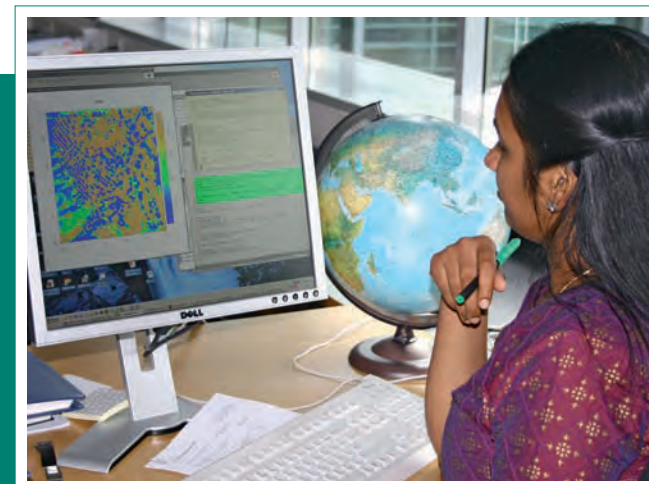
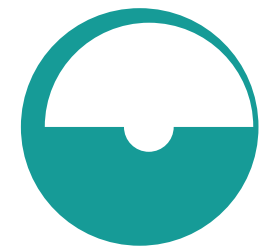


Max-Planck-Institut für Biogeochemie

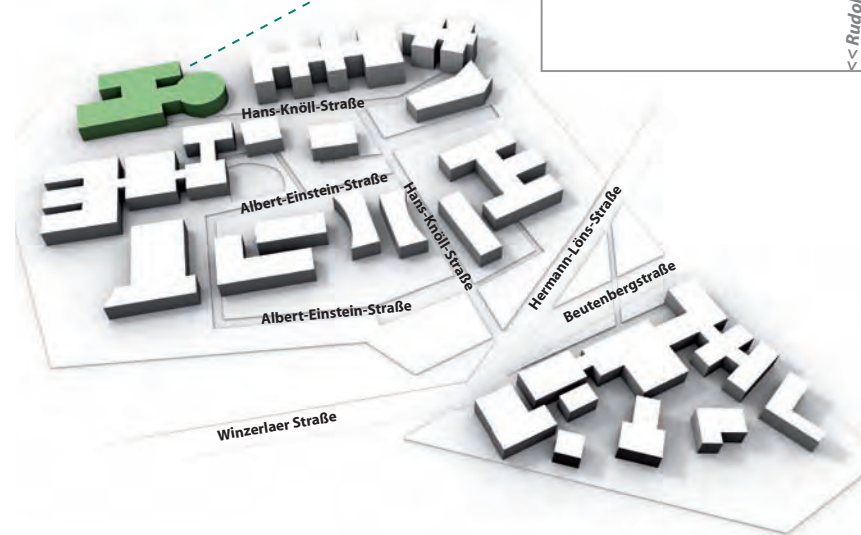
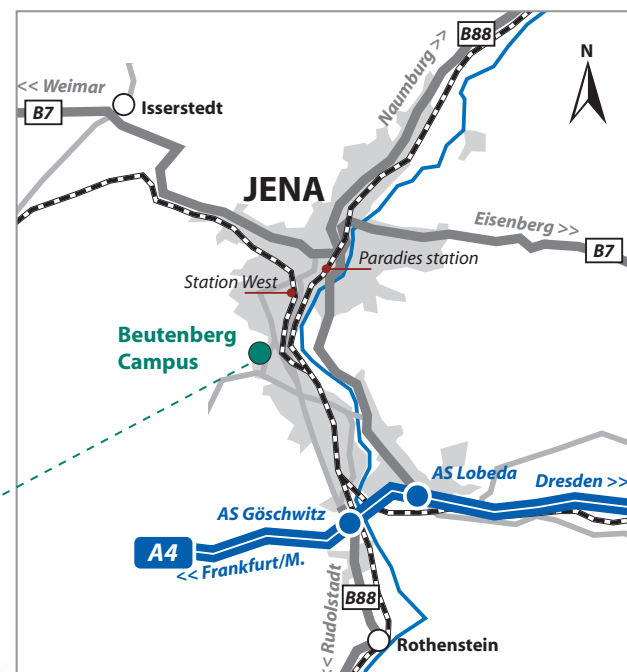


Max-Planck-Institut für Biogeochemie

Beutenberg Campus
Hans-Knöll-Str. 10
07745 Jena

Tel: 03641 57-60
Fax: 03641 57-70

E-Mail: info@bgc-jena.mpg.de
<http://www.bgc-jena.mpg.de>



Impressum

Herausgeber:

Max-Planck-Institut für Biogeochemie (MPI-BGC)

Redaktion:

Dr. Eberhard Fritz (Forschungskordinator, MPI-BGC)
Susanne Hermsmeier (Öffentlichkeitsarbeit, MPI-BGC)
Ilka Flegel (Textlabor, Jena)

Layout, Satz und Organisation:

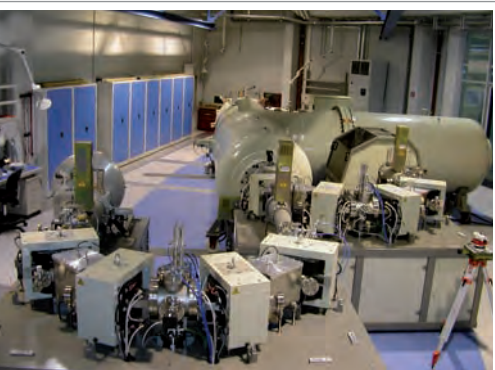
Silvana Schott (MPI-BGC)

Druck:

Druckhaus Gera, Gera

Bildnachweis:

Die Fotos und Abbildungen wurden von den Autoren und Mitarbeitern des Max-Planck-Instituts für Biogeochemie zur Verfügung gestellt.



Max-Planck-Institut für Biogeochemie

Biogeochemische Kreisläufe im Erdsystem

Forschungsansatz und Struktur unseres Instituts

Abteilung für Biogeochemische Prozesse

Abteilung für Biogeochemische Systeme

Biogeochemische Modell-Daten-Integration

Biosphärische Theorie und Modellierung

Emeritus-Gruppe

Susan Trumbore

Martin Heimann

Markus Reichstein

Axel Kleidon

Ernst-Detlef Schulze

Internationale Max-Planck-Graduiertenschule für globale biogeochemische Kreisläufe

Anna Görner

Wissenschaftliche Servicebereiche

Stabile Isotope

Gasanalyse

¹⁴C-Analyse

Spektroskopie-Labor

Routinemessungen & Analysen

Freilandexperimente & Instrumentierung

Willi Brand

Armin Jordan

Axel Steinhof

Michael Rössler

Ines Hilke

Olaf Kolle

Zentrale Servicebereiche



Max-Planck-Institut für Biogeochemie

Hans-Knöll-Str. 10
07745 Jena
Deutschland

info@bgc-jena.mpg.de
Tel: 03641 57-60

Forschungskoordination

Dr. Eberhard Fritz
efritz@bgc-jena.mpg.de
Tel: 03641 57-6800

Abteilung Biogeochemische Prozesse

Direktorin: Prof. (Univ. of California, Irvine,
CA/USA) Susan Trumbore, PhD
susan.trumbore@bgc-jena.mpg.de
Tel: 03641 57-6101

Abteilung Biogeochemische Systeme

Direktor: Prof. Dr. Martin Heimann
martin.heimann@bgc-jena.mpg.de
Tel: 03641 57-6301

Biogeochemische Modell-Daten-Integration

Dr. Markus Reichstein
markus.reichstein@bgc-jena.mpg.de
Tel: 03641 57-6201

Biospherische Theorie und Modellierung

Dr. Axel Kleidon
axel.kleidon@bgc-jena.mpg.de
Tel: 03641 57-6201

Emeritus-Gruppe

Prof. Dr. Ernst-Detlef Schulze
detlef.schulze@bgc-jena.mpg.de
Tel: 03641 57-6100

Internationale Max-Planck-Graduiertenschule für globale Biogeochemische Kreisläufe

Dr. Anna Görner
anna.goerner@bgc-jena.mpg.de
Tel: 03641 57-6260

*Wissenschaftliche Servicebereiche***Stabile Isotope**

Dr. Willi Brand
willi.brand@bgc-jena.mpg.de
Tel: 03641 57-6400

Gasanalytik

Dr. Armin Jordan
armin.jordan@bgc-jena.mpg.de
Tel: 03641 57-6403

¹⁴C- Analyse

Dr. Axel Steinhof
axel.steinhof@bgc-jena.mpg.de
Tel: 03641 57-6450

Spektroskopie-Labor

Dr. Michael Räessler
michael.raessler@bgc-jena.mpg.de
Tel: 03641 57-6500

Routinemessungen & Analysen (RoMA)

Ines Hilke
ines.hilke@bgc-jena.mpg.de
Tel: 03641 57-6503

Freilandexperimente & Instrumentierung

Olaf Kolle
olaf.kolle@bgc-jena.mpg.de
Tel: 03641 57-6555

Wissenschaftliche Datenverarbeitung

Bertram Smolny
bertram.smolny@bgc-jena.mpg.de
Tel: 03641 57-6700

*Zentrale Servicebereiche***Verwaltung**

Petra Bauer
petra.bauer@bgc-jena.mpg.de
Tel: 03641 57-6600

Öffentlichkeitsarbeit

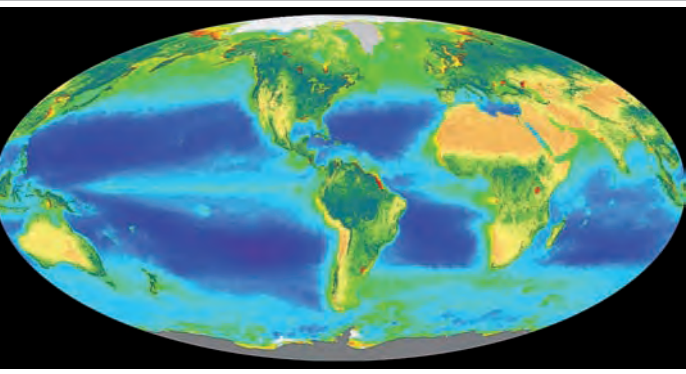
Susanne Hermsmeier
susanne.hermsmeier@bgc-jena.mpg.de
Tel: 03641 57-6801

Bibliothek

Linda Maack
linda.maack@bgc-jena.mpg.de
Tel: 03641 57-2401

Zentrale Technik

Harald Schmalwasser
harald.schmalwasser@bgc-jena.mpg.de
Tel.: 03641 57-6776



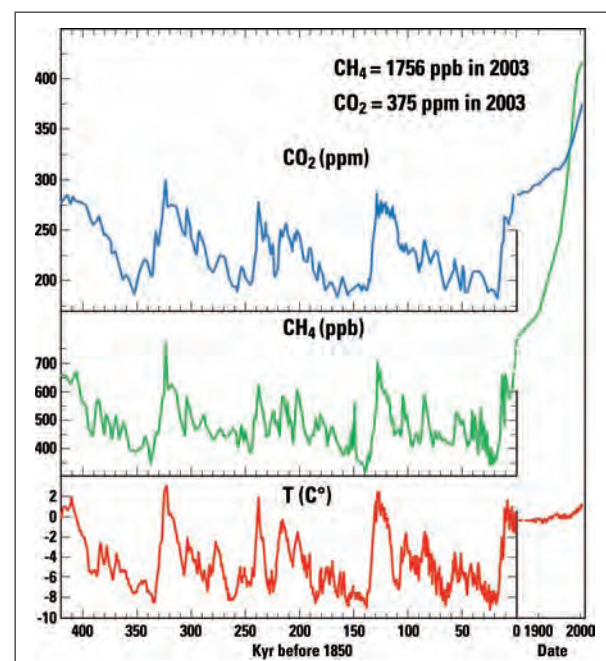
Biogeochemische Kreisläufe im Erdsystem

Kohlenstoff, Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff: Diese vier Elemente sind für das Leben auf der Erde unentbehrlich. Sie werden durch biologische, chemische und physikalische Prozesse permanent umgesetzt. Eingebaut in verschiedenartige chemische Verbindungen, werden sie durch die Biosphäre freigesetzt und über die Atmosphäre, Hydrosphäre und langfristig auch über die Geosphäre transportiert und verteilt. Am Ende finden sie irgendwann den Weg zurück in die Biosphäre, um dort erneut von Organismen umgesetzt zu werden. Da diese zyklischen Umwandlungsprozesse miteinander verbunden sind und sowohl durch die Biologie der Organismen als auch durch chemisch-physikalische Abläufe in der Atmosphäre, Hydrosphäre und Geosphäre gesteuert werden, bezeichnen wir sie als „Biogeochemische Kreisläufe der Elemente“.

Die biogeochemischen Kreisläufe sind nicht nur einfach passive von der physikalischen Umgebung bestimmte Flüsse der Elemente, sondern vielmehr als sich wechselseitig beeinflussende Komponenten des Erdsystems zu verstehen. Beispiele für solche Verknüpfungen liefern die atmosphärischen Spurengase Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4), Lachgas (N_2O) und Wasserdampf (H_2O). Obwohl die Luft – mit Ausnahme von Wasserdampf – nur

geringe Konzentrationen dieser Gase enthält, haben sie als Treibhausgase einen entscheidenden Einfluss auf das Klima und damit auf die Lebensbedingungen auf der Erde. Umgekehrt wird die Konzentration und Verteilung dieser Gase durch biologische, chemische und physikalische Prozesse gesteuert, die in terrestrischen Biosphären, in den Ozeanen und in der Atmosphäre ablaufen. Diese wechselseitigen Abhängigkeiten ermöglichen eine Vielzahl von Rückkopplungsprozessen, die auf verschiedenen Zeitskalen zwischen dem physikalischen Klimasystem und den biogeochemischen Kreisläufen ablaufen und Störungen des Gesamtsystems entweder stabilisieren oder verstärken können. Bestes Beispiel hierfür sind die parallel verlaufenden Schwankungen der Gaskonzentration in der Atmosphäre und der Temperatur während der letzten Eiszeit, wie Daten aus Eisbohrkernen belegen (Abb. unten).

*Parallel verlaufende Änderungen von atmosphärischem Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4) und globaler Temperatur (relativ zum Mittel von 1880–1899) während der letzten 400 000 Jahre, bestimmt aus antarktischen Eisbohrkernen, in-situ-Messungen und anderen Daten aus dem letzten Jahrhundert. Der dramatische Anstieg der atmosphärischen Treibhausgase im letzten Jahrhundert ist deutlich sichtbar (aus Hansen, *Clim. Change*, 68, 269–279, 2005).*



Diese Rückkopplungsprozesse waren nicht nur in der Vergangenheit bedeutend, sondern werden derzeit durch globale menschliche Einflüsse verstärkt, ohne dass man die Langzeitwirkungen vorherhersagen könnte. So setzen z.B. die weltweite Verbrennung fossiler Energieträger (Öl, Kohle, Gas) sowie die massive Abholzung für die Landwirtschaft und andere Zwecke Kohlendioxid in beträchtlichen Mengen frei. Als eine Folge davon könnten wieder eine mit früheren geologischen Zeiten vergleichbare Atmosphäre und ein entsprechendes Klima entstehen, was mit enormen ökonomischen und gesellschaftlichen Konsequenzen verbunden wäre. Des Weiteren hat die massive Veränderung der Landnutzung und des Landmanagements gewaltige, noch weitgehend unbekannte Auswirkungen auf die Ökosysteme und die Biodiversität.

Die Analyse dieser vielfältigen biogeochemischen Wechselwirkungen im Erdsystem ist somit eine wichtige und dringende wissenschaftliche Herausforderung, der sich die Max-Planck-Gesellschaft (MPG) mit der Gründung des Max-Planck-Instituts (MPI) für Biogeochemie in Jena 1997 stellte.

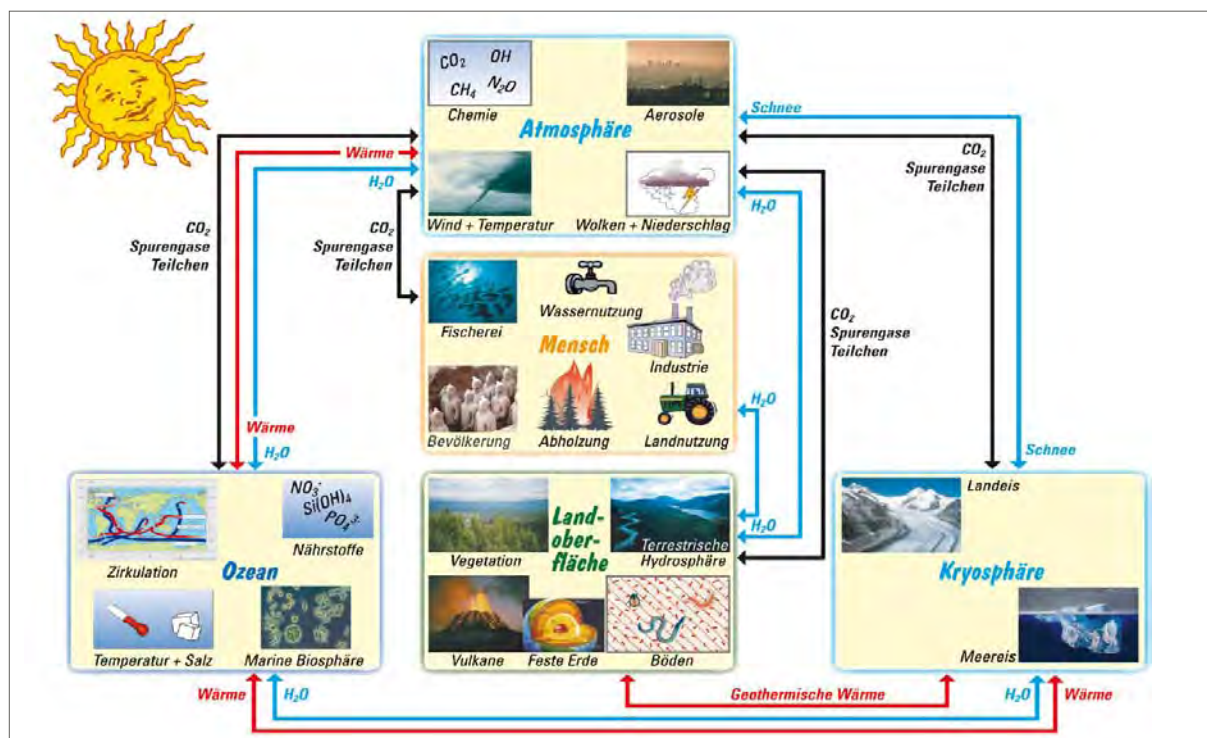
Die globale Biogeochemie ist kein isoliertes Forschungsgebiet, sondern vielmehr als neuer interdisziplinärer Forschungsbereich innerhalb der verschiedenen Geowissenschaften anzusehen. Gemeinsam können sie dazu beitragen, das äußerst komplexe Erdsystem zu verstehen, zu quantifizieren und letztendlich Veränderungen aufgrund natürlicher und menschlicher Einflüsse vorherzu-

sagen (Abb. unten).

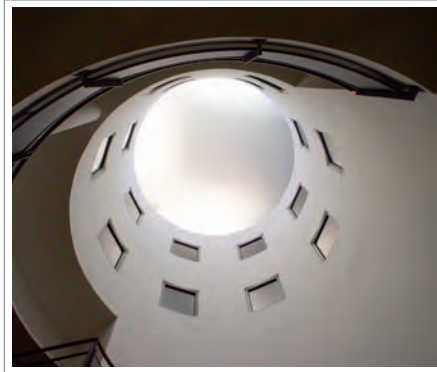
Grundlegend wichtige Fragen sind z.B.:

1. Wie ist das Erdsystem organisiert? Welche Prozesse kontrollieren den Fluss von Energie und Materie zwischen den verschiedenen Komponenten? Und wie beeinflussen sich die verschiedenen Komponenten gegenseitig?
2. Wodurch wird die Verteilung und Verfügbarkeit von Wasser gesteuert?
3. Wie kann die Komplexität des Erdsystems durch theoretische und numerische Modelle dargestellt werden?
4. Wie können Erdsystemmodelle und ihre Komponenten evaluiert und verbessert werden?
5. Welche Regionen und Bestandteile des Erdsystems reagieren besonders empfindlich auf Klimaveränderungen und menschliche Einflüsse?
6. Kann man das Erdsystem langfristig „steuern“?

Diese anspruchsvolle Grundlagenforschung wird im Verbund „Erdsystempartnerschaft (ESRP)“ der MPG verfolgt, der sich aus dem MPI für Meteorologie in Hamburg (Erforschung des physikalischen Klimasystem, z.B. Atmosphäre, Ozean und Landflächen), dem MPI für Chemie in Mainz (Schwerpunkt atmosphärische Chemie und Aerosole) und dem MPI für Biogeochemie in Jena (Erforschung der globalen biogeochemischen Kreisläufe) zusammensetzt. Daran assoziiert sind das Potsdamer Institut für Klimafolgenforschung (Untersuchung menschlicher Einflüsse im Erdsystem) sowie weitere nationale und internationale Partner.



Stark vereinfachtes, schematisches Diagramm der Hauptkomponenten und Wechselwirkungen des Erdsystems (aus „Earth System Research Partnership“: MPI für Biogeochemie, MPI für Meteorologie, MPI für Chemie, 2006).



