomene, d. h. Prozesse molekularer Ausbreitung und Umverteilung, zählen in all diesen Fachrichtungen zu einem wichtigen Gebiet angewandter NMR-Forschung.<sup>20</sup>

Einen der bisher wohl spektakulärsten Erfolg erzielte die NMR-Diffusionsmesstechnik in Leipzig vermutlich beim Einsatz zur Untersuchung der Moleküldiffusion in nanoporösen Materialien, wie sie in Abb. 10 zu sehen sind. Dank der von Sergej Petrovich Zhdanov (1912 bis 2005) aus (dem damaligen) Leningrad in freundschaftlicher Verbundenheit mit den Leipziger Kollegen zur Verfügung gestellten, damals wohl weltgrößten Zeolithkristalle<sup>21</sup> – also einer bestimmten Klasse nanoporöser Materialien – konnte nämlich der Nachweis erbracht werden, dass sich in der Zeitschrift *Science* veröffentlichte NMR-Daten zur Selbstdiffusion in Zeolithen<sup>22</sup> gar nicht auf den intrakristallinen Stofftransport beziehen können.<sup>23</sup> Es kam dann fast einer Sensation gleich, als sich beim »korrekten« Einsatz der NMR-Diffusionsmesstechnik zeigte, dass bisherige Vorstellungen zur intrakristallinen Diffusion für einige nanoporöse Wirt-

20 Dieter Freude u. a., »Ion and water mobility in hydrated Li-LSX zeolite studied by <sup>1</sup>H, <sup>6</sup>Li and <sup>7</sup>Li NMR spectroscopy and diffusometry«, in *Microporous and Mesoporous Materials* 172 (2013), S. 174–181; Scheidt, Huster, Gawrisch, Diffusion of Cholesterol (Fn. 8).

21 Sergej P. Zhdanov, S. S. Khvostchov und N. N. Feoktistova, *Synthetic Zeolites*, New York 1990.

22 C. Parravano, John Baldeschwieler und Michel Boudart, »Diffusion of water in zeolites«, in *Science* 155 (1967), S. 1535–1536.

23 Jörg Kärger, »Diffusionsuntersuchung von Wasser an 13X- sowie 4A- und 5A-Zeolithen mit Hilfe der Methode der gepulsten Feldgradienten«, in *Zeitschrift für physikalische Chemie, Leipzig* 248 (1971), S. 27–41.

Gast-Systeme um bis zu fünf Größenordnungen falsch waren.<sup>24</sup> Wenn man bei der Landvermessung einem ähnlichen Fehler unterliegen würde, ergäbe sich zwischen Leipzig und Dresden eine Entfernung von einem Meter statt der 100 Kilometer. Man war nämlich in allen vorherigen Messungen von der – wie sich nun zeigt, völlig falschen – Annahme ausgegangen, dass die untersuchten nanoporösen Kristalle perfekt aufgebaut sind, wie es die Röntgenstrukturanalyse allerdings auch nahegelegt hatte. Nun zeigte sich aber, dass Abweichungen eher die Regel als die Ausnahme sind. Da ihr Ausmaß im Allgemeinen unter der Nachweisgrenze klassischer Strukturanalysen liegt, konnten sie erst in Diffusionsmessungen (in denen sich eine einzige blockierende Netzebene bereits unter tausend durchlässigen bemerkbar macht) nachgewiesen werden.<sup>25</sup>

## Konzentrationsprofile und die Richtung der Zeit

Die Diffusionsmessungen mithilfe der NMR, so wie wir sie betrachtet haben, basieren auf Gl. (8). Information über die Verschiebungen der Moleküle wird dabei nach einem Prinzip erhalten, wie es auch in der Magnetresonanztomografie (MRT) ausgenutzt wird.<sup>26</sup> Den meisten von uns ist dieses leistungsfähige Verfahren bildgebender Diagnostik aus eigenem Erleben bekannt und damit vermutlich auch das Klopfgeräusch, das die Untersuchung begleitet. Dies resultiert daher, dass im Feld des Permanentmagneten, in dem sich der Proband befindet, kurzzeitig weitere Magnetfelder an- und ausgestellt werden. Hierbei entstehen Kräfte, die zu Schlägen führen, die der Proband als Klopfgeräusche wahrnimmt. Diese Zusatzfelder sind so strukturiert, dass Signale von Molekülen (in der Regel Wassermoleküle) an unterschiedlichen Positionen bei unterschiedlichen Frequenzen registriert werden. So folgt aus der Abhängigkeit der Signalintensität von der Frequenz sofort die Verteilung des Wassers im Körper. Bei Diffusionsmessungen werden diese Zusatzfelder (da sie stark inhomogen

---

24 Jörg Kärger und Jürgen Caro, »Interpretation and Correlation of Zeolitic Diffusivities Obtained from Nuclear Magnetic Resonance and Sorption Experiments«, in *Journal of the Chemical Society Faraday Transactions 1* 73 (1977), S. 1363–1376.

25 Sergey Vasenkov und Jörg Kärger, »Evidence for the existence of intracrystalline transport barriers in MFI-type zeolites: a model consistency check using MC simulations«, in *Microporous and Mesoporous Materials* 55 (2002), S. 139–145; Armin Feldhoff u. a., »Intracrystalline Transport Resistances in Nanoporous Zeolite X«, in *ChemPhysChem* 10 (2009), S. 2429–2433.

26 Karl H. Hausser und Hans R. Kalbitzer, *NMR in Medicine and Biology. Structure Determination, Tomography. In Vivo Spectroscopy*, Berlin u. a. 1991; Kahn und Busse (Hg.), *Interventional Magnetic Resonance Imaging* (Fn. 18).

sind, werden sie auch Feldgradienten genannt) über zwei kurze Zeitintervalle, also impulsförmig, angelegt. Damit erreicht man, dass nicht der Ort selbst, sondern die Differenz (also die Entfernung) zwischen den Orten, an denen sich die Moleküle zum Zeitpunkt der beiden Feldgradientenimpulse (der »pulsed field gradients«: PFG) befunden haben, registriert wird. Da die Messung zudem den Mittelwert über alle (bei der jeweiligen NMR-Frequenz beobachtbaren) Moleküle liefert, folgt auf diesem Wege der Diffusionskoeffizient entsprechend Gl. (8), also aus der Geschwindigkeit der molekularen Umverteilung.

Molekulare Umverteilungen an sich liefern allerdings noch keine direkte Information über Veränderungen in der Verteilung der Gastmoleküle innerhalb des betrachteten Systems, also über Konzentrationsprofile und deren Veränderungen. In der Tat kann man beobachten, dass sich Konzentrationsprofile viel langsamer ihrem Gleichgewichtszustand, also einer homogenen Verteilung über die gesamte Probe, nähern, als man nach der Geschwindigkeit ihrer Umverteilung, so wie sie mittels PFG NMR gemessen wird, erwarten müsste.<sup>27</sup> Die Messung der Geschwindigkeit der Änderung molekularer Verteilungen wird damit zu einer experimentellen Herausforderung von ähnlicher Bedeutung wie die Messung der Geschwindigkeit molekularer Umverteilungen. In beiden Fällen besteht die Herausforderung darin, dass Aussagen über molekulare Verschiebungen bzw. Änderungen in den molekularen Konzentrationen über nur wenige Mikrometer (also Tausendstel von Millimetern) getroffen werden müssen.

In der Tat kann gerade die Magnetresonanztomografie, dank ihrer Fähigkeit, Konzentrations-Profile aufzuzeichnen, auch deren Änderung verfolgen. Vermutlich gehört sogar die Aufzeichnung transienter – also zeitabhängiger – Konzentrationsprofile in Zeolithschüttungen von nanoporösen Materialien zu einer der ersten Anwendungen der MRT im Bereich des Chemie-Ingenieurwesens überhaupt.<sup>28</sup> Bis heute reicht allerdings – trotz weitreichender methodischer und apparativer Verbesserungen – die auf diesem Wege erreichte Zeit- und Ortsauflösung nicht aus, um Konzentrationsverteilungen im Inneren der oft nur wenige Mikrometer großen Kristalle aufzeichnen und damit deren Entwicklung verfolgen zu können. Dabei sind es gerade zeitabhängige Prozesse, auf denen sich der industrielle Einsatz solcher Materialien stützt, denn bei allen

---

27 Rustem Valiullin u. a., »Exploration of molecular dynamics during transient sorption of fluids in mesoporous materials«, in *Nature* 443 (2006), S. 965–968.

28 Wilfried Heink, Jörg Kärger und Harry Pfeifer, »Application of zeugmatography to study kinetics of physical adsorption«, in *Chemical Engineering Science* 33 (1978), S. 1019–1023. Siehe auch Abb. 12.3 in Kärger, Ruthven und Theodorou, *Diffusion in Nanoporous Materials* (Fn. 16).

Technologien der Wertschöpfung geht es natürlich um die Umwandlung von nieder- zu höherwertigen Produkten.

Den entscheidenden Durchbruch verdanken wir dem konzentrierten Einsatz zweier optischer Verfahren, der IR-Mikroskopie<sup>29</sup> und der Interferenzmikroskopie,<sup>30</sup> bei der Beobachtung der Entwicklung intrakristalliner Konzentrationsprofile unter wohldefinierten Bedingungen in der sie umgebenden Gasphase.<sup>31</sup> Dieses als Micro-Imaging bezeichnete Verfahren erschließt einen völlig neuen Zugang zum Verhalten von Gastmolekülen in mikroporösen Materialien, indem erstmalig der »Richtungssinn«, also die Änderung molekularer Verteilungen mit der Zeit, einer direkten Beobachtung zugänglich gemacht wird.<sup>32</sup>

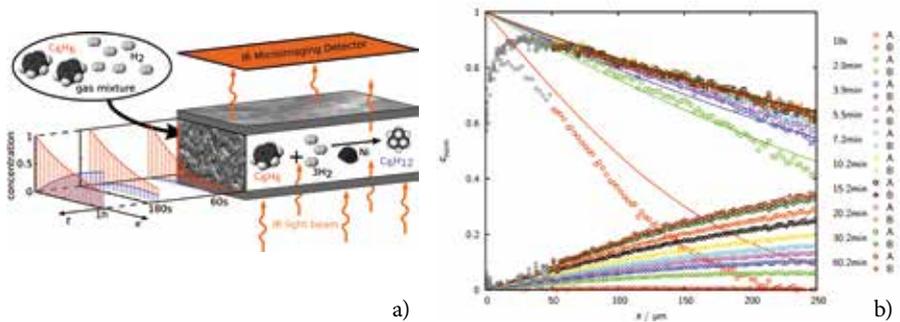


Abb. 13: *in situ*-Beobachtung der räumlich-zeitlichen Abhängigkeit der Verteilung der in einer chemischen Reaktion involvierten Moleküle in einem nanoporösen Katalysator mittels Micro-Imaging: Messprinzip (a) und Messkurven (b). Beobachtet wurde die Umwandlung von Benzol (A, Messpunkte der oberen Kurvenscharen) zu Cyclohexan (B) bei 75 °C). Aus: Tobias Titze u. a., »Microimaging of Transient Concentration Profiles of Reactant and Product Molecules during Catalytic Conversion in Nanoporous Materials«, *Angewandte Chemie (International Edition)* 54 (2015), S. 5060–5064.

29 Ferdi Schüth, »Polarized FTIR Microscopy as a Tool for Structural Analysis of Adsorbates in Molecular Sieves«, in *The Journal of Physical Chemistry* 96 (1992), S. 7493–7496; Hellmut G. Karge, »Infrared spectroscopic investigation of diffusion, co-diffusion and counter-diffusion of hydrocarbon molecules in zeolites«, in *Comptes Rendus Chimie* 8 (2005), S. 303–319.

30 Ulf Schemmert, Jörg Kärger und Jens Weitkamp, »Interference Microscopy as a Technique for Directly Measuring Intracrystalline Transport Diffusion in Zeolites«, in *Microporous and Mesoporous Materials* 32 (1999), S. 101–110.

31 Jörg Kärger u. a., »Microimaging of Transient Guest Profiles to Monitor Mass Transfer in Nanoporous Materials«, in *Nature Materials* 13 (2014), S. 333–343.

32 Lars Heinke u. a., »Exchange Dynamics at the Interface of Nanoporous Materials with their Surroundings«, in *Physical Review Letters* 99 (2007), 228301; Lars Heinke

Abb. 13 illustriert diese neuen Möglichkeiten mit den ersten *in situ*-Messungen einer chemischen Reaktion, nämlich der Hydrierung von Benzol zu Cyclohexan unter dem Einfluss von Nickelpartikeln, die feinverteilt in das Porensystem eines nanoporösen Glases eingebracht wurden. Links ist der allgemeine Versuchsablauf skizziert, während rechts die mittels IR-Micro-Imaging aufgezeichneten Profile der Reaktand- (Benzol) und Produkt- (Cyclohexan) Moleküle zu sehen sind. Das leergepumpte poröse Glas wird zu Beginn in Kontakt mit einer Benzolatmosphäre gebracht, in der sich Wasserstoffmoleküle ( $H_2$ ) im Überfluss befinden, sodass diese jederzeit in ausreichender Menge für die Umwandlung von Benzol ( $C_6H_6$ ) zu Cyclohexan ( $C_6H_{12}$ ) zur Verfügung stehen. Die Kurven im oberen Teil von Abb. 13b zeigen nun die Entwicklung der Verteilung der Benzolmoleküle in dem anfänglich leeren Festkörper. Erwartungsgemäß sehen wir, dass die Moleküle, am äußeren Rand beginnend, immer weiter in das Innere eindringen. Weil sich im umgebenden Gasraum genügend Benzolmoleküle befinden und deren Konzentration dort nahezu konstant bleibt, bleibt auch die Randkonzentration des Benzols nahezu konstant. Mit wachsender Zeit nimmt das Gefälle im Konzentrationsprofil ab und damit, gemäß Gl. (11), auch die Benzolstromdichte in das Innere. Wir bemerken aber auch, dass dieses Gefälle schließlich einem Grenzwert zustrebt und dieser erhalten bleibt, sodass ständig Benzolmoleküle in unser System hineinströmen. Genau dies ist aber eine Konsequenz der unter dem Einfluss der im Porensystem befindlichen Nickelpartikel erfolgenden Umwandlung des Benzols zu Cyclohexan. Die Entwicklung der Konzentrationsprofile von Cyclohexan zeigt der untere Teil von Abb. 13b. Deutlich verzögert gegenüber der Ausbildung der Benzolprofile, streben auch diese in ihrem Verlauf einem Grenzwert zu. Das Gefälle zeigt nun nach außen, so dass gemäß Gl. (11) die im Inneren gebildeten Cyclohexanmoleküle in den Außenraum diffundieren können. Wie die Kurven zeigen, hat sich nach ungefähr einer Stunde ein »dynamisches Gleichgewicht« eingestellt. Dieses ist dadurch gekennzeichnet, dass die Anzahlen der in das

---

u. a., »Assessing Guest Diffusivities in Porous Hosts from Transient Concentration Profiles«, in *Physical Review Letters* 102 (2009), 065901; Christian Chmelik u. a., »Mass Transfer in a Nanoscale Material Enhanced by an Opposing Flux«, in *Physical Review Letters* 104 (2010), 085902; Florian Hibbe u. a., »The Nature of Surface Barriers on Nanoporous Solids Explored by Microimaging of Transient Guest Distributions«, in *Journal of the American Chemical Society* 133 (2011), S.2804–2807; David S. Sholl, »Metal-organic frameworks: A porous maze«, in *Nature Chemistry* 3 (2011), S.429 f.; Florian Hibbe u. a., »Monitoring Molecular Mass Transfer in Cation-Free Nanoporous Host-Crystals of Type AlPO-LTA«, in *Journal of the American Chemical Society* 134 (2012), S.7725–7732; Julien Cousin Saint Remi u. a., »Crystal diversity of nanoporous materials: a fundamental parameter of mass transfer«, in *Nature Materials* [im Druck 2015].

poröse Glas einströmenden Benzolmoleküle, der im porösen Glas (von Benzol zu Cyclohexan) umgewandelten Moleküle und der ausströmenden Cyclohexanmoleküle gerade alle miteinander übereinstimmen.

Eine wichtige Kenngröße zur Bewertung der Effektivität des Katalysators (hier also des mit Nickel getränkten porösen Glases) stellt der Porennutzungsgrad dar (englisch: effectiveness factor).<sup>33</sup> Er ist als Verhältnis zwischen tatsächlicher und maximal möglicher Reaktionsgeschwindigkeit im Katalysator definiert. Diese liegt dann vor, wenn Reaktand- und Produktmoleküle keinerlei Transportwiderständen unterliegen und nach erfolgter Reaktion der Platz im Porenraum dadurch augenblicklich für neue Reaktandmoleküle frei wird. Wie es sehr schön in dem deutschen Begriff »Porennutzungsgrad« zum Ausdruck kommt, wird die Effizienz des Katalysators also dadurch bestimmt, welcher Anteil des Porenraumes von den noch umzuwandelnden Molekülen eingenommen wird. Die Voraussetzung, dass keinerlei Transportwiderstand vorliegt, ist experimentell natürlich nie realisierbar. Wegen der Unmöglichkeit, Transportwiderstände vollkommen auszuschließen, beruhten alle bisherigen Methoden zur Bestimmung des Porennutzungsgrades auf Extrapolationen und besaßen daher stets nur Näherungscharakter. Wie in Abb. 13 gezeigt wird, erlaubt die Methode des Micro-Imaging mittels IR-Mikroskopie, die Verteilungskurve der Reaktandmoleküle im Porenraum des Katalysators direkt zu messen. Damit ist auch der Porennutzungsgrad direkt und ohne alle Zusatzannahmen ablesbar geworden!<sup>34</sup>

Eine gleichfalls brandneue Möglichkeit für den Einsatz des Micro-Imaging mit einem zudem auf den ersten Blick sehr verwunderlichen Resultat zeigt Abb. 14. Auch hier ist die Entwicklung der intrakristallinen Profile von Gastmolekülen zweier Komponenten zu sehen, diesmal aufgezeichnet bei ihrer Sorption aus einem Gasgemisch durch einen Zeolithkristall vom Typ ZSM-58 (mit einer Gerüststruktur vom Typ DDR (Deca-Dodecasil 3R) entsprechend der Nomenklatur der Internationalen Zeolithvereinigung).<sup>35</sup> Im Unterschied zu Abb. 13, wurde hier zur selektiven Bestimmung der Konzentration beider Komponenten im Gemisch die Interferenzmikroskopie eingesetzt. Dies wird möglich, wenn sich die Diffusionskoeffizienten der betrachteten Komponenten

---

33 Jens Weitkamp und Lothar Puppe (Hg.), *Catalysis and Zeolites. Fundamentals and Applications*, Berlin/Heidelberg 1999; Ertl u. a. (Hg.), *Handbook of Heterogeneous Catalysis* (Fn. 11); Kärger, Ruthven und Theodorou, *Diffusion in Nanoporous Materials* (Fn. 16).

34 Tobias Titze u. a., »Microimaging of Transient Concentration Profiles of Reactant and Product Molecules during Catalytic Conversion in Nanoporous Materials«, *Angewandte Chemie (International Edition)* 54 (2015), S. 5060–5064.

35 Christian Baerlocher, Lynne B. McCusker und David H. Olson, *Atlas of Zeolite Framework Types*, Amsterdam 2007.

ten genügend stark unterscheiden<sup>36</sup> und bringt den Vorteil mit sich, dass man dann mit der im Vergleich zur IR-Mikroskopie viel höheren Ortsauflösung der Interferenzmikroskopie (nämlich im Sub-Mikrometerbereich) arbeiten kann.

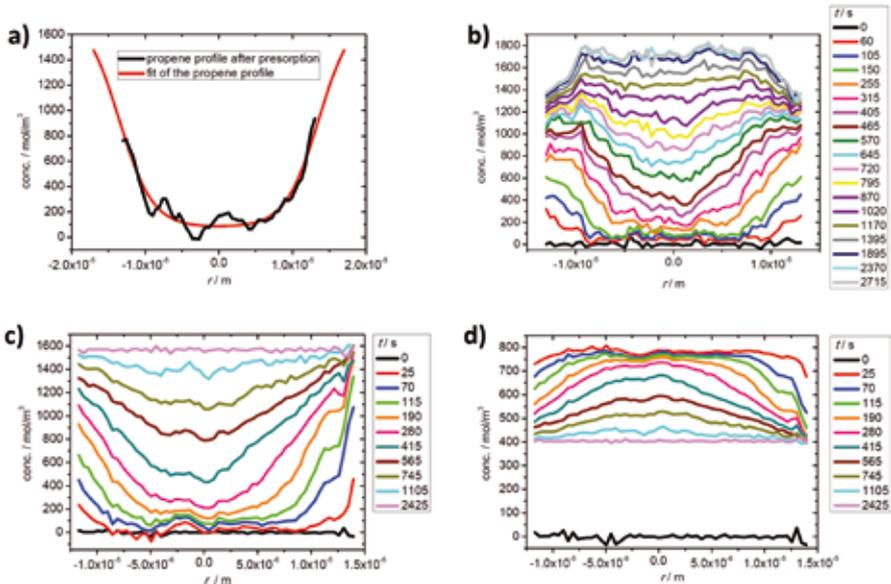


Abb. 14: ›Uphill-Diffusion‹ und ›Overshooting‹: Bei Anwesenheit zweier Sorten von Gastmolekülen ist es möglich, dass der Diffusionsfluss einer Komponente auch in Richtung wachsender Konzentration dieser Komponente (also ›uphill‹) gerichtet sein kann und dass auf diesem Wege vorübergehend auch Konzentrationen oberhalb des Gleichgewichtswertes (›Overshooting‹) erreicht werden. Um dies zu erreichen, »hilft« die zweite Komponente mit einem entsprechenden Gefälle, wie für die ›uphill‹-Diffusion von Ethan (b) aufgrund des Propenprofils (a) gezeigt wird. Strebt diese zweite Komponente ihrem Gleichgewichtswert zu, verschwindet entsprechend auch das ›Overshooting‹. Dies zeigen Abb. 14c und d, wo jetzt Ethan (c) die ›langsame‹ Komponente ist und zum ›Overshooting‹ der schnellen Komponente CO<sub>2</sub> (d) führt. Zusammen mit der Gleichgewichtseinstellung von Ethan (also einer gleichmäßigen Verteilung über der Probe) verschwindet auch das ›Overshooting‹ und CO<sub>2</sub> nimmt gleichfalls überall seinen Gleichgewichtswert ein. Aus: Alexander Lauerer u. a., »Uphill diffusion and overshooting in the adsorption of binary mixtures in nanoporous solids«, in *Nature Communications* 6 (2015), 7697.

36 Alexander Lauerer u. a., »Uphill diffusion and overshooting in the adsorption of binary mixtures in nanoporous solids«, in *Nature Communications* 6 (2015), 7697, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4518250/pdf/ncomms8697.pdf> [26.10.2015].

Die obere Zeile von Abb. 14 zeigt die Profile, wie sie bei der Sorption von Propen gemeinsam mit Ethan in Zeolith ZSM-58 beobachtet werden. Abb. 14a zeigt dabei das Profil von Propen, wie es sich nach 7 Stunden eingestellt hat, wenn der zuvor (durch Anlegen von Vakuum bei erhöhter Temperatur) leergepumpte Zeolithkristall in eine Propenatmosphäre gebracht worden ist. In Abb. 14b ist nun zu sehen, wie anschließend, nach Einbringen in eine Ethanatmosphäre, die Ethanmoleküle in das Zeolithinnere eindringen. Zunächst erkennen wir dasselbe Bild, was schon Abb. 13b für die Sorption von Benzol im porösen Glas vermittelte. Während dort allerdings die Umwandlung des Benzols in Cyclohexan die Einstellung einer gleichmäßigen Benzolverteilung verhinderte, sich also am Ende ein stationärer Zustand einstellte, bei dem noch immer die Benzolkonzentration nach innen hin abnahm, beobachtet man in Abb. 14b nach etwa 720 Sekunden (oder 12 Minuten) eine über den gesamten Kristall etwa gleichmäßige Ethanverteilung.

Nun passiert aber etwas, was wir nach unseren bisherigen Betrachtungen nicht für möglich gehalten hätten: die Ethankonzentration im Inneren wächst weiter an. Dies ist offensichtlich nur möglich, wenn der Diffusionsstrom der Ethanmoleküle in Richtung wachsender Ethankonzentration, also »bergauf«, erfolgen kann. Nach Gl. (11) würde dies einen negativen Diffusionskoeffizienten fordern. Dies würde uns aber sofort in Schwierigkeiten mit Gl. (8) bringen, weil nach dieser dann die Quadrate molekularer Verschiebungen negativ würden. Da Verschiebungen in dem von uns betrachteten (konkreten!) Sinn stets positiv oder negativ (aber nie imaginär – Insider kennen die Relation  $i^2 = -1$  der imaginären Einheit und verübeln mir bitte nicht diesen Seitensprung) sind, muss dies verworfen werden.

In der Tat gilt Gl. (11) streng nur bei Betrachtung des Flusses einer einzigen Komponente. Für Gastgemische muss dagegen beachtet werden, dass der Fluss einer jeden Komponente, genau genommen, von den Konzentrationsgradienten aller Komponenten abhängt. Man versteht dies, wenn man beachtet, dass im Sinne der Thermodynamik des Nichtgleichgewichts<sup>37</sup> die eigentlichen Triebkräfte der Diffusion gar nicht die Konzentrationsgradienten (also die Ortsableitungen der Konzentration), sondern die Gradienten (Ortsableitungen) des »chemischen Potentials« sind. Damit leuchtet z. B. auch sofort ein, warum im Gleichgewicht zwischen Flüssig- und Dampfphase trotz des großen Konzentrationsunterschiedes an der Phasengrenze kein Diffusionsstrom zu beobachten ist: Das chemische Potential ist nämlich gerade so definiert, dass es für alle Phasen einer Komponente im Phasengleichgewicht gleich ist.

---

<sup>37</sup> Sybren R. DeGroot und Peter Mazur, *Non-Equilibrium Thermodynamics*, Amsterdam 1962; Ilya Prigogine, *The End of Certainty*, New York u. a. 1997.

