

Spektrum
der Wissenschaft

KOMPAKT



CHRONOBIOLOGIE

Unser innerer Rhythmus

Synchronisation
Feine Abstimmung

Zirkadiane Rhythmen
Unordnung ist ungesund

Wochenstart
Der Montagsblues



Antje Findekle
E-Mail: findekle@spektrum.de

Liebe Leserin, lieber Leser,
dass unser Körper heimlich tickt, merken wir genau dann, wenn wir gegensteuern und die innere Uhr nicht mehr zu den äußeren Gegebenheiten passt – etwa bei der Zeitumstellung oder Fernreisen. Dabei geht es nicht nur um den zirkadianen Rhythmus, den wir im Fall von Jetlag oder Schichtarbeit immer wieder nachjustieren müssen: Auch die Jahreszeiten spüren wir bis auf molekulare Ebene. Unser individueller Takt spielt sogar eine entscheidende Rolle dafür, wie wir uns selbst wahrnehmen.

Eine spannende Lektüre wünscht Ihnen

Erscheinungsdatum dieser Ausgabe: 19.03.2018

Folgen Sie uns:



CHEFREDAKTEURE: Prof. Dr. Carsten Könneker (v.i.S.d.P.), Dr. Uwe Reichert
REDAKTIONSLEITER: Dr. Hartwig Hanser, Dr. Daniel Lingenhöhl
ART DIRECTOR DIGITAL: Marc Grove
LAYOUT: Oliver Gabriel, Marina Männle
SCHLUSSREDAKTION: Christina Meyberg (Ltg.), Sigrid Spies, Katharina Werle
BILDREDAKTION: Alice Krüßmann (Ltg.), Anke Lingg, Gabriela Rabe
PRODUKTMANAGERIN DIGITAL: Antje Findekle
CONTENT MANAGER DIGITAL: Dr. Michaela Maya-Mrschtik
VERLAG: Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Tiergartenstr. 15-17, 69121 Heidelberg, Tel. 06221 9126-600, Fax 06221 9126-751; Amtsgericht Mannheim, HRB 338114, USt-Id-Nr. DE229038528
GESCHÄFTSLEITUNG: Markus Bossle, Thomas Bleck
MARKETING UND VERTRIEB: Annette Baumbusch (Ltg.)
LESER- UND BESTELLSERVICE: Helga Emmerich, Sabine Häusser, Ilona Keith, Tel. 06221 9126-743, E-Mail: service@spektrum.de

Die Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH ist Kooperationspartner der Nationales Institut für Wissenschaftskommunikation gGmbH (NaWik).

BEZUGSPREIS: Einzelausgabe € 4,99 inkl. Umsatzsteuer
ANZEIGEN: Wenn Sie an Anzeigen in unseren Digitalpublikationen interessiert sind, schreiben Sie bitte eine E-Mail an service@spektrum.de.

Sämtliche Nutzungsrechte an dem vorliegenden Werk liegen bei der Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH. Jegliche Nutzung des Werks, insbesondere die Vervielfältigung, Verbreitung, öffentliche Wiedergabe oder öffentliche Zugänglichmachung, ist ohne die vorherige schriftliche Einwilligung des Verlags unzulässig. Jegliche unautorisierte Nutzung des Werks berechtigt den Verlag zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer. Bei jeder autorisierten (oder gesetzlich gestatteten) Nutzung des Werks ist die folgende Quellenangabe an branchenüblicher Stelle vorzunehmen: © 2018 (Autor), Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Heidelberg. Jegliche Nutzung ohne die Quellenangabe in der vorstehenden Form berechtigt die Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer. Bildnachweise: Wir haben uns bemüht, sämtliche Rechteinhaber von Abbildungen zu ermitteln. Sollte dem Verlag gegenüber der Nachweis der Rechtsinhaberschaft geführt werden, wird das branchenübliche Honorar nachträglich gezahlt. Für unaufgefordert eingesandte Manuskripte und Bücher übernimmt die Redaktion keine Haftung; sie behält sich vor, Leserbriefe zu kürzen.

