

# 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<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X  
Herstellung: WAZ-Druck GmbH & Co. KG, Duisburg  
Gesetzt aus der Adobe Times  
ISBN 978-3-940671-33-2

## Inhalt

<b>Vorwort des Rektors</b> .....	13
<b>Gedenken</b> .....	15
<b>Hochschulrat</b> .....	17
ULRICH HADDING und ERNST THEODOR RIETSCHEL 18 Monate Hochschulrat der Heinrich-Heine-Universität: Sein Selbstverständnis bei konkreten, strategischen Entscheidungsvorgängen .....	19
<b>Rektorat</b> .....	25
H. MICHAEL PIPER Ein Jahr des Aufbruchs .....	27
<b>Medizinische Fakultät</b>	
<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
<b>Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät</b>	
<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
<b>Philosophische Fakultät</b>	
<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
<b>Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät</b>	
<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



**PETER WESTHOFF**

## **C4-Reis – Ein Turbolader für den Photosynthesemotor der Reispflanze**

„Hast du heute schon deinen Reis gegessen?“ – so begrüßten sich früher die Menschen in China und Südostasien. Nichts könnte die Bedeutung von Reis für das tägliche Leben dieser Menschen besser beschreiben als diese Begrüßungsform. Reis (botanischer Name: *Oryza sativa*) gehört wie unsere Getreide zur Familie der Süßgräser. Er ist tropischen Ursprungs und im Zeitraum zwischen 10.000 bis 6.000 vor Christus aus einer Wildform (*Oryza rufipogon*) durch die Selektion des Menschen hervorgegangen. Archäologische und molekularbiologische Befunde zeigen, dass diese Domestizierung in Südchina ablief. Von dort aus verbreitete sich der Reisanbau zunächst über den ganzen Süden und Osten Asiens und schließlich bis nach Europa und in die Neue Welt.

### **Reis – Das wichtigste Grundnahrungsmittel Asiens**

Etwa 90 Prozent der gesamten Welternte an Reis werden in Asien produziert, und das Gros wird auch dort verzehrt. Reis macht etwa 25 Prozent der täglichen Kalorienzufuhr aus und ist damit das Hauptgrundnahrungsmittel Asiens. In den Staaten Südasiens findet sich aber auch die Mehrheit der Armen dieser Welt. Sie ernähren sich zu mehr als 60 Prozent von Reis.<sup>1</sup> Die jährliche Reisproduktion und der Reispreis greifen daher existenziell in das Leben vieler Menschen ein.

Reis wird überwiegend im Nassreisanbau kultiviert. Die Reissämlinge werden in Saatbeeten angezogen und auf überschwemmten Äckern ausgesetzt. Während des Wachstums und der Reifezeit stehen die Reispflanzen im Wasser, erst zur Ernte werden die Felder trockengelegt. Im Nassreisanbau werden die höchsten Erträge erzielt. Reis kann aber auch auf trockenen Böden an Berghängen mit hoher Luftfeuchtigkeit ausgesät und angezogen werden. Dieser so genannte Bergreis ist global gesehen unbedeutend, spielt aber lokal eine große Rolle, da er für diejenigen Bauern, die diesen Reis für ihren Eigenbedarf anbauen, ein wichtiger Bestandteil ihrer Nahrung ist.

### **Die Weltbevölkerung wächst bis zum Jahr 2050 um zwei bis drei Milliarden Menschen**

Die Reisproduktion hat sich von 1970 bis 2005 etwa verdoppelt (Abb. 1). Das ist im Wesentlichen ein Erfolg der „Grünen Revolution“, in der es den Reiszüchtern am Internationalen Reiserforschungsinstitut (IRRI) auf den Philippinen gelang, Kurzstrohreisarten zu züchten. Beim Kurzstrohgetreide ist der vegetative Pflanzenkörper reduziert und die dadurch freigewordenen Photoassimilate können in die Bildung von Samen fließen (Abb. 2). Die beeindruckenden Ertragssteigerungen der 1970er und 80er Jahre waren aber nicht nur

---

<sup>1</sup> Vgl. Dawe (2007).

