

Neues aus Wissenschaft und Lehre

**Jahrbuch der Heinrich-Heine-Universität
Düsseldorf 2008/2009**

Heinrich Heine
HEINRICH HEINE
UNIVERSITÄT
DÜSSELDORF



d|u|p

düsseldorf university press

**Jahrbuch der
Heinrich-Heine-Universität
Düsseldorf
2008/2009**

**Jahrbuch der
Heinrich-Heine-Universität
Düsseldorf
2008/2009**

**Herausgegeben vom Rektor
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
Univ.-Prof. Dr. Dr. H. Michael Piper**

**Konzeption und Redaktion:
Univ.-Prof. em. Dr. Hans Süßmuth**

d|u|p

© düsseldorf university press, Düsseldorf 2010
Einbandgestaltung: Monika Uttendorfer
Titelbild: Leben auf dem Campus
Redaktionsassistentz: Georg Stüttgen
Beratung: Friedrich-K. Unterweg
Satz: Friedhelm Sowa, L^AT_EX
Herstellung: WAZ-Druck GmbH & Co. KG, Duisburg
Gesetzt aus der Adobe Times
ISBN 978-3-940671-33-2

Inhalt

Vorwort des Rektors	13
Gedenken	15
Hochschulrat	17
ULRICH HADDING und ERNST THEODOR RIETSCHEL 18 Monate Hochschulrat der Heinrich-Heine-Universität: Sein Selbstverständnis bei konkreten, strategischen Entscheidungsvorgängen	19
Rektorat	25
H. MICHAEL PIPER Ein Jahr des Aufbruchs	27
Medizinische Fakultät	
<i>Dekanat</i>	33
<i>Neu berufene Professorinnen und Professoren</i>	35
JOACHIM WINDOLF (Dekan) Bericht der Medizinischen Fakultät	41
MALTE KELM, MIRIAM CORTESE-KROTT, ULRIKE HENDGEN-COTTA und PATRICK HORN Stickstoffmonoxid und Nitrit als Mediatoren im kardiovaskulären System: Synthesewege, Speicherformen und Wirkmechanismen	49
JULIA SZENDRÖDI und MICHAEL RODEN Die Bedeutung der mitochondrialen Funktion für die Entstehung von Insulinresistenz und Typ-2-Diabetes	63
BETTINA POLLOK, MARKUS BUTZ, MARTIN SÜDMEYER, LARS WOJTECKI und ALFONS SCHNITZLER Funktion und Dysfunktion motorischer Netzwerke	81
WOLFGANG JANNI, PHILIP HEPP und DIETER NIEDERACHER Der Nachweis von isolierten Tumorzellen in Knochenmark und Blut von Patientinnen mit primärem Mammakarzinom – Standardisierte Methodik und klinische Relevanz	95
ROBERT RABENALT, VOLKER MÜLLER-MATTHEIS und PETER ALBERS Fortschritte in der operativen Behandlung des Prostatakarzinoms	111

MARCUS JÄGER, CHRISTOPH ZILKENS und RÜDIGER KRAUSPE Neue Materialien, neue Techniken: Hüftendoprothetik am Anfang des 21. Jahrhunderts	121
CHRISTIAN NAUJOKS, JÖRG HANDSCHEL und NORBERT KÜBLER Aktueller Stand des osteogenen Tissue-Engineerings.....	137
ULLA STUMPF und JOACHIM WINDOLF Alterstraumatologie: Herausforderung und Bestandteil der Zukunft in der Unfallchirurgie	153
ALFONS LABISCH Die säkularen Umbrüche der Lebens- und Wissenschaftswelten und die Medizin – Ärztliches Handeln im 21. Jahrhundert	161
Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät	
<i>Dekanat</i>	175
<i>Neu berufene Professorinnen und Professoren</i>	177
ULRICH RÜTHER (Dekan) Die Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät im Jahr 2008/2009	181
FRITZ GRUNEWALD Primzahlen und Kryptographie	185
WILLIAM MARTIN Hydrothermalquellen und der Ursprung des Lebens	203
PETER WESTHOFF C4-Reis – Ein Turbolader für den Photosynthesemotor der Reispflanze	217
MICHAEL BOTT, STEPHANIE BRINGER-MEYER, MELANIE BROCKER, LOTHAR EGGELING, ROLAND FREUDL, JULIA FRUNZKE und TINO POLEN Systemische Mikrobiologie – Etablierung bakterieller Produktionsplattformen für die Weiße Biotechnologie	227
SUSANNE AILEEN FUNKE und DIETER WILLBOLD Frühdiagnose und Therapie der Alzheimerschen Demenz	243
ECKHARD LAMMERT Die Langerhanssche Insel und der Diabetes mellitus	251
THOMAS KLEIN Was kann man von der Fliegenborste lernen?	261
REINHARD PIETROWSKY und MELANIE SCHICHL Mittagsschlaf oder Entspannung fördern das Gedächtnis	275
PETER PROKSCH, SOFIA ORTLEPP und HORST WEBER Naturstoffe aus Schwämmen als Ideengeber für neue <i>Antifouling</i> -Wirkstoffe	281

STEPHAN RAUB, JENS ECKEL, REINHOLD EGGER und STEPHAN OLBRICH Fortschritte in der Forschung durch Hochleistungsrechnen – Kooperation von IT-Service, Informatik und Physik	291
Philosophische Fakultät	
<i>Dekanat</i>	305
<i>Neu berufene Professorinnen und Professoren</i>	307
HANS T. SIEPE (Dekan) Die Philosophische Fakultät im Spiegel der Publikationen ihrer Mitglieder	309
BRUNO BLECKMANN Römische Politik im Ersten Punischen Krieg	315
RICARDA BAUSCHKE-HARTUNG Minnesang zwischen Gesellschaftskunst und Selbstreflexion im Alter(n)sdiskurs – Walthers von der Vogelweide „Sumerlaten“-Lied	333
HENRIETTE HERWIG Altersliebe, Krankheit und Tod in Thomas Manns Novellen <i>Die Betrogene</i> und <i>Der Tod in Venedig</i>	345
ROGER LÜDEKE Die Gesellschaft der Literatur. Ästhetische Interaktion und soziale Praxis in Bram Stokers <i>Dracula</i>	361
SIMONE DIETZ Selbstdarstellungskultur in der massenmedialen Gesellschaft	383
MICHIKO MAE Integration durch „multikulturelle Koexistenz“, durch „Leitkultur“ oder durch eine „transkulturelle Partizipationsgesellschaft“?	393
Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät	
<i>Dekanat</i>	411
<i>Neu berufene Professorinnen und Professoren</i>	413
GUIDO FÖRSTER (Dekan) und DIRK SCHMIDTMANN Auswirkungen des Bilanzrechtsmodernisierungsgesetzes auf die steuerliche Gewinnermittlung	415
HEINZ-DIETER SMEETS Finanzkrise – Schrecken ohne Ende?	433
PETER LORSCHIED Praxisorientierte Besonderheiten der Statistik im Düsseldorfer Bachelorstudiengang „Betriebswirtschaftslehre“	457

Juristische Fakultät

<i>Dekanat</i>	467
DIRK LOOSCHELDERS (Dekan)	
Neuregelung der Obliegenheiten des Versicherungsnehmers durch das Versicherungsvertragsgesetz 2008	469
HORST SCHLEHOFER	
Die hypothetische Einwilligung – Rechtfertigungs- oder Strafrechtsausschließungsgrund für einen ärztlichen Eingriff?	485
ANDREW HAMMEL	
Strategizing the Abolition of Capital Punishment in Three European Nations	497

Partnerschaften der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

JIRÍ PEŠEK	
Die Partnerschaft zwischen der Karls-Universität Prag und der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf	513

**Gesellschaft von Freunden und Förderern der
Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf e.V.**

OTHMAR KALTHOFF	
Jahresbericht 2008	525
GERT KAISER und OTHMAR KALTHOFF	
Die wichtigsten Stiftungen der Freundesgesellschaft	527

Forscherguppen an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

KLAUS PFEFFER	
Die Forschergruppe 729 „Anti-infektiöse Effektorprogramme: Signale und Mediatoren“	535
PETER WERNET und GESINE KÖGLER	
Die DFG-Forschergruppe 717 „Unrestricted Somatic Stem Cells from Hu- man Umbilical Cord Blood (USSC)“/„Unrestringierte somatische Stamm- zellen aus menschlichem Nabelschnurblut“	545

Beteiligungen an Forschungsgruppen

DIETER BIRNBACHER	
Kausalität von Unterlassungen – Dilemmata und offene Fragen	565

Sofja Kovalevskaja-Preisträger

KARL SEBASTIAN LANG	
Das lymphozytäre Choriomeningitisvirus – Untersucht mittels eines Mausmodells für virusinduzierte Immunpathologie in der Leber	583