Forschungsansatz und Struktur unseres Instituts

Wie hängen Ökosysteme und biogeochemische Kreisläufe miteinander sowie mit Veränderungen des Klimas, der Landnutzung und der Artenvielfalt zusammen? Diese komplexen wechselseitigen Einflüsse zu erforschen, hat sich das Max-Planck-Institut für Biogeochemie zur Aufgabe gemacht.

Der Forschungsansatz: dreigliedrig und komplementär

1. Anhand von Prozessstudien und Experimenten bestimmen und quantifizieren wir die Schlüsselorganismen und -prozesse sowie die umweltbedingten Einflussfaktoren, die den Austausch von Energie, Wasser und Elementen zwischen den verschiedenen Ökosystemkomponenten und ihrer Umgebung bestimmen.
2. Mittels langfristiger flächendeckender biogeochemischer Beobachtungen quantifizieren und überwachen wir das großräumige Verhalten der Austauschprozesse zwischen Erdoberfläche und Atmosphäre.
3. Die Weiterentwicklung von Theorien und Modellen ermöglicht uns, die Vielzahl von punktuellen Informationen in eine schlüssige Darstellung der biogeochemischen Prozesse in umfassenden Erdsystem-Modellen zu übertragen, um biogeochemisch-klimatische Rückkopplungen auf regionaler und globaler Ebene zu erforschen.

Die drei Forschungsabteilungen des Instituts spiegeln die drei Forschungsansätze wider:

1. Die Abteilung für Biogeochemische Prozesse unter der Leitung von Susan Trumbore untersucht Prozesse terrestrischer Ökosysteme mit Schwerpunkt Böden und Walddynamik.
2. Die Abteilung für Biogeochemische Systeme unter der Leitung von Martin Heimann untersucht atmosphärische Veränderungen biogeochemischer Spurengase und deren Beeinflussung durch regionalen Oberflächenaustausch.
3. Die Abteilung für Biogeochemische Synthese wird gegenwärtig durch zwei selbstständige Max-Planck-Forschungsgruppen vertreten:
 - a. Die Forschungsgruppe für Biogeochemische Modell-Daten-Integration unter der Leitung von Markus Reichstein analysiert die Zusammenhänge zwischen biogeochemischen Elementkreisläufen (C, H₂O, P) und Pflanze-Boden-Wechselwirkungen. Die umfangreichen Daten werden dazu aufbereitet und in dynamischen globalen Ökosystemmodellen



ausgewertet.

- b. Die Max-Planck-Forschungsgruppe für Biogeochemische Theorie und Modellierung unter der Leitung von Axel Kleidon entwickelt und nutzt theoretische und numerische Methoden, um den Einfluss der Biota auf die globalen geochemischen Kreisläufe im Erdsystem zu untersuchen.

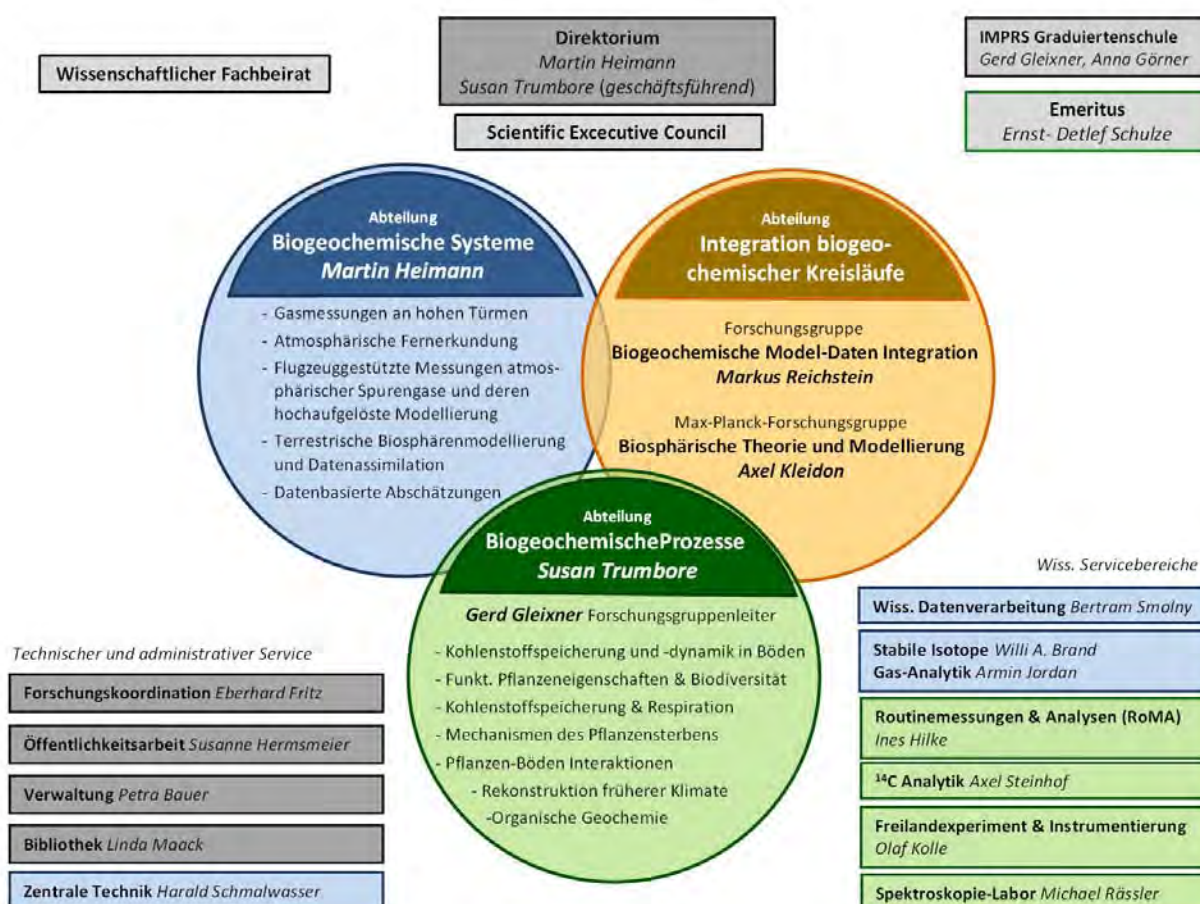
Die Forschung in der Biogeochemie ist hochgradig interdisziplinär und international angelegt.

Erfolgreiche biogeochemische Forschung kann nur durch einen hohen Integrationsgrad zwischen den wissenschaftlichen Disziplinen erreicht werden. Eine enge Verknüpfung von Modellierung und Beobachtung sowie theoretischer und experimenteller Forschung ist daher unerlässlich. Biologen, Physiker, Meteorologen, Geologen, Ökologen, Chemiker, Computerexperten, Mathematiker und Statistiker arbeiten in unseren drei Abteilungen, den beiden Max-Planck-Forschungsgruppen, der neuen internationalen Max-Planck-Graduiertenschule für globale biogeochemische Kreisläufe (IMPRS) und den Zentralen Servicebereichen eng zusammen. Des Weiteren kooperieren unsere Mitarbeiter mit Wissenschaftlern aus zahlreichen wissenschaftlichen Institutionen weltweit.

Unsere **Zentralen Servicebereiche** unterstützen die wissenschaftlichen Abteilungen, indem sie analytische und technische Unterstützung auf dem neuesten Stand der Technik bereitstellen:

- Stabile Isotope und Gasanalytik
- Routinemessungen & Analysen (RoMA)
- Spektroskopie-Labor
- ¹⁴C-Analytik
- Wissenschaftliche Datenverarbeitung
- Freilandexperimente & Instrumentierung
- Mechanische und elektronische Werkstatt
- Bibliothek

Zahlen und Fakten: Derzeit (2011) hat das Institut 220 Mitarbeiter aus 26 verschiedenen Nationen, darunter 65 Wissenschaftler und 60 Doktoranden. Der jährliche Gesamtumsatz beträgt ca. 10 Millionen Euro, wovon ca. 20 % aus Drittmitteln stammen. Das MPI für Biogeochemie wurde im September 1997 als neues Institut innerhalb der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V. gegründet. Das MPI für Biogeochemie befindet sich in Jena auf dem Beutenberg-Campus, an dem zwölf verschiedene Forschungsinstitutionen und Ausgründungszentren angesiedelt sind.





Abteilung für Biogeochemische Prozesse

Wir untersuchen Schlüsselprozesse und -organismen, die den Austausch von Energie, Wasser und Elementen zwischen Ökosystemen und deren Umgebung regulieren. Mittels Beobachtungen, Experimenten und Modellen erforschen wir den Einfluss menschlicher Aktivitäten auf diese Prozesse. Die gewonnenen Erkenntnisse ermöglichen Rückschlüsse auf das Fortbestehen von Ökosystemen sowie auf Auswirkungen auf regionale und globale Klimatendenzen.

Terrestrische Ökosysteme unterliegen derzeit einem raschen und bisher noch nie dagewesenen Wandel. Der Mensch hat mehr als die Hälfte der weltweiten Landfläche durch Aktivitäten wie Entwaldung, Land- und Weidewirtschaft stark verändert, und indirekte Einflüsse wie Klimawandel, erhöhte Kohlendioxidemissionen und Luftverschmutzung bringen weitere Veränderungen mit sich. Da Landökosysteme eine Schlüsselkomponente des globalen Klimasystems sind, ist mit Rückkopplungen auf das Klima zu rechnen. Daher untersucht unsere Abteilung die biogeochemischen Funktionsweisen von Landökosystemen im Hinblick auf aktuelle Klimatendenzen und deren Einflüsse auf die Beständigkeit von Vegetation und Böden.

Diese Untersuchungen verfolgen wir mit einer ganzen Palette von Instrumenten und Herangehensweisen. Feldstudien bestimmen die Flüsse von

Energie, Wasser und Gasen zwischen Land und Atmosphäre in Ökosystemen – von tropischen Wäldern und Savannen bis zu bewirtschafteten Wäldern und Grasländern in Deutschland. Labor- und Feldexperimente untersuchen den Einfluss einzelner Faktoren wie Temperatur, Artenvielfalt oder Nährstoffverfügbarkeit, um zu bewerten, wie verschiedene Komponenten des Ökosystems auf veränderte Umwelteinflüsse reagieren.

Dabei konzentrieren wir uns auf Ökosysteme und Prozesse, bei denen im 21. Jahrhundert starke Auswirkungen von Klimawandel und direkter menschlicher Bewirtschaftung zu erwarten sind. Hauptschwerpunkte sind die Untersuchung von lokaler Landbewirtschaftung, Trockenperioden in Deutschland, Bestandsstörungen und Stoffkreisläufen in tropischen Wäldern des Amazonas sowie der Einfluss von Erwärmung auf Kohlenstoffdynamiken in borealen Böden.

Portrait der Direktorin

Prof. (Univ. of California, Irvine, CA/USA) Susan Trumbore, PhD ist seit Oktober 2009 Direktorin der Abteilung für Biogeochemische Prozesse. Ihre Forschung widmet sich der Rolle, die terrestrische Vegetation und Böden in Kreisläufen der Grundstoffe irdischen Lebens spielen. Sie erhielt eine Reihe von Auszeichnungen und ist Mitglied der National Academy of Sciences (USA) und der American Geophysical Union. Ihre Abteilung wurde ursprünglich von E.-D. Schulze gegründet, der seine wissenschaftlichen Aktivitäten als emeritiertes Mitglied des Instituts fortsetzt. Kontakt: susan.trumbore@bgc-jena.mpg.de



Schwerpunkt 1. Ursprung, Umsatz und Verbleib von in Böden gespeichertem organischen Material

In Böden gespeichertes organisches Material (Kohlenstoffverbindungen) kann durch Stoffwechselkreisläufe in Kohlendioxid oder Methan umgesetzt werden und somit zum Treibhauseffekt beitragen. Faktoren wie Klima, Bodenflora und -fauna oder die mineralische Zusammensetzung des Bodens haben Einfluss auf die Verweildauer des Kohlenstoffs im Boden. Einige Gruppen unserer Abteilung arbeiten an diesem Thema, bestimmen Vorkommen, chemische Zusammensetzungen und Alter organischer Substanzen im Boden und sie erforschen, wie diese durch Veränderungen von Vegetation, Temperatur, Feuchtigkeit oder Landwirtschaft beeinflusst werden.

Schwerpunkt 2. Bedeutung von Kohlenstoffverteilung, Atmung und Bildung von kohlenstoffbasierten Verteidigungsstoffen für die Pflanzenmortalität

Pflanzen nutzen Photosyntheseprodukte für Atmung, Wachstum, Abwehr, Speicherung und zur Versorgung der Wurzeln. Zudem geben sie Kohlenstoffverbindungen an den Boden ab. Bisher gibt es jedoch wenige Theorien zu Verteilungsstrategien zwischen den diversen Senken und dazu, wie diese Strategien mit Änderungen der Umweltbedingungen oder Artenzusammensetzung variieren. Trockenstressexperimente mit Bäumen liefern uns Informationen über die Kopplung des Kohlenstoff- und Wasserkreislaufs im Hinblick auf trockenstressbedingtes Baumsterben. Erkenntnisse über Alter und Verwendung von kohlenstoffbasierten Speicherstoffen der Atmung führen zu einem

verbesserten Verständnis darüber, wie Pflanzen auf Stress reagieren.

Schwerpunkt 3. Rolle funktioneller Pflanzeigenschaften und der Biodiversität in biogeochemischen Kreisläufen

Die Lebewesen der Ökosysteme spielen spezifische Rollen im System globaler Elementkreisläufe. Hierbei ist es besonders wichtig, diejenigen Pflanzeigenschaften zu identifizieren, die auf Veränderungen der Umweltbedingungen am deutlichsten reagieren. Unsere Studien dazu reichen von Experimenten, in denen die Artenvielfalt manipuliert wird, bis hin zur Untersuchung von Langzeiteffekten der Landwirtschaft. In tropischen Wäldern untersuchen wir Effekte von Bestandsstörungen (z.B. Waldbrände und Windbruch) auf die Artenzusammensetzung der Ökosysteme und auf Kohlenstoffverteilungsmuster. Solche Feldstudien erlauben uns auch, die Bedeutung von Pflanzeigenschaften für Funktionsbestimmungen auf höheren Betrachtungsebenen zu testen.

Schwerpunkt 4. Rekonstruktion früherer Vegetation und Klimate

Pflanzen produzieren Stoffverbindungen, die durch ihre Isotopenzusammensetzung als Indikatoren für Umweltparameter dienen können. In unseren Untersuchungen definieren wir die Isotopenverhältnisse und nutzen sie, um vergangene (Klima-)Veränderungen zu rekonstruieren. Wir studieren insbesondere die Einflüsse vergangener Trockenperioden auf Bestandsdynamiken in deutschen Wäldern sowie historische Veränderungen der Monsunaktivität auf der Tibetischen Hochebene.



Trockenstressexperiment, bei dem die Mechanismen des Baumsterbens infolge von Trockenheit bestimmt werden. Alle physiologisch relevanten Funktionen und Prozesse der gestressten Bäume (insbesondere die Kohlenstoffverteilung und -flüsse) werden mittels Sensoren nachverfolgt.



Böden und Ökosystemprozesse

Böden spielen für globale Stoffkreisläufe eine wichtige Rolle. Der Gehalt an organischer Substanz im Boden ist ein Indikator für seine Fruchtbarkeit, aber auch eine wichtige Quelle und Senke von Treibhausgasen. Wir untersuchen, wie sensibel Bodenkohlenstoff auf Umweltänderungen reagiert und wie sich Wechselbeziehungen zwischen Vegetation, Klima, Bodenorganismen und Bodeneigenschaften auf die Kohlenstoffspeicherung auswirken.

Der Boden ist ein wichtiger Standortfaktor, denn seine Fruchtbarkeit beeinflusst die Pflanzen- und damit auch die Nahrungsmittelproduktion. Organische Substanz im Boden ist ein wesentliches Merkmal der Bodenfruchtbarkeit und gleichzeitig der wichtigste terrestrische Speicher im Kohlenstoffkreislauf. Die Mineralisation der organischen Bodensubstanz durch Bodenorganismen führt zu einer Verkleinerung des Speichers. Durch neues, abgestorbenes Pflanzenmaterial kann er wieder aufgefüllt werden. Da die Mineralisation zur Freisetzung von CO₂ in die Atmosphäre führt, sind Böden eine wichtige Quelle dieses Treibhausgases.

Um vorhersagen zu können, wie Böden auf Landnutzungs- oder Umweltänderungen wie den Klimawandel reagieren, ist es wichtig, die Prozesse, die zur Speicherung oder Mobilisierung von Kohlenstoff im Boden führen, zu verstehen. Bestimmt werden sie von der Zusammensetzung und Produktivität der Vegetation, der Diversität und

Aktivität der Bodenorganismen, den abiotischen Bodenmerkmalen (z.B. Korngrößenverteilung, Mineralogie) und dem Klima. Erschwert werden Bodenuntersuchungen durch die hohe räumliche Variabilität, die von der Oberfläche aus nicht einfach sicht- und messbar ist. Dadurch ist es schwierig, die Ergebnisse von punktuellen Messungen auf größere Flächen zu übertragen.

Schwerpunkt 1. Monitoring des Kohlenstoffgehalts der Böden

Aktuelle Forschungsergebnisse zeigen, dass Wälder sowie Wiesen und Weiden in Europa Kohlenstoffsinken sind, Ackerstandorte hingegen leichte Quellen. Diese Ergebnisse basieren auf Messungen des Gasaustauschs zwischen Ökosystemen und der Atmosphäre sowie auf Modellrechnungen. Eine Überprüfung dieser Ergebnisse durch direkten Nachweis der Änderungen in Vorräten im Boden und der Biomasse steht allerdings noch aus. An

Portrait der Arbeitsgruppenleiterin

Dr. Marion Schrumpp studierte Geoökologie an der Universität Bayreuth, wo sie über Wasser- und Nährstoffflüsse in Bergregenwäldern promovierte. Im Jahr 2004 kam sie als Postdoc an das MPI für Biogeochemie in Jena, um den Bodenteil des EU-Projekts CarboEurope zu bearbeiten. Ihr Forschungsschwerpunkt liegt heute in der Bestimmung der räumlichen und zeitlichen Variabilität von Bodenkohlenstoff, den Folgen von Landnutzung und Umweltänderungen für die Kohlenstoffspeicherung und den zugrundeliegenden Prozessen und Mechanismen.
Kontakt: marion.schrumpff@bgc-jena.mpg.de



zwölf europäischen FLUXNET-Standorten unterschiedlicher Landnutzung haben wir 2004 eine umfangreiche Erstinventur der Bodenkohlenstoffgehalte durchgeführt (CarboEurope-IP). Derzeit werden die Flächen nach und nach wiederbeprob, analysiert und die Ergebnisse ausgewertet.

Schwerpunkt 2. Mechanismen der Kohlenstoffspeicherung in Böden

Abgestorbene Pflanzenteile bilden die wichtigste Quelle für neuen Kohlenstoff im Boden, aber nur ein Bruchteil dieses Kohlenstoffs wird längerfristig im Boden gespeichert. Indem wir den Kohlenstoff von Pflanzen auf einem Acker durch das stabile Kohlenstoffisotop ^{13}C markieren, können wir den Weg des Kohlenstoffs von der Pflanze in den Boden verfolgen. So können wir bestimmen, welcher Teil des pflanzenbürtigen Kohlenstoffs in Abhängigkeit von Temperatur und Bodenfeuchte wieder zu CO_2 mineralisiert wird, welcher Anteil in die mikrobielle Biomasse eingebaut wird und wie viel als neuer Kohlenstoff im Boden verbleibt. Neben dem Klima beeinflussen auch Bodeneigenschaften wie Mineralogie, pH-Wert oder Redoxbedingungen den Abbau der organischen Substanz. Wir beschäftigen uns mit der Frage, wie viel Kohlenstoff in verschiedenen Bodentypen an Minerale gebunden wird und wie stark diese Bindung den Abbau der organischen Substanz hemmt.

Schwerpunkt 3. Landnutzung, Biodiversität und Umweltänderungen

Ökosystemprozesse und -funktionen werden heute durch verschiedene Störungen, wie Landnutzungsänderungen, Klimawandel oder Stickstoffeinträge, verändert. Im Rahmen der Biodiversitätsexploratorien (www.biodiversity-exploratories.de) unter-

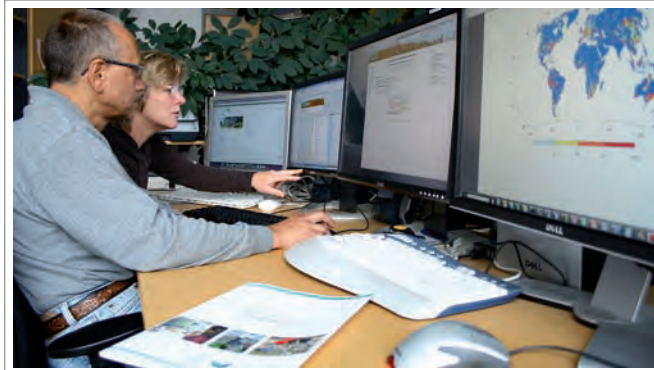
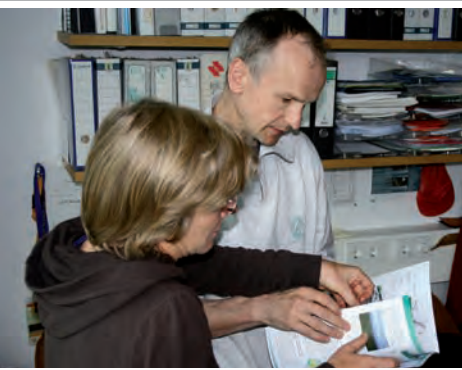


Verteilung der Bodenmonitoring-Standorte in Europa. Dazu gehören Wiesen und Weiden (grün), Äcker (rot), Laubwälder (schwarz) und Nadelwälder (blau).

suchen wir auf Plot- und Landschaftsebene, wie sich Landnutzung und -management über Änderungen der Pflanzen- und Tiergemeinschaften auf die Kohlenstoffspeicherung auswirken. Neben den Kohlenstoffgehalten untersuchen wir die Abbaubarkeit der organischen Substanz und ihre Umsatzzeiten in Laborinkubationen. Wurzeln sind eine wichtige Quelle für Bodenkohlenstoff, aber ihr Anteil an der langfristigen Kohlenstoffspeicherung im Boden ist unklar. Wir messen die Produktion von Wurzeln und analysieren, wie sich Wurzelqualität, Nährstoffe, Bodentiere und Klima auf deren Abbau auswirken.



