

Dynamische Lichtfänger – Original und Kopie

In Zeiten der Energiewende wird es immer wichtiger, Lichtenergie effektiv zu „ernten“. Dem Beispiel der Sonnenblume folgend haben Materialwissenschaftler „SunBOTS“ erschaffen: kleine Stäbchen, die sich dynamisch, selbst-reguliert und reversibel entsprechend der Richtung des einfallenden Lichts ausrichten können.

Hans-Bertram Braun

Photovoltaikanlagen auf Dächern oder Feldern können das Sonnenlicht oft nur sehr suboptimal einfangen. Das gilt besonders in unseren Breitengraden, in denen sich der Sonnenstand über den Tag, aber auch über die Jahreszeiten, sehr stark ändert. Oft sind die Anlagen völlig statisch, sodass nur einmal am Tag eine möglichst große Fläche optimal beschienen wird, wobei dieser Zeitpunkt auch noch über das Jahr hinweg variiert. Dynamische Ausrichtung nach der Lichtrichtung dagegen erfordert ausgefeilte Regeltechnik und robuste Mechanik, einschließlich energieverbrauchender Motoren, um jedes Paneel der Sonne nachzuführen. Eine Gruppe von Material- und Energieforschern aus drei Institutionen in Kalifornien und Arizona hat es sich deshalb zum Ziel gesetzt, Materialien zu entwickeln, die ohne externe Steuerung und Energieversorgung autonom in der Lage sind, sich nach einer Lichtquelle auszurichten, um neben vielen anderen potenziellen Anwendungsmöglichkeiten in Zukunft mit hoher Effizienz dynamisch Lichtenergie ernten zu können (XIAOSHI 2019). Sie orientierten sich dabei am Beispiel der Sonnenblume.

Der französische Name der Sonnenblume, „le tournesol“ (frei übersetzt: dreht zur Sonne), erklärt, warum sich die Materialforscher diese Pflanze als Vorbild und Namenspaten¹ ausgesucht haben: Die Korbb Blüten junger Sonnenblumen

folgen dem Sonnenstand über den Tag vom Osten über den Süden bis in den Westen, nachts drehen sie sich Richtung Osten zurück. Dieses Verhalten wird „Phototropismus“ genannt. Sein Zweck ist nicht wirklich offensichtlich. Einerseits scheint es zu besserer Biomasseproduktion zu führen, denn Pflanzen, deren Phototropismus künstlich durcheinandergebracht wurde, produzierten in einem Experiment etwa 10% weniger Pflanzenmaterial. Ältere Sonnenblumen stellen die Verfolgung der Sonne ein, indem sie sich über Tag immer weniger nach Westen wenden, die Ostdrehung bei Nacht aber beibehalten. Ihre Köpfe neigen sich deshalb bei der Reife nach Osten, was man an Sonnenblumenfeldern gut selbst überprüfen kann. Es wird deshalb vermutet – und Daten deuten in diese Richtung –, dass die Ausrichtung der jungen Blütenstände Richtung Sonne die Temperatur der Blütenkörbchen erhöht und damit Befruchtern ein heimeliges Umfeld bietet (ATAMIAN 2016), während die befruchtete, reife Pflanze diesen Aufwand nicht mehr benötigt. Andererseits kann die Ausrichtung auf die Sonne bei hohen Temperaturen und starker Sonneneinstrahlung einen Nachteil darstellen und zu Lichtstress und Wasserverlust führen (KUTSCHERA 2016).

Ein wirklich durchschlagender selektiver Vorteil des aufwändigen Phototropismus gegenüber ähnlichen Pflanzen, die diesen Aufwand

nicht betreiben, ist bisher genauso wenig klar wie die naheliegende Frage, welchen Vorteil die finale Orientierung nach Osten bietet gegenüber einer nach Westen (VANDENBRINK 2014).

Der Sonne folgen – nicht so einfach

Die Prozesse, die Phototropismus ermöglichen, sind äußerst komplex. Naheliegender erscheint zunächst, dass Lichtrezeptoren eine Rolle spielen müssen. Es wurde gezeigt, dass Lichteinfall auf den Stängel zelluläre und hormonelle Prozesse anstößt, die zu einem Verteilungsgradienten von Wachstumsfaktoren von beschienener zu unbeschienener Seite des Stängels führen. Dieser Gradient bedingt verstärktes Wachstum auf der lichtabgewandten Seite, was die Neigung Richtung Lichtquelle verursacht. Dieser Mechanismus erscheint einleuchtend für die Bewegung der Blüte über den Tag. Bemerkenswerterweise drehen sich die Blüten aber in der Nacht relativ schnell wieder nach Osten zurück, sodass sie schon lange vor Sonnenaufgang bereit sind, die Sonne am östlichen Horizont wieder „zu begrüßen“. Wenn die Nächte im Sommer kürzer sind, erfolgt die nächtliche Rückdrehung schneller als im Herbst, wenn die Nächte länger sind. Offensichtlich kann bei dieser Rückdrehung das Licht selbst nicht die allein entscheidende Rolle spielen. Experimente, bei denen Sonnenblumen nach einiger Zeit auf dem Feld nicht mehr mit wanderndem Sonnenlicht, sondern mit statischem künstlichem Licht beschienen wurden, zeigten, dass der sogenannte zircadiane (ungefähr tägliche) Rhythmus, der nicht nur in Pflanzen,