Befindet sich im Porensystem nur eine Gastkomponente, so ist deren chemisches Potential natürlich nur eine Funktion der Konzentration dieser einen Komponente. Mit der bereits am Anfang erwähnten Kettenregel der Differentialrechnung wird der Gradient des chemischen Potentials so zum Produkt der Ableitung des chemischen Potentials nach der Konzentration mit dem Konzentrationsgradienten. Damit ändert sich nichts an dem durch Gl. (11) dargestellten Sachverhalt (wenn man davon absieht, dass jetzt mit der Ableitung des chemischen Potentials nach der Konzentration einer der Beiträge zum Diffusionskoeffizienten bekannt ist). Liegen dagegen zwei Komponenten vor, hängt auch das chemische Potential jeder einzelnen dieser Komponenten von der Konzentration beider Komponenten ab. Dies hat zur Folge, dass Änderungen in der Konzentration jeder Komponente auch zu Änderungen im chemischen Potential jeder Komponente führen können. Die Diffusionsstromdichte hängt daher von den Gradienten beider Komponenten ab und an die Stelle von Gl. (11) tritt das verallgemeinerte Ficksche Gesetz.<sup>38</sup>

$$j_j = - \sum_i D_{ji} \frac{dc_i}{dx} \quad (12)$$

Der Diffusionskoeffizient ist nun durch die Diffusionsmatrix ersetzt. Ihre Elemente  $D_{ji}$  bestimmen den Einfluss des Konzentrationsgradienten der Komponente  $i$  auf den Diffusionsstrom der Komponente  $j$ .

Mit Gl. (12) wird nun sofort verständlich, wieso auch dann noch Ethanmoleküle in den Kristall hineinströmen können, wenn dies in Richtung wachsender Ethankonzentration, also »bergan«, geschehen muss. Offensichtlich erfolgt der hierzu erforderliche »Schub« auf die Ethanmoleküle durch die Propenmoleküle, deren Konzentration nach innen dramatisch fällt. Natürlich wird es auch hier schließlich zu einer gleichmäßigen Molekülverteilung kommen. Wegen der geringen Beweglichkeit des Propens würde dies aber sehr große Beobachtungszeiträume erfordern, die experimentell nicht realisierbar sind.

Der Prozess der Gleichgewichtseinstellung kann nun aber sehr schön bei der Sorption des in Abbn. 14c und d betrachteten Gemischs verfolgt werden. Ethan ist nun das langsame der beiden betrachteten Moleküle und  $\text{CO}_2$  als zweites Molekül diffundiert so schnell über den gesamten Porenraum, dass seine Konzentration an jeder Stelle des Porenraums praktisch augenblicklich den – der jeweiligen lokalen Ethankonzentration entsprechenden – Gleichgewichtswert annimmt. So beginnen, in gewisser Weise, Abbn. 14c und d dort, wo Abb. 14b aufgehört hat. Dort hatte sich ja am Ende, wie wir gesehen hat-

---

<sup>38</sup> Kärger, Ruthven und Theodorou, Diffusion in Nanoporous Materials (Fn. 16); Mehrer, Diffusion in solids (Fn. 16).

ten, die Gleichgewichtsverteilung des Ethan bei vorgegebener Propenkonzentration eingestellt. Abb. 14c und d zeigen nun, wie mit fortschreitender Zeit die (in diesem Fall) langsame Komponente Ethan immer weiter in den Kristall eindringt. Damit nimmt auch das Ethangefälle kontinuierlich ab und dessen Einfluss auf den Diffusionsstrom der  $\text{CO}_2$ -Moleküle. Die anfänglich vom Ethangefälle in den Kristall hineingetriebenen  $\text{CO}_2$ -Moleküle verlassen diesen nun wieder. Die  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen, die zwischenzeitlich deutlich über dem Gleichgewichtswert lagen, streben nun – »von oben« – diesem wieder zu.

Nachdem auf die Existenz solcher Phänomene wie der ›Uphill-Diffusion‹ und des ›Overshooting‹ (also das Durchlaufen von Gastkonzentrationen oberhalb von deren Gleichgewichtswert) aus der Analyse makroskopisch durchgeführter Experimente der Gemischsorption bereits vor einem halben Jahrhundert geschlossen werden konnte,<sup>39</sup> ist mit der Einführung des Micro-Imaging und den hier gezeigten Resultaten erstmalig auch ihr direkter Nachweis gelungen.<sup>40</sup>

Betrachten wir die vorgestellten Beispiele der Entwicklung molekularer Konzentrationsverteilung abschließend noch einmal im Kontext des Leitthemas dieses Heftes der *Denkströme*, der »Zeit«. Offensichtlich strebt das betrachtete (nanoporöse Wirt-Gast-)System in beiden Fällen einem Zustand zu, in dem es sich mit der Zeit nicht mehr verändert. Die Zeit verliert daher am Ende ihre Bedeutung für den Zustand des Systems, wie umgekehrt aus dem Zustand des Systems nicht auf die Zeit geschlossen werden kann.

In Klammern sei angemerkt, dass dies natürlich nur aus makroskopischer Sicht gilt. Wenn man nämlich – zum Beispiel mittels NMR, wie im vorherigen Abschnitt erläutert – einzelne Moleküle im System verfolgen kann, lassen sich durchaus zeitabhängige Vorgänge wie deren molekulare Verschiebungen verfolgen, die dann doch (mittels Gl. (8)) mit der Zeit korreliert sind.

Allerdings besteht auch im makroskopischen Verhalten der betrachteten Beispiele ein Unterschied. Während nämlich bei der Zweikomponentensorption in Abb. 14 der am Ende erreichte Zustand auch im abgeschlossenen System

---

39 H.W.Habgood, »The kinetics of molecular sieve action: Sorption of nitrogen-methane mixtures by Linde molecular sieve 4A«, in *Canadian Journal of Chemistry* 36 (1958), S. 1384–1397; Jörg Kärger und Martin Bülow, »Theoretical prediction of uptake behaviour in adsorption kinetics of binary gas mixtures using irreversible thermodynamics«, in *Chemical Engineering Science* 30 (1975), S. 893–896; Tobias Titze u. a., »Uncommon Synergy between Adsorption and Diffusion of Hexane Isomer Mixtures in MFI Zeolite Induced by Configurational Entropy Effects«, in *The Journal of Physical Chemistry C* 118 (2014), S. 2660–2665; Rajamani Krishna, »Uphill diffusion in multicomponent mixtures«, in *Chemical Society Reviews* 44 (2015), S. 2812–2836.

40 Lauerer u. a., Uphill diffusion (Fn. 36).

erhalten bliebe, bleiben die in Abb. 13b im Limes großer Zeiten gezeigten Profile nur dann invariant mit der Zeit, wenn ständig Reaktandmoleküle (Benzol) zu- und Produktmoleküle (Cyclohexan) abgeführt werden. Solche Zustände werden als »stationär« bezeichnet. Da unter stationären Bedingungen die pro Zeiteinheit umgewandelte Stoffmenge konstant bleibt, wächst die Gesamtmenge an verbrauchtem Benzol bzw. gebildetem Cyclohexan proportional zur Zeit. Mit den verbrauchten bzw. gebildeten Stoffmengen steht uns daher in diesem Fall, auch wenn sich der Zustand des Systems makroskopisch nicht ändert, dennoch ein makroskopisches Maß für die verstrichene Zeit zur Verfügung.

In der Natur selbst sind abgeschlossene Systeme eher die Ausnahme bzw., streng genommen, wenn man nämlich nur hinreichend große Zeiträume betrachtet, sogar ausgeschlossen. Es war daher eine große Geistesleistung – und in der Tat die Geburtsstunde der modernen Naturwissenschaften – als sich die Forscher der Renaissance darum bemühten, in ihren Experimenten die untersuchten Objekte als (nahezu) abgeschlossene Systeme zu gestalten und zu betrachten. Nur auf diesem Wege konnte die kristallklare Beschreibung der Grundgesetze der Dynamik in den Newtonschen Bewegungsgleichungen gelingen. In diesem Zusammenhang ist es nicht uninteressant zu erwähnen, dass offensichtlich auch der nächste Schritt, von den idealisierten Systemen hin zur Realität der sich in ihnen permanent vollziehenden Umwandlungen, nicht frei von revolutionärer Brillanz gewesen ist. Ilya Prigogine (1917 bis 2003), der für seine Arbeiten zur irreversiblen Thermodynamik 1977 mit dem Nobelpreis geehrt wurde, berichtet in seinem (nicht nur für Naturwissenschaftler) lesenswerten Alterswerk *The End of Certainty* hierzu, wie seine Bemühungen über ein Verständnis der *Veränderungen* der Zustände statt der Zustände selbst von einem seiner großen Zeitgenossen im Fach mit den Worten kommentiert wurden »I am astonished that this young man is so interested in nonequilibrium physics. Irreversible processes are transient. Why not wait and study equilibrium as everyone else does?«<sup>41</sup>

## Ausbreitung in Natur, Technik und Gesellschaft

Ausbreitung, so wie wir sie im vorigen Abschnitt ausführlich mit Molekülen in einem nanoporösen Medium studiert haben, ist ein Phänomen, dem man in den unterschiedlichsten Bereichen begegnen kann. So können sich Pflanzen und Tiere in einem neuen Lebensraum ausbreiten, wie wir es gegenwärtig in Europa anhand vieler Spezies (»Aliens«, vom süßlich duftendem indischen

---

41 Prigogine, *The End of Certainty* (Fn. 37), S. 62.

Springkraut bis hin zu den Kanadagänsen) aus Übersee beobachten können.<sup>42</sup> Auch viel kleinere ›Tierchen‹ unterliegen als tückische Krankheitserreger einer – uns zudem höchst unliebsamen – Ausbreitung. Andererseits haben wir in den Jahrtausenden der Menschheitsentwicklung von der Ausbreitung neuen Wissens und neuer Technologien ständig profitieren können und über die Jahrmillionen der Entwicklung des Lebens auf unserer Erde besaßen Ausbreitungsprozesse eine Schlüsselrolle.<sup>43</sup>

Bei der Ausbreitung von Molekülen haben wir in unseren Beispielen zwei Besonderheiten betrachtet, zum einen den Fall der »konkurrierenden« Sorption zweier Spezies, zum anderen die Möglichkeit der Umwandlung einer Spezies in eine andere. Die Möglichkeit der Beobachtung all dieser Phänomene danken wir neuesten methodischen und apparativen Entwicklungen. Zudem zeigt es sich, dass hier bereits relativ einfache Modellannahmen für die Mechanismen von Ausbreitung und Umwandlung ausreichen, um das beobachtete Verhalten theoretisch zu beschreiben und entsprechend vorherzusagen. Uns kommt dabei der doppelte Glückszustand zugute, dass zum einen die Beobachtung der Ausbreitung der relevanten Objekte – hier also der Moleküle – in der Tat gelang und dass zum anderen die Gesetzmäßigkeiten von Ausbreitung und Umwandlung hinreichend einfachen Beziehungen folgen, für die sich entsprechend auch einfache analytische Ausdrücke finden lassen.

Es wäre gewiss naiv, zu erwarten, dass genau diese bei der Moleküldiffusion in nanoporösen Materialien beobachteten Gesetzmäßigkeiten auch für all die anderen Ausbreitungsphänomene gelten. Ganz im Gegenteil muss man sogar die Frage stellen, inwieweit sich überhaupt Gesetzmäßigkeiten für jeden einzelnen Ausbreitungsprozess finden lassen und, wenn ja, wie diese aussehen können. In diesem Zusammenhang ist es wichtig, zu betonen, dass die klaren Aussagen zu den Gesetzmäßigkeiten der Molekülausbreitung auch nur dadurch möglich wurden, dass eine hinreichend große Anzahl von Molekülen unter identischen Bedingungen beobachtet werden konnten. Dass uns diese Information zugänglich geworden ist, verdanken wir vielen akribisch durchgeführten Experimenten und damit vor allem den Experimentatoren. Schulterschluss zwischen Experimentatoren und denen, die auf den Umgang mit den Werkzeugen zur Interpretation der gewonnenen Daten spezialisiert sind, war eine Grundvoraussetzung für den Erfolg dieser Bemühungen. Zum Glück sind beide Spe-

---

42 Sebastian Jutzi, »Aliens auf dem Vormarsch«, *FOCUS Online*, 24.4.2008, [http://www.focus.de/wissen/natur/tid-9717/natur-aliens-auf-dem-vormarsch\\_aid\\_297120.html](http://www.focus.de/wissen/natur/tid-9717/natur-aliens-auf-dem-vormarsch_aid_297120.html) [26.10.2015].

43 Vogl, Wandern ohne Ziel (Fn. 2); ders., *Wege des Zufalls. Tanz der Atome, Invasion neuer Arten, Ausbreitung von Seuchen und Sprachen*, Heidelberg 2011.

zies von Forschern in der ›Community‹ der Physiker und Chemiker – oft gar in Personalunion – vorhanden. Ähnliches kann wohl nicht für alle ›Communities‹, die mit Ausbreitungsphänomenen zu tun haben, vorausgesetzt werden.

Welche Chancen bieten sich da für eine wissenschaftliche Akademie, die das Glück hat, Vertreter aller Disziplinen in sich zu vereinen! Bei einem der vertrauensvollen Gespräche des Präsidenten der Sächsischen Akademie der Wissenschaften, Pirmin Stekeler-Weithofer, mit unserem Jubilar, dem Sekretar der Mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse, so wie es mit dem Schnappschuss in Abb. 15 festgehalten worden sein könnte, wurden die Weichen dafür gestellt, dass sich im Rahmen einer »Strukturbezogenen Kommission« unter dem Thema »Ausbreitung in Natur, Technik und Gesellschaft«<sup>44</sup> die Sächsische Akademie der Wissenschaften genau dieser Aufgabe widmen wird.



Abb. 15: Elmar Peschke, Sekretar der Mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig, im Gespräch mit dem Akademiepräsidenten Pirmin Stekeler-Weithofer.

## Rück- und Ausblick

Zusammenfassungen haben die Aufgabe, bezugnehmend auf das Gesagte einen Blick in die Zukunft zu wagen. Dies gilt in doppelter Hinsicht, wenn es dabei um eine Betrachtung über die Zeit geht. Nachdem sich der Anfang dieses Beitrags den Irrungen und Wirrungen bei der Wahrnehmung und Bewertung der Zeit widmete, bin ich sehr bald darauf zu sprechen gekommen, dass – im Unterschied zu allen anderen Grundgrößen der Physik – der Zeit ein Richtungssinn innewohnt. Dies habe ich zum Anlass genommen, mich ausführlich einem Phänomen zu widmen, mit dem der Richtungssinn der Zeit

---

<sup>44</sup> <http://www.saw-leipzig.de/de/ueber-die-akademie/kommissionen/ausbreitung-in-natur-technik-und-gesellschaft> [26.10.2015].

besonders schön verdeutlicht werden kann, nämlich der Diffusion. Motiviert wurde ich hierzu durch die Tradition bei der Erforschung dieses Phänomens, auf die Leipzig verweisen kann – und dass wir uns dieser Tradition bis heute bei der Behandlung hochaktueller wissenschaftlicher Fragestellungen verbunden fühlen können. So ist es hoffentlich verzeihlich, dass ich im Bereich unserer unmittelbaren sinnlichen Wahrnehmung geblieben bin und mich nicht in relativistische Bereiche begeben habe, in denen sich Ort und Zeit in einem vierdimensionalen Ort-Zeit-Raum vereinigen.

Mit dem Blick in die Zukunft verbindet sich verständlicherweise der Gedanke an die Strukturkommission »Ausbreitung in Natur, Technik und Gesellschaft« unserer Sächsischen Akademie der Wissenschaften, von deren Gründung gerade die Rede war, und an die Hoffnung und Zuversicht all derer, die sich hier zusammengefunden haben, auf eine fruchtbare Zusammenarbeit, in der Interdisziplinarität Inhalt und nicht lediglich Etikette ist.

In den Rück- und Ausblick schließe ich auch gern meine Danksagung ein, selbst wenn sie – schon allein aus Platzgründen – nur ›exemplarisch‹ sein kann. Sie beginnt auf dem Gebiet der NMR mit meinem Doktorvater Harry Pfeifer und der Leipziger NMR-Schule ganz allgemein, so wie sie etwas frech (aber durchaus mit dem Wohlwollen der dort Abgebildeten) in Abb. 12 gezeigt wird, gilt meinen Mitstreitern Dieter Michel und Dieter Freude seit dieser Zeit und – last not least – Jürgen Haase für die Perfektion, mit der sich die Leipziger NMR heute weltweit präsentieren kann.

Mit Jürgen Caro bin ich in herzlicher Dankbarkeit nicht nur deshalb verbunden, weil es seiner akribischen und initiativfreudigen Arbeit als Promotionsstudent in Leipzig zu danken ist, dass es mit den neuen ›Leipziger‹ Werten zu einem Paradigmenwechsel auf dem Gebiet der zeolithischen Diffusion – und damit der Diffusion in Nanoporen schlechthin – gekommen ist, wovon am Ende des Abschnitts zum »Ostpol der kernmagnetischen Resonanz« die Rede war. Zu danken ist ihm auch für seinen erneuten Beweis der Verbundenheit, als er sich bereit erklärte, von Hannover aus die organisatorische Leitung des 6. (und erstmalig unter der Schirmherrschaft der Sächsischen Akademie der Wissenschaften stehenden) Treffens der Diffusion-Fundamentals-Konferenzserie, Dresden 2015, zu übernehmen.<sup>45</sup> Alexander Lauerer, als Vertreter der aktuellen Doktorandengeneration, danke ich für Eifer und Umsicht bei der Auswahl und Gestaltung der Bilder, mit denen ich etwas Farbe in meinen Vortrag zum Festkolloquium wie auch in diesen Beitrag zu bringen versuchte.

---

<sup>45</sup> Die Konferenz fand vom 23. bis 26.8.2015 an der Technischen Universität Dresden statt. Details zur Tagung und den Ergebnissen sind online abrufbar unter <http://df6.diffusion-fundamentals.org>.

Gero Vogl danke ich für die nachhaltige – und von vielfältiger, eigener Forschungsarbeit kompetent geprägte – Ermunterung und Hilfe, Diffusions- und Ausbreitungsphänomene in der ganzen Breite ihrer Erscheinungsmöglichkeiten im Auge zu behalten. Beim Verdeutlichen des Richtungssinns der Zeit mit der Entwicklung intrakristalliner Konzentrationsprofile in den Abbn. 13 und 14, gelang uns der Nachweis der Übereinstimmung von Theorie und Experiment dank tatkräftiger (mathematischer) Hilfe durch Erich Miersemann, zugleich auch als schönes Beispiel der ertragreichen Zusammenarbeit innerhalb der Mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse unserer Akademie. Für ihre bereits tatkräftige Mithilfe, dass im Rahmen der neuen Strukturkommission diese Zusammenarbeit alle drei Klassen umfassen wird, bin ich insbesondere Hans Wiesmeth, Sebastian Lentz, Georg Teutsch und Jürgen Tomas zu großem Dank verpflichtet. In diesem Sinne war es für uns alle ein besonderer Glücksumstand, dass sich unser Jubilar, Elmar Peschke, im Rahmen seiner umfänglichen, aufopferungsvollen Tätigkeit als Sekretar unserer, der Mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse, dem Gedanken des Zusammenführens des Potentials unserer Akademie auf dem Gebiet der Ausbreitung besonders verpflichtet fühlte. Meinen herzlichen Dank an ihn verbinde ich so auch mit meinen allerbesten Wünschen für den Erfolg dieser unserer gemeinsamen Bemühungen.

# Bedeutung von Uhrengenen in *Epiphysis cerebri* und endokrinem Pankreas

## 1. Circadiane Rhythmen

Erste Beobachtungen tageszeitlicher Rhythmen erfolgten bereits in der Antike. Androstenes von Thassos, Begleiter Alexanders des Großen (356 bis 323 v. Chr.) auf dessen Feldzügen, beschrieb die täglichen Blattbewegungen der Tamarinde (*Tamarindus indicus*) auf der Insel Tylus (heute Bahrein) im Persischen Golf.<sup>1</sup> Auch Charles Darwin (1809 bis 1882) befasste sich bereits mit den Blattbewegungen der Bohne.

Die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit diesem Phänomen begann 1729 mit den Beobachtungen des französischen Geophysikers, Astronomen und auch frühen Chronobiologen Jean-Jacques d'Ortous de Mairan (1678 bis 1771). Dieser führte Untersuchungen an heliotropen, also sonnenausgerichteten Pflanzen durch, so an der Mimose. Er stellte fest, dass die täglichen Blattbewegungen dieser Pflanze auch in völliger Dunkelheit abliefen. De Mairan berichtete 1729 über diese Beobachtungen in der Königlichen Akademie der Wissenschaften in Paris (siehe Abb. 1).<sup>2</sup> Damit war erstmalig der innere (endogene) Ursprung einer circadianen Rhythmik belegt. Allerdings war zum damaligen Zeitpunkt und auch über ein Jahrhundert später dieser Befund nicht allgemein akzeptiert.

Berühmt wurde die »Blumenuhr« des Ritters Carl von Linné (1707 bis 1778) von 1745, durch die sich die Tageszeit an der Öffnung von Blüten nachverfolgen ließ (Abb. 2).

Es blieb aber dem deutschen Biologen Erwin Bünning (1906 bis 1990) vorbehalten, die bis dahin gültige »Stundenglas«-Hypothese zu widerlegen.<sup>3</sup>

---

1 Siehe dazu Hugo Bretzl, *Botanische Forschungen des Alexanderzuges*, Leipzig 1903, S. 120–132.

2 Jean-Jacques d'Ortous de Mairan, »Observation Botanique«, in *Histoire de l'Académie royale des sciences, avec les mémoires de mathématique et de physique 1729*, Paris 1731, S. 35.

3 Erwin Bünning, »Untersuchungen über die autonomen tagesperiodischen Bewegungen der Primärblätter von *Phaseolus multiflorus*«, in *Jahrbücher für wissenschaftliche*

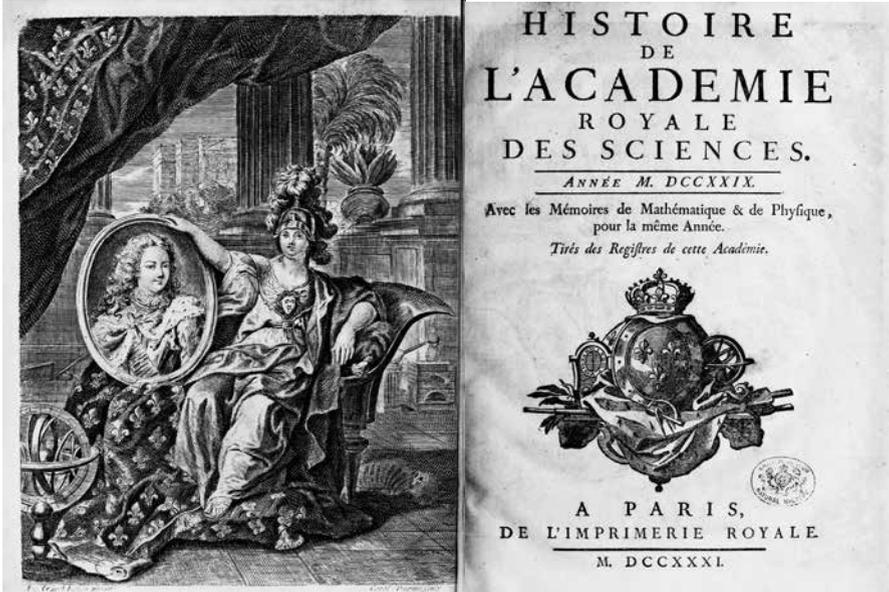


Abb. 1: Titelblatt der *Histoire de l'Académie royale des sciences, avec les mémoires de mathématique et de physique* 1729, Paris 1731. Hierin beschreibt De Mairan erstmals die Tagesperiodik einer Pflanze. Foto: Biodiversity Heritage Library. Digitalisat der Natural History Museum Library, London, <http://www.biodiversitylibrary.org/bibliography/4004#/summary> (CC BY-NC 3.0).

Diese postulierte, dass der beobachtete circadiane Rhythmus eines Organismus ausschließlich durch das externe Licht angetrieben wird und ein internes Stundenglas täglich neu gestellt würde. Bünning hingegen argumentierte aufgrund seiner Beobachtungen, dass Blattbewegungen sich auch in der Dunkelheit vollziehen, dass biologische Rhythmen endogen erzeugt werden und durch tägliche Stimuli synchronisiert würden. In fundamentalem Gegensatz zur bis dahin gültigen Lehrmeinung entstand, seiner Ansicht nach, ein circadianer Rhythmus durch Interaktion eines circadianen Schrittmachers mit externen Signalen, nicht durch letztere allein. Dieses generelle Prinzip Bünning's, über alle Organismengrenzen hinaus, bildet auch heute noch die Basis aller

---

*Botanik* 75 (1931), S.439–480; ders., »Über die Erbllichkeit der Tagesperiodizität bei den Phaseolus-Blättern«, in *Jahrbücher für wissenschaftliche Botanik* 77 (1932), S.283–320; ders., »Zur Kenntnis der erblichen Tagesperiodizität bei den Primärblättern von Phaseolus multiflorus«, in *Jahrbücher für wissenschaftliche Botanik* 81 (1935), S.411–418; ders., »Die endogene Tagesrhythmik als Grundlage der photoperiodischen Reaktion«, in *Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft* 54 (1936), S.590–607.

modernen chronobiologischen Konzepte. In der Folge konzentrierte sich das Interesse mehr auf Rhythmen bei Tieren, wobei vor allem die beiden »Väter« der Rhythmusforschung, der in Amerika tätige britische Biologe Colin Pittendrigh (1918 bis 1996) und der deutsche Verhaltensphysiologe Jürgen Aschoff (1913 bis 1998), grundlegende Experimente durchführten. Auf dem ersten großen Kongress über Rhythmusforschung im Jahre 1960 in Cold Spring Harbor wurde deutlich, dass Tagesrhythmen in der belebten Natur weitverbreitet sind.

Kurzer historischer Abriss der Chronobiologie (verändert nach Golombek und Rosenstein).<sup>4</sup>

1729	Veröffentlichung von Jacques d’Ortous de Mairan über die Blattbewegungen der Mimose bei konstanter Dunkelheit
1751	Carl von Linné stellt seine »Blumenuhr« in seiner Zeitschrift <i>Philosophia botanica</i> vor, und stellt fest, dass die Tageszeit anhand von Blütenöffnungszeiten erfasst werden kann
1832	Augustine De Candolle berichtet die circadiane Periode von 22 Stunden als Zeitabschnitt von Blattbewegungen
1880	Charles Darwin veröffentlicht <i>The power of movement in plants</i> und darin in Kapitel 7 die Analyse der »sleep movements of leaves«
1920/30er	Studien von Erwin Bünning über die Erbllichkeit circadianer Rhythmen
1920er	Beschreibung endogener circadianer Rhythmen bei der Ratte (Curt P. Richter)
1959	Franz Halberg prägt die Bezeichnung »circadian«
1960er	Analyse der humanen circadianen Rhythmen in temporärer Isolierung (Jürgen Aschoff)
1968	Beschreibung der biologischen Uhr in der Pinealdrüse des Vogels (Michael Menaker)
1971	Entdeckung der <i>per</i> -Mutation bei der Fruchtfliege (Ronald J. Konopka, Seymour Benzer)
1972	Beschreibung der Rolle des Suprachiasmatischen Nucleus für die circadiane Rhythmizität (Irving Zucker, Robert Y. Moore)
1984	Klonierung des <i>per</i> -Gens (Uhrengens) der Fruchtfliege
1988	Entdeckung der <i>tau</i> -Mutation beim Sibirischen Hamster
1990er	Beschreibung des Transcriptions-Translations »negative-feedback« Modells der circadianen Uhr in verschiedenen Säugern, Klonierung von wesentlichen Uhrengenen

<sup>4</sup> Diego A. Golombek und Ruth E. Rosenstein, »Physiology of Circadian Entrainment«, in *Physiological Reviews* 90 (2010), S. 1063–1102, hier S. 1064.

