A detailed microscopic image of a leaf cross-section. The image shows various cellular structures, including large, clear cells and smaller, more complex structures. The colors are vibrant, with shades of green, yellow, and orange, indicating the presence of chlorophyll and other pigments. The overall appearance is that of a complex, multi-layered biological structure.

Die grünen Chlorophylle bilden die entscheidenden Strukturen bei der Umwandlung von Sonnenenergie in chemische Energieträger.



Doppelporträt

# Die grüne Chemie des blauen Planeten

Zwei Mitgliedern der Bayerischen Akademie der Wissenschaften sind die entscheidenden Entdeckungen zum Verständnis der Photosynthese zu verdanken. Sowohl Richard Willstätter als auch Robert Huber wurden dafür jeweils mit dem Nobelpreis für Chemie geehrt.

VON MARTINUS FESQ-MARTIN

OBWOHL DIESER Planet zwischen Venus und Mars unsere lebenserhaltende Oase im Weltraum darstellt, hat sich die Menschheit noch immer nicht auf einen einheitlichen Namen für ihr Zuhause verständigen können: Earth, Terra, Jorden, Dünya, Diyu, Chikyu. UN-Generalsekretär António Guterres schlug im Juni dieses Jahres sogar eine Umbenennung in „Planet Water“ vor, um die Bedeutung der Ozeane zu verdeutlichen. Sehr viel mehr Übereinstimmung scheint beim Attribut Farbe zu bestehen. Die Charakterisierung „der blaue Planet“ hat sich in all ihren Übersetzungen fest etabliert und ist der Popularität der ersten Hochglanzfarbfotos aus dem Weltraum, die

**Bis 1938 war Richard Willstätter Mitglied der Bayerischen Akademie der Wissenschaften. Er wurde 1915 für die Analyse des Chlorophyllmoleküls mit dem Chemie-Nobelpreis ausgezeichnet (lnks).**



**Das Akademiemitglied Robert Huber erhielt 1988 den Nobelpreis für Chemie für die Aufklärung eines bakteriellen Photorezeptors (rechts).**



ab den späten 1960er Jahren aufgenommen wurden, zuzuschreiben. Auf den ersten Blick erscheint die Farbe Blau als Alleinstellungsmerkmal in unserem Sonnensystem durchaus stimmig zu sein. Bei eingehender Betrachtung ist das bloße Vorhandensein von Wasser aber eigentlich nichts Besonderes. Auf dem Mars,