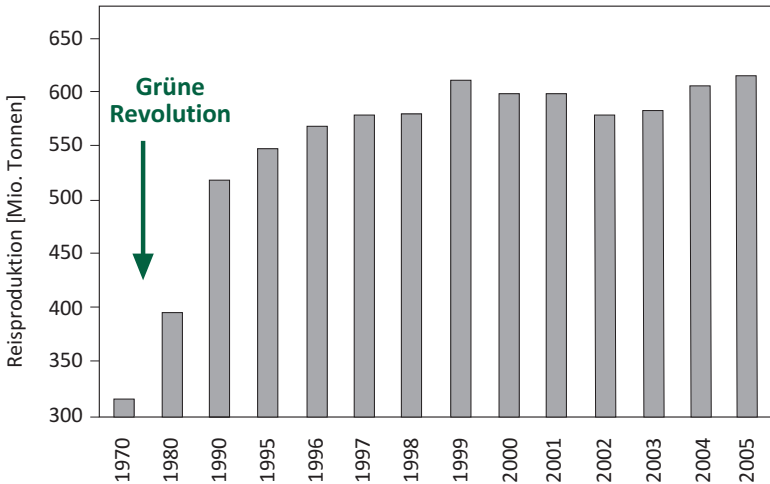


Abb. 1: Weltreisproduktion von 1970 bis 2005; Die Daten entstammen dem Report von 2006 der *International Rice Commission* der Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). <http://www.fao.org/ag/agp/agpc/doc/field/commrice/pages/finalreport.pdf> (22.10.2009).

auf die Genetik der neuen Reisvarietäten zurückzuführen, sondern auch auf eine Verbesserung und Intensivierung des Reisanbaus durch künstliche Bewässerung und den Einsatz von Düngemitteln und Pestiziden.

Seit etwa Mitte der 1990er Jahre stagnieren die Erträge (Abb. 1). Trotz großer Züchtungsanstrengungen wurde bisher kein weiterer Ertragsprung erzielt, der dem der „Grünen Revolution“ gleichkommt. Dem stehen Prognosen der Vereinten Nationen gegenüber, dass die Bevölkerung der Länder des südlichen Asiens, in denen Reis das Hauptgrundnahrungsmittel ist, bis 2050 um fast 50 Prozent ansteigt (Tab. 1). Auch in Afrika ist ein drastischer Bevölkerungsanstieg zu erwarten und damit wird klar, dass gewaltige Anstrengungen erforderlich sind, um die zwei bis drei Milliarden zusätzlichen Menschen ernähren zu können.<sup>2</sup> Eine zweite „Grüne Revolution“ ist daher unumgänglich. Diese zweite „Grüne Revolution“<sup>3</sup> muss Nahrungspflanzen züchten, die ertragreicher als ihre Vorgänger sind, aber gleichzeitig die Umweltressourcen Wasser und Mineraldünger effizienter nutzen können.<sup>4</sup>

### Eine zweite „Grüne Revolution“ beim Reis – Wo könnte sie ansetzen?

Pflanzen nutzen die Energie der Sonnenstrahlung und wandeln mit dieser Sonnenenergie über den Prozess der Photosynthese das Kohlendioxid der Luft in Kohlenhydrate (Zucker) um (Abb. 3). Als Abfallprodukt entsteht dabei Sauerstoff. Die Kohlenhydrate dienen der Pflanze als Baustoffe und sekundäre Energielieferanten. Sie werden benötigt, damit der Pflanzenkörper inklusive der Photosynthesemaschinerie in den Blättern aufgebaut werden

<sup>2</sup> Vgl. Huang *et al.* (2002).

<sup>3</sup> Vgl. Khush (2001b).

<sup>4</sup> Vgl. Tilmann *et al.* (2002).



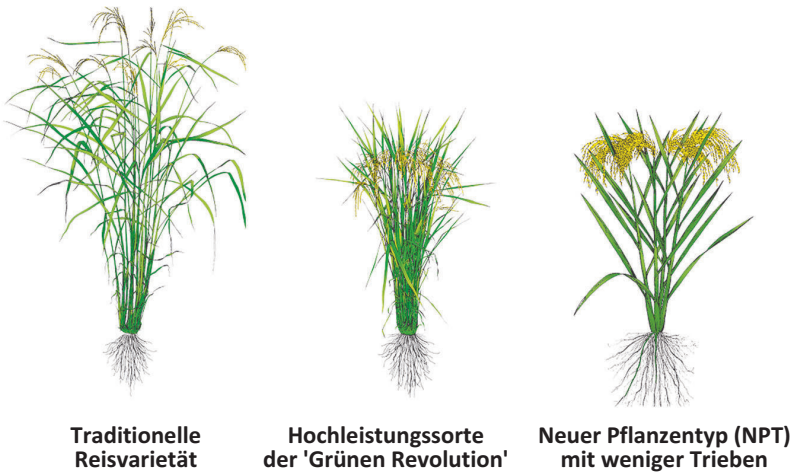


Abb. 2: Die „Grüne Revolution“ beim Reis – weniger Bestockungstriebe und mehr Samen; die Bilder entstammen der Fotodatenbank des IRRI, Los Banos, Philippinen (<http://www.ricephotos.org/>), und unterliegen dem *Creative-Commons*-Lizenzschema.

