



Wüstenaufforstung  
in Israel. (Foto: Aloys  
Hüttermann)

# Begrünt die Wüste durch CO<sub>2</sub>-Sequestrierung

**Roland Emmerichs „The day after tomorrow“ hat das Horrorszenario visualisiert: Eine Veränderung des Erdklimas führt zu Zerstörung und Chaos. Auch wenn im Film dramaturgische Erfordernisse wissenschaftliche Exaktheit dominieren, eines ist mittlerweile klar: Es reicht nicht aus, die Emissionen anthropogener Treibhausgase, allen voran Kohlendioxid, zu steuern, es müssen auch Wege gefunden werden, diese Stoffe unschädlich zu machen.**

◆ „Imagine the unthinkable“<sup>1)</sup> – solche Aufforderungen, sich mit den möglichen Szenarien eines abrupten Klimawandels auseinanderzusetzen, sind nicht neu, haben aber an Dringlichkeit und Zahl zugenommen.<sup>2)</sup> Angesichts kontroverser Diskussionen über Wechselwirkungen zwischen anthropogenen Emissionen und dem Klima der Erde, gleichzeitig aber der Neigung der Politiker zu einfachen Aussagen und Lösungen – haben bereits 1988 die WMO (World Meteorological Organization) und die UNEP (United Nations Environment Programme) das IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) ins Leben gerufen. Dieses Gremium hat die Aufgabe, auf einer umfassenden, objektiven, offenen und transparenten Grundlage,

wissenschaftliche, technische und sozioökonomische Informationen zum Klimawandel – sofern sie in Form von begutachteten Publikationen vorliegen – auszuwerten und das Ergebnis als Berichte zu veröffentlichen. Der erste dieser Berichte erschien 1990<sup>3)</sup> und war die wissenschaftliche Grundlage für die zwei Jahre später stattfindende Gipfelkonferenz in Rio de Janeiro. Damals verabschiedeten die Regierungen der Welt die Agenda 21, das erste weltweite Programm zu einer Umsteuerung unseres Wirtschaftssystems hin auf Nachhaltigkeit. Eine der Folgekonferenzen war dem CO<sub>2</sub>-Problem gewidmet. Im Kyoto-Protokoll von 1997 verpflichteten sich die Regierungen der Welt, den CO<sub>2</sub>-Ausstoß massiv zu reduzieren.

Daraus ist in der EU mittlerweile geltendes Recht geworden; von den USA wird es jedoch nicht akzeptiert. Das Protokoll ist auch noch nicht von genügend Staaten ratifiziert, um weltweite Gültigkeit zu haben.

Für die Umsetzung des Kyoto-Protokolls wurde die Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), mit Sitz in Bonn, gegründet. Dort werden derzeit „Spielregeln“ für Projekte zur Verringerung der Emissionen und zum Aufbau von CO<sub>2</sub>-Senken erarbeitet.<sup>4)</sup> Die darin erreichten Vermeidungen oder Festlegungen von CO<sub>2</sub> sollen dann in Form von Zertifikaten gehandelt werden können.

Obwohl die USA das Kyoto-Protokoll ablehnen, werden dort zur Zeit erhebliche Forschungsmittel in

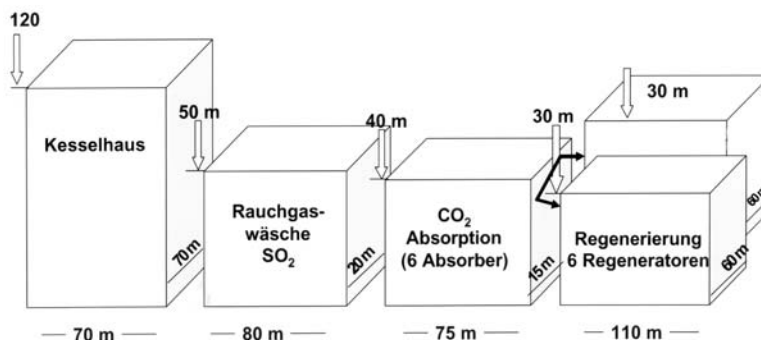
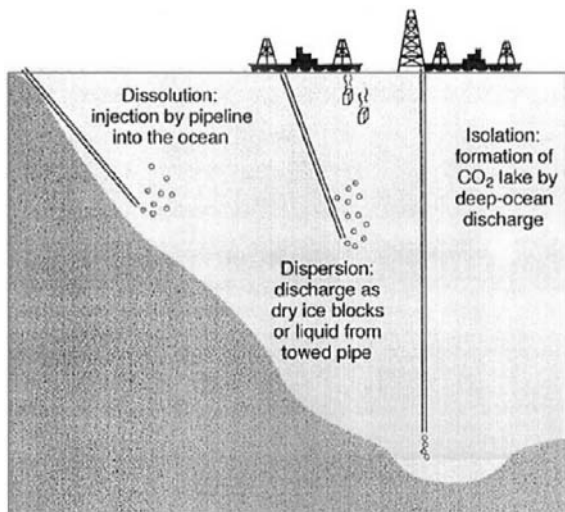


