



MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT

Egal, ob in der heißen Wüste Australiens oder im vergleichsweise kühlen Japan, in der italienischen Po-Ebene oder im Himalaya dreitausend Meter über dem Meer – Reispflanzen haben sich an viele verschiedene Lebensbedingungen angepasst und scheinen fast überall auf der Welt zu wachsen. Genauer gesagt: In 89 Ländern auf sechs der sieben Kontinente stehen Reisfelder; nur in der Eiskälte der Antarktis sucht man tatsächlich vergeblich nach ihnen.

Die Menschen schätzen die Genügsamkeit und die Vielseitigkeit dieses Getreides seit Jahrtausenden. Zwar sind sich die Experten

Zentral- und Südamerika; im 17. Jahrhundert begannen schließlich auch die Nordamerikaner, das Getreide zu züchten.

BITTE ZU TISCH: REIS WIRD WELTWEIT AUFGEDECKT

Heute werden weltweit ca. 600 Millionen Tonnen Reis produziert, 90 Prozent davon in Asien. Damit ist Reis für rund die Hälfte der Weltbevölkerung das wichtigste Grundnahrungsmittel. Der Anbau prägt viele Kulturen und Landstriche, etwa auf der indonesischen Insel Bali oder den Philippinen, wo riesige terrassenförmige Reisfelder die Landschaft prägen (**Abb. A**). In vielen Regionen wird Reis sogar als eine

Schornsteine für Methan – wie Reisanbau das Klima kilt

immer noch nicht einig, wann und wo Reis erstmals gezielt angepflanzt wurde. Aber es gibt Hinweise darauf, dass in Asien bereits vor rund 8.000 Jahren systematisch Reis angebaut wurde. Ganz sicher haben die Chinesen schon vor etwa 5.000 Jahren Reisfelder angelegt. Über Indien und Persien gelangte das Getreide in die fruchtbaren Ebenen des Euphrat und nach Ägypten. Alexander der Große brachte es im 4. Jahrhundert v. Chr. auf seinen Feldzügen ans Mittelmeer. Etwa 1000 n. Chr. kultivierten die Mauren Reis in Spanien. Im 16. Jahrhundert begannen die Italiener und Spanier Reisfelder anzulegen. Zur gleichen Zeit brachten die Europäer den Reis nach

Art Heiligtum verehrt: Für die Menschen auf Bali beispielsweise verkörpert die Reispflanze die Göttin des Lebens und der Fruchtbarkeit. Wissenschaftler schätzen, dass es weltweit etwa 120.000 verschiedene **Reissorten** gibt. Nur wenige davon werden allerdings gezielt angebaut. Die einjährigen Pflanzen werden je nach Sorte bis zu 1,50 Meter hoch und sehen dem Hafer recht ähnlich: An schlanken Halmen wachsen etwa 30 Zentimeter lange Rispen mit je 50 bis 150 Reiskörnern. Am genügsamsten ist der Berg- oder Trockenreis, der ohne künstliche Bewässerung auch noch in 2.000 Meter Höhe über dem Meeresspiegel angebaut werden





Foto: Ulrike Harns/NPFI für terrestrische Mikrobiologie

▲ Das von methanogenen Bakterien in Kulturflaschen produzierte Methan lässt sich im Labor entzünden.

→ kann. Allerdings fällt dessen Ernte nicht sonderlich üppig aus. Spitzenerträge erzielen Bauern dagegen mit Nass- oder Wasserreis. Dessen Jungpflanzen werden in meist künstlich überflutete Felder gesetzt und stehen bis zur Ernte, also drei bis fünf Monate lang, fast ununterbrochen unter Wasser. Je nach Region, Kulturtechnik und Reissorte „kostet“ dies rund 3.000 bis 10.000 Liter Wasser pro Kilogramm Reis. Während in Europa und den USA der Reisanbau inzwischen fast vollständig mechanisiert wurde, ist er in den Hauptanbaugebieten in Asien auch heute noch mit viel Handarbeit und Plackerei verbunden: So muss ein Landarbeiter für jeden Hektar, den er mit Reis bepflanzt, eine Strecke von rund 50 Kilometer durchs Wasser waten.