Land	Bevölkerung (in Millionen)		Anstieg	
	1998	2050 (projiziert)	in Millionen	in Prozent
Bangladesch	124	218	94	76
China	1.255	1.517	262	21
Indien	976	1533	557	57
Indonesien	207	318	111	54
Pakistan	148	357	209	141
Philippinen	72	131	59	82
Vietnam	78	130	52	67
<i>Summe</i>	2.860	4.204	1.344	47

Tab. 1: Bevölkerungsentwicklung in Asien; die Rohdaten entstammen der Arbeit von Khush (2001a).

kann; sie werden aber auch am Ende der Wachstumsperiode für die Bildung von Samen (Körnern) verwendet. Je mehr Kohlenhydrate in der Photosynthese hergestellt und am Ende der Vegetationsperiode für die Körnerbildung zur Verfügung stehen und nicht zuvor für den Aufbau des Pflanzenkörpers verwendet worden sind, desto höher ist der Korn-ertrag. Pflanzenzüchter nennen das Verhältnis von Korn-ertrag zur Gesamtbiomasse den Ernteindex. Die Verbesserung des Ernteindex war im Übrigen ein wesentliches Ergebnis der „Grünen Revolution“. Die Hochleistungssorten waren von kleinerer Statur als die traditionellen Varietäten, und die eingesparten Kohlenhydrate konnten in die Erzeugung der Körner eingeschleust werden. Heutige Hochleistungssorten des Reises erreichen unter optimalen Anzuchtbedingungen einen Ernteindex von bis zu 0,55; das heißt, mehr als die Hälfte der Gesamtbiomasse besteht aus Körnern. Mit diesem Wert scheint aber eine Grenze erreicht worden zu sein, die sich nicht mehr überschreiten lässt.

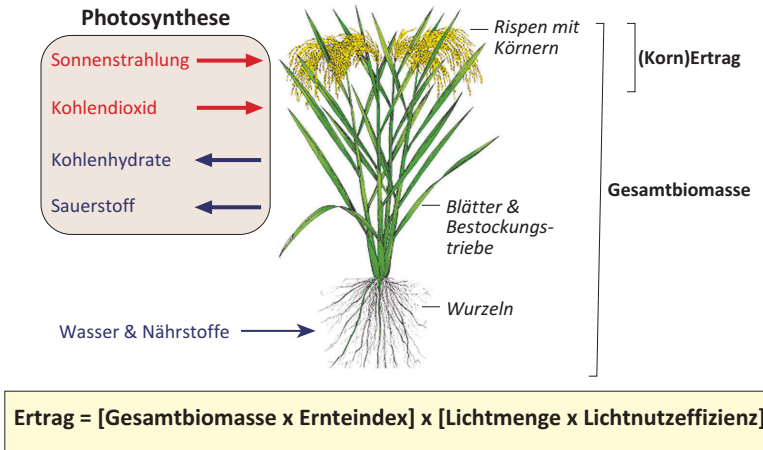


Abb. 3: Photosynthese und Ertrag

Wie viel Kohlenhydrate und damit Biomasse eine Pflanze bildet, hängt von der Sonnenstrahlung ab. Je mehr Sonnenstrahlung die Pflanze im Verlauf einer Vegetationsperiode empfängt, desto aktiver ist ihre Photosynthese und desto mehr Biomasse häuft sie an (Abb. 3). Die im Prinzip nutzbare Menge an Sonnenstrahlung ist eine Frage der geografischen Breite und variiert entsprechend den jeweiligen klimatischen Bedingungen des Standortes. Der Mensch kann also diese Größe nicht beeinflussen.