Abb. 1. Kohlebefeueretes Kraftwerk (660 Mwe) mit SO<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>-Abscheidung. Es werden ca. 500 t·h<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub> abgeschieden, bei einem Monoethanolamin-Kreislauf von ca. 1000 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>. Die Anlagekosten für die CO<sub>2</sub>-Abscheidung betragen ca. 80 bis 130 % der eigentlichen Anlage. Die Abscheidung hat einen Wirkungsgradverlust von 10 bis 15 % zur Folge, die Gesamtkosten der CO<sub>2</sub>-Vermeidung werden auf ca. 47 bis 49 US \$ pro Tonne CO<sub>2</sub> geschätzt. (L. Plass, Vortrag Fachkongress: Innovative Strategien zur Stromerzeugung auf dem Weg zu CO<sub>2</sub>-freien Kohle- und Gaskraftwerken, Berlin 10.–12. Mai, 2004)

die Entwicklung von Techniken zur CO<sub>2</sub>-Sequestrierung – Entfernung von CO<sub>2</sub> aus den Abgasen und anschließende Fixierung – investiert. Die grundsätzliche Richtung, die von den USA eingeschlagen werden soll, wurde im April 2002 auf einem Symposium der National Academy of Engineering und des National Research Council of the National Academies diskutiert.<sup>5)</sup> Auf Vorschlag der USA beschlossen 2003 die Energieminister der OECD- und einiger Schwellenländer die erste internationale Vereinbarung über die CO<sub>2</sub>-Sequestrierung.<sup>6)</sup> In Europa fördert die EU Forschungsprojekte zur CO<sub>2</sub>-Sequestrierung bereits im fünften und jetzt im sechsten Rahmenprogramm.<sup>7)</sup>

Abb. 2. Möglichkeiten der direkten CO<sub>2</sub>-Speicherung im Ozean.<sup>5)</sup>



In Deutschland beantragte im Februar 2002 das Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit führende Experten aus Forschung und Industrie, Empfehlungen für ein Programm zur Entwicklung der Kraftwerkstechnik bis zum Jahr 2020 zu entwerfen. Daraus entstand das COORETEC-Programm, das allerdings als Optionen für die CO<sub>2</sub>-Reduktion, neben der Erhöhung der Wirkungsgrade der Kraftwerke, nur chemisch-technische Abscheidungen von CO<sub>2</sub> und dessen geologische Ablagerung vorsieht.<sup>8)</sup> Die Fachgruppe Umweltchemie und Ökotoxikologie der GDCh hat in einem Positionspapier zum Beschluss des Rats für Nachhaltige Entwicklung „Perspektiven der Kohle in einer nachhaltigen Energiewirtschaft“<sup>9)</sup> darauf hingewiesen, dass „das effizienteste und über Millionen Jahre erprobte System zur CO<sub>2</sub>-Sequestrierung die terrestrische Biosphäre“ ist.<sup>10)</sup>

### Chemisch-technische CO<sub>2</sub>-Sequestrierung

◆ Die Rückhaltung und anschließende Speicherung des bei der Energieerzeugung aus fossilen Rohstoffen anfallenden CO<sub>2</sub><sup>5,7,8,11)</sup> erfordert drei Prozessschritte:

- Abscheidung von CO<sub>2</sub> nach der Verbrennung,
- Transport zu Lagerstätten,
- dauerhafte Einlagerung in Speicherformationen.