1994	Erzeugung der <i>clock</i> -Mutante in der Maus
1998–2000	Entdeckung der zellulären und physiologischen Basis der Photorezeption in Säugern; Beschreibung von peripheren circadianen Uhren
2000	Klonierung der <i>tau</i> -Mutation des Sibirischen Hamsters
2000er	erste circadiane Transkriptomanalysen



Abb. 2: Abbildung einer Blumenuhr, einer Zusammenstellung von Gewächsen, deren Blüten sich zu verschiedenen Tagesstunden öffnen und schließen; zuerst von Carl von Linné für 24 Stunden angelegt. Gezeichnet von Ursula Schleicher-Benz, Lindauer Bilderbogen, Erste Folge, Nr. 5, herausgegeben von Friedrich Boer, Jan Thorbecke Verlag, Lindau 1948.

## 2. Biologische Zeitmessung als universelles Prinzip

Frühe Untersuchungen aus dem Tierreich zu chronobiologischen Rhythmen sind von Arthur Kiesel (1894)<sup>5</sup> bekannt, der die endogenen täglichen Rhythmen von Augenpigmentbewegungen einer nachtaktiven Motte beschrieb. Diese Befunde wurden 1930 von John H. Welsh (1901 bis 2002) bestätigt.<sup>6</sup> Dieser berichtete, dass die distalen Pigmentzellen der Facettenaugen bestimmter Krabben (*Macrobrachium olfersii* bzw. *M. acanthurus*) einen circadianen Rhythmus der Pigmentbewegung zeigten. Sogar unter konstantem Licht wanderte das Pigment distal am frühen Abend und verblieb während der subjektiven Nacht. Die

<sup>5</sup> Arthur Kiesel, »Untersuchungen zur Physiologie des facettierten Auges«, in *Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien* 103 (1894), S. 97–139.

<sup>6</sup> John H. Welsh, »Diurnal Rhythm of the distal pigment cells in the eyes of certain crustaceans«, in *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 16 (1930), S. 386–395.

Wanderung der Augenpigmente spiegelte damit auch das Aktivitätsmuster des Tieres wider.

Curt P. Richter (1894 bis 1988) war der erste, der um 1920 systematische Untersuchungen zu circadianem Verhalten von Säugern durchführte.<sup>7</sup> Er entdeckte und beschrieb ein Phänomen bei Ratten, welches später als Futtererwartungsverhalten (»food anticipatory activity«) bezeichnet wurde.

Zusammengefasst lässt sich sagen, dass circadiane Rhythmen bei Pro- und Eukaryonten, Pilzen, Pflanzen und Tieren gefunden wurden und temperaturkompensiert ablaufen. Darunter fallen so verschiedene Vorgänge wie: Stoffwechselaktivitäten, Wachstums- und Differenzierungsprozesse, Aktivitätszyklen und, bei Pflanzen, auch photoperiodisch gesteuerte Entwicklungsvorgänge (siehe hierzu auch Abb. 3).

### 3. Einige Begriffserklärungen der Chronobiologie

Besonders Jürgen Aschoff, der zusammen mit Colin Pittendrigh als Vater der Chronobiologie angesehen wird, hat mit seinen Versuchen zur »inneren Uhr« des Menschen Aufsehen erregt.<sup>8</sup> Durch seine Versuche wurden zentrale Erkenntnisse der Chronobiologie gewonnen, beispielsweise durch seine berühmt gewordenen »Bunkerversuche«, bei denen menschliche Probanden von Außeninflüssen isoliert wurden. So gelangte Aschoff zu dem Ergebnis, dass bei Abkopplung von äußeren Faktoren, die er »Zeitgeber« nannte, diese Menschen ihren eigenen Tag/Nacht-Rhythmus fanden. Der endogene Rhythmus wich

---

7 Curt P. Richter, »A behavioristic study of the activity of the rat«, in *Comparative Psychology Monographs* 1 (1922), S. 1–55.

8 Jürgen Aschoff, »Exogenous and Endogenous Components in Circadian Rhythms«, in *Cold Spring Harbor Symposia of Quantitative Biology* 25 (1960), S. 11–28; ders. u. a., »Human Circadian Rhythms in Continuous Darkness: Entrainment by Social Cues«, in *Science* 171 (1971), S. 213–215; ders., »Thermal conductance in mammals and birds: Its dependence on body size and circadian phase«, in *Comparative Biochemistry and Physiology* 69A (1981), S. 611–619; Hiromi Tokura und Jürgen Aschoff, »Effects of temperature on the circadian rhythm of pig-tailed macaques *Macaca nemestrina*«, in *The American Journal of Physiology* 245 (1983), S. R800–804.; Jürgen Aschoff, »Masking of circadian rhythms by zeitgebers as opposed to entrainment«, in Wim Hekkens u. a. (Hg.), *Trends in Chronobiology*, Oxford / New York 1988, S. 149–161; ders., »Masking and Parametric Effects of High-Frequency Light-Dark Cycles«, in *Japanese Journal of Physiology* 49 (1999), S. 11–19; ders., »Circadian Rhythms in Man«, in *Science* 148 (1965), S. 1427–1432; Colin S. Pittendrigh, »Circadian Rhythms and the Circadian Organization of Living Systems«, in *Cold Spring Harbor Symposia of Quantitative Biology* 25 (1960), S. 159–184.

dabei immer weiter von der aktuellen Tageszeit ab, je länger die Isolation anhielt. Nach über 20 Jahren der Aufzeichnungen solcher Schlaf-Wach-Zyklen, der Auswertung von Veränderungen der Körpertemperatur im Tagesverlauf und der Untersuchungen von Urinproben, hatte Aschoff einen Beweis für die Existenz einer »endogenen circadianen Uhr« auch beim Menschen gefunden.<sup>9</sup> Darüber hinaus fand er Belege, dass die Aktivitätsphasen von nachtaktiven Tieren unter konstantem Licht sich verkürzten, bei tagaktiven hingegen sich verlängerten (»Alpha Kompression« und »Alpha Expansion«, von Pittendrigh auch als »Aschoff's rule«<sup>10</sup> bezeichnet).

Einige der von Aschoff und Pittendrigh aber auch Franz Halberg (1919 bis 2013) geprägten Begriffe der Chronobiologie bedürfen hier einer Erklärung und Definition, da diese im Verlaufe der Ausführungen wiederholt verwendet werden:

#### *circadian*

von *circa* (ungefähr) und *dies* (Tag), ein Zeitabschnitt von (nur) ungefähr 24 Stunden. Endogene Uhren bedürfen deshalb der »Korrektur« durch geophysikalische Einflüsse, insbesondere durch Licht, um mit dem 24 Stunden-Rhythmus synchronisiert zu werden.

#### *Synchronisation*

Anpassung der frei laufenden endogenen Rhythmik an den Tag/Nacht-Wechsel entsprechend dem Vor- oder Nachstellen einer mechanischen Uhr.

#### *circadiane Periode*

Zeitintervall für den Ablauf einer vollständigen circadianen Oszillation (nach Franz Halberg zwischen 20 und 28 Stunden).

#### *Zeitgeber*

Synchronisierendes Signal für circadiane Oszillationen.

---

<sup>9</sup> Aschoff u. a., Human Circadian Rhythms (Fn. 8); Aschoff, Circadian Rhythms in Man (Fn. 8).

<sup>10</sup> Pittendrigh, Circadian Rhythms and the Circadian Organization (Fn. 8), S. 174.

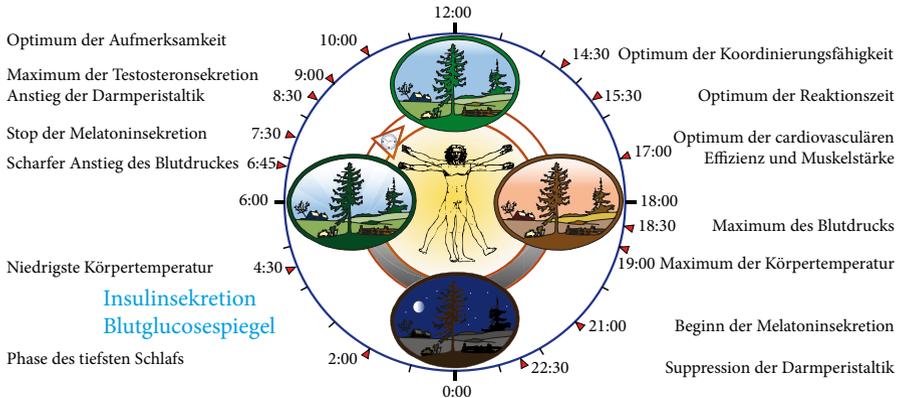


Abb. 3: Die innere circadiane Uhr des Menschen steuert im Tagesverlauf viele Körperfunktionen, mit Reaktions- bzw. Effektmaxima zu genau definierten Tageszeiten. Diese Funktionen werden anhand eines Tageskreises dargestellt. Hervorzuheben ist, dass das Inselhormon Insulin sowie der Blutzuckerspiegel ebenfalls im Tagesgang schwanken. Verändert nach: Michael Smolensky und Lynne Lamberg, *The Body Clock Guide to Better Health*, New York 2000; Grafikvorlage: Wikimedia Commons (CC BY-SA 3.0).

## 4. Das hierarchische System der inneren Uhr

Durch Läsionsexperimente konnte für den Säuger nachgewiesen werden, dass der Sitz der circadianen Uhr ein Nervenzentrum des Hypothalamus ist, nämlich der *Nucleus suprachiasmaticus* (SCN).<sup>11</sup> Spezialisierte Neuronen des paarig angelegten hypothalamischen Kerns generieren einen circadianen Rhythmus und bilden den zentralen circadianen Schrittmacher. Die Bedeutung dieses Oszillators äußert sich beim Menschen in der circadianen Beeinflussung vielfältiger Körperfunktionen wie z. B. Blutdruck, Darmbewegung, Schlafbedürfnis oder Konzentrationsvermögen. Eine Übersicht hierzu wird in Abb. 3 vermittelt.

Im Körper des Säugers finden sich neben der Zentraluhr im SCN auch circadiane Uhren in Organen wie Herz, Leber und Pankreas.<sup>12</sup> Nach gegenwärtigen

<sup>11</sup> Martin R. Ralph u. a., »Transplanted Suprachiasmatic Nucleus Determines Circadian Period«, in *Science* 247 (1990), S. 975–978.

<sup>12</sup> Martin E. Young u. a., »Alterations of the Circadian Clock in the Heart by Streptozotocin-induced Diabetes«, in *Journal of Molecular and Cellular Cardiology* 34 (2002), S. 223–231; Francesca Damiola u. a., »Restricted feeding uncouples circadian oscillators in peripheral tissues from the central pacemaker in the suprachiasmatic nucleus«, in *Genes and Development* 14 (2000), S. 2950–2961; Eckhard Mühlbauer u. a., »Indication of circadian oscillations in the rat pancreas«, in *FEBS Letters* 564 (2004), S. 91–96.

gem Kenntnisstand haben diese Uhren keine oder nur begrenzte Autonomie, da der von ihnen generierte Rhythmus, *in vitro*, also nach Gewebsentnahme und Einflussentzug vom zentralen circadianen Oszillator, einer raschen Dämpfung unterliegt.<sup>13</sup> Elmar und Dorothee Peschke wiesen allerdings nach, dass isolierte pankreatische Inseln der Ratte über mehrere Tage ihren Rhythmus beibehalten.<sup>14</sup> Eine neuere Arbeit von Pamela Pulimeno u. a. konnte zudem durch circadiane Fluktuation eines implantierten Leuchtgens zeigen, dass Uhren von dissoziierten pankreatischen Inselzellen eher mit zunehmender Zeitdauer desynchronisieren, als aufhören zu funktionieren.<sup>15</sup> Nach heutiger Lehrmeinung werden periphere Uhren, im Gegensatz zur Zentraluhr, aufgrund angenommener mangelnder Autonomie als Uhren 2. Ordnung aufgefasst. Diese sind der Zentraluhr untergeordnet und werden daher auch, im Gegensatz zur »master clock« des SCN, als »slave oscillators« bezeichnet<sup>16</sup> (schematische Darstellung in Abb. 4). Es ist dabei essentiell, dass Organe wie Leber und Pankreas, die gemeinsame Funktionen erfüllen, wie z. B. die Regulation der Blutglukose, auch im circadianen Ablauf untereinander synchronisiert sein müssen.

Während der zentrale Oszillator im SCN wesentlich durch das Licht synchronisiert wird, gilt das nicht für Uhren in Organen der Peripherie. Diese Oszillatoren werden im Wesentlichen durch humorale Faktoren beeinflusst. Auch durch neuronale Kopplung können, vom SCN ausgehend, synchronisierende Einflüsse vermittelt werden.<sup>17</sup> Aufgrund der Verbreitung von Melatoninrezeptoren kann das pineale Hormon Melatonin, neben seiner bekannten Wirkung auf den SCN, Leber, pankreatische Insel<sup>18</sup> und Niere beeinflussen. Auch den Glucokorticoiden, die in der Blutkonzentration einen Tagesrhythmus aufweisen, wird synchronisierende Funktion zugesprochen. Francesca Damiola u. a.

---

13 Stephen M. Reppert und David R. Weaver, »Coordination of circadian timing in mammals«, in *Nature* 418 (2002), S. 935–941.

14 Elmar Peschke und Dorothee Peschke, »Evidence for a circadian rhythm of insulin release from perfused rat pancreatic islets«, in *Diabetologia* 41 (1998), S. 1085–1092.

15 Pamela Pulimeno u. a., »Autonomous and self-sustained circadian oscillators displayed in human islet cells«, in *Diabetologia* 56 (2013), S. 497–507.

16 Reppert und Weaver, Coordination of circadian timing (Fn. 13).

17 Andries Kalsbeek und Ruud M. Buijs, »Output pathways of the mammalian suprachiasmatic nucleus: coding circadian time by transmitter selection and specific targeting«, in *Cell and Tissue Research* 309 (2002), S. 109–118.

18 Eckhard Mühlbauer und Elmar Peschke, »Evidence for the expression of both the MT1- and in addition, the MT2-melatonin receptor, in the rat pancreas, islet and beta-cell«, in *Journal of Pineal Research* 42 (2007), S. 105–106; Elmar Peschke u. a., »Melatonin and type 2 diabetes – a possible link?«, in ebd., S. 350–358; Eckhard Mühlbauer u. a., »Loss of melatonin signalling and its impact on circadian rhythms in mouse organs regulating blood glucose«, in *European Journal of Pharmacology* 606 (2009), S. 61–71.

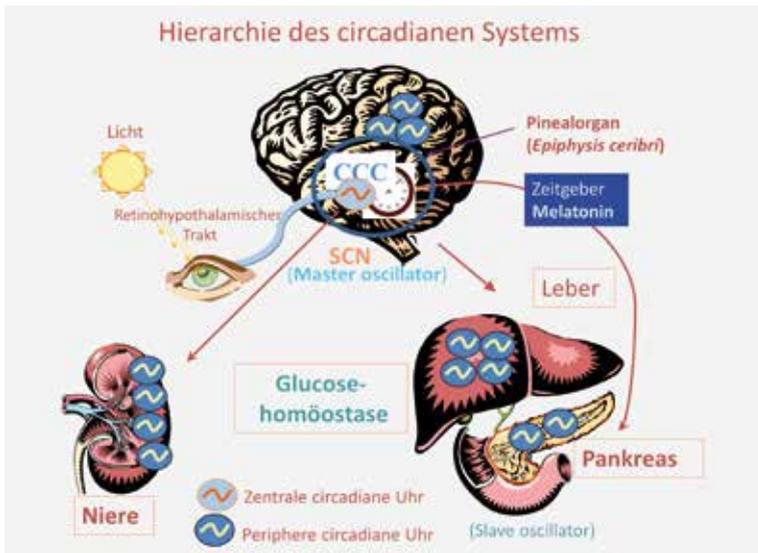


Abb. 4: Das circadiane Uhrensystem des Säugers besteht aus einer Hierarchie im Körper verteilter Oszillatoren. Die zentrale circadiane Uhr (»Master Clock« oder auch »Central Circadian Clock« (CCC) [Reppert und Weaver, Coordination of circadian timing (Fn. 13)].) befindet sich im *Nucleus suprachiasmaticus* (SCN), bestehend aus zahlreichen neuronalen Uhrenzellen. Dieser zentrale Oszillator empfängt Lichtsignale über das Auge und den retinohypothalamischen Trakt, um die circadiane Uhr auf den 24-Stunden-Tag einzustellen (»entrainment«). Die dergestalt synchronisierte Zentraluhr vermag nun wiederum den Takt der peripheren Uhren (»slave oscillators«) in Leber, Pankreas oder Niere zu synchronisieren. Diese Organe sind essentiell für die Regelung der Glukosehomöostase. Zusätzlich vermag das circadiane Pinealhormon Melatonin synchronisierend auf Organe und Zellen der Peripherie einzuwirken.

sowie Karl-Arne Stokkan u. a. haben zeigen können, dass bei einem nacht-aktiven Tier wie der Ratte eine Futterbeschränkung auf eine begrenzte Zeitspanne am Tag, die Phasenlage der inneren Uhren von Leber und Pankreas verschiebt.<sup>19</sup> Das kann bis zur vollständigen Entkopplung der peripheren Uhr vom zentralen Rhythmusgenerator, dem SCN, führen. Wie zuvor erwähnt, gilt beim Säuger auch die Körpertemperatur als wichtiger Synchronisator von inneren Uhren, die allgemein eine Vielzahl von Körperprozessen steuern.<sup>20</sup>

19 Francesca Damiola u. a., Restricted feeding (Fn. 12); Karl-Arne Stokkan u. a., »Entrainment of the Circadian Clock in the Liver by Feeding«, in *Science* 291 (2001), S. 490–493.

20 Etienne Challet u. a., »Phase-advanced Daily Rhythms of Melatonin, Body Temperature, and Locomotor Activity in Food-Restricted Rats Fed during Daytime«, in *Journal*

## 5. Der Uhrenmechanismus

Auf molekularer Ebene wird der circadiane Rhythmus sowohl im SCN als auch in peripheren Uhren durch circadiane Expression sogenannter Uhrengene in transkriptionellen/translationellen Rückkopplungsschleifen generiert. Diese Gene codieren für bestimmte Proteine mit transkriptioneller Aktivität, also für spezielle, tageszeitgesteuerte Transkriptionsfaktoren. Dabei führt die Aktivität von transkriptionell positiv agierenden Genprodukten wie BMAL1, welches als Heterodimer mit CLOCK über cis-Elemente (E-box) im Promotorbereich transkriptionell aktivierend wirkt, zur zeitabhängigen Aufregulation einer zweiten Gruppe von negativen Faktoren. Diese Transkriptionsfaktoren, der Period-Gruppe zugehörig (z. B. PER1), wirken zusammen mit Proteinen der Cryptochrome (z. B. Cry1) hemmend und drosseln im Gegenzug die Neusynthese von CLOCK/BMAL1, wodurch ein circadianer Zyklus geschlossen wird. Weiterhin können BMAL1/CLOCK-Faktoren sogenannte »clock-output«-Gene aktivieren und die circadiane Information auf weitere Gene im Zuge einer circadianen Aktivierungskaskade übertragen, da die »output«-Gene, wie beispielsweise das in der Leber und auch im Pankreas ausgeprägte *Dbp*, selbst Transkriptionsfaktoren sind. Ein circadianes System besteht daher aus drei Komponenten: a) dem Oszillator, der von außen durch b) Zeitgeber synchronisiert wird und seinerseits c) ein nach außen gerichtetes Signal erzeugt (»output«), welches in die Peripherie weitergegeben wird. Vermutlich wird ein großer Teil von Genen einer Zelle circadian gesteuert (bis zu 10%).<sup>21</sup> Durch Messung von Transkriptänderungen der Uhrengene *Per1*, *Bmal1*, *Per2*, *Cry1*, *Cry2* und *Tim* über den Tagesverlauf konnte gezeigt werden, dass zentrale genetische Determinanten der »biologischen Uhr« im Rattenpankreas aktiv sind.<sup>22</sup> Speziell die Transkriptschwankungen für die funktionell gegenläufigen Faktoren *Per1* und *Bmal1* zeigten ein inverses Verlaufsmuster – charakteristisch für jeden bislang untersuchten Oszillator, ob im SCN oder anderen Organen und Zellen. Des Weiteren konnten Elmar und Dorothee Peschke *in vitro* an separierten Ratteninseln in Langzeitexperimenten zeigen, dass das Pinealhormon Melatonin (als »Hormon der Nacht«) Zeitgeberfunktion für dieses Organ

---

of *Biological Rhythms* 12 (1997), S. 65–79; Trinitat Cambras u. a., »Circadian desynchronization of core body temperature and sleep stages in the rat«, in *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 104 (2007), S. 7634–7639.

21 Satchidananda Panda u. a., »Coordinated Transcription of Key Pathways in the Mouse by the Circadian Clock«, in *Cell* 109 (2002), S. 307–320; Kai-Florian Storch u. a., »Extensive and divergent circadian gene expression in liver and heart«, in *Nature* 417 (2002), S. 78–83.

22 Mühlbauer u. a., Indication of circadian oscillations in the rat pancreas (Fn. 12).

hat und eine Verschiebung (Vorverlegung) der Sekretionsphasen um 9 Stunden bewirken kann.<sup>23</sup> In weiteren Arbeiten belegten Elmar Peschke und seine Mitarbeiter in funktionellen Untersuchungen einen lähmenden Einfluss des Melatonins auf den cAMP-Signaltransduktionsweg der Insel oder der  $\beta$ -Zelle (gezeigt am Zellkulturmodell der Ratteninsulinomazelllinie INS-1).<sup>24</sup> Der Nachweis gelang dabei wesentlich aufgrund von Beobachtungen an isolierten Ratteninseln oder INS-1 Zellen mittels Perfusionstechnik. Es zeigte sich, dass die forskolinstimulierte Insulinsekretion durch Melatoningabe verringert und durch den bekannten kompetitiven Melatoninrezeptor-Antagonisten Luzindol wieder auf das Ausgangsniveau zurückgeführt werden konnte. Damit war auf pharmakologischem Wege bewiesen worden, dass die Melatoninwirkung mit der Funktion eines membranständigen Rezeptors verknüpft ist. Eine synchronisierende Wirkung und Zeitgeberfunktion von Melatonin auf die Funktion der inneren Uhr der Insel war damit belegt.

## 6. Circadiane Rhythmen der *Epiphysis cerebri*

Als Syntheseort des Indolamins Melatonin kommt dem Pinealorgan, auch *Epiphysis cerebri* genannt, eine besondere Bedeutung zu. Melatonin wird fast ausschließlich während der Dunkelheit synthetisiert und ohne Verzögerung und Zwischenspeicherung in die Blutbahn abgegeben, wo es mit einer mittleren Halbwertszeit von etwa 20 Minuten zirkuliert. Aufgrund dieser charakteristischen Fluktuation im Tagesverlauf wird Melatonin als hormoneller »output« der circadianen Uhr angesehen. Da sehr viele der Organe und Organzellen die charakteristischen, G-Protein-gekoppelten Melatonin-Membranrezeptoren exprimieren, kann Melatonin an vielen Stellen im Körper synchronisierende Wirkung entfalten, so auch in der pankreatischen Insel, als Organ der Blutglukosesteuerung<sup>25</sup> als auch an Neuronen des SCN. Melatonin vermag über einen »feedback«-Mechanismus steuernd auf die Zentraluhr rückzuwirken. Während der Pinealozyt unter neuronaler Kontrolle des SCN steht und des-

---

23 Peschke und Peschke, Evidence for a circadian rhythm of insulin release (Fn. 14).

24 Elmar Peschke u. a., »Evidence for a melatonin receptor within pancreatic islets of neonate rats: functional, autoradiographic, and molecular investigations«, in *Journal of Pineal Research* 28 (2000), S. 156–164; ders. u. a., »Receptor (MT(1)) mediated influence of melatonin on cAMP concentration and insulin secretion of rat insulinoma cells INS-1«, in *Journal of Pineal Research* 33 (2002), S. 63–71.

25 Elmar Peschke, Ina Bähr und Eckhard Mühlbauer, »Experimental and clinical aspects of melatonin and clock genes in diabetes«, in *Journal of Pineal Research* 59 (2015), S. 1–23.

sen Tag/Nachtaktivität widerspiegelt, hat man durch Microarray-Analyse auch Hinweise auf circadiane Oszillatoren in den Pinealozyten selbst gefunden.<sup>26</sup> Kürzlich erschienene Untersuchungen an spontandiabetischen Ratten konnten zeigen, dass unter ausgeprägter diabetischer Stoffwechsellaage die Rhythmusgenerierung durch Uhrengene im Pinealozyten nicht betroffen ist.<sup>27</sup> Ähnliche Befunde waren zuvor an chemisch induzierten (durch das Diabetogen Streptozotocin ausgelöst) Typ1-diabetischen Ratten gemacht worden.<sup>28</sup> Nach Lydia Engel u. a. ist die circadiane Uhr in der Epiphyse zudem an jahreszeitlichen Phänomenen beteiligt.<sup>29</sup>

## 7. Die Uhr funktioniert auf der Ebene einzelner Zellen

Wesentliche Arbeiten, z. B. von Aurélio Balsalobre oder David K. Welsh, haben zeigen können, dass die Generierung circadianer Rhythmen nicht auf Organismen, Organgruppen oder Organe beschränkt ist, sondern selbst auf der Ebene der einzelnen Körperzelle möglich ist.<sup>30</sup> Balsalobre und seine Mitautoren konnten 1998 nachweisen, dass die kurzzeitige Applikation einer hohen Serumkonzentration zum Zellkulturmedium von Rattenfibroblasten einer über viele Jahre in Kultur befindlichen Zelllinie (Rat-1) die Expression der Uhrengene *Per1*, *Per2* und der Uhrengen-getriebenen *RevErb $\alpha$*  und *Dbp* circadian fluktuieren lässt.<sup>31</sup> Dabei schwankte von Experiment zu Experiment die Periodenlänge  $\tau$  der »messenger« RNA von *Per1* nach Synchronisation zwischen 20 und 27 Stunden und betrug im Mittel 22,5 Stunden. Nichtzyklische Gene wie  $\beta$ -Aktin ließen sich auch *in vitro* nicht circadian induzieren. Die Autoren die-

---

26 David. C. Klein u. a., »Pineal Function: Impact of Microarray Analysis«, in *Molecular and Cellular Endocrinology* 314 (2010), S. 170–183.