Wenn nun eine weitere Steigerung des Ernteindex keine realistische Option ist und auch die zur Verfügung stehende Sonnenstrahlung nicht beeinflussbar ist, was bleibt dem Pflanzenzüchter und Genetiker, wenn er trotzdem den Kornertrag beim Reis steigern möchte beziehungsweise muss? Die Gleichung in Abbildung 3 weist uns einen Weg. Die Menge der von der Pflanze aufgenommenen Sonnenstrahlung bestimmt nämlich nicht allein, wie viel Biomasse erzeugt wird. Entscheidend ist vielmehr, wie effizient die Pflanze mit der Sonnenstrahlung umgeht, das heißt, wie viel Lichtquanten aufgenommen werden müssen, um eine Einheit Kohlenhydrate aus dem Kohlendioxid zu erzeugen. Diese Lichtnutzeffizienz ist eine wichtige Größe, die genetisch determiniert ist und in der sich die Photosynthesemaschinerien von Pflanzen drastisch unterscheiden können.

Das Ausmaß der Unterschiede veranschaulicht Abbildung 4. Pflanzen wie Mais, Zuckerrohr oder die Hirsen nutzen das Sonnenlicht weitaus effizienter aus als Gerste, Weizen oder Reis. Offenbar besitzen die ersteren Pflanzen eine Art Hochleistungsphotosynthese – bildlich gesprochen ist ihr Photosynthesemotor mit einem Turbolader ausgestattet. Und in der Tat unterscheiden sich beide Pflanzengruppen in der Art ihrer Photosynthese. Während Weizen, Gerste und Reis die so genannte C3-Photosynthese betreiben, gehören Mais, Zuckerrohr und die Hirsen zu den C4-Pflanzen. Könnte diese Turboform der Photosynthese eine Option darstellen, um den Kornertrag beim Reis langfristig zu steigern?

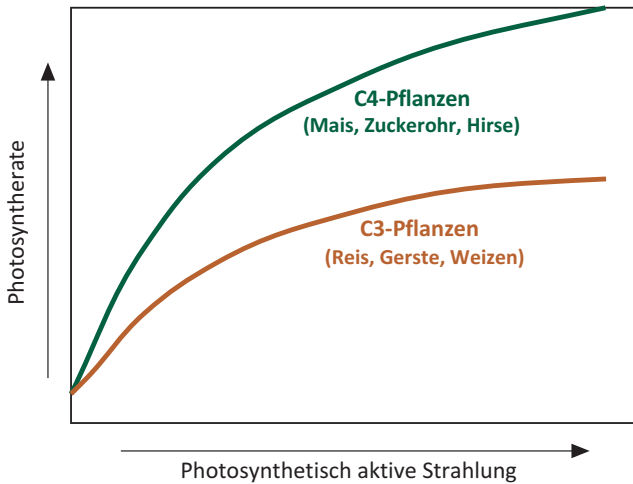


Abb. 4: Mais besitzt eine effizientere Form der Photosynthese als Reis; die Abbildung veranschaulicht schematisch, dass C4-Pflanzen pro Einheit photosynthetisch aktiver Strahlung mehr Kohlendioxid in Kohlenhydrate überführen können als C3-Pflanzen.

## Die C3-Form der Photosynthese – Kein intelligentes Design

Die C3-Photosynthese ist eine alte Erfindung. Sie entstand vor etwa 2,5 Milliarden Jahren und hat sich seitdem in ihren Grundzügen nicht mehr wesentlich verändert. Sie besteht aus zwei Modulen, die hintereinandergeschaltet sind. Im ersten Modul, der so genannten Lichtreaktion, wird das Sonnenlicht gesammelt und seine Energie dazu benutzt, um chemische Energie (ATP) und gebundenen Wasserstoff (NADPH) zu erzeugen. Die Lichtreaktionen der Photosynthese laufen an einer spezialisierten Biomembran, der Thylakoidmembran, ab, in die vier verschiedene photosynthetische Proteinkomplexe in linearer Abfolge eingebettet sind. Der Wasserstoff des NADPHs entstammt dem Wasser ( $H_2O$ ), als Quasi-Abfallprodukt entsteht in der Lichtreaktion der Photosynthese Sauerstoff (Abb. 5).