### Abscheidung von CO<sub>2</sub>

Die Rauchgasdekarbonisierung für kohlebefeuerte Kraftwerke gilt unter den zahlreichen diskutierten Varianten als aussichtsreich (Abbildung 1). Das im Rauchgas eines konventionellen Kohlekraftwerks enthaltene CO<sub>2</sub> wird nach der Rauchgasentschwefelung mit Monoethanolamin (MEA) ausgewaschen. Die Regeneration der MEA-Lösung erfordert erhebliche Dampfmengen. Vorteilhafter erscheint, die Kohle in einer Atmosphäre aus O<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub> zu verbrennen. Hierzu muss zunächst unter hohem Energieaufwand, d. h. wiederum zusätzlicher CO<sub>2</sub>-Produktion, Sauerstoff hergestellt werden. Eine weitere aussichtsreiche Variante sind Kraftwerke mit IGCC (Integrated Gasification Combined Cycle). Bei diesem Prozess wird Kohle unter Sauerstoffzufuhr und Druck vergast. CO im Synthesegas wird in einer nachfolgenden Shift-Konvertierung zu Wasserstoff und CO<sub>2</sub> umgesetzt.<sup>12)</sup> Je nach Abscheidungsverfahren und Kraftwerkskonzept ergeben sich dabei erhebliche Wirkungsgradeinbußen (6 bis 14 %). Diese erfordern bei gleicher Nennleistung 10 bis 35 % mehr Brennstoff und erhebliche zusätzliche Investitionen (30 bis 150 %). Die ungünstigsten Verhältnisse bezüglich erhöhter Investitionskosten, Mehraufwand für Brennstoffe und stärkster Wirkungsgradminderung ergeben sich bei der CO<sub>2</sub>-Abscheidung aus Rauchgasen hinter konventionellen Kohlekraftwerken. Das wirtschaftlich günstigste und technisch geeignetere Verfahren bei geforderter weitgehender bis vollständiger CO<sub>2</sub>-Abscheidung ist die Kohlevergasung mit Sauerstoff unter Druck und CO<sub>2</sub>-Abtrennung auf der Brenngasseite. Alle Prozesse erreichen CO<sub>2</sub>-Abscheideraten > 90 %.

Keines der beschriebenen Verfahren ist einsatzbereit. Es besteht noch enormer Forschungsbedarf.<sup>8)</sup>

### Transport

Nach der Abscheidung wird das CO<sub>2</sub> für den Transport und die Speicherung auf 110 bar komprimiert

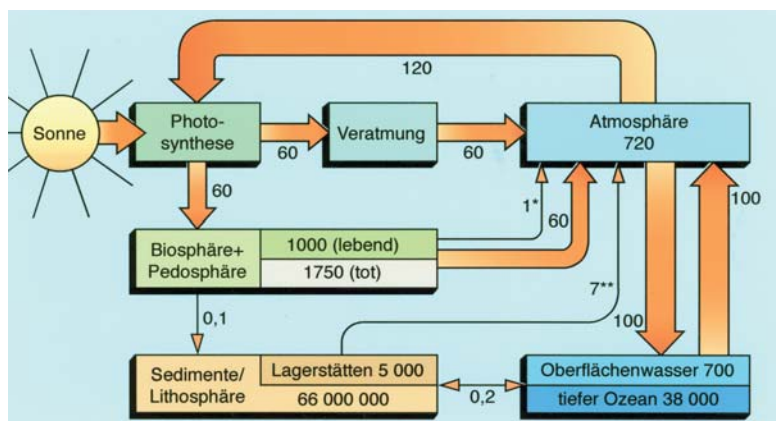


Abb. 3. Kohlenstoffzyklus. Werte für C in Gigatonnen.<sup>20</sup>

und verflüssigt. Über eigens zu installierende Pipelines wird es zur Ablagerungsstätte transportiert. Ergänzend oder auch alternativ wäre ein Transport mit Tankern denkbar. Ein CO<sub>2</sub>-Tanker würde ähnlich dimensioniert sein wie die Transportschiffe für LPG (Liquified Petrol Gas). Es gibt Pläne für Tanker mit bis zu 1 Mio. Tonnen Tragfähigkeit, wenn diese ausschließlich für den CO<sub>2</sub>-Transport verwendet werden.<sup>8)</sup>

### Dauerhafte Einlagerung

Das erste praktische Beispiel für die technische CO<sub>2</sub>-Sequestrierung<sup>13)</sup> ist in der norwegischen Nordsee zu finden. Auf Statoils Sleipner West Field wird CO<sub>2</sub> vom Erdgas abgetrennt und 1000 m unter dem Meeresgrund dauerhaft eingelagert.