REISANBAU: IN VIELER HINSICHT REKORDVERDÄCHTIG

Weil der Bedarf an Reis bei einer wachsenden Weltbevölkerung seit jeher steigt, waren die Reisbauern stets darum bemüht, immer ertragreichere Pflanzen zu züchten. Während sie mit wilden Sorten nur etwa 200 bis 300 Kilogramm Reis pro Hektar ernten konnten, gelang es ihnen im Lauf der Jahrtausende, Sorten durch Kreuzung zu züchten, die bis zu drei Tonnen pro Hektar liefern. Mitte der 60er Jahre des vergangenen Jahrhunderts läuteten Wissenschaftler dann die so genannte **Grüne Revolution** ein: Sie entwickelten eine Reissorte, deren Ertrag bis zu zehn Tonnen

pro Hektar beträgt. Diese Arbeiten wurden vom Internationalen Reisforschungsinstitut (*International Rice Research Institute*, kurz IRRI) auf den Philippinen koordiniert, dem weltweit renommiertesten Forschungsinstitut, das sich mit der Entwicklung neuer Reissorten beschäftigt. Die Wissenschaftler haben dazu eine Samenbank angelegt, die heute Samen von rund 80.000 verschiedenen Reissorten enthält. Mit vielen tausend Kreuzungsversuchen pro Jahr – konventionellen sowie inzwischen auch gentechnischen – versuchen sie, immer „bessere“ Reissorten zu entwickeln, und das heißt, nicht nur die Erträge weiter zu steigern, sondern auch ökologisch verträglichere Sorten zu finden.

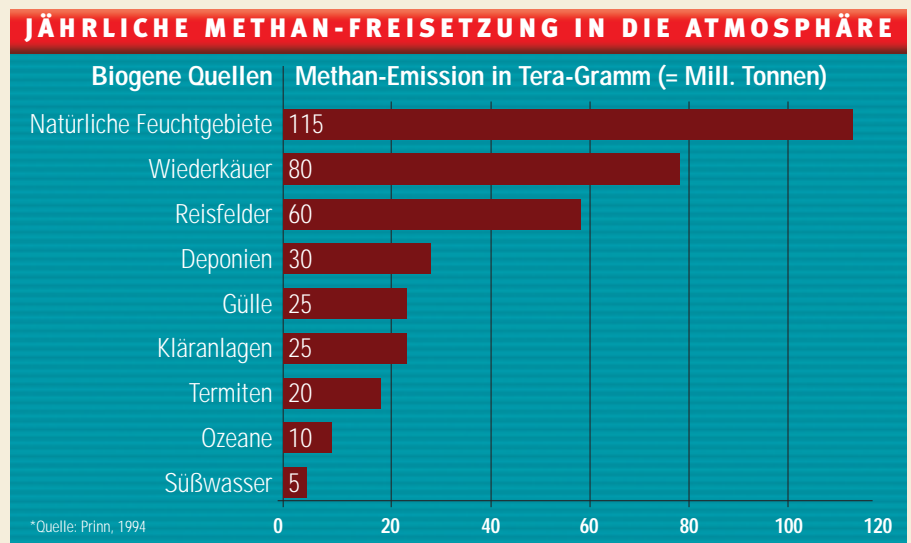
Denn die inzwischen weltweit gigantisch hohe Reisproduktion ist nicht ausschließlich ein Segen für die Menschheit. Sie stellt auch eine Gefahr dar, und zwar für das Weltklima. Der Grund: Vor allem dort, wo Nassreis produziert wird, gelangen große Mengen an Methan (CH_4) in die Atmosphäre. Methan ist ein **Treibhausgas**, das etwa 21mal stärker wirkt als Kohlendioxid (CO_2), der bekannteste und mengenmäßig bedeutsamste Vertreter dieser Stoffklasse. Treibhausgase funktionieren wie die Glasscheiben eines Gewächshauses, indem sie das Sonnenlicht durchlassen und die von der Erde abgegebene Wärmestrahlung zurückhalten. Ohne die von der Natur freigesetzten Treibhausgase wäre unser Planet unbewohnbar. Die durchschnittliche Temperatur auf der Erdoberfläche betrüge dann nämlich etwa minus 18°C statt der heutigen plus 15°C. Seit Beginn des 20. Jahrhunderts hat der Mensch allerdings begonnen, zusätzlich Treibhausgase zu produzieren, beispielsweise durch die Ver-