SEITE
04

NOBELPREIS FÜR PHYSIOLOGIE ODER MEDIZIN
Wie unsere innere Uhr tickt

UNSPASH / ALLEE VINICLIUS

SEITE
18

ZIRKADIANE RHYTHMEN
Ungesunde Unordnung

UNSPASH / HEATHER ZARRISKE

SCHULE
Acht Uhr ist zu früh
zum Lernen

STEPHANIEFREY / GETTY IMAGES / ISTOCK



SEITE
36

SELBSTWAHRNEHMUNG
Signale des Herzens

OBANCZYK / GETTY IMAGES / ISTOCK



SEITE
60

- 10 SYNCHRONISATION
Feine Abstimmung
- 29 NACHJUSTIERUNG
Nur einmal Zelten stellt innere Uhr richtig
- 31 CHRONOTYPEN
Es gibt Lerchen, Nachtenten –
und Eulenlerchen?
- 33 HIRNFORSCHUNG
Warum werden wir oft wach,
kurz bevor der Wecker klingelt?
- 42 MONTAGSBLUES
Montagsmüdigkeit
- 46 LICHTVERHÄLTNISSE
Eine Frage der Farbe
- 49 SCHLAF
Warum wir vor Langeweile eindösen
- 51 KOFFEIN
Kaffee verstellt die innere Uhr
- 53 REISEN
Warum uns der Jetlag unterschiedlich plagt
- 55 SAISONALE SCHWANKUNGEN
Das beste Gedächtnis im Herbst
- 57 GENETIK
Menschen haben Sommer-
und Wintergene



NOBELPREIS FÜR PHYSIOLOGIE ODER MEDIZIN

Wie unsere **innere Uhr tickt**

von Jan Osterkamp

Der Nobelpreis für Physiologie oder Medizin ging 2017 an die US-Amerikaner Jeffrey Hall, Michael Rosbash und Michael Young. Sie haben die zentralen Gene und Regulationsmechanismen für unseren übergeordneten inneren Zeitgeber gefunden.

Tag und Nacht gibt es auf der Erde seit ihren Anfängen vor viereinhalb Milliarden Jahren. Nahezu alles irdische Leben hat sich seit seiner Entstehung, nach neuesten Erkenntnissen vor fast vier Milliarden Jahren, auf den vorher-sagbaren Wechsel zwischen hell und dunkel eingestellt.

Ob Bakterium, Pflanze oder Mensch: Die verschiedensten Lebensformen folgen einem regelmäßigen »zirkadianen« Rhythmus (von lateinisch circa: ringsum; dies: Tag). Dieser ist den Organismen eingebaut, hat Einfluss auf Physiologie und Verhalten und wird bei Bedarf, angelehnt an die Hell- und Dunkelphasen, subtil nachjustiert. Das dafür nötige Werkzeug und Sensorium – die »innere Uhr« – zu beherrschen, ist eine Meisterleistung der Zellen. Wie diese Uhr tickt, haben Generationen von Wissenschaftlern erforscht und allmählich immer besser verstanden. Drei von ihnen, Jeffrey C. Hall, Michael Rosbash and Michael W. Young, wurden für ihren Beitrag mit dem Nobelpreis für Physiologie oder Medizin 2017 geehrt.

Jan Osterkamp ist Redakteur bei »Spektrum.de« in Heidelberg.

Schon im 18. und noch bis ins 20. Jahrhundert hinein war die Idee einer inneren Uhr allerdings höchst umstritten. Denn ist sie nicht eigentlich überflüssig? Könnte ein Lebewesen nicht einfach sehen, wann es hell und dunkel ist, darauf entsprechend reagieren und sich damit komplizierte Zeitmesser sparen? So einfach ist die Sachlage aber keineswegs, wie schon 1729 der französische Astronom Jean Jacques d'Ortous de Mairan (1678–1771) ahnte: Er experimentierte mit Mimosen, die ihre Blattfiedern tagsüber öffnen und nachts zusammenlegen. Erstaunlicherweise behielten die Pflanzen diesen rhythmischen Wechsel sogar im Dauerdunkel tagelang bei.