Graduiertenausbildung an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

- SONJA MEYER ZU BERSTENHORST, KARL-ERICH JAEGER und
JÖRG PIETRUSZKA
CLIB-Graduate Cluster Industrial Biotechnology:
Ein neuer Weg zur praxisnahen Doktorandenausbildung 597
- JOHANNES H. HEGEMANN und CHRISTIAN DUMPITAK
Strukturierte Promotionsförderung in der Infektionsforschung durch die
Manchot Graduiertenschule „Molecules of Infection“ 607

Nachwuchsforschergruppen an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

- ULRICH HEIMESHOFF und HEINZ-DIETER SMEETS
Empirische Wettbewerbsanalyse 623
- WOLFGANG HOYER
Selektion und Charakterisierung von Bindeproteinen
für amyloidogene Peptide und Proteine 631

Interdisziplinäre Forscherverbände an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

- ULRICH VON ALEMANN und ANNIKA LAUX
Parteimitglieder in Deutschland.
Die Deutsche Parteimitgliederstudie 2009 641
- JULIA BEE, REINHOLD GÖRLING und SVEN SEIBEL
Wiederkehr der Folter? Aus den Arbeiten einer interdisziplinären Studie
über eine extreme Form der Gewalt, ihre mediale Darstellung und ihre
Ächtung 649
- KLAUS-DIETER DRÜEN und GUIDO FÖRSTER
Düsseldorfer Zentrum für
Unternehmensbesteuerung und -nachfolge 663
- KLAUS-DIETER DRÜEN
Der Weg zur gemeinnützigen (rechtsfähigen) Stiftung –
Stiftungszivilrechtliche Gestaltungsmöglichkeiten
und steuerrechtliche Vorgaben 665
- GUIDO FÖRSTER
Steuerliche Rahmenbedingungen für Stiftungsmaßnahmen 677

Kooperation der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf und des Forschungszentrums Jülich

- ULRICH SCHURR, UWE RASCHER und ACHIM WALTER
Quantitative Pflanzenwissenschaften – Dynamik von Pflanzen
in einer dynamischen Umwelt am Beispiel der Schlüsselprozesse
Photosynthese und Wachstum 691

Ausgründungen aus der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

DETLEV RIESNER und HANS SÜSSMUTH

Die Gründung des Wissenschaftsverlags *düsseldorf university press
GmbH* 709

Zentrale Einrichtungen der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

Zentrale Universitätsverwaltung

JAN GERKEN

Der Umstieg auf das kaufmännische Rechnungswesen:
Die Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf nutzt als
Vorreiter die Chancen der Hochschulautonomie 729

Universitäts- und Landesbibliothek

IRMGARD SIEBERT

Sammelleidenschaft und Kulturförderung.
Die Schätze der Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf 737

GABRIELE DREIS

Das Kulturgut Buch für die Zukunft bewahren:
Bestandserhaltung in der Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf ... 751

Zentrum für Informations- und Medientechnologie

MANFRED HEYDTHAUSEN und ROBERT MONSER

Die Entwicklung eines Portals für
die Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf 769

STEPHAN RAUB, INGO BREUER, CHRISTOPH GIERLING und STEPHAN
OLBRICH

Werkzeuge für Monitoring und Management von Rechenclustern –
Anforderungen und Entwicklung des Tools <myJAM/> 783

Sammlungen in der Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

KATHRIN LUCHT-ROUSSEL

Die Düsseldorfer Malerschule in der
Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf 795

Ausstellungen

ANDREA VON HÜLSEN-ESCH

Jüdische Künstler aus Osteuropa und die
westliche Moderne zu Beginn des 20. Jahrhunderts 813

JENS METZDORF und STEFAN ROHRBACHER

„Geschichte in Gesichtern“ 827

Geschichte der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

SVENJA WESTER und MAX PLASSMANN

Die Aufnahme des klinischen Unterrichts an der
Akademie für praktische Medizin im Jahr 1919 853**Forum Kunst**

HANS KÖRNER

Frömmigkeit und Moderne.
Zu einem Schwerpunkt in Forschung und Lehre
am Seminar für Kunstgeschichte 865**Chronik der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf**

ROLF WILLHARDT

Chronik 2008/2009 897

Campus-Orientierungsplan 919**Daten und Abbildungen aus dem
Zahlenspiegel der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf** 925**Autorinnen und Autoren** 937

ULRICH SCHURR, UWE RASCHER und ACHIM WALTER

Quantitative Pflanzenwissenschaften – Dynamik von Pflanzen in einer dynamischen Umwelt am Beispiel der Schlüsselprozesse Photosynthese und Wachstum

Pflanzen sind die Basis von Ernährung, nachwachsenden Rohstoffen und Energie im globalen Wandel

Pflanzen sind in vielfacher Hinsicht im Zentrum drängender gesellschaftlicher Herausforderungen: Pflanzen sind essenziell für die Ernährung einer weiterhin steigenden Weltbevölkerung, deren Bedarf an Nahrungsmitteln bei nicht mehr erweiterbarer landwirtschaftlicher Nutzfläche und bei sich fortentwickelnden Essgewohnheiten quantitativ und qualitativ in den kommenden Jahrzehnten stark ansteigen wird. Sie liefern nachwachsende Rohstoffe für die chemische Industrie, sind Basis innovativer Materialien für die Wirtschaft und stellen das Ausgangssubstrat zur Gewinnung von Bioenergie aus Energiepflanzen und pflanzlichen Abfällen dar. Pflanzen müssen trotz erhöhtem Bedarf nachhaltig produziert werden, um die langfristigen Nutzungsmöglichkeiten agrarischer Flächen nicht durch kurzfristige Deckung des Bedarfs zu gefährden. Dabei sind sie durch den Klimawandel starken Änderungen ihrer Umwelt ausgesetzt. Sie sind gleichzeitig ein wesentliches, zu bewahrendes und sinnvoll zu nutzendes Instrument zur Vermeidung weiterer Klimaveränderungen beziehungsweise zur Anpassung an den Klimawandel. Pflanzen erfüllen darüber hinaus wichtige Funktionen in der Stabilität von Ökosystemen, beim Erhalt von Biodiversität sowie bei der Bereitstellung von Ökosystemfunktionen (*ecosystem services*) zum Schutz lebenswichtiger Ressourcen wie Luft und sauberem Wasser. Nicht zuletzt stellen Pflanzen über ihre anthropogen genutzte Funktionalität hinaus ein wesentliches gestaltendes Element aller Kulturen dar.

Diese Perspektiven rücken Pflanzen in den Mittelpunkt des Interesses vieler Disziplinen aus Natur- und Ingenieurwissenschaften. Gleichzeitig ergeben sich daraus hohe Anforderungen an die Pflanzenwissenschaften und an deren Zusammenarbeit mit anderen Disziplinen über die engen Grenzen der eigenen Fachgebiete hinaus. Um diesen Ansprüchen gerecht zu werden, müssen sich die Pflanzenwissenschaften weiterentwickeln. Sie müssen den Schritt wagen, über die Katalogisierung interessanter biologischer Phänomene und die Aufklärung der Funktion einzelner Komponenten in bestimmten Arten und Umweltsituationen hinaus zu einer quantitativen Beschreibung von Schlüsselprozessen zu gelangen. Dadurch wird die Entwicklung neuartiger Konzepte ermöglicht, in denen die enorme Vielfalt und Komplexität pflanzlicher Eigenschaften und Funktionen soweit reduziert wird, dass quantitative Vorhersagen gemacht werden können. Diese Vorhersagen müssen eine zielgerichtete Weiterentwicklung agrarisch genutzter Kulturen sowie ein systemisches Verständnis natürlicher Pflanzengesellschaften erlauben. Erst dann können die

Pflanzenwissenschaften im Konzert mit anderen Disziplinen ernsthaft ihre künftige zentrale Rolle als Grundlage einer nachhaltigen Bioökonomie erfüllen.

Dynamik von Pflanzen in einer dynamisch sich verändernden Umwelt – Phänotypisierung ist die Brücke zwischen praktischer Anwendung und molekularer Grundlagenforschung

Pflanzen stehen durch ihre sessile Lebensweise in besonderer Weise mit der abiotischen und biotischen Umwelt in Wechselwirkung. Während die meisten Tiere durch ihre Mobilität ungünstigen Umweltfaktoren ausweichen oder günstigere aufsuchen können, sind Pflanzen in ihrem Habitat den räumlich und zeitlich dynamisch auftretenden Umweltfaktoren unmittelbar ausgesetzt. Das Potenzial der Reaktion von Pflanzen darauf hängt von ihrer genetischen Ausstattung, von ihrer Struktur und damit auch von früheren Reaktionen auf Umweltfaktoren (*memory effect*), von ihrem akuten physiologischen Zustand (zum Beispiel Samen, vegetative und generative Phase) und von den Wechselwirkungen mit anderen biotischen und abiotischen Einflüssen ab.