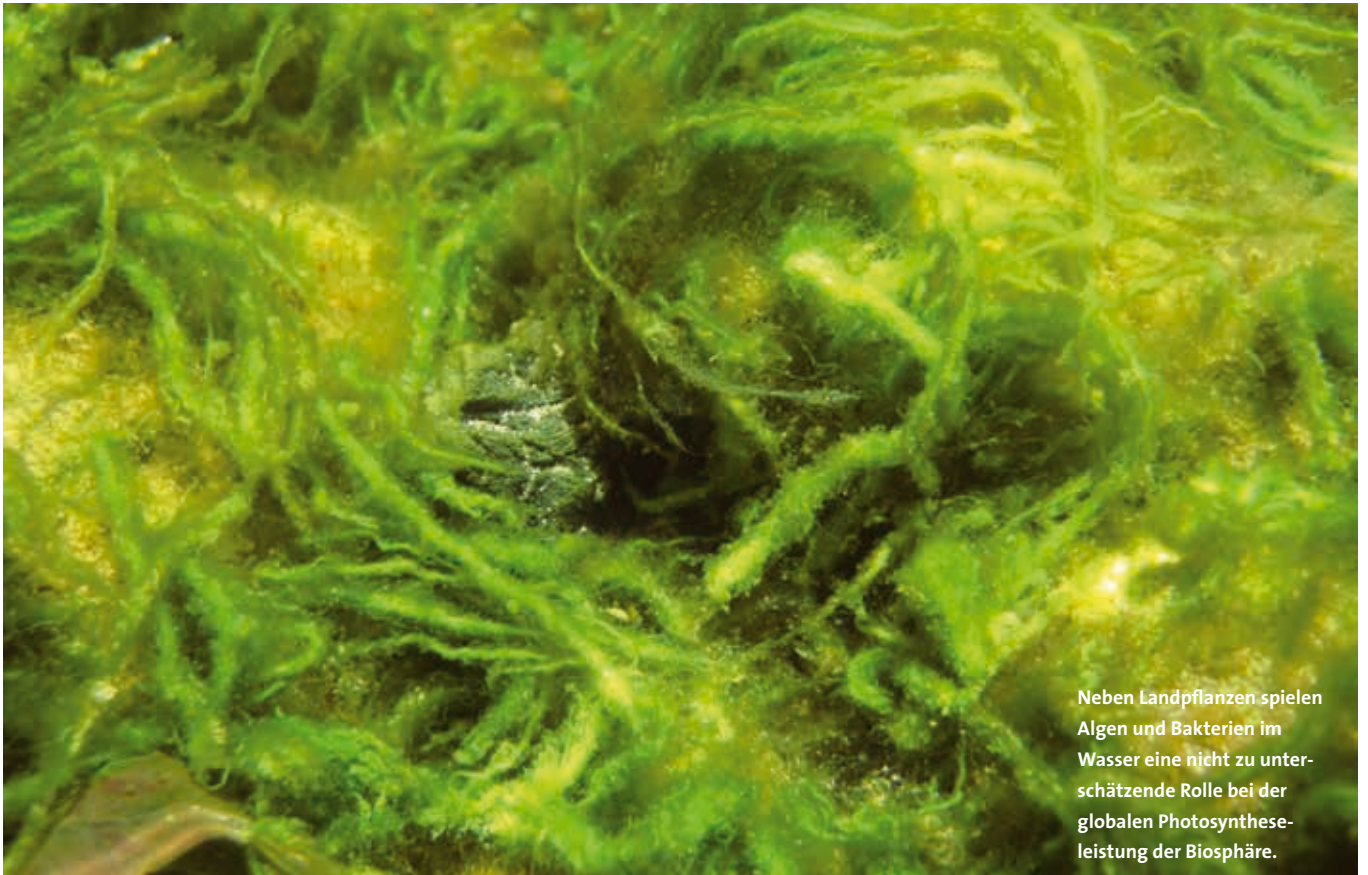
etlichen Kometen und sogar auf dem Mond ist das Molekül  $H_2O$  anzutreffen. Unerwartet spektakulär sind Fontänen auf dem Jupitermond Europa, die NASA-Wissenschaftler letztes Jahr mit dem Hubble-Teleskop beobachtet haben – es könnte sich dabei um bis zu 200 Kilometer hohe Wasserdampf-Geysire handeln.

Wäre nicht die Farbe Grün die bessere, hintergründigere Wahl für die Beschreibung unseres Heimatplaneten? Grün steht für den Lebensprozess, der bisher nirgendwo anders im uns bekannten Universum nachgewiesen wurde: die Photosynthese. Bereits seit über zwei Milliarden Jahren sind Organismen in der Lage, die elektromagnetische Sonnenenergie in chemisch-fixierte Energie umzuwandeln. Die Produktivität dieses biochemischen Vorganges ist enorm. Jedes Jahr wird dabei Kohlenstoff in der Maßeinheit von Petagramm ( $=10^{15}$ ) etwa als Traubenzucker, Stärke oder in anderen energiereichen Molekülen gebunden. So werden mittels Photosynthese von den Ökosystemen an Land rund 56 Petagramm Kohlenstoff sowie von Pflanzen und Bakterien im Meer mit 48 Billionen Tonnen fast nochmal genauso viel fixiert.