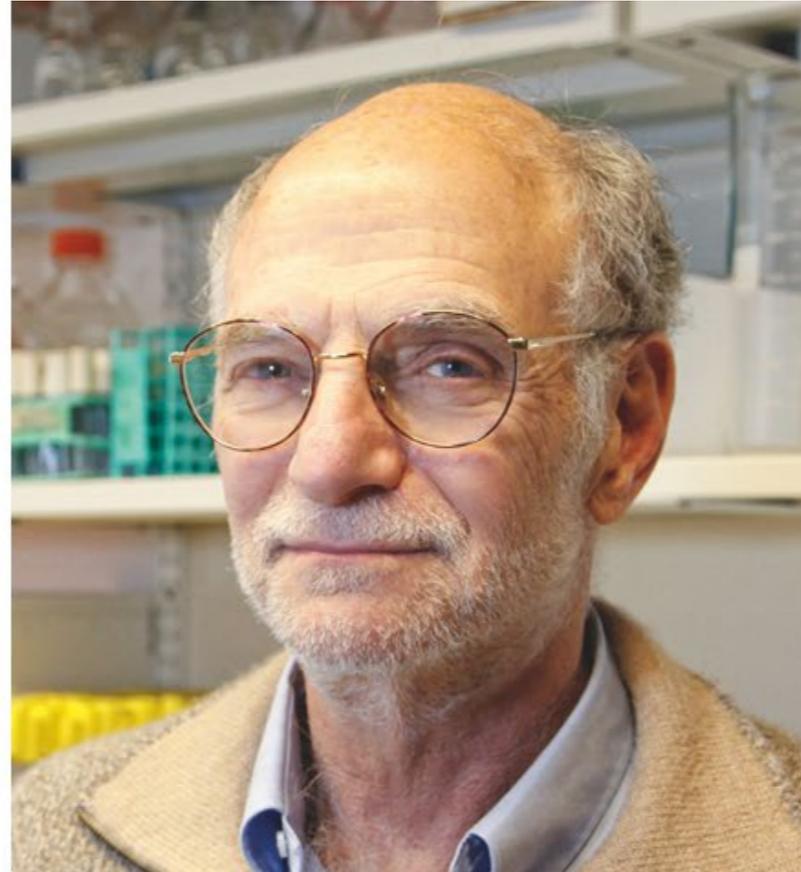
Das gleiche Ergebnis erzielte gut zwei Jahrhunderte später mit ähnlichen, nun technisch versierteren Experimenten der deutsche Pflanzenphysiologe Erwin Bünning (1906–1990), einer der Begründer der Chronobiologie. Er dokumentierte die Bewegungen einzelner Blätter mit einem mechanischen Wellenschreiber. Und in den 1960er Jahren belegten Jürgen Aschoff (1913–1998) vom Max-Planck-Institut für Verhaltensphysiologie in Seewiesen und seine Mitarbeiter, dass auch Menschen eine innere Uhr besitzen. Die For-

scher ließen Freiwillige in einem Bunker wohnen, abgeschirmt von Tageslicht, Uhren oder sonstigen Anhaltspunkten für die Tageszeit. Unter diesen Bedingungen zeigten die Versuchspersonen einen fast normalen Schlaf-wach-Zyklus von rund 25 Stunden.