Die Pflanzenforschung – insbesondere das Verständnis der molekularen Steuerungsprozesse in Pflanzen – hat in dieser Hinsicht in den letzten Jahrzehnten herausragende Fortschritte gemacht. Demgegenüber hat die Entwicklung von Methoden und Konzepten zur quantitativen Analyse pflanzlichen Verhaltens unter dem Einfluss der Umwelt („Phänotypisierung“) nicht Schritt halten können. Wenn die Erwartungen zur Lösung der großen Herausforderungen, die an Pflanzen und Pflanzenwissenschaften gestellt werden, allerdings auch nur annähernd erreicht werden sollen, dann müssen holistische Ansätze und skalenübergreifende Untersuchungen verfolgt werden. In diesem Beitrag wird exemplarisch für pflanzliches Wachstum und Photosynthese – zwei für pflanzliches Verhalten und Leistungsfähigkeit essenzielle Prozesse – dargestellt, welche Perspektiven die quantitative Biologie insbesondere durch neuartige Methoden bietet.¹

Dynamik pflanzlicher Wachstumsprozesse und Anpassung an variable Umweltsituationen

Pflanzliches Wachstum stellt einen dynamischen, komplexen und hoch regulierten, von einem Netzwerk von Faktoren abhängigen, zentralen Lebensprozess dar. Pflanzen sind im Gegensatz zu den meisten Tieren zeitlebens im Wachstum begriffen. Eine konsequente Erforschung der Dynamik pflanzlicher Wachstumsprozesse auf einer zeitlichen Skala von Minuten bis Stunden und auf einer räumlichen Skala, die das intakte, multizelluläre, einzelne Organ betrachtet, wurde über lange Jahre vernachlässigt – bedingt vor allem durch das Fehlen geeigneter Analysemethoden.² Da gerade in den genannten Skalenbereichen zentrale endogene Regelungsmechanismen ihre Wirksamkeit entfalten und Variationen entscheidender Umweltparameter auftreten, ist es von großer Bedeutung, Analysen pflanzlichen Wachstums zwischen der Skala zellbiologischer und agrarwissenschaftlicher

¹ Vgl. Schurr *et al.* (2006).

² Vgl. Schurr (1997).

Analysen durchzuführen, um zu einem verbesserten Verständnis pflanzlicher Systeme zu gelangen.

In jüngster Zeit wurden in einer Reihe von Laboren bildverarbeitende Methoden zur nichtinvasiven Analyse von Wachstumsprozessen entwickelt. Unter Verwendung einer Reihe spezifisch hierfür entwickelter Techniken gelang es, bei einer Vielzahl von Pflanzenarten grundlegende Muster der Wachstumsdynamik von Blättern und Wurzeln aufzuklären, deren Reaktion auf die Veränderung verschiedener Umweltparameter zu charakterisieren und somit die Grundlagen für eine auf Wuchsanalysen basierende Phänotypisierung von Pflanzen zu schaffen.³

Wachstum stellt einen Gradmesser für die Fähigkeit der Pflanze dar, sich in einer bestimmten Umweltsituation zu behaupten und gegenüber anderen Arten durchzusetzen.

Blätter und Wurzeln nehmen die aus dem jeweiligen Habitat benötigten Substanzen mit ihrer Oberfläche auf und sind für eine Steigerung der Aufnahme auf eine Vergrößerung der Oberfläche angewiesen. Gleichzeitig mit diesem Wachstumsprozess kommt es zu einer Differenzierung der aufnehmenden Organe und somit zu einer parallelen Reifung von Struktur und Funktion. Pflanzen halten sich nun gleichzeitig in zwei sehr unterschiedlichen Habitaten auf – dem Boden zur Versorgung mit Wasser und Nährstoffen sowie der Atmosphäre zur Versorgung mit Energie und Kohlenstoff; sie werden aufgrund ihrer sessilen Lebensweise mit der vollen räumlichen und zeitlichen Variabilität der Umweltsituation konfrontiert und müssen darüber hinaus die Wachstumsleistung von Blatt und Wurzel aus einem gemeinsamen Pool biochemischer Substrate speisen und somit in hoch regulierter Art und Weise koordinieren. Die Analyse dieses Syndroms – der koordinierten Anpassung von ober- und unterirdischen Wachstumsprozessen an vorherrschende Umweltbedingungen – und die Evaluierung des daraus resultierenden Erkenntnisgewinns ist das zentrale Ziel unserer Wuchsanalysen.

Grundmuster von Blatt- und Wurzelwachstum

Die Wachstumsaktivität von Wurzeln variiert unter konstanten Temperaturbedingungen im Verlauf von 24 Stunden nicht.⁴ Auch der Zuwachs von Blättern monokotyler Pflanzen (zum Beispiel Gräser, Getreide) unterliegt – sofern die Temperatur konstant ist – keinen nennenswerten Schwankungen im Tagesverlauf.⁵ Im Gegensatz hierzu wurden für Blätter dikotyler Arten unter allen beobachteten Umweltsituationen und in allen analysierten Arten ausgeprägte Tagesgänge festgestellt.⁶ Der Tagesgang bleibt auch unter Dauerlicht erhalten,⁷ was dessen Kontrolle durch die endogene Uhr belegt. Oft oszilliert im Tagesverlauf die räumlich gemittelte relative Wuchsrate des gesamten Blattes zwischen Extremwerten von null und drei Prozent pro Stunde. Dies bedeutet, dass viele Stoffwechselprozesse des sich entwickelnden Blattes jeden Tag aufs Neue eingestellt und wieder auf ihre Maximalaktivität gesteigert werden. Eine optimale zeitliche Abstimmung dieser Prozesse mit dem externen Wechselspiel von hell und dunkel ist notwendig, um die potenzielle

³ Vgl. Walter *et al.* (2009).

⁴ Vgl. Walter und Schurr (2005).

⁵ Vgl. Ben-Haj-Salah und Tardieu (1995).

⁶ Vgl. Walter *et al.* (2009).

⁷ Vgl. Walter und Schurr (2005).

maximale Leistungsfähigkeit von dikotylen Pflanzen voll auszuschöpfen, wie für *Arabidopsis thaliana* gezeigt werden konnte.⁸ Basierend auf den Resultaten der Literatur und der eigenen Arbeiten kann die Hypothese aufgestellt werden, dass es zwei grundlegende Typen von Blattwachstums-Tagesgängen in dikotylen Pflanzen gibt, deren exakte Phasenlage durch die Umweltbedingungen variiert werden kann (Abb. 1):

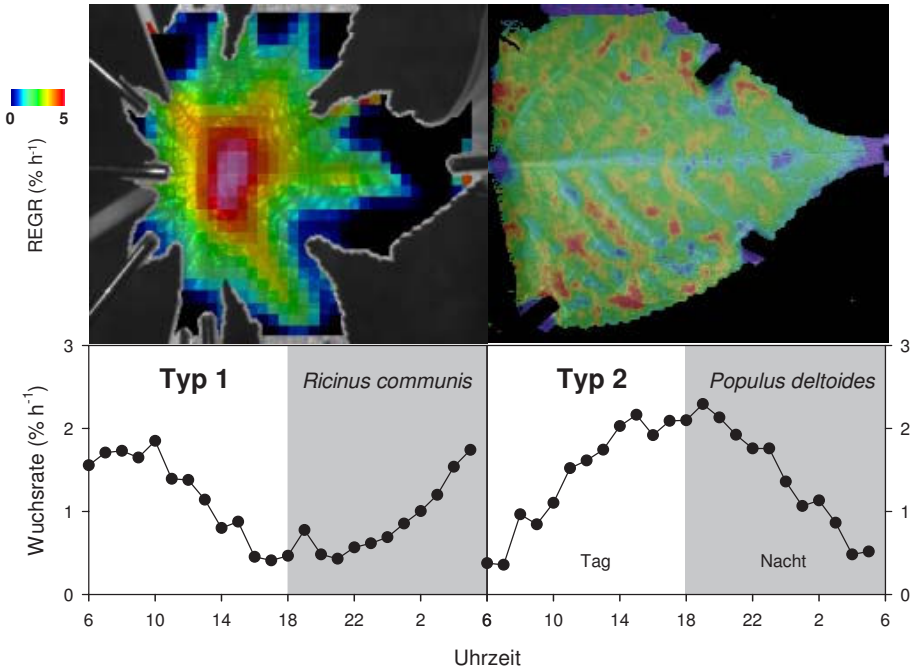


Abb. 1: Blattwachstum. Räumliche Verteilungen von Wuchsraten (REGR, oben) sowie räumlich gemittelte Blattwachstums-Tagesgänge (unten) von *Ricinus communis* (Typ 1) und *Populus deltoides* (Typ 2); angepasst nach Walter *et al.* (2009)

Typ 1 zeigt maximale Wachstumsaktivität zu Beginn der Lichtperiode – auch wenn die Temperatur dann niedrig ist. Bei diesem Typ von Blättern wird zudem ein klarer Basis-Spitze-Gradient des Wachstums festgestellt. Hierzu gehören beispielsweise die Blätter von *Ricinus communis*, *Nicotiana tabacum*, *Gossypium hirsutum*, *Nicotiana attenuata* und *Arabidopsis thaliana*.⁹ Typ 2 zeigt ein exakt gegenläufiges Phasenverhalten mit maximaler Wachstumsaktivität am Ende des Tages. Hierzu gehören die Blätter von *Populus deltoides* und *Glycine max*,¹⁰ die auch keinen Basis-Spitze-Gradienten aufweisen. Ein Indiz für die Differenz des Phasenverhaltens der beiden Typen wurde für Blätter von *Populus deltoides* auf Transkriptomebene ermittelt:¹¹ Der nächtliche Abfall der Wuchsrate

⁸ Vgl. Dodd *et al.* (2005).