27 Elmar Peschke u. a., »The insulin-melatonin antagonism: studies in the LEW.1AR1-iddm rat (an animal model of human type 1 diabetes mellitus)«, in *Diabetologia* 54 (2011), S. 1831–1840.

28 Elmar Peschke u. a., »Increased melatonin synthesis in pineal glands of rats in streptozotocin induced type 1 diabetes«, in *Journal of Pineal Research* 45 (2008), S. 439–448.

29 Lydia Engel u. a., »The photoperiod entrains the molecular clock of the rat pineal«, in *European Journal of Neuroscience* 21 (2005), S. 2297–2304.

30 Aurélio Balsalobre, Francesca Damiola und Ueli Schibler, »A Serum Shock Induces Circadian Gene Expression in Mammalian Tissue Culture Cells«, in *Cell* 93 (1998), S. 929–937; David K. Welsh u. a., »Bioluminescence Imaging of Individual Fibroblasts Reveals Persistent, Independently Phased Circadian Rhythms of Clock Gene Expression«, in *Current Biology* 14 (2004), S. 2289–2295.

31 Balsalobre, Damiola und Schibler, A Serum Shock (Fn. 30).

ser Studie konnten diese Befunde später an H35 Hepatoma-Zellen erhärten und inzwischen ist davon auszugehen, dass generell *in vitro* gehaltene Zellen über innere Uhren verfügen. Dabei gibt es zwei grundlegende Hypothesen zur Erklärung des zuvor geschilderten Phänomens. Während eine Reihe von Forschern annahm, dass die circadiane Uhr einzelner Zellen durch eine hohe Serumkonzentration (aber auch durch Dexametason und andere Agenzien) sozusagen *de novo* in Gang gebracht werden, gibt es inzwischen Hinweise, dass die zellulären Uhren nur synchronisiert werden müssen, um im Gleichklang zu schwingen und damit messbar zu werden. Die Uhr von Zellen in Kultur stoppt also vermutlich niemals über viele Zellteilungszyklen hinweg, aber es kommt ohne externe Zeitgeber zu einer zunehmenden Desynchronisation der Oszillationen.

Mühlbauer u. a. haben belegt, dass eine funktionsfähige innere Uhr von pankreatischen  $\beta$ -Zellen in Kultur am Modell der Ratteninsulinoma Zelllinie INS-1 nach Serumschock nachweisbar ist (Abb. 5).<sup>32</sup> Damit lässt sich auch das von Peschke und Peschke und Edson Delattre u. a. publizierte tagesrhythmische Fluktuieren der Insulinsekretion aus isolierten Ratteninseln in Perfusion erklären.<sup>33</sup> Eine kürzlich erschienene Arbeit von Pamela Pulimeno u. a. ergänzt die vorherigen Befunde an Inselzellen.<sup>34</sup> Die Autoren hatten mithilfe von Genkonstrukten in Lentiviren (vom humanen Immundefizienzvirus HIV-abgeleitete Retroviren), die das Leuchtkäfergen Luciferase unter Kontrolle des Uhrengens *Bmal1* exprimierten, diese Leuchtfähigkeit in humane Inselzellen eingeschleust und circadiane Leuchtsignale in Inselzellen aufzeichnen können. Diese, mithilfe einer lichtstarken Kamera dokumentierten Lichtschwankungen konnten auf Einzelzellebene sichtbar gemacht und in Echtzeit aufgezeichnet werden. Damit war zum ersten Mal das Funktionieren der circadianen Uhr in einzelnen Insulin-produzierenden  $\beta$ -Zellen bewiesen worden. Aus diesem Befund lässt sich zweifelsfrei ein Zusammenhang zwischen innerer Uhr und Inselfunktion postulieren.

---

32 Eckhard Mühlbauer u. a., »Differential and day-time dependent expression of nuclear receptors ROR $\alpha$ , ROR $\beta$ , ROR $\gamma$  and RXR $\alpha$  in the rodent pancreas and islet«, in *Molecular and Cellular Endocrinology* 365 (2013), S. 129–138.

33 Peschke und Peschke, Evidence for a circadian rhythm of insulin release (Fn. 14); Edson Delattre, José Cipolla-Neto und Antonio Boschero, »Diurnal variations in insulin secretion and K<sup>+</sup> permeability in isolated rat islets«, in *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology* 26 (1999), S. 505–510.

34 Pulimeno u. a., Autonomous and self-sustained circadian oscillators (Fn. 15).

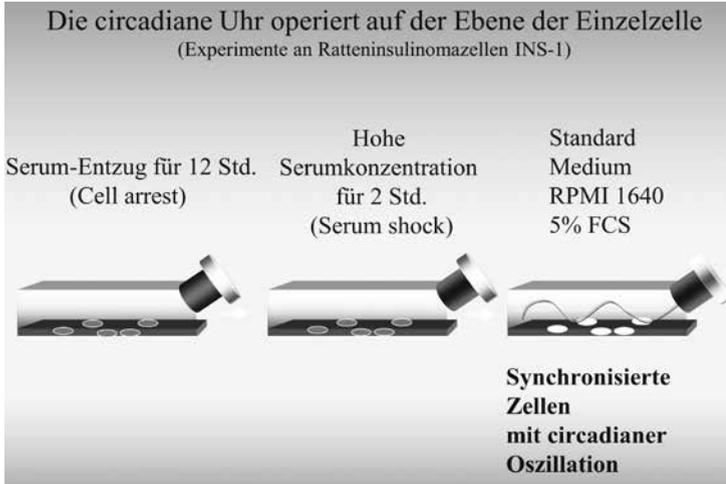


Abb.5: Ratteninsulinoma  $\beta$ -Zellen in Kultur lassen nach Serumschocksynchronisation einen circadianen Rhythmus erkennen. Das Experiment beginnt mit einem Entzug von Wachstumsfaktoren enthaltenden fötalem Kälberserum (FCS) aus dem Zellkulturmedium. Dadurch kommt es zu einem Stopp des Zellwachstums. Nach einer Entzugsphase von 12 Stunden wird ein »Serumschock« durch kurzzeitige Zugabe einer hohen (50% v/v) Konzentration an Serum appliziert. Dadurch kommt es zu einem Neustart des zellulären Wachstums und zur Synchronisation der inneren Uhr. Dieses Phänomen lässt sich auf molekularer Ebene durch tageszeitliche Erfassung der Genexpression von Uhrengenen nachweisen (Mühlbauer u. a., Differential and day-time dependent expression of nuclear receptors (Fn. 32).

## 8. Folgen einer dysfunktionalen circadianen Uhr

Wir leben inzwischen in einer Welt, die durch künstliche Lichtquellen den menschlichen Körper sowohl von jahreszeitlichen als auch von circadianen Rhythmen weitgehend abkoppelt. Das kann nicht ohne Folgen für die Gesundheit bleiben. Es ist seit einigen Jahren bekannt, dass viele Aspekte menschlicher Gesundheit, aber auch Krankheit, sowohl saisonalen als auch Tag/Nacht-Fluktuationen unterliegen. Beispielsweise zeigen Herzattacken, Lungenödeme und Bluthochdruck Wahrscheinlichkeitsspitzen zu bestimmten Tageszeiten. Mehrere Studien haben zudem belegt, dass Schichtarbeiter und Menschen mit Schlafentzug ein erhöhtes Risiko zeigen, am metabolischen Syndrom zu erkranken.<sup>35</sup> Auch viele metabolische Prozesse unterliegen also circadianer

35 Eve Van Cauter u. a., »Modulation of Glucose Regulation and Insulin Secretion by

Kontrolle,<sup>36</sup> und gestörter Schlaf beeinflusst Vorgänge wie Fett- und Glukosestoffwechsel, Hormonspiegel, Blutdruck- und Gerinnungsvorgänge negativ.<sup>37</sup> Das Blutglukoseniveau des Menschen zeigt eine Konzentrationsspitze kurz vor Beginn der Aktivitätsperiode, damit verknüpft sinkt die Insulinsensitivität in den Nachmittags- und Abendstunden, parallel zu einer Verringerung der Insulinsekretion.<sup>38</sup> Dieser natürliche Rhythmus geht im Übrigen beim Diabetiker verloren, sodass eine enge Verknüpfung der Tageszeit mit metabolischen Prozessen inzwischen als gesichert gilt. Untersuchungen an Tiermodellen, denen essentielle Uhrengene (*Bmal1* und/oder *Clock*) gentechnisch mutiert und damit dysfunktional wurden (sog. »knockout«-Modelle), unterstützen eine enge Verbindung zwischen Uhrenfunktion und einer Volkskrankheit wie Diabetes.<sup>39</sup>

---

Circadian Rhythmicity and Sleep«, in *Journal of Clinical Investigation* 88 (1991), S. 934–942.

36 Eve Van Cauter u. a., »Metabolic consequences of sleep and sleep loss«, in *Sleep Medicine* 9, Suppl. 1 (2008), S. 23–28.

37 Esra Tasali u. a., »Slow-wave sleep and the risk of type 2 diabetes in humans«, in *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105 (2008), S. 1044–1049.

38 Günther Boden u. a., »Evidence for a circadian rhythm of insulin secretion«, in *American Journal of Physiology* 271 (1996), S. 246–252.

39 Biliana Marcheva u. a., »Disruption of the clock components CLOCK and BMAL1 leads to hypoinsulinaemia and diabetes«, in *Nature* 466 (2010), S. 627–631.

Andreas Simm

## Altern: Chancen und Risiken

Von Beginn an begleitet den Menschen das Erleben seiner Endlichkeit bzw. der frühe Tod innerhalb der Familie. Über lange Zeit hinweg (seit ca. 50.000 Jahren) lag die mittlere Lebenserwartung zwischen 30 und 40 Jahren.<sup>1</sup> Diese an sich kurze Lebensspanne war den Menschen wohl bewusst. So sagte bereits der römische Philosoph und Politiker Lucius Annaeus Seneca (ca. 4 v. bis 65 n. Chr.): »Bemiss deine Lebenszeit, für so vieles reicht sie nicht«. Auf der anderen Seite wurde schon immer versucht, diese kurze Lebensspanne positiv zu beeinflussen. Leonardo da Vinci (1452 bis 1519) hatte bereits früh erkannt, dass dazu eine lebenslange Vorbereitung gehört: »Was man in seiner Jugend erwirbt, dient im Kampf gegen das Elend des hohen Alters. Und wenn du willst, dass dein Alter sich aus Weisheit nähre, so Sorge dafür, solange du jung bist, dass es in deinem Alter nicht an Nahrung mangelt« (*Codex Atlanticus*). Trotz der nach heutigen Lebensumständen niedrig erscheinenden damaligen mittleren Lebenserwartung wird die entsprechende maximale Lebenserwartung im selben Zeitraum immerhin auf knapp unter 100 Jahren geschätzt.<sup>2</sup> Damit hat es immer auch Menschen gegeben, die sehr alt geworden sind. Da diese alten Menschen zu ihrer Zeit aber eine große Ausnahme waren und zum Teil sogar zwei Generationen »überlebt« hatten, wurden sie geehrt und für ihr wichtiges Erfahrungswissen geschätzt. Interessanterweise sind die meisten historischen Berichte über die Lebenserwartung bzw. das Alter der Menschen geschlechtsbezogen verzerrt. So gibt es wesentlich mehr Daten zu Männern als zu Frauen, da die Männer oft als das wichtigere Geschlecht angesehen wurden. Dies wird indirekt auch bei den Darstellungen des Stufenalters der Menschen aus dem 18. und 19. Jahrhundert sichtbar. Dort wird zumeist der Mann in allen seinen Lebenslagen abgebildet, die Frau indes begleitet ihn nur in jungen Jahren als Teil der Familie mit den Kindern (Abb. 1).

---

1 Richard G. Cutler, »Evolution of human longevity: a critical overview«, in *Mechanisms of Ageing and Development* 9/3–4 (1979), S. 337–354.

2 Ebd.

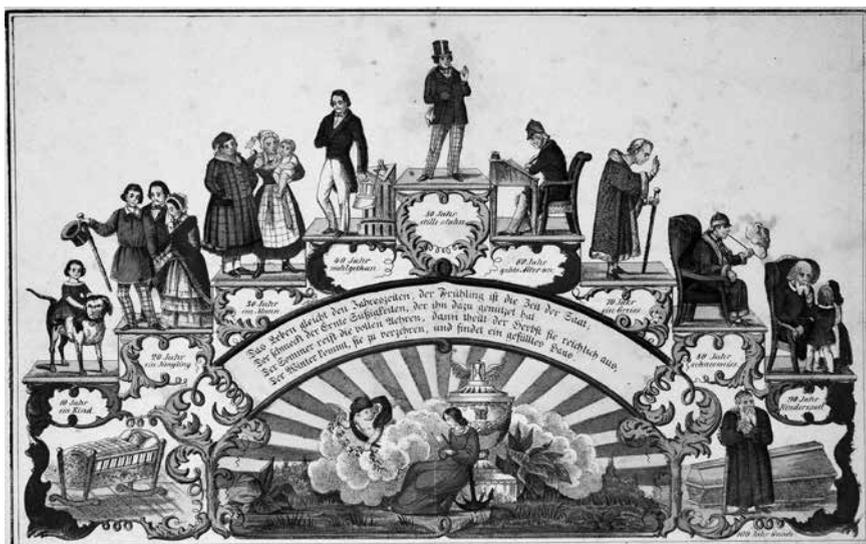


Abb. 1: Das Stufenalter des Menschen. Kolorierte Lithographie (um 1855). Neuruppiner Bilderbogen Nr. 2740. Foto: bpk/Museum Europäischer Kulturen, SMB.

Die Lebenserwartung hat sich in den letzten 150 Jahren nahezu verdoppelt. Dieser lineare Anstieg wurde von Jim Oeppen und James W. Vaupel 2002 für die Frauen weltweit beschrieben.<sup>3</sup> Interessanterweise hatten 1840 die Skandinavierinnen die höchste Lebenserwartung, wohingegen diese nun bei den Japanerinnen am höchsten ist. Während zu Beginn vor allem Verbesserungen von Hygiene, Kindersterblichkeitsrate, Behandlungsmöglichkeiten von Infektionskrankungen und Ernährung ausschlaggebend für die Erhöhung der Lebenserwartung waren, ist es jetzt vor allem die bessere medizinische Versorgung chronischer Erkrankungen bei alten Patienten. Das höchste bisher nachgewiesene Lebensalter beim Menschen erreichte Jeanne Calment (21.2.1875 bis 4.8.1997) mit 122 Jahren. Berichte über Menschen mit noch höherem Alter konnten bisher nicht verifiziert werden, da in den meisten Fällen der Nachweis der Geburt sehr schwierig ist. Ob wie bisher die mittlere Lebenserwartung weiter so stark ansteigen wird, wird erst die Zukunft zeigen, denn die Zunahme von Menschen mit dem metabolischen Syndrom oder Diabetes könnten diesen linearen Anstieg auch unterbrechen.<sup>4</sup> Für die Gesellschaft *per se* ist der Anstieg

<sup>3</sup> Jim Oeppen und James W. Vaupel, »Demography. Broken limits to life expectancy«, in *Science* 296/5570 (2002), S. 1029–1031.

<sup>4</sup> S. Jay Olshansky u. a., »A Potential Decline in Life Expectancy in the United States in the 21st Century«, in *The New England Journal of Medicine* 352/11 (2005), S. 1138–1145.

der Lebenserwartung eher unproblematisch. Viel problematischer ist dagegen die gesunkene Geburtenziffer (Anzahl der Kinder pro gebärfähige Frau) zu bewerten. Diese liegt in Deutschland seit Beginn der 1970er Jahre weit unter zwei, also unter dem Wert, den man bräuchte, um eine Population stabil zu halten. Parallel dazu kam es in den Jahren nach der Wiedervereinigung beider deutschen Staaten zu einer großen Bevölkerungswanderung; überwiegend junge Menschen in den neuen Bundesländern sind aufgrund der wesentlich besseren Lebensperspektiven in die alten Bundesländer abgewandert. Das hat das mittlere Alter in den neuen Bundesländern stark steigen lassen. Parallel dazu gibt es nun den wachsenden Trend der Verstädterung. Da die Versorgung im ländlichen Gebiet immer schwieriger wird, ziehen viele Menschen in die Städte, was den »Alterungsprozess« der Gesellschaft auf dem Lande weiter beschleunigt.

Doch was ist eigentlich alt und wie altern wir Menschen? Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) hat sich bei der Definition »alter Mensch« nach dem Rentenantrittsalter gerichtet. Demnach ist ein Mensch alt, wenn er das 65. Lebensjahr erreicht hat. Allerdings gibt es *den* alten Menschen so nicht, denn es gibt sowohl fitte 80-Jährige als auch verbrauchte 60-Jährige. Damit sagt das kalendarische Alter also wenig über das tatsächliche biofunktionale Alter aus. Dies wird insbesondere klar, wenn man sich Fotos verschiedener 60-jähriger Menschen anschaut, deren optische »Altersunterschiede« frappant sein können. Neben den rein optischen Unterschieden gibt es zudem viele messbare physiologische Parameter wie z. B. den Pulsdruck, die die große Heterogenität im Alter nachvollziehbar machen.<sup>5</sup>

Das Altern kann biomedizinisch als eine Anreicherung molekularer Schäden begriffen werden, wobei die Entstehung dieser Schäden die treibende Kraft des Alterns darstellt und die Reparaturfähigkeit die Lebenserwartung widerspiegelt.<sup>6</sup> Die Anreicherung molekularer Schäden geschieht ein Leben lang und beginnt bereits mit der Geburt. Dies wird im Allgemeinen während der Kindheit und im jungen Erwachsenenalter noch nicht gesehen, da man keinen Phänotyp entwickelt. Molekulare Schäden können prinzipiell an allen Makromolekülen entstehen, d. h. an den Nukleinsäuren, den Fetten sowie den Proteinen. Aus biologischer Sicht sind mehrere Mechanismen beim Altern ursächlich beteiligt. Dazu gehören der oxidative Stress mit den Radikalen, der glukogene Stress mit der Glykierung, die Inflammation, die Reduktion der

---

5 Edward G. Lakatta und Daniel Levy, »Arterial and Cardiac Aging: Major Shareholders in Cardiovascular Disease Enterprises. Part I: Aging Arteries: A »Set Up« for Vascular Disease«, in *Circulation* 107/1 (2003), S. 139–146.

6 Thomas B. L. Kirkwood, »A systematic look at an old problem«, in *Nature* 451/7179 (2008), S. 644–647.

Telomerlänge, veränderte hormonelle Verhältnisse, reduzierte regenerative Kapazitäten und viele weitere mehr.<sup>7</sup> Kein einziger dieser Faktoren kann den Alterungsprozess komplett erklären, denn es sind immer viele Faktoren, die im Zusammenspiel für diesen Prozess verantwortlich sind. Des Weiteren ist das zu betrachtende Zielorgan für die Einschätzung der Bedeutung verschiedener Alterungsprozesse von großer Bedeutung. So ist für ein Gewebe mit vielen proliferierenden (sich neu bildenden) Zellen ein anderes Zusammenspiel an Parametern (z. B. zelluläre Seneszenz, Telomerlänge) wichtiger als bei Geweben mit wenig proliferierenden Zellen (z. B. Oxidation, Glykierung). Zu den Geweben mit hohen Proliferationsraten zählen z. B. Haut, Darm und Blut, zu denen mit geringen Proliferationsraten z. B. Gehirn und Herz. Für den Menschen sind aber gerade die Organe, die wenige proliferationskompetente Zellen und somit geringe Regenerationsfähigkeit haben, im Alter wichtig. So sind es die großen degenerativen Erkrankungen wie die Demenz oder die Herzinsuffizienz, die das Leben im Alter entscheidend prägen können. Daher wird den proliferationsunabhängigen Alterungsprozessen eine wichtige Rolle zugesprochen.

Zu den wichtigen proliferationsunabhängigen Alterungsprozessen gehört die Glykierung als eine chemische Reaktion, die keinerlei Enzyme benötigt. Diese Reaktion wurde 1912 erstmalig für Proteine bzw. Aminosäuren von Louis Camille Maillard (1878 bis 1936) als Bräunungsreaktion beschrieben.<sup>8</sup> Die Produkte dieser Reaktion werden fortgeschrittene Glykierungsendprodukte oder »Advanced Glycation Endproducts« (AGEs) genannt. In der klassischen Maillardreaktion kommt es zu einer Addition von Monosacchariden wie Glukose an die Aminosäureseitenengruppe von Lysin oder Arginin unter Bildung einer Schiffschens Base. Nach einer Umlagerung entstehen sogenannte Amadoriprodukte. Bis zu diesem Punkt ist die chemische Reaktion prinzipiell umkehrbar. Das entstandene Amadoriprodukt ist für einige Wochen stabil. Das bekannteste Amadoriprodukt ist die modifizierte Form von Hämoglobin, HbA1c, das auch zur Diabeteskontrolle genutzt wird. Nach weiteren Umlagerungen, Oxidationen und Eliminationen entstehen die AGEs<sup>9</sup> (Abb. 2). Die AGEs sind hinsichtlich ihrer chemischen Struktur sehr heterogen und können in toxische und nicht-toxische AGEs bzw. fluoreszierende und nicht fluoreszierende AGEs

---

7 Andreas Simm u. a., »Potential biomarkers of ageing«, in *Biological Chemistry* 389/3 (2008), S. 257–265.

8 Louis Camille Maillard, »Action des acides aminés sur les sucres: formation des mélanoidines par voie méthodique«, in *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences* 154/2 (1912), S. 66–68.

9 Christiane Ott u. a., »Role of advanced glycation end products in cellular signaling«, in *Redox Biology* 2 (2014), S. 411–429.

## Posttranslationale nichtenzymatische AGE-Bildung

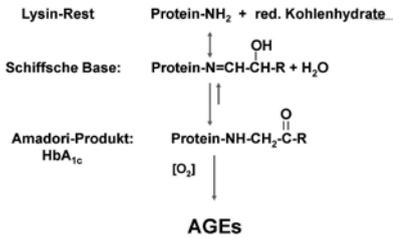


Abb. 2: Klassische AGE-Bildungsreaktion

eingeteilt werden.<sup>10</sup> Zurzeit ist noch kein Enzym bekannt, das diese Modifikationen wieder vom Protein entfernen kann. Die einzige Möglichkeit, AGEs zu eliminieren, ist der Proteinabbau mit nachfolgender Ausscheidung der Abbauprodukte über die Niere. Jedoch ist der Abbau von Proteinen, die AGE-modifiziert sind, verlangsamt.<sup>11</sup> Dies kann im Modell der Fruchtfliege zu einer Reduzierung der Lebensspanne führen.<sup>12</sup> Die biologische Wirksamkeit dieser AGEs kann man grob in vier Bereiche einteilen: 1.) AGE-modifizierte Proteine verändern ihre Wirksamkeit, wobei sie zumeist an biologischer Aktivität verlieren. Dies konnte unsere Arbeitsgruppe am Beispiel des Wachstumsfaktors PDGF (*Platelet-derived growth factor*) und der nachfolgend verminderten Aktivierung von intrazellulären Proteinkinasen wie Akt oder ERK zeigen.<sup>13</sup> Ein weiteres Beispiel stellt Albumin dar, das nach AGE-Modifikation eine reduzierte Esterase-Aktivität sowie geringere Bindungsaffinität an Ketoprofen aufweist.<sup>14</sup> 2.) Bei der AGE-Bildung kommt es häufig zur Quervernetzung von Proteinen, die Gewebsversteifungen und Proteinablagerung/Plauebildung

10 Takashi Sato u. a., »TAGE (Toxic AGEs) Theory in Diabetic Complications«, in *Current Molecular Medicine* 6/3 (2006), S. 351–358; ders. u. a., »Toxic Advanced Glycation End Products (TAGE) Theory in Alzheimer's Disease«, in *American Journal of Alzheimer's Disease and Other Dementias* 21/3 (2006), S. 197–208.

11 Alexandra Stolzing u. a., »Degradation of glycated bovine serum albumin in microglial cells«, in *Free Radical Biology and Medicine* 40/6 (2006), S. 1017–1027.

12 Eleni N. Tsakiri, u. a., »Diet-derived advanced glycation end products or lipofuscin disrupts proteostasis and reduces life span in *Drosophila melanogaster*«, in *Free Radical Biology and Medicine* 65 (2013), S. 1155–1163.

13 Norbert Nass u. a., »Glycation of PDGF results in decreased biological activity«, in *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology* 42/5 (2010), S. 749–754.

14 Naila Ahmed, »Peptide Mapping Identifies Hotspot Site of Modification in Human Serum Albumin by Methylglyoxal Involved in Ligand Binding and Esterase Activity«, in *The Journal of Biological Chemistry* 280/7 (2005), S. 5724–5732.

fördern. Dies ist insbesondere für das kardiovaskuläre System (Bluthochdruck, diastolische Herzinsuffizienz), die Altersweitsichtigkeit (Verlust der Elastizität der Augenlinse) oder die Alzheimer-Demenz (Alzheimer-Plaques) wichtig. Durch den modifikationsbedingt reduzierten Abbau von Proteinen wird natürlich auch der Proteinumsatz negativ beeinflusst, was wiederum zur Akkumulation langlebiger Proteine und somit Fibrose führt. 3.) Bei der Bildung von AGEs entstehen auch Radikale, die ihrerseits wieder Moleküle schädigen/oxidieren können.<sup>15</sup> 4.) AGEs können an Rezeptoren wie dem Rezeptor für AGEs (RAGE) binden und darüber die Expression proinflammatorischer Zytokine induzieren.<sup>16</sup>

Die Akkumulation der AGEs im Gewebe konnte schon vor vielen Jahren gezeigt werden.<sup>17</sup> Da die oben genannten vier Wirkbereiche der AGEs primär auf experimentellen Versuchen beruhen, bleibt bisher eine zentrale Frage, ob AGEs tatsächlich eine pathophysiologische Relevanz beim Menschen haben. So konnte eine Studie mit Patienten, die sich einer Herzoperation unterziehen mussten, zeigen, dass der Gehalt an AGE-Modifikationen im isolierten quervernetzten Kollagen des Herzmuskels sowohl mit dem Alter des Patienten als auch mit dem negativen postoperativen Outcome korreliert.<sup>18</sup> Aus technischen und zeitlichen Gründen können solche aufwendigen Untersuchungen aber nicht in der klinischen Praxis umgesetzt werden. Um diese Problematik zu umgehen, können AGE-Ansammlungen auch im Kollagen der Haut nicht-invasiv mittels Fluoreszenzanalytik bestimmt werden, da deren Gehalt in der Haut mit denen des Myokards (Herzmuskelgewebes)<sup>19</sup> und vermutlich anderer Organe vergleichbar ist. Eine zusätzliche physiologische Bedeutung bekommt

---

15 James V. Hunt, Roger T. Dean und Simon P. Wolff, »Hydroxyl radical production and autoxidative glycosylation. Glucose autoxidation as the cause of protein damage in the experimental glycation model of diabetes mellitus and ageing«, in *Biochemical Journal* 256/1 (1988). S. 205–212.