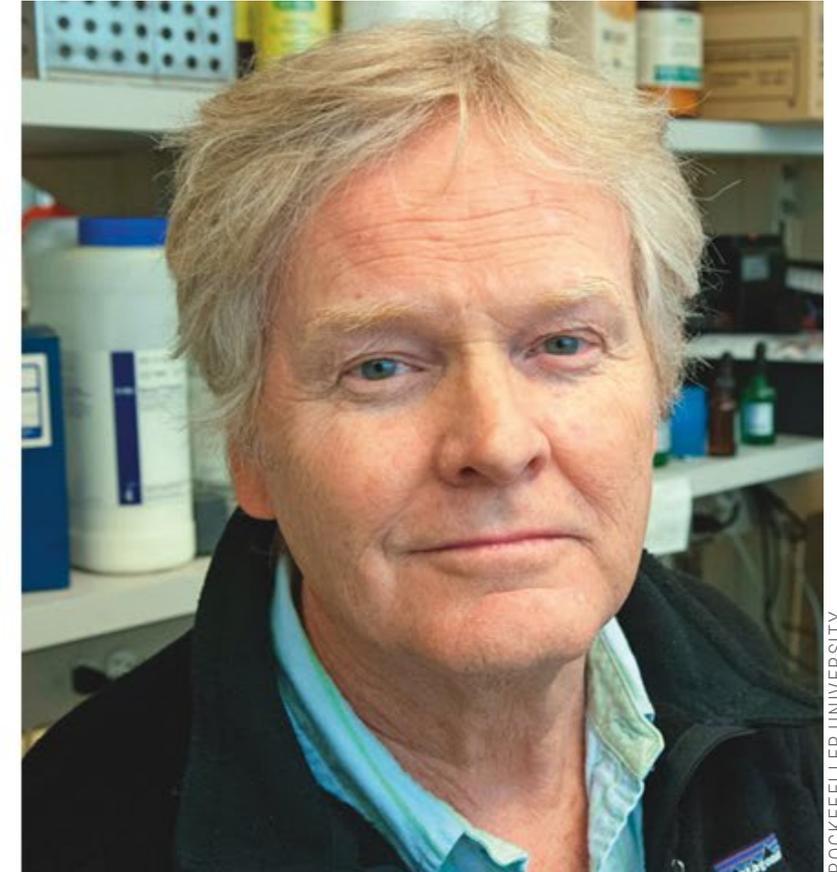
Wie die Zellen der verschiedensten Organismen einschließlich des Menschen Zeit messen, haben Wissenschaftler vor allem an den winzigen, für dergleichen Studien beliebten Taufliegen gelernt, die tags aktiv sind und nachts ruhen. Auch die Laureaten von 2017 wählten in den 1980er Jahren als Forschungsobjekt *Drosophila melanogaster*. Sie bauten auf genetischen Erkenntnissen auf, die Seymour Benzer (1921–2007) und Ronald Konopka (1947–2015) am California Institute of Technology in Pasadena gewonnen hatten, wo einst schon der »Papst der Fliegen-genetik« Thomas Hunt Morgan (1866–1945) wirkte. Benzer und Konopka hatten in den 1970er Jahren entdeckt, dass Taufliegen individuelle Besonderheiten ihrer inneren Uhr vererben können, die auf Mutationen beruhen. Bei einigen Abweichlern tickte die innere Uhr abnorm, in anderen funktionierte sie gar nicht mehr. Dahinter vermuteten die



BRANDEIS UNIVERSITY



BRANDEIS UNIVERSITY



ROCKEFELLER UNIVERSITY

Forscher ein damals noch nicht identifiziertes Gen, das sie *period* nannten.