⁹ Vgl. Walter *et al.* (2002), Walter und Schurr (2005), Hüve *et al.* (2007), Hummel *et al.* (2007) sowie Wiese *et al.* (2007).

¹⁰ Vgl. Walter *et al.* (2005) sowie Ainsworth *et al.* (2005).

¹¹ Vgl. Matsubara *et al.* (2006).

korrelierte mit einer verringerten Expression der Gene ribosomaler Proteine und Histone. Dies kann als Indiz für eine Verlangsamung des zytoplasmatischen Wachstums interpretiert werden. Diese Resultate deuten darauf hin, dass die Differenz der Phasenlage der beobachteten Blattwachstums-Tagesgänge mit einem unterschiedlichen Ausmaß von zytoplasmatischem Wachstum (mit Zellteilung verbunden) und vakuolärem Wachstum (Zellstreckung) korreliert.

Reaktionen der Wachstumsdynamik auf Änderungen von Umweltparametern

In den vergangenen Jahren wurden in unserem Labor zahlreiche Untersuchungen zur Anpassung von Pflanzen an verschiedene Lichtintensitäten, Temperaturen, CO₂- und Ozongehalte, Nährstoff- und Wasserverfügbarkeiten sowie biotischen Stress durch Fraßfeinde (Herbivorie) durchgeführt. Die Reaktion von Blatt- und Wurzelwachstum auf Herbivorie zeigt exemplarisch, dass es dabei zu sehr charakteristischen Reaktionsmustern kommt und dass eine quantitative Wachstumsanalyse einen wesentlichen Beitrag zur Aufklärung der molekularen Antwort der Pflanze auf eine Umweltveränderung leisten kann.

Herbivorie stellt für viele Pflanzen den primären biotischen Umweltstress dar. Anpassung beziehungsweise Schutz vor Fraßfeinden findet sowohl auf biochemischer als auch auf morphologischer Organisationsebene der Pflanze statt. Durch Analysen der Abwehrreaktion der Modellpflanze *Nicotiana attenuata* bei simuliertem herbivorem Befall durch Larven des spezialisierten Fraßfeindes *Manduca sexta* gelang im vergangenen Jahrzehnt ein erheblicher Wissenszuwachs auf diesem Gebiet.¹² Die Hormone Jasmonat und Ethylen nehmen im Syndrom der pflanzlichen Verteidigungsreaktion eine Schlüsselrolle ein. Sie werden innerhalb von Minuten nach Befall eines Blattes induziert und vermitteln kaskadenartige Abwehrreaktionen, in deren Verlauf es zu einer Reihe von Umsteuerungen im pflanzlichen Metabolismus kommt. Während diese Umsteuerungen in den vergangenen Jahren intensiv untersucht wurden, konnte über eine dynamische Antwort des Wachstums bislang nur spekuliert werden.

Bereits bei einmaliger Applikation der physiologisch aktiven Fettsäure-Aminosäure-Konjugate des Larvenssekrets von *Manduca sexta* trat eine signifikante, etwa 16 Stunden andauernde Verringerung des Wurzelwachstums von Keimlingen auf. Auch im Blatt erfolgte eine Reaktion mit ähnlicher Kinetik, die jedoch wesentlich schwächer ausgeprägt war. Die Wachstumsreduktion ist überlagert von einer vermutlich hydraulisch induzierten, kurzfristigeren Verringerung des Wurzelwachstums während etwas mehr als einer Stunde. Gleichzeitig wird aber der Kohlenhydrat-Eintransport in die Wurzel bei herbivorem Angriff verstärkt,¹³ so dass die Wurzel in diesem Fall als „sicherer Rückzugsort“ zur Speicherung wichtiger Reserven genutzt wird. Durch vergleichende Analysen der Signalwegmutanten *asLOX3* und *irCOII* konnte geklärt werden, dass das bei der Verwundung induzierte Jasmonat, nicht aber Ethylen die Wachstumsreduktion kontrolliert.¹⁴

¹² Vgl. Kessler und Baldwin (2002).

¹³ Vgl. Schwachtje *et al.* (2006).

¹⁴ Vgl. Hummel *et al.* (2009).

Mechanismen der Wachstumskontrolle in Blättern und Wurzeln

Änderungen von Umweltfaktoren können auf verschiedenen mechanistischen Regulationswegen die pflanzliche Wachstumsdynamik beeinflussen. Dies kann sowohl durch verschiedenste regulatorische Signalkaskaden – zum Beispiel via Jasmonat –, aber auch biophysikalisch im Zusammenspiel von Turgor und Zellwand-Extensibilität oder biochemisch – beispielsweise durch Beeinflussung des Kohlenhydrat-Metabolismus – geschehen.

Kohlenhydrate dominieren die strukturelle Materie von Pflanzen. Das Wachstum des Zelluloseskeletts der sekundären Zellwand benötigt eine kontinuierliche Nachlieferung von Kohlenhydraten. Der Kohlenhydrat-Metabolismus zeigt charakteristische diurnale Variationen, die entscheidend durch die enge Korrelation der Assimilation mit der Lichtintensität und der Umgebungstemperatur beeinflusst werden.¹⁵

Der Blattwachstums-Tagesgang dikotyler Pflanzen ist anders als bei Monokotylen (Gräsern) weit weniger intuitiv mit der Dynamik des Kohlenhydrat-Metabolismus verbunden. Die Abhängigkeit des Blattwachstums-Tagesgangs vom Stärkehaushalt konnte dennoch für Blätter des Typs 1 (*Arabidopsis thaliana*) demonstriert werden.¹⁶ Die stärkefreie Mutante *stfl* weist einen Defekt im Gen der plastidären Phosphoglucomutase auf und kann daher keine transitorische Stärke synthetisieren. Aufgrund des fehlenden Stärkereservoirs akkumulierten sich tagsüber Photosyntheseprodukte, so dass die Konzentrationen löslicher Zucker in *stfl*-Mutanten gegen Ende des Tages gegenüber dem Wildtyp deutlich erhöht waren. Die Mutante zeigte am Ende der Nacht signifikant niedrigere Wuchsraten als der Wildtyp, konnte dieses Wachstumsdefizit aber teilweise durch erhöhte Wuchsraten am Ende des Tages kompensieren. Die Gesamtblattfläche der *stfl*-Mutanten wuchs ab der Keimung langsamer an als die des Wildtyps.¹⁷ Allerdings ging die Wuchsrate in der Nacht nie komplett auf null zurück und der generelle Wachstumstagesgang mit seinem Maximum am frühen Morgen war vergleichbar zu demjenigen des Wildtyps.

Auch Wurzelwachstum hängt entscheidend von einem geregelten Import von Kohlenhydraten ab, wie die bereits geschilderte Studie zur Beeinflussung des Wachstums von Tabakkeimlingen unter veränderten Lichtintensitäten verdeutlicht.¹⁸ Ebenso wie beim Blatt kann jedoch auch bei der Wurzel ausgeschlossen werden, dass der Kohlenhydrat-Metabolismus allein der Schlüsselprozess für die Kontrolle des Wachstums ist: Der Befund eines verringerten Wurzelwachstums¹⁹ bei gleichzeitig erhöhtem Kohlenhydrat-Import²⁰ während eines herbivoren Angriffs am Blatt widerlegt die Hypothese, dass allein der Kohlenhydrat-Eintransport die Aktivität des Wurzelwachstums kontrolliert. Vielmehr sind das Zusammenspiel von Kohlenhydrat-Assimilation, -Speicherung und Wachstum sowie die Allokation zwischen Spross und Wurzel entscheidend für das Verständnis der Dynamik von Wachstumsreaktionen.

¹⁵ Vgl. Smith and Stitt (2007).

¹⁶ Vgl. Wiese *et al.* (2007).

¹⁷ Vgl. Walter *et al.* (2007).

¹⁸ Vgl. Nagel *et al.* (2006).

¹⁹ Vgl. Hummel *et al.* (2007).

²⁰ Vgl. Schwachtje *et al.* (2006).