Wir untersuchen den Weg von neuem, pflanzenbürtigem Kohlenstoff im Boden, indem wir Pfefferminzpflanzen im Gewächshaus kontinuierlich über das CO_2 der Luft mit einer bestimmten Isotopenzusammensetzung markieren (Quasom-Freilandexperiment).



Funktionelle Biodiversität der Pflanzen

Die Eigenschaften der Pflanzen bestimmen weitgehend die Reaktion der Landbiosphäre auf Klimaänderungen – von Akklimatisierung und Anpassung bis hin zum Aussterben einzelner Arten oder kompletter Ökosysteme. Wir arbeiten daher daran, die Datenbasis zu Pflanzenmerkmalen zu konsolidieren, ihre Bedeutung für Ökosystemfunktionen besser zu verstehen und die Anpassungsfähigkeit der Vegetation in globalen Modellen des Erdsystems zu berücksichtigen.

Im Laufe der letzten Jahrhunderte hat der Mensch die Umwelt in globalem Maßstab verändert – mit weitreichenden Konsequenzen für die Artenvielfalt. Heute sterben täglich etwa 130 biologische Arten aus, während gleichzeitig viele Arten durch menschliche Aktivitäten rund um den Globus verteilt werden und der jeweils heimischen Flora und Fauna Konkurrenz machen. Wie reagieren Ökosysteme auf den Verlust einheimischer Arten bei gleichzeitiger Ansiedelung fremder Arten? Wie werden Ökosysteme auf die zu erwartenden Änderungen des Klimas reagieren? Wie wird die Veränderung des Klimas die Verbreitung der Arten beeinflussen – und umgekehrt: Welchen Einfluss hat Biodiversität auf Klimaänderungen? Um diese Fragen zu beantworten, müssen wir eine Brücke schlagen von der Erfassung der Artenvielfalt mit ihren funktionellen Eigenschaften bis hin zur Erdsystem-Modellierung.

Als Primärproduzenten spielen Pflanzen im Ökosystem eine besondere Rolle. Ihre morphologischen und physiologischen Eigenschaften bilden eine quantitative Verbindung zwischen Artenvielfalt und ihrer Funktion im Ökosystem. Allerdings sind Daten zu Pflanzeigenschaften bisher auf unzählige kleinere und größere Datenbanken verteilt, die für die wissenschaftliche Gemeinschaft oft nicht zugänglich sind. Unsere Gruppe hat daher 2007 eine internationale Initiative ins Leben gerufen, um diese Datenbanken weltweit zusammenzuführen, die Daten zu konsolidieren und sie der wissenschaftlichen Gemeinschaft zur Verfügung zu stellen.

Diese Initiative, genannt TRY (www.try-db.org), hat sich zu einem internationalen Netzwerk von Wissenschaftlern entwickelt (Abb. nächste Seite), das von unserer Gruppe in Zusammenarbeit mit der Universität Leipzig, der Universität Córdoba (Argentinien), der Macquarie Universität in Syd-

Portrait des Arbeitsgruppenleiters

Dr. Jens Kattge studierte Biologie und Chemie mit Vertiefung in Pflanzenökologie und Bodenkunde an der Universität Gießen, wo er auch promovierte. 2002 kam er als Postdoc an das Max-Planck-Institut für Biogeochemie in Jena. Seit 2010 leitet er das Projekt Funktionelle Biodiversität der Pflanzen.

Kontakt: jens.kattge@bgc-jena.mpg.de



ney (Australien) und den Universitäten Grenoble und Paris (Frankreich) koordiniert wird. Bis heute hat die Initiative über 100 unterschiedliche Datenbanken mit Pflanzenmerkmalen zusammengeführt. Der neue Datensatz enthält ca. drei Millionen Einträge zu rund 1.000 verschiedenen Pflanzenmerkmalen für 69.000 der etwa 300.000 bekannten Pflanzenarten. Mittlerweile wird die TRY-Datenbank in einer Reihe von Forschungsprojekten weltweit genutzt.



Partnerinstitute (rot) und Messstandorte (cyan) im Rahmen des TRY-Netzwerks (Stand April 2011).

Darüber hinaus befassen wir uns mit folgenden Forschungsschwerpunkten:

Schwerpunkt 1. Globale Muster funktioneller Biodiversität

Im Rahmen der TRY-Initiative erfassen wir die Variationsbreite der Pflanzenmerkmale weltweit. In Zusammenarbeit mit der Universität von Minnesota nutzen wir diesen Datensatz im Zusammenhang mit modernen statistischen Verfahren, u.a. aus den Bereichen maschinelles Lernen, Data-Mining und Matrix-Completion, um die Pflanzenmerkmale in Abhängigkeit von Klima und Bodeneigenschaften zu charakterisieren und zu verstehen. Der TRY-Datensatz erlaubt es darüber hinaus, Pflanzenmerkmale vor dem Hintergrund der Evolution zu untersuchen, die Korrelation verschiedener Merkmale zu berücksichtigen und die Variation innerhalb und zwischen Arten und Pflanzentypen zu vergleichen.

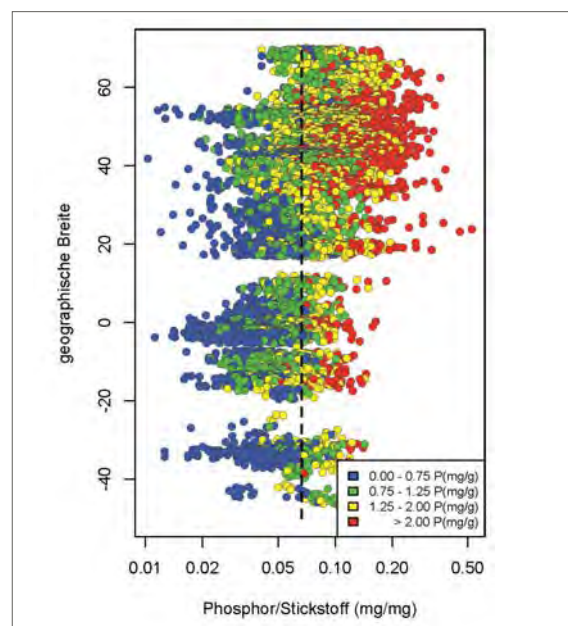
Schwerpunkt 2. Funktionelle Biodiversität und Ökosystemfunktion

CO₂-, Wasser- und Energieaustausch sind Funktionen der Ökosysteme, die sich aus der Interaktion von Boden, Klima und Vegetation ergeben. Der TRY-Datensatz erlaubt es, die Verbindung zwischen der Vielfalt der Pflanzenarten und den Eigenschaften der Ökosysteme zu studieren: Können wir auf Basis der Pflanzenmerkmale einen Einfluss der Artenvielfalt auf Ökosystemeigenschaften (a) innerhalb eines Standortes und (b) zwischen verschiedenen Standorten quantifizieren? Eddy-

Kovarianz-Messungen ermöglichen es hierbei, das dynamische Verhalten der Ökosysteme, wie den saisonalen Zyklus der Primärproduktion oder ihre Sensitivität gegenüber Dürreereignissen, zu untersuchen. In Kooperation mit der Forschungsgruppe Biogeochemische Model-Daten-Integration bringt dieser Schwerpunkt den TRY-Datensatz mit Eddy-Kovarianz Messungen im Rahmen der FLUXNET-Initiative zusammen.

Schwerpunkt 3. Funktionelle Biodiversität und Erdsystem-Modellierung

Die meisten Erdsystem-Modelle verwenden Pflanzenmerkmale als Modellparameter, ohne den Reichtum der heute verfügbaren Daten auszuschöpfen und die Variationsbreite und Anpassungsfähigkeit der Pflanzenarten zu berücksichtigen. In Kooperation mit dem Max-Planck-Institut für Meteorologie und der IGBP-Initiative zur Modellierung von Vegetationsverschiebungen durch Klimaänderungen schlagen wir eine Brücke zwischen den ansonsten getrennten Forschungsbereichen Biodiversität und Erdsystem-Modellierung. Um aus den Messungen von Pflanzeigenschaften, wie zum Beispiel Stickstoff- und Phosphorgehalt in Blättern (Abb. unten), geeignete Modellparameter abzuleiten, nutzen wir auch hier moderne statistische Methoden, wie hierarchische Bayesische Modellierung, und entwickeln diese weiter.



Globaler Nord-Süd-Gradient des Verhältnisses von Phosphor zu Stickstoff in Blättern. Die Farben geben den Phosphorgehalt wieder: von blau (gering) zu rot (hoch); TRY-Datenbank, 12.651 Messungen.



Forschungsgruppe: Molecular Biogeochemistry

The research group explores key processes in the global biogeochemical cycles at the molecular level. Biomarkers and their isotopic content hold information on the regulation of the individual processes. The group is developing new tools and is applying existing techniques to investigate single key processes.

Biomarkers are molecules that contain information on the presence of individual organisms in the environment. They span a variety of molecules with different chemical characteristics and are read using the “omic” approaches. DNA and RNA, for example, contain the genetic information of present and active organisms. This genomic information can be read and individual organisms can be identified. Both molecules, however, are very easily decomposed in the environment and consequently provide only snapshots of actual communities. In contrast, lipids are compounds used to make cell membranes and cuticular waxes that can persist for a long time in the environment, and can even be isolated from Archaean rocks. Lipidomics is used to develop profiles that can identify individuals or groups of organisms as well as lipid profiles characteristic for environmental conditions including salinity, anoxia, and desiccation.

The key questions in molecular biogeochemistry

are: Who is there, what are they doing, and why? Proteomic and metabolomic approach bridges from the presence of organisms to their function in the environment. However, in order to explore the function of individual processes and how the microbial fluxes link to the overall functioning of ecosystems, additional information is drawn from the isotopic information of biomarkers. Compound specific isotopes (^{13}C , ^{14}C , ^{15}N , ^{18}O and ^2H) of biomarkers trace the flow of matter through the element cycles. The group of molecular biogeochemistry combines approaches using the natural abundance of stable isotopes, isotope labeling, and stable isotope probing (SIP) to quantify key processes in the environment.

Focus 1. Understanding the origin, fate and stability of organic matter in soils

Soil organic matter (SOM) remains the largest single unknown in the terrestrial carbon cycle. The group investigates in various projects how abiotic

Portrait des Forschungsgruppenleiters

apl. Prof. Dr. Gerd Gleixner is senior group leader in the Department of Biogeochemical Processes and holds a professorship for organic geochemistry at the Friedrich Schiller University in Jena. He studied agricultural sciences and biotechnology at the Technical University of Munich. His research interests are terrestrial organic matter cycling, metabolic isotope fractionation, and palaeoclimate reconstruction.

contact: gerd.gleixner@bgc-jena.mpg.de



factors like organic matter input, parent material, humidity and temperature (see also QUASOM project) as well as biotic factors such as stand age, plant and microbial diversity influence SOM storage. The isotopic information of ^{13}C , ^{14}C and ^{15}N of biomarkers from individual compounds and fractions determines the molecular turnover of SOM and suggests high vulnerability of SOM stored in soils.



Installation of a litter exchange experiment in the National Park Hainich

We determine the molecular and isotopic composition of dissolved organic matter (DOC) in order to understand the role of DOC in the environment. We use the molecular fingerprint of DOC using pyrolysis-GC/MS and LC/MS to identify sources of DOC. The isotopic content of DOC in soil depth profiles suggests that DOC from the surface is reactively transported in the soil and that DOC in deeper soil horizons is not related to the DOC in upper soil horizons.

Focus 2. Understanding carbon flow in plant metabolism

Carbohydrates are the central molecules in plant metabolism. During the day, they transport energy and carbon fixed by photosynthesis to support respiration, storage, growth and defense. At night, they provide energy for the cellular metabolism using mitochondrial respiration. However, so far the regulation of carbohydrate metabolism and the role of different processes in plant metabolism is still not completely understood. The group develops and applies molecular techniques to use the isotopic information of plant metabolites to trace the flow of carbon in plants and to understand its regulation.

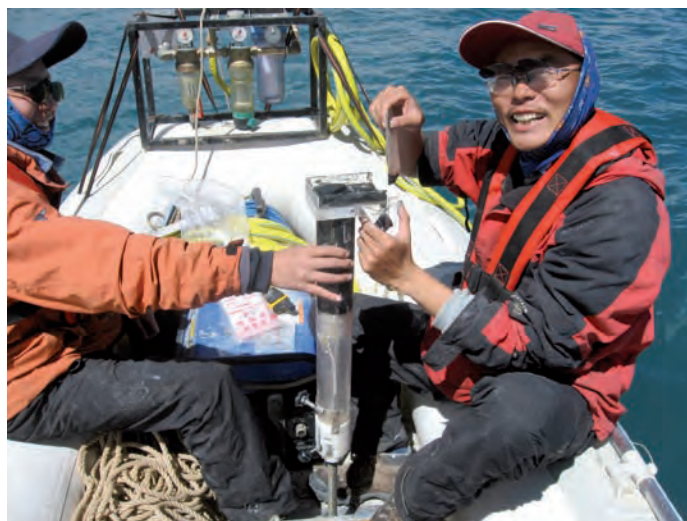
Focus 3. Understanding the role of biodiversity in biogeochemical cycles

Plants react not only to abiotic factors like climate, but also to the presence of other plants and microorganisms in the soil. The interaction can be positive if, for example,

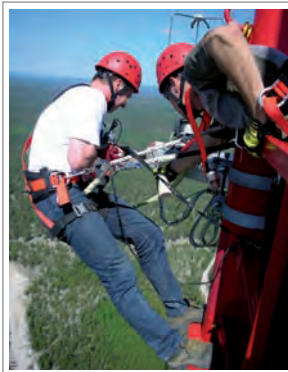
resources are used complementarily but also negative if pathogens are infecting plants. At the community level, these interactions are difficult to investigate. Molecular tools can help to differentiate between the responses of individual species and communities. Our work is focused on the effect of tree and grassland diversity on (1) the link between above- and below- ground diversity; and (2) the link between plant diversity, soil organic matter (SOM) dynamics and export of dissolved organic matter. In short term experiments we use isotopic labeling to trace the effect of diversity on how carbon is allocated from plants to soil microorganisms and SOM. In the long term we investigate if higher plant diversity gives the insurance for a long term success of the community, even if some individual species of the community may fail.

Focus 4. Understanding and reconstructing past climate and vegetation dynamics

Understanding of the links between ecosystems and past and present climate will improve our prediction for future climates and how they may affect biodiversity and ecosystem function. Reconstructions of the Holocene climate are strongly linked to information from polar ice cores, while climate reconstructions for larger areas that permit separation of the effects of local climate effects from large-scale circulation patterns are still very sparse. The group explores the use of hydrogen isotopes of biomarkers as a proxy for palaeoclimate reconstructions. A major focus has been the construction of quantitative transfer functions that link hydrogen isotopes to the hydrologic cycle across humid, tropical, boreal and mountain ecosystems. These methods are now being applied to the large-scale climate reconstructions of monsoon variation in the past 10,000 years on the Tibetan plateau.



Sampling of sediment cores at the Tibetan Plateau



Abteilung für Biogeochemische Systeme

Biogeochemische Kreisläufe äußern sich in der Atmosphäre durch wichtige Treibhausgase, wie Kohlendioxid, Methan und Lachgas. Wir entwickeln Methoden zur Messung und Fernerkundung dieser Gase. Dazu betreiben wir ein weltweites Netz von Messstationen in wichtigen, auch schwer zugänglichen Regionen dieser Erde. Mit numerischen Modellen berechnen wir, wo sich starke Quellen und Senken befinden und wie sie sich durch Umwelt und menschliche Einflüsse verändern.

Viele der globalen biogeochemischen Kreisläufe spiegeln sich in der Atmosphäre durch Spurengase wider, wie Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4) und Lachgas (N_2O) oder auch Aerosole. Räumliche und zeitliche Änderungen der atmosphärischen Konzentration dieser Gase liefern wichtige Informationen über Lage, Ausmaß und zeitliche Änderungen ihrer jeweiligen Quellen und Senken. Aufgrund der schnellen Durchmischung der Luft wirkt die Atmosphäre dabei als natürlicher „Integrator“ der komplexen Austauschflüsse dieser Gase an der Erdoberfläche. Insgesamt können atmosphärische Messungen daher dazu dienen, Oberflächenprozesse auf verschiedenen räumlichen und zeitlichen Skalen zu beobachten – vom regionalen Ökosystem über Kontinente bis hin zur ganzen Erde. Dabei muss der atmosphärische Transport durch den Wind berücksichtigt werden – dies geschieht durch die Verwendung von numerischen meteorologischen Modellen. Dieses Verfahren wird in der Abteilung für Biogeochemische Systeme in

vier Schwerpunktbereichen weiterentwickelt und angewandt:

Schwerpunkt 1. Erweiterung des atmosphärischen Netzwerkes von in-situ-Messungen biogeochemischer Spurengase

Das derzeitige globale atmosphärische Netzwerk zur Messung biogeochemischer Spurengase weist noch viele Lücken in klimatisch wichtigen Gebieten auf. Unsere Abteilung ist daher bestrebt, neue Messstationen in solchen schwächer erfassten Gegenden aufzubauen, die sogenannte „Hotspots“ im Erdsystem bilden. Geographisch verfolgen wir dazu drei Richtungen: (1) Eine Kette von hohen Messtürmen von Europa bis in die Eurasische Taiga bei 60°N , die u.a. einen 300 m hohen Messturm (ZOTTO, Abb. nächste Seite) in Zentralsibirien einschließt. (2) Eine Kette von Messstationen auf entlegenen Inseln und Küsten entlang des östlichen Atlantiks (z.B. Shetland, Kap Verde, Namibia), um ozeanische Prozesse

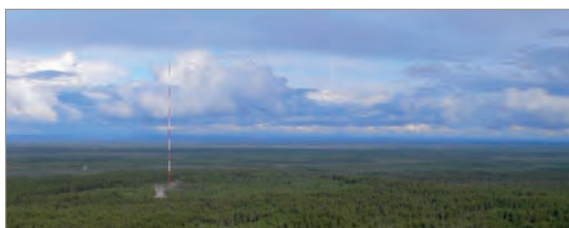
Portrait des Direktors

Prof. Dr. Martin Heimann ist seit 2004 Direktor der Abteilung für Biogeochemische Systeme am Max-Planck-Institut für Biogeochemie. Er ist Mitglied der Max-Planck-Gesellschaft, Honorarprofessor an der Friedrich-Schiller-Universität Jena und Mitglied der Academia Europaea. Seit über drei Jahrzehnten arbeitet er an der Analyse und Modellierung des globalen Kohlenstoffkreislaufes und seiner Interaktion mit dem physikalischen Klimasystem.

Kontakt: martin.heimann@bgc-jena.mpg.de



und vom afrikanischen Kontinent stammende Luftmassen zu untersuchen. (3) Zusammen mit dem MPI für Chemie in Mainz und Partnern in Brasilien bauen wir einen 300 m hohen Messturm im zentralen Amazonasgebiet (ATTO). Durch die quasi-kontinuierliche, gleichzeitige Messung von verschiedensten biogeochemischen Spurengasen können wir zwischen unterschiedlichen Abgabe- („Quellen“) und Aufnahme- („Senken“) Prozessen unterscheiden.



Zotino Tall Tower Observatory (ZOTTO): ein 300 m hoher Turm zur Messung von biogeochemischen Spurengasen, Aerosolen und atmosphärischer Chemie; errichtet in Zentralsibirien durch das MPI für Biogeochemie, das MPI für Chemie und das Forstinstitut in Krasnojarsk; finanziert durch die Max-Planck-Gesellschaft.

Schwerpunkt 2. Entwicklung von neuen Messtechniken und Beobachtungssystemen

Die geringen räumlichen und zeitlichen Schwankungen der biogeochemischen Spurengase erfordern extrem genaue Messungen. Diese in entlegenen Gegenden und unter widrigen Umweltbedingungen zu gewährleisten, stellt eine schwierige technische Herausforderung dar. Daher erforschen wir eine Reihe von neuen Techniken: die Miniaturisierung von Messinstrumenten für den Einsatz an Bord von Passagier- und Forschungsflugzeugen, die Nutzung eines bodengestützten Fourier-Transformationsspektrometers zur Nah-Infrarotspektroskopie des Sonnenlichtes und, in Zusammenarbeit mit anderen Partnern, die Entwicklung von Systemen zur Messung atmosphärischer Spurengaskonzentrationen aus dem Weltraum.