16 Angelika Bierhaus u. a., »Advanced Glycation End Product-Induced Activation of NF- $\kappa$ B is Suppressed by  $\alpha$ -Lipoic Acid in Cultured Endothelial Cells«, in *Diabetes* 46/9 (1997), S. 1481–1490.

17 Erwin D. Schleicher, Eva Wagner und Andreas G. Nerlich, »Increased Accumulation of the Glycooxidation Product N<sup>ε</sup>-(carboxymethyl)lysine in Human Tissues in Diabetes and Aging«, in *The Journal of Clinical Investigation* 99/3 (1997), S. 457–468.

18 Britt Hofmann u. a., »Relationship between cardiac tissue glycation and skin autofluorescence in patients with coronary artery disease«, in *Diabetes & Metabolism*, Onlinefassung v. 29.12.2014, <http://www.diabet-metabolism.com/article/S1262-3636%2814%2900196-7/abstract> (3.11.2015).

19 Britt Hofmann u. a., »Advanced glycation end product associated skin autofluorescence: a mirror of vascular function?«, in *Experimental Gerontology* 48/1 (2013), S. 38–44.

dies dadurch, dass die Hautfluoreszenzwerte mit der Gefäßfunktion, die anhand der Pulswellengeschwindigkeit bestimmt worden ist, korrelieren.<sup>20</sup> Damit spiegelt ein nicht-invasiver Analysetest primäre Alterungsvorgänge im kardiovaskulären System wider, was ihn als Biomarkertest für *das* Alter bzw. *den* alten Menschen interessant macht. Tatsächlich konnte eine Studie mit Diabetikern den Vorhersagewert dieser Fluoreszenzanalytik an der Haut zeigen. Patienten mit hohen Hautautofluoreszenzwerten (hohe AGE-Akkumulation) hatten eine 5-Jahres-Überlebensrate von unter 10 %, während die von Patienten mit geringen Werten bei 90 % lag.<sup>21</sup>

Die pathophysiologische Relevanz von AGEs über das AGE-RAGE System ist dagegen schwer in klinischen Studien zu ermitteln. Allerdings konnte in experimentellen Studien an Mäusen gezeigt werden, dass die Gabe von löslichem RAGE (sRAGE) – als antagonistischen Inhibitor der AGE-Bindung an RAGE – die Entstehung einer Diabetes-induzierten Arteriosklerose verhindert.<sup>22</sup> Auch die Myokardinfarktexpansion ist durch blockierende Antikörper gegen RAGE reduziert, was durch Untersuchungen am RAGE *knockout*-Mausmodell bestätigt werden konnte.<sup>23</sup> RAGE *knockout*-Mäuse sind zudem besser vor Sepsis geschützt.<sup>24</sup> Bei Myokardinfarkt und Sepsis könnten allerdings auch andere RAGE-bindende Liganden als AGEs eine Rolle spielen.<sup>25</sup> Unumstritten ist dagegen die RAGE-unabhängige Bedeutung von AGEs bei der zunehmenden Gewebsversteifung mit höherem Alter. So verbessern AGE-*crosslinkbreaker* wie Alt-711 wesentlich die Pumpleistung eines alten Herzens im Hundemodell,<sup>26</sup> was deren nachteilige Bedeutung bei der kardiovaskulären Funktion unterstreicht.

Im Gegensatz zum menschlichen Organismus haben wir in erhitzter gebräunter Nahrung große Mengen an AGEs. Diese werden auch ins Blut aufge-

---

20 Ebd.

21 Robbert Meerwaldt u. a., »Skin Autofluorescence is a Strong Predictor of Cardiac Mortality in Diabetes«, in *Diabetes Care* 30/1 2007, S. 107–112.

22 Lisa Park u. a., »Suppression of accelerated diabetic atherosclerosis by the soluble receptor for advanced glycation endproducts«, in *Nature Medicine* 4/9 (1998), S. 1025–1031.

23 Loredana G. Bucciarelli u. a., »RAGE and modulation of ischemic injury in the diabetic myocardium«, in *Diabetes* 57/7 (2008), S. 1941–1951.

24 Birgit Liliensiek u. a., »Receptor for advanced glycation end products (RAGE) regulates sepsis but not the adaptive immune response«, in *The Journal of Clinical Investigation* 113/11 (2004), S. 1641–1650.

25 Luis Ulloa und Davorka Messmer, »High-mobility group box 1 (HMGB1) protein: Friend and foe«, in *Cytokine & Growth Factor Reviews* 17/3 (2006), S. 189–201.

26 Mohammad Asif u. a., »An advanced glycation endproduct cross-link breaker can reverse age-related increases in myocardial stiffness«, in *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 97/6 (2000), S. 2809–2813.

nommen und über die Niere wieder abgegeben.<sup>27</sup> Ob die Nahrungsmittel-AGEs ebenfalls toxisch sind, wird zurzeit kontrovers diskutiert. So führte in einem Mausmodell eine AGE-arme Ernährung zu einer verlängerten Lebensspanne der Tiere,<sup>28</sup> was deren mögliche Toxizität unterstreicht. Es gibt aber auch Hinweise, dass das nicht automatisch so sein muss. AGEs aus der Brotkruste scheinen zunächst auch einen negativen biologischen Effekt zu haben, da sie intrazellulär oxidativen Stress induzieren. Aufgrund der dadurch aktivierten Expression antioxidativer Enzyme wie den Superoxiddismutasen, führt dies in der Konsequenz aber dazu, dass so behandelte Zellen besser gegen oxidativen Stress und dadurch induzierten Zelltod geschützt sind.<sup>29</sup> AGEs würden somit im Sinne einer hormetischen Antwort erst Stress induzieren und langfristig vor Stress schützen. Eine weitere unerwartete Ausnahme stellt das Bronchialkarzinom dar. Auch hier haben AGEs einen vermutlich positiven Effekt, da eine AGE-reiche Ernährung das induzierte Tumorstadium am Nacktmausmodell verlangsamt.<sup>30</sup> Klinische Studien an Patienten mit operablem Bronchialkarzinom konnten diese experimentelle Beobachtung bestätigen. So zeigten Bronchialkarzinom-Patienten mit hohen AGE-Gehalten im Blutplasma eine bessere 5-Jahres-Überlebensrate als diejenigen mit geringen AGE-Gehalten. Auch Diabetiker und insbesondere niereninsuffiziente Diabetiker, die generell hohe AGE-Gehalte im Blutplasma aufweisen, überlebten das Bronchialkarzinom besser als diejenigen ohne Diabetes und Niereninsuffizienz.<sup>31</sup> Insgesamt zeigen diese Daten, dass hohe AGE-Gehalte in bestimmten Konstellationen auch protektiv sein können, Alternsprozesse also nicht immer nur negativ sein müssen. Zwei weitere Beispiele sollen diese gegensätzlichen Funktionen von Alterungsprozessen verdeutlichen. Das Altern auf zellulärer Ebene, d. h. der damit verbundene Replikationsstopp und die veränderte Zellfunktion, wird als

---

27 Theodore Koschinsky u. a., »Orally absorbed reactive glycation products (glycotoxins): An environmental risk factor in diabetic nephropathy«, in *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 94/12 (1997), S. 6474–6479.

28 Weijing Cai u. a., »Reduced oxidant stress and extended lifespan in mice exposed to a low glycotoxin diet: association with increased AGER1 expression«, in *American Journal of Pathology* 170/6 (2007), S. 1893–1902.

29 Stefanie Ruhs u. a., »Preconditioning with Maillard reaction products improves antioxidant defence leading to increased stress tolerance in cardiac cells«, in *Experimental Gerontology* 45/10 (2010), S. 752–762.

30 Babett Bartling u. a., »Prognostic Potential and Tumor Growth-Inhibiting Effect of Plasma Advanced Glycation End Products in Non-Small Cell Lung Carcinoma«, in *Molecular Medicine* 17/9–10 (2011), S. 980–989.

31 Ebd.; Babett Bartling u. a., »Effect of Diabetes Mellitus on the Outcome of Patients with Resected Non-Small Cell Lung Carcinoma«, in *Gerontology* 57/6 (2011), S. 497–501.

replikative Seneszenz bezeichnet. Sie ist einerseits mitverantwortlich für die Gewebsinflammation im Alter (negativ), ist aber in jungen Jahren wichtig für die Tumorabwehr und bei der Wundheilung.<sup>32</sup> Die familiäre Form der Hypercholesterinämie (erhöhter Cholesterinspiegel aufgrund eines Gendefekts) ist mit einer Frequenz von ca. 1 : 300 pro Geburt sehr häufig. Sie führt im hohen Alter zur Arteriosklerose, könnte aber in jungen Jahren protektiv bei Lungenentzündung sein.<sup>33</sup>

Kann man diese Alterungsprozesse selbst aktiv beeinflussen? Am leichtesten wäre es, wenn es einen Jungbrunnen gäbe, wie ihn Lucas Cranach d. Ä. (1472 bis 1553) in seinem berühmten Gemälde von 1546 dargestellt hat. Leider gibt es diesen nicht, und wenn doch, funktioniert er – in der Darstellung Cranachs – anscheinend nur bei Frauen. Die beste uns bekannte Möglichkeit, das Altern zu beeinflussen, ist körperliche Aktivität. In einer großen Studie konnte 2011 gezeigt werden, dass die allgemeine Mortalitätsrate mit dem wöchentlichen Aktivitätslevel sinkt.<sup>34</sup> Bei älteren Menschen hat Tanzen einen positiven Effekt auf die kognitive Leistungsfähigkeit, gemessen an der fluiden Intelligenz und dem Arbeitsgedächtnis.<sup>35</sup> Auch die Akkumulation der AGEs in der Haut lässt sich durch Sport positiv beeinflussen. Leider trifft dies aber nicht auf jeden zu.<sup>36</sup> Dieser differentielle Effekt ist seit langem bekannt. In vielen Therapien, wie z. B. zur Behandlung von Bluthochdruck, gibt es nicht nachvollziehbare Non-responder, die auf eine medikamentöse Therapie nicht ansprechen. Warum präventive und therapeutischen Maßnahmen bei manchen Patienten wirksam sind und bei anderen eben nicht, wird wohl noch lange Gegenstand der Forschung sein.

Zusammenfassend kann man sagen, dass Alterungsprozesse pathophysiologisch bedeutsam sind und somit auch Basis von neuen Interventionsstrategien

---

32 Marco Demaria u. a., »An Essential Role for Senescent Cells in Optimal Wound Healing through Secretion of PDGF-AA«, in *Developmental Cell* 31/6 (2014), S. 722–733.

33 Martina Weber u. a., »Hepatic induction of cholesterol biosynthesis reflects a remote adaptive response to pneumococcal pneumonia«, in *The FASEB Journal* 26/6 (2012), S. 2424–2436.

34 Chi Pang Wen u. a., »Minimum amount of physical activity for reduced mortality and extended life expectancy: a prospective cohort study«, in *The Lancet* 378/9798 (2011), S. 1244–1253.

35 Kathrin Rehfeld u. a., »Auswirkungen einer Tanz- und Kraft-Ausdauer-Intervention auf kognitive Fähigkeiten älterer Menschen«, in *Zeitschrift für Neuropsychologie* 25 (2014), S. 99–108.

36 Anne Navarrete Santos u. a., »Einfluss von Gesundheitssport auf Marker des biofunktionalen Alters: Nicht invasive Analyse von ›advanced glycation endproducts‹ in der Haut«, in *Bewegungstherapie und Gesundheitssport* 27 (2011), S. 121–124.

sein könnten. Andererseits gibt es aber Hinweise, dass dieselben Mechanismen in anderen Zusammenhängen protektiv sein können. Alterungsprozesse sind also nicht grundsätzlich negativ zu bewerten. Altern lässt sich auch positiv durch unseren Lebensstil beeinflussen, hier sind aber noch viele Studien nötig, um langfristig individualisierte therapeutische Ansätze zu identifizieren. Lassen Sie mich mit einem Spruch enden, der I. Bergmann zugeschrieben wird: »Älter werden ist, wie auf einen Berg steigen; je höher man kommt, umso mehr Kräfte sind verbraucht; aber umso weiter sieht man«.

Elmar Peschke

## Danksagung

Herr Präsident, lieber Herr Stekeler-Weithofer, Magnifizienz, lieber Herr Sträter, sehr verehrte Herren Vizepräsidenten der Leopoldina, lieber Herr Berg, und der Sächsischen Akademie, lieber Herr Wiesmeth, sehr verehrter Herr Altpräsident der Sächsischen Akademie, lieber Herr Haustein, verehrte Kollegen, liebe Freunde und Verwandte!

Es ist ein besonderes Glück und Geschenk, wenn einem Chronobiologen zu seinem 70. Geburtstag ein Symposium über die Zeit gewidmet wird. Über nahezu vier Jahrzehnte haben meine Frau Dorothee und ich gemeinsam mit unseren Mitarbeitern, Doktoranden und Schülern den Zeitbezug in unserer Forschung, der Chronoendokrinologie, berücksichtigt, sodass unsere wissenschaftlichen Untersuchungen immer unter der Einbeziehung biologischer Rhythmen standen.

Was unsere wissenschaftliche Arbeit betrifft, weiß ich mich in ganz besonderer Weise der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Dank verpflichtet, die unsere Forschung entscheidend gefördert hat, indem sie mir die Leitung für ein Langzeitprojekt »Zeitstrukturen endokriner Systeme« in 15 zurückliegenden Jahren anvertraut hat. Heute nun soll in feierlicher Weise das bereits auf verschiedenen Festsitzungen durch unseren Vizepräsidenten Wiesmeth mit Lob und Anerkennung gewürdigte Projekt seinen feierlichen Abschluss finden. Mein Herz ist voller Freude und Dank für die Förderung durch unsere Akademie, der ich mich durch fast 20 Jahre der Zugehörigkeit verbunden fühle. Dass mich darüber hinaus die Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse vor bald vier Jahren durch Wahl zu ihrem Sekretar mit besonderem Vertrauen ausgestattet hat, hat die Bande einmal mehr gefestigt. So stehe ich heute hier glücklich und dankbar, aber auch bescheiden, denn in vielem sehe ich ein unverdientes Geschenk.

Es war mein Wunsch, das Thema »Die Zeit« durch Vorträge interdisziplinär beleuchten zu lassen, ein Wagnis, aber, wie wir erleben durften, ein gelungenes Beispiel interdisziplinärer Behandlung von Themen. Es ist ja gerade die besondere Stärke unserer Sächsischen Akademie, dass sie mit ihren drei Klassen, der geisteswissenschaftlichen, technischen und mathematisch-natur-

wissenschaftlichen, Synthesen zustande bringt, die sie in besonderer Weise auszeichnet.

Hochansehnliche Festversammlung, in jüngerer Zeit habe ich mich, ange-regt durch unsere chronobiologischen Untersuchungen, etwas intensiver mit der Zeit, unserem Zeitempfinden sowie dem Zeiterleben und dem Umgang mit der Zeit ganz allgemein, beschäftigt. Das hat dazu geführt, dass ich im Flyer zur heutigen Veranstaltung Benjamin Franklin mit den Worten »Zeit ist der Stoff, aus dem Leben besteht«<sup>1</sup> zitiert habe. Zeit ist, wie wir alle wissen, ein un-wiederbringliches Gut, wobei Zeit und Leben aufs Engste miteinander verbunden sind. Beide sind kostbar und beide können kein zweites Mal gewonnen wer-den. Was uns bleibt, ist die Erinnerung, sie ist gewissermaßen im »Gedächtnis geronnene Zeit«.<sup>2</sup>

Vor diesem Hintergrund ist nicht verständlich, dass wir mit unserer Zeit oft so verantwortungslos umgehen und Zeit vor dem Fernseher oder unsere Kinder vor der Spielkonsole »verbrennen«. Nichts bleibt dabei übrig, es gibt keine Erinnerung, die Zeit ist vertan, sie ist verloren und damit ist uns ein gut Stück unseres Lebens entglitten.

Eigentlich sind wir doch so reich an Zeit, noch nie sind wir so alt gewor-den, noch nie sind uns so viele lästige wie zeitintensive Arbeiten durch Waschmaschine, Wäschetrockner, Spülautomaten und moderne Heizungen abge-nommen worden. Und dennoch gibt ein erheblicher Anteil aller Deutschen an, unter Zeitknappheit zu leiden und macht in sträflicher Weise die Zeit zum »Tyrannen ihres Lebens«.

Meine sehr verehrten Damen und Herren, ein Teil von Ihnen wird mir sicher Recht geben, wenn ich behaupte, je älter wir werden, umso schneller verrinnt die Zeit in unserer Erinnerung. Bekannt ist das »Rentner-Syndrom«, die Klagen über Zeitmangel im Ruhestand. Warum ist das so? Eine Erklärung besteht darin, dass viel von dem, was wir in unserer Jugend erlebt haben, neu war und sich deshalb gut eingepägt hat. Diese frühesten Erinnerungen sind dem Vergessen später jedoch kaum mehr ausgesetzt. Im Alter erleben wir viel mehr gewohnte Dinge, die nicht in unserer Erinnerung fixiert werden, obwohl sie doch gerade erst erfahren wurden. Vergleichbare Folgen, nämlich nicht als Erinnerung in unserem Gehirn fixiert zu werden, verursachen die Drogen Ge-schwindigkeit, Terminhäufungen, Doppelbelastungen, eine Hand am Steuer und eine am Handy usw. Und was ist die Folge, »nicht die Jahre vergehen,

---

1 Benjamin Franklin, zitiert nach Stefan Klein, *Zeit: Der Stoff aus dem das Leben ist. Eine Gebrauchsanweisung*, Frankfurt a. M. 2006, S. 10.

2 Ebd., S. 12.

sondern wir«,<sup>3</sup> arm an bewusst erlebter Zeit, arm an Leben. In jüngerer Zeit wird deshalb von klugen Leuten darüber nachgedacht, Herr Obst hat bereits in seinem Vortrag darauf hingewiesen, wie wir unsere Lebensabläufe entschleunigen können, um mehr Erinnerung zu speichern und so mehr Leben zu gewinnen.

Wie unterschiedlich Zeit wahrgenommen wird, führt uns Thomas Mann in seinem Roman *Der Zauberberg* vor, indem er schon 1924 viel von heutiger Erkenntnis vorwegnahm. Den ersten zwei Tagen des Hans Castorp in Davos sind drei Kapitel, den folgenden sieben Monaten zwei Kapitel und den verbleibenden sechs Jahren wiederum nur zwei Kapitel gewidmet. Thomas Mann schreibt im »Exkurs über den Zeitsinn« dazu: »Große Zeiträume schrumpfen bei ununterbrochener Gleichförmigkeit auf eine das Herz zu Tode erschreckende Weise zusammen; wenn ein Tag wie alle ist, so sind sie alle wie einer; und bei vollkommener Einförmigkeit würde das längste Leben als ganz kurz erlebt werden und unversehens verflogen sein.«<sup>4</sup>

Hochansehnliche Versammlung, daraus erhellt, dass es die Ereignisse sind, die dazu beitragen, dass die Zeit einmal verkürzt und einmal verlängert wahrgenommen wird. Wartezeiten werden von uns unerträglich lang empfunden, sie wollen nicht enden. Die Zeit wird gedehnt, eine Erinnerung gibt es aber kaum. Umgekehrt steigert Hochstimmung die Konzentration auf das, was uns geschieht, die Zeit wird verkürzt, die Erinnerung aber gedehnt. »Man kann darin eine bittere Ironie sehen, dass ausgerechnet die schönsten Stunden die kürzesten sind, während die gleiche Zeitspanne in unangenehmer Lage scheinbar nicht endet.«<sup>5</sup>

Bitte lassen Sie mich noch unseren Dichturfürsten zitieren, der übrigens mit der von ihm selbst bemängelten Schnelligkeit seiner Epoche bestens zurechtkam. Seine Worte sollten uns nachdenklich machen, seine Botschaft ist wunderbar und heilsam. In *Dichtung und Wahrheit* bekennt er: »Da man immer genug Zeit hat, wenn man sie gut anwenden will, so gelang mir mitunter das Doppelte und Dreifache«. Denn, so Goethe, »Die Zeit ist unendlich lang und ein Tag wie ein Gefäß, in das sich sehr viel eingießen lässt, wenn man es wirklich ausfüllen will.«<sup>6</sup>

Verehrte Frau Riha, liebe Kollegen, Sie haben mit Ihren Vorträgen das Gefäß des heutigen Tages gut gefüllt. Ich fühle mich beschenkt, weil Sie mit ihren Vorträgen die Zeit haben schnell verrinnen lassen, die in unserer Erinnerung

---

3 Ebd., S. 186.

4 Thomas Mann, *Der Zauberberg*, zitiert nach ebd., S. 141.

5 Ebd., S. 83.

6 Johann Wolfgang von Goethe, *Dichtung und Wahrheit*, zitiert nach ebd., S. 169 f.

gedehnt werden wird. »Indem wir unserer Zeit mehr Leben geben, geben wir auch dem Leben mehr Zeit«. <sup>7</sup> Das ist heute geschehen.

Dafür danke ich zuallererst Ihnen, Herr Präsident, lieber Herr Stekeler-Weithofer, dass Sie unser Symposium nicht nur ermöglicht, sondern auch mit Ihrem wertvollen Vortrag eingeleitet haben. Sie haben die philosophischen Kategorien Zeitbegriff und Zeitverständnis über Jahrhunderte hinweg bis hin zu Einsteins spezieller Relativitätstheorie von 1905 tiefgründig behandelt und einen weiten Bogen von Anaximander und Aristoteles bis hin zu Einstein und Heidegger gespannt, und das »in kürzester Zeit«. Vielen lieben Dank, ich fühle mich Ihnen herzlich verbunden.

Ich hatte ein Herzensthema, nämlich Kapitel 3, Vers 1 des Predigers Salomo: »Ein jegliches hat seine Zeit und alles Vornehmen unter dem Himmel hat seine Stunde«. Dass Sie sich, lieber Herr Obst, der Sie meinem Elternhause und mir seit mehr als 50 Jahren herzlich verbunden sind, für meine Bitte haben gewinnen lassen, war für mich eine ganz besondere Freude. Mit großem Dank habe ich Ihren Worten gelauscht, Sie haben mir ein großes Geschenk zu meinem heutigen Geburtstag gemacht, wissen wir uns doch beide unter dem Schutz und der Gnade göttlicher Fügung.

In den zurückliegenden Jahren gemeinsamer Präsidiumssitzungen in unserer Akademie habe ich in Ihnen, lieber Herr Huschner, einen Freund gefunden, zu dem ich ein besonderes Vertrauensverhältnis habe gewinnen können. Für Ihren wertvollen Vortrag, durch den Sie uns die Probleme mittelalterlicher Urkundendatierungen nahegebracht haben, und für Ihre herzliche Freundschaft in den zurückliegenden Jahren, danke ich Ihnen von ganzem Herzen und fühle mich Ihnen verbunden. Sie haben durch Ihre Worte unsere heutige Veranstaltung bereichert und mir ein kostbares Geschenk gemacht.

Sehr verehrte, liebe Frau Riha, aus dem Hause eines Kirchenhistorikers stammend, habe ich Ihren medizinhistorischen Beitrag ganz besonders genossen. Ich danke Ihnen von Herzen, dass Sie in meisterlicher Weise mit Ihrem Vortrag einen Brückenschlag zwischen der Medizin und unserem heutigen Thema hergestellt und damit unser Symposium ganz entscheidend bereichert haben. Ihre umfangreichen Editionen im Rahmen Ihres Akademieprojektes sind für mich immer Vorbild und Ansporn gewesen. Vielen lieben Dank.

Lieber Herr Kärger, Sie, einen Physiker für das Thema »Die Zeit« gewinnen zu können, hatte für mich zwei wichtige Aspekte. Zum einen haben Sie das Thema unter einem Blickwinkel beleuchtet, der für mich nicht so ganz alltäglich ist, zum anderen habe ich in den zurückliegenden Jahren, als es um die Etablierung Ihrer Strukturkommission »Diffusion« oder »Ausbreitung« in un-

---

<sup>7</sup> Ebd., S. 117.

serer Klasse ging, in Ihnen einen guten Freund gefunden, der mich mit seiner mitreißenden Begeisterungsfähigkeit für die Wissenschaft tief angerührt hat. Für Ihren Beitrag und Ihre Freundschaft danke ich Ihnen von ganzem Herzen.

Meine sehr verehrten Damen und Herren, Herr Eckhard Mühlbauer war im Rahmen unseres Akademieprojektes über 15 Jahre nicht nur mein Molekularbiologe, sondern, im besten Sinne des Wortes, »mein getreuer Eckart«, mit dem ich gemeinsam in nie gefährdeter Freundschaft zusammen unsere Untersuchungen vorantreiben konnte. Lieber Eckhard, wir haben uns von Jahr zu Jahr besser verstanden, konnten ein schönes Vertrauensverhältnis entwickeln und haben viel über Uhren-Gene geforscht, Deinem heutigen Vortragsthema. Vielen Dank für 15 Jahre vertrauensvoller Gemeinsamkeit und Verlässlichkeit.

Unsere Veranstaltung wurde durch den Vortrag des Kollegen Simm durch das Thema »Altern – Chancen und Risiken« abgerundet, ein Thema, das nicht nur von Medizinern, sondern nachvollziehbar, sicherlich von den höheren Semestern unserer Sächsischen Akademie mit besonderem Interesse verfolgt wurde. Lieber Herr Simm, es war für uns wohlthuend zu erfahren, dass auch ältere Menschen aufgrund ihrer Erfahrungen einen wichtigen Platz in unserer Gesellschaft haben. Ihre Zusage, sich mit einem Vortrag heute zu beteiligen, hat mich sehr gefreut und meine Erwartungen übererfüllt. Wir kennen uns schon viele Jahre, und immer waren unsere Begegnungen herzlich und von gegenseitiger Anerkennung bestimmt. Ich danke Ihnen sehr für Ihren interessanten Vortrag.