Dynamik der Photosynthese

In den letzten beiden Jahrhunderten wurde kein zweiter pflanzlicher Stoffwechselprozess derart intensiv erforscht wie die Photosynthese. Bereits 1727 beschreibt Stephen Hales den Energiestoffwechsel der Blätter als den grundlegenden, den Tieren kongruenten Stoffwechselweg.²¹ Heute ist die räumliche Anordnung einzelner Photosynthesysteme mit einer Genauigkeit von wenigen Ångström aufgeklärt. Wir verstehen die biophysikalischen Grundlagen der Ladungstrennung im Pikosekundenbereich und molekularbiologische Untersuchungen haben unsere Einsicht in die Regulation des primären Energiestoffwechsels revolutioniert.²² Die Entwicklung verschiedener nichtinvasiver Methoden beziehungsweise Fernerkundungsverfahren zur Quantifizierung der Photosynthese vom Einzelblatt bis hin zum Ökosystem stellt den zentralen Beitrag dar, den wir leisten, um das tiefgreifende molekulare Verständnis der Photosynthese im Sinn einer Phänotypisierung auch in einem praxisnahen Kontext anwendbar zu machen.

Chlorophyllfluoreszenzmessungen

In den letzten Jahren hat sich die Messung des Fluoreszenzsignals zur nichtinvasiven Bestimmung der Photosynthese etabliert. Die Methode funktioniert nach dem folgenden Prinzip: Die in den Fotosystemen der Pflanzen absorbierten Lichtquanten werden entweder photosynthetisch genutzt, durch nichtfotochemische Wärmeableitung in den Grundzustand zurückgeführt oder als Fluoreszenzlicht emittiert. Durch Messung des Fluoreszenzsignals können quantitative Rückschlüsse auf fotochemische und nichtfotochemische Ladungstrennung gezogen werden.²³ Seit etwa einem Jahrzehnt stehen kommerzielle Geräte zur Messung des Chlorophyllfluoreszenzsignals zur Verfügung. Heute sind auch miniaturisierte Messgeräte zum Freiland Einsatz erhältlich, die selbst Messungen an Extremstandorten ermöglichen (Abb. 2A).²⁴ Insbesondere die „Methode der sättigenden Lichtblitze“ bietet den Vorteil, dass die relative Quanteneffizienz, das heißt der Prozentsatz der in der Lichtreaktion der Photosynthese genutzten Elektronen, nichtdestruktiv am intakten Blatt quantifiziert werden kann.

Solche Verfahren erlauben jedoch nur die Erfassung der photosynthetischen Quanteneffizienz an einem Blatt oder einer einzelnen Stelle zu einem bestimmten Zeitpunkt. Wir haben ein Verfahren entwickelt, das es ermöglicht, Einzelmessungen zusammenzufassen und im Kronendach verteilte Messungen mittels eines mechanistischen Photosynthesemodells zu fitten. Das Ergebnis sind Lichtabhängigkeitscharakteristika, die die photosynthetische Kapazität eines ganzen Kronendachs wiedergeben.²⁵

²¹ „[. . .] one of the great uses of leaves is what has been long suspected by many, viz., to perform in some measure the same office for the support of the vegetable life, that the lungs of animals do, for the support of animal life; Plants very probably drawing thro' their leaves some part of their nourishment from the air [. . .]. And may not light also, by freely entering the expanded surfaces of leaves and flowers, contribute much to ennobling principles of vegetables.“ (Hales 1969)

²² Vgl. Baier (2008) sowie Rascher und Nedbal (2006).

²³ Vgl. Baker (2008).

²⁴ Vgl. Maxwell und Johnson (2000), Rascher *et al.* (2000), Schreiber und Bilger (1993), Schreiber *et al.* (1995) sowie Rascher *et al.* (2003).

²⁵ Vgl. Rascher *et al.* (2000) sowie Rascher *et al.* (2004).

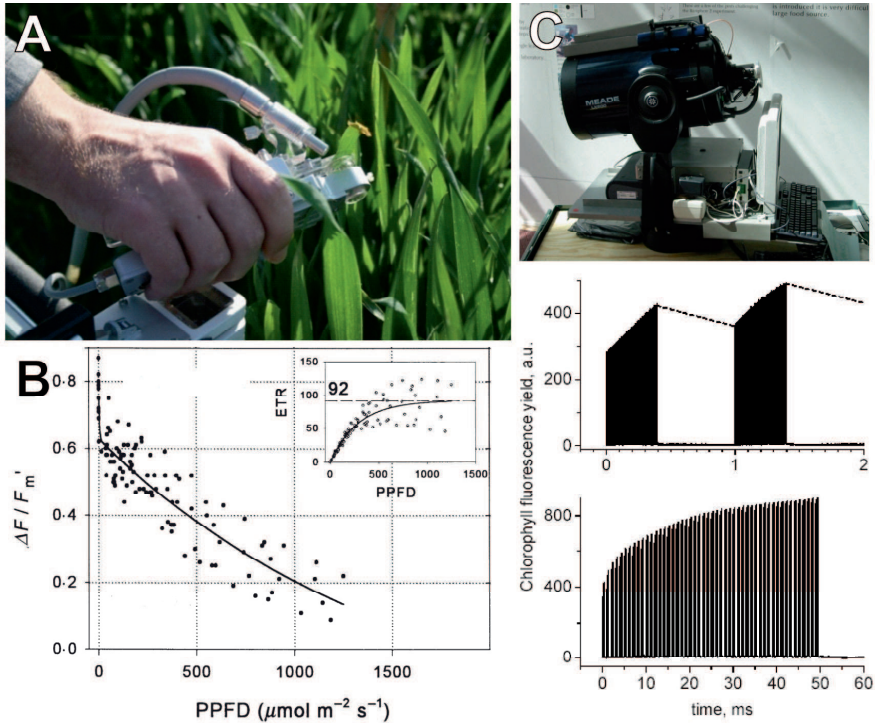


Abb. 2: Methoden der Fluoreszenzmessung. **A:** Blattklammer des kommerziellen Fluoreszenz-Yield-Analysators (Mini-PAM, Walz). **B:** Viele zufällig verteilte Einzelmessungen werden mittels eines mechanistischen Photosynthesemodells approximiert und damit Kardinalpunkte der Kronendachphotosynthese abgeleitet (modifiziert nach Rascher *et al.* 2000). **C:** Prototyp des LIFT-Fluoreszenzmessgeräts. Aus der Kinetik des Fluoreszenzsignals bei laserinduzierter Oxidation und Reduktion des Photosyntheseapparats wird der physiologische Zustand der Photosynthese abgeleitet (untere Graphen).

Skalierung vom Blatt zum Kronendach mittels Lichtabhängigkeitskurven

Zu einem bestimmten Zeitpunkt durchgeführte Chlorophyllfluoreszenzmessungen geben Einblick in den momentanen Zustand der Lichtreaktion eines einzelnen Blattes unter den gerade vorherrschenden Umweltbedingungen. Lichtabhängigkeitskurven hingegen ermöglichen, Kardinalpunkte der Photosynthese zu bestimmen, die Rückschlüsse auf Adaptation und Akklimatisation des photosynthetischen Apparates erlauben. Generell nimmt die Quanteneffizienz der Lichtreaktion am Fotosystem II ($\Delta F / F_m'$) nichtlinear mit steigender Lichtintensität ab.²⁶ Die photosynthetische Elektronentransportrate (ETR) steigt zunächst linear an, um dann bei höheren Lichtintensitäten in die Sättigung überzugehen. Die Anfangssteigung der ETR leitet sich aus der potenziellen Quanteneffizienz (F_v / F_m)

²⁶ Vgl. Rascher *et al.* (2000).

ab und ist bei höheren Pflanzen meist vergleichbar und, bis auf Fälle chronischer Fotoinhibition, konstant.²⁷

Die Lichtabhängigkeit der Photosynthese lässt sich auf Blattebene mit Hilfe eines mathematischen Modells beschreiben.²⁸ Um von der Ebene des Einzelblattes zu einer quantitativen Beschreibung der Kronendachphotosynthese zu gelangen, muss eine Vielzahl statistisch unabhängiger Punktmessungen an zufällig ausgewählten Blättern im Kronendach durchgeführt werden, um ein einfaches Photosynthesemodell zu approximieren.²⁹ An die einzelnen Messpunkte werden Exponentialfunktionen gefittet, aus denen die wesentlichen Kardinalpunkte der Lichtabhängigkeitscharakteristika bestimmt werden können. Kardinalpunkte der Lichtabhängigkeitskurven sind die potenzielle Quanteneffizienz des dunkeladaptierten Blattes (F_v/F_m), die Anfangssteigung der Elektronentransportrate bei geringer photosynthetisch aktiver Strahlung (*photon flux density* – PFD), die Lichtintensität, bei der Sättigung eintritt, (PFD_{sat}) sowie die maximale Elektronentransportrate bei Lichtsättigung (ETR_{max}) (Abb. 2B).