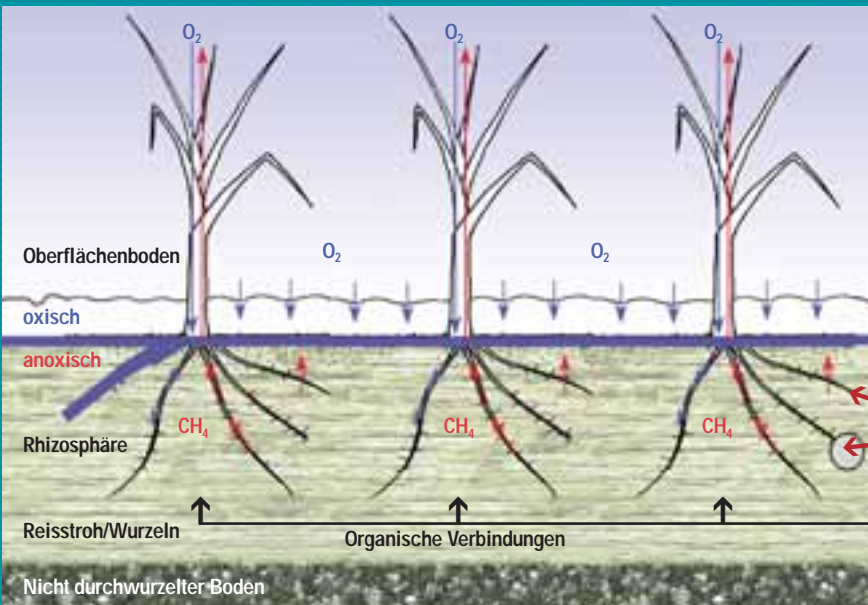
brennung von Kohle, Öl oder Erdgas. Fast alle Klimaforscher sind sich heute einig, dass dieser so genannte **anthropogene Treibhauseffekt** das Weltklima erheblich beeinflusst – und zwar vielfach zum Nachteil der Menschen.

Methan ist ein farb- und geruchloses Gas, das in der Natur immer dann entsteht, wenn sich Mikroorganismen über organisches Pflanzenmaterial hermachen und dieses zersetzen. Weil Methan brennbar ist (**Abb. B**), kann es in Bergwerken im Gemisch mit Luft für so genannte „schlagende Wetter“ sorgen. Darüber hinaus ist es ein wichtiger Bestandteil von Erdgas. Die größten natürlichen Methanquellen sind Feuchtgebiete, Rindermägen und Nassreisfelder (**siehe Tabelle unten**). Dort nämlich finden methanogene Bakterien oder *Archaea* – so die wissenschaftliche Bezeichnung der Methan produzierenden Mikroorganismen – beste Bedingungen, und das heißt im Wesentlichen: niedrige Sauerstoffkonzentrationen. Denn sobald größere Mengen an Sauerstoff vorhanden sind, können andere Mikroorganismen in Konkurrenz treten und das organische Material zu CO_2 oxidieren. Sind Oxidationsmittel wie Sauerstoff jedoch verbraucht, können die **Archaeobakterien** ihre Methan-Produktion anwerfen.

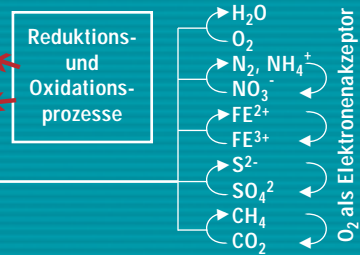
BAKTERIEN LIEBEN SCHLAMMBÄDER

In überschwemmten Reisfeldern tummeln sich diese Bakterien im Schlamm. Dabei gilt: Je länger die Felder überflutet sind, desto geringer sind die Konzentrationen von Sauerstoff und anderen Oxidationsmitteln und desto eifriger läuft die Produktion des Treibhausgases. Welche mikrobiologischen und





