

# Chronobio

## Timing

Die innere Uhr der Pflanzen

Prof. Dr. Dorothee Staiger und Tino Köster,  
Lehrstuhl für Molekulare Zellphysiologie, Universität Bielefeld

**In allen Pflanzen tickt ein biologischer Zeitmesser, die innere Uhr. Diese stimmt den Tagesablauf der Pflanzen mit dem periodischen Wechsel von Licht und Dunkelheit ab. Dazu zwingt sie physiologischen und molekularen Prozessen einen 24 h- Rhythmus auf. Wie dieses Uhrwerk tickt, steht im Zentrum aktueller Forschung.**

Auch in der Chronobiologie, die sich mit der biologischen Zeitmessung beschäftigt, gilt das Sprichwort: Das einzig Konstante ist die Veränderung. Die Erde rotiert innerhalb von 24 h um ihre Achse mit dem Resultat, dass jeder Punkt der Erdoberfläche der Sonne entweder zugewandt oder abgewandt ist. Zur Koordination des täglichen Lebens mit diesen gravierenden periodischen Veränderungen haben sich in den meisten Lebewesen im Laufe der Evolution Zeitgeber entwickelt: Dank einer inneren Uhr können sie die wechselnden Umweltbedingungen antizipieren und sich frühzeitig darauf einstellen [1, 2].

Das ist für Pflanzen besonders wichtig, die an ihrem Standort das Sonnenlicht zur Energiegewinnung und Nahrungsproduktion nutzen, zu hoher Lichteinstrahlung aber nicht entkommen können. So kontrolliert die innere Uhr viele Entwicklungsprozesse. Einige finden auf täglicher Basis statt und werden direkt durch die innere Uhr reguliert, darunter das Längenwachstum der Pflanze, das abends am schnellsten und morgens am langsamsten erfolgt. Die innere Uhr sorgt auch für eine optimale Chance zur Bestäubung. Die Blüten mancher Pflanzen sind nur dann geöffnet, wenn die bestäubenden Insekten am aktivsten sind (Abb. 1a). So öffnen sich die Blütenblätter des Löwenzahns oder der Seerose morgens und schließen sich mittags, während die Blüten von Nachtjasmin sich abends öffnen und morgens schließen. Gleichzeitig ist die Pro-

duktion von Duftstoffen und Nektar in den Blüten oft auf die Aktivitätsphasen der Bestäuber abgestimmt. Andere Prozesse wie der Übergang zum Blühen finden auf jährlicher Basis statt; dies ist eine Reaktion der inneren Uhr auf die jahreszeitabhängige Veränderung der Tageslänge (Abb. 1b).

Wie die innere Uhr tickt, wird bei der Modellpflanze *Arabidopsis thaliana*, der Ackerschmalwand, untersucht. Das Uhrwerk besteht aus molekularen Rädchen, so genannten „Uhr“-Proteinen, deren Menge im Tagesverlauf oszilliert. Ihre Gene werden zu einer bestimmten Tageszeit abgelesen, also in mRNA (messenger RNA) umgeschrieben. Einige der von ihnen kodierten Proteine zeigen eine negative Rückkopplung, d.h., sie schalten ihre eigenen Gene wieder ab. Erst nach dem Abbau dieser Repressorproteine ist am nächsten Tag ein weiterer Zyklus der Genaktivierung möglich.

Doch wie führt diese 24-Stunden-Oszillation der Uhr-Proteine dazu, dass physiologische Prozesse wie z.B. das Wachstum von der Tageszeit abhängen? Um zu untersuchen, wann welche molekularen Vorgänge in der Zelle ablaufen, hat man bestimmt, welche Gene zu welcher Tageszeit aktiv sind [3].

Dazu wurden *Arabidopsis*-Pflanzen rund um die Uhr geerntet. Ihre RNA wurde mittels DNA Microarrays, die Proben für fast jedes Gen aus *Arabidopsis* enthalten, untersucht. Dabei zeigte sich, dass für



**Dorothee Staiger** (wo?????) studierte Biochemie an der Eberhard-Karls-Universität Tübingen und an der LMU München. Anschließend promovierte sie am Max-Planck-Institut für Züchtungsforschung bei Prof. Jeff Schell. Von 1990 bis 1996 war sie wissenschaftliche Assistentin, von 1997 bis 2002 Oberassistentin an der ETH Zürich, wo sie mit ihren Arbeiten zur circadianen Rhythmik und RNA-Protein-Interaktion begann. Dort habilitierte sie sich auch. Seit 2002 ist sie Professorin für molekulare Zellphysiologie an der Universität Bielefeld.