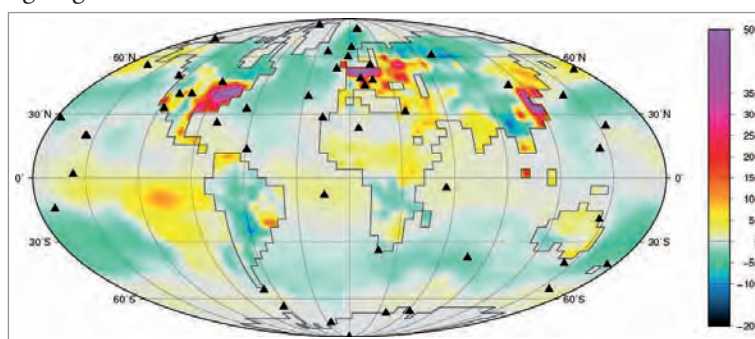
Schwerpunkt 3. Kopplung von atmosphärischen Punktmessungen mit regionalen Modellergebnissen

Eine „Achillesferse“ bei der Analyse der Treibhausgaskonzentrationen ist die Darstellung von lokalen Punktmessungen in raster-basierten atmosphärischen Modellen, insbesondere über Land, wo ein heterogenes Mosaik aus Treibhausgasquellen und -senken vorherrscht. Um die Lücke zwischen Modell und Messungen zu schließen, betreiben wir Prozessstudien auf regionaler Skala, indem wir

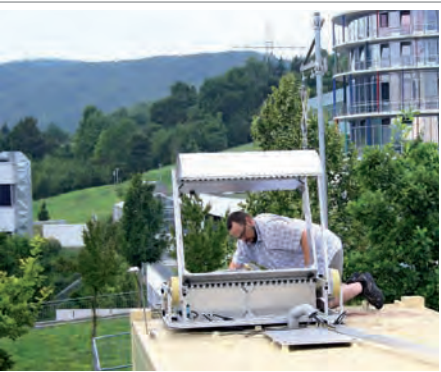
Beoberkungskampagnen mit hoher Datendichte durchführen. Dabei verwenden wir Messungen an Bord von Flugzeugen sowie am Boden und durch Fernerkundung. Die gewonnenen Daten werden mit hochauflösenden meteorologischen Regionalmodellen analysiert.

Schwerpunkt 4. Entwicklung und Anwendung von inversen atmosphärischen Modellen und Datenassimilationssystemen

Für die Ableitung von Quellen und Senken aus atmosphärischen Beobachtungen benötigen wir numerische Modelle, die den Transport durch den Wind beschreiben und im „inversen“ Modus betrieben werden. Dabei werden auch andere Messungen mit einbezogen, wie z.B. die Konzentrationen anderer Spurengase oder weitere, aus Satellitenmessungen ermittelte Eigenschaften der Erdoberfläche. Das Endziel ist die Entwicklung eines Systems zur Datenassimilation aus biogeochemischen Modulen der Land- und Ozeanoberflächen und einem meteorologischen Atmosphärenmodell. Dieses System wird durch die Vielzahl von Beobachtungen konsistent optimiert, ganz so, wie dies routinemäßig bei der numerischen Wettervorhersage erfolgt. Mit diesem Werkzeug können wir beobachten und quantifizieren, wo und wie stark sich die Spurengasbilanzen durch klimatische (z.B. Hitze, Trockenheit) und humane (z.B. Verbrennung fossiler Brennstoffe, Feuer, Abholzung) Einflüsse verändern (Abb. unten). Diese wichtigen Informationen führen zu einem besseren Verständnis der biogeochemischen Kreisläufe – und damit auch zu einer verbesserten Darstellung dieser Kreisläufe in globalen Erdsystemmodellen.



Globale Verteilung von Kohlendioxidquellen und -senken, ermittelt aus atmosphärischen Messungen (an den mit Dreiecken gekennzeichneten Orten) und modelliert mit dem Jenaer Inversionsystem. Das Diagramm zeigt den Mittelwert der Jahre 1996–2007 in $\text{gC m}^{-2} \text{Jahr}^{-1}$ (Rödenbeck et al., 2003, ACP, aktualisiert). Blaue und grüne Farben stellen Senken dar, gelbe und rote Farben zeigen Quellen an. Der Einfluss von Emissionen aus hochindustrialisierten Regionen in der nördlichen Hemisphäre ist deutlich sichtbar.



Atmosphärische Fernerkundung

Die Gruppe Atmosphärische Fernerkundung beschäftigt sich mit der Messung atmosphärischer Parameter aus der Entfernung. Fernerkundungsmethoden basieren typischerweise darauf, dass elektromagnetische Strahlung mit Bestandteilen der Atmosphäre wie z.B. Treibhausgasmolekülen oder Aerosolen wechselwirkt. Aus der Analyse der gemessenen elektromagnetischen Strahlung bestimmt man atmosphärische Parameter, die für den globalen Kohlenstoffhaushalt wichtig sind.

Treibhausgase wie Kohlendioxid, Methan oder Wasserdampf lassen sich sehr genau mit Messinstrumenten messen, die ihre Umgebungsluft analysieren (in-situ). Mit zunehmender Höhe wird dies allerdings immer schwieriger. Da alle Treibhausgase Infrarotstrahlung absorbieren, kann man diese Gase auch aus der Entfernung messen. Infrarotstrahlung wird auf ihrem Weg durch die Atmosphäre von Treibhausgasmolekülen in charakteristischer Weise sowohl absorbiert als auch emittiert. Indem man diese Strahlung misst, kann man die vorhandene Menge einer Reihe von Treibhausgasen bestimmen. Das geht sowohl von oben mit Satelliten als auch vom Boden aus.

Fernerkundungsmethoden, die die natürliche elektromagnetische Strahlung beobachten, nennt man „passiv“. Andere Bestandteile der Atmosphäre wie Aerosole lassen sich besser mit „aktiven“ Methoden beobachten. Bei der aktiven Fernerkundung beleuchtet eine künstliche Lichtquelle, wie

etwa ein Laser, den Teil der Atmosphäre, den man beobachten möchte. Aus der rückgestreuten oder absorbierten Strahlung erhält man dann z.B. die Aerosolmenge.

Schwerpunkt 1. Treibhausgasmessungen mit Fourier-Transformations-Infrarotspektroskopie

Das wichtigste Projekt unserer Gruppe ist die Fernerkundung atmosphärischer Treibhausgase mit Hilfe eines Fourier-Transformations-Infrarot (FTIR)-Spektrometers. Ein solches Instrument, auch Fourier-Transform-Spektrometer (FTS) genannt, kann eine Vielzahl atmosphärischer Spurengase gleichzeitig beobachten. Die wichtigsten Spurengase sind Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4), Wasserdampf (H_2O), Kohlenmonoxid (CO) und Lachgas (N_2O). Tatsächlich kann man mit dem FTS noch viele weitere Gase sowie deren Isotope bestimmen. Das FTS verwendet eine passive Methode zur Messung dieser Spurengase. Sonnen-

Portrait des Arbeitsgruppenleiters

Dr. Dietrich Feist studierte Physik an der Universität Heidelberg und promovierte 1999 an der Universität Bern, Schweiz, über die Bestimmung atmosphärischer Parameter aus Daten eines Space-Shuttle-Experiments. Als Postdoc in Bern verbrachte er über 300 Stunden an Bord von Forschungsflugzeugen und hatte Auslandsaufenthalte in den USA, Japan und Großbritannien. Seit 2006 leitet er die Arbeitsgruppe Atmosphärische Fernerkundung (ARS) am Max-Planck-Institut für Biogeochemie in Jena. Sein Spezialgebiet ist die Fernerkundung atmosphärischer Spurengase. Kontakt: dfeist@bgc-jena.mpg.de



licht wird auf seinem Weg durch die Atmosphäre von den Molekülen vieler Spurengase vor allem im infraroten Bereich des Spektrums absorbiert. Die Moleküle absorbieren das Licht nur bei charakteristischen Wellenlängen (Spektrallinien), aus denen sich ein spektraler Fingerabdruck für das jeweilige Spurengas ergibt. Aus dem einfallenden Sonnenlicht bestimmt das FTS die Stärke tausender Spektrallinien. Über die Position der Spektrallinien kann man das Spurengas identifizieren. Die Linienstärke ist dabei ein direktes Maß für die Anzahl der Moleküle zwischen der Sonne und dem FTS.

Da das Sonnenlicht die gesamte Atmosphäre durchquert hat, liefert die Messung Informationen vom Boden bis zur Obergrenze der Atmosphäre. Sie unterscheidet sich damit grundlegend von in-situ-Messungen, die zwar sehr genau sind, aber nur Informationen aus der unmittelbaren Umgebung des Messinstruments liefern. Bodengestützte FTIR-Messungen sind deshalb besonders gut geeignet, um Treibhausgasmessungen von Satelliten zu validieren. Satelliteninstrumente messen typischerweise ebenfalls die gesamte Atmosphäre, z.B. wenn sie reflektiertes Sonnenlicht beobachten, welches die Atmosphäre zweimal durchquert hat.

Unser FTS ist Teil des Total Carbon Column Observing Networks (TCCON), eines Netzwerks von FTIR-Instrumenten, die Treibhausgase in verschiedenen Teilen der Welt messen. Im Jahr 2010 wurde unser FTS zur Universität Wollongong in Australien transportiert, um dort einige Monate Vergleichsmessungen neben einem anderen TCCON-FTS durchzuführen. Solche Vergleiche sind wichtig, um die Datenqualität des Netzwerks zu verbessern. Letztendlich soll das FTS auf Ascension Island aufgestellt werden, einer kleinen tropischen Insel im Südatlantik zwischen Afrika und Südamerika, die zu den britischen Überseegebieten gehört. An

diesem einzigartigen Standort kann man tropische Luftmassen messen, die hauptsächlich aus Afrika und gelegentlich aus Südamerika kommen – zwei Kontinente, auf denen solche Messungen bislang noch nicht durchgeführt wurden.

Schwerpunkt 2. Fernerkundung der atmosphärischen Mischungsschichthöhe

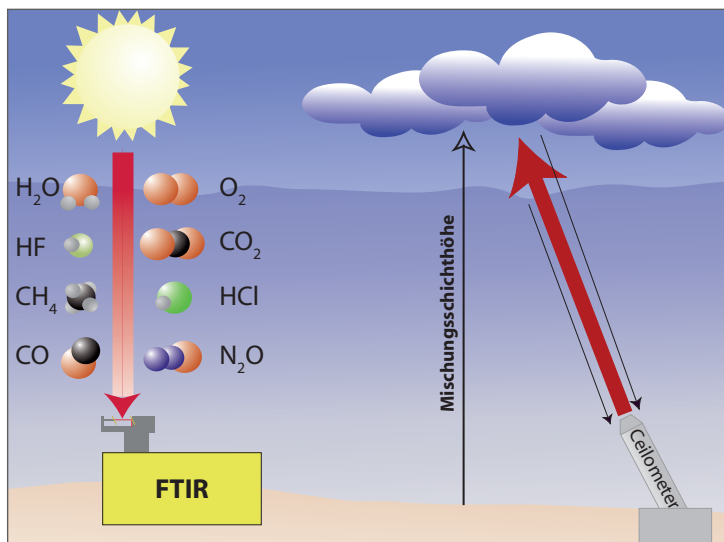
Neben den Treibhausgasen lassen sich auch andere wichtige atmosphärische Parameter mit Fernerkundungsmethoden bestimmen. Ein solcher Schlüsselparameter ist die Höhe der Mischungsschicht, die zwischen der Erdoberfläche und der freien Troposphäre (unterste Schicht der Atmosphäre) liegt. Sie wird sehr stark von Oberflächenprozessen beeinflusst: z.B. der Freisetzung oder Deposition von Schwebeteilchen oder dem Gasaustausch zwischen Biosphäre und Atmosphäre.

Die Höhe der Mischungsschicht reicht von einigen hundert bis über zweitausend Meter. Sie ist ein Schlüsselparameter für Computermodelle, die den Transport von Treibhausgasemissionen von der Oberfläche hinauf in die Atmosphäre simulieren. Tatsächlich ist die in den Modellen angenommene Mischungsschichthöhe in der Regel sehr ungenau und führt zu Fehlern in den Ergebnissen. Dies würde auch das zukünftige International Carbon Observing System (ICOS) betreffen, ein Netzwerk europäischer Stationen, an denen Treibhausgase europaweit überwacht werden sollen.

Um die Situation zu verbessern, testen wir Fernerkundungsmethoden zur Bestimmung der Mischungsschichthöhe an den zukünftigen ICOS-Stationen. Mit einem sogenannten Lidar wird die Atmosphäre mit einem Laserstrahl beleuchtet und das rückgestreute Licht analysiert. Da Lidar-Systeme normalerweise sehr teuer sind, testen wir hierfür auch den Einsatz sogenannter Ceilometer.

Das sind einfacher konstruierte Lidar-Systeme, die normalerweise nur zur Bestimmung der Wolkenhöhe eingesetzt werden. Mit einer aufwendigeren Datenauswertung kann auch mit ihnen die Mischungsschichthöhe bestimmt werden. Das Projekt wird in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Wetterdienst (DWD) und der Jenoptik AG durchgeführt.

Übersicht unserer verwendeten Messmethoden: passive Messung von Treibhausgasen mit einem FTIR-Spektrometer (links), aktive Bestimmung der Mischungsschichthöhe mit einem Ceilometer (rechts).





Flugzeuggestützte Messungen atmosphärischer Spurengase und deren hochaufgelöste Modellierung

Treibhausgas-Messungen im Rahmen von Linienflügen oder gezielten Flugkampagnen liefern wichtige Informationen über regionale CO₂-Bilanzen. Neben einer hohen Datendichte liefern sie den dreidimensionalen Kontext für Langzeitmessungen an der Erdoberfläche. Die Interpretation der Flugzeug-Messdaten erfolgt durch räumlich hoch-aufgelöste atmosphärische Transportmodelle, die aus Wettervorhersagemodellen in Kombination mit Biosphärenmodellen gewonnen werden.

Biogeochemische Spurengase in der Atmosphäre können durch Bodenstationen, durch Fernerkundung und mit Flugzeugen gemessen werden. Um aus diesen Messdaten den Austausch der Spurengase zwischen der Atmosphäre und der Erdoberfläche zu verstehen, müssen sie mit einer Kombination aus atmosphärischen Transportmodellen und Flussmodellen der Erdoberfläche interpretiert werden. Die dabei verwendeten Transportmodelle sind ein Nebenprodukt der Wettervorhersage, die jedoch angepasst werden, um das Verhalten langlebiger Spurengase zu beschreiben. Um einzelne Messpunkte darzustellen, müssen die Modelle die räumliche Verteilung der Spurengase auflösen können. Am besten lässt sich deren dreidimensionale Verteilung in der Atmosphäre durch flugzeuggestützte Messungen erfassen, weshalb sich diese ideal zum Testen und Optimieren der Modelle eignen. Zudem sind flugzeuggestützte Messungen die einzige Möglichkeit, atmosphärische Fernerkundungsdaten zu validieren. Daher liegt der wissen-

schaftliche Fokus der Gruppe Flugzeuggestützte Messungen atmosphärischer Spurengase und deren hochaufgelöste Modellierung (ATM) in folgenden Forschungsbereichen:

Schwerpunkt 1. Entwicklung hochpräziser Messgeräte für flugzeuggestützte Messungen

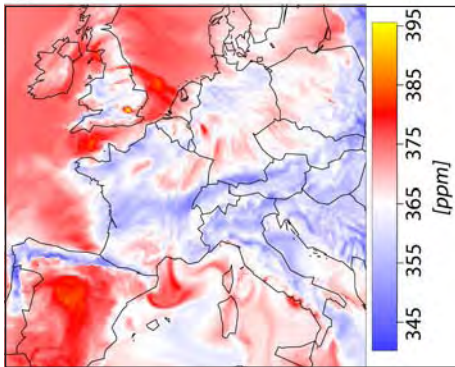
Aufgrund der besonderen Bedingungen an Bord von Flugzeugen (Vibrationen, Gewichtsbeschränkungen, Sicherheitsvorschriften), müssen die dort eingesetzten Messgeräte bestimmte Ansprüche erfüllen, was bei kommerziellen Geräten meist erhebliche Umbauten erfordert. In der ATM-Gruppe werden zurzeit verschiedene Messgeräte für den Einsatz an Bord von Flugzeugen entwickelt: (1) Zusammen mit Industriepartnern entwickeln wir ein Messgerät für Treibhausgasmessungen an Bord von Linienflugzeugen. Im Rahmen des EU-Projekts IAGOS-ERI soll dieses System an Bord der Airbus-A340-Flotte weltweit CO₂ und Methan (CH₄) messen. (2) Für den Einsatz an Bord

Portrait des Arbeitsgruppenleiters

Dr. habil Christoph Gerbig studierte Physik in Aachen und Wuppertal, wo er auch seinen Dokortitel in Atmosphärenchemie erhielt. Danach arbeitete er am Forschungszentrum Jülich und der Harvard-Universität, wo er seine Forschungsinteressen an der Geräteentwicklung sowie der Anwendung und Entwicklung atmosphärischer Transportmodelle verfolgte. Seit 2004 ist er der Leiter der Arbeitsgruppe Flugzeuggestützte Messungen atmosphärischer Spurengase und deren hochaufgelöste Modellierung (ATM).

Kontakt: cgerbig@bgc-jena.mpg.de





Mischungsverhältnisse von CO_2 in der Atmosphäre über Europa (150 m Höhe über Grund, 12. Juli 2003 um 14:00 GMT). Durch die Kombination von Flussverteilung und atmosphärischem Transport hervorgerufene Strukturen sind deutlich erkennbar.

hausgase an Bord eines Forschungsjets validiert. (3) Mit Partnern aus Brasilien und den USA wurden Kampagnen im brasilianischen Amazonasbecken durchgeführt. Diese hatten zum Ziel, die CO_2 - und CH_4 -Bilanz des Amazonasbeckens zu charakterisieren – unter klimatischen Aspekten eine der interessantesten Gegenden der Welt, da sie mehr als die Hälfte des globalen Regenwaldes enthält.

kleinerer Forschungsflugzeuge ist das ICON-Instrument gedacht, welches hochpräzise Messungen des O_2/N_2 -Verhältnisses durchführt. Solche O_2/N_2 -Messungen liefern Informationen über Quellen und Senken von CO_2 , da bei den meisten Prozessen, die CO_2 erzeugen bzw. verbrauchen, Sauerstoff verbraucht bzw. erzeugt wird. Dies geschieht in einem für den jeweiligen Prozess typischen Verhältnis. (3) In Zusammenarbeit mit anderen Partnern entwickeln wir im Rahmen des EU-Projektes ICOS ein Gerät zur automatisierten Luftprobennahme, das sowohl im Flugzeug als auch an Bodenstationen eingesetzt werden kann. Diese Luftproben können am MPI-BGC sowie in anderen Laboren auf der Welt im Hinblick auf verschiedene Spurengase analysiert werden.

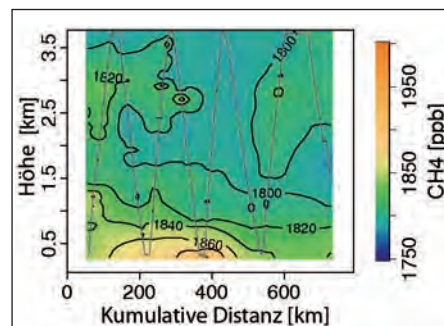
Schwerpunkt 2. Flugzeuggestützte Messkampagnen atmosphärischer Spurengase

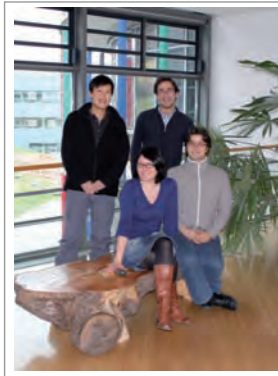
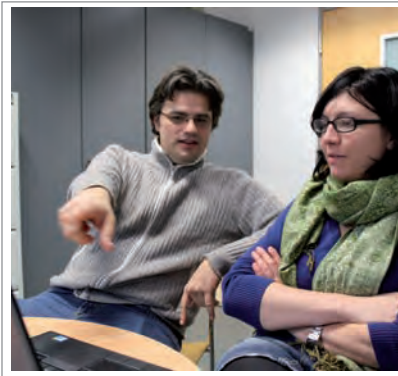
Die räumliche Verteilung von Spurengasen in der Atmosphäre, die aus flugzeuggestützten Profilmessungen ermittelt wird, liefert wichtige Informationen für regionale Treibhausgas-Bilanzen sowie zur Validierung von Transportmodellen und Fernerkundungsdaten. In diesem Sinne haben wir bereits mehrere gezielte Flugzeugkampagnen durchgeführt: (1) Bei regionalen Studien in der Nähe von Beobachtungsstationen in Deutschland und Südfrankreich wurden Einflüsse der lokalen Geographie (z.B. Land-See- sowie Berg-Tal-Winde) auf die atmosphärische CO_2 -Verteilung untersucht. (2) Als Teil des EU-Projekt IMECC wurden Treibhausgasmessungen von sechs Fourier-Transformationspektrometern in Deutschland, Frankreich und Polen durch gleichzeitige Profilmessungen dieser Treib-

Schwerpunkt 3. Hochaufgelöste Modellierung als Brücke zwischen Beobachtungen und globalen Modellen

Kleinräumige Variationen in Landnutzung und fossilen Emissionen führen zu entsprechenden Mustern in der atmosphärischen Verteilung von Spurengasen. Um Messungen von Beobachtungsstationen hinreichend genau darzustellen, werden Modelle mit einer Auflösung von 20 km oder besser benötigt. Hierbei liegt der Fokus in folgenden Bereichen: (1) Unsere Gruppe entwickelte ein hochaufgelöstes Modellsystem, das ein Wettervorhersagemodell mit Modellen für Flüsse von CO_2 und anderen Treibhausgasen kombiniert. Dieses System wurde mit Hilfe von Messdaten aus Flugzeugkampagnen validiert. Es wird verwendet, um den Einfluss regionaler CO_2 -Variabilität zu untersuchen, z.B. Messungen an Bergstationen oder Fernerkundungsdaten darzustellen, sowie um die Kohlenstoffbilanz im Amazonasbecken zu analysieren. (2) Das Partikel-Dispersionsmodell STILT wurde entwickelt, um zu untersuchen, wie Luftpakete von stromaufwärts gelegenen Gegenden beeinflusst werden. Dieses Modell ist auch als regionales Modell in das Jenaer Inversionssystem eingebaut, um die Lücke zwischen Beobachtungen und globalen Transportmodellen zu schließen. (3) Um aus atmosphärischen Beobachtungen die entsprechenden Austauschflüsse zu erhalten, sind hochgenaue Transportmodelle notwendig. Daher ist die Quantifizierung und Reduzierung von Unsicherheiten und Modellfehlern ein wichtiger Forschungsbereich.