Bestimmung der Chlorophyllfluoreszenz aus größeren Entfernungen

Chlorophyllfluoreszenzverfahren können grundsätzlich auch aus größerer Entfernung eingesetzt werden und ermöglichen potenziell das Vermessen ganzer Kronendächer oder Ökosysteme. Die Notwendigkeit, Photosynthesecharakteristiken großer Vegetationseinheiten zu bestimmen, hat zahlreiche Arbeiten gefördert. Bei diesen Studien wurde versucht, entweder durch Messungen der Grundfluoreszenz in den Fraunhoferlinien³⁰ oder durch das Verhältnis verschiedener Fluoreszenzbanden Rückschlüsse auf die Quanteneffizienz der Photosynthese zu erhalten.³¹

Laserinduzierte Fluoreszenztransienten

Die Methode der laserinduzierten Fluoreszenztransienten (LIFT)³² misst während einer Serie von nichtsättigenden Laserpulsen die Halbwertszeiten der Oxidation und Reduktion des graduell zunehmend oxidierten Plastochinonpools des Fotosystems II (Abb. 2C). Diese zunächst in der Ozeanografie verwendete Methode wurde für Messungen an Blättern Höherer Pflanzen adaptiert.³³ Ein erster Prototyp wurde erfolgreich im Biosphere-2-Laboratorium eingesetzt und erlaubte erstmals, die ETR zweier ausgewählter Arten (*Inga sapindoides* und *Pterocarpus indicus*) im Tagesverlauf aus einer Distanz von etwa zwölf Metern zu bestimmen.³⁴ Bei einer zweiten Generation des LIFT-Apparats konnte die Anregungsenergie soweit gesenkt werden, dass er auch im offenen Gelände eingesetzt werden kann.³⁵ Nach einer Erprobungsphase in den USA und einem verbesserten Messprotokoll ist LIFT jetzt im ICG-3 des Forschungszentrums Jülich im Einsatz.³⁶

²⁷ Vgl. Bradbury und Baker (1981).

²⁸ Vgl. Farquhar *et al.* (1980).

²⁹ Vgl. Rascher *et al.* (2000).

³⁰ Vgl. Plascyk (1975), Plascyk und Gabriel (1975), Carter *et al.* (1990) sowie Moya *et al.* (2004).

³¹ Vgl. Field *et al.* (1995).

³² Vgl. Kolber *et al.* (1998).

³³ Vgl. Ananyev *et al.* (2005) sowie Kolber *et al.* (2005).

³⁴ Vgl. Osmond *et al.* (2004).

³⁵ Vgl. Kolber *et al.* (2005).

³⁶ Vgl. Pieruschka *et al.* (2008).

Sonneninduzierte Fluoreszenzemission

Um das Fluoreszenzsignal auf regionaler und globaler Skala zu erfassen, kommen aus praktischen Gründen nur passive Fernerkundungsverfahren in Frage. Das durch Sonnenlicht induzierte Fluoreszenzsignal ist im Vergleich zum an Pflanzen reflektierten Licht sehr gering und kann deshalb durch klassische Reflexionsmessungen nicht quantifiziert werden. Plascyk entwickelte bereits Anfang der 1970er Jahre ein Konzept, mit dem das relativ schwache Fluoreszenzsignal unter natürlichen Lichtbedingungen erfasst werden kann.³⁷ Grundlage dieses Verfahrens ist, dass das emittierte Fluoreszenzlicht grundsätzlich eine geringere Energie hat als das absorbierte Lichtquant und daher das Fluoreszenzsignal zu einem langwelligeren Lichtspektrum hin verschoben ist. Die Chlorophyllfluoreszenz höherer Pflanzen findet im dunkelroten und nahen infraroten Lichtspektrum statt und hat zwei Maxima bei 685 und 740 Nanometer.³⁸ Die Hauptabsorption des Chlorophylls findet hingegen zwischen 400 und 700 Nanometer statt. Betrachtet man nun das Lichtspektrum der Sonne spektral hoch aufgelöst, dann fällt auf, dass aufgrund der spezifischen Absorptionseigenschaften der Sonnen- und Erdatmosphäre gewisse Wellenlängen nicht vorkommen. Diese spezifischen und genau bekannten Banden werden als „Fraunhoferlinien“ (Absorption in der Sonnenatmosphäre) oder „atmosphärische Absorptionsbanden“ (Absorption in der Erdatmosphäre) bezeichnet. In den Fraunhoferlinien beziehungsweise atmosphärischen Absorptionsbanden fällt keine oder eine stark reduzierte Menge an Lichtquanten auf die Erdoberfläche, und eine entsprechend geringe Menge wird an Pflanzenoberflächen reflektiert. Da das Fluoreszenzsignal jedoch auch in den Wellenlängenbereichen der Absorptionsbanden emittiert wird, fällt das Fluoreszenzsignal im Vergleich zum reflektierten Licht relativ stark aus.

Diesen physikalischen Umstand macht man sich bei einem Messverfahren zunutze, der als *Fraunhofer Line Discrimination* (FLD) beschrieben wurde.³⁹ Bei diesem Verfahren wird jeweils am Rande (Fluoreszenz und Reflexion) und in den Absorptionsbanden (nur Fluoreszenz) das von Pflanzen abgegebene Licht gemessen und mit Hilfe eines nicht-fluoreszierenden Standards die Tiefe der Absorptionsbande und die Intensität des Chlorophyllfluoreszenzsignals bestimmt. Diese Methode gelangte in den letzten Jahren wieder in den Fokus der Forschung, da es mittlerweile technisch möglich ist, in den spektral relativ schmalen Absorptionsbanden zu messen. Der Ansatz ist Basis der von der Europäischen Raumfahrtagentur ausgewählten Fluoreszenz-EXplorer-Studie (FLEX-Studie) als einer möglichen Satellitenmission.⁴⁰

Jülich Plant Phenotyping Center – Nichtinvasive Schlüsseltechnologie für die Pflanzenzüchtung und die Funktionelle Genomforschung

Die vorgestellten Untersuchungen zum pflanzlichen Wachstum und zur Photosynthese sind auch ausgewählte Beispiele, wie durch neuartige Methoden und Konzepte in den Pflanzenwissenschaften massive Fortschritte in Richtung quantitativer Erfassung und Ana-

³⁷ Vgl. Plascyk (1975).

³⁸ Vgl. Lichtenthaler und Rinderle (1988).

³⁹ Vgl. Plascyk (1975), Plascyk und Gabriel (1975), Carter *et al.* (1990) sowie Moya *et al.* (2004).

⁴⁰ Vgl. Rascher *et al.* (2007) sowie Rascher und Pieruschka (2008).

lyse gelingen können. Dabei wird deutlich, dass insbesondere die Dynamik von pflanzlichen Strukturen und Funktionen von essenzieller Bedeutung ist und dass eine adäquate Simulation beziehungsweise Erfassung der räumlichen und zeitlichen Struktur von Umweltparametern unerlässlich ist. Eine weitere Voraussetzung sowohl für die Ableitung von mechanistischem Wissen als auch für die praktische Pflanzenzüchtung ist die Verwendung genetisch klar definierten Pflanzenmaterials. Hieraus ergibt sich das so genannte Phänotypisierungsdreieck (Abb. 3). Während die genetischen Ressourcen durch die Molekularbiologie, Genetik und die Züchter bereitgestellt werden, bedürfen dabei insbesondere die Simulation beziehungsweise das Monitoring der Umweltfaktoren und die Entwicklung von geeigneten Sensoren und Verfahren weiterer intensiver Forschung. Alle drei Ebenen (genetisch definiertes Pflanzenmaterial, Sensorik und Umwelt) müssen zu integrierten Phänotypisierungsansätzen zusammengeführt werden, um relevante und aussagekräftige Daten zu liefern.

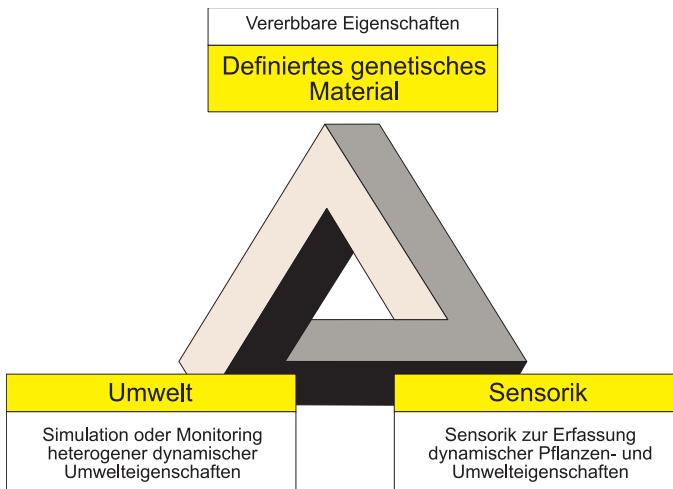


Abb. 3: Das Phänotypisierungsdreieck

Nichtinvasive Verfahren, wie sie auch in den Beispielen Wachstum und Photosynthese entwickelt und eingesetzt wurden, sind hierfür in besonderer Weise geeignet. Durch die technische Weiterentwicklung von vor allem in der Medizin eingesetzten Methoden, aber auch durch die interdisziplinäre Zusammenarbeit in Verbänden zur Fernerkundung und durch die Entwicklung dediziert auf Fragen der Pflanzenwissenschaften abgestimmter Technologien konnte sich die Pflanzenphänotypisierung als neues Gebiet in der Pflanzenforschung entwickeln.