Schematische Darstellung eines gefluteten Reisfeldes. Luft-sauerstoff tritt nicht nur an den Grenzflächen zum Flutungswasser in den Oberflächenboden, sondern auch über das Aerenchym der Reispflanze (siehe Abbildung D auf Seite 4) sowie über die Reiszurzel im entsprechenden Bodenbereich, der so genannten Rhizosphäre. Er kann dort für verschiedene Stoffwechselreaktionen genutzt werden. Der nicht durchwurzelte Boden ist weitgehend sauerstofffrei (anoxisch) und durch Abbauprozesse charakterisiert, die ohne Beteiligung von O₂ ablaufen.



chemischen Prozesse im Detail dafür verantwortlich sind, untersuchen Ralf Conrad, Direktor am Max-Planck-Institut für terrestrische Mikrobiologie in Marburg, und seine Mitarbeiter. „Nur wenn wir diese Mechanismen genau kennen, können wir gezielt nach Ansätzen suchen, um die Methan-Emissionen in Reisfeldern zu verringern, und damit zum Klimaschutz beitragen“, erklärt der Mikrobiologe.

FORSCHER LASSEN INS „RÖHRCHEN BLASEN“

So haben die Wissenschaftler beispielsweise untersucht, wie das Methan, das die Bakterien im Schlamm produzieren, überhaupt aus den Feldern in die Atmosphäre gerät. Dabei gibt es prinzipiell drei Möglichkeiten: Gasblasen könnten ähnlich wie in einer Sprudelflasche an die Wasseroberfläche „perlen“. Das Gas könnte durch die oberhalb des Schlammes stehende Wasserschicht diffundieren oder – und das wäre die dritte Möglichkeit – das Methangas nutzt die Halme der Reispflanzen, um aus dem Schlamm, quasi wie durch einen Schornstein, in die Atmosphäre zu gelangen.

In den Reisfeldern der italienischen Po-Ebene starteten die Marburger Forscher ihre Freilandversuche. Wie viel Methan wird jeweils über die oben beschriebenen verschiedenen Wege freigesetzt? Um einer Antwort auf die Spur zu kommen, war zunächst einmal Tüftlergeist gefragt. Die Forscher entwickelten 1,20 Meter hohe, quaderförmige Plexiglas-„Fallen“, die sie in den überschwemmten Fel-

dern aufstellten. Mittels elektronisch gesteuerter Klappen konnten sie die Luftzufuhr von außen genau regulieren und in den zeitweise geschlossenen Fallen die Mengen der produzierten Gase messen. Dazu entnahmen sie in regelmäßigen Abständen Gasproben und analysierten deren Zusammensetzung.

An intakten Reispflanzen ermittelten die Wissenschaftler, wie viel Methan das System insgesamt freisetzt. Anschließend entfernten sie unter einigen Plexiglasgefäßen alle Reishalme und untersuchten, wie viel Methan aus dem schlammigen Boden in die Luft gelangt. Diesen Versuch wiederholten sie, nachdem sie unter die Methan-Fallen dünne Nylonnetze gespannt hatten. Diese verhindern, dass aufsteigende Luftblasen an die Wasseroberfläche ge-

langen. Außerdem tauchten sie zwischen die Reispflanzen umgedrehte Trichter, wenige Millimeter unterhalb der Wasseroberfläche, und maßen, wie viel Methan durch die Trichterspitze entweicht. Das Ergebnis: Etwa 90 Prozent des Methans verlässt den schlammigen Reisfeldboden durch die Reishalme (siehe Kasten oben). Nur rund zehn Prozent steigen als Gasblasen auf, während die Diffusion tatsächlich kaum eine Rolle spielt.