Die Mechanismen der Bewegungen der Sonnenblume sind sehr komplex.

sondern auch in sehr vielen Lebewesen, einschließlich uns Menschen, abläuft, eine wichtige Rolle beim Phototropismus spielt. Pflanzen, die vom Feld in künstliches Licht überführt werden, behalten ihre tägliche Bewegung nämlich zunächst weiter bei, auch wenn die künstliche Lichtquelle sich nicht mehr bewegt. Wie bei anderen circadianen Rhythmen dämpft sich diese Bewegung über die Zeit ohne externen Zeitgeber, in Form von regelmäßiger Stimulation der Lichtrezeptoren, ab.

Die molekularen Prozesse hinter dem circadianen Rhythmus wiederum sind komplex und involvieren tageszeitenabhängige Schwankungen in der Ablesung von Genen. Dabei unterdrücken die Genprodukte die eigene Ablesung konzentrationsabhängig und führen damit zu einem regelmäßigen zirkulären Rhythmus, der so getaktet ist, dass er ungefähr, aber nicht genau, dem 24-Stunden-Tag entspricht. Bei durch die

Jahreszeiten normal verlängerten oder verkürzten Tagen wird mithilfe der Lichtrezeptoren der Rhythmus auf die aktuelle Tageslänge eingestellt, bei Pflanzen wie auch bei uns Menschen. Setzt man Sonnenblumen aber absichtlich deutlich verlängerten Tageslängen von 30 Stunden aus, wird der Rhythmus erratisch und die Einsteuerung durch die Lichtrezeptoren funktioniert nicht mehr (ATAMIAN 2016).

Der natürliche Phototropismus der Sonnenblume ist also sehr komplex, er involviert sowohl lichtabhängige Pflanzenhormon-Signalwege als auch die zircadiane Uhr, die zusammen das Wachstum der Pflanze auf den verschiedenen Seiten des Stängels steuern, um die Blüte Richtung Sonne zu drehen. Die Mechanismen sind noch nicht in Gänze verstanden, auch der Zweck des Phototropismus ist nicht eindeutig geklärt.

Vereinfachte Nachahmung

Im Vergleich zu seinem pflanzlichen Vorbild ist das Design der amerikanischen Materialforscher sehr „lean“, deutlich reduziert. Sie entwickelten verschiedene Materialien, die auf lokalen Lichteinfall mit Schrumpfen der entsprechend beleuchteten Regionen reagieren. In Anlehnung an Pflanzenstängel formten sie das Material in 1 mm dicke, ca. 10–15 mm lange Säulchen. Dabei dienen winzige Gold-Nanopartikel, reduziertes Graphen-Oxid (ultradünnes Material aus Kohlenstoff), Polypyrrol, Polyanilin oder Indigo-Farbstoff in Form von Einlagerungen als Hilfsstoffe, die Lichteinfall detektieren und in Wärme umsetzen. Die Wärme führt zur Überschreitung einer polymerspezifischen kritischen Lösungstemperatur, bei der sich das formgebende Polymer-Hydrogel oder Flüssigkristall-Elastomer an der beschienenen Seite reversibel innerlich verflüssigt und dadurch schrumpft. Auf diese Weise beugen sich die Säulchen durch Schrumpfung der dem Licht zugewandten Seite (also nicht durch Verlängerung der lichtabgewandten, wie bei den Sonnenblumen) in Richtung auf die Lichtquelle. Diese Beugung hört auf, sobald das Säulchen direkt auf die Lichtquelle zielt und damit sich selbst beschattet, was das Hydrogel in beschatteten Teilen sich wieder ausdehnen lässt, das aber sofort wieder schrumpft, wenn der Lichteinfall wieder höher wird. Dieser selbst-regulierende negative Feedback-Mechanismus hält das Säulchen in Position, solange die Richtung der Lichtquelle gleich bleibt.