Das Jülich Plant Phenotyping Center (JPPC)⁴¹ nimmt aufgrund seiner einmaligen Infrastruktur vor allem im Bereich von nichtinvasiven Methoden zur quantitativen Untersuchung pflanzlicher Eigenschaften, seiner Kompetenz in der Entwicklung neuartiger Messverfahren und der jahrelangen Erfahrung in der Anwendung von Pflanzenphänotypisierung

⁴¹ Vgl. <http://www.jpcc.de> (16.09.2009).

in Nutzpflanzen und grundlagenwissenschaftlichen Modellpflanzen sowie in ökologischen Fragestellungen national und international eine zentrale Position ein.

Zur Simulation relevanter Umweltbedingungen stehen zahlreiche Klimakammern und hochmoderne Gewächshäuser zur Verfügung, in denen auch dynamische Veränderungen von Schlüsselparametern wie Temperatur (auch unterschiedliche Temperaturen für Spross und Wurzel), Lichtquantität und -qualität, Luftfeuchte, CO₂, Ozon und so weiter variiert werden können. Derzeit werden Feldstandorte aufgebaut, in denen Pflanzen in Kleinbeständen experimentell unterschiedlichen Bedingungen ausgesetzt werden können.

Automatisierte Systeme zur Analyse von Pflanzen mit hohem und mittlerem Durchsatz sind in Klimakammern und Gewächshäusern etabliert. Hier können automatisiert größere Populationen von Pflanzen zu Vermessungseinrichtungen transportiert und dort nichtinvasiv vermessen werden („Plant-to-Sensor-Konzept“); andererseits können auch Sensoren und Kameras über die zu vermessenden Pflanzen geführt werden („Sensor-to-Plant-Konzept“). Hierdurch wird eine maximale Flexibilität der Einrichtungen erreicht.

Verfahren zur mechanistischen Phänotypisierung beinhalten sowohl optische als auch nichtoptische Verfahren. Hierzu gehören auch drei speziell auf Pflanzen ausgerichtete MRI⁴²-Geräte mit unterschiedlichen Größen von Pflanzen und Feldstärken beziehungsweise Auflösungen, in denen sogar unterschiedliche Klimabedingungen appliziert und nichtinvasive Untersuchungen beispielsweise zur Struktur und Funktion von Wurzeln im Boden sowie von Sprossorganen und Transportprozessen durchgeführt werden können.⁴³ Mit Hilfe eines ebenfalls für Pflanzen entwickelten Positronenemissionstomografen (PET) können kurzlebige radioaktive Isotope wie ¹¹C bei ihrem Transport innerhalb der Pflanze nichtinvasiv verfolgt werden. Zudem stehen zahlreiche kamerabasierte Verfahren zur Verfügung, um Wachstums-, Transport- und Austauschprozesse quantitativ zu vermessen.

Für verschiedene Analysen in mittlerem und hohem Durchsatz werden optische Verfahren mit Kameras unterschiedlicher spektraler Empfindlichkeit (schwarz-weiß, Farbe, hyperspektral, nahes Infrarot (NIR), Thermografie), aber auch nichtoptische Verfahren (zum Beispiel Mikrowellen) eingesetzt.

In Feldmessungen können Pflanzen auf Parzellen mit Hilfe von passiven und aktiven optischen Verfahren inklusive 3-D-Vermessungen auf Basis eines automatisierten Positionierungssystems quantitativ analysiert werden.

Das JPPC bietet so eine Vielfalt an Technologien zur Unterstützung der quantitativen Analyse dynamischer pflanzlicher Eigenschaften unter definierten beziehungsweise exakt erfassten Umweltbedingungen.

Dynamik von Pflanzen – Neue Wege, neue Lösungen

Pflanzen sind wesentlich dynamischer als häufig angenommen. Durch die enge Verknüpfung ihrer Leistungsfähigkeit mit der zeitlich und räumlich heterogenen Umwelt um sie herum haben Pflanzen sehr effektive Mechanismen entwickelt, wie sie sich vor zu viel Fluktuation schützen, gleichzeitig aber effektiv die Ressourcen der Umwelt nutzen können. Die Pflanzenwissenschaften sind erst langsam in der Lage, insbesondere durch die Einbeziehung moderner Verfahren die Dynamik von Pflanzen quantitativ zu erfassen und

⁴² MRI: Magnetresonanz-Imaging – bildgebende Kernspintomografie

⁴³ Vgl. Jahnke *et al.* (2009).

deren Rolle im Leben von Pflanzen zu verstehen. Vorrangiges Ziel ist es, in einem holistischen Ansatz skalenübergreifend molekulare, physiologische und ökologische Erkenntnisse zu verknüpfen, um das Wissen über Pflanzen zu vermehren, es zielgerichtet anwenden zu können und damit wesentliche Beiträge der Pflanzenwissenschaften zu großen Herausforderungen der Gesellschaft zu leisten.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei allen Mitarbeitern des ICG-3: Phytosphäre für die fruchtbare Zusammenarbeit, ohne die der Aufbau des Instituts in seiner jetzigen Form nicht möglich gewesen wäre. Große Teile des Beitrags basieren auf den Habilitationsschriften von Uwe Rascher und Achim Walter.

Literatur

- AINSWORTH, E. A., A. WALTER und U. SCHURR (2005). „Glycine max leaflets lack a base-tip gradient in growth rate“, *Journal of Plant Research* 118, 343–346.
- ANANYEV, G., Z. S. KOLBER, D. KLIMOV, P. G. FALKOWSKI, J. A. BERRY, U. RASCHER, R. MARTIN und C. B. OSMOND (2005). „Remote sensing of heterogeneity in photosynthetic efficiency, electron transport and dissipation of excess light in *Populus deltoides* stands under ambient and elevated CO₂ concentrations, and in a tropical forest canopy, using a new laser-induced fluorescence transient device“, *Global Change Biology* 11, 1195–1206.
- BAIER, M. (2008). „Sicherheit und Kontrolle im pflanzlichen Kraftwerk – Beiträge zur Regulation des plastidären antioxidativen Schutzsystems“, in: Alfons LABISCH (Hrsg.). *Jahrbuch der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf 2007/2008*. Düsseldorf, 263–273.
- BAKER, N. R. (2008). „Chlorophyll Fluorescence: A Probe of Photosynthesis In Vivo“, *Annual Review of Plant Biology* 59, 89–113.
- BEN-HAJ-SALAH, H. und F. TARDIEU (1995). „Temperature affects expansion rate of maize leaves without change in spatial distribution of cell length. Analysis of the coordination between cell division and cell expansion“, *Plant Physiology* 109, 861–870.
- BRADBURY, M. und N. R. BAKER (1981). „Analysis of the slow phase of the chlorophyll fluorescence induction curve. Changes in the redox state of photosystem II electron acceptors and fluorescence emission from photosystem I and II“, *Biochimica Biophysica Acta* 635, 542–551.
- CARTER, G. A., A. F. THEISEN und R. J. MITCHELL (1990). „Chlorophyll fluorescence measured using the Fraunhofer line-depth principle and relationship to photosynthetic rate in the field“, *Plant, Cell & Environment* 13, 79–83.
- DODD, A. N., N. SALATHIA, A. HALL, E. KÉVEI, R. TÓTH, F. NAGY, J. M. HIBBERD, A. J. MILLAR und A. A. R. WEBB (2005). „Plant circadian clocks increase photosynthesis, growth, survival, and competitive advantage“, *Science* 309, 630–633.
- FARQUHAR, G. D., S. VON CAEMMERER und J. A. BERRY (1980). „A biochemical model of photosynthetic CO₂ assimilation in leaves of C₃ species“, *Planta* 149, 78–90.
- FIELD, C. B., J. A. GAMON und J. PENUELAS (1995). „Remote sensing of terrestrial photosynthesis“, in: E.-D. Schulze und M. M. Caldwell (Hrsg.). *Ecophysiology of Photosynthesis*. Heidelberg, 511–527.
- HALES, S. (1969). *Vegetable Statics*. London (1. Auflage 1727).
- HUMMEL, G. M., M. NAUMANN, U. SCHURR und A. WALTER (2007). „Root growth dynamics of *Nicotiana attenuata* seedlings are affected by simulated herbivore attack“, *Plant, Cell and Environment* 30, 1326–1336.