Für Deutschland gilt die Speicherung in erschöpften Gasfeldern, auch unter dem Gesichtspunkt der Ausbeutesteigerung von Gaslagerstätten durch CO<sub>2</sub>-Injektion (Enhanced Gas Recovery) als aussichtsreich. Die CO<sub>2</sub>-Injektion zur Ausbeutesteigerung von Ölfeldern wird in den USA genutzt und ist wirtschaftlich bedeutsam. Dort werden auch Pilotstudien zur Nutzung für die CO<sub>2</sub>-Sequestrierung durchgeführt.

Aufgrund ihrer weiten Ausdehnung und Mächtigkeit haben tiefe Salzwasser-Aquifere das größte Speicherpotenzial für CO<sub>2</sub>. Die genaue Erfassung und Quantifizierung steht aber noch aus. Je nach Mineralbestand bieten Aquifere auch die Möglichkeit, CO<sub>2</sub> als langfristig sta-

bile Carbonate zu speichern, die bei Reaktionen zwischen Grundwasser und Gesteinen gebildet werden.

Die Eigenschaft von Kohlen, CO<sub>2</sub> gegenüber CH<sub>4</sub> bevorzugt im Verhältnis von etwa 2:1 zu adsorbieren, könnte für die CO<sub>2</sub>-Speicherung bei gleichzeitiger Flözgasgewinnung (Enhanced Coal Bed Methane, ECBM) aus derzeit technisch und wirtschaftlich nicht abbaubaren Flözen genutzt werden. Das Verfahren setzt allerdings noch erheblichen Forschungs- und Entwicklungsaufwand voraus. Aus Sicherheitsgründen scheint eine Speicherung in Hohlräumen ehemaliger Kohle- und Salzbergwerke problematisch.

In den USA wird die CO<sub>2</sub>-Speicherung im Meer intensiv diskutiert und untersucht (Abbildung 2).<sup>5)</sup> Dazu gehören die direkte Einleitung von CO<sub>2</sub>, die Trockeneis-Deponien und die Düngung der Ozeane zur erhöhten Biomasseproduktion. In Deutschland steht man diesen Verfahren sehr skeptisch gegenüber.<sup>8,9,11)</sup>

### Kosten

◆ Die Abscheidekosten liegen bei den Verfahren mit CO<sub>2</sub>-Wäschen und herkömmlicher Sauerstoffgewinnung für deutsche Verhältnisse zwischen 18 und 50 Euro. Die Kosten für Transport und die Speicherung in Aquiferen und Gasfeldern sind vor allem proportional zur Transportentfernung und zur Speichertiefe. Sie werden in Deutschland auf etwa 10 bis 24 Euro geschätzt. Die Sequestrierung einer Tonne CO<sub>2</sub> würde also zwischen 28 und 74 Euro kosten.



Abb. 4.  
 Vierjähriger Pappel-  
 bestand einer Auf-  
 forstung. Standort:  
 150 km östlich von  
 Qufu, Shandong  
 Provinz, China.  
 (Foto:  
 Aloys Hüttermann)



Diese Werte liegen am unteren Ende der Schätzungen; es werden wesentlich höhere Kosten diskutiert.<sup>11)</sup>