Gemessene Erhöhung der Methankonzentration in der unteren Atmosphäre, dargestellt als Höhe-Distanz-Querschnitt während des BARCA-Forschungsfluges am 21. Mai 2009. Die rechte Seite zeigt die Route des Flugzeugs.





Terrestrische Biosphärenmodellierung und Datenassimilation

Veränderungen der atmosphärischen Treibhausgaskonzentrationen und des Klimas lassen sich nur verstehen bzw. vorhersagen, wenn die Wechselwirkungen zwischen terrestrischer Biogeochemie und Klima bekannt sind. Terrestrische Biosphärenmodelle fassen das heutige Verständnis der Wechselwirkungen von Landoberflächenprozessen und Klima zusammen. Wir entwickeln solche Modelle mit dem Ziel, die Vorhersagefähigkeit von komplexen Erdsystemmodellen zu verbessern.

Das Klima beeinflusst die terrestrischen biogeochemischen Kreisläufe auf unterschiedlichen Zeitskalen. Durch ihren Einfluss auf atmosphärische Treibhausgaskonzentrationen haben diese Kreisläufe wiederum Auswirkungen auf das Klima. Eine detaillierte Kenntnis dieser Wechselwirkung ist sehr wichtig, um vergangene und heutige Veränderungen der atmosphärischen Spurengaszusammensetzung und des Klimas zu verstehen und zukünftige Klimaänderungen vorherzusagen. Untersucht werden diese Zusammenhänge mit Hilfe numerischer Modelle der terrestrischen Biosphäre, welche die wesentlichen biologischen Prozesse beschreiben – von der Skala eines Blattes über Ökosysteme bis hin zu Biomen und Kontinenten. Die prognostische Kapazität dieser Modelle beruht auf der Abbildung grundlegender biogeochemischer und ökologischer Zusammenhänge sowie der Integration von Ökosystembeobachtungen, die Informationen über die terrestrischen biogeochemischen Kreisläufe (z.B. Kohlenstoff und Stickstoff) sowie

Energie und Wasseraustausche liefern. Terrestrische Biosphärenmodelle finden ihre Anwendung zum Beispiel darin, die Ursachen von Veränderungen im Pflanzenwachstum und in den Land-Atmosphären-Austauschen von Energie, Wasser und klimarelevanten Spurengasen besser zu verstehen (Abb. nächste Seite) und mögliche zukünftige Entwicklungen zu prognostizieren. Die Arbeit der Gruppe Terrestrische Biosphärenmodellierung und Datenassimilation (TBM) konzentriert sich auf die folgenden Gebiete:

Schwerpunkt 1. Wechselwirkungen von terrestrischen Kohlenstoff- und Nährstoffkreisläufen

Pflanzenwachstum und Abbau von organischer Bodensubstanz werden unter anderem durch die Verfügbarkeit von Nährstoffen wie Stickstoff und Phosphor begrenzt. Die Reaktion von Ökosystemen auf Umweltveränderungen, wie zum Beispiel Klimaänderungen, Erhöhung der atmosphärischen CO_2 -Konzentration und andere Störungsprozesse,

Portrait des Arbeitsgruppenleiters

Dr. Sönke Zaehle studierte Geoökologie in Braunschweig und Norwich und schrieb seine Doktorarbeit an der Universität Potsdam und dem Potsdam Institut für Klimafolgenforschung. Während seiner PostDoc-Zeit am Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement in Gif-sur-Yvette begann er sich für die Wechselwirkungen von terrestrischer Biosphäre und Klima sowie deren Modellierung mittels komplexer numerischer Modelle zu interessieren. Seit 2009 leitet er die Arbeitsgruppe Terrestrische Biosphärenmodellierung und Datenassimilation (TBM).
Kontakt: szaehle@bgc-jena.mpg.de



wird durch die Flexibilität der Elementzusammensetzung von biologischen Systemen und die Dynamik der Nährstoffkreisläufe beeinflusst. Informationen über den Einfluss der Nährstoffdynamik auf Ökosystemveränderungen bei zukünftigen Umweltveränderungen lassen sich unter anderem durch Ökosystem-Manipulationsexperimente gewinnen. Als Teil einer internationalen Arbeitsgruppe verwendet unsere Gruppe die Ergebnisse von atmosphärischen CO₂-Anreicherungsexperimenten, um die wichtigen Prozesse der Kohlenstoff- und Nährstoffkreislaufkontrolle besser und quantitativ zu verstehen. Ziel ist das Testen und Weiterentwickeln von Ökosystemmodellen. Zusammen mit der Integration von Informationen aus globalen Datenbanken, z.B. über pflanzenphysiologische Charakteristika, trägt diese Arbeit dazu bei, wichtige ökologische Prozesse bei der Modellierung der Wechselwirkungen von terrestrischer Biogeochemie und Klima besser zu berücksichtigen.

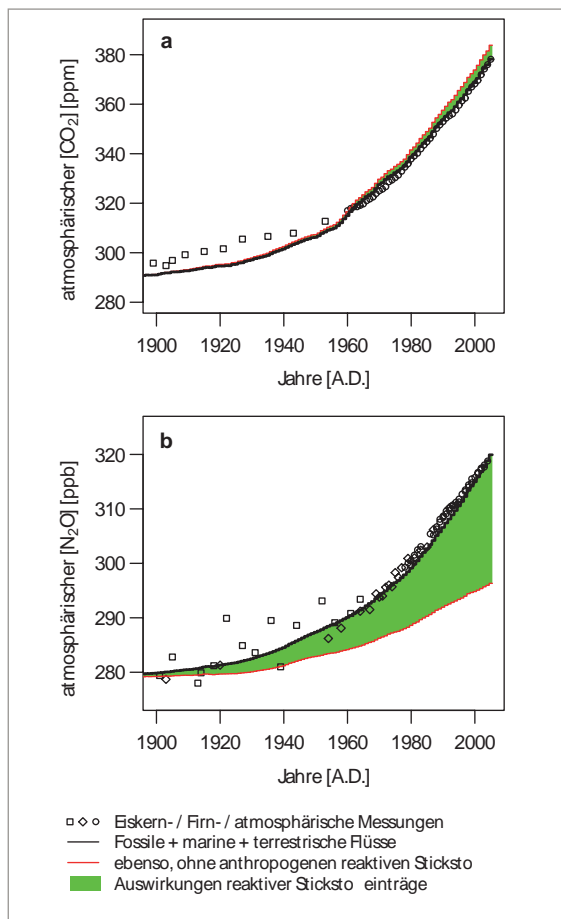
Schwerpunkt 2. Evaluierung von terrestrischen Biosphärenmodellen

Komplexe Erdsystemmodelle (ESMs) sind ein wesentliches Werkzeug, um Wissen über das Erdsys-

tem aus verschiedenen Wissenschaftsdisziplinen zu bündeln und das gekoppelte Verhalten von Klima und biogeochemischen Kreisläufen zu verstehen. ESMs verwenden in zunehmendem Maße terrestrische Biosphärenmodelle als Landkomponente. Diese stellen jedoch aufgrund der biogeophysischen und biogeochemischen Interaktionen eine der wesentlichen Ursachen für Unsicherheiten der gekoppelten Modelle dar. Innerhalb des Europäischen Forschungsnetzwerks Greencycles II und als Teil der internationalen Modellbewertungsinitiative ILAMB entwickelt unsere Gruppe umfassende Modelltests für die systematische und quantitative Modellbewertung von ESMs und ihren terrestrischen Komponenten. Ziel dieser Projekte ist eine bessere Quantifizierung der Zusammenhänge zwischen regionalen und globalen Trends in biogeochemischen Kreisläufen und Klimavariabilität und -wandel. Im Vordergrund stehen dabei die Zusammenstellung und Harmonisierung verschiedener Datenquellen, wie z.B. in-situ Ökosystembeobachtungen, Inventare, atmosphärische Messungen und Satellitendaten, sowie die Entwicklung statistischer Auswerteverfahren, die auf die Identifizierung der Rückkopplungsmechanismen abzielen.

Schwerpunkt 3. Entwicklung eines globalen Kohlenstoff-Datenassimilationssystems

Der dritte Pfeiler unserer Arbeit besteht darin, die Modellevaluierung durch die systematische Integration von Erdsystembeobachtungen in terrestrische Biosphärenmodelle mittels eines inversen Modellsystems einen logischen Schritt weiterzuführen. Als Teil der Max-Planck-Initiative zur Erdsystemmodellierung (ENIGMA) und in Zusammenarbeit mit dem Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg entwickeln wir ein solches System für das Jenaer Schema für Biosphären-Atmosphären-Kopplung (JSBACH), das Landoberflächenmodell des COSMOS-Erdsystemmodells. Die Datenquellen dieses Systems reichen von in-situ Beobachtungen über Satellitendaten der Vegetationsaktivität bis hin zu Messungen der atmosphärischen CO₂-Konzentrationen innerhalb eines globalen Messnetzwerks. Das System soll in Zukunft dazu benutzt werden, die wesentlichen Modellparameter von JSBACH auf verschiedenen Zeit- und Raumskalen systematisch zu bestimmen. Das Ziel dieser Arbeit ist es, optimale Modellparameter zu finden, Modellfehler systematisch zu identifizieren sowie die Unsicherheit in Modellprojektionen zu quantifizieren und zu reduzieren. Dieses Wissen soll dann in Projektionen gekoppelter Erdsystemmodelle einfließen.



Modellierte und beobachtete atmosphärische CO₂- und N₂O-Konzentrationen basierend auf einem terrestrischen Biosphärenmodell (OCN).



Datenbasierte Abschätzungen

Die Quantifizierung der großräumigen Quellen und Senken von CO₂ und anderen Treibhausgasen ist eine wesentliche Voraussetzung, um das Klimasystem und seine Rückkopplungseffekte zu verstehen. Auf der Grundlage atmosphärischer Spurenstoffmessungen und verschiedener anderer Datenströme erstellt unsere Gruppe mit Hilfe inverser Methoden Schätzungen des Spurenstoffaustauschs und seiner klimatischen Einflüsse.

Die Akteure des globalen Kohlenstoffkreislaufs – die terrestrische Biosphäre, die Ozeane, menschliche Aktivitäten – tauschen Kohlendioxid (CO₂) und andere Treibhausgase mit der Atmosphäre aus und beeinflussen somit das Klima durch den Treibhauseffekt. Die Stärke des biosphärischen und ozeanischen Austauschs variiert in Raum und Zeit – von Jahr zu Jahr, im Laufe der Jahreszeiten, von Tag zu Tag, zwischen Tag und Nacht. Diese Variabilität ist wiederum eng an klimatische Einflüsse gekoppelt. Um die Rolle des Kohlenstoffkreislaufs im Klimasystem zu verstehen, muss man wissen, in welcher Weise Kohlenstoffquellen und -senken auf Klimaeinflüsse reagieren. Dafür müssen die zeitlichen Änderungen und räumlichen Muster des CO₂-Austausches bestimmt werden.

Unsere Gruppe beschäftigt sich mit einer solchen Quantifizierung auf der Grundlage von Messdaten. Gegenwärtige Aktivitäten umfassen:

Schwerpunkt 1. Quasi-operationelle CO₂-Flußschätzungen („Jenaer Inversionssystem“)

Wird in verschiedenen Teilen der Erdoberfläche CO₂ aufgenommen oder abgegeben, entstehen räumliche und zeitliche Änderungen im CO₂-Gehalt der Atmosphäre. Diese CO₂-Änderungen werden durch regelmäßige Messungen – durchgeführt von verschiedenen Institutionen, darunter dem MPI für Biogeochemie – an weltweit mehr als 100 Stationen erfasst. Anhand dieser Messdaten und der numerischen Simulation des CO₂-Transports in der Atmosphäre können die CO₂-Quellen und -Senken zurückverfolgt und ihre Stärke mit inversen Methoden abgeschätzt werden.

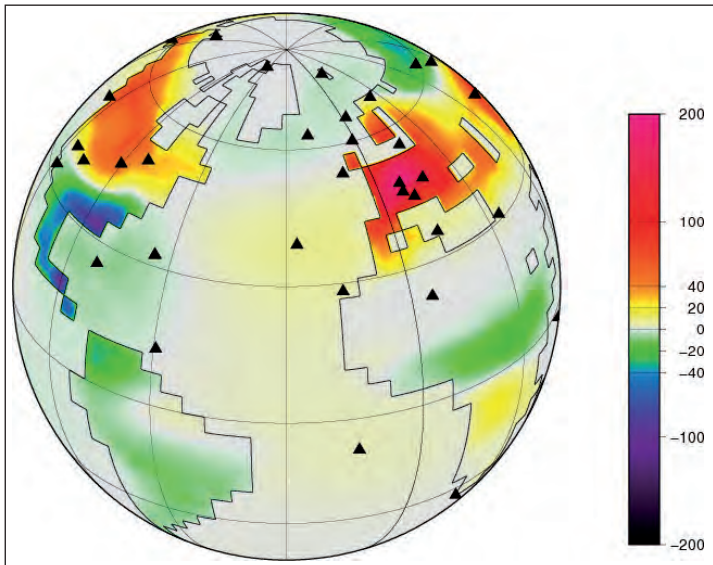
Wir konzentrieren uns dabei insbesondere auf Veränderungen von Jahr zu Jahr. Indem wir Schwankungen im CO₂-Austausch mit Klimaschwankungen in Beziehung setzen, können wir zugrundeliegende Mechanismen aufdecken (Abb. nächste Seite).

Portrait des Arbeitsgruppenleiters

Dr. Christian Rödenbeck studierte Physik an der Universität Leipzig, wo er auch promovierte. Als Postdoc am Max-Planck-Institut für Physik komplexer Systeme in Dresden beschäftigte er sich mit Dynamischen Systemen. Im Jahr 2000 wechselte er an das Max-Planck-Institut für Biogeochemie in Jena.

Kontakt: christian.roedenbeck@bgc-jena.mpg.de





Anomalien des CO_2 -Austausches im Sommer 2003 (Mai–September, in $\text{g}/\text{m}^2/\text{Jahr}$). In roten Gebieten wurde mehr CO_2 an die Atmosphäre abgegeben als im langjährigen Mittel (1999–2008) – deutlich zu erkennen ist die Reaktion der Vegetation auf die ungewöhnliche Hitze und Trockenheit in Europa. Die Dreiecke kennzeichnen die verwendeten atmosphärischen Messstationen. Die vergrößerten Umrisse der Kontinente entsprechen der räumlichen Auflösung des Spurengas-Transportmodells.

Die Schätzungen des CO_2 -Flusses aus dem „Jenaer Inversionssystem“ werden regelmäßig aktualisiert und stehen auch anderen Forschungsgruppen für gemeinsame Projekte zur Verfügung (Dokumentation und Download unter <http://www.bgc-jena.mpg.de/~christian.roedenbeck/download-CO2/>).

Schwerpunkt 2. Diagnostische datengetriebene Modelle der Landbiosphäre

Die atmosphärischen Daten können auch mit Fernerkundungsdaten zum Zustand der Vegetation oder mit meteorologischen Daten kombiniert werden. Mit Hilfe empirischer Modelle und wiederum inverser Methoden kann die Beziehung der CO_2 -Flüsse zu klimatischen Einflussfaktoren direkt bestimmt werden. Diese Methode wird gegenwärtig getestet, mit dem Ziel, die Klimasensitivität des Kohlenstoffkreislaufs gegenüber Temperatur, Niederschlag oder Sonneneinstrahlung aus Daten abzuschätzen.

Schwerpunkt 3. Diagnostische datengetriebene Modelle des ozeanischen Kohlenstoffkreislaufs

Da der Kohlenstoffkreislauf auch mit Sauerstoffaustausch verbunden ist, liefern atmosphärische Sauerstoffmessungen zusätzliche Informationen über die ozeanische Biogeochemie (Abb. rechts). Gegenwärtig entwickeln wir ein diagnostisches Modell, das auch Kohlenstoff- und Sauerstoffmes-

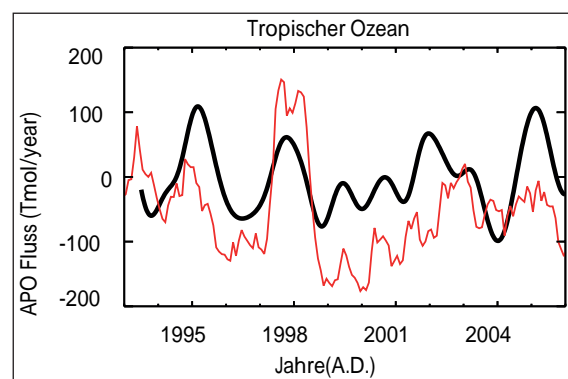
sungen in der ozeanischen Deckschicht, Oberflächentemperatur, Wärmeaustausch, Nährstoffkonzentration oder Größen in Zusammenhang mit Gasaustausch, Transport oder Kohlenstoffchemie des Ozeans einbeziehen kann. Es zeigt sich, dass verschiedene, voneinander unabhängige Datenströme zu konsistenten Schätzungen des CO_2 -Austauschs zwischen Ozeanen und der Atmosphäre führen und sich so gegenseitig bestätigen. Mit Hilfe solcher diagnostischen Modelle kann auch die Vorhersagekraft geplanter Messstrategien bewertet werden.

Schwerpunkt 4. Regionale Inversionen

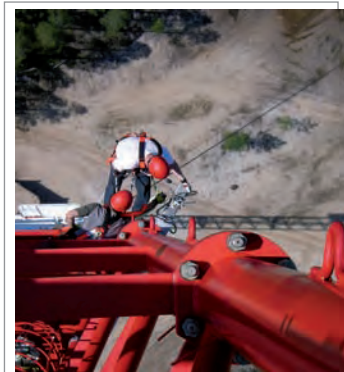
Heutige globale Modelle des atmosphärischen Transports sind noch zu grob, um die tatsächliche Variabilität des Transports und der CO_2 -Flüsse aufzulösen. Um daraus resultierende Fehler zu verringern, kann man sich auf ein Zielgebiet konzentrieren, in dem Flüsse und Transport detaillierter aufgelöst werden. Dazu entwickeln wir geeignete Strategien und wenden sie auf verschiedene Zielgebiete an (Europa, Sibirien).

Schwerpunkt 5. Weitere Spurenstoffe

Die für CO_2 entwickelten Methoden werden auch auf andere atmosphärische Spurenstoffe angewendet, wie die Treibhausgase Methan (CH_4) und Stickoxid (N_2O). Interessant ist auch Carbonylsulfid (COS), sowohl wegen seiner Rolle in der Atmosphärenchemie als auch wegen seiner Verbindung zum Kohlenstoffkreislauf durch die Photosynthese.



Jährliche Schwankungen im Sauerstoffaustausch zwischen tropischem Ozean und Atmosphäre (schwarz), verglichen mit einem El-Niño-Index (rot). In El-Niño-Jahren (erhöhter Index) nimmt tendenziell auch die Sauerstoffabgabe zu.



Atmosphärische Gasmessungen an hohen Türmen

Hochpräzise, bodengestützte und vertikal aufgelöste atmosphärische Messungen von Spurengasen an Küsten und kontinentalen Standorten sind entscheidend für die Erforschung von atmosphärischem Transport, biogeochemischen Flüssen und anthropogenen Emissionen. Wir unterhalten die dafür benötigten atmosphärischen Messstationen und Instrumente mit dem Ziel, globale Klima-Hotspots zu beobachten und globale atmosphärische Beobachtungsnetzwerke zu unterstützen.

Bodengestützte atmosphärische Dauermessungen und separate Flaschenbeprobung sind wichtige Instrumente für die Untersuchung atmosphärischer Transportvorgänge, biogeochemischer Flussraten und menschengemachter Emissionen. Sie ergänzen andere atmosphärische Messmethoden wie boden- und weltraumgestützte Fernerkundung sowie flugzeuggestützte Messungen. An unseren Stationen messen wir neben Kohlendioxid (CO_2), als dem wichtigsten anthropogenen Treibhausgas (THG), auch Methan (CH_4), Lachgas (N_2O) und das synthetische THG Schwefelhexafluorid (SF_6). Darüber hinaus wird Kohlenmonoxid (CO) gemessen, das zwar selbst kein THG ist, aber die Konzentrationen von Methan und Ozon in der Atmosphäre beeinflusst und als Indikator für anthropogene Aktivitäten dient. Die isotopische Zusammensetzung von CO_2 und das O_2/N_2 -Verhältnis geben Einblick in die Aufteilung des land- und ozeanbezogenen Kohlenstoffhaushaltes.

