

Die Bedeutung der Ozeane im Kohlenstoffkreislauf

Eine Hinführung zum Begriff des Chemischen Gleichgewichts im Rahmen der Konzeption *Chemie im Kontext* – Teil 2

2.4 Die biologische Kohlenstoffpumpe [12]

Der Produktivität mariner Algen kommt eine besondere Bedeutung für die Regulierung des globalen Kohlenstoffdioxidhaushalts zu. Durch die Photosynthese der Algen wird das im Oberflächenwasser gelöste Kohlenstoffdioxid entzogen und zum Aufbau von Biomasse verwendet. Je höher die Konzentration an Kohlenstoffdioxid in der Atmosphäre ist, desto mehr löst sich davon in der obersten Ozeanschicht. Die Folge ist eine erhöhte Photosyntheserate und somit ein verstärktes Wachstum der marinen Algen. Weltweit macht dieser Vorgang derzeit mehr als die Hälfte der Primärproduktion aus [13]. Der Abbau dieser organischen Substanz in den oberflächennahen Schichten setzt Kohlenstoffdioxid jedoch wieder frei. Größere Ansammlungen abgestorbener Algen und anderer, häufig kalkhaltiger mariner Organismen (z. B. Foraminiferen), die Kohlenstoffdioxid zusätzlich in Form von Calciumcarbonat in ihre Schalen einbauen, sinken allerdings zuvor in tiefere Meeresschichten ab. Dieser Niederschlag wird als *mariner Schnee* bezeichnet. Schon nach wenigen Tagen kommen diese Partikel auf dem Meeresboden in mehreren tausend Metern Tiefe an. Dort lagern sie sich ab und werden schließlich in das Sediment eingebaut. Der so fixierte Kohlenstoff wird für geologisch lange Zeiträume dem Kreislauf entzogen. Ein anderer Teil der toten Organismen wird auf dem Weg in die Tiefsee zu Kohlenstoffdioxid abgebaut, wo es für hunderte von Jahren verbleibt. Durch diese »biologische Kohlenstoffpumpe« werden 75% des Kohlenstoffdioxids, das vom Meer aufgenommen wird, im Ozean fixiert [14]. Das übrige Viertel gelangt auf einem anderen Weg in die Tiefe.

2.5 Die physikalische Kohlenstoffpumpe

»Es gibt einen Fluß im Ozean: Selbst bei schlimmster Dürre versiegt er nie, und nie quillt er über, auch nicht bei den mächtigsten Fluten; seine Ränder und sein Bett sind aus kaltem Wasser, während er selbst warm strömt; der Golf von Mexiko ist sein Quell¹, und seine Mündung liegt in den Gewässern der Arktis. Man nennt ihn den Golfstrom.« ([MATTHEW FONTAINE MAURY: Die physische Geographie des Meeres, 1855 [15, S. 36]].)

¹ Tatsächlich entspringt der Golfstrom nicht im Golf von Mexiko, sondern setzt sich aus verschiedenen Strömungen zusammen. Das Wasser des Golfstroms stammt aus dem gesamten Bereich des Atlantiks.

So beschreibt MATTHEW FONTAINE MAURY jenen warmen Strom, der für das mäßige Klima in Europa verantwortlich ist. Er ist Teil eines ungeheuren Strömungssystems, das wie ein Förderband das gesamte Weltmeer durchzieht. Die Strömungsverhältnisse der Ozeane werden durch ein Zusammenspiel komplexer Vorgänge bewirkt. Ihre wesentlichen Grundzüge sowie die Auswirkungen auf den globalen Kohlenstoffkreislauf sollen im Folgenden vereinfacht dargestellt werden.

Der Golfstrom transportiert warmes Wasser aus den Äquatorregionen polwärts. Ein Teil dieser Wassermassen verdunstet auf dem Weg nach Norden, so dass der Salzgehalt stetig zunimmt. Weit im Norden trifft der Salzkühler, inzwischen durch arktische Winde abgekühlt, auf zwei weitere Strömungen. Die eine fließt entlang der Ostküste Grönlands, die andere entlang der Küste Labradors vor Nordkanada. Beide sind kalt und salzarm, da sie durch geschmolzenes Eis, das vom Festland stammt, gespeist werden. Die drei Strömungen vereinigen sich vor der Küste Grönlands zu einem jetzt relativ kalten, salzreichen Wasserkörper, dessen Dichte so hoch ist, dass er in die Tiefe sinkt und die thermohaline Schichtung zu durchbrechen vermag (Abb. 5).

Dieser Vorgang stellt eine wichtige Funktion im globalen Kohlenstoffkreislauf dar. Aufgrund der guten Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in kaltem Wasser ist der abgekühlte Wasserkörper besonders reich an diesem Gas. Die absinkenden Wassermassen transportieren also Kohlenstoffdioxid in die Tiefe. Das Volumen des herabstürzenden Wassers ist ungeheuer groß: Es wird 20-mal höher geschätzt als das Wasservolumen, das alle Flüsse der Erde zusammengenommen transpor-

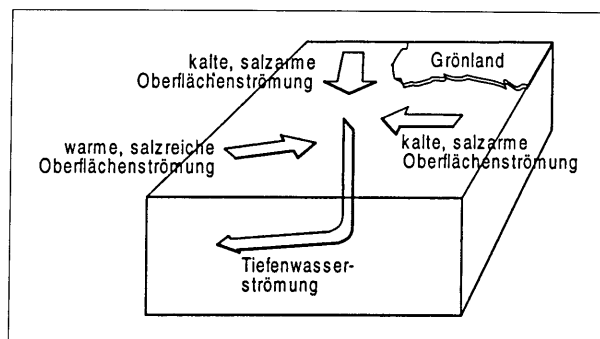


Abb. 5. Tiefenströmung [nach 16, S. 242]

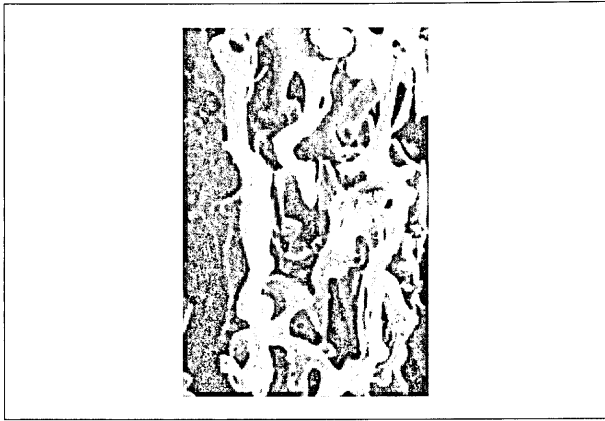


Abb. 6. Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme von Laugenkanälen im Meereis [17]

tieren. Tatsächlich wird rund ein Viertel des Kohlenstoffdioxid-Transportes von der Atmosphäre in den Ozean auf diesen Prozess zurückgeführt, der als *physikalische Kohlenstoffpumpe* bezeichnet wird. Durch den hohen Druck, den ein paar tausend Meter Wassersäule in der Tiefe des Ozeans ausüben, bleibt das Kohlenstoffdioxid dort erst einmal gespeichert. In 2000 bis 3000 Metern Meerestiefe bildet sich nun eine kalte Tiefenwasserströmung, welche in entgegengesetzter Richtung des Golfstroms fließt.

Im Jahre 1985 entdeckten Forschergruppen zwischen Grönland und Spitzbergen einen weiteren Prozess, der ebenfalls die physikalische Kohlenstoffpumpe in Gang hält [14]. Dabei kommt es jeden Winter zu folgendem Effekt: Durch die tiefen Temperaturen erstarrt das Wasser an der Ozeanoberfläche zu Eis. Dabei werden die im Meerwasser gelösten Salze nicht in die Struktur der Eiskristalle eingebaut. Es kommt zur Ausbildung von Salzlaugenkanälen, durch die das Meersalz mit wenig Flüssigkeit nach unten ausgepresst wird (Abb. 6).

Die Sole sammelt sich unter dem Eis, bis auch hier die Dichte des Wassers so hoch ist, dass es in die Tiefe sinkt und sich dem Tiefseestrom in Richtung Süden anschließt.

Im Südpolarmeer der Antarktis wird eine weitere Tiefenwasserströmung erzeugt. Hier entsteht sie hauptsächlich durch die Bildung von Meereis. Die beiden Haupt-Tiefenwasserströmungen treffen sich im Südatlantik und fließen gemeinsam weiter ostwärts. Im Indischen und Pazifischen Ozean steigt das Wasser wieder an die Oberfläche und kehrt von dort aus zurück in den Atlantik. Mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 100 Metern pro Tag tritt der abgesunkene Wasserkörper allerdings erst nach 1000 Jahren wieder an die Oberfläche. Für diesen Zeitraum bleibt auch das Kohlenstoffdioxid, das auf diesem Wege in die Tiefsee gelangt, im Ozean gespeichert. Abbildung 7 zeigt die Hauptströmungen des Oberflächen- und Tiefenwassers in den Ozeanen.

Die physikalische Kohlenstoffpumpe ist von großer Bedeutung für das Klimageschehen auf der Erde. Um die komplexen Zusammenhänge verstehen zu können, ist die Kenntnis des Chemischen Gleichgewichts und der Faktoren, die dieses Gleichgewicht beeinflus-

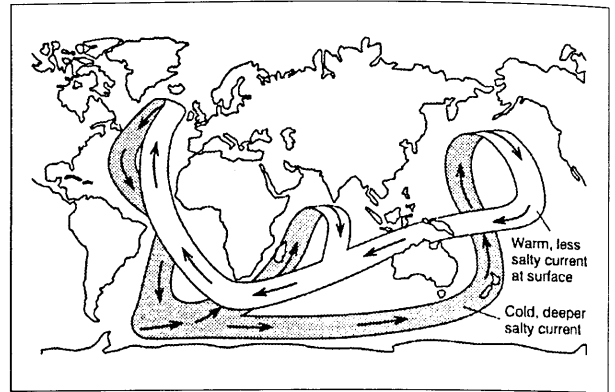


Abb. 7. Das marine Förderband: Oberflächen- und Tiefenströmungen in den Ozeanen [16, S. 242]

sen, notwendig. Abschließend wird nun ein Experiment beschrieben, das die physikalische Kohlenstoffpumpe eindrucksvoll demonstriert.

Versuch 7: Modellexperiment zur physikalischen Kohlenstoffpumpe

Geräte und Chemikalien: Glaswanne (29 cm × 15,5 cm × 15,5 cm), Universalindikatorlösung pH 5 (Merck Nr. 6130), Ammoniaklösung ($c = 0,02 \text{ mol/l}$), Pasteurpipette, 1-ml-Vollpipette, 1000-ml-Becherglas, 50-ml-Becherglas, Magnetrührer, 1000-ml-Haushaltsmessbecher, Gartenfolie (Abdeckplane »extra stark«, Firma Lux), Klarsichtfolie, Gasflasche mit Kohlenstoffdioxid, ca. 50 Eiswürfel aus destilliertem Wasser, Eisblock (10 cm × 12 cm × 3 cm), weißes Blatt Papier, Lampe

Durchführung: Drei Liter Leitungswasser ($\vartheta = 25^\circ\text{C}$) werden mit 6 ml der Mischindikatorlösung versetzt und in die Glaswanne gefüllt. Diese Lösung wird mit einigen Millilitern der verdünnten Salzsäure versetzt, bis gerade eine graugrüne Färbung auftritt. Parallel dazu erhitzt man in einem Becherglas 1,5 Liter destilliertes Wasser, das mit 3 ml der Indikatorlösung versetzt wird, auf 70°C . Es werden gegebenenfalls einige Milliliter der Salzsäure bis zum Farbumschlag des Indikators nach graugrün hinzugefügt. Auf die kältere Wasserschicht in der Glaswanne legt man die zurechtgeschnittene Folie und schichtet die heiße Lösung, möglichst ohne Turbulenzen auszulösen, darüber. Danach wird die Folie vorsichtig herausgezogen. Man leitet mit Hilfe einer Fritte Kohlenstoffdioxid in die obere Wasserschicht. Zum Schluss wird der Eisblock auf die Wasseroberfläche gelegt. Die Vorgänge lassen sich besonders gut beobachten, wenn die äußere Rückseite der Glaswanne mit einem weißen Blatt Papier versehen und mit einer Lampe angestrahlt wird.

Beobachtung und Auswertung: Zunächst sind beide Wasserschichten graugrün gefärbt und es kann kein Unterschied zwischen ihnen festgestellt werden. Leitet man Kohlenstoffdioxid unter die Wasseroberfläche, so färbt sich der Indikator in der oberen Wasserschicht rot. Nach kurzer Zeit ist die obere Schicht rot gefärbt, die untere behält ihre graugrüne Farbe. Auch Rühren der oberen Schicht oder Verwirbelung der Wasseroberfläche mit einem Fön ist keine Ver-

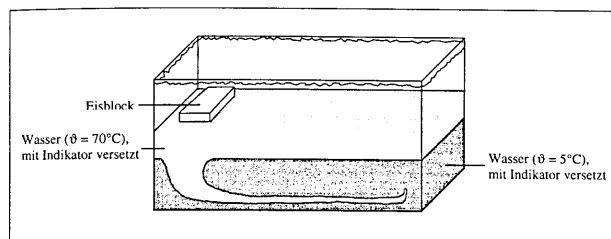


Abb. 8. Modellexperiment zur physikalischen Kohlenstoffpumpe

mischung der beiden Schichten zu erreichen. Erst wenn der Eisblock auf die Wasseroberfläche gelegt wird, sinkt dort die obere, rote Schicht in die grüne und es bildet sich eine Strömung aus (vgl. Abb. 8).

Es ist also möglich, mit diesem einfachen Demonstrationsexperiment die Vorgänge zu verdeutlichen, die die physikalische Kohlenstoffpumpe antreiben. Verständlich werden diese Mechanismen bei Berücksichtigung des durch die Gleichungen (1) bis (3) beschriebenen Gleichgewichtssystems.

Nachfolgend wird eine Möglichkeit vorgestellt, wie die Thematik vor dem Kontext *Ozean und Kohlenstoffkreislauf* inhaltlich und methodisch im Unterricht erarbeitet werden kann.

3 Der Lernzyklus

Die Unterrichtseinheit dient der Betrachtung der Umkehrbarkeit chemischer Reaktionen sowie der Hinführung zum Konzept des Chemischen Gleichgewichts. Es wird erarbeitet, dass Reaktionen nicht vollständig ablaufen, sondern dass sich ein Zustand des »chemischen Gleichgewichts« ausbildet. Die Charakterisierung dieses Gleichgewichtes mit Hilfe der Gleichgewichtskonstanten K kann unter Berücksichtigung des Kohlenstoffdioxid-Carbonat-Systems im Ozean oder auch anhand biochemischer Vorgänge im Menschen im Sinne einer curricularen Vernetzung [3] an späterer Stelle aufgegriffen und erarbeitet werden. Entsprechende experimentelle Konzeptionen sind in der Entwicklung.

Nach den Grundsätzen von *Chemie im Kontext* werden die jeweiligen Themen in Lernzyklen erarbeitet, die in vier Phasen unterteilt sind (Phase der Begegnung, der Neugier, der Erarbeitung sowie der Vernetzung und Vertiefung). Sie werden in [3] ausführlich dokumentiert. Der Lernzyklus »Die Bedeutung der Ozeane für den Treibhauseffekt« wird im Folgenden skizziert.

Lernzyklus: Die Bedeutung der Ozeane für den Treibhauseffekt

Begegnungsphase

Anknüpfend an einen vorausgegangenen Lernzyklus *Atmosphäre und Treibhauseffekt* zeigt ein Vergleich der jährlichen Freisetzung des anthropogenen Kohlenstoffdioxids mit dem tatsächlichen Anstieg in der Atmosphäre Folgendes: *Nur knapp die Hälfte des durch anthropogene Tätigkeiten freigesetzten Kohlenstoffdioxids verbleibt in der Atmosphäre. Wo bleibt der Rest?*

Neugierphase

Folgende Hypothesen sind denkbar:

- Kohlenstoffdioxid wird als organisch gebundener Kohlenstoff durch Pflanzen fixiert;
- Kohlenstoffdioxid wird von den Ozeanen aufgenommen.

Ein Text² informiert darüber, dass beide Faktoren von Bedeutung sind. Bezüglich der Ozeane ist der Prozess für die Schüler noch weitestgehend ungeklärt. Die folgende Leitfrage wird daher formuliert: *Wie wird Kohlenstoffdioxid von den Ozeanen aufgenommen?*

Erarbeitungsphase

1. Schritt: Zunächst wird die Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in Wasser mit Hilfe von Versuch 1 demonstriert. Der Umschlag des Indikators bei Zugabe von Kohlenstoffdioxid in Wasser in den sauren Bereich lässt auf eine Reaktion des Kohlenstoffdioxids mit dem Wasser schließen. Das Gleichungssystem (1) bis (3) wird erarbeitet, allerdings noch ohne Kenntnis der Umkehrbarkeit der Reaktionen bzw. des Gleichgewichtsbegriffs. Nun wird die Konzentration der Oxonium-Ionen, die bei einer vollständigen Reaktion des gelösten Kohlenstoffdioxids mit dem Wasser zu erwarten wären, berechnet. Messungen des pH-Wertes zeigen jedoch, dass die tatsächliche Konzentration der Oxonium-Ionen wesentlich geringer ist. Über 99% des Kohlenstoffdioxids haben demnach nicht mit dem Wasser reagiert und liegen physikalisch gelöst vor.

⇨ *Die Reaktion ist offensichtlich nicht vollständig abgelaufen.*

2. Schritt: Im Anschluss wird, begleitet durch Texte und Abbildungen zur Verteilung des Kohlenstoffdioxids in den Ozeanen, der Einfluss von Druck, Temperatur und pH-Wert thematisiert. Unter Grundlage des Gleichgewichtssystems (1) bis (3) sollen zunächst *Hypothesen* über die Auswirkungen dieser Faktoren formuliert werden. Es ist wahrscheinlich, dass der pH-Wert bezüglich der Reaktionen eine Rolle spielt, da Oxoniumionen gebildet werden. Druck und Temperatur sind äußere Bedingungen, die einen Einfluss nehmen könnten. Bekannt ist:

- Durch Druckerhöhung können Gase in Lösung gebracht werden (Sprudelflasche).
- Bei Temperaturerhöhung entweichen Gase (Erwärmen von Mineralwasser).

3. Schritt: Anhand der beschriebenen Versuche 2-5 sowie ergänzender Versuche³ werden diese Faktoren von den Schülerinnen und Schülern nun in Form von *Stationsarbeit* untersucht.

4. Schritt: Die Auswertung der Stationsarbeit erfolgt im Plenum unter Erarbeitung der Umkehrbarkeit chemischer Reaktionen sowie des Begriffs des Chemischen Gleichgewichts und der Beeinflussung durch die äußeren Faktoren Druck und Temperatur:

Versuch 2: Die Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in Natronlauge

² Entsprechende Abbildungen oder Texte stellen die Autoren auf Anfrage zur Verfügung.

³ Weitere Experimente zur Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in Wasser [18] sowie zur Druckabhängigkeit des Gleichgewichts (1) bis (3) [2, S. 153] können ergänzend herangezogen werden.

Von Lauge wird mehr Kohlenstoffdioxid aufgenommen als von Wasser. Zwei Schlussfolgerungen sind denkbar:

- Es handelt sich um zwei verschiedene, voneinander unabhängige Reaktionen.
- Das Gleichungssystem (1) bis (3) wird von den zusätzlichen Hydroxidionen beeinflusst.

Zur Klärung dieser Frage wird Versuch 3 betrachtet:

Versuch 3: Die Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in Natronlauge und Salzsäure

Die Umkehrbarkeit der Aufnahme bzw. Abgabe von Kohlenstoffdioxid bei Zugabe von Lauge bzw. Säure zu einer kohlenstoffdioxidhaltigen Lösung lässt nur den Schluss zu, dass bei Erhöhung der Konzentration der Oxoniumionen das Gleichgewichtssystem (1) bis (3) zu Gunsten der Freisetzung von Kohlenstoffdioxid und bei Verringerung der Oxoniumionen-Konzentration in die umgekehrte Richtung verschoben wird. Der Gleichgewichtspfeil (\rightleftharpoons) wird eingeführt.

Wird die Konzentration auf Seiten der Produkte erhöht, so verschiebt sich das Gleichgewichtssystem derart, dass sich die Konzentration der Edukte erhöht (und umgekehrt). Das System scheint sich ferner an einer bestimmten Stelle einzustellen (gleichbleibende Gasvolumina).

⇒ *Chemische Reaktionen sind umkehrbar.*

⇒ *Eine erste Vorstellung des chemischen Gleichgewichts wird entwickelt.*

Versuch 4: Temperaturabhängigkeit der Aufnahme von Kohlenstoffdioxid in Wasser

Der Indikatorumschlag in den sauren Bereich bei Kühlung des Ansatzes lässt darauf schließen, dass das Gleichgewicht der Reaktionen (1) bis (3) zu Gunsten der Bildung von Oxoniumionen und damit der Aufnahme von Kohlenstoffdioxid verschoben wird.

Versuch 5: Druckabhängigkeit der Aufnahme von Kohlenstoffdioxid in Wasser

Eine Erhöhung des Drucks verringert die Abgabe von Kohlenstoffdioxid. Bei Druckverminderung wird Kohlenstoffdioxid verstärkt freigesetzt.

Versuch aus [2, S. 153]: Druckabhängigkeit des Gleichgewichtssystems (1) bis (3)

Kurzbeschreibung: In einen Kolbenprober mit Hahn füllt man 10 ml Kohlenstoffdioxid und fügt 20 ml der wie in Versuch 2 präparierten Indikatorlösung (Mischindikator 5, Merck) hinzu. Bei Hineindrücken des Kolbens schlägt der Indikator in den sauren Bereich, bei Herausziehen in den neutralen Bereich um.

Wird ein Kolbenprober mit einer wässrigen Indikatorlösung (Mischindikator 5, Merck) und einer definierten