**Aufforstung als Alternative zur chemisch-technischen CO<sub>2</sub>-Sequestrierung**

◆ Die über Millionen Jahre erprobte Form der Festlegung von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre ist die Produktion von Biomasse (Abbildung 3). Welche Leistungen die Bäume dabei vollbringen können, zeigt der Anbau von Pappelhochleistungsklonen in unseren Breiten. Diese bilden pro Jahr durchschnittlich 20 Tonnen Holz pro Hektar (ha). In einem solchen Wald akkumuliert zudem im Laufe von etwa 100 Jahren insgesamt

pro ha 300 Tonnen Kohlenstoff in Form von Humus im Boden. Solche Kurzumtriebsplantagen können etwa alle 15 Jahre abgeerntet werden. Die verbleibenden Stubben treiben wieder aus und bilden aufgrund des im Boden verbliebenen Wurzelwerks die Grundlage für einen neuen hochproduktiven Wald. (Abbildung 4). So können innerhalb von neunzig Jahren je ha Plantage 3500 Tonnen CO<sub>2</sub> in Form von Holz und etwa 1000 Tonnen Form von Humus festgelegt werden. Global sind die Werte (Tabelle 1, S. 1136) und die anfallenden Kosten (Tabelle 2) unterschiedlich.

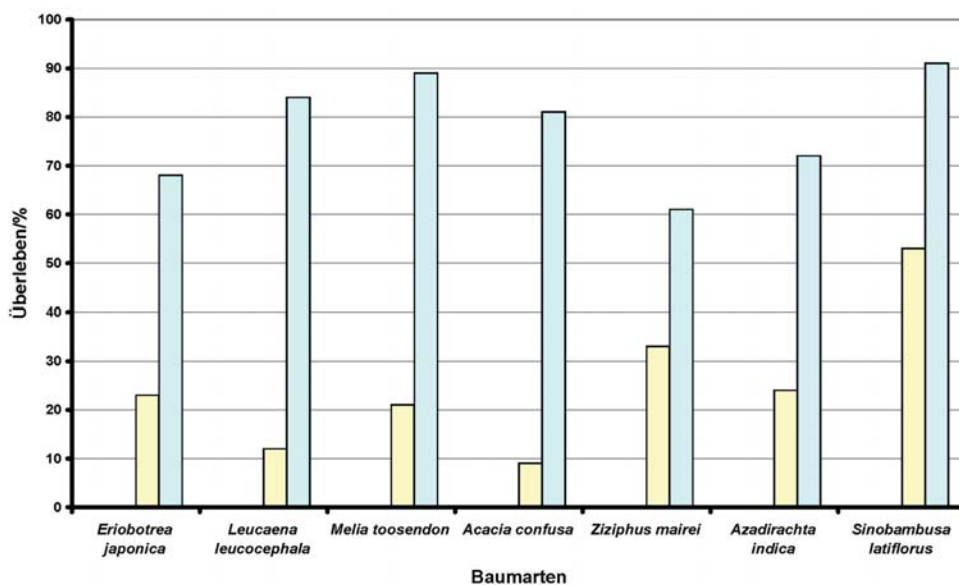
In 50 Jahren werden zwischen 450 und 3750 Tonnen CO<sub>2</sub> auf den jeweiligen Flächen in Form von Holz und Humus festgelegt. Somit

würde der Preis für eine sequestrierte Tonne CO<sub>2</sub> 1 bis 5 Euro betragen. Im langsam beginnenden CO<sub>2</sub>-Emissionshandel ist die Tonne CO<sub>2</sub> schon jetzt deutlich teurer (Auktion in Großbritannien, 2003: 11 Euro pro Tonne).

Sind genügend Flächen vorhanden, um eine entsprechende Aufforstung überhaupt betreiben zu können, ohne die Nahrungsmittelproduktion zu beeinträchtigen? Zur Zeit werden etwa 26 Mrd. Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr weltweit emittiert. Um diese Menge durch Aufforstung zu binden, würden zwischen 480 Mio. ha (tropischer Trockenwald) und 3 Mrd. ha (Wüste) benötigt. Man kann davon ausgehen, dass im letzten Jahrhundert allein in den Tropen durch die Umwandlung von Wald in landwirtschaftlich genutzte Flächen etwa eine Milliarde ha Ödflächen entstanden sind, die heute nicht landwirtschaftlich genutzt werden können. In der gleichen Zeit hat sich die Sahara um etwa 100 km nach Süden ausgedehnt. Zudem hat eine massive Bodenverschlechterung durch inadäquate landwirtschaftliche Techniken stattgefunden, von der etwa 1,1 Mrd. ha betroffen sind.<sup>18)</sup> Zumindest im mitteleuropäischen Raum wird ein relativ ineffizienter Waldbau betrieben, der das photosynthetische Potential unserer Wälder nicht ausschöpft. Hier wäre es allein durch eine höhere Effizienz möglich, auf den bestehenden Flächen in Deutschland die jährliche Biomasseproduktion um 11 Millionen Tonnen Kohlenstoff zu steigern.