Die Reaktion in Richtung des Lichts, auch in Verfolgung einer bewegten Lichtquelle, erfolgt dabei erstaunlich schnell, das Wieder-Aufrichten nach Abschalten der Lichtquelle etwas langsamer. Ein sehr breiter räumlicher Winkel (–150 bis +150°) kann dabei abgedeckt werden. In

Versuchen mit kleinen Feldern von Säulchen konnten die Wissenschaftler zeigen, dass die Ausrichtung der SunBOTS zur Lichtquelle wie erwartet die Effizienz der Energieaufnahme bei wechselnden Einfallswinkeln gegenüber Flächen, die sich nicht Richtung Licht ausrichten, deutlich verbessert. Sie berechneten, dass SunBOTS in geographischen Breiten wie den unseren die Energieaufnahme um 30–110 % verbessern. Die Autoren haben die Prozesse bezüglich Umwandlung von Licht in Temperatur, Temperaturdiffusion, Massendiffusion und mechanischer Deformierung so weit theoretisch modelliert und verstanden, dass sie sich in der Lage sehen, gewünschte Designs robust gegen ein breites Spektrum an Umweltfaktoren gezielt zu erstellen. Wegen der großen Auswahl an möglichen Lichtrezeptoren und reversibel thermisch verformbaren Polymermaterialien und Polymerstrukturen sowie der physikalischen Einfachheit ihres Design-Prinzips des „Künstlichen Phototropismus“ versprechen sich die Autoren ein potenziell weites Einsatzgebiet in Energiegewinnung, Robotik und Umwelt. Um von den kleinen SunBots zu selbst-anpassenden Signalempfängern, smarten Fenstern, selbst-steuernder Robotik, Solarpanels für Raumschiffe, gesteuerten medizinischen Operationen, selbstregulierenden optischen Geräten und intelligenter Energiegewinnung durch Solarzellen und Bio-Treibstoffe mit Algen zu gelangen, ist allerdings mit Sicherheit noch einiges an Ingenieursleistung erforderlich.

Beim Vergleich von natürlichem Original und künstlicher Kopie will man nicht glauben,

Das Original ist sehr viel komplizierter als die mit großem Aufwand entwickelte Nachahmung.

dass das sehr viel kompliziertere und noch nicht komplett verstandene Original durch zufallsgetriebene und naturgesetzliche Prozesse entstanden sein soll, während der erste Prototyp der künstlichen Kopie doch schon ein erhebliches Maß an designerischen Fähigkeiten und geballter Intelligenz mehrerer wissenschaftlicher Institutionen, honoriert mit einer *Nature*-Publikation, erforderte.

Anmerkung

- ¹ SunBOT steht für „Sunflower-like biomimetic omnidirectional tracker“. In Deutsch in etwa „sonnenblumenähnliche, der Natur nachempfundene, richtungsunabhängige Nachführeinrichtung“ (die Abkürzung lohnt sich wirklich).

Literatur

- XIAOSHI Q. et al. (2019) Artificial phototropism for omnidirectional tracking and harvesting of light. *Nature Nanotechnology* 14, 1048–1055. Videos unter: <https://www.nature.com/articles/s41565-019-0562-3>
- ATAMIAN HS et al. (2016) Circadian regulation of sunflower heliotropism, floral orientation, and pollinator visits. *Science* 353, 587–590.
- KUTSCHERA U & BRIGGS WR (2016) Phototropic solar tracking in sunflower plants: an integrative perspective. *Ann. Bot.* 117, 1–8.
- VANDENBRINK JP et al. (2014) Turning heads: The biology of solar tracking in sunflower. *Plant Sci.* 224, 20–26.

Parmastega – neuer erster Vierbeiner?

Der neu entdeckte fossil erhaltene Vierbeiner (Tetrapode) *Parmastega* weist ein unerwartetes Merkmalsmosaik auf. Unter den gut erhaltenen Tetrapoden ist *Parmastega* zwar die geologisch älteste Gattung, weist aber mehrere markante Merkmale auf, die einer basalen Position deutlich widersprechen, allen voran ein weitgehend knorpeliges Skelett und ungewöhnlich hochstehende Augen. Das gesamte Merkmalsmosaik wird leichter verständlich, wenn man wie im Rahmen von Schöpfungsmodellen von einer freien Kombinierbarkeit von Merkmalen ausgeht.

Reinhard Junker

Einleitung

Wenn fossile Arten neu entdeckt werden, wird häufig behauptet, sie würden immer wieder die Evolutionstheorie bestätigen oder füllen Lücken im evolutionären Stammbaum. Diese Aussage ist fast trivial, denn wenn man von

einem gemeinsamen Stammbaum aller Arten ausgeht, wird jeder Fund automatisch eine Lücke füllen. Die interessantere Frage ist aber, ob neue Fossilien an zuvor erwarteten Stellen im bis dato geltenden Stammbaum eingeordnet werden können. Diese Frage muss bei neuen Funden sehr oft verneint werden. Vielmehr erfordern