- HUMMEL, G. M., U. SCHURR, I. T. BALDWIN und A. WALTER (2009). „Herbivore-induced jasmonic acid bursts in leaves of *Nicotiana attenuata* mediate short-term reductions in root growth“, *Plant, Cell and Environment* 32, 134–143.
- HÜVE, K., M. M. CHRIST, E. KLEIST, R. UERLINGS, Ü. NIINEMETS, A. WALTER und J. WILD T (2007). „Simultaneous growth and emission measurements demonstrate an interactive control of methanol release by leaf expansion and stomata“, *Journal of Experimental Botany* 58, 1783–1793.
- JAHNKE, S., M. I. MENZEL, D. VAN DUSSCHOTEN, G. W. ROEB, J. BÜHLER, S. MINWUYELET, P. BLÜMLER, V. M. TEMPERTON, T. HOMBACH, M. STREUN, S. BEER, M. KHODAVERDI, K. ZIEMONS, H. H. COENEN und U. SCHURR (2009). „Combined MRI–PET dissects dynamic changes in plant structures and functions“, *The Plant Journal*, doi: 10.1111/j.1365–313X.2009.03888.x.
- KESSLER, A. und I. T. BALDWIN (2002) „Plant responses to insect herbivory: The emerging molecular analysis“, *Annual Review of Plant Biology* 53, 299–328.
- KOLBER, Z. S., O. PRASIL und P. G. FALKOWSKI (1998). „Measurements of variable chlorophyll fluorescence using fast repetition rate techniques. I. Defining methodology and experimental protocols“, *Biochimica et Biophysica Acta* 1367, 88–106.
- KOLBER, Z., D. KLIMOV, G. ANANYEV, U. RASCHER, J. A. BERRY und C. B. OSMOND (2005). „Measuring photosynthetic parameters at a distance: Laser induced fluorescence transient (LIFT) method for remote measurements of PSII in terrestrial vegetation“, *Photosynthesis Research* 84, 121–129.
- LICHTENTHALER, H. K. und U. RINDERLE (1988). „The role of chlorophyll fluorescence in the detection of stress conditions in plants“, *Critical Reviews in Analytical Chemistry* 19, S29–S85.
- MATSUBARA, S., V. HURRY, N. DRUART, C. BENEDICT, I. JANZIK, A. CHAVARRIA-KRAUSER, A. WALTER und U. SCHURR (2006). „Nocturnal changes in leaf growth of *Populus deltoides* are controlled by cytoplasmic growth“, *Planta* 223, 1315–1328.
- MAXWELL, K. und G. N. JOHNSON (2000). „Chlorophyll fluorescence – a practical guide“, *Journal of Experimental Botany* 51, 659–668.
- MOYA, I., L. CAMENEN, S. EVAIN, Y. GOULAS, Z. G. CEROVIC, G. LATOUCHE, J. FLEXAS und A. OUNIS (2004). „A new instrument for passive remote sensing. I. Measurements of sunlight-induced chlorophyll fluorescence“, *Remote Sensing of the Environment* 91, 186–197.
- NAGEL, K. A., U. SCHURR und A. WALTER (2006). „Dynamics of root growth stimulation in *Nicotiana tabacum* in increasing light intensity“, *Plant, Cell and Environment* 29, 1936–1945.
- OSMOND, C. B., G. ANANYEV, J. BERRY, P. FALKOWSKI, C. LANGDON, G. LIN, R. MONSON, C. J. NICHOL, U. RASCHER, S. SMITH und D. YAKIR (2004). „Changing the way we think about global change research: scaling up in experimental ecosystem science“, *Global Change Biology* 10, 393–407.
- PIERUSCHKA, R., D. KLIMOV, U. RASCHER, Z. S. KOLBER und J. A. BERRY (2008). „Remote monitoring of photosynthetic efficiency using Laser Induced Fluorescence Transient (LIFT) Technique“, in: J. F. ALLEN, E. GANTT, J. H. GOLBECK und B. OSMOND (Hrsg.). *Proceedings of the 14th International Congress on Photosynthesis – Photosynthesis: Energy from the Sun*. Dordrecht, 1539–1544.
- PLASCYK, J. A. (1975). „Mk Ii Fraunhofer line discriminator (FLD-Ii) for airborne and orbital remote-sensing of solar-stimulated luminescence“, *Optical Engineering* 14, 339–346.
- PLASCYK, J. A. und F. C. GABRIEL (1975). „Fraunhofer line discriminator Mkii – Airborne instrument for precise and standardized ecological luminescence measurement“, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* 24, 306–313.

- RASCHER, U., M. LIEBIG, U. LÜTTGE (2000). „Evaluation of instant light-response curves of chlorophyll-fluorescence parameters obtained with a portable chlorophyll fluorometer on site in the field“, *Plant, Cell & Environment* 23, 1397–1405.
- RASCHER, U., M. LAKATOS, B. BÜDEL und U. LÜTTGE (2003). „Photosynthetic field capacity of cyanobacteria of a tropical inselberg of the Guiana Highlands“, *European Journal of Phycology* 38, 247–256.
- RASCHER, U., E. G. BOBICH, G. H. LIN, A. WALTER, T. MORRIS, M. NAUMANN, C. J. NICHOL, D. PIERCE, K. BIL, V. KUDEYAROV und J. A. BERRY (2004). „Functional diversity of photosynthesis during drought in a model tropical rainforest – the contributions of leaf area, photosynthetic electron transport and stomatal conductance to reduction in net ecosystem carbon exchange“, *Plant, Cell & Environment* 27, 1239–1256.
- RASCHER U. und L. NEDBAL (2006). „Dynamics of plant photosynthesis under fluctuating natural conditions“, *Current Opinion in Plant Biology* 9, 671–678.
- RASCHER, U., C. L. NICHOL, C. SMALL und L. HENDRICKS (2007). „Monitoring spatio-temporal dynamics of photosynthesis with a portable hyperspectral imaging system“, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 73, 45–56.
- RASCHER, U. und R. PIERUSCHKA (2008). „Spatio-temporal variations of photosynthesis – The potential of optical remote sensing to better understand and scale light use efficiency and stresses of plant ecosystems“, *Precision Agriculture* 9 (2008) 6, 355–366.
- SCHREIBER U. und W. BILGER (1993). „Progress in chlorophyll fluorescence research: major developments during the past years in retrospect“, *Progress in Botany* 53, 151–173.
- SCHREIBER U., W. BILGER und C. NEUBAUER (1995). „Chlorophyll fluorescence as a noninvasive indicator for rapid assessment of in vivo photosynthesis“, in: E. D. SCHULZE und M. M. CALDWELL (Hrsg.). *Ecophysiology of photosynthesis*. Berlin u. a., 49–70.
- SCHURR, U. (1997). „Growth physiology and measurement of growth“, *Progress in Botany* 59, 355–373.
- SCHURR, U., A. WALTER und U. RASCHER (2006). „Functional dynamics of plant growth and photosynthesis – from steady-state to dynamics – from homogeneity to heterogeneity“, *Plant Cell & Environment* 29, 340–352.
- SCHWACHTJE, J., P. E. H. MINCHIN, S. JAHNKE, J. T. VAN DONGEN, U. SCHITTKO I. T. BALDWIN (2006). „SNF1-related kinases allow plants to tolerate herbivory by allocating carbon to roots“, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 103, 12935–12940.
- SMITH, A. S. und M. STITT (2007). „Coordination of carbon supply and plant growth“, *Plant, Cell and Environment* 30, 1126–1149.
- WALTER, A., R. FEIL und U. SCHURR (2002). „Restriction of nyctinastic movements and application of tensile forces to leaves affects diurnal patterns of expansion growth“, *Functional Plant Biology* 29, 1247–1258.
- WALTER, A. und U. SCHURR (2005). „Dynamics of leaf and root growth – endogenous control versus environmental impact“, *Annals of Botany* 95, 891–900.
- WALTER, A., M. M. CHRIST, G. A. BARRON-GAFFORD, K. A. GRIEVE, R. MURTHY und U. RASCHER (2005). „The effect of elevated CO₂ on diel leaf growth cycle, leaf carbohydrate content and canopy growth performance of *Populus deltoides*“, *Global Change Biology* 11, 1207–1219.
- WALTER, A., H. SCHARR, F. GILMER, R. ZIERER, K. A. NAGEL, M. ERNST, A. WIESE, O. VIRNICH, M. M. CHRIST, B. UHLIG, S. JÜNGER und U. SCHURR (2007). „The dynamics of seedling growth acclimation towards altered light conditions can be quantified via GROWSCREEN – a setup designed for rapid optical phenotyping of different plant species“, *New Phytologist* 174, 447–455.

- WALTER, A., W. K. SILK und U. SCHURR (2009). „Environmental effects on spatial and temporal patterns of leaf and root growth“, *Annual Review in Plant Biology* 60, 279–304.
- WIESE, A., M. M. CHRIST, O. VIRNICH, U. SCHURR und A. WALTER (2007). „Spatio-temporal leaf growth patterns of *Arabidopsis thaliana* and evidence for sugar control of the diel leaf growth cycle“, *New Phytologist* 174, 752–761.

ISBN 978-3-940671-33-2



9 783940 671332