Die Wüstenbildung hat die davon betroffenen Regionen in ihrer Ökologie tiefgreifend verändert. Insbesondere aufgrund der ja immer noch vorhandenen Niederschläge sind diese Landschaften weitgehend der Erosion mit ihren schlimmen Folgen ausgesetzt. Erfahrungen aus Israel zeigen, dass es möglich ist, durch entsprechende Baumarten und Pflanztechniken sogar Wüsten ohne eine dauerhafte Bewässerung aufzuforsten. Selbst dort, wo durch eine viele Jahrzehnte andauernde Erosion die ursprüngliche Bodenstruktur zerstört ist, ermöglicht ein

Abb. 5.  
 Ergebnisse von Auf-  
 forstungsversuchen  
 in den Hot Dry  
 Valleys in China.<sup>21)</sup>



in den Boden eingebrachter Wasserspeicher, dass wieder Bäume angepflanzt werden können (Abbildung 5).<sup>19)</sup> Als Speichermedium dient ein synthetisches Hydrogel auf Polyacrylamid-Basis – ähnlich einem in Wasser gequollenem Superabsorber.

### CO<sub>2</sub>-neutrale Nutzung der produzierten Biomasse

◆ Die auf den aufgeforsteten Flächen entstehende Biomasse kann und sollte zum ökologischen Umbau der Weltwirtschaft genutzt werden. Grundsätzlich lässt sich aus Holz all das herstellen, was wir als Grundlage für unsere Zivilisation benötigen: Energie, Treibstoffe, Materialien und Chemikalien. Die Verfahren sind vorhanden; sie können und müssen weiter verbessert werden.

Die Energieausbeuten bei Pelletbefeuerungen von Großfeuerungsanlagen haben inzwischen den gleichen Wirkungsgrad wie bei schwerem Heizöl. Für die Herstellung von Treibstoffen und Grundchemikalien aus Holz ist die dreistufige Konversionstechnik verfügbar:

1. Niedrigtemperaturvergasung (500 °C) – Umwandlung in Teergas und Biokoks.
2. Hochtemperaturvergasung zu Synthesegas.
3. Herstellung der Basischemikalien durch Fischer-Tropsch-Synthese.

Die Ausbeuten der Stufe 1 sind relativ kapazitätsunabhängig, sie

kann daher dezentral in kleineren Anlagen laufen, während die Stufen 2 und 3 in Großanlagen die höchste Effizienz aufweisen. Für die Länder, die diese Techniken implementieren wollen, bedeutet dies eine ideale Industriestruktur, mit dezentralen kleineren Anlagen für die Herstellung von Teergas und Biokoks und großindustriellen Anlagen für die Herstellung der exportfähigen Produkte.

### Kann Biomasse den globalen Energie-, Treibstoff- und Chemikalienbedarf decken?

◆ Der derzeitige Welt-Energieverbrauch beträgt  $400 \times 10^{18}$  J. Holz hat einen durchschnittlichen Energieinhalt von  $17 \times 10^9$  J pro Tonne. Es werden also jährlich ca. 30 Mrd. Tonnen Holz benötigt.

Die globale Energieversorgung auf der Basis von Biomasse ist möglich, ohne die Nahrungsmittelproduktion zu beeinträchtigen. Damit ist das CO<sub>2</sub>-Problem nachhaltig zu lösen. Im Gegensatz zu allen andern diskutierten und mit viel Geld geförderten Sequestrierungsmethoden hat die Aufforstung von in historischer Zeit durch menschliche Tätigkeit degradierten und verwüsteten Flächen für eine nachhaltige Entwicklung zusätzliche unbezahlbare Vorteile. Die Aufforstung

- reduziert dauerhaft den CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre und stabilisiert das globale Klima.