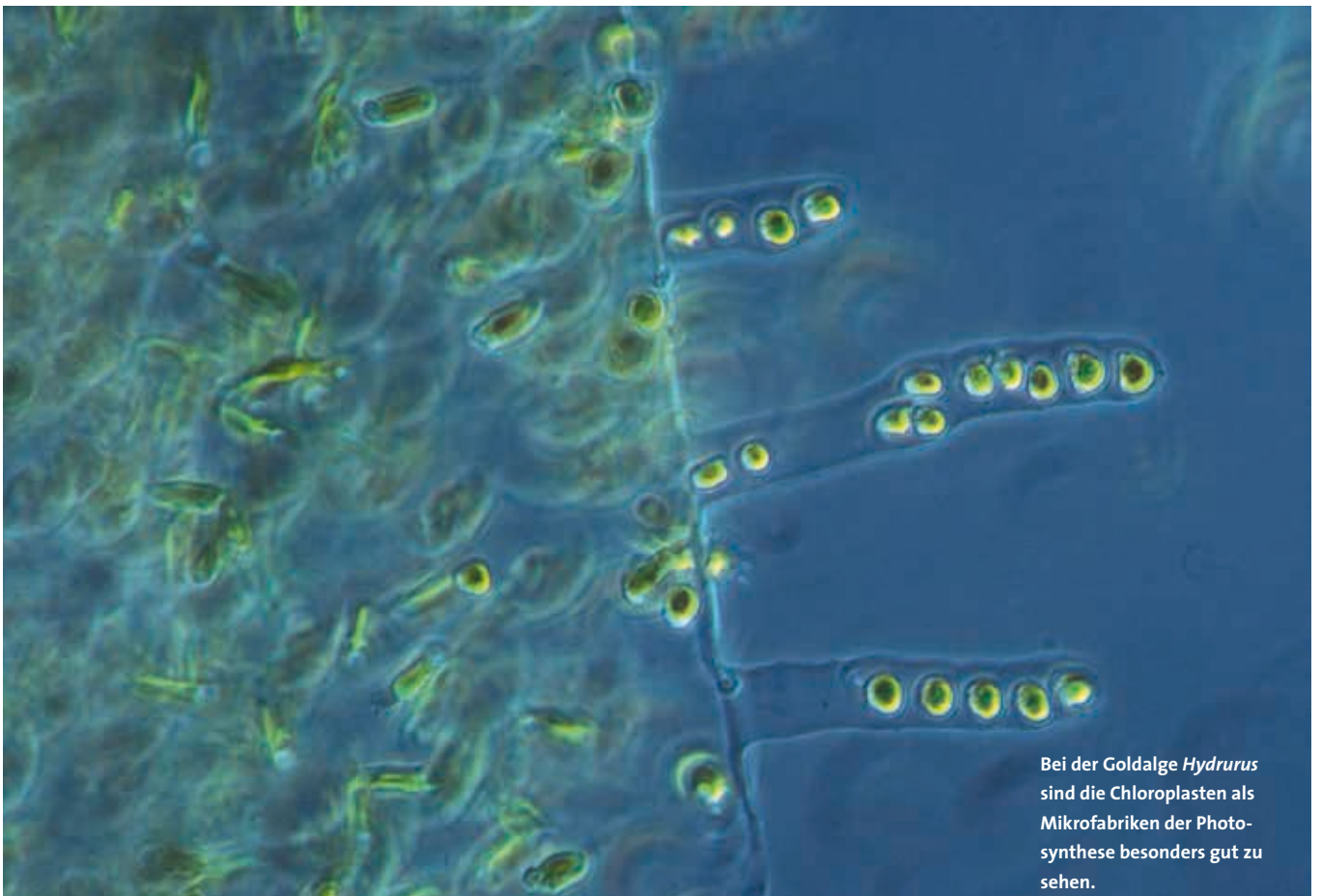
### München, Genius Loci der Photosyntheseforschung oder Hauptstadt der Vertreibung?

Ist es nur Zufall, dass grundlegende Erkenntnisse zum Verständnis der Photosynthese mit dem Forschungsstandort München assoziiert werden können? Richard Willstätter erforschte den Aufbau des Chlorophylls, des entscheidenden Moleküls bei der lichtabhängigen Reaktion der Photosynthese, und erhielt dafür 1915 den Nobelpreis. Er war Professor für Chemie an der Ludwig-Maximilians-Universität und Mitglied der Bayerischen Akademie der Wissenschaften von 1916 bis 1938. Das Akademiemitglied Robert Huber (seit 1988), Professor emeritus der Technischen Universität München, entschlüsselte mit seinen Kollegen Hartmut Michel und

Johann Deisenhofer den dreidimensionalen Aufbau eines Reaktionszentrums von einem photosynthesetreibenden Bakterium. Die drei wurden 1988 ebenfalls mit dem Nobelpreis



Neben Landpflanzen spielen Algen und Bakterien im Wasser eine nicht zu unterschätzende Rolle bei der globalen Photosyntheseleistung der Biosphäre.



Bei der Goldalge *Hydrurus* sind die Chloroplasten als Mikrofabriken der Photosynthese besonders gut zu sehen.



**Richard Willstätter im Berliner Labor des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Chemie, links im Bild sein Assistent Arthur Stoll (1913).**

für Chemie ausgezeichnet. Ferner darf Hans Fischer nicht vergessen werden: Der Chemiker und Mediziner beschäftigte sich ebenfalls mit dem Aufbau von Pflanzenfarbstoffen der Photosynthese, war auch Akademiemitglied (1926–1945) und erhielt 1930 den Nobelpreis. Alle genannten Wissenschaftler teilen sich eine Gemeinsamkeit – sie haben in entscheidenden Phasen ihrer Forschungstätigkeit in der bayerischen Landeshauptstadt gearbeitet.