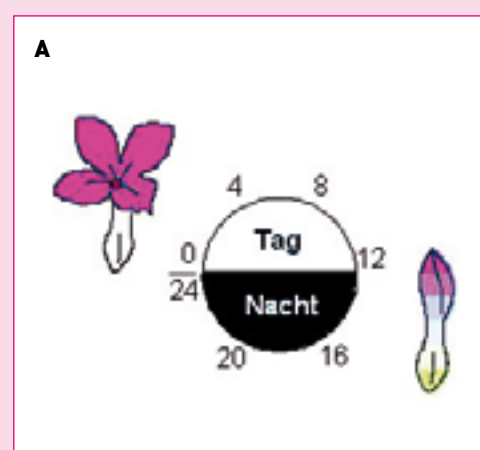
**Tino Köster** (wo?????) studierte Biologie an der Universität Bielefeld und promoviert am Lehrstuhl für Molekulare Zellphysiologie.

ein Drittel der Gene die Menge an mRNA mit einem 24-h-Rhythmus oszilliert: Gene für bestimmte Vorgänge in der Zelle sind jeweils zu einer bestimmten Tageszeit aktiv [3]. Bereits vor Sonnenaufgang werden die Gene der für das Einfangen des Sonnenlichts notwendigen Proteine aktiviert. Die Pflanze bringt damit ihren Fotosyntheseapparat auf Vordermann. Im Laufe des Nachmittags werden die Zucker weiterverarbeitet, die im Zuge der Fotosynthese hergestellt wurden. Wenn die Sonne untergegangen ist, ist die Pflanze hauptsächlich mit Wachstum beschäftigt. Kurz vor Sonnenaufgang synthetisiert sie UV-absorbierende Pigmente, die sie vor übermäßiger UV-Strahlung am nächsten Tag schützen, sie trägt also quasi Sonnencreme auf die Blattoberfläche auf.

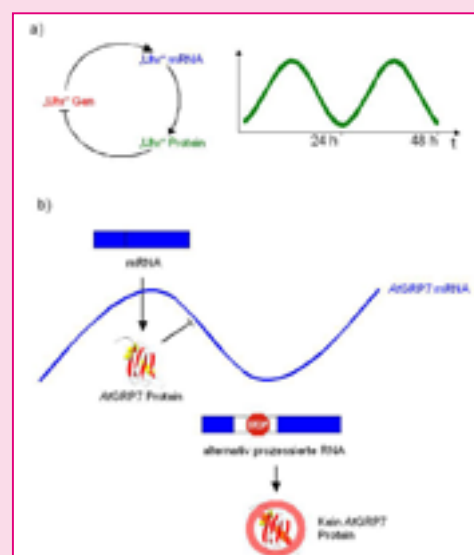
Unter den Genen, deren mRNA tageszeitabhängig schwankt, sind auch Gene, die angeschaltet werden, wenn *Arabidopsis* tiefen Temperaturen ausgesetzt ist und deren Produkte zum Schutz vor extremer Kälte beitragen. Interessanterweise fällt

diese Reaktion auf tiefe Temperaturen unterschiedlich stark aus, je nachdem, zu welcher Tageszeit die Pflanze der Kälte ausgesetzt wird [4]. Schon lange war bekannt, dass viele Pflanzen eine Kälteexposition zu bestimmten Tageszeiten besser vertragen [5]. Die tageszeitabhängige Aktivierung der Gene, die zur Kälteresistenz beiträgt, illustriert, wie die innere Uhr Pflanzen darauf vorbereitet, auf veränderte äußere Bedingungen dann besonders zu reagieren, wenn sie mit größter Wahrscheinlichkeit eintreten. Damit trägt sie zur Fitness der Pflanzen bei.

Welche Faktoren bestimmen nun, dass die Menge an mRNA mit einem 24-h-Rhythmus oszilliert? Zum einen aktiviert die innere Uhr die Transkription vieler Gene, d.h., die Bildung der mRNA zu einer bestimmten Tageszeit. Die meisten mRNAs besitzen aber eine so lange Lebensdauer, dass sie trotz einer Beschränkung der Transkription auf ein bestimmtes Zeitfenster den ganzen Tag in der Zelle vorhanden wären.



**Abb. 1** Die innere Uhr beeinflusst, zu welcher Tageszeit sich Blüten öffnen und schließen **A** und bei welcher Tageslänge, d.h., zu welcher Jahreszeit Pflanzen anfangen zu blühen **B**. *Arabidopsis* blüht, wenn der Tag (weißer Balken) länger als die Nacht (schwarzer Balken) ist.



**Abb. 2** a) In jeder Zelle tickt ein molekulares Uhrwerk, Das Auf- und Ab der „Uhr- Proteine“ bestimmt die Zeit. Diese Oszillation kommt durch negative Rückkopplung zu Stande: Übersteigt die Konzentration der „Uhr-Proteine“ einen bestimmten Wert, hemmen sie die Transkription ihrer eigenen Gene. b) Das RNA-Bindeprotein AtGRP7 reguliert die Akkumulation seiner eigenen mRNA durch Produktion einer alternativ prozessierten RNA, die nicht in Protein translatiert werden kann.