**Aloys Hüttermann**

studierte Chemie (Diplom 1964) und Botanik / Mikrobiologie (Promotion 1968) an der TU Karlsruhe. Er war Postdoktorand

am McArdleLaboratory for Cancer Research in Madison und Professor für Zellbiologie an der Universität Tromsø; von 1980 bis 2003 hatte er einen Lehrstuhl am Institut für Forstbotanik der Universität Göttingen inne. Zu Schwerpunkten seiner Arbeiten gehören die Waldschadensforschung sowie in Israel (Hebrew University, Jerusalem) und China (Beijing Forestry University) Aufforstungen von Problemstandorten (Wüsten und Erosionsflächen).



**Jürgen O. Metzger,**

geboren 1940, studierte Chemie in Tübingen, Erlangen, Berlin und Hamburg, wo er 1970 über Ziegler-Natta-Katalysatoren promovierte. 1983 habilitierte er sich an der

Universität Oldenburg zum Thema „Thermisch initiierte intermolekulare organisch-chemische Reaktionen bei erhöhten Temperaturen und hohen Drücken“. 1991 wurde er zum Professor für Organische Chemie ernannt. Seine Arbeitsgebiete umfassen Nachhaltigkeit in der Chemie, umweltverträgliche organische Synthesen, nachwachsende Rohstoffe, Radikalchemie und Massenspektrometrie.

Tabelle 1.  
CO<sub>2</sub>-Sequestrierung durch Aufforstung auf unterschiedlichen Böden und in unterschiedlichen Regionen der Welt.

	Biomasse <sup>a</sup>	Sättigungsmenge im Boden <sup>b</sup>
Tropischer Trockenwald <sup>14)</sup>	55	90
Bambuswald <sup>15)</sup>	47	100
Kurzumtriebsplantagen gem. Breiten <sup>16)</sup>	37	1000
Wüstenaufforstung <sup>17)</sup>	9	90

a) Tonnen CO<sub>2</sub> pro Hektar und Jahr gebunden in Biomasse; b) Tonnen CO<sub>2</sub> pro Hektar, die im Boden als Humus und Wurzelwerk im Sättigungszustand dauerhaft gebunden sind.

Tabelle 2.  
Kosten der CO<sub>2</sub>-Sequestrierung pro Hektar.

	Kosten [Euro]
Grundstück	0 – 2000
Aufforstung	500 5000
Verwaltung und Überwachung	ca. 1000
<b>Summe</b>	<b>1500 – 8000</b>

Tabelle 3.  
Aufforstungsfläche und -kosten für den globalen Energiebedarf von 400 × 10<sup>18</sup> J.

	Fläche [ha]	Kosten [Euro]
Wüstenaufforstung	4 Mrd. <sup>a</sup>	6000 Mrd. <sup>b</sup>
Aufforstung gem. Breiten	1,5 Mrd. <sup>a</sup>	6000 Mrd. <sup>c</sup>
Aufforstung trop. Trockenwald	1 Mrd. <sup>a</sup>	4000 Mrd. <sup>c</sup>

a) Benötigte Fläche dieser Kategorie für den globalen Energiebedarf; b) 1500 Euro pro Hektar; c) 4000 Euro pro Hektar.

- regeneriert und stabilisiert nachhaltig die globalen Wasser- und Trinkwasserressourcen.
- ist die Grundlage für eine nachhaltige Versorgung der auf 9 Mrd. Menschen anwachsenden Weltbevölkerung mit Nahrungsmitteln.
- ist die Grundlage für eine nachhaltige Energie-, Treibstoff-, Materialien- und Chemikalienversorgung.
- ist die einzige sich derzeit abzeichnende Strategie für die Schaffung von hochwertigen Arbeitsplätzen im ländlichen Raum der Entwicklungsländer.
- ist billig, kann umgehend eingeleitet werden, wirkt sich in wenigen Jahren aus und ist innerhalb von wenigen Jahrzehnten umgesetzt.

Die Wiederaufforstung erscheint sogar unter ökonomischen Gesichtspunkten realisierbar. Dazu müssen die Biomasse und deren Nutzung in den CO<sub>2</sub>-Emissionshandel einbezogen werden. Leider schließt die EU diese Art der Sequestrierung von CO<sub>2</sub> vom Emissionshandel aus. Es ist jedoch notwendig, sie im Rahmen des Kyoto-Prozesses nicht nur zu ermöglichen und zu fördern, sondern sie sogar einzufordern.