Nun habe ich mich bei allen Rednern bedankt, was fehlt, ist der Dank an die Festversammlung. Dass Sie mir heute hier die Ehre gegeben und unserem Symposium durch Ihre Teilnahme Glanz verliehen haben, ist für mich ein besonderes Geschenk. Da gibt es aber noch ein ganz persönliches Anliegen. Ich möchte meiner engsten Mitarbeiterin über mehr als 30 Jahre in der Anatomie Halle, meiner Dorothee, von Herzen danken, dass sie mich so viele Jahre unterstützt und ertragen hat. Sie ist wahrlich ihrem Namen gerecht geworden, sie ist ein δῶρον θεός, ein Gottesgeschenk.

Darüber hinaus möchte ich mich abschließend aber auch bei all denen bedanken, die meiner Einladung, heute in die Sächsische Akademie zu kommen, nicht folgen konnten und mich mit Geschenken, herzlichen Gratulationen und guten Worten für mein weiteres Leben bedacht haben. Ich darf bekennen, dass ich tief beeindruckt bin, dass Sie mir an diesem Tage so viel Zuneigung und Anerkennung für mein bisheriges Tun, gepaart mit guten Wünschen für die Zukunft, entgegengebracht haben. Ich danke Ihnen und meinem Schöpfer in Demut, dass ich diesen Tag freudigen Herzens, gesund und mit noch einigen Plänen für mein weiteres Leben erleben durfte.

*Ihr Elmar Peschke*

Uwe-Frithjof Haustein

## Schlusswort

Meine sehr verehrten Damen und Herren, sehr verehrte Frau Peschke, lieber Herr Peschke,

es ist mir ein herzliches Bedürfnis, Ihnen auch im Namen der Zuhörer für das wunderbare Symposium mit dem integrierenden Thema »Zeit« sehr herzlich zu danken. Das facettenreiche Programm trägt eindeutig Ihre Handschrift. Die Redner haben es hervorragend verstanden, aus ihrem jeweiligen Blickwinkel die »Zeit« zu erleuchten und nicht zuletzt auch in intelligenten humorvollen Bonmots auf Ihre Forschungsleistungen Bezug zu nehmen.

Erlauben Sie mir bitte noch zwei »Zeit«-bezogene Punkte zu erwähnen:

1. Sie wurden am 5. Mai 1945 in den letzten Tagen der Agonie des Zweiten Weltkrieges geboren und hatten das Glück, dass danach eine 70-jährige Friedensperiode folgte, zumindest in großen Teilen Europas, und Sie diese gut nutzen konnten und genutzt haben!

2. Sie befinden sich gegenwärtig an der Schwelle vom jungen zum mittleren Alter und haben sich noch sehr viel vorgenommen. Wie uns heute nochmals deutlich wurde, können Sie auf Ihre bisherige Lebensleistung sehr stolz sein!

So wünsche ich Ihnen am Ende eines überaus erfolgreichen Symposiums ein herzliches

*Vivat* – in glücklicher Gesundheit

*Crescat* – mit neuen Erfolgen und Erfahrungen sowie

*Floreat* – in der Ihnen eigenen Bescheidenheit, Demut und Güte.

Möge es Ihnen gemeinsam mit Ihrer verehrten Frau Gemahlin gelingen, die kommende Zeit vielfältig und interessant zu nutzen und zu genießen, vielleicht sogar auch mit dem heute wieder einmal empfohlenen ach so gesunden Tanzen.

Ad multos annos!

Anhang



## Vita academica

Elmar Peschke



Elmar Peschke wurde am 5. Mai 1945 in Karlsbad (Böhmen) als Sohn des Kirchenhistorikers Prof. Dr. Erhard Peschke und seiner Ehefrau Elfride (geb. Lindner) geboren. Seine Grundschulzeit hat er 1960 in Rostock, seine Oberschulzeit 1964 in Halle a. d. S. in den Franckeschen Stiftungen mit dem Abitur abgeschlossen (Abschluss mit Graecum und großem Latinum). Nach einem obligatorischen praktischen Krankenpflegejahr studierte er von 1965 bis 1971 an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg Humanmedizin und begann 1971 als Wissenschaftlicher Assistent seine Facharztausbildung im Anatomischen Institut der Martin-Luther-Universität bei Prof. Dr. Dr. Dr. h. c. Joachim-Hermann Scharf.

1972 wurde Elmar Peschke mit einer neuroendokrinen Dissertation promoviert: *Zur Bedeutung der Habenularkerne im Regelkreis Adenohypophyse-Schilddrüse nach Verabreichung antithyreoidaler Medikamente im embryologischen Tierversuch. Zugleich ein Beitrag zur Entwicklung des Epithalamus bei der weißen Ratte.*

Seine mit *summa cum laude* abgeschlossene Promotion wurde 1973 mit dem Johannes-Müller-Preis der Deutschen Gesellschaft für experimentelle Medizin und dem Adam-Kuckhoff-Preis der Martin-Luther-Universität in Silber ausgezeichnet.

Nach der Facharztprüfung 1976 habilitierte sich Elmar Peschke 1981 mit einer Epiphysen-Arbeit: *Morphologische, physiologische und statistische Untersuchungen an der männlichen Wistar-Ratte zum Problem eines möglichen funktionellen Connexus: Epiphysis cerebri – Schilddrüse.*

Nach der Habilitation erhielt er die *Facultas docendi* (entspricht der *Venia legendi*), wurde 1982 Oberarzt und Forschungsgruppenleiter einer Rek-

torforschung »Chronoendokrinologie«. 1984/85 folgten ein Auslandsstudium am Department of Anatomy der University Medical School Pécs (Ungarn) bei dem Endokrinologen und Epiphysenforscher Prof. Dr. Béla Mess und 1985 eine Berufung zum ordentlichen Hochschuldozenten für Anatomie an die Medizinische Akademie Magdeburg. 1989 wurde er auf eigenen Wunsch als ordentlicher Hochschuldozent für Anatomie an das Institut für Anatomie der Martin-Luther-Universität rückberufen und zum Abteilungsleiter für »Experimentelle Morphologie« ernannt.

Nach der Wende erfolgten 1992 die Berufung auf eine C3-Professur für Anatomie und 1993 die Einsetzung zum Kommissarischen Direktor des Institutes für Anatomie der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. Seit 1994 war Elmar Peschke Leiter einer eigenständigen Arbeitsgruppe »Chronoendokrinologie« und stellvertretender Institutsdirektor sowie seit 1990 in verschiedenen Gremien auf Landesebene sowie in der Selbstverwaltung der Medizinischen Fakultät der Universität Halle tätig, wie beispielsweise Vorsitzender des Facharzt-Prüfungsausschusses Anatomie bei der Ärztekammer Sachsen-Anhalt, zunächst stellvertretender Vorsitzender und folgend über 10 Jahre Vorsitzender des Promotionsausschusses sowie über 4 Jahre Mitglied des gewählten Fakultätsrates der Medizinischen Fakultät.

1996 wurde Elmar Peschke in Anerkennung seiner wissenschaftlichen Leistungen die große Ehre der Zuwahl in die Sächsische Akademie der Wissenschaften zu Leipzig und 2000 in die Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina, heute Nationale Akademie der Wissenschaften, zuteil. Ebenfalls 2000 wurde er Projektleiter eines Langzeitprojektes der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig »Zeitstrukturen endokriner Systeme«, das, ausgestattet mit nahezu 3 Mio. Euro und 2½ Mitarbeiterstellen, nach 15-jähriger Laufzeit erfolgreich abgeschlossen werden konnte. Ein besonderer Vertrauensbeweis der Sächsischen Akademie war seine Wahl zum Sekretar der Mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse von 2012 bis 2015 sowie die Aufnahme in den Publikationsausschuss und den Ehrenrat der Sächsischen Akademie.

Wissenschaftlich hat sich Elmar Peschke, wie aus dem Publikationsverzeichnis zu ersehen ist, seit 1969 intensiv mit Fragen der Neurobiologie und Endokrinologie, vor allem aber der Chronobiologie auseinandergesetzt, zunächst mit neuroendokrinen Beziehungen zwischen den *diencephal-epithalamischen* Habenularkernen und der Schilddrüse, später über Jahrzehnte mit den Wechselbeziehungen zwischen *Epiphysis cerebri* und Schilddrüse. In den letzten 20 Jahren standen Interaktionen zwischen Melatonin und den Hormonen der Langerhansschen Inseln, Insulin, Glukagon sowie Somatostatin im Vordergrund. Ganz entscheidend war in diesem Zusammenhang die Förderung durch die Sächsische Akademie im Rahmen des Langzeitprojektes. Seit

Beginn des Projektes im Jahre 2000 mit dem Schwerpunkt »Zum Einfluss von Indolaminen auf Sekretionsrhythmik und Signaltransduktionsprozesse der Langerhansschen Insel« wurde Fragen des funktionellen Zusammenhanges zwischen Melatonin und Insulin nachgegangen und festgestellt, dass sich *in vivo* beide Hormone antagonisieren. Diese Feststellung beruht auf der Beobachtung, dass bei Typ1-Diabetes mit erniedrigtem Insulin erhöhte Melatonin-Spiegel, bei Typ2-Diabetes mit erhöhtem Insulin (!) hingegen erniedrigte Melatonin-Spiegel im Plasma auftreten. Ganz offenbar besteht die Hauptaufgabe des phylogenetisch alten (konservierten) Melatonins in der Sicherung der basalen Blutglukoseverfügbarkeit, verbunden mit einem Schutz vor übermäßiger Insulinproduktion durch die pankreatische  $\beta$ -Zelle als Ursache für die Entwicklung eines Typ2-Diabetes. Ergebnisse, erhoben an der pankreatischen  $\alpha$ -Zelle (Glukagon) sowie  $\delta$ -Zelle (Somatostatin), stützen diesen funktionellen Zusammenhang.

Im Ergebnis seiner 40-jährigen akademischen Tätigkeit hat Elmar Peschke nahezu 190 Arbeiten und ebenso viele Kurzpublikationen bzw. *abstracts* zusammen mit seinen Mitarbeitern publiziert. Er hat ca. 120 Vorträge im In- und Ausland gehalten und mehr als 50 Diplomanden und Doktoranden sowie zwei Habilitanden betreut. Von seinen Doktoranden haben 12 ihre Arbeiten mit *summa cum laude* abgeschlossen, von denen drei mit dem Nachwuchsförderpreis der Sächsischen Akademie ausgezeichnet werden konnten. Im Rahmen der Projektarbeit wurden mehr als 50 wissenschaftliche Kolloquien sowie drei Symposien in Leopoldina und Sächsischer Akademie mit Gästen aus dem In- und Ausland veranstaltet. Ferner konnten sechs »Abhandlungsbände« und zwei »Sitzungsberichte« der Sächsischen Akademie herausgegeben werden. Neben verschiedenen Akademievorträgen sind vor allem zwei Plenarvorträge (1997 über das »Dritte Auge« und 2002 über die Epiphyse als »Keuschheitsdrüse«) sowie zwei öffentliche Festvorträge (2009 über die Beziehungen zwischen Melatonin und Insulin sowie 2013 über die Augenentwicklung) hervorzuheben.

Abschließend sei erwähnt, dass das Langzeitprojekt der Sächsischen Akademie »Zeitstrukturen endokriner Systeme« zu seinem 70. Geburtstag am 5. Mai 2015 mit dem Symposium »Die Zeit« sowie dem vorliegenden Festschriftband der *Denkströme* einen anerkennenden Abschluss gefunden hat.

# Publikationsverzeichnis

Elmar Peschke

- PESCHKE, E., H. WETZIG und R. BLUME: Karyometrische, cytologische und konkordanzanalytische Untersuchungen zur Bedeutung des Epithalamus (Nuclei habenulares) im Regelkreis Adenohypophyse-Schilddrüse an weißen Ratten nach Behandlung mit Thyreostatica und Alloxan. *Morph. Jb.* **116**, 63–90 (1971).
- PESCHKE, E.: Zur Entwicklung der Habenularkerne unter antithyreoidaler Medikation bei der Wistarratte. *Z. Versuchstierk.* **13**, 347–354 (1971).
- PESCHKE, E. und H. WETZIG: Zur Bedeutung der Habenularkerne im Regelkreis Adenohypophyse-Schilddrüse nach Verabreichung antithyreoidaler Medikamente im embryologischen Tierversuch. *Morph. Jb.* **117**, 501–530 (1972).
- PESCHKE, E. und D. NEUBER: Cytologisch-histologische Befunde am Schilddrüsenepithel nach antithyreoidaler Medikation im embryologischen Tierversuch. *Morph. Jb.* **119**, 921–943 (1973).
- PESCHKE, E. und D. NEUBER: Karyometrische Befunde am Schilddrüsenepithel nach antithyreoidaler Medikation im embryologischen Tierversuch. *Zool. Jb. Anat.* **91**, 389–407 (1973).
- PESCHKE, E., S. SCHRÖER und H. WETZIG: Experimentell-morphologische Untersuchungen zur Bedeutung der großzelligen Hypothalamuskern (Nucleus paraventricularis und Nucleus supraopticus) im Regelkreis Adenohypophyse-Schilddrüse nach Applikation antithyreoidaler Substanzen im embryologischen Tierversuch. *Zool. Jb. Anat.* **91**, 408–433 (1973).
- PESCHKE, E. und R. LIST: Karyometrische Befunde an der Zona fasciculata der Nebennierenrinde nach antithyreoidaler Medikation im embryologischen Tierversuch. *Morph. Jb.* **120**, 198–210 (1974).
- PESCHKE, E., H. WETZIG, R. BLUME, R. LANGE, K. THURM und H. WURZBACHER: Zur Frage der funktionellen Bedeutung des kleinzelligen Hypothalamus im Regelkreis Adenohypophyse-Schilddrüse nach antithyreoidaler Medikation im embryologischen Tierversuch. *Morph. Jb.* **120**, 745–767 (1974).
- PESCHKE, E., I. STENZEL und J. PEIL: Kernvariationsstatistische Untersuchungen der Rattenschilddrüse nach Epiphysektomie. *Zool. Jb. Anat.* **92**, 579–592 (1974).
- PESCHKE, E.: Morphologische, klinische und statistische Untersuchungen zur Bedeutung der Epiphyse für die Schilddrüse. *Morph. Jb.* **122**, 480–484 (1976).
- PESCHKE, E.: Zur Bedeutung der Epiphysis cerebri für den Schilddrüsenregelkreis. *Verh. Anat. Ges.* **71**, 1089–1095 (1977).
- PESCHKE, E.: Morphologische, physiologische und statistische Untersuchungen an der männlichen Wistar-Ratte zum Problem eines möglichen funktionellen Connexus:

- Epiphysis cerebri – Schilddrüse. Teil I: Einführung, Literaturübersicht, Methodik. Zool. Jb. Anat. **104**, 398–424 (1980).
- PESCHKE, E.: Morphologische, physiologische und statistische Untersuchungen an der männlichen Wistar-Ratte zum Problem eines möglichen funktionellen Connexus: Epiphysis cerebri – Schilddrüse. Teil II: Ergebnisse der Stoffwechseluntersuchungen. Zool. Jb. Anat. **104**, 466–491 (1980).
- PESCHKE, E.: Morphologische, physiologische und statistische Untersuchungen an der männlichen Wistar-Ratte zum Problem eines möglichen funktionellen Connexus: Epiphysis cerebri – Schilddrüse. Teil III: Schilddrüse und Adenohypophyse. Zool. Jb. Anat. **105**, 77–91 (1981).
- PESCHKE, E.: Morphologische, physiologische und statistische Untersuchungen an der männlichen Wistar-Ratte zum Problem eines möglichen funktionellen Connexus: Epiphysis cerebri – Schilddrüse. Teil IV: Neurosekretorischer Hypothalamus und Epiphyse. Zool. Jb. Anat. **105**, 147–176 (1981).
- PESCHKE, E.: Morphologische, physiologische und statistische Untersuchungen an der männlichen Wistar-Ratte zum Problem eines möglichen funktionellen Connexus: Epiphysis cerebri – Schilddrüse. Teil V: Zusammenfassung der Befunde und Diskussion. Zool. Jb. Anat. **105**, 297–319 (1981).
- PESCHKE, E.: Morphologische, physiologische und statistische Untersuchungen an der männlichen Wistar-Ratte zum Problem eines möglichen funktionellen Connexus: Epiphysis cerebri – Schilddrüse. Teil VI: Ergebnisse der Untersuchungen und Literatur. Zool. Jb. Anat. **105**, 320–340 (1981).
- PESCHKE, E. und W. RZIHA: Histologisch-cytologische und morphometrische Untersuchungen an der Epiphysis cerebri männlicher Wistar-Ratten nach Bleiintoxikation und experimenteller Hypothyreose. Morph. Jb. **127**, 832–848 (1981).
- PESCHKE, E. und C. BEHRENS: Morphologische Untersuchungen an der Rattenschilddrüse nach Bleiintoxikation und experimenteller Hypothyreose. Z. mikrosk.-anat. Forsch. **95**, 771–784 (1981).
- PESCHKE, E., H.-U. KAISER, F. SCHRANK und J. SCHUMANN: Morphologische Untersuchungen an den Nebennierenrindenzonen von Wistar-Ratten nach Bleiintoxikation und experimenteller Hypothyreose. Morph. Jb. **127**, 869–900 (1981).
- PESCHKE, E.: Morphologische, physiologische und statistische Untersuchungen an der männlichen Wistar-Ratte zum Problem eines möglichen funktionellen Connexus: Epiphysis cerebri – Schilddrüse. Wiss. Z. Univ. Halle **XXXI**, 71–73 (1982).
- PESCHKE, E.: Morphologische, physiologische und statistische Untersuchungen an der männlichen Wistar-Ratte zum Problem eines möglichen funktionellen Connexus: Epiphysis cerebri – Schilddrüse. Dt. Gesundh.-Wesen **37**, 719–720 (1982).
- PESCHKE, E.: Über eine Varietät der Arteria mesenterica inferior – kurze Mitteilung. Morph. Jb. **128**, 912–917 (1982).
- PESCHKE, E., J. SCHUMANN und F. SCHRANK: Zur Frage funktioneller Beziehungen zwischen Nebennierenrinden, Schilddrüsen und Epiphysis cerebri. Teil I. Nebennierenrindenreaktionen nach Eingriffen am Schilddrüsenregelkreis. Morph. Jb. **129**, 599–624 (1983).
- PESCHKE, E., J. SCHUMANN und F. SCHRANK: Zur Frage funktioneller Beziehungen zwischen Nebennierenrinden, Schilddrüsen und Epiphysis cerebri. Teil II: Neben-

- nierenrindenreaktionen nach Epiphysektomie sowie Melatoninapplikation. *Morph. Jb.* **129**, 661–698 (1983).
- PEIL, J. und E. PESCHKE: Methodische Aspekte der Aufbereitung von Meßwerten tierexperimenteller Stoffwechseluntersuchungen. *Morph. Jb.* **130**, 531–555 (1984).
- PESCHKE, E. und D. PESCHKE: Versuchs-, registrier- und operationstechnische Möglichkeiten zur Lösung chronobiologischer Fragestellungen im Tierversuch. *Morph. Jb.* **131**, 19–29 (1985).
- RUZSAS, C., F. FRASCHINI, E. PESCHKE, D. ESPOSTI, and G. ESPOSTI: Brain neurotransmitters mediating neuroendocrine activity of melatonin. *Adv. Pineal Res.* **1**, 159–166 (1986).
- PESCHKE, E., D. PESCHKE, J. PEIL, C. RUZSAS und B. MESS: Schilddrüsenreaktionen der Wistar-Ratte im Tagesgang nach Gangliektomie unter Normaltemperatur und Kälteexposition unter Berücksichtigung des Einflusses der Epiphysis cerebri. *Acta histochem.* **80**, 63–85 (1986).
- PESCHKE, D., E. PESCHKE, J. PEIL und B. MESS: Zum Einfluß von Gangliektomie (Ganglia cervicalia superiora) bei Normaltemperatur und Kälteexposition auf Leberglykogen- und Blutglukose-Tagesmuster der Wistar-Ratte unter Berücksichtigung der Epiphysis cerebri. *Acta histochem.* **80**, 159–174 (1986).
- PESCHKE, E., D. PESCHKE, J. PEIL, C. RUZSAS und B. MESS: Zum Einfluß der Epiphysis cerebri auf den Schilddrüsen-Regelkreis – Chronobiologische Untersuchungen an ausgewählten Parametern. *Wiss. Z. Univ. Halle, Tagungsband »III DDR-UdSSR-Symposium über Chronobiologie und Chronomedizin«, Halle 1987/36 (P 30)*, 341–346 (1987).
- PESCHKE, D., E. PESCHKE und J. PEIL: Zur Bedeutung der Epiphysis cerebri für den Kohlenhydratstoffwechsel – Chronobiologische Untersuchungen an Leberglykogen und Blutglukose der Wistar-Ratte. *Wiss. Z. Univ. Halle, Tagungsband »III DDR-UdSSR-Symposium über Chronobiologie und Chronomedizin«, Halle 1987/36 (P 30)*, 335–340 (1987).
- PESCHKE, D., E. PESCHKE, and B. MESS: Circannual rhythm and increase of body weight and food intake in the young Wistar-rat following pinealectomy and ganglionectomy. *Neuroendocrinol. Lett.* **9**, 321–327 (1987).
- PESCHKE, E., D. PESCHKE, J. PEIL, C. RUZSAS, and B. MESS: Changes in the daily rhythm of serum testosterone levels following superior cervical sympathetic ganglionectomy in the cold-exposed rat: the role of the pineal. *J. Pineal Res.* **5**, 179–189 (1988).
- PESCHKE, E., D. PESCHKE, J. PEIL, and B. MESS: Circannual oscillations of thyroxine and cholesterol levels after pinealectomy and ganglionectomy related to the weight changes of the pineal, pituitary and thyroid glands. *J. Pineal Res.* **5**, 191–202 (1988).
- SCHAPER, D., E. PESCHKE, D. PESCHKE und J. PEIL: Morphometrische Untersuchungen an der Rattenschilddrüse nach Gangliektomie unter Normaltemperatur und Kälteexposition. *Z. mikrosk.-anat. Forsch.* **102**, 289–298 (1988).
- TOMALIK, T., D. PESCHKE und E. PESCHKE: Morphometrische Untersuchungen am Nucleus habenulae lateralis der Wistar-Ratte nach bilateraler Exstirpation der Ganglia cervicalia superiora und Kälteexposition unter besonderer Berücksichtigung der Epiphysis cerebri. *Morph. Jb.* **134**, 131–141 (1988).

- PESCHKE, E., D. PESCHKE, C. RUZSAS, and H. HELWIN: Creatine kinase in hypo- and hyperthyroid rats under consideration of the circadian oscillations. *Exp. Clin. Endocrinol.* **92**, 91–96 (1988).
- FÖRSTER, T., E. PESCHKE und D. PESCHKE: Morphometrische und histologische Untersuchungen zur Bedeutung des Nucleus paraventricularis für die Schilddrüsenachse nach Gangliektomie und Kälteexposition unter besonderer Berücksichtigung der Epiphysis cerebri. *Anat. Anz.* **169**, 203–211 (1989).
- PESCHKE, D., E. PESCHKE, J. PEIL, and B. MESS: Circannual serum creatine kinase patterns after ganglionectomy and pinealectomy of the Wistar rat. *J. Pineal Res.* **6**, 375–383 (1989).
- PESCHKE, E., D. PESCHKE, C. RUZSAS, and Z. REKASI: Lesion of the suprachiasmatic nuclei prevents the cold-induced increase of thyrotrophin secretion. *Neuroendocrinol. Lett.* **11**, 25–32 (1989).
- PEIL, J., S. SCHMERLING, D. PESCHKE, E. PESCHKE und H. HELWIN: Periodische lokale Approximation zur modellfreien Beschreibung von Meßwertverläufen bio-rhythmischer Vorgänge – Demonstrationsbeispiel für die Wahl des Glättungsparameterwertes. *Morph. Jb.* **135**, 261–269 (1989).
- PESCHKE, D., E. PESCHKE und J. PEIL: Circannuale Untersuchungen zur Tiergewichtszunahme und erhöhten Futteraufnahme bei der Wistar-Ratte nach Exstirpation und sympathischer Denervation der Epiphysis cerebri unter Berücksichtigung von Leberglykogen- und Blutglukose-Jahresmustern. *Verh. Anat. Ges.* **82** (Suppl. 164), 521–522 (1989).
- PESCHKE, E., D. PESCHKE, J. PEIL, C. RUZSAS und B. MESS: Circadiane und circannuale Untersuchungen an Parametern der Schilddrüsen- und Gonadenachse nach Exstirpation und sympathischer Denervation der Epiphysis cerebri. *Verh. Anat. Ges.* **82** (Suppl. 164), 519–520 (1989).
- PESCHKE, E., M. SCHÖN, S. TERTSCH, D. PESCHKE, and J. PEIL: Morphometric investigations of the pineal gland after ganglionectomy and thyroidectomy under the aspect of circadian and seasonal variations. *J. Hirnforsch.* **30**, 399–407 (1989).
- SCHÖN, M., E. PESCHKE, and D. BAUER: On digital image processing of redrawn image patterns from a microscope with projection equipment. *J. Hirnforsch.* **30**, 495–498 (1989).
- PESCHKE, D. und E. PESCHKE: Zur endokrinen und chronobiologischen Bedeutung der Epiphysis cerebri. Eine Übersicht. *Wiss. Z. Univ. Halle*, **XXXVIII** 89 M, H. 6, 125–130 (1989).
- HERRMANN, F., E. PESCHKE, J. PEIL, K. HAMBSCH, D. SORGER, A. HERZMANN, and H.-J. SCHMIDT: Circannual oscillations of function compared with morphometric changes in the thyroid gland of the Wistar-rat. *Exp. Clin. Endocrinol.* **96**, 157–167 (1990).
- PESCHKE, D., E. PESCHKE, J. TEICHMANN und J. PEIL: Zum Einfluß von Gangliektomie und Kälteexposition auf den Nucleus ventromedialis hypothalami sowie Blutglukose und Leberglykogen unter Berücksichtigung circadianer Rhythmen. *Anat. Anz.* **170**, 237–255 (1990).
- PESCHKE, D., E. PESCHKE, J. TEICHMANN und J. PEIL: Circadiane Untersuchungen am Nucleus ventromedialis hypothalami (VMH) unter Berücksichtigung seiner

- Bedeutung für die Blutglukose- und Leberglykogen-Regulation. *Wiss. Z. Univ. Halle XXXX'91 M, H. 4*, 115 (1991).
- PESCHKE, E., D. PESCHKE, J. PEIL und B. MESS: Radioimmunologische Untersuchungen zur Bedeutung des Nucleus suprachiasmaticus für die circadiane Steuerung der TSH-Regulation. *Wiss. Z. Univ. Halle XXXX'91 M, H. 4*, 117 (1991).
- PESCHKE, E.: Dankansprache anlässlich der erstmaligen Verleihung des August Hermann Franke-Preises an Prof. Dr. Dr. Erhard Peschke am 19. III. 1994 in den Franckeschen Stiftungen zu Halle. *Schriften der Franckeschen Stiftungen* **4**, 20–23 (1994).
- PESCHKE, E., D. PESCHKE, and C. HUHNS: Circannual morphometric investigations of the rat suprachiasmatic nucleus after pinealectomy, ganglionectomy and thyroidectomy. *Brain Res.* **740**, 81–88 (1996).
- PESCHKE, E., R. SPESSERT, I. SPIWOKS-BECKER, P. DORNER, and L. VOLLRATH: Morphometry of pineal synaptic ribbon profile numbers after cytochalasin D treatment. *Acta anat.* **156**, 94–98 (1996).
- PESCHKE, E.: Joachim-Hermann Scharf on the occasion of his 75<sup>th</sup> birthday. *Acta histochem.* **98**, 357–358 (1996).
- PESCHKE, E.: Joachim-Hermann Scharf zum 75. Geburtstag. *Ann. Anat.* **178**, 389–390 (1996).
- PESCHKE, E.: Laudatio für Herrn Professor em. Dr. Dr. Dr. h. c. Joachim-Hermann Scharf anlässlich seines 75. Geburtstages am 7. Nov. 1996. *Jb. 1996 der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina Halle/Saale, Leopoldina (R 3)* **42**, 149–161 (1997).
- PESCHKE, E., D. PESCHKE, T. HAMMER, and V. CSERNUS: Influence of melatonin and serotonin on glucose-stimulated insulin release from perfused rat pancreatic islets *in vitro*. *J. Pineal Res.* **23**, 156–163 (1997).
- PESCHKE, E., D. PESCHKE, and A. BECKMANN: Circadian rhythm of insulin secretion in isolated rat pancreatic islets *in vitro*. *Biol. Rhythm Res.* **28** (Suppl.), 127–128 (1997).
- PESCHKE, E., and D. PESCHKE: Evidence for a circadian rhythm of insulin release from perfused rat pancreatic islets. *Diabetologia* **41**, 1085–1092 (1998).
- CSERNUS, V., T. HAMMER, D. PESCHKE, and E. PESCHKE: Dynamic insulin secretion from perfused rat pancreatic islets. *Cell. Mol. Life Sci. (CMLS)* **54**, 733–743 (1998).
- BRÖMME, H. J., H. EBELT, D. PESCHKE, and E. PESCHKE: Alloxan acts as a prooxidant only under reducing conditions: influence of melatonin. *Cell. Mol. Life Sci. (CMLS)* **55**, 487–493 (1999).
- PESCHKE, E.: Zur funktionellen Integration des »dritten Auges« in rhythmische Prozesse der Säugetiere. *Jb. Sächs. Akad. Wiss.* **1997/98**, 207–210 (1999).
- RICHTER, K., E. PESCHKE, and D. PESCHKE: Effect of melatonin on the release of prothoracicotropic hormone from the brain of *Periplaneta americana* (Blattodea: Blattidae). *Eur. J. Entomol.* **96**, 341–345 (1999).
- RICHTER, K., E. PESCHKE, and D. PESCHKE: A neuroendocrine releasing effect of melatonin in the brain of an insect, *Periplaneta americana* (L.). *J. Pineal Res.* **28**, 129–135 (2000).
- PESCHKE, E., J.-D. FAUTECK, U. MUSSHOF, F. SCHMIDT, A. BECKMANN, and D. PESCHKE: Evidence for a melatonin receptor within pancreatic islets of rats: functional, autoradiographic and molecular investigations. *J. Pineal Res.* **28**, 156–164 (2000).