Das zweite Modul wird nach seinem Entdecker als Calvin-Zyklus bezeichnet. Der Zyklus besteht aus einer Folge von mehr als zehn Enzymen (Katalysatoren), die dafür sorgen, dass das Kohlendioxid ( $CO_2$ ) an ein Akzeptormolekül mit fünf Kohlestoffatomen (C5-Körper) gebunden und unter Wasserstoff- und Energieverbrauch zu einem Zucker umgewandelt wird. Im Zyklus wird anschließend auch das Akzeptormolekül regeneriert. Die Ribulosebisphosphat-Carboxylase/Oxygenase (Kurzform: Rubisco) stellt das zentrale Enzym dieses Zyklus dar. Sie heftet das Kohlendioxid an das Akzeptormolekül (Carboxylaseaktivität des Enzyms), und es entsteht ein Zwischenprodukt mit sechs Kohlenstoffatomen. Dieser C6-Körper ist sehr instabil und zerfällt sehr schnell in zwei relativ stabile Moleküle mit je drei Kohlenstoffatomen (C3-Körper). Aufgrund dieses ersten fassbaren Zwischenproduktes wird diese Form der Photosynthese auch als C3-Photosynthese bezeichnet.

Die Rubisco ist leider nicht perfekt, denn sie kann nicht nur das Kohlendioxid an das C5-Akzeptormolekül heften (Carboxylaseaktivität), sondern auch Sauerstoff (Oxygenaseaktivität). Im letzteren Fall entsteht eine instabile, oxygenierte C5-Verbindung, die in einen

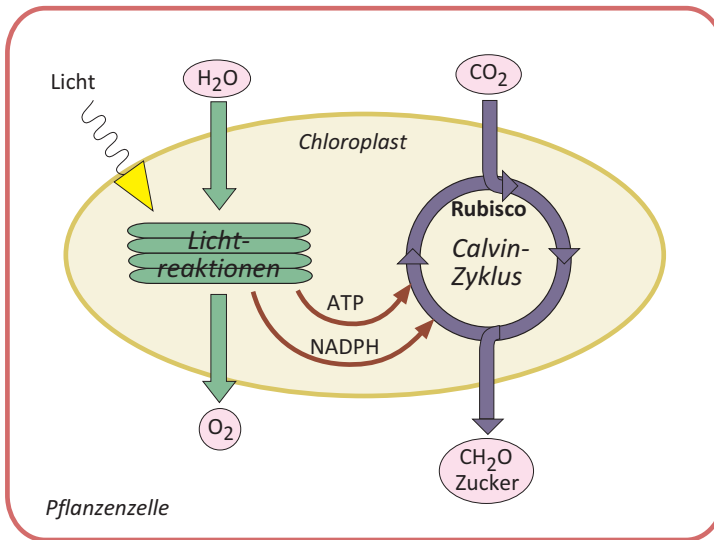


Abb. 5: Das Schema der C<sub>3</sub>-Photosynthese in den Chloroplasten einer Pflanzenzelle; in der Lichtreaktion werden chemische Energie (ATP) und gebundener Wasserstoff (NADPH) hergestellt, die im Calvin-Zyklus zur Assimilation des Kohlendioxids ( $CO_2$ ) in Form der Zucker eingesetzt werden. Die Rubisco katalysiert den ersten Schritt, die Fixierung des Kohlendioxids an einen C<sub>5</sub>-Körper.

C<sub>3</sub>- und einen C<sub>2</sub>-Körper zerfällt. Die C<sub>2</sub>-Verbindung ist für die Pflanze nutzlos beziehungsweise sogar toxisch und wird daher abgebaut. Dabei wird Kohlendioxid freigesetzt. Summarisch ähnelt das der Atmung, weshalb dieser Prozess auch als Lichtatmung bezeichnet wird. Arbeitet die Rubisco im Oxygenasemodus, fixiert die Pflanze nicht nur kein Kohlendioxid, sondern verliert obendrein ein bereits assimiliertes Kohlendioxid. Die Verluste an Kohlenstoff sind beträchtlich und senken die Effizienz der Photosynthese drastisch. An heißen und lichtüberfluteten Standorten wie in den Tropen und Subtropen – wo Reis angebaut wird – betragen die Kohlenstoffverluste durch die Lichtatmung 30 bis 40 Prozent.