Aloys Hüttermann  
Universität Göttingen  
Jürgen O. Metzger  
Universität Oldenburg

- 1) P. Schwartz, D. Randall, *An Abrupt Climate Change Scenario and Its Implications for United States National Security*; www.ems.org/climate/pentagon\_climate\_change.pdf (Oktober 2003).
- 2) *Abrupt Climate Change: Inevitable Surprises (2002)*, Ocean Studies Board, Polar Research Board, Board on Atmospheric Sciences and Climate, The National Academies, www.nap.edu/books/0309074347/html/„Klimawandel auf der Erde – die planetare Krankheit“: H. Kohl, H. Kühn, Spektrum Wiss. 2004, Juli-Heft, 32–39.

- 3) IPCC First Assessment Report, 1990, publiziert in drei Teilen: Scientific Assessment of Climate Change – Report of Working Group I (Hrsg.: J. T. Houghton, G. J. Jenkins, J. J. Ephraums), Cambridge University Press, Cambridge; Impacts Assessment of Climate Change – Report of Working Group II (Hrsg.: W. J. McG Tegart, G. W. Sheldon, D. C. Griffiths), Australian Government Publishing Service, Canberra; The IPCC Response Strategies – Report of Working Group III, Island Press, Covelo, USA. Zur Arbeit des IPCC: www.ipcc.ch/about/beng.pdf.
- 4) <http://unfccc.int/text/>
- 5) The Carbon Dioxide Dilemma, Promising Technologies and Policies, National Academies Press, Washington, 2003; <http://books.nap.edu/catalog/10798.html>
- 6) Chem. Eng. News 2003, June 30, 19.
- 7) [http://europa.eu.int/comm/research/energy/nn/nn\\_rt\\_co1\\_en.html](http://europa.eu.int/comm/research/energy/nn/nn_rt_co1_en.html)
- 8) Mitteilungen des Bundeswirtschaftsministeriums, Nr.: 527, Forschungs- und Entwicklungskonzept für emissionsarme fossil befeuerte Kraftwerke, Bericht der COORETEC-Arbeitsgruppen, www.cooretec.de.
- 9) www.nachhaltigkeitsrat.de
- 10) „CO<sub>2</sub>-Emissionen“: Mitteilungen der GDCh-Fachgruppe Umweltchemie und Ökotoxikologie 2004, 10, Nr. 1, 4, 5.
- 11) Christiane Ploetz, *Sequestrierung von CO<sub>2</sub>: Technologien, Potenziale, Kosten und Umweltauswirkungen*, Externe Expertise für das WBGU-Hauptgutachten 2003: Welt im Wandel: Energiewende zur Nachhaltigkeit, Springer, Berlin, 2003.
- 12) J. Johnson, Chem. Eng. News 2004, February 13, 20–25.
- 13) www.statoil.com
- 14) H. Tiessen, C. Feller, E. V. S. B. Sampaio, P. Garin, *Clim. Change* 1998, 40, 105 – 117.
- 15) C. M. Hui, Y. M. Yang, *Timber Bamboos and their Industrialized Utilization in Yunnan, China*, Yunnan Science and Technology Press, Kunming, 1998.
- 16) P. E. Heilmann, R. F. Stettler, *Can. J. For. Res.* 1985, 15, 384–388.
- 17) IPCC Special Report on Land Use, Land-Use Change and Forestry (Hrsg.: R. T. Watson, I. R. Noble, B. Bolin, N. H. Ravindranath, D. J. Verardo, D. J. Dokken), Cambridge, Cambridge University Press, 2000.
- 18) R. Lal, *Science* 2004, 304, 1623–1627.
- 19) A. Hüttermann, M. Zommodi, K. Reise, *Soil Tillage Res.* 1999, 50, 295 – 304.
- 20) *Schutz der Erdatmosphäre: Eine internationale Herausforderung* (Hrsg.: Deutscher Bundestag, Ref. für Öffentlichkeitsarbeit), 1988.
- 21) *Daten zusammengefasst aus: H. C. Ma, E. NellesSchwelm, Application of Hydrogel for Vegetation Recovery in Dry-Hot Valley of Yangtz, Yunnan Science and Technology Press, Kunming, 2004.*

**CEM**  
**45x30**  
**S. 1138**