Zahlreiche weitere Geheimnisse um die Methan-Produktion konnten Ralf Conrad und seine Mitarbeiter durch Experimente mit Reispflanzen im Gewächshaus und im Labor (Abb. C) lüften. So fanden sie beispielsweise heraus, dass rund 20 Prozent des Methans, das die Archaeobakterien produzieren, bereits im



► Im Labor wächst der Reis sogar im Reagenzglas

Foto: Wolfgang Filser

→ Boden zu Kohlendioxid oxidiert werden. Folglich gelangen also nicht 100 Prozent, sondern lediglich 80 Prozent des Treibhausgases in die Atmosphäre – ein nicht zu unterschätzender Unterschied. Und sie entdeckten, dass die Bakterien, die für diesen Umwandlungsprozess zuständig sind, äußerst empfindlich auf die Stickstoffdüngung von Reisfeldern reagieren: Die Methan-Oxidation nimmt unter diesen Bedingungen zu, die Methan-Produktion durch die *Archaea* dagegen ab – beides führt in der Summe dazu, dass weniger Methan freigesetzt wird.

METHAN-PRODUZENTEN AUF DEM TROCKENEN

Anbaumethode, Bodenbeschaffenheit und Klima beeinflussen nicht nur den Reis-Ertrag, sondern auch die Höhe der Methan-Emissionen. Um exakte Vergleiche anstellen zu können, startete das IRRI eine internationale Messkampagne: In fünf verschiedenen asiatischen Ländern (China, Indien, Thailand, Indonesien, Philippinen) wurden acht Messstationen in Reisfeldern aufgebaut. Bestandteil jeder dieser Messstationen waren ähnliche Plexiglas-„Fallen“, wie sie bereits die Marburger Wissenschaftler in Italien genutzt hatten. Auch hier wurden die Luftzufuhr und -abfuhr über Klappen geregelt und in regelmäßigen Abständen Gasproben analysiert – ein nicht ganz einfaches Unterfangen. Denn weit ab von jeder Steckdose mussten die Forscher ihre Computer und viele andere elektrische Geräte mitten in den Reisfeldern mit Kompressoren betreiben.

REISPRODUZENTEN	
1. China	177 Mio t
2. Indien	117 Mio t
3. Indonesien	52 Mio t
4. Bangladesch	38 Mio t
5. Vietnam	34 Mio t
6. Thailand	26 Mio t
7. Myanmar	22 Mio t
8. Philippinen	13 Mio t
9. Japan	11 Mio t
10. Brasilien	10 Mio t

2002 Quelle: IRRI

Nach mehrjährigen Untersuchungen stellte sich heraus, dass vor allem die Art und Weise, auf welche die Bauern ihre Felder bewirtschafteten, einen großen Einfluss darauf hatte, wie viel Methan entstand. Wenn sie etwa das Reisstroh nach der Ernte auf den Feldern

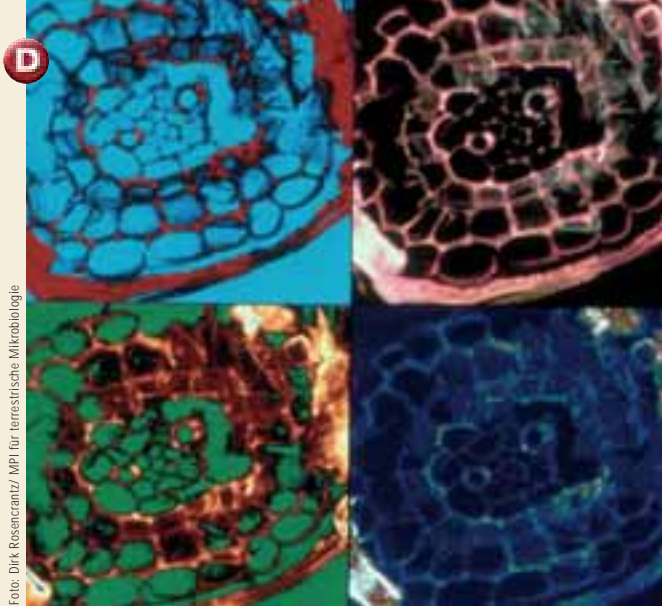


Foto: Dirk Rosencranz/ MPI für terrestrische Mikrobiologie

◀ Querschnitt durch das Aerenchym (Luftleitgewebe) einer Reiswurzel. Die vier Kopien desselben Querschnitts unterscheiden sich durch die unterschiedliche Belegung der biologischen Strukturen mit „Falschfarben“ (die Färbung wird künstlich hergestellt und hat keinen Bezug zur natürlichen Farbgebung der Zellen, daher der Begriff „Falschfarben“). Aufnahmen mit einem konfokalen Laserscanning Mikroskop

verrotten ließen, fanden die Archaeobakterien besonders viel Nahrung und ließen die Methanproduktion auf Hochtouren laufen, legten die Bauern die Felder dagegen während einer Anbauperiode kurzzeitig trocken, so sank die Methan-Emission erheblich.