## Ein Blick zurück –

### Wie der Erfolg der C<sub>3</sub>-Photosynthese sich in das Gegenteil umkehrte

Als die Photosynthese vor 2,5 Milliarden Jahren entstand, war die  $CO_2$ -Konzentration um Größenordnungen höher als heute und Sauerstoff eine Mangelware. Das Problem der Lichtatmung existierte damals also nicht. Durch die Photosynthese wurde das  $CO_2$  zunehmend aus der Atmosphäre entfernt, und der Sauerstoff häufte sich an, bis vor etwa 400 Millionen Jahren der heutige Anteil von circa 20 Prozent erreicht wurde. Zu dieser Zeit betrug die  $CO_2$ -Konzentration circa 0,4 bis 0,6 Prozent, und die Verluste durch die Lichtatmung waren vernachlässigbar. Im Karbon vor 360 bis 286 Millionen Jahren begann nun die  $CO_2$ -Konzentration weiter zu fallen, bis sie sich vor etwa 35 Millionen Jahren auf

Werte zwischen 0,02 und 0,03 Prozent einpendelte. Bei einer solch niedrigen CO<sub>2</sub>-Konzentration wurde die Lichtatmung zu einem ernststen Problem.

Im Prinzip boten sich der Evolution drei Wege an, um das Problem der Lichtatmung zu lösen: Erstens hätte sich eine Rubisco ohne Oxygenaseaktivität herausbilden können. Das gelang aber nicht, da der Preis offenbar zu hoch war. Eine Rubisco mit einer geringeren Oxygenaseaktivität ist nämlich so langsam, dass die Pflanze mehr Rubisco-Protein hätte synthetisieren müssen, um die bisherige Photosyntheserate aufrechtzuerhalten. Damit hätten mehr Kohlenstoff- und Stickstoffressourcen aus dem Haushalt der Pflanze für die Photosynthese abgezogen werden müssen; die Effizienz der Photosynthese wäre noch stärker gesunken.

Eine zweite Möglichkeit hätte darin bestanden, die sauerstoffempfindliche Rubisco durch eine sauerstoffunempfindliche Carboxylase zu ersetzen. Sauerstoffunempfindliche Carboxylasen kommen in allen C3-Pflanzen vor, wo sie in unterschiedlichsten Stoffwechselwegen aktiv sind. Beispielhaft sei die Phosphoenolpyruvat-Carboxylase (PEPCase) genannt, die sogar schon in Bakterien anzutreffen ist. Warum wurde dieser auf den ersten Blick attraktive Weg nicht eingeschlagen? Alle diese alternativen Carboxylasen benötigen andere CO<sub>2</sub>-Akzeptormoleküle als die Rubisco und sie synthetisieren dementsprechend auch andere Produkte. Wäre also die Rubisco durch eine Carboxylase mit anderer Substratspezifität ersetzt worden, hätte gleichzeitig auch der gesamte Calvin-Zyklus mit seinen mehr als zehn Enzymen völlig umgebaut werden müssen. Es hätte also quasi eine Revolution stattfinden müssen. Die Evolution verläuft dagegen schrittweise, und es ist leicht vorstellbar, dass die Zwischenstufen dieses Evolutionsprozesses hinsichtlich ihrer Photosyntheseeffizienz schlechter als die Ausgangspflanzen gewesen wären. Solche Pflanzen wären im Konkurrenzkampf unterlegen gewesen, und dieser zweite Weg schied damit aus.

Damit blieb als letzte Möglichkeit nur noch eine Art „Containment-Strategie“. Die Oxygenaseaktivität der Rubisco wird durch geeignete Maßnahmen eingedämmt, aber die Rubisco und der Calvin-Zyklus bleiben bestehen. Die Sauerstoffkonzentration am Ort der Rubisco lässt sich schwerlich verringern, da die Photosynthese nun einmal Sauerstoff produziert und dessen Freisetzung nicht abgestellt werden kann. Wenn es aber stattdessen gelänge, die CO<sub>2</sub>-Konzentration am Ort der Rubisco zu erhöhen, träfe die Rubisco eher auf ein CO<sub>2</sub>- als auf ein O<sub>2</sub>-Molekül, und die Rubisco-Oxygenase wäre arbeitslos. Genau diese Strategie hat die Evolution mehrfach unabhängig voneinander im Verlauf der Entwicklung der höheren Pflanzen eingeschlagen, und ihr jeweiliges Ergebnis ist die C4-Photosynthese, wie wir sie heute kennen.