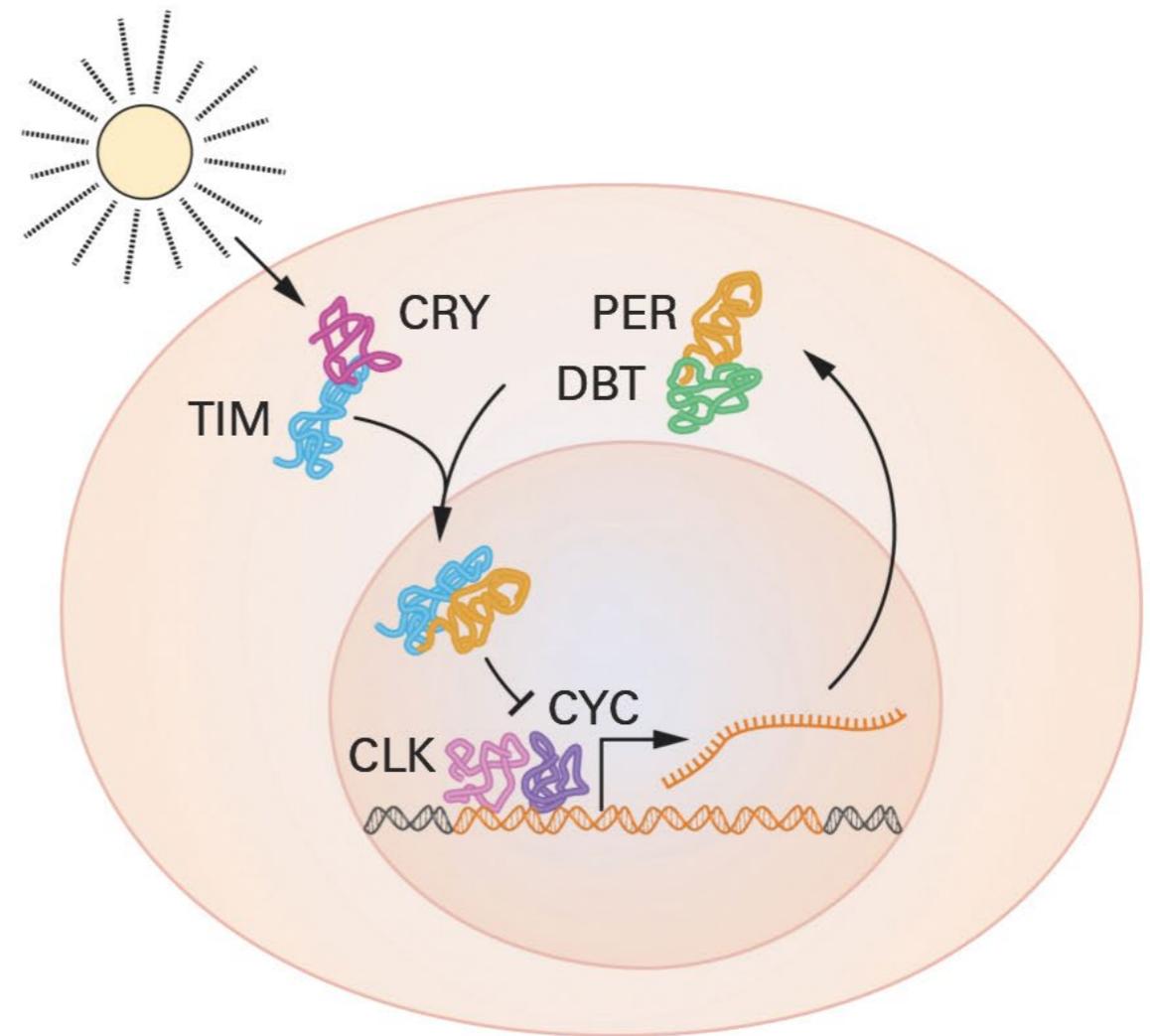
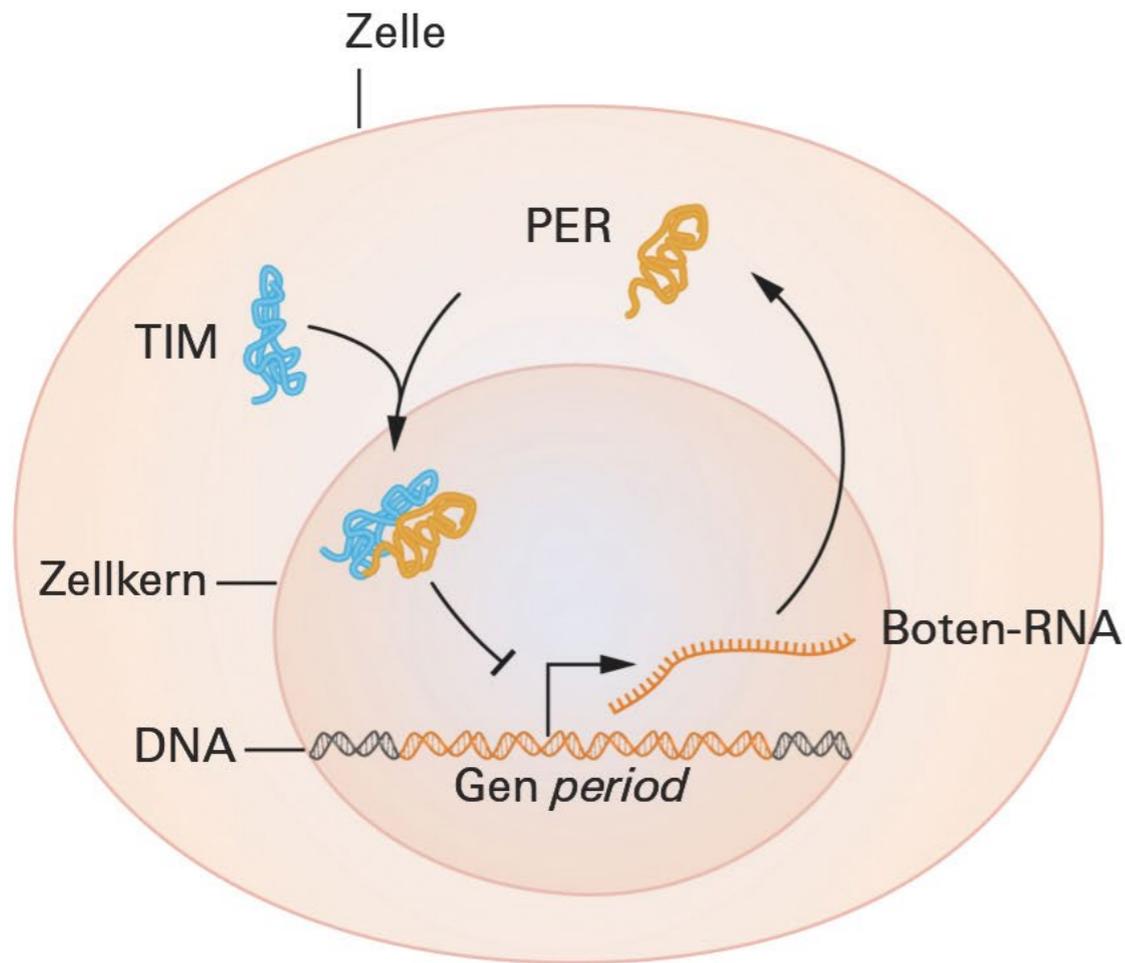
Diese Erbanlage fanden Hall und Rosbash einerseits sowie Young andererseits zehn Jahre später mit inzwischen deutlich ausgefeilteren Methoden. Sie isolierten und sequenzierten das Gen und untersuchten seine Funktion. Wie sie erkannten, oszilliert die Menge des zugehörigen Proteins PER in Fliegenneuronen im 24-Stunden-Rhythmus. Eine Zeit lang reichert es sich an, dann wird es wieder weniger. Mitten in der Nacht ist seine Konzent-