Trotz erheblicher internationaler Anstrengungen deckt das globale THG-Beobachtungsnetzwerk nicht den gesamten Globus ab. Von besonderem Interesse sind die noch vorhandenen Lücken in den Hotspot-Gebieten, wie z.B. dem nördlichen Eurasien und den tropischen Regionen von Afrika und Südamerika. Sie gelten als wichtige klimatische Regulatoren wegen ihres großen Potentials zur Speicherung („Senken“) oder Abgabe („Quellen“) von Kohlenstoff im Zusammenhang mit Landnutzungsänderungen und Klimawandel (z.B. Entwaldung, Auftauen der Permafrostböden).

Im Gegensatz zu bodennahen atmosphärischen Messstationen erlaubt ein hoher Turm, die Atmosphäre in verschiedenen Höhen über dem Boden zu erforschen. Er ermöglicht die Messung von vertikalen Konzentrationsgradienten, die Schätzung lokaler Kohlenstoffflüsse und die Probenahme von Luftmassen oberhalb der nächtlichen

Portrait des Arbeitsgruppenleiters

*Dr. Jošt V. Lavrič studierte Geologie in Ljubljana und promovierte in anorganischer und organischer Isotopen-Geochemie an der Universität von Lausanne. Während der darauffolgenden PostDoc-Aufenthalte am LGGE (Grenoble) und LSCE (Gif-sur-Yvette) verschob sich der Schwerpunkt seiner Forschung zur Paläoklimatologie und Atmosphärenforschung. Seine Expertise umfasst hochpräzise Gasmessinstrumente und Einrichtungen für Molekular- und Isotopenanalytik. Seit 2009 leitet er die Arbeitsgruppe Atmosphärische Gasmessungen an hohen Türmen (TAG).
Kontakt: jost.lavric@bgc-jena.mpg.de*



planetaren Grenzschicht. Die Zusammensetzung dieser oberen Luftmassen ist für eine viel größere Region repräsentativ als lokal geprägte Luftmassen in Bodennähe.



Am ZOTTO-Turm erlauben die sphärischen Puffervolumen (oben links) eine nahezu gleichzeitige Messung von Luft aus allen sechs Einlasshöhen mit einem einzigen Messinstrument.

Technologische Fortschritte in der Instrumentierung verringern den Wartungsbedarf und erhöhen die Anzahl der unterschiedlichen Gase, die wir im Feld kontinuierlich und mit hoher Präzision messen können. Dies ist besonders wichtig für Messstationen an abgelegenen Standorten.

Im Rahmen einer internationalen Kooperation errichtet unsere Gruppe Messstationen entlang eines West-Ost-Transsektivs bei ungefähr 60° N vom Nordatlantik bis nach Sibirien und entlang eines Nord-Süd-Transsektivs im ostatlantischen Raum. Darüber hinaus widmen wir uns der Entwicklung und Verbesserung von Instrumenten und Messverfahren (Abb. oben). Derzeit betreiben wir vier Stationen, an denen kontinuierliche Messungen vorgenommen werden und zwei Stationen, an denen in bestimmten Zeitfenstern Luftproben genommen werden (Abb. unten rechts).

Die Ochsenkopf-Station liegt auf dem Ochsenkopf-Berg in Nordbayern und misst in erster Linie Luft, die durch das zentralnördliche Deutschland und die Benelux-Länder beeinflusst wird. Die Bialystok-Station in Polen liegt östlich vom dicht besiedelten Westeuropa und ermöglicht unter anderem, die dortigen anthropogenen Emissionen zu erforschen.

Das Zotino Tall Tower Observatorium (ZOTTO) ist eine deutsch-russische wissenschaftliche

Unser atmosphärische Netzwerk MPI-BGC-BSY-TAG umfasst Messstationen an Küsten und kontinentalen Standorten.

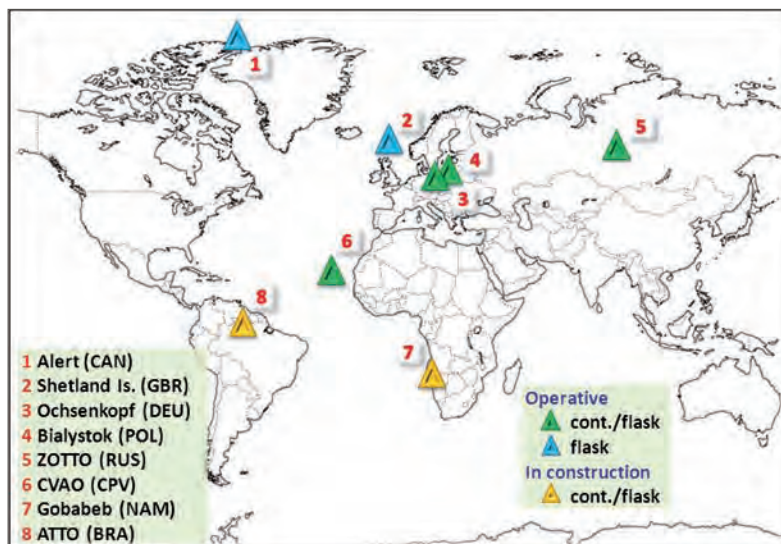
Plattform in Zentralsibirien zur Beobachtung und Erforschung der biogeochemischen Veränderungen im nördlichen Eurasien.

Das Kapverdische atmosphärische Observatorium (CVAO) ist ein internationales Projekt zur Beobachtung und Untersuchung des komplexen westafrikanischen Auftriebs des Tiefenwassers und der darunter liegenden sauerstoffarmen Zone. Unsere Messungen werden helfen, den biogeochemischen Spurengashaushalt in dieser Region abzuschätzen.

Zwei wichtige anstehende Projekte sind die neuen Stationen zur kontinuierlichen atmosphärischen Messung von biogeochemischen Spurengasen in Namibia (Gobabeb) und im Amazonas-Urwald (Brasilien, ATTO-Projekt).

Der Benguelastrom vor der namibischen Küste treibt eines der vier großen Auftriebsökosysteme der östlichen Grenzströmungen. Am Namibischen Atmosphärischen Observatorium (NAO) in der Nähe der südlichen afrikanischen Atlantikküste werden wir das O₂/N₂-Verhältnis und biogeochemische Spurengase (CO₂, CH₄, N₂O, CO) kontinuierlich messen. Der Standort ist ideal gelegen, um den Luft-See-Gasaustausch des nahen Benguelastroms zu beobachten und die natürlichen und anthropogenen Gasflüsse auf dem südlichen subtropischen Teil Afrikas zu studieren.

Der Bau des Amazonian Tall Tower Observatory (ATTO) im Amazonas-Urwald ist das Ergebnis eines brasilianisch-deutschen Forschungsprojekts. Unsere kontinuierlichen THG-Messungen auf mehreren Einlasshöhen an dem etwas über 300 m hohen Turm wird die Lücke zwischen Flusstürmen, Fernerkundung und luftgestützten Messungen an einem wichtigen globalen Hotspot schließen.





Forschungsgruppe Biogeochemische Modell-Daten-Integration

Unserer Gruppe entwickelt neue Ansätze zur Modellierung und Modell-Daten-Integration mit dem Ziel, globale Wechselwirkungen zwischen Klima, Boden und Vegetation besser darzustellen, den aktuellen Zustand der globalen terrestrischen Biosphäre zu verstehen und das Verhalten von Ökosystemen unter verschiedenen vergangenen und zukünftigen Umweltbedingungen vorherzusagen.

Die aktuelle Debatte um den „globalen Wandel“ konzentriert sich vor allem auf den Treibhauseffekt, die damit verbundene Erwärmung der Atmosphäre und die Rückkopplung durch den Kohlenstoffkreislauf. Doch die Erde ist viel komplexer. Für ein umfassendes Verständnis des Erdsystems müssen die Wechselwirkung des Kohlenstoffkreislaufs mit Wasser- und Nährstoffkreisläufen sowie Rückkopplungen zwischen Vegetation, Boden und Atmosphäre viel gründlicher untersucht werden. Unsere Forschungsgruppe widmet sich deshalb der Entwicklung von neuen Methoden und Modellen, die es erlauben, Zustand und Dynamik der terrestrischen Biosphäre besser zu bestimmen und vorherzusagen. Wir sind Mitglied zahlreicher internationaler Forschungsprojekte zur Analyse des Kohlenstoffkreislaufs und von Treibhausgasen ganzer Kontinente sowie zur Erdsystem-Modellierung. Zudem koordinieren wir das EU-geförderte Projekt CARBO-Extreme zur Untersuchung der Auswirkungen von Klimavariabilität und Wet-

terextremen auf den Kohlenstoffkreislauf (www.carbo-extreme.eu).

Unsere Gruppe ist konzeptionell in drei eng zusammenwirkende und sich ergänzende Schwerpunkte unterteilt:

Schwerpunkt 1. Empirische Analyse und globale Modellierung von Biosphäre-Atmosphäre-Wechselwirkungen

Ziel ist es, aus den umfangreichen und vielschichtigen Datenquellen zur globalen Erdbeobachtung relevante empirische Informationen über die Wechselwirkungen von Biosphäre und Atmosphäre zu extrahieren. Allein regionale und globale räumliche Muster von Kohlenstoff- und Wasserbilanzen zu quantifizieren, ist eine große Herausforderung. Typische Fragestellungen dieses Schwerpunkts sind: Welche Auswirkungen haben Klimavariabilität und -extreme auf die Funktion der Ökosysteme auf Zeitskalen von Minuten

Portrait des Forschungsgruppenleiters

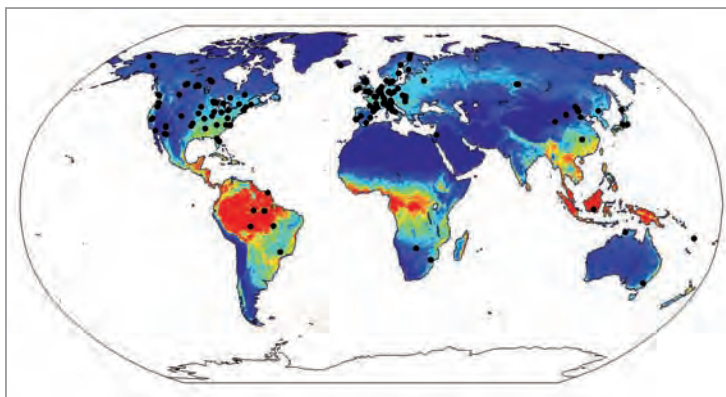
Dr. Markus Reichstein studierte Landschaftsökologie mit den Nebenfächern Chemie, Botanik und Informatik an der Universität Münster. Seine Doktorarbeit zur „Auswirkung von Trockenheit auf Kohlenstoff- und Wasseraustausch in drei Mittelmeer-Ökosystemen“ führte er an der Universität Bayreuth durch. Als Marie-Curie-Stipendiat arbeitete er an der Universität Tuscia in Viterbo, Italien, mit Aufenthalten an den Universitäten von Montana in Missoula und Kalifornien in Berkeley. 2006 gründete er die Forschungsgruppe Biogeochemische Modell-Daten-Integration in Jena. Kontakt: markus.reichstein@bgc-jena.mpg.de



bis Jahrzehnten? Wie reagieren Ökosysteme auf Umweltbelastungen und wie passen sie sich ihnen an? Wie beeinflusst der Wasserkreislauf den Kohlenstoffkreislauf und umgekehrt? Als wichtige Informationsquelle bauen wir die globale FLUXNET-Netzwerkdatenbank mit auf: eine übergreifende Zusammenfassung von Beobachtungen von Kohlendioxid- und Wasserflüssen in Ökosystemen an mehr als 250 Standorten weltweit über mittlerweile 18 Jahre (www.fluxdata.org). Die Kombination mit globalen Satelliten-Fernerkundungsdaten und Wettervorhersagen führt zu besseren globalen Karten von Kohlenstoff- und Wasserflüssen (Abb. unten). Damit können wir beurteilen, ob in Klimamodellen die Biosphäre realistisch dargestellt wird.

Schwerpunkt 2. Prozessbasierte Modellierung von Böden im Erdsystem

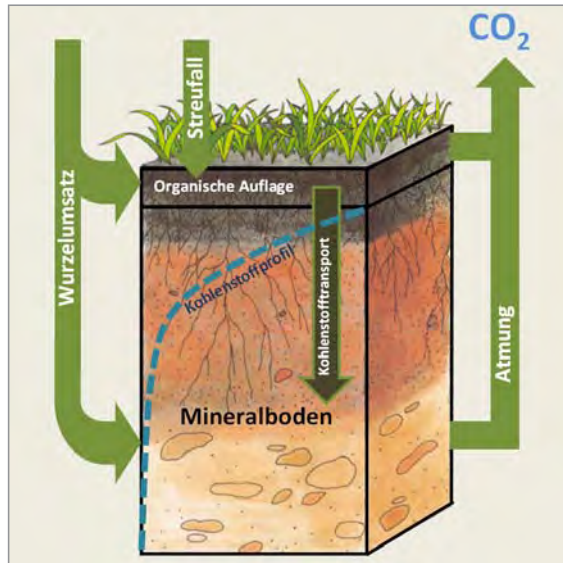
Bodenfunktionen und -struktur werden in heutigen Erdsystemmodellen immer noch sehr grob dargestellt. So wird z.B. die vertikale Struktur des Bodens weitgehend ignoriert, ebenso wie die Rolle der Bodenorganismen. Das führt zu einem Paradigma eines „toten Bodens“ in heutigen globalen Modellen. Wir konnten jedoch beweisen, dass solche Modelle verschiedene Phänomene der Kohlenstoff- und Nährstoffdynamik, wie die unterschiedliche Temperaturabhängigkeit der Bodenatmung, nicht beschreiben können. Daher ist es Ziel unseres vom Europäischen Wissenschaftsrat (ERC) geförderten Projekts QUASOM (www.bgc-jena.mpg.de/quasom), dieses Paradigma des „toten Bodens“ durch die explizite Beschreibung der Rolle von Bodenorganismen in einer heterogenen, vertikal differenzierten Bodenumgebung zu überwinden (Abb. rechts). Die Herausforderung besteht darin, Modelle zu entwickeln, die einerseits im Einklang sind mit theoretischen Überlegungen und empirischen Erkenntnissen und andererseits einfach genug für globale Anwendungen, z.B. als Teil von Klimamodellen.



Globale Karte der Brutto-Ökosystemproduktivität (CO_2 -Aufnahme in $\text{gC m}^{-2} \text{Jahr}^{-1}$; rot: hohe Aufnahme, blau: niedrige Aufnahme), abgeschätzt aus Daten von FLUXNET-Eddy-Kovarianz-Türmen (schwarze Punkte), globalen Meteorologie- und Fernerkundungsdaten. [M. Jung]

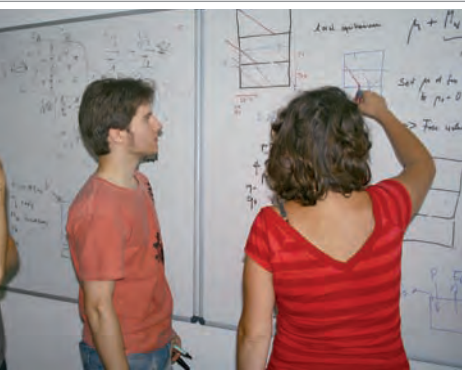
Schwerpunkt 3. Entwicklung von Modell-Daten-Integrationsmethoden

Die wichtigste Frage ist hier, wie Informationen von biogeochemischen Beobachtungen verwendet werden können, um biogeochemische Modelle zu verbessern. Unsere Gruppe entwickelt statistische Ansätze, die robust genug sind, um den unvermeidlichen Mängeln von Daten und Modellen für komplexe Systeme zu begegnen. Die beiden größ-



Bodenprofil mit einem unserer konzeptionellen Modellansätze. [M. Braakbekke]

ten Herausforderungen sind die Identifizierung plausibler Modellstrukturen und die Transformation von Dateneigenschaften („Muster“) in Modelleigenschaften („Parameter“). Dies erreichen wir durch einen so genannten „multiple-constraints“-Ansatz mittels einer Vielzahl von Datenströmen, die komplementäre Informationen über Prozesse und Zeitskalen enthalten – z.B. Daten zu Kohlenstoff- und Wasseraustausch, Pflanzenwachstum, Baumringen sowie Kohlenstoff- und Stickstoffvorräten in Böden und Vegetation. Klassische Techniken zur Parameterschätzung mit Ansätzen des maschinellen Lernens und modernen Zeitreihenanalysen zu kombinieren, hat sich bereits als wertvoller Ansatz zur Verbesserung der Modelle erwiesen. Die rechenintensiven Methoden werden von der Computercluster-Infrastruktur am MPI für Biogeochemie optimal unterstützt.



Max-Planck-Forschungsgruppe Biosphärische Theorie und Modellierung

Wir entwickeln theoretische Ansätze und numerische Modelle, um den Einfluss von Leben auf die globalen geochemischen Kreisläufe zu untersuchen. Diese Modelle nutzen wir, um beobachtete geographische Muster der terrestrischen Vegetation sowie der Flüsse von Energie, Wasser, Kohlenstoff und anderer Elemente zu reproduzieren und zu verstehen. Dabei berücksichtigen wir Muster der Gegenwart und Vergangenheit und schätzen die Folgen menschlicher Einwirkungen ab.

Stoffe vermischen sich, Wasser fließt den Berg hinunter, Holz verbrennt zu Asche. Gäbe es nur diese Prozesse, wäre alle Materie früher oder später einheitlich vermischt. Wasser würde sich in den Ozeanen sammeln, Gebirge würden bis zum Meeresgrund erodiert und statt Holz gäbe es nur noch Asche. Diese Prozesse würden die Erde in einen toten Planeten verwandeln – ohne Gradienten, die die Dynamik des Erdsystems und geochemische Kreisläufe antreiben. Diese Beobachtungen zeigen die allgemeine Richtung auf, in die sich alle Prozesse des Erdsystems mit der Zeit entwickeln. Die hier beschriebenen Prozesse sind irreversibel, sie lassen sich nicht umkehren und passieren spontan. Mit Hilfe der Thermodynamik können wir ihre Entwicklung verstehen und quantifizieren. Diese Betrachtung gilt für geochemische Prozesse und globale Kreisläufe der Erde ebenso wie für das Leben an sich.

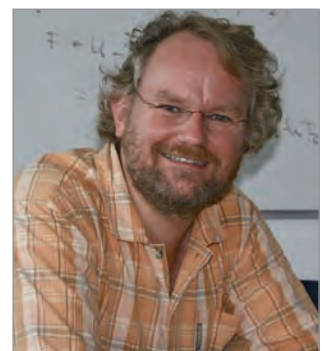
Welche Mechanismen erlauben es nun der Erde, weit vom „toten“ Zustand des thermodynamischen Gleichgewichts entfernt zu sein? Welche Prozesse leisten die physikalische und chemische Arbeit, die Stoffe trennt, Wasser bergauf bringt, Berge formt und aus Asche wieder Holz entstehen lässt? Welche Rolle spielen dabei das Leben und seine inhärente Vielfalt? Wird die Erde durch menschliche Aktivitäten und den damit verbundenen Klimawandel näher oder weiter weg vom „toten“ thermodynamischen Gleichgewicht geführt?

Unsere Gruppe erforscht diese Fragen aus einer Perspektive, die die Funktion des thermodynamischen Erdsystems in Gesamtheit betrachtet. Dabei konzentrieren wir uns vor allem auf (1) die Entwicklung einer thermodynamischen Grundlage von Erdsystemprozessen und ihren Wechselwirkungen, (2) ein detailliertes Verständnis der Prozesse, die Energie und geoche-

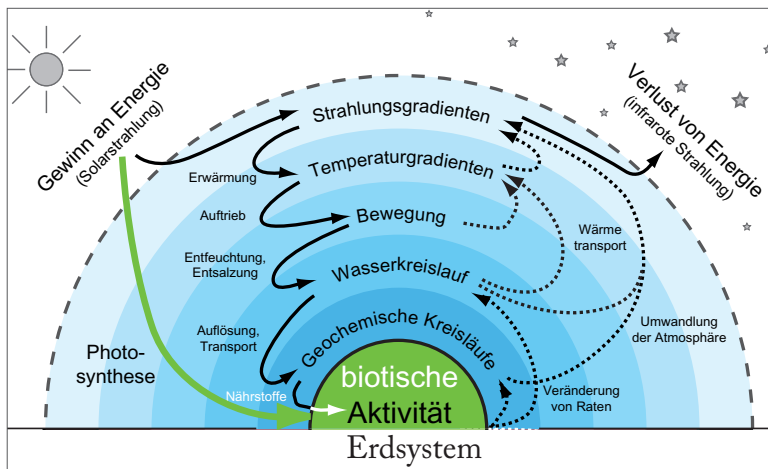
Portrait des Forschungsgruppenleiters

Dr. Axel Kleidon studierte Physik, Mathematik und Meteorologie an der Universität Hamburg und der Purdue University, Indiana, USA. Er promovierte in Meteorologie an der Universität Hamburg. Nach seiner Postdoc-Zeit an der Stanford University erhielt er einen Lehrauftrag an der University of Maryland. Seit 2006 führt er eine Max-Planck-Forschungsgruppe. Seine Forschungsschwerpunkte sind: Wechselwirkungen Atmosphäre–Biosphäre, Biodiversität, Vegetationsmodellierung, Nichtgleichgewichtsthermodynamik, Gaia-Hypothese, Evolution des Erdsystems.