## **Die C4-Form der Photosynthese – Eine CO<sub>2</sub>-Pumpe zur Eindämmung der Lichtatmung**

Will ein Ingenieur die Konzentration eines Stoffes an einem Ort erhöhen, konstruiert er eine Pumpe. So auch die Evolution. Die C4-Photosynthese lässt sich daher als eine Art CO<sub>2</sub>-Pumpe beschreiben, die CO<sub>2</sub> am Ort der Rubisco anhäuft. Wie sieht diese Pumpe aus und wie wurde sie im Verlauf der Evolution verwirklicht?

Bei C3-Pflanzen beherrscht jede photosynthetisch aktive Blattzelle das gesamte Repertoire der Photosynthese. Die Photosynthese der C4-Pflanzen ist dagegen arbeitsteilig organisiert. Die Blätter von C4-Pflanzen besitzen zwei unterschiedliche Typen photosyn-

thetisch aktiver Zellen, die Mesophyll- und die Bündelscheidenzellen, die kranzförmig um die Leitbündel der Blätter angeordnet sind (Abb. 6).

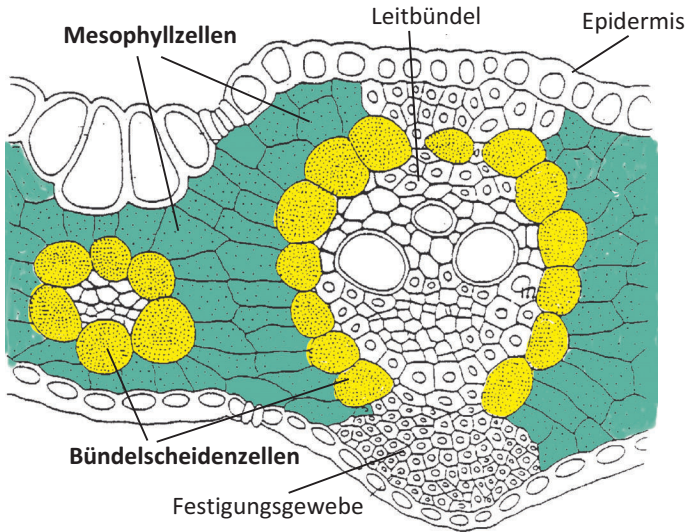


Abb. 6: Schematischer Querschnitt durch das Blatt eines C<sub>4</sub>-Grases

Mesophyll- und Bündelscheidenzellen findet man auch in C<sub>3</sub>-Pflanzen, nur sind in diesen Pflanzen die Bündelscheidenzellen photosynthetisch kaum aktiv. Im Verlauf der Evolution von der C<sub>3</sub>- zur C<sub>4</sub>-Photosynthese wurden die Rubisco und der Calvin-Zyklus in den Mesophyllzellen abgeschaltet und in die Bündelscheidenzellen verlagert. Die Mesophyllzellen besitzen stattdessen große Mengen einer sauerstoffunempfindlichen Carboxylase, der PEPCase. Die PEPCase addiert das CO<sub>2</sub> der Luft an einen C<sub>3</sub>-Körper. Daraus entsteht ein Molekül mit vier Kohlenstoffatomen (C<sub>4</sub>-Körper), das dieser Form der Photosynthese ihren Namen gibt. Das C<sub>4</sub>-Molekül fließt nun aus den Mesophyllzellen entlang des Konzentrationsgradienten in die Bündelscheidenzellen. Dort wird das CO<sub>2</sub> wieder abgespalten, es häuft sich in der Umgebung der Rubisco an, und die CO<sub>2</sub>-Pumpe ist damit verwirklicht.

### Die Evolution der C<sub>4</sub>-Photosynthese – Eine Blaupause für die Konstruktion von C<sub>4</sub>-Reis

C<sub>4</sub>-Pflanzen haben sich vielfach unabhängig voneinander im Verlauf der Evolution aus C<sub>3</sub>-Pflanzen gebildet. Genetisch gesehen muss es daher sehr einfach gewesen sein, aus einer C<sub>3</sub>- eine C<sub>4</sub>-Pflanze zu entwickeln. In der Tat zeigen die Untersuchungen, dass keine wirklich neuen Gene erfunden werden mussten. Entsprechende Gene waren in den C<sub>3</sub>-Pflanzen bereits vorhanden und mussten nur noch für die besonderen Anforderungen der C<sub>4</sub>-Photosynthese angepasst werden. Beispielsweise musste das PEPCase-Gen so abgeändert werden, das es nur noch in den Mesophyllzellen aktiv war, und die Ausprägung