ration am höchsten, mitten am Tag am niedrigsten.

Was beeinflusst diesen Prozess? Bald wurde klar, dass das Gen *period* seine Aktivität über eine negative Rückkopplungsschleife – einen sogenannten Feedback-Mechanismus – reguliert: Nach seiner Produktion im Zytoplasma der Zellen wandert das PER-Protein in den Zellkern und unterbindet dort die Aktivität seines Gens, verhindert also, dass weitere Bauanleitungen für PER entstehen. Heute findet sich diese Art von Genregulation in jedem Biologielehr-

Jeffrey C. Hall (links), geboren 1945 in New York, arbeitete an der Brandeis University in Waltham (Massachusetts) und an der University of Maine bei Bangor. Michael Rosbash (Mitte), Jahrgang 1944 aus Kansas City, ist an der Brandeis University tätig. Michael W. Young, 1949 in Miami geboren, forscht an der Rockefeller University in New York.

buch. Damals aber war solch eine Rückkopplung noch längst nicht allgemein akzeptiert und schon gar nicht belegt.



Regulationszyklus der Tagesrhythmik von Zellen

Zuerst beschrieben die Laureaten das rhythmisch aktive Gen des Proteins PER, danach das von dessen Mitspieler TIM (links). Beide Proteine reichern sich nachts in Zellen an, dringen später gemeinsam in den Zellkern vor und stoppen dort ihre Gene. Aktiviert werden Letztere von einem weiteren Proteinduo aus CLK und CYC. An dem Rückkopplungskreis sind noch mehr Proteine beteiligt (rechts).