In den Marburger Labors wurde dieses Phänomen genauer untersucht. Conrad und seine Mitarbeiter züchteten Reispflanzen im Treibhaus. Nach gut sechs Wochen, kurz vor der Reisblüte, entwässerten sie die Pflanzgefäße und ließen den Schlamm zwei Tage lang trocknen. Dann wurden die Mini-Reisfelder wieder geflutet. Während des gesamten Versuchs nahmen die Forscher Gasproben und analysierten deren Methan-Gehalt. Ihre Laborversuche bestätigten die Ergebnisse aus den IRRI-Messungen: die Methan-Freisetzung unmittelbar nach der Entwässerung war besonders hoch. Mit der Drainage wurde schlagartig das gesamte Methan frei, das unter der Wasseroberfläche gefangen war. Nachdem die Reispflanzen wieder unter Wasser standen, ging die Methan-Emission jedoch wieder drastisch zurück.

Dieser Effekt hielt – zum Erstaunen der Marburger Mikrobiologen – sogar über vier Wochen, bis zum Ende des Versuchs, an. Aber auch dafür hat Ralf Conrad eine Erklärung: „Während der kurzen Drainage wird der Schlamm gut belüftet. Dadurch kann Sauerstoff die Eisensalze und andere Stoffe oxidieren. Diese werden dabei selber zu guten Oxidationsmitteln, sind aber letztlich „Gift“ für die Bakterien, die ihre Produktion drosseln müssen und erst wieder hochfahren können, wenn die Oxidationsmittel im Schlamm verbraucht sind – und das kann durchaus Wochen dauern.“

Im Vergleich zu Kontrollversuchen nahm die Methan-Produktion in den kurzzeitig trockengelegten Feldern insgesamt um 50 Prozent ab. Allerdings wurde organisches Material stattdessen vermehrt zu Kohlendioxid abgebaut – die CO₂-Emission stieg um 50 Prozent. Trotzdem wäre es für das Weltklima ein Gewinn, würden mehr Reisbauern ihre Felder periodisch entwässern, da Methan – wie bereits erwähnt – ein viel stärkeres Treibhausgas ist als Kohlendioxid. Das durch Trockenlegung „eingesparte“ Methan hätte den Treibhauseffekt rund ein dutzend Mal stärker „angeheizt“, als das stattdessen entstandene Kohlendioxid!

GRÜNE GENTECHNIK FÜR DEN KLIMASCHUTZ

Heute ernähren sich rund 2,5 Milliarden Menschen in erster Linie von Reis. Die Wissenschaftler des IRRI auf den Philippinen schätzen, dass diese Zahl bis zum Jahr 2025 auf rund 3,5 Milliarden ansteigen wird. Sie versuchen deshalb, Reissorten und Anbaumethoden zu entwickeln, die noch höhere Erträge liefern, dabei aber Umwelt und Klima möglichst wenig schädigen. Grundlagenforschung, wie sie Ralf Conrad und seine Mitarbeiter am Max-Planck-Institut für terrestrische Mikrobiologie in Marburg betreiben, kann dazu wertvolle Beiträge liefern.

Schlagwörter: Reissorten, Grüne Revolution, Treibhausgas, anthropogener Treibhauseffekt, Methan

Internet: <http://www.irri.org>

DIE „MAX“-REIHE

auch unter www.max-reihe.mpg.de

BIOMAX, GEOMAX und TECHMAX erscheinen jeweils zweimal im Jahr und berichten über aktuelle Forschungsergebnisse aus den Max-Planck-Instituten vor allem für Lehrer und Schüler. Weitere Exemplare können unter folgender Adresse kostenlos bestellt werden: