

Stabile Isotope in der

Viele chemische Elemente existieren als verschiedene stabile Isotope. Stabile Isotope eines Elements sind Atome gleicher Ordnungszahl und unbegrenzter Lebensdauer, die verschiedene Kernmassen besitzen. Sie sind nicht radioaktiv. Die verschiedenen Isotope sind nicht gleich verteilt. Meist gibt es ein dominantes Isotop mit einer relativen Häufigkeit von 90 bis 100 Prozent. Das charakteristische Verhältnis zweier Isotope eines Elementes wird Signatur genannt.

In der Tabelle sind globale Mittelwerte angegeben. An unterschiedlichen Orten und in unterschiedlichen Verbindungen

Element	Massenzahl	Häufigkeit (%)
Wasserstoff	1	99,985
	2	0,015
Kohlenstoff	12	98,89
	13	1,11
Stickstoff	14	99,64
	15	0,36
Sauerstoff	16	99,76
	17	0,036
	18	0,205

Unterschiedliche relative Häufigkeit verschiedener stabiler Isotope von vier Elementen. Angegeben sind globale Mittelwerte.

kann die relative Verteilung (Signatur) aber deutlich abweichen. Das liegt daran, dass die verschiedenen Isotope eines Elementes bei physikalischen, chemischen oder biologischen Prozessen mit unterschiedlichen Raten umgesetzt werden. In der Regel wird das leichtere Isotop bevorzugt. Das hat Änderungen im natürlichen Isotopenverhältnis zur Folge. Stabile Isotope sind so ideale Tracer für Herkunft, Verweilzeit und Umsatzprozesse organischer Verbindungen in der Umwelt.

Seit einigen Jahren ist es nun möglich, nicht nur Gesamtproben auf stabile Isotope (¹³C, ¹⁵N, ¹⁸O, ²H) zu untersuchen,

Bruno Glaser

Unbestechliche Zeugen

Stabile Isotope in der bodenkundlichen Forschung



Freilandexperiment zur Untersuchung erhöhter CO₂-Konzentration in der Luft (Free air carbon dioxide enrichment, FACE) an der ETH Zürich. Mit diesem Experiment werden Auswirkungen des vor allem durch Verbrennung fossiler Energien verursachten anthropogenen Treibhauseffektes untersucht.

Schadstoffe zu messen ist Routine von Umweltanalytikern. Offen aber blieb bis vor kurzem häufig, welche Prozesse in welchem Ausmaß für Schadstoffanreicherungen verantwortlich waren. Am Lehrstuhl für Bodenkunde und Bodengeographie wurden in den vergangenen vier Jahren routinetaugliche Methoden der Analyse stabiler Isotope entwickelt (Hintergrund siehe „Stabile Isotope in der Umweltforschung“). Mit ihnen kann die Isotopensignatur terrestrischer, aquatischer, pflanz-

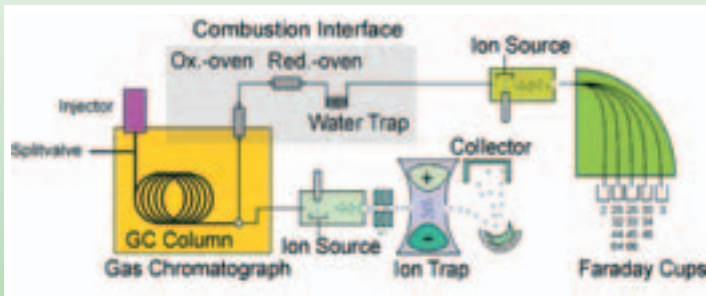
licher beziehungsweise mikrobieller Marker nachgewiesen werden. Dies erlaubt Rückschlüsse auf die Herkunft der Schadstoffe und anderen Verbindungen. Die Methoden werden für unterschiedlichste umweltrelevante Fragen angewendet:

So wird zur Zeit fieberhaft nach Strategien gesucht, um das klimawirksame Treibhausgas Kohlendioxid zu reduzieren. In früheren Untersuchungen hatten die Mitarbeiter des Lehrstuhls gezeigt, dass stabile, hocharomatische Verbindungen im Boden (engl. black carbon) bei unvollständiger Verbrennung entstehen. Diese Verbindungen werden im Boden kaum abgebaut. Mit Hilfe der Isotopen-Untersuchungen ließ sich jetzt nachweisen, dass black carbon in signifikanten

Mengen auch biologisch gebildet wird. Die Förderung dieser biologischen Prozesse könnte eine effektive Strategie sein, den Kohlendioxidgehalt in der Atmosphäre zu reduzieren.

In der Literatur gibt es zahlreiche Hinweise auf eine Stabilisierung von mikrobiellen Rückständen im Boden. Allerdings ist das Ausmaß und der zeitliche Rahmen einer solchen Stabilisierung völlig unbekannt. Das ist vor allem auf methodische Grenzen zurückzuführen. Mit konventionellen Methoden wie zum Beispiel Gaschromatographie und Flammen-Ionisationsdetektion ist es nämlich nicht möglich, zwischen schon im Boden vorhandenen (alten) und rezent gebildeten (neuen) mikrobiellen Produkten zu unter-

Umweltforschung



Funktionsweise eines Gas-Isotopen-Massenspektrometers mit Peripherie für Biomarker-Analysen. Bei bodenkundlichen Untersuchungen wird damit zum Beispiel die Herkunft von organischen Verbindungen identifiziert oder das Ausmaß deren Neubildung bzw. deren Umsatz sicher nachgewiesen.

Autoren

Unbestechliche Zeugen

Dr. Bruno Glaser

Wiss. Mitarbeiter Lehrstuhl

Bodenkunde und Bodengeographie

<http://www.bayceer.uni-bayreuth.de/Glaser>

Partnertausch im dunklen Wald

Prof. Dr. Gerhard Gebauer

Wiss. Mitarbeiter Lehrstuhl Pflanzenökologie

<http://www.bayceer.uni-bayreuth.de/Gebauer>

Woher kommt das CO₂?

Johannes Ruppert

Wiss. Mitarbeiter Abteilung Mikrometeorologie

<http://www.bayceer.uni-bayreuth.de/mm>

sondern auch physikalische und chemische Fraktionen (komponenten- bzw. substanzspezifische Analyse stabiler Isotope). Mit Gas-Isotopen-Massenspektrometern (engl. Gas isotope ratio mass spectrometry, IRMS) können simultan bis zu drei stabile Isotope gemessen werden. Das erlaubt eine sichere Detektion von kleinsten Än-

derungen der Isotopenverhältnisse. Die Untersuchungen dienen im Wesentlichen zwei prinzipiellen Zielen: dem spezifischen Nachweis der Herkunft organischer Verbindungen (engl. Environmental Forensics) sowie der Verweilzeit und dem Ausmaß der Festlegung dieser Verbindungen (engl. Turnover and sequestration). ■

scheiden, da es sich ja um identische Moleküle handelt. Mit Hilfe der Signatur der stabilen Isotope in den mikrobiellen Produkten wie Amino-zuckern lassen sich die neu gebildeten mikrobiellen Produkte quantifizieren, wenn mit Isotopen markierte Substrate angeboten werden (Isotopenmarkierung).

Fragen darüber, in welchem Ausmaß der Kohlenstoff im Boden festgelegt wird oder wie hoch der Umsatz von organischen Substanzen im Boden ist, sind vor dem Hintergrund eines sich ändernden Klimas extrem brisant. So ist zum Beispiel bislang ungeklärt, ob eine Temperaturerhöhung aufgrund steigender atmosphärischer Kohlendioxid-Konzentrationen zu einer erhöhten Biomasseproduktion und damit zu einer vermehrten Festlegung von Kohlenstoff im Boden führt. Es ist genauso gut denkbar, dass die erhöhte Temperatur die Mineralisationsraten erhöht und deshalb verstärkt Humus abgebaut wird. Das würde zu zusätzlichen Kohlendioxid-Emissionen führen und den Treibhauseffekt weiter verstärken.

In einem Freilandexperiment in Zusammenarbeit mit der ETH Zürich wird deshalb eine erhöhte atmosphärische Kohlendioxid-Konzentration (Free Air Carbondioxide Enrichment, FACE-Experiment) mit ¹³C-abgereichertem Kohlendioxid simuliert. Es konnte zwar eindeutig nachgewiesen werden, dass nach sieben Jahren etwa 30 Prozent der mikrobiellen Rückstände aus dem zusätzlichen Kohlendioxid gebildet wurden, eine signifikante Erhöhung der Kohlenstoff-Festlegung im Vergleich zur Kontrolle war aber nicht zu beobachten. Die Umsatzraten der mikrobiellen Rückstände betragen 2 bis 50 Jahre.

Eine weitere Arbeit befasste sich mit der Zuordnung von organischen Schadstoffquellen wie zum Beispiel polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) im Stadtgebiet von Bayreuth. PAKs entstehen bei einer unvollständigen Verbrennung. Sie sind Bestandteil sowohl von Autoabgasen als auch von industriellen und häuslichen Emissionen. Jede verwendete Energiequelle (Benzin, Diesel, Kohle, Holz

etc) trägt ihr eigenes Muster an stabilen Isotopen. Die neuen Analyse-möglichkeiten erlauben eine Identifizierung und Quantifizierung des Beitrages der verschiedenen Emittenten. Aus den Ergebnissen lassen sich effiziente Strategien zur Minimierung des Schadstoffeintrages ableiten. Außerdem ist eine gezielte Ahndung der Verursacher möglich. Auch die Klima- und Landschaftsgeschichte kann mit stabilen Isotopen näher charakterisiert werden. In einem etwa 15000 Jahre alten Seesedimentkern aus dem Gorkha Himal (Nepal) konnte mit Hilfe der substanzspezifischen ¹³C-Signatur Steppenvegetation nachgewiesen werden. Im Holozän einige tausend Jahre später herrschte dagegen Waldvegetation vor. Steppenvegetation zeigt trockeneres und in der Regel wärmeres Klima an. Es kann deshalb davon ausgegangen werden, dass die mittlere Temperatur nach dem Abschmelzen des Hochglazialgletschers bereits mehr als 10°C betrug. ■

Dr. Bruno Glaser, Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl
Bodenkunde und Bodengeographie, Universität Bayreuth
<http://www.bayceer.uni-bayreuth.de/Glaser>