Willstätter hatte keinerlei persönliche Verbindungen zu den Nobelpreisträgern von 1988. Er starb bereits 1942 im Exil in Locarno. Das Naziregime und sein menschenverachtender Rassenwahn machten selbst vor einem international anerkannten Nobelpreisträger wie Willstätter nicht Halt. Der Chemiker, der seinem liberalen jüdischen Glauben treu geblieben war, gab schon 1924 seinen Lehrstuhl an der Ludwigs-Maximilians-Universität auf, nachdem er die akademischen Institutionen zunehmend von völkischer Ideologie durchdrungen erlebte. Er schreibt dazu in seiner Autobiographie: „Die Universitäten waren einer Art von Rechtsradikalismus verfallen. Starke oder stark scheidende Persönlichkeiten im Lehrkörper und in der Akademie, kaum befreit von ihrer Angst

vor kommunistischen Umwälzungen, erlagen wieder ihrer alten Sünde des Chauvinismus.“ Besonders im Rahmen von Berufungsfragen neuer Professoren erlebte er einen zunehmenden Antisemitismus: „Allein die Haltung meiner Amtsgenossen, die ich genau beobachtete, flößte mir Sorge ein, namentlich bei Berufungsvorbereitungen, worin ich die wichtigste Pflicht unseres Kollegiums sah.“ Der endgültige Entschluss Willstätters, die Universität zu verlassen, kann relativ genau rekonstruiert werden. Bei der Suche nach einem Nachfolger für den aus Altersgründen emeritierten Mineralogen Paul von Groth spielte akademische Objektivität keine Rolle mehr. Der fachliche Top-Favorit, Viktor M. Goldschmidt aus Oslo, wurde gar nicht erst auf die Berufungsliste gesetzt, „weil sie [die Fakultät] nicht einen Gelehrten von vermutetermaßen jüdischer Abstammung in ihrer Mitte haben wollte.“ Auch in einem Brief vom 27. Juni 1924 an den damaligen Präsidenten der Akademie, Max Franz Maria Ritter von Gruber, spricht Willstätter den Antisemitismus-Vorwurf klar aus: „Eine Anzahl Kollegen aus der Fakultät hat mir erklärt, dass die letzten Berufungs-

vorschläge von antisemitischen Erwägungen entscheidend beeinflusst waren, und zwar in dem Sinne, den Zeitströmungen Rechnung zu tragen und Unruhe an der Universität zu vermeiden.“ Neben dem Antisemitismus an sich ist das frühe Datum dieser judenfeindlichen Vorgänge erschreckend, die, wie das konkrete Beispiel zeigt, bereits ein Jahrzehnt vor den Nürnberger Rassegesetzen von 1935 in akademischen Gremien praktiziert wurden. Im Jahr der „Reichskristallnacht“, 1938, schloss die Bayerische Akademie der Wissenschaften Richard Willstätter und die weiteren jüdischen Mitglieder Lucian Scherman, Alfred Pringsheim und Heinrich Liebmann in unentschuldbarer ideologischer Verblendung aus. „Es war mein Entschluss, in München auszuharren, solange es mit Anstand ging, wenn auch mit Opfern“, verharmlost Willstätter seine damalige Lage. Um nicht seinen Pass zu verlieren, wurde der Sechsendsechzigjährige gezwungen, auf sein Haus in der Möhlstraße 29 und „jeden anderen Vermögensbestandteil notariell Verzicht“ zu leisten. Nach Monaten bürokratischer Schikane und einem gescheiterten Fluchtversuch in einem Ruderboot über den Bodensee konnte Richard Willstätter schließlich am 4. März 1939

in die Schweiz ausreisen. Der letzte Satz seiner Autobiographie lautet: „Ich verließ meine geliebte deutsche Heimat, die mir alles gegeben und gewesen, und fand als Emigrant ‚toleranza per riposo‘ zu Muralto-Locarno, Villa Eremitaggio.“ Es blieben ihm nur noch wenige Jahre am Lago Maggiore, der Nobelpreisträger starb am 3. August 1942.