Kontakt: axel.kleidon@bgc-jena.mpg.de



mische Elemente an Land austauschen sowie (3) die Erklärung, wie eine diverse Biosphäre funktioniert und wie sie mit vorherrschenden geochemischen Bedingungen interagiert.



Schematische Darstellung der Energie- und Masseumwandlungen, die das Erdsystem vom Zustand des thermodynamischen Gleichgewichts entfernen. Durch Energieaustausch mit dem Weltraum erzeugte Strahlungsgradienten werden in Temperaturgradienten, Bewegung sowie hydrologische und geochemische Kreisläufe umgewandelt, die mit der biotischen Aktivität wechselwirken.

Schwerpunkt 1. Thermodynamik des Erdsystems

Wir beschreiben die Prozesse des Erdsystems mit Hilfe der Thermodynamik und übertragen diese Formulierungen in analytische und numerische Modelle. Dazu stellen wir biogeochemische Prozesse als Funktion von thermodynamischen Gradienten dar, die zu Flüssen führen, die diese Gradienten abbauen. Mit diesen Modellen können wir die thermodynamische Natur geochemischer Prozesse und deren Empfindlichkeit auf Veränderungen quantifizieren, z.B. biotische Einflüsse oder menschliche Störungen wie die Rodung der Wälder oder die Nutzung von Windenergie. Wir testen die Anwendbarkeit der Hypothese der maximalen Entropieproduktion auf verschiedene Prozesse im Erdsystem. Diese Ansätze nutzen wir, um Modellformulierungen zu verbessern und zu bewerten, inwiefern das rekonstruierte Muster der Koevolution von Erde und Leben mit thermodynamischen Trends zusammenhängt. Mit dieser Forschung tragen wir zur Allianz „Planetenevolution und Leben“ der Helmholtz-Gemeinschaft bei.

Schwerpunkt 2. Veränderungen der Landoberfläche

Wir entwickeln numerische Modelle, um die Dynamik der Landoberfläche, kontinentale

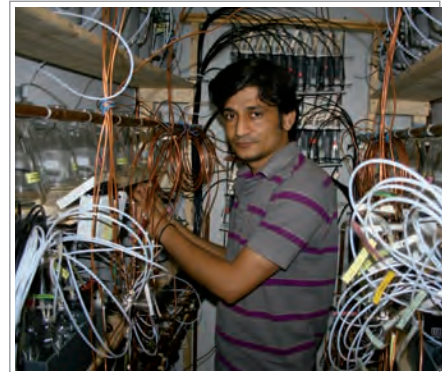
Transportprozesse, geochemische Kreisläufe an Land und die Sensitivität der beteiligten Prozesse auf biotische Aktivität zu beschreiben. Prozesse wie die Verwitterung von Gestein, Bodenentstehung und Erosion haben

Einfluss auf biotische Aktivität, biogeochemische Kreisläufe und Rückkopplungen innerhalb des Erdsystems auf unterschiedlichen Zeitskalen. Die Verwitterungsrate von Silikatgestein hat z.B. einen starken Einfluss auf den globalen Kohlenstoffkreislauf, der wiederum den atmosphärischen Kohlendioxidgehalt auf Zeitskalen von Millionen von Jahren bestimmt. Mit der Verwitterung ist auch die Verfügbarkeit von Phosphor verbunden, ein Element, das vermutlich das Wachstum von tropischen Ökosystemen begrenzt. Somit können Prozesse, die auf einer Zeitskala von Millionen Jahren ablaufen, eine kritische Rolle für Pflanzen und

Stoffkreisläufe im globalen Klimawandel spielen. Unsere Modelle erlauben es uns, diese Aspekte im Hinblick auf die Interpretation der Erdsystemgeschichte und zukünftige globale Veränderungen zu quantifizieren.

Schwerpunkt 3. Die diverse Biosphäre

Wir entwickeln neue Ansätze, um Muster und Funktion der diversen Biosphäre zu erklären. Unser Modell ermöglicht es uns, derzeitige Muster der terrestrischen Biosphäre – wie die Verteilung der pflanzlichen Artenvielfalt, die relativen Häufigkeitsverteilungen, die funktionalen Merkmale der Vegetation sowie das Ausmaß, in dem das Klima sich in diesen widerspiegelt – zu analysieren. Durch die explizite Modellierung der Populationsdynamik können wir abschätzen, wie sich die Diversität auf die Austauschflüsse an der Landoberfläche auswirkt und in welchem Maß sich die Vegetation an Klimaveränderungen anpassen kann. Wir evaluieren verschiedene Hypothesen, die Ursachen, Folgen und Muster der Biodiversität formulieren und biogeochemische Stoffflüsse und Vegetationsstruktur mit Theorien komplexer Systeme und Optimierungsansätzen in Zusammenhang bringen.



Internationale Max-Planck-Graduiertenschule für globale biogeochemische Kreisläufe

Die Internationale Max-Planck-Graduiertenschule für globale biogeochemische Kreisläufe (IMPRS-gBGC) ist ein strukturiertes Promotionsprogramm des Max-Planck-Instituts für Biogeochemie und der Friedrich-Schiller-Universität Jena (FSU). Wir bieten herausragenden Studenten aus aller Welt eine erstklassige Ausbildung in einem anregenden Forschungsumfeld.

Die Schlüsselemente des Lebens – wie zum Beispiel Kohlenstoff, Sauerstoff und Stickstoff – werden durch globale biogeochemische Kreisläufe ununterbrochen zwischen Land, Ozeanen und Atmosphäre ausgetauscht. Ziel der Forschungsaktivitäten in der IMPRS-gBGC ist das grundlegende Verständnis dieser Kreisläufe. Dabei werden auch die Kopplung verschiedener Stoffkreisläufe untereinander sowie der Einfluss von Klimawandel und menschlichen Aktivitäten untersucht. Die Doktoranden werden in laufende Forschungsprojekte einbezogen, die Datenerhebungen, Methodenentwicklungen, Experimente und Modellierung umfassen. Ein umfassendes interdisziplinäres Rahmenprogramm ergänzt und bereichert die individuelle Forschungsarbeit. Die Graduiertenschule ist somit ein exzellenter Ausgangspunkt für eine erfolgreiche Karriere in den Erdsystemwissenschaften.

Aufbau des Promotionsprogramms

Kern des dreijährigen Programms der IMPRS-gBGC ist eine eigenständige, zur Promotion führende Forschungsarbeit. Diese wird durch einen interdisziplinär ausgerichteten Ausbildungsplan ergänzt. Die Studenten sind entweder einer Forschergruppe an der FSU oder dem MPI für Biogeochemie zugeordnet und als Promotionsstudenten in der FSU eingeschrieben. Eine besonders enge Kooperation besteht mit der Chemisch-Geowissenschaftlichen Fakultät, der Biologisch-Pharmazeutischen Fakultät, der Fakultät für Mathematik und Informatik sowie der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der FSU.

Am Ende des Promotionsprogramms qualifizieren eine Dissertation (idealerweise kumulativ, d.h. basierend auf mindestens drei Veröffentlichungen in wissenschaftlichen Zeitschriften) und deren erfolgreiche Verteidigung für einen durch die FSU verliehenen Doktorgrad.

IMPRS-gBGC Team

Friedrich-Schiller-Univ. Jena: Prof. Dr. G. Büchel (Geologie, Paläontologie), Prof. Dr. R. Gaupp (Allgemeine Geologie), Prof. Dr. St. Halle (Ökologie), Prof. Dr. E. Kothe (Mikrobielle Phytopathologie), Prof. Dr. K. Küsel (Geomikrobiologie), Prof. Dr. R. Mäusbacher (Phys. Geographie), Prof. Dr. B. Michalzik (Bodenkunde), Prof. Dr. M. Neumann (Stochastik), Prof. Dr. G. Pohnert (Analytische Chemie), Prof. Dr. J. Popp (Physikalische Chemie), Prof. Dr. Ch. Schmullius (Fernerkundung), Prof. Dr. K.U. Totsche (Hydrogeologie), Dr. P. Dittrich (Biosystemanalyse), Dr. P. Frenzel (Geologie, Paläontologie), jun. Prof. Dr. A. Hildebrandt (Ökologische Modellierung), Dr. M. Pirrung (Paläontologie)

MPI für Biogeochemie: Dr. habil. Ch. Gerbig, apl. Prof. Dr. G. Gleixner, Dr. A. Görner, Prof. Dr. M. Heimann, Dr. A. Kleidon, Dr. M. Reichstein, Prof. (Univ. of California, Irvine, CA/USA) S. Trumbore, PhD

Sprecher: Martin Heimann

Kontakt: imprs-gbgc@bgc-jena.mpg.de

Koordinatorin: Anna Görner

URL: www.imprs-gbgc.de



Betreuung

Während ihrer Promotionsarbeit erhalten die IMPRS-Studenten regelmäßig Unterstützung von einem persönlichen Beratungsgremium, dem PhD Advisory Committee (PAC). Dieses Gremium setzt sich aus dem Erstbetreuer, einem weiteren IMPRS-gBGC-Fakultätsmitglied und mindestens einem weiteren, externen Wissenschaftler zusammen.

Wissenschaftliche Zusatzausbildung

Als Ergänzung zur eigenen wissenschaftlichen Arbeit absolvieren die Doktoranden ein zusätzliches Trainingsprogramm, um ihr Verständnis des Erdsystems zu erweitern. Zu den Bildungsinhalten gehören folgende, teilweise fakultative Elemente:

- Speziell für IMPRS-Studenten gestaltete Kurse
 - Ein Übersichtskurs über globale biogeochemische Kreisläufe
 - Kurzlehrgänge, die die Doktoranden in erdsystemrelevante Wissenschaftsfelder einführen, in denen sie noch keine Kenntnisse haben. Diese Kurse erleichtern Kooperationen über die Grenzen der ursprünglichen Ausbildung hinaus.
 - Spezifische Weiterbildungskurse zu Fertigkeiten, die für die Forschung an globalen biogeochemischen Kreisläufen hilfreich sind, z.B. Statistik und Datenanalyse, Modellierung, Analytik, Erdbeobachtung und Isotopentechniken
- Teilnahme an einschlägigen Sommerschulen und Workshops
- Training in gemeinschaftlicher Forschung durch insgesamt dreimonatige Kurzaufenthalte bei erstklassigen ausländischen Forschungsgruppen. Der Austausch ermöglicht die weitergehende Qualifizierung in einem Interessengebiet und schafft einzigartige

Kontakte zu den besten Experten in einem Spezialgebiet. Außerdem wird die Sichtbarkeit des jeweiligen Promotionsprojekts erhöht.

- Seminare in Schlüsselqualifikationen, die die Beschäftigungsmöglichkeiten und Karriereausichten im akademischen Umfeld und darüber hinaus verbessern
- Vorstellung der eigenen Arbeit auf internationalen Konferenzen und in internationalen Fachzeitschriften, Erläuterung der größeren wissenschaftlichen und gesellschaftlichen Zusammenhänge vor einer breiteren Öffentlichkeit
- Förderung von weiteren, für eine wissenschaftliche Laufbahn wesentlichen Aktivitäten, wie z.B. die Organisation wissenschaftlicher Veranstaltungen

Vernetzung

Das Promotionsprogramm bietet jungen Forschern aus aller Welt zahlreiche Möglichkeiten, persönliche Netzwerke zum wissenschaftlichen Austausch und für das berufliche Weiterkommen aufzubauen. Neben dem Bildungsprogramm spielen die intensiven internationalen Kooperationen der Betreuer hier eine Schlüsselrolle.

Die IMPRS-gBGC ist Teil einer Initiative der Max-Planck-Gesellschaft zur gezielten Förderung von Doktoranden. Es bestehen enge Verbindungen zu Max-Planck-Instituten und anderen IMPRS innerhalb der Erdsystempartnerschaft (ESRP) Earth System Research Partnership, einer interdisziplinären Exzellenzinitiative zum besseren Verständnis der Erde als einem komplexen System und der besseren Vorhersagbarkeit der Auswirkungen menschlichen Verhaltens. Die IMPRS-gBGC ist auch Teil eines aktiven regionalen Netzwerks von Graduiertenschulen.

Übersichtsmodul	Kurzlehrgänge	Weiterbildungskurse
- Biogeochemische Kreisläufe im Erdsystem	- Atmosphäre & Ozeane - Ökosysteme & Biosphäre - Böden, Bodenmikrobiologie und Bodenhydrologie - Paläoklima	- Angewandte Statistik & Datenanalyse - Erdbeobachtung - Modellierung und numerische Techniken - Analytische Techniken - Soziale Kompetenz

Beispiele für Lehrmodule der IMPRS-gBGC



Emeritus-Gruppe Ernst-Detlef Schulze

Ernst-Detlef Schulze, Gründungsdirektor des Max-Planck-Instituts für Biogeochemie, trat im September 2009 offiziell in den Ruhestand. Als Emeritus setzt der frühere Leiter der Abteilung Biogeochemische Prozesse seine Forschungsaktivitäten fort. Er führt nun eine Gruppe von Doktoranden und Postdoktoranden, die Ökosystemprozesse, Biodiversität und Landmanagement mit Schwerpunkt auf Wäldern erforschen.

Meine Forschung der Vergangenheit betraf die Spurengasbilanz Europas. Dieses Gebiet entwickelte sich wie ein „Baum“ mit zahlreichen Wurzeln und Zweigen. Eine „Hauptwurzel“ ist die Ökophysiologie, die die Grundlagen des Pflanzenwachstums untersucht. Pflanzenwachstum ist aber nur mit Ressourcen aus Böden möglich. Dies führt zu Untersuchungen des organischen Kohlenstoffs in Böden als weiterer „Wurzel“ dieser Forschungsrichtung. Die „Zweige“ dieses Forschungsbaums betreffen die Vielfalt der Organismen in Pflanzengemeinschaften und der Erforschung der Einflüsse der Landbewirtschaftung. Pflanzenvielfalt und Bewirtschaftung sind eng miteinander verbunden. Es besteht eine große Lücke zwischen den Visionen der Klimaforscher und den Zielen der Grundeigentümer, die es zu schließen gilt.

Schwerpunkt 1. Ökophysiologie von Bäumen und Bodenprozessen

Die meisten bisherigen Projekte werden in neue

Verantwortungen überführt. Meine eigenen Interessen betreffen weiterhin Gradienten von Kohlenstoff- und Stickstoff-Isotopen, z.B. den Übergang von Winter- zu Sommerniederschlägen in Westaustralien. Die Wälder Europas und Sibiriens bleiben ein weiterer Schwerpunkt meiner aktuellen Forschung.

Im Jahr 2010 wurde ich einer der „Megagrant“-Empfänger der russischen Regierung. In diesem Projekt plane ich, den Umsatz von gelöstem organischem Kohlenstoff im Jenissei-Flussbecken zu untersuchen, eine arktische Messstation und Eddy-Kovarianz-Messungen aufzubauen, und eine Bestandsaufnahme der Landoberfläche zu machen. Obwohl diese Arbeiten von Russland finanziert werden, gab es große Schwierigkeiten bei der Genehmigung der einzelnen Aktivitäten durch die russischen Sicherheitsorgane. Ich hoffe, dass ein großer Teil der Arbeiten im Jahr 2012 erfolgreich sein kann. Insbesondere geht es um zwei Expeditionen

Portrait

Prof. Dr. Ernst-Detlef Schulze ist Mitglied der Max-Planck-Gesellschaft, Honorarprofessor der Universität Jena, gewähltes Mitglied der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina und der American Academy of Arts and Sciences. 2010 wurde Prof. Schulze zum leitenden Wissenschaftler der Sibirischen Universität Krasnojarsk ernannt. Für seine Arbeit in Ökologie und Ökosystemforschung erhielt er den Deutschen Umweltpreis. Er ist Mitglied des Beirats des Europäischen Umweltprogramms und verwaltet einen Forstbetrieb.

Kontakt: detlef.schulze@bgc-jena.mpg.de





Die Gewinnung von Holzproben an Bauernhäuser im Hainich: Die meisten Häuser sind aus Eiche gebaut, die heute im Unterwuchs der Wälder als Folge der unangemessenen Wildbestände nicht mehr vorkommt.

längs des Jennisei von den Quellgebieten bis zur Mündung nach der Schneeschmelze und bei Niedrigwasser im Spätsommer. Zeitgleich beginnen die Arbeiten zur Inventur der Landoberfläche, die auf großer Fläche auf Helikopter angewiesen sind. Diese Arbeiten werden von unserem Forstingenieur U. Pruschitzki betreut.

Schwerpunkt 2. Biodiversität und Naturschutz

Die von mir initiierten Biodiversitätsexperimente gehen in die Verantwortung von Prof. Dr. Wolfgang Weisser, TU München (Graslandexperiment) und Prof. Dr. Michael Scherer-Lorenzen, Freiburg (Baumexperiment) über.

Ich beschäftige mich weiterhin mit dem Naturschutz in Thüringen. Das Hauptproblem sind äsende Rehe, die zu einer Verringerung der Baumvielfalt und schließlich zu Monokulturen der Buche führen, sofern eine ausreichende Bejagung fehlt. Dies ist eine Gefahr im Nationalpark Hainich, wo unter dem Schutzziel „Natur Natur sein lassen“ die Bejagung ausgesetzt werden soll, und damit eine gravierende Änderung in der Waldvegetation im Gange ist. Frau C. Seele, Doktorandin, und Frau A. Strassburger, Diplomandin, beschäftigen sich mit den Auswirkungen von Wildverbiss auf die Baumvegetation.



Verbiss an Esche: Diese Esche ist 15 Jahre alt und sollte mindestens 15 m hoch



Kimberleys, Westaustralien: auf der Suche nach der nächsten Eukalyptusart

Schwerpunkt 3. Landbewirtschaftung

Im Rahmen des DFG-Projektes „Exploratories“ war ich verantwortlich für die Waldinventuren und die Datenbank. Diese Aufgaben gehen an die forstliche Fakultät der Universität Göttingen und an die Informatik der Universität Jena. Mein eigenes Interesse gilt weiterhin den Entscheidungswegen in der Landbewirtschaftung, die die Forstwirtschaft im Allgemeinen betrifft. Da ich eigenen Nadel- und Laubwald verwalte, begleiten meine praktischen Erfahrungen der Waldbewirtschaftung meine eigene Forschung. Es zeigt sich, dass die steigenden Anforderungen der Gesellschaft an Klimaschutz, Erholung und Naturschutz von den Landeigentümern nicht aufgenommen werden, da aus all diesen sozialen Verpflichtungen kein Einkommen erwächst. Auch die Einnahmen aus dem Kohlenstoffhandel auf der Basis des Kyoto-Protokolls gehen in die Hände des Finanzministers und nicht an die Personen, die durch ihre Wirtschaftsform den Wald als Kohlenstoffsenke ermöglicht haben.

Ein Seitenzweig dieser Forschung ist die historische Untersuchung der Landnutzung auf der Grundlage von Baumarten und Regionen. Hauptuntersuchungsregion ist dazu der Hainich. Die Postdoktorandin, Frau J. Wäldchen, untersucht die Bausubstanz von Bauernhäusern, um anhand dieser Daten indirekt auf die Zusammensetzung der Wälder, die im Besitz der Dörfer sind, zu schließen.



Hermannsberg, Thüringer Wald



Wissenschaftlicher Servicebereich Stabile Isotope

Wer den globalen Klimawandel wissenschaftlich untersuchen will, braucht gute Messmethoden. Alle Gase in unserer Luft, nicht nur CO₂, sind dem Wandel unterworfen, aber nur wenige sind in solch ausreichender Menge vorhanden, dass sie mit einfachen Mitteln quantifiziert werden können. Daher benötigt man für die Bestimmung der Spurengase exzellente Messverfahren sowie die Beharrlichkeit, langfristig exakte Messergebnisse zu erzielen.

Um das Schicksal der relevanten Spurengase zu verfolgen, müssen wir erfassen, wie sich ihre Mengen in der Luft verändern. Ebenso müssen wir herausfinden, woher diese Veränderungen stammen und wie sie eventuell wieder verschwinden. Diese Informationen sind leider sehr schwer zu erhalten. Eines der Mittel, das wir dazu nutzen können, ist die Untersuchung der stabilen Isotope (¹³C, ¹²C, ²H, ¹⁸O, ¹⁶O) in den Spurengasen. Die Verhältnisse dieser Isotope werden routinemäßig für CH₄ und CO₂ gemessen. Die betreffenden Veränderungen sind allerdings gering. Deshalb sind Messungen dieser Art eine Herausforderung, die nur wenige Labore meistern können.

Für die Analyse von stabilen Isotopenverhältnissen wird allgemein die Massenspektroskopie verwendet. Dazu müssen Originalproben in reine, einfache Messgase wie CO₂, N₂, H₂, oder O₂ umgewandelt werden, was eine sorgfältige chemische Umwandlung mit einer Ausbeute von nahezu 100 %

erfordert. Im Massenspektrometer werden diese Gasproben ionisiert und die unterschiedlichen Isotopenarten (Isotopologe) mittels eines Magneten getrennt. Am Ende ihrer Flugbahn treffen die Ionen auf ihren entsprechenden Detektor, werden dort aufsummiert und das Verhältnis der verschiedenen Ionenströme wird aufgezeichnet. Das gleiche Verfahren wird auf ein Referenzgas mit bekannter Isotopenzusammensetzung angewendet. So lässt sich ein sehr genauer Vergleich herstellen, der eine akkurate Isotopenkennzeichnung ermöglicht.