- EBELT, H., D. PESCHKE, H. J. BRÖMME, W. MÖRKE, and E. PESCHKE: Influence of melatonin on free radical induced changes in rat pancreatic beta-cells *in vitro*. *J. Pineal Res.* **28**, 65–72 (2000).
- PESCHKE, D., J. TEICHMANN, and E. PESCHKE: Pineal influence on annual nuclear volume changes in ventromedial hypothalamic nucleus (VMH) neurons of the male Wistar-rat. *Chronobiol. Int.* **17**, 15–28 (2000).
- PESCHKE, E., H. EBELT, H. J. BRÖMME, and D. PESCHKE: »Classical« and »new« diabetogens – comparison of their effects on isolated rat pancreatic islets *in vitro*. *Cell. Mol. Life Sci. (CMLS)* **57**, 158–164 (2000).
- PESCHKE, E. (Hrsg.): Festkolloquium zu Ehren von Herrn Prof. em. Dr. Dr. Dr. h. c. Joachim-Hermann Scharf anlässlich der feierlichen Überreichung des Großen Verdienstkreuzes des Verdienstordens der Bundesrepublik Deutschland durch den Ministerpräsidenten des Landes Sachsen-Anhalt, Herrn Dr. Reinhard Höppner. Halle (Saale), Martin-Luther-Universität, Halle-Wittenberg, 86 S., 24 Abb., Juni 2000; ISBN 3-86010-593-0.
- BRÖMME, H. J., W. MÖRKE, E. PESCHKE, H. EBELT, and D. PESCHKE: Scavenging effect of melatonin on hydroxyl radicals generated by alloxan. *J. Pineal Res.* **29**, 201–208 (2000).
- PESCHKE, E.: Das »dritte Auge« – Mythos oder Realität? Vorträge aus dem Studium universale 1997/1999. Leipziger Universitätsreden, Neue Folge **88**, 77–86 (2001); ISBN 3-934178-10-03.
- BRÖMME, H. J., R. WEINANDY, D. PESCHKE, and E. PESCHKE: Simultaneous quantitative determination of alloxan, GSH and GSSG by HPLC. Estimation of the frequency of redox cycling between alloxan and dialuric acid. *Horm. Metab. Res.* **33**, 106–109 (2001).
- WIPPICH, N., D. PESCHKE, E. PESCHKE, J. HOLTZ, and H. J. BRÖMME: Comparison between xanthine oxidases from buttermilk and microorganisms regarding their ability to generate reactive oxygen species. *Int. J. Mol. Med.* **7**, 211–216 (2001).
- PESCHKE, E.: Vorhaben Zeitstrukturen endokriner Systeme. *Jb. Sächs. Akad. Wiss.* **1999/2000**, 207–217 (2001).
- PESCHKE, E.: Joachim-Hermann Scharf zum 80. Geburtstag am 7. November 2001. *Ann. Anat.* **183**, 497–499 (2001).
- PESCHKE, E.: Joachim-Hermann Scharf, founder and editor emeritus of *acta histochemica*, on the occasion of his 80<sup>th</sup> birthday. *Acta histochem.* **103**, 349–353 (2001).
- BRÖMME, H. J., W. MÖRKE, R. WEINANDY, D. PESCHKE, and E. PESCHKE: Formation of compound 305 requires the simultaneous generation of both alloxan and GSH radicals. *Horm. Metab. Res.* **34**, 62–66 (2002).
- PESCHKE, E., E. MÜHLBAUER, U. MÜBHOFF, V. J. CSERNUS, E. CHANKIEWITZ, and D. PESCHKE: Receptor (MT<sub>1</sub>) mediated influence of melatonin on cAMP concentration and insulin secretion of rat insulinoma cells INS-1. *J. Pineal Res.* **33**, 63–71 (2002).
- BRÖMME, H. J., W. MÖRKE, and E. PESCHKE: Transformation of barbituric acid into alloxan by hydroxyl radicals. Interaction with melatonin and with other hydroxyl radical scavengers. *J. Pineal Res.* **33**, 239–247 (2002).
- PESCHKE, E.: Vorhaben Zeitstrukturen endokriner Systeme. *Jb. Sächs. Akad. Wiss.* **2001/2002**, 278–298 (2003).

- PESCHKE, E.: Was hat die Keuschheitsdrüse mit der Insulinsekretion zu tun? Jb. Sächs. Akad. Wiss. **2001/2002**, 366–368 (2003).
- PESCHKE, E. (Hrsg.): Endokrinologie, Vorträge im Rahmen des Projekts »Zeitstrukturen endokriner Systeme«. Abh. Sächs. Akad. Wiss., Math.-nat. Kl., Band **60/1**, S. Hirzel, Stuttgart/Leipzig **2003**, 167 Seiten, 73 Abbildungen; ISBN 3-7776-1267-7.
- PESCHKE, E.: Zum Einfluss von Melatonin auf Insulinsekretion, Signaltransduktion und Sekretionsrhythmik pankreatischer B-Zellen *in vitro*. In: PESCHKE, E. (Hrsg.): Endokrinologie, Vorträge im Rahmen des Projekts »Zeitstrukturen endokriner Systeme«. Abh. Sächs. Akad. Wiss., Math.-nat. Kl., Band **60/1**, S. Hirzel, Stuttgart/Leipzig **2003**, S. 89–119.
- BRÖMME, H. J. und E. PESCHKE: Molekulare Mechanismen der Alloxan-Toxizität sowie der radikalfangenden und antidiabetogenen Bedeutung von Melatonin. In: PESCHKE, E. (Hrsg.): Endokrinologie, Vorträge im Rahmen des Projekts »Zeitstrukturen endokriner Systeme«. Abh. Sächs. Akad. Wiss., Math.-nat. Kl., Band **60/1**, S. Hirzel, Stuttgart/Leipzig **2003**, S. 137–162.
- MÜHLBAUER, E., S. WOLGAST, U. FINCKH, D. PESCHKE, and E. PESCHKE: Indication of circadian oscillations in the rat pancreas. FEBS Lett. **564**, 91–96 (2004).
- PESCHKE, E.: Über den phylogenetischen Funktionswandel des Pinealorgans und seine Bedeutung für die Insulinsekretion bei Mammalia. Sitzungsber. Sächs. Akad. Wiss., Math.-nat. Kl., Band **129/3**, S. Hirzel, Stuttgart/Leipzig **2004**. 34 Seiten, 22 Abbildungen; ISBN 3-7776-1306-1.
- PESCHKE, E. und E. MÜHLBAUER: Vorhaben Zeitstrukturen endokriner Systeme. Jb. Sächs. Akad. Wiss. **2003/2004**, 472–480 (2005).
- PESCHKE, E. (Hrsg.): Endokrinologie II, Vorträge im Rahmen des Projekts »Zeitstrukturen endokriner Systeme«. Abh. Sächs. Akad. Wiss., Math.-nat. Kl., Band **63/2**, S. Hirzel, Stuttgart/Leipzig **2005**, 126 Seiten, 38 Abbildungen, 5 Tabellen; ISBN 3-7776-1368-1.
- MÜHLBAUER, E. und E. PESCHKE: Uhrengene und ihre Bedeutung für die pankreatische Insel. In: PESCHKE, E. (Hrsg.): Endokrinologie II, Vorträge im Rahmen des Projekts »Zeitstrukturen endokriner Systeme«. Abh. Sächs. Akad. Wiss., Math.-nat. Kl., Band **63/2**, S. Hirzel, Stuttgart/Leipzig **2005**, S. 33–45.
- HAMMER, Th., S. GIEßLER, G. I. W. DUNCKER und E. PESCHKE: Korneale Wundheilungsreaktionen nach hyperoper PRK und LASIK. Ophthalmologie **102**, 39–45 (2005).
- BRÖMME H. J., R. WEINANDY, and E. PESCHKE: Influence of oxygen concentration on redox cycling of alloxan and dialuric acid. Horm. Metab. Res. **37**, 729–733 (2005).
- BACH, A. G., S. WOLGAST, E. MÜHLBAUER, and E. PESCHKE: Melatonin stimulates inositol-1,4,5-trisphosphate and Ca<sup>2+</sup> release from INS1 insulinoma cells. J. Pineal Res. **39**, 316–323 (2005).
- PESCHKE, E., T. FRESE, E. CHANKIEWITZ, D. PESCHKE, U. PREISS, U. SCHNEYER, R. SPESSERT, and E. MÜHLBAUER: Diabetic Goto Kakizaki rats as well as type 2-diabetic patients show a decreased diurnal serum melatonin level and an increased pancreatic melatonin receptor status. J. Pineal Res. **40**, 135–143 (2006).
- PESCHKE, E., A. G. BACH, and E. MÜHLBAUER: Parallel signaling pathways of melatonin in the pancreatic  $\beta$ -cell. J. Pineal Res. **40**, 184–191 (2006).
- CHANKIEWITZ, E., D. PESCHKE, L. HERBERG, I. BAZWINSKY, E. MÜHLBAUER, H. J. BRÖMME, and E. PESCHKE: Did the gradual loss of GLUT2 cause a shift to

- diabetic disorders in the New Zealand obese mouse (NZO/HI)? *Exp. Clin. Endocrinol. Diabetes* **114**, 262–269 (2006).
- PESCHKE, E.: Neue Aspekte der Bedeutung von Melatonin für die Insulinsekretion. Jahrbuch 2005 der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina (Halle/Saale), LEOPOLDINA (R. 3) **51**, 345–354 (2006).
- PESCHKE, E.: Laudatio für Herrn Prof. Dr. Dr. h. c. Joachim-Hermann Scharf anlässlich der Auszeichnung mit der Ehrenmitgliedschaft der Leopoldina. Jahrbuch 2005 der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina (Halle/Saale), LEOPOLDINA (R. 3) **51**, 131–134 (2006).
- MÜHLBAUER, E., I. BAZWINSKY, S. WOLGAST, A. KLEMENZ, and E. PESCHKE: Circadian changes of ether-a-go-go-related-gene (Erg) potassium channel transcripts in the rat pancreas and beta-cell. *Cell. Mol. Life Sci (CMLS)* **64**, 768–780 (2007).
- MÜHLBAUER, E. and E. PESCHKE: Evidence for the expression of both the MT1- and in addition, the MT2-melatonin receptor, in the rat pancreas, islet and  $\beta$ -cell. *J. Pineal Res.* **42**, 105–106 (2007).
- PESCHKE, E., I. STUMPF, I. BAZWINSKY, L. LITVAK, H. DRALLE, and E. MÜHLBAUER: Melatonin and type 2 diabetes – a possible link? *J. Pineal Res.* **42**, 350–358 (2007).
- FRESE, T., I. BAZWINSKY, E. MÜHLBAUER, and E. PESCHKE: Circadian- and age-dependent expression patterns of parameters involved in glucose sensing of the pancreatic  $\beta$ -cell in diabetic and non diabetic rats. *Horm. Metab. Res.* **38**, 567–574 (2007).
- PESCHKE, E. und E. MÜHLBAUER: Vorhaben Zeitstrukturen endokriner Systeme. *Jb. Sächs. Akad. Wiss.* **2005/2006**, 328–331 (2007).
- PESCHKE, E. (Hrsg.): Endokrinologie III, Vorträge im Rahmen des Projekts »Zeitstrukturen endokriner Systeme«. *Abh. Sächs. Akad. Wiss., Math.-nat. Kl.*, Band **64/4**, S. Hirzel, Stuttgart/Leipzig **2007**. 180 Seiten, 47 Abbildungen, 9 Tabellen; ISBN 978-3-7776-1559-2.
- MÜHLBAUER, E. und E. PESCHKE: ERG-Kalium-Kanäle in ihrer Rolle als Vermittler circadianer Prozesse der pankreatischen  $\beta$ -Zelle. In: PESCHKE, E. (Hrsg.): Endokrinologie III, Vorträge im Rahmen des Projekts »Zeitstrukturen endokriner Systeme«. *Abh. Sächs. Akad. Wiss., Math.-nat. Kl.*, Band **64/4**, S. Hirzel, Stuttgart/Leipzig **2007**, S. 92–102.
- PESCHKE, E. und E. MÜHLBAUER: Funktionelle Beziehungen zwischen Melatonin und Insulin – Untersuchungsergebnisse an stoffwechselfgesunden und diabetischen Versuchstieren und Patienten. In: PESCHKE, E. (Hrsg.): Endokrinologie III, Vorträge im Rahmen des Projekts »Zeitstrukturen endokriner Systeme«. *Abh. Sächs. Akad. Wiss., Math.-nat. Kl.*, Band **64/4**, S. Hirzel, Stuttgart/Leipzig **2007**, S. 103–118.
- PESCHKE, E.: Melatonin, endocrine pancreas and diabetes. Mini review. *J. Pineal Res.* **44**, 26–40 (2008).
- BRÖMME, H. J., E. PESCHKE, and G. ISRAEL: Photo-degradation of melatonin. Influence of argon, hydrogen peroxide, and ethanol. *J. Pineal Res.* **44**, 366–372 (2008).
- STUMPF, I., E. MÜHLBAUER, and E. PESCHKE: Involvement of the cGMP signaling cascade in mediating the insulin-inhibiting effect of melatonin in pancreatic  $\beta$ -cells. *J. Pineal Res.* **45**, 318–327 (2008).

- PESCHKE, E., S. WOLGAST, I. BAZWINSKY, K. PÖNICKE, and E. MÜHLBAUER: Increased melatonin synthesis in pineal glands of rats in streptozotocin induced type 1 diabetes. *J. Pineal Res.* **45**, 439–448 (2008).
- PESCHKE, E.: Doctor medicinae honoris causa of the Medical Faculty of the Martin Luther University of Halle-Wittenberg for the anatomist and researcher of the pineal gland Professor Dr. Lutz Vollrath from Mainz. *Ann. Anat.* **190**, 199–207 (2008).
- PESCHKE, E. und G. MORITZ (Hrsg.): Cricetinae, Internationales Ehrensymposium im Gedenken an Rolf Gattermann. *Abh. Sächs. Akad. Wiss., Math.-nat. Kl.*, Band **64/5**, S. Hirzel, Stuttgart/Leipzig **2008**, 102 Seiten, 68 Abbildungen, 5 Tabellen; ISBN 978-3-7776-1620-9.
- PESCHKE, E.: Laudatio. In: PESCHKE, E. und G. MORITZ (Hrsg.): Cricetinae, Internationales Ehrensymposium im Gedenken an Rolf Gattermann. *Abh. Sächs. Akad. Wiss., Math.-nat. Kl.*, Band **64/5**, S. Hirzel, Stuttgart/Leipzig **2008**, S. 11–18.
- BARTSCH, C., H. BARTSCH, and E. PESCHKE: Light, melatonin and cancer: current results and future perspectives. *Biol. Rhythm Res.* **40**, 17–35 (2009).
- PESCHKE, E. (Hrsg.): Festschrift anlässlich der Verleihung der Ehrendoktorwürde an Herrn Professor Dr. Lutz Vollrath. Salzland Druck GmbH & Co KG, Staßfurt **2009**, 96 Seiten, 27 Abbildungen; ISBN 978-3-86829-133-9.
- PESCHKE, E.: Laudatio. In: PESCHKE, E. (Hrsg.): Festschrift anlässlich der Verleihung der Ehrendoktorwürde an Herrn Professor Dr. Lutz Vollrath. Salzland Druck GmbH & Co KG, Staßfurt **2009**, S. 27–37.
- STUMPF, I., I. BAZWINSKY, and E. PESCHKE: Modulation of the cGMP signaling pathway by melatonin in pancreatic  $\beta$ -cell. *J. Pineal Res.* **46**, 140–147 (2009).
- BAZWINSKY-WUTSCHKE, I., E. MÜHLBAUER, S. WOLGAST, and E. PESCHKE: Transcripts of calcium/calmodulin-dependent kinases are changed after forskolin- or IBMX-induced insulin secretion due to melatonin treatment of rat insulinoma  $\beta$ -cells (INS-1). *Horm. Metab. Res.* **41**, 805–813 (2009).
- PESCHKE, E. (Hrsg.): Endokrinologie IV, Vorträge im Rahmen des Projekts »Zeitstrukturen endokriner Systeme«. *Abh. Sächs. Akad. Wiss., Math.-nat. Kl.*, Band **65/3**, S. Hirzel, Stuttgart/Leipzig **2009**, 120 Seiten, 44 Abbildungen, 7 Tabellen; ISBN 978-3-7776-1794-7.
- PESCHKE, E., I. STUMPF und E. MÜHLBAUER: Rezeptor vermittelte Einflüsse von Melatonin auf die second messenger cAMP, cGMP und IP3 pankreatischer  $\beta$ -Zellen sowie Insulin-Melatonin-Interaktionen. In: PESCHKE, E. (Hrsg.): Endokrinologie IV, Vorträge im Rahmen des Projekts »Zeitstrukturen endokriner Systeme«. *Abh. Sächs. Akad. Wiss., Math.-nat. Kl.*, Band **65/3**, S. Hirzel, Stuttgart/Leipzig **2009**, S. 45–62.
- MÜHLBAUER, E., E. GROSS, K. LABUCAY, S. WOLGAST, and E. PESCHKE: Loss of melatonin signaling and its impact on circadian rhythms in mouse organs regulating blood glucose. *Eur. J. Pharmacol.* **606**, 61–71 (2009).
- FRESE, T., A. G. BACH, E. MÜHLBAUER, K. PÖNICKE, H. J. BRÖMME, A. WELP, and E. PESCHKE: Pineal melatonin synthesis is decreased in type 2 diabetic Goto-Kakizaki rats. *Life Sci.* **85**, 526–533 (2009).
- PESCHKE, E. und E. MÜHLBAUER: Vorhaben Zeitstrukturen endokriner Systeme. *Jb. Sächs. Akad. Wiss.* **2007/2008**, 350–353 (2009).
- MÜHLBAUER, E. and E. PESCHKE: Pancreatic melatonin receptors: on the importance of a circadian hormone. *Treatment Strategies, EASD* **2009** Review, 40–44 (2009).

- BACH, A. G., E. MÜHLBAUER, and E. PESCHKE: Adrenoceptor expression and diurnal rhythms of melatonin and its precursors in the pineal gland of type 2 diabetic Goto-Kakizaki rats. *Endocrinology* **151**, 2483–2493 (2010).
- BAZWINSKY-WUTSCHKE, I., S. WOLGAST, E. MÜHLBAUER, and E. PESCHKE: Distribution patterns of calcium-binding proteins in pancreatic tissue of non-diabetic as well as type 2 diabetic rats and in rat insulinoma  $\beta$ -cells (INS-1). *Histochem. Cell Biol.* **134**, 115–127 (2010).
- REUSS, S., U. DISQUE-KAISER, U. BINZEN, W. GREFFRATH, and E. PESCHKE: »TRPing« synaptic ribbon function in the rat pineal gland: Neuroendocrine regulation involves the capsaicin receptor TRPV1. *Neuroendocrinology* **92**, 133–142 (2010).
- WELP, A., B. MANZ, and E. PESCHKE: Development and validation of a high throughput direct radioimmunoassay (RIA) for the quantitative determination of serum and plasma melatonin (N-acetyl-5-methoxytryptamin) in mice. *J. Immunol. Meth.* **358**, 1–8 (2010).
- ALFIERI, A., Ch. STRAUSS, J. PRELL, and E. PESCHKE: History of the nervus intermedius of Wrisberg. *Ann. Anat.* **192**, 139–144 (2010).
- PESCHKE, E. and E. MÜHLBAUER: New evidence for a role of melatonin in glucose regulation. *Best Practice Res. Clin. Endocrinol. Metabol.* **24**, 829–841 (2010).
- PESCHKE, E., H. SCHUCHT, and E. MÜHLBAUER: Long-term enteral administration of melatonin reduces plasma insulin and increases expression of pineal insulin receptors in both Wistar and type 2-diabetic Goto-Kakizaki rats. *J. Pineal Res.*, **49**, 373–381 (2010).
- BÄHR, I., E. MÜHLBAUER, H. SCHUCHT, and E. PESCHKE: Melatonin stimulates glucagon secretion *in vitro* and *in vivo*. *J. Pineal Res.* **50**, 336–344 (2011).
- PESCHKE, E.: Symposium Chronobiologie am 19. März 2010 in Halle (Saale). *Jahrbuch 2010. Leopoldina (R. 3)* **56**, 337–342 (2011).
- BAZWINSKY-WUTSCHKE, I., F. PAULSEN, D. STÖVESANDT, H.-J. HOLZHAUSEN, H.-J. HEINE, and E. PESCHKE: Anatomical changes after pneumonectomy. *Ann. Anat.* **193**, 168–172 (2011).
- PESCHKE, E., K. HOFMANN, I. BÄHR, S. STRECK, E. ALBRECHT, D. WEDEKIND, and E. MÜHLBAUER: The insulin-melatonin antagonism: studies in the LEW.1AR1-iddm rat (an animal model of human type 1 diabetes mellitus). *Diabetologia* **54**, 1831–1840 (2011).
- MÜHLBAUER, E., E. ALBRECHT, K. HOFMANN, I. BAZWINSKY-WUTSCHKE, and E. PESCHKE: Melatonin inhibits insulin secretion in rat insulinoma  $\beta$ -cells (INS-1) heterologously expressing the human melatonin receptor isoform MT2. *J. Pineal Res.* **51**, 361–372 (2011).
- PESCHKE, E.: Vorhaben Zeitstrukturen endokriner Systeme. *Jb. Sächs. Akad. Wiss.* **2009/2010**, 318–322 (2011).
- PESCHKE, E. (Hrsg.): *Chronobiologie*. Nova Acta Leopoldina, NF, Band **114**, Nr. 389, 264 Seiten, 71 Abbildungen, 2 Tabellen. Wiss. Verlagsgesell., Stuttgart 2011; ISBN 978-3-8047-2942-1.
- PESCHKE, E.: Einleitung. In: PESCHKE, E.: *Chronobiologie*. Nova Acta Leopoldina, NF, Band **114**, Nr. 389, Wiss. Verlagsgesell., Stuttgart 2011, S. 11–19.