Als Richard Willstätter starb, war Robert Huber gerade fünfeinhalb Jahre alt – er kann bereits zur Nachkriegsgeneration gezählt werden. Wie Willstätter studierte er Chemie in München, allerdings an der Technischen Hochschule, der späteren Technischen Universität München (TUM). Bereits in seiner Diplomarbeit beschäftigte sich Huber mit der kristallographischen Strukturaufklärung von Naturstoffen, ein scheinbar unerschöpfliches Feld, das ihn in seiner akademischen Karriere bis zum Direktor des Max-Planck-Institutes für Biochemie in Martinsried aufsteigen ließ. Obwohl historisch auf den ersten Blick keine Zusammenhänge zwischen den beiden Nobelpreisträgern von 1915 und 1988 zu bestehen scheinen, so lässt sich bei detaillierter Analyse eine gemeinsame Wurzel ausgraben – näm-

**Als lebendes Netz durchziehen photosynthetisch aktive Zellen die zarten Blätter von Torfmoosen der Gattung *Sphagnum*.**



**DER AUTOR**

*Dr. Martinus Fesq-Martin beschäftigt sich mit der Erforschungsgeschichte des Mikrokosmos und der damit verbundenen Wahrnehmungserweiterung in den Naturwissenschaften. Für „Akademie Aktuell“ hat er den Nobelpreisträger Robert Huber im Max-Planck-Institut für Biochemie in Martinsried besucht.*

lich wiederum München als Genius Loci, der das Aufblühen der Chemie als akademische Wissenschaft erlebte. Der berühmte Chemiker Justus von Liebig (Akademiepräsident von 1859 bis 1873) wechselte 1852 von Gießen nach München. Als er 1873 starb, war Richard Willstätter gerade mal acht Monate alt. Verbunden werden die beiden Chemiker aber über den Nobelpreisträger von 1905, Adolf von Baeyer, Liebig's Nachfolger in München und Willstätters späterer Mentor. Bereits von Baeyer hatte sich dem Studium von Naturstoffen verschrieben, und es gelang ihm, den blauen Farbstoff Indigo zu synthetisieren.

Den roten Faden in der Geschichte der Strukturaufklärung von biologisch bedeutsamen Molekülen kann auch die nationalsozialistische Schreckensdiktatur nicht komplett zerschneiden. Trotz aller Altlasten im Nachkriegs-München fand Robert Huber eine inspirierende Atmosphäre in der kristallographischen Arbeitsgruppe von Walter Hoppe (Akademienmitglied 1986). Im Gespräch berichtet Huber noch immer sichtlich fasziniert von frühen Begegnungen etwa mit dem Chemiker Max Perutz (Nobelpreis 1962, BAdW korr. Mitgl. 1983–2002). Bedenkt man, dass Perutz aus einer jüdischen Familie kommend seine Heimatstadt Wien 1936 verließ, um im englischen Cambridge in Freiheit seine Forschungen betreiben zu können, so ist das erneute Aufblühen dieser akademischen Netzwerke im Nachkriegseuropa beachtlich. Gemeinsame Zusammenkünfte der internationalen Gemeinde der Strukturchemiker, die von

Walter Hoppe und Max Perutz in den 1960er Jahren auf einer Berghütte bei Hirschegg im Kleinwalsertal organisiert wurden, waren bestimmt von Geselligkeit und dem Spaß am Skifahren – für den jungen Wissenschaftler Huber wurden diese weltoffenen Treffen zu prägenden Erlebnissen. Etliche Jahre später, am 31. Mai 1994, hielt Max Perutz die Laudatio zur Verleihung des Ordens Pour Le Mérite an Robert Huber und beschloss seine Würdigung mit den Sätzen: „Die Atomstruktur der lebenden Materie ist überwältigend kompliziert und gleichzeitig genauestens geordnet. Huber ist es gelungen, zusammen mit seinen Schülern und Mitarbeitern, unseren Einblick in sie auszudehnen und zu vertiefen.“

**Im Reich der Kristalle**

Neben dem Wissenschaftsstandort München verbindet die beiden Akademiemitglieder und Nobelpreisträger vor allem die Wahl ihres Forschungsgegenstandes. Richard Willstätter war organischer Chemiker, der sich auf die Analyse von Molekülen mittels aufwändiger Abbauverfahren spezialisiert hatte. Die entscheidende Frage im ersten Jahrzehnt des 20. Jahrhundert war, ob es hinsichtlich der Vielfalt an Pflanzenarten auch zahlreiche unterschiedliche grüne Blattfarbstoffe oder ob es nur ein Chlorophyll gibt. „Um dies zu prüfen, holten wir ins Laboratorium mehr als zweihundert Pflanzenarten (...), und wir entschieden die Frage durch Ermittlung des Magnesiumgehaltes, durch Bestimmung und Analyse des Phytols und der stickstoffhaltigen Spaltprodukte“, versuchte Willstätter seine Arbeitsweise auch für Nichtchemiker zu erklären. Seine wichtigste Erkenntnis aus den Forschungen der Jahre 1909 bis 1911 war: „Es gibt nur ein einziges Chlorophyll, allen Pflanzen gemeinsam. Es besteht in allen Fällen aus zwei Komponenten (a und b), die sich in der Oxidationsstufe unterscheiden.“