Das Labor für Stabile Isotope (BGC IsoLab) ist eines der hochspezialisierten Massenspektrometer-Labore, das Schwankungen der stabilen Isotopenverhältnisse in atmosphärischen Proben, aber auch aus Erde, Wasser und Pflanzenmaterial mit höchster Präzision analysiert.

Kleine Schwankungen bei den natürlichen Isotopen zeugen von bestimmten Prozessen, die auf

Portrait des Leiters

Dr. Willi A. Brand leitet das Isotopenlabor seit dessen Aufbau im Jahr 1998 und hat es zu einem der bedeutendsten Standorte in Europa auf diesem Spezialgebiet geführt. Er studierte Chemie in Bonn und promovierte über Feldionisation. Nach seinem Postdoc an der Universität von North Carolina leitete er für mehrere Jahre die Entwicklungsgruppe Stabile Isotope der Firma Thermo-Finnigan in Bremen. Seit 2009 ist er Vorsitzender der Kommission über Isotopenhäufigkeiten und Atomgewichte (CIAAW) innerhalb der IUPAC.

Kontakt: wbrand@bgc-jena.mpg.de

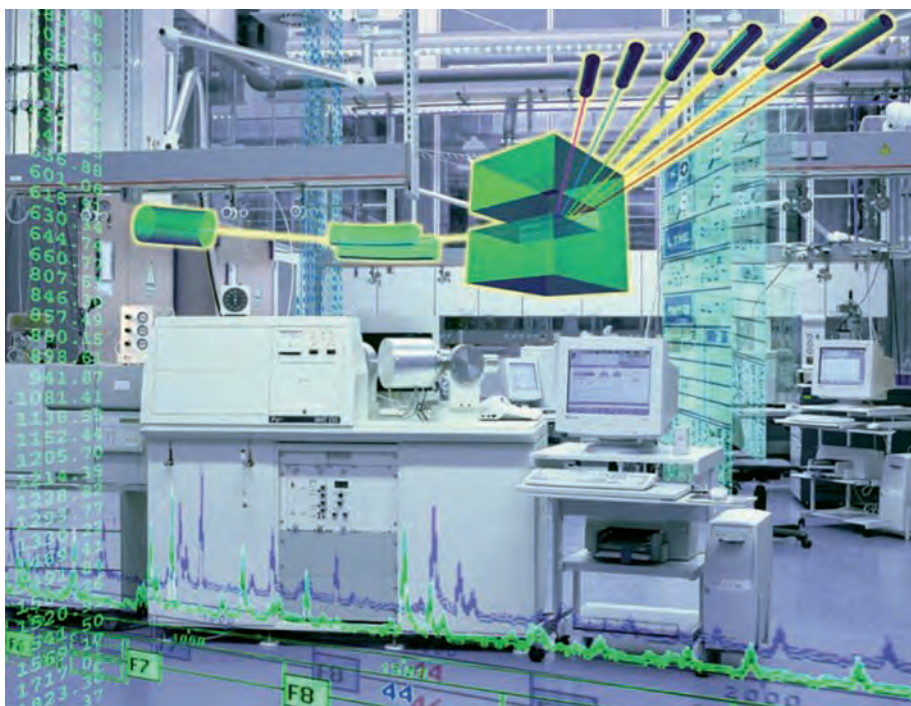


diese Weise ihre Spur hinterlassen. Ein Musterbeispiel ist die Photosynthese. Dabei verbinden sich CO_2 und Wasser mittels Sonnenlicht zu Glukose, wovon sich alle weiteren organischen Materialien ableiten. Katalysiert wird die Photosynthese durch RubisCO, ein Pflanzenenzym, welches das leichte Isotop ^{12}C gegenüber dem schweren Isotop ^{13}C bevorzugt. Deshalb enthält Pflanzenmaterial, das durch Photosynthese entstanden ist, weniger ^{13}C als das CO_2 in der Luft, das nach der Photosynthese einen höheren Gehalt an ^{13}C aufweist. Die sich daraus ergebenden Veränderungen sind oft extrem klein, gleichzeitig sind sie überaus signifikant und über Jahre hinweg stabil messbar. Da alle fossilen Brennstoffe in der Vergangenheit durch Photosynthese erzeugt wurden, führt die Verbrennung von Öl, Kohle und Erdgas zu einer Erhöhung von isotopisch leichtem CO_2 in der Atmosphäre. Diese Erhöhung können wir messen und mit der zeitlichen Entwicklung menschlicher Aktivitäten in Verbindung bringen.

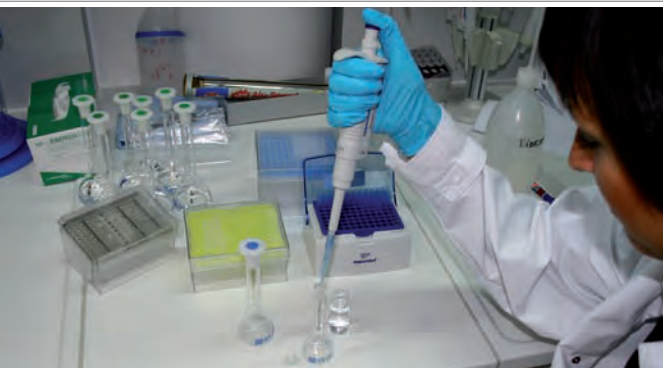
Andere stabile Isotope, die wir am BGC Isolab untersuchen, sind Deuterium und $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ -Verhältnisse in Wasserproben, Deuterium in fossilen Molekülen, $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ -Verhältnisse in Pflanzen und Erde oder das Verhältnis von $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ in Baumringen. Die feinen Veränderungen dieser Isotopenverhältnisse erlauben uns, die Prozesse, die diese isotopische Signatur in der Vergangenheit verursacht haben, zurückzufolgen. Gletscher in Grönland oder in der Antarktis zum Beispiel umfassen eine

Zeitspanne von bis zu einer Million Jahren vor unserer Zeit. Sie wurden durch Schnee geformt, der zu Eis kompaktiert. Dessen Schichten lassen sich – ähnlich wie Baumringe – zumindest für die jüngere Geschichte (bis zu etwa 10 000 Jahre) Jahr für Jahr auflösen. Der isotopische Inhalt dieser Schichten „konserviert“ die Temperaturentwicklung. So erfahren wir zahlreiche Details aus der Geschichte der Eiszeiten.

Über diese direkten Isotopenbeobachtungen hinaus nutzen wir die gleiche Technologie, um die Sauerstoffkonzentration in der heutigen Luft mit sehr hoher Genauigkeit zu messen. Der bekannte CO_2 -Anstieg wird von einem entsprechenden, jedoch weniger publizierten Abfall von O_2 in der Atmosphäre begleitet: Für jedes Kohlenstoffatom in fossilen Brennstoffen, das zu CO_2 verbrennt, wird ein O_2 -Molekül aus der Atmosphäre entnommen. Es gibt also eine stöchiometrische Entsprechung zwischen O_2 und CO_2 . Allerdings passieren die O_2 -Veränderungen auf einem erheblich höheren Untergrund (O_2 hat einen Anteil von ~21 % in der Luft, CO_2 „nur“ ~ 0.04 %). Diese Messungen mit der gewünschten Präzision durchzuführen, ist deshalb eine große Herausforderung, die wir durch die Entwicklung eigener Instrumente und Proben-Handhabungsprotokolle erfolgreich gemeistert haben. Indem wir beide Gase zusammen analysieren, erhalten wir einen Einblick in den Kohlenstoffkreislauf, den wir durch die alleinige Untersuchung von CO_2 nicht gewinnen könnten.



Isotopenlabor: ein visionärer Blick in das erste BGC-Isotopenlabor im Zeiss-Gebäude. Seit November 2002 befindet sich das Labor zur Untersuchung Stabiler Isotope im Institut auf dem Beutenberg Campus.



Wissenschaftlicher Servicebereich Routinemessungen & Analysen

Die Erforschung biogeochemischer Kreisläufe und Prozesse erfordert die Quantifizierung chemischer Elemente und ihrer Verbindungen sowie die Berechnung von Stoffhaushalten in verschiedenen Bereichen eines Ökosystems. Der Servicebereich „Routinemessungen & Analysen (RoMA)“ analysiert in enger Kooperation mit den Wissenschaftlern die Anteile von Kohlenstoff, Stickstoff, Wasserstoff, Schwefel, Phosphor und anderer Elemente in flüssigen und festen Stoffen.

Als Serviceeinrichtung untersuchen wir Umweltproben, die von kooperierenden Wissenschaftlern eingereicht werden, und stellen die bearbeiteten Messdaten zur Verfügung. Der Schwerpunkt liegt auf der Kohlenstoff- und Stickstoffanalytik, es können aber auch andere Kenngrößen, wie der pH-Wert und die elektrische Leitfähigkeit, gemessen werden. Dazu passen wir unsere analytischen Methoden individuell an.

Ein häufig angewendetes Messverfahren ist die Elementaranalyse. Sie wird zur Messung des Kohlenstoff- und Stickstoffgehaltes in Böden und Sedimenten, in Pflanzen-, Humus- und Kohleproben, in carbonathaltigen Gesteinen und anderen Feststoffen eingesetzt. Die Summenparameterbestimmung dient analog zur Messung gelöster Kohlenstoff- und Stickstoffverbindungen in Oberflächen- und Bodenwässern und Feststoffextrakten. Die exakte Quantifizierung der Kohlenstoff- und Stickstoffverbindungen ist z.B.

wichtig zur Erforschung der Auswirkungen von Bodennutzung, Bodenbearbeitung und Biodiversität auf den Stoffhaushalt der Elemente. Solche Untersuchungen bieten Einblick in die Variabilität des organisch und anorganisch gebundenen Kohlenstoffs im Boden und in die Prozesse, die diese Elementvorräte auf regionaler und globaler Ebene beeinflussen.

Neben allgemeinen Routineanwendungen entwickeln und optimieren wir anwendungsbezogene analytische Messmethoden, wie z.B. die quantitative Trennung des organisch und anorganisch gebundenen Kohlenstoffs im Boden. Die Analyse beinhaltet zunächst eine Gesamt-Kohlenstoffbestimmung an einer repräsentativen Teilprobe. Zur mengenmäßigen Bestimmung der einzelnen Komponenten wird eine weitere Teilprobe entweder mit einer nicht-oxidierenden Säure zum Aufspalten des Carbonats oder mit temperaturoptimierter Verbrennung zum Aufschließen des

Portrait der Leiterin

Ines Hilke studierte Chemie an der Martin-Luther-Universität Halle und der Technischen Universität Dresden, mit Spezialisierung auf dem Gebiet der Wasserchemie. Sie begann ihre Tätigkeit an der Fakultät für Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften der TU Dresden, Abteilung Bodenkunde und Standortlehre. Seit 1998 arbeitet sie am Max-Planck-Institut für Biogeochemie und leitet seit 2006 den Servicebereich Routinemessungen & Analysen. Ihr Interesse gilt besonders der Limnologie, der Bodenkunde und der instrumentellen Analytik.

Kontakt: ihilke@bgc-jena.mpg.de



organischen Bodenmaterials behandelt. Einblick in die Genauigkeit und Präzision der Bestimmung des organischen Kohlenstoffs in Bodenproben mittels thermischer Vorbehandlung gibt eine Studie zur Speicherung von Bodenkohlenstoff (Steinbeiss et al., Global Change Biology (2008) 14, 2937-2949).

Weitere in unserem Labor durchgeführte Messungen sind:

- Analysen von Wasserstoff und Schwefel in Böden, Sedimenten und organischem Material: liefern Informationen zur chemischen Zusammensetzung der organischen Verbindungen und zur biologischen Verfügbarkeit der gespeicherten Elemente.
- Nachweis von Anionen und Kationen mittels Ionenchromatografie und kontinuierlicher Fließanalyse: zur Quantifizierung gelöster Stoffe und Verbindungen in wässrigen Proben oder Feststoffextrakten, z.B. Fluorid, Chlorid, Bromid, Phosphat, Sulfat, Nitrat, Nitrit, Ammonium, Natrium, Kalium, Magnesium, Calcium, Mangan sowie Anionen organischer Säuren.
- Bestimmung mobiler, leicht verfügbarer oder mikrobiell gebundener Anteile von Kohlenstoff und Stickstoff in Wasserproben und Bodenfraktionen mittels Summenparameteranalyse: Die Fraktionen werden durch Nutzung

verschiedener Extraktionsmittel wie Kaltwasser, Warmwasser, Salzlösungen oder Säuren gewonnen.

- Analyse von löslichem Kohlenstoff und Stickstoff in organischer und anorganischer Form.

Die Qualität unserer Messdaten wird kontinuierlich überwacht. Unser Servicebereich nimmt am jährlichen Ringversuch des VDLUFA (Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten) teil und wurde für die Kohlenstoff- und Stickstoffquantifizierung in Bodenproben zertifiziert. Unser Team gewährleistet eine sorgfältige Bearbeitung der Proben, zeitnahe und termingerechte Analysen sowie eine optimierte Analytik für genaue und präzise Messungen umfangreicher Probenserien.

Zudem bieten wir Praktika für Interessierte verschiedener Altersgruppen und mit unterschiedlichen fachlichen Vorkenntnissen an. Dazu kooperieren wir eng mit dem örtlichen Berufsbildungszentrum, der Fachhochschule Jena sowie der Friedrich-Schiller-Universität Jena. So können sich Lehrlinge und Studenten in modernster Analysetechnik, der Anwendung naturwissenschaftlicher Kenntnisse sowie der aktuellen Forschung am Institut und in den einzelnen wissenschaftlichen Abteilungen weiterbilden. Schüler, Auszubildende und Studenten sind herzlich willkommen, unser Labor für eine Einführung in die instrumentelle Analytik zu kontaktieren.



Exzellente Messdaten erfordern gewissenhafte Probenvorbereitung, profunde Kenntnisse der Analysenmethoden sowie fachkundige Bedienung der Messgeräte. Bei der Elementaranalyse ist das exakte Einwiegen des homogenisierten Probenmaterials (Bilder links) wichtig für die anschließenden Messungen, ebenso die kontinuierliche Wartung des Elementaranalysators (Bild rechts).

Ferner werden regelmäßig chemische Standards und zertifizierte Referenzmaterialien eingesetzt, um Genauigkeit und Langzeitpräzision der Messergebnisse sicherzustellen.



Zentrale Servicebereiche

Erfolgreiche Forschung hängt entscheidend von einer ausgereiften und ständig aktualisierten IT- und Kommunikationsinfrastruktur ab. Die **Wissenschaftliche Datenverarbeitung** unter der Leitung von Bertram Smolny stellt eine sorgfältig geplante und gepflegte, robuste Computing-Infrastruktur bereit, die dem sich ständig verändernden und steigenden Bedarf an IT-Lösungen gewachsen ist.

Das IT-Personal bietet Unterstützung und Lösungen für alle technischen Fragen, von der Netzwerkinfrastruktur bis zur IP-Telefonie, einschließlich IT-Sicherheitsbestimmungen, Hardwarebeschaffung sowie Softwarelizenzierung, -schulung und -support. Von besonderer Bedeutung für die Wissenschaftler sind die Unterstützung von Gastforschern, Seminarprogrammen und Online-Experimenten sowie die hausinternen Hochleistungsrechenkapazitäten mit technisch ausgereifter Datenaufbereitung. Ein speziell ausgebildeter Datenbankentwickler hilft beim Datenmanagement für Labor- und Feldversuche. Mit derzeit sieben Mitarbeitern trägt die IT-Gruppe zudem zur lokalen Weiterentwicklung bei, indem sie interessierten Personen Ausbildungsplätze und Praktika anbietet.

Die **Bibliothek** ist als gemeinsame Einrichtung der beiden benachbarten Max-Planck-Institute

für Biogeochemie und für chemische Ökologie konzipiert. Geführt von den Bibliothekarinnen Linda Maack und Maria-Christina Haase, deckt die Bibliothek die wissenschaftlichen Interessensgebiete beider Institute ab und ist in den Räumen des Max-Planck-Instituts für chemische Ökologie angesiedelt.

Der Bibliotheksservice erlaubt den Wissenschaftlern und Mitarbeitern beider Max-Planck-Institute rund um die Uhr auf die gesamte verfügbare Literatur- und Informationswelt zuzugreifen. Mit der zunehmenden Fokussierung auf elektronische Medien ermöglicht die Bibliothek den Zugang zu ca. 35.000 elektronischen Fachzeitschriften, die teils über die Max Planck Digital Library in München und teils lokal in Jena verwaltet werden. Dieses Angebot wird ergänzt durch einen umfassenden Bestand von Büchern in gedruckter und elektronischer Form, geographischem Kartenmaterial, sowie regionalen und internationalen Tageszeitungen.

Die Bibliotheksmitarbeiter übernehmen alle Arten von Literaturbeschaffung, geben Anleitung zur Gestaltung einer effektiven Literatur-Recherche und informieren in regelmäßigen Schulungen über sachbezogene Themen wie Literaturverwaltung oder bibliographische Datenbanken. Sie helfen

Kontakte

Bibliothek:

Linda Maack

linda.maack@bgc-jena.mpg.de

Forschungskoordination:

Dr. Eberhard Fritz

efritz@bgc-jena.mpg.de

PR und Kommunikation:

Susanne Hermsmeier

susanne.hermsmeier@bgc-jena.mpg.de

Verwaltung:

Petra Bauer

petra.bauer@bgc-jena.mpg.de

Wissenschaftliche Datenverarbeitung:

Bertram Smolny

bertram.smolny@bgc-jena.mpg.de

Zentrale Technik:

Harald Schmalwasser

harald.schmalwasser@bgc-jena.mpg.de



bei allen Fragen zur Beschaffung und Verwaltung bereits existierender Literatur und unterstützen die Wissenschaftler beim Publizieren z. B. hinsichtlich der Open-Access-Modalitäten der Verlage und sind für die Verwaltung der Publikationslisten beider Institute verantwortlich.

Das **PR- und Kommunikationsbüro**, geführt von Susanne Hermsmeier, arbeitet eng mit der Forschungscoordination zusammen und richtet sich mit seinen Aktivitäten an die Medien und die allgemeine Öffentlichkeit. Um die Forschungsergebnisse an ein breites Publikum heranzutragen, müssen sie in allgemein verständliche Texte oder in andere Sprachen übersetzt werden. Die entsprechend aufbereiteten Informationen werden überwiegend auf der Webseite, aber auch als Printmedien veröffentlicht. Broschüren, Newsletter, Merkblätter und Berichte ergänzen Pressemitteilungen und -mappen als traditionelle Instrumente zur Information der journalistischen Gemeinschaft.

Das PR- und Kommunikationsbüro organisiert auch die Beteiligung des Instituts an öffentlichen Veranstaltungen, wie der „Langen Nacht der Wissenschaften“ und den „Noblen Gesprächen“ auf dem Beutenberg-Campus, sowie öffentliche Vorträge und ähnliche Aktivitäten für Wissenschaftler und interessierte Gruppen. Das Kommunikationsmanagement umfasst auch die interne Kommunikation, z.B. die Koordination von internen Veranstaltungen und Aktivitäten.

Die **Forschungscoordination** bearbeitet ein breites Spektrum von Querverbindungen zwischen institutsinternen Belangen und externen Rahmenbedingungen. Der Koordinator Eberhard Fritz unterstützt dadurch den geschäftsführenden Direktor in vielen Aspekten der Institutsleitung, z.B. durch Berücksichtigung der Anforderungen der Max-Planck-Generalverwaltung. Er erledigt das institutionelle Berichtswesen, kümmert sich um die interne Strukturierung, betreut die zentralen Servicebereiche, organisiert die wissenschaftlichen Seminarreihen und ist verantwortlich für die inter-

ne Kommunikation und Aktivitäten im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit.

Die **Zentrale Technik** unter der Leitung von Harald Schmalwasser ist für die Instandhaltung der Institutsgebäude und -gelände sowie das Funktionieren der technischen Infrastruktur verantwortlich. Die Mitarbeiter sind in elektrischen, mechanischen und bautechnischen Fertigkeiten geschult. Die Werkstätten unterstützen die wissenschaftliche Forschung mit der Entwicklung neuer Instrumentierung sowie der Reparatur und Verbesserung kommerziell verfügbarer wissenschaftlicher Instrumente. Darüber hinaus beteiligen sich die Mitarbeiter auch an der Planung, Einrichtung und Wartung von Messcontainern, -stationen und -türmen zur Unterstützung der Feldmesskampagnen in Deutschland und im Ausland.

Die Hauptaufgaben der **Verwaltung** unter der Leitung von Petra Bauer sind die Bearbeitung von Personal-, Finanz-, Reise- und Einkaufsangelegenheiten. Die Verwaltung unterstützt die Wissenschaftler bei der wachsenden Anzahl von internationalen Dienstreisen zu Kooperationspartnern oder Feldstudien, einschließlich des Versands wissenschaftlicher Geräte. Das kaufmännische Rechnungswesen zur Abbildung der Instituts-einnahmen und -ausgaben wird ergänzt durch die Finanzverwaltung von national (z.B. DFG, BMBF) und international (z.B. EU) geförderten Drittmittelprojekten.

Als international anerkannte Forschungsorganisation legt das Institut besonderen Wert auf die effektive Rekrutierung und Betreuung unserer nationalen und internationalen Mitarbeiter. Es bietet umfassende, in der Regel zweisprachige Unterstützung bei allen Verwaltungsfragen und organisiert interne Sprachkurse zur Verbesserung der Kommunikationsfähigkeit. Neuen Mitarbeitern und Gästen werden kurzfristige Unterkünfte in unseren Gästewohnungen zur Verfügung gestellt.