Deshalb geht man davon aus, dass die Stabilität einzelner oszillierender mRNAs einer Kontrolle unterliegen, sodass die mRNA zu bestimmten Tageszeiten schneller abgebaut wird. Das muss über regulatorische Motive auf der mRNA selbst gesteuert werden, die z.B. durch RNA-bindende Proteine erkannt werden.

Wir haben ein solches RNA-bindendes Protein entdeckt, dessen Konzentration ebenfalls im Tagesverlauf schwankt [6]: Die mRNA von AtGRP7 (Arabidopsis thaliana glycine-rich RNA-binding protein) erreicht ihren Peak am Abend. In transgenen Pflanzen, die das AtGRP7-Protein zu jeder Tageszeit sehr stark exprimieren, ist die Oszillation der endogenen AtGRP7 RNA stark gedämpft. Das Protein ist also Bestandteil eines Rückkopplungskreises, über den es seine eigene Expression im 24-Stunden-Takt an- und abschaltet.

Lässt sich dieser Rückkopplungskreis mit denen vergleichen, über die die Uhr-Proteine die 24-h-Rhythmik erzeugen? Im Gegensatz zu den bekannten Uhr-Proteinen beeinflusst AtGRP7 die Oszillation seiner eigenen mRNA nicht durch Regulation der Transkription. Folgt dem Anstieg der mRNA im Laufe des Tages ein Anstieg der Proteinkonzentration, gelangt das Protein in den Zellkern, bindet dort an seine RNA und löst damit die Produktion einer alternativen RNA-Form aus, die sehr schnell abgebaut wird, wodurch auch die Proteinmenge wieder abnimmt [7].

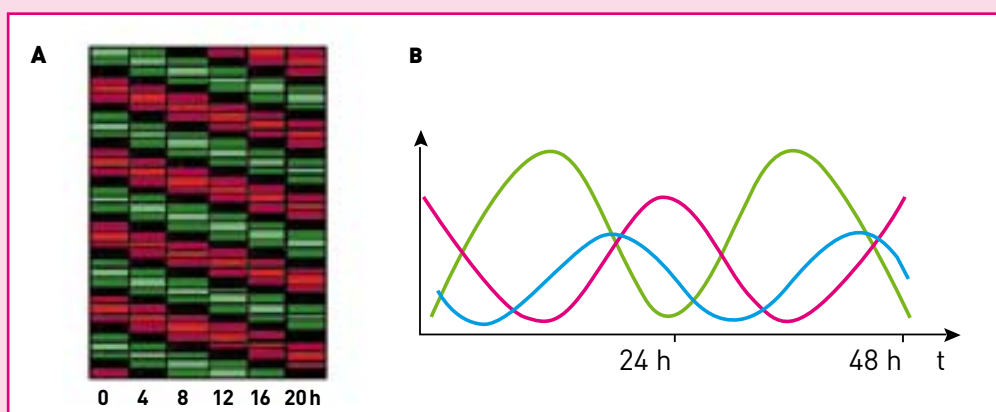
Damit ist der AtGRP7-Rückkopplungskreis der erste molekulare „Slave-Oszillator“, der von einem übergeordneten „Master-Oszillator“ im 24-h-Takt durch Aktivierung der AtGRP7-Transkription angeschaltet wird und sich durch negative Autoregulation auf post-transkriptioneller Ebene regelmäßig wieder inhibiert.

Ein solcher der inneren Uhr untergeordneter Rückkopplungskreis könnte Teil einer Signalkaskade sein, über die die von der inneren Uhr erzeugte Rhythmik weitgehend ungedämpft auf andere Prozesse in der Zelle übertragen wird.

Tatsächlich haben wir mithilfe von DNA-Microarrays einige mRNAs identifiziert, die durch AtGRP7 beeinflusst werden. Damit konnte zum ersten Mal gezeigt werden, dass die innere Uhr von Arabidopsis sich der wichtigen Klasse der RNA-Bindeproteine bedient, um tagesrhythmische Prozesse zu kontrollieren. Pflanzen, in denen das RNA-Bindeprotein defekt ist, blühen zu einem anderen Zeitpunkt, sodass AtGRP7 auch ein wichtiges Bindeglied zwischen der inneren Uhr und dem Auslösen der Blütenbildung darstellt [8].

→ [dorothee.staiger@uni-bielefeld.de](mailto:dorothee.staiger@uni-bielefeld.de)

*Literatur bei der Autorin*



**Abb. 3** **A** Schematische Darstellung einer Microarray-Analyse. Jede Zeile zeigt die von einem Gen zu einer bestimmten Tageszeit vorhandene mRNA: Grün, schwache Expression; schwarz, mittlere Expression; rot, starke Expression. **B** Verschiedene mRNAs erreichen ihre höchste Konzentration zu unterschiedlichen Tageszeiten.

## Anzeige 1/2