Dagegen ist Robert Huber Pionier und Experte für Röntgenstrukturanalyse, eine Spielart der Kristallographie. „Ich hatte Glück, indem ich meinen wissenschaftlichen Fokus auf die Protein-Kristallographie gerichtet habe, kurz nachdem diese Methode von Perutz und Kendrew in Cambridge,

**Wegbereiter für Robert Huber: Walter Hoppe (l.) und Max Perutz.**



England, begründet wurde“, interpretiert der Nobelpreisträger seinen Erfolg, „und zugleich habe ich die Reifung dieser Technik begleitet und erkannt, welche Bedeutung sie für die life sciences und unser Verständnis von biologischen Prozessen spielen kann.“ Im Gespräch mit Huber wird klar, dass er sich eigentlich nicht als klassischer Photosynthese-Forscher versteht, sondern stets an der dreidimensionalen Strukturaufklärung von Proteinen interessiert war und noch immer ist – aber Eiweißmoleküle spielen eben auch eine entscheidende Rolle bei den biochemischen Vorgängen, die sich in den Membranen von photosynthetisch aktiven Lebewesen abspielen.

Obwohl also die technischen Methoden nicht übereinstimmten, waren beide Wissenschaftler unabhängig voneinander so weise oder besaßen die Intuition, die Photosynthese als Forschungsrahmen auszuwählen. Denn das 20. Jahrhundert war auch bestimmt vom Aufkeimen eines ökologischen Bewusstseins und dem damit verbundenen Lebensgefühl, gemeinsam auf einem begrenzten Planeten zu leben. Welcher Prozess interessierte also in diesem Zusammenhang mehr als die Umwandlung der Sonnenenergie in biochemisch fixierte Energieträger durch grüne Pflanzen. Um korrekt zu sein, hat Robert Huber mit seinen Kollegen eigentlich nicht das Photozentrum von Pflanzen wie Sonnenblume oder Tanne untersucht: Das Bakterium *Phodopseudomonas viridis* (heute *Blastochloris viridis*) war die „Hauspflanze“ des Forscherteams. Dieses Purpurbakterium wurde 1966 erstmals im Freiburger Stadtbach Dreisam entdeckt und stellte für die Max-Planck-Forscher einen hervorragenden Modellorganismus dar, da dieser Mikroorganismus mit einem weniger komplex aufgebauten Photorezeptor Sonnenenergie umwandelt als die höheren Pflanzen.

Historischer Zufall oder nicht – im 20. Jahrhundert haben unabhängig voneinander zwei Münchner Mitglieder der Bayerischen Akademie der Wissenschaften unser Wissen über genau den Prozess entscheidend bereichert, der das Alleinstellungsmerkmal unseres grünen Heimatplaneten zu sein scheint – die Photosynthese als Grundlage für die überwiegende Mehrzahl der Ökosysteme auf der Erde. Die Königlich Schwedische Akademie der Wissenschaften betitelte die Pressemitteilung am 19. Oktober 1988 zur Verleihung des Chemie-Nobelpreises mit der weisen Erkenntnis: „Photosynthesis – the most important chemical reaction on earth.“ ■



Die energetische Grundlage fast aller Ökosysteme auf der Erde ist die Nutzung der Sonnenenergie durch Pflanzen und Bakterien.

#### Literatur und WWW

R. Huber: „How I Chose Research on Proteases or, More Correctly, How it Chose Me“, in: Angewandte Chemie International Edition 2013, 52, 68–73.

R. Willstätter: Aus meinem Leben. Von Arbeit, Muße und Freunden, Weinheim 1958.

[www.nasa.gov/press-release/nasa-s-hubble-spots-possible-water-plumes-erupting-on-jupiters-moon-europa/](http://www.nasa.gov/press-release/nasa-s-hubble-spots-possible-water-plumes-erupting-on-jupiters-moon-europa/)

[www.nobelprize.org](http://www.nobelprize.org) mit zahlreichen Informationen zu den im Text genannten Preisträgern Adolf von Baeyer, Robert Huber, Max Perutz und Richard Willstätter inklusive der originalen Nobel Lectures.