- MÜHLBAUER, E. und E. PESCHKE: Zur Generierung und Bedeutung circadianer Rhythmen unter besonderer Berücksichtigung von Uhrengenen im endokrinen Pankreas. In: PESCHKE, E.: Chronobiologie. Nova Acta Leopoldina, NF, Band **114**, Nr. 389, Wiss. Verlagsgesell., Stuttgart 2011, S. 71–83.
- PESCHKE, E. und E. MÜHLBAUER: Einfluss von Melatonin auf Sekretionsrhythmik und Signaltransduktionsprozesse der pankreatischen  $\beta$ -Zelle. Melatonin-Insulin-Interaktionen. In: PESCHKE, E.: Chronobiologie. Nova Acta Leopoldina, NF, Band **114**, Nr. 389, Wiss. Verlagsgesell., Stuttgart 2011, S. 111–136.
- ALBRECHT, E., E. MÜHLBAUER, I. BAZWINSKY-WUTSCHKE, K. HOFMANN und E. PESCHKE: Einfluss des humanen MT2-Rezeptors auf die Insulinsekretion der pankreatischen  $\beta$ -Zelle. In: PESCHKE, E.: Chronobiologie. Nova Acta Leopoldina, NF, Band **114**, Nr. 389, Wiss. Verlagsgesell., Stuttgart 2011, S. 191–195.
- BÄHR, I., E. MÜHLBAUER und E. PESCHKE: Einfluss von Melatonin auf die Glukagonproduzierende  $\alpha$ -Zelle des endokrinen Pankreas. In: PESCHKE, E.: Chronobiologie. Nova Acta Leopoldina, NF, Band **114**, Nr. 389, Wiss. Verlagsgesell., Stuttgart 2011, S. 197–200.
- BÄHR, I., E. MÜHLBAUER, I. BAZWINSKY-WUTSCHKE und E. PESCHKE: Charakterisierung von Melatonin-Rezeptoren (MT1 und MT2) im Pankreas von Ratte und Mensch. In: PESCHKE, E.: Chronobiologie. Nova Acta Leopoldina, NF, Band **114**, Nr. 389, Wiss. Verlagsgesell., Stuttgart 2011, S. 201–205.
- BAZWINSKY-WUTSCHKE, I., E. MÜHLBAUER, L. LITVAK und E. PESCHKE: Calciumsignalkomponenten der pankreatischen Insel unter dem Einfluss von Melatonin. In: PESCHKE, E.: Chronobiologie. Nova Acta Leopoldina, NF, Band **114**, Nr. 389, Wiss. Verlagsgesell., Stuttgart 2011, S. 207–213.
- HOFMANN, K., I. BÄHR, S. STRECK, E. MÜHLBAUER, E. ALBRECHT, S. WOLGAST, D. WEDEKIND und E. PESCHKE: Melatonin-Insulin-Interaktionen bei Typ 1-diabetischen Ratten. In: PESCHKE, E.: Chronobiologie. Nova Acta Leopoldina, NF, Band **114**, Nr. 389, Wiss. Verlagsgesell., Stuttgart 2011, S. 221–226.
- MÜHLBAUER, E., I. BÄHR, A. BACH und E. PESCHKE: Der Melatonineinfluss auf die Insulinsekretion pankreatischer  $\beta$ -Zellen erfolgt über cAMP-, cGMP- und IP3-Signalkaskaden. In: PESCHKE, E.: Chronobiologie. Nova Acta Leopoldina, NF, Band **114**, Nr. 389, Wiss. Verlagsgesell., Stuttgart 2011, S. 235–239.
- MÜHLBAUER, E., D. PESCHKE und E. PESCHKE: Untersuchungen zur Expression von Uhrengenen im Pankreas der Ratte. In: PESCHKE, E.: Chronobiologie. Nova Acta Leopoldina, NF, Band **114**, Nr. 389, Wiss. Verlagsgesell., Stuttgart 2011, S. 241–244.
- PESCHKE, E., T. FRESE, I. BÄHR, H. SCHUCHT, I. BAZWINSKY-WUTSCHKE und E. MÜHLBAUER: Melatonin-Insulin-Interaktionen bei Typ 2-diabetischen Ratten und Patienten. In: PESCHKE, E.: Chronobiologie. Nova Acta Leopoldina, NF, Band **114**, Nr. 389, Wiss. Verlagsgesell., Stuttgart 2011, S. 245–251.
- PESCHKE, E. und D. PESCHKE: Die Insulinsekretion isolierter pankreatischer Ratten-Inseln erfolgt circadianrhythmisch. In: PESCHKE, E.: Chronobiologie. Nova Acta Leopoldina, NF, Band **114**, Nr. 389, Wiss. Verlagsgesell., Stuttgart 2011, S. 253–256.
- WOLGAST, S. und E. PESCHKE: Calcium-Imaging mittels konfokaler Laser-Scanning-Mikroskopie in INS1-Insulinomazellen. In: PESCHKE, E.: Chronobiologie. Nova Acta Leopoldina, NF, Band **114**, Nr. 389, Wiss. Verlagsgesell., Stuttgart 2011, S. 261–263.

- BACH, A. G. and E. PESCHKE: Melatonin and Type 2 Diabetes. In: WATSON R. R. (ed.), *Melatonin in the Promotion of Health* (2<sup>nd</sup> ed.). CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton **2012**, S. 147–165.
- BARTSCH, H., D. MECKE, H. PROBST, H. KÜPPER, E. SEEBALD, I. HERGET, E. PESCHKE, L. SALEWSKI, T. STEHLE, and C. BARTSCH: Longitudinal melatonin production in female laboratory rats during 1997–2006: possible modulatory effects of changing solar activity. *Curr. Aging Sci.* **5**, 186–194 (2012).
- PESCHKE, E., K. HOFMANN, K. PÖNICKE, D. WEDEKIND, and E. MÜHLBAUER: Catecholamines are the key for explaining the biological relevance of insulin–melatonin antagonisms in type 1 and type 2 diabetes. *J. Pineal Res.* **52**, 389–396 (2012).
- MÜHLBAUER, E., E. ALBRECHT, I. BAZWINSKY-WUTSCHKE, and E. PESCHKE: Melatonin influences insulin secretion primarily via MT1 receptors in rat insulinoma cells (INS-1) and mouse pancreatic islets. *J. Pineal Res.* **52**, 446–459 (2012).
- BÄHR, I., I. BAZWINSKY-WUTSCHKE, S. WOLGAST, K. HOFMANN, S. STRECK, E. MÜHLBAUER, D. WEDEKIND, and E. PESCHKE: GLUT4 in the endocrine pancreas – indicating an impact in pancreatic islet cell physiology? *Horm. Metab. Res.* **44**, 442–450 (2012).
- BAZWINSKY-WUTSCHKE, I., S. WOLGAST, E. MÜHLBAUER, E. ALBRECHT, and E. PESCHKE: Phosphorylation of cyclic AMP-response element-binding protein (CREB) is influenced by melatonin treatment in pancreatic rat insulinoma  $\beta$ -cells (INS-1). *J. Pineal Res.* **53**, 344–357 (2012).
- BÄHR, I., E. MÜHLBAUER, E. ALBRECHT, and E. PESCHKE: Evidences of the receptor-mediated influence of melatonin on pancreatic glucagon secretion via the Gag protein-coupled and P13K signaling pathways. *J. Pineal Res.* **53**, 390–398 (2012).
- ALFIERI, A., J. FLEISCHHAMMER, E. PESCHKE, and C. STRAUSS: The nervus intermedius as a variable landmark and critical structure in cerebellopontine angle surgery: an anatomical study and classification. *Acta Neurochir.* **154**, 1263–1268 (2012).
- ALFIERI, A., J. FLEISCHHAMMER, C. STRAUSS, and E. PESCHKE: The central myelin- peripheral myelin transitional zone of the nervus intermedius. *Clin. Anat.* **25**, 882–888 (2012).
- SCHELLER, C., A. ALFIERI, E. PESCHKE, and C. STRAUSS: Intermediate Nerve Schwannomas. In: HAYAT, S. (ed.): *Tumors of the Central Nervous System*. Springer, Dordrecht u. a. **2012**, 7/6, S. 239–245.
- HOFMANN, K., U. SCHÖNERSTEDT, D. WEDEKIND, E. MÜHLBAUER, and E. PESCHKE: Clock gene expression in the liver of streptozotocin-induced and spontaneous type 1 diabetic rats. *Horm. Metab. Res.* **45**, 629–639 (2013).
- MÜHLBAUER, E., I. BAZWINSKY-WUTSCHKE, S. WOLGAST, K. LABUCAY, and E. PESCHKE: Differential and day-time dependent expression of nuclear receptors ROR $\alpha$ , ROR $\beta$ , ROR $\gamma$  and RXR $\alpha$  in the rodent pancreas and islet. *Mol. Cell. Endocrinol.* **365**, 129–138 (2013).
- PESCHKE, E., I. BÄHR, and E. MÜHLBAUER: Melatonin and pancreatic islets: Interrelationships between melatonin, insulin and glucagon. *Int. J. Mol. Sci.* **14**, 6981–7015 (2013).
- BATULEVICIUS, D., T. FRESE, E. PESCHKE, D. H. PAUZA, and V. BATULEVICIENE: Remodelling of the intracardiac ganglia in diabetic Goto-Kakizaki rats: an anatomical study. *Cardiovasc. Diabetol.* **12**, 85 (2013).

- PESCHKE, E.: Vorhaben Zeitstrukturen endokriner Systeme. Jb. Sächs. Akad. Wiss. **2011/2012**, 220, Part: 23, 1–12 (2013).
- BAZWINSKY-WUTSCHKE, I., L. BIESEKE, E. MÜHLBAUER, and E. PESCHKE: Influence of melatonin receptor signalling on parameters involved in blood glucose regulation. *J. Pineal Res.* **56**, 82–96 (2014).
- KLEMENZ, A., S. WOLGAST, R. HANITZSCH, F. MARKWARDT, and E. PESCHKE: Effects of insulin on norepinephrine- and acetylcholine-induced membrane currents of pinealocytes from healthy Wistar and type 2 diabetic GK rats. *Cell Tiss. Res.* **355**, 437–446 (2014).
- BAZWINSKY-WUTSCHKE, I., E. MÜHLBAUER, E. ALBRECHT, and E. PESCHKE: Calcium-signaling components in rat insulinoma  $\beta$ -cells (INS-1) and pancreatic islets are differentially influenced by melatonin. *J. Pineal Res.* **56**, 439–449 (2014).
- PESCHKE, E.: Die Augenentwicklung – ein Geniestreich der Natur. Sitzungsber. Sächs. Akad. Wiss., Math.-nat. Kl., Band **132/4**, S. Hirzel, Stuttgart/Leipzig 2014, 25 Seiten, 14 Abb; ISBN 978-3-7776-2408-2.
- PESCHKE, E. (Hrsg.): Endokrinologie V, Melatonin und Diabetes mellitus. Symposium der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig, veranstaltet im Rahmen des Projekts »Zeitstrukturen endokriner Systeme« am 13. September 2013 in Leipzig. Abh. Sächs. Akad. Wiss., Math.-nat. Kl., Band **66/1**, S. Hirzel, Stuttgart/Leipzig 2014, 139 Seiten, 81 Abbildungen, 8 Tabellen; ISBN 978-3-7776-2418-1.
- PESCHKE, E., D. PESCHKE, and E. MÜHLBAUER: Melatonin-insulin-interactions. In: PESCHKE, E. (Hrsg.): Endokrinologie V, Melatonin und Diabetes mellitus. Symposium der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig, veranstaltet im Rahmen des Projekts »Zeitstrukturen endokriner Systeme« am 13. September 2013 in Leipzig. Abh. Sächs. Akad. Wiss., Math.-nat. Kl., Band **66/1**, S. Hirzel, Stuttgart/Leipzig 2014, S. 45–67.
- BÄHR, I., E. MÜHLBAUER, and E. PESCHKE: Influence of melatonin on glucagon secretion. In: PESCHKE, E. (Hrsg.): Endokrinologie V, Melatonin und Diabetes mellitus. Symposium der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig, veranstaltet im Rahmen des Projekts »Zeitstrukturen endokriner Systeme« am 13. September 2013 in Leipzig. Abh. Sächs. Akad. Wiss., Math.-nat. Kl., Band **66/1**, S. Hirzel, Stuttgart/Leipzig 2014, S. 68–72.
- ZIBOLKA, J., E. MÜHLBAUER, and E. PESCHKE: The human somatostatinoma cell line QGP-1 as a model for functional, melatonin-responsive islet  $\delta$ -cells. In: PESCHKE, E. (Hrsg.): Endokrinologie V, Melatonin und Diabetes mellitus. Symposium der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig, veranstaltet im Rahmen des Projekts »Zeitstrukturen endokriner Systeme« am 13. September 2013 in Leipzig. Abh. Sächs. Akad. Wiss., Math.-nat. Kl., Band **66/1**, S. Hirzel, Stuttgart/Leipzig 2014, S. 73–78.
- ALBRECHT, E., E. MÜHLBAUER, I. BAZWINSKY-WUTSCHKE, and E. PESCHKE: Influence of the MT1 receptor on insulin secretion of rat insulinoma  $\beta$ -cell (INS1) and isolated mouse pancreatic islets. In: PESCHKE, E. (Hrsg.): Endokrinologie V, Melatonin und Diabetes mellitus. Symposium der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig, veranstaltet im Rahmen des Projekts »Zeitstrukturen endokriner Systeme« am 13. September 2013 in Leipzig. Abh. Sächs. Akad. Wiss., Math.-nat. Kl., Band **66/1**, S. Hirzel, Stuttgart/Leipzig 2014, S. 79–84.

- MÜHLBAUER, E., E. ALBRECHT, K. BIEMANN, I. BAZWINSKY-WUTSCHKE, and E. PESCHKE: Heterologous expression of the human melatonin receptor MT2 and its functional importance in the rat insulinoma  $\beta$ -cell line INS1. In: PESCHKE, E. (Hrsg.): Endokrinologie V, Melatonin und Diabetes mellitus. Symposium der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig, veranstaltet im Rahmen des Projekts »Zeitstrukturen endokriner Systeme« am 13. September 2013 in Leipzig. Abh. Sächs. Akad. Wiss., Math.-nat. Kl., Band **66/1**, S. Hirzel, Stuttgart/ Leipzig 2014, S. 85–88.
- BAZWINSKY-WUTSCHKE, I., E. MÜHLBAUER, and E. PESCHKE: Calcium signaling components and phosphorylation of cyclic AMP-response element-binding protein (CREP) are influenced by melatonin in pancreatic  $\beta$ -cells. In: PESCHKE, E. (Hrsg.): Endokrinologie V, Melatonin und Diabetes mellitus. Symposium der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig, veranstaltet im Rahmen des Projekts »Zeitstrukturen endokriner Systeme« am 13. September 2013 in Leipzig. Abh. Sächs. Akad. Wiss., Math.-nat. Kl., Band **66/1**, S. Hirzel, Stuttgart/ Leipzig 2014, S. 89–100.
- BÄHR, I., E. MÜHLBAUER, and E. PESCHKE: Influence of melatonin on the cGMP signaling pathway in pancreatic  $\alpha$ -cells. In: PESCHKE, E. (Hrsg.): Endokrinologie V, Melatonin und Diabetes mellitus. Symposium der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig, veranstaltet im Rahmen des Projekts »Zeitstrukturen endokriner Systeme« am 13. September 2013 in Leipzig. Abh. Sächs. Akad. Wiss., Math.-nat. Kl., Band **66/1**, S. Hirzel, Stuttgart/Leipzig 2014, S. 101–105.
- MÜHLBAUER, E. and E. PESCHKE: Clock genes and the pancreatic islets of LANGERHANS. In: PESCHKE, E. (Hrsg.): Endokrinologie V, Melatonin und Diabetes mellitus. Symposium der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig, veranstaltet im Rahmen des Projekts »Zeitstrukturen endokriner Systeme« am 13. September 2013 in Leipzig. Abh. Sächs. Akad. Wiss., Math.-nat. Kl., Band **66/1**, S. Hirzel, Stuttgart/ Leipzig 2014, S. 106–115.
- BIEMANN, K., U. SCHÖNERSTEDT, E. ALBRECHT, E. MÜHLBAUER, and E. PESCHKE: Influence of insulin on the hepatic diurnal expression of clock genes and clock-controlled genes in spontaneous type 1 diabetic rats. In: PESCHKE, E. (Hrsg.): Endokrinologie V, Melatonin und Diabetes mellitus. Symposium der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig, veranstaltet im Rahmen des Projekts »Zeitstrukturen endokriner Systeme« am 13. September 2013 in Leipzig. Abh. Sächs. Akad. Wiss., Math.-nat. Kl., Band **66/1**, S. Hirzel, Stuttgart/Leipzig 2014, S. 116–120.
- SCHÖNERSTEDT, U., K. BIEMANN, S. WOLGAST, E. MÜHLBAUER, and E. PESCHKE: Aging-associated changes in the rhythmic gene expression profile of streptozotocin-induced diabetic rat liver. In: PESCHKE, E. (Hrsg.): Endokrinologie V, Melatonin und Diabetes mellitus. Symposium der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig, veranstaltet im Rahmen des Projekts »Zeitstrukturen endokriner Systeme« am 13. September 2013 in Leipzig. Abh. Sächs. Akad. Wiss., Math.-nat. Kl., Band **66/1**, S. Hirzel, Stuttgart/Leipzig 2014, S. 121–125.
- BRÖMME, H. J., K. KLÖDITZ, and E. PESCHKE: *In vitro* interactions of hydroxyl radicals with melatonin and other cellular compounds. In: PESCHKE, E. (Hrsg.): Endokrinologie V, Melatonin und Diabetes mellitus. Symposium der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig, veranstaltet im Rahmen des Projekts »Zeitstrukturen

- endokriner Systeme« am 13. September 2013 in Leipzig. Abh. Sächs. Akad. Wiss., Math.-nat. Kl., Band **66/1**, S. Hirzel, Stuttgart/Leipzig 2014, S. 126–136.
- PESCHKE, E.: The Anatomische Gesellschaft mourns an honorary fellow, Joachim-Hermann Scharf. *Ann. Anat.* **196**, 373–375 (2014).
- ZIBOLKA, J., E. MÜHLBAUER, and E. PESCHKE: Melatonin influences somatostatin secretion from human pancreatic  $\delta$ -cells via MT1 and MT2 receptors. *J. Pineal Res.* **58**, 198–209 (2015).
- PESCHKE, E.: Ein jegliches hat seine Zeit... *Labor&more* **02**, 14–19 (2015).
- PESCHKE, E.: Vorhaben Zeitstrukturen endokriner Systeme. *Jb. Sächs. Akad. Wiss.* **2013/2014**, 213 (2015).
- PESCHKE, E.: Joachim-Hermann Scharf. *Jb. Sächs. Akad. Wiss.* **2013/2014**, 102–109 (2015).
- PESCHKE, E.: Nachruf auf Joachim-Hermann Scharf. In: Hacker, J. und E. Peschke (Hrsg.) Gedenkfeier für Joachim-Hermann Scharf. *Nova Acta Leopoldina, NF, Suppl.* **31**, Wiss. Verlagsgesell., Stuttgart 2015, S. 13–21.
- PESCHKE, E., I. BÄHR, E. MÜHLBAUER: Experimental and clinical aspects of melatonin and clock genes in diabetes. *J. Pineal Res.* **59**, 1–23 (2015).Autoren

# Autoren

Prof. Dr. Uwe-Frithjof Haustein,

Professor i. R. für Dermato-Venerologie an der Universität Leipzig; Ordentliches Mitglied und Altpräsident der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig; Vorsitzender des Fördervereins der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig; [ufh@medizin.uni-leipzig.de](mailto:ufh@medizin.uni-leipzig.de)

Prof. Dr. Wolfgang Huschner,

Universität Leipzig, Lehrstuhl für Mittelalterliche Geschichte; Ordentliches Mitglied und Sekretar der Philologisch-historischen Klasse der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig; Projektleiter des Akademie-Projektes Die Deutschen Inschriften des Mittelalters und der Frühen Neuzeit; [huschner@rz.uni-leipzig.de](mailto:huschner@rz.uni-leipzig.de)

Prof. Dr. Jörg Kärgner,

Professor em. für Experimentalphysik an der Universität Leipzig; Ordentliches Mitglied der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig; [kaerger@physik.uni-leipzig.de](mailto:kaerger@physik.uni-leipzig.de)

Dr. Eckhard Mühlbauer,

Deutsches Institut für Ernährungsforschung Potsdam-Rehbrücke (DIfE), Abteilung Experimentelle Diabetologie (DIAB); [Eckhard.Muehlbauer@dife.de](mailto:Eckhard.Muehlbauer@dife.de)

Prof. Dr. Helmut Obst,

Professor em. für Ökumenik und Allgemeine Religionsgeschichte an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg; Kuratoriumsvorsitzender in den Franckeschen Stiftungen

Prof. Dr. Elmar Peschke,

Professor em. für Anatomie an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg; Ordentliches Mitglied und Sekretar der Mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig; [elmar.peschke@medizin.uni-halle.de](mailto:elmar.peschke@medizin.uni-halle.de)

Prof. Dr. Dr. Ortrun Riha,

Universität Leipzig, Karl-Sudhoff-Institut für Geschichte der Medizin und der Naturwissenschaften; Ordentliches Mitglied der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig; Projektleiterin des Akademie-Projektes Wissenschaftsbeziehungen im 19. Jahrhundert zwischen Deutschland und Russland auf den Gebieten Chemie, Pharmazie und Medizin; [riha@medizin.uni-leipzig.de](mailto:riha@medizin.uni-leipzig.de)

Prof. Dr. Andreas Simm,

Universitätsklinikum Halle (Saale), Klinik für Herz- und Thoraxchirurgie; Leiter des Zentrums für Medizinische Grundlagenforschung an der medizinischen Fakultät der Universität Halle; [andreas.simm@uk-halle.de](mailto:andreas.simm@uk-halle.de)

Prof. Dr. Pirmin Stekeler-Weithofer,

Universität Leipzig, Institut für Philosophie; Ordentliches Mitglied und Präsident der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig; [stekeler@rz.uni-leipzig.de](mailto:stekeler@rz.uni-leipzig.de)



Sächsische Akademie  
der Wissenschaften zu Leipzig

# Die Zeit

Interdisziplinäres Festkolloquium anlässlich des  
70. Geburtstages von Elmar Peschke



**Dienstag, 5. Mai 2015, 10.00 Uhr**

Sächsische Akademie der Wissenschaften zu Leipzig  
Karl-Tauchnitz-Straße 1, 04107 Leipzig

Professor Elmar Peschke, seit 1996 ordentliches Mitglied und seit 2012 Sekretar der Mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig sowie seit 2000 Mit-

## »Zeit ist der Stoff, aus dem Leben besteht«

Benjamin Franklin

glied der Nationalen Akademie der Wissenschaften Leopoldina, hat während seiner 40-jährigen Tätigkeit als Anatom in Halle (Saale) Fragen der Neuroendokrinologie, Chronobiologie, Rhythmusgenerierung sowie Bedeutung von Uhrengenen für biologische Abläufe bearbeitet. In den zurückliegenden 15 Jahren war er Leiter eines Projektes »Zeitstrukturen endokriner Systeme« der Sächsischen Akademie, in dem Bedeutung und Einfluss von Melatonin auf die Genese des Diabetes mellitus untersucht wurden.

Aus der erfolgreichen Projektarbeit seiner Arbeitsgruppe sind zahlreiche Originalarbeiten, Monographien und Kurzpublikationen sowie Vorträge und Kolloquien hervorgegangen, die ihm und seinen Mitarbeitern hohe nationale und internationale Anerkennung eingebracht haben. Mit dem Kolloquium »Zeit« findet das Projekt seinen Abschluss.

## PROGRAMM

*Sächsische Akademie der Wissenschaften zu Leipzig*

- 10.00 Uhr **Pirmin Stekeler-Weithofer, Leipzig**  
Was ist Zeit? Philosophische Grundlagen von Anaximander und Aristoteles bis Einstein und Heidegger
- 10.30 Uhr **Hellmut Obst, Halle (Saale)**  
Ein jegliches hat seine Zeit ...  
(Prediger Salomo, Kapitel 3,1)
- 11.00 Uhr **Wolfgang Huschner, Leipzig**  
Probleme bei der Tages- und Jahresdatierung in mittelalterlichen Urkunden
- 11.30 Uhr **Ortrun Riha, Leipzig**  
Medizin und Zeit: (Nicht nur) Historische Überlegungen
- 12.00 Uhr Pause
- 12.30 Uhr **Jörg Kärger, Leipzig**  
Die Merkwürdigkeiten der Zeit als physikalischer Basisgröße
- 13.00 Uhr **Eckhard Mühlbauer, Leipzig**  
Bedeutung von Uhrengenen in Epiphysis cerebri und endokrinem Pankreas
- 13.30 Uhr **Andreas Simm, Halle (Saale)**  
Altern – Chancen und Risiken
- 14.00 Uhr **Elmar Peschke, Halle (Saale)**  
Danksagung  
Empfang

*Hochschule für Musik und Theater »Felix Mendelssohn Bartholdy«, Grassistraße 8, 04107 Leipzig*

- 16.30 Uhr Konzert (siehe Programmbeilage)

## REFERENTEN

**Prof. Dr. Pirmin Stekeler-Weithofer**, Professor für Theoretische Philosophie an der Universität Leipzig, Ordentliches Mitglied und Präsident der Sächsischen Akademie

**Prof. em. Dr. Helmut Obst**, Professor em. für Ökumenik und Allgemeine Religionsgeschichte an der Universität Halle, Kuratoriumsvorsitzender in den Franckeschen Stiftungen

**Prof. Dr. Wolfgang Huschner**, Professor für Mittelalterliche Geschichte an der Universität Leipzig, Ordentliches Mitglied und Sekretar der Philologisch-historischen Klasse der Sächsischen Akademie

**Prof. Dr. Dr. Ortrun Riha**, Professorin für Geschichte an der Universität Leipzig, Ordentliches Mitglied der Sächsischen Akademie

**Prof. em. Dr. Jörg Kärger**, Professor em. für Experimentalphysik an der Universität Leipzig, Ordentliches Mitglied der Sächsischen Akademie

**Dr. Eckhard Mühlbauer**, Molekularbiologe, langjähriger Arbeitsstellenleiter des Projektes: »Zeitstrukturen endokriner Systeme« der Sächsischen Akademie

**Prof. Dr. Andreas Simm**, Professor für Thoraxchirurgie an der Universität Halle, Leiter des Zentrums für Medizinische Grundlagenforschung an der Medizinischen Fakultät der Universität Halle

**Prof. em. Dr. Elmar Peschke**, Professor em. für Anatomie an der Universität Halle, Ordentliches Mitglied und Sekretar der Mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse der Sächsischen Akademie

*Abbildung: Eine Blumen-Uhr, wie sie im Jahre 1745 von dem schwedischen Ritter Carl von Linné – dem »Vater der neuzeitlichen Botanik« – erfunden und entwickelt wurde, »damit man, wenn man auch bei trübem Wetter auf freiem Felde sich befindet, ebenso genau wissen könne, was die Glocke sei, als wenn man eine Uhr bei sich hätte«. Quelle: Universität Magdeburg.*

Organisation und wissenschaftliche Leitung:  
Sächsische Akademie der Wissenschaften zu Leipzig  
Karl-Tauchnitz-Straße 1  
04107 Leipzig  
Tel.: +49 341 71153-13 | Fax: +49 341 71153-44  
E-Mail: sekretariat@saw-leipzig.de