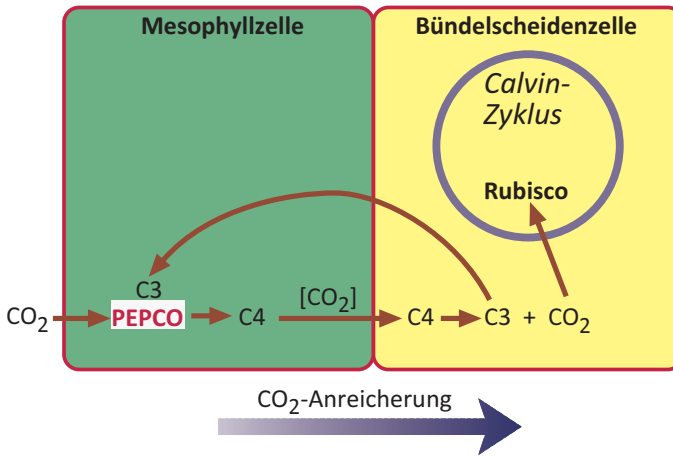


Abb. 7: Schematische Darstellung der C4-Photosynthese; in den Mesophyllzellen wird  $\text{CO}_2$  durch die PEPCase fixiert. Die resultierende C4-Verbindung wird in die Bündelscheidenzellen transportiert, wo das fixierte  $\text{CO}_2$  wieder freigesetzt und über die Rubisco in den Calvin-Zyklus eingeschleust wird. Die verbleibende C3-Verbindung fließt in die Mesophyllzellen zurück und steht für einen neuen Zyklus aus Carboxylierung und Decarboxylierung zur Verfügung.

der Rubisco-Gene musste auf die Bündelscheidenzellen beschränkt werden. Wir wissen mittlerweile aus unseren Untersuchungen am Formenkreis *Flaveria*, wie diese evolutionen Veränderungen präzise auf molekularer Ebene abgelaufen sind. Wir wissen auch, wie viele Gene die Evolution für die C4-Photosynthese insgesamt hat rekrutieren müssen. Wir, das heißt ein internationales Konsortium unter der Projektführerschaft des IRRI auf den Philippinen, glauben daher, dass es machbar sein sollte, die C3-Pflanze Reis in eine C4-Pflanze umzuwandeln.<sup>5</sup> Natürlich ist das ein sehr ehrgeiziges Projekt, das einen langen Atem erfordert und nicht in wenigen Jahren zu bewerkstelligen ist. Aber es lohnt sich. Oder um es mit den Worten Norman Borlaugs, des Vaters der „Grünen Revolution“, zu sagen: „Reach for the stars. Although you will never touch them, if you reach hard enough, you will find that you get a little star dust on you in the process.“<sup>6</sup>

## Literatur

- DAWE, D. (2007). „Agricultural research, poverty alleviation, and key trends in Asia’s rice economy“, in: J. E. SHEEHY, P. L. MITCHELL und B. HARDY (Hrsg.). *Charting New Pathways to C4 Rice*. Los Banos, Philippinen, 37–53.
- GOWIK, U. und P. WESTHOFF (2007). „Molecular evolution of C4 photosynthesis in the dicot genus *Flaveria* – implications for the design of a C4 plant“, in: J. E. SHEEHY, P. L. MITCHELL und B. HARDY (Hrsg.). *Charting New Pathways to C4 Rice*. Los Banos, Philippinen, 175–194.
- HUANG, J. K., C. PRAY und S. ROZELLE (2002). „Enhancing the crops to feed the poor“, *Nature* 418, 678–684.

<sup>5</sup> Vgl. Gowik und Westhoff (2007).

<sup>6</sup> [http://en.wikiquote.org/wiki/Norman\\_Borlaug](http://en.wikiquote.org/wiki/Norman_Borlaug) (19.11.2009).

- KHUSH, G. S. (2001a). „Challenges for meeting the global food and nutrient needs in the new millenium“, *Proceedings of the Nutrition Society* 60, 15–26.
- KHUSH, G. S. (2001b). „Green revolution: the way forward“, *Nature Reviews Genetics* 2, 815–822.
- TILMAN, D., K. G. CASSMAN, P. A. MATSON, R. NAYLOR und S. POLASKY (2002). „Agricultural sustainability and intensive production practices“, *Nature* 418, 671–677.





ISBN 978-3-940671-33-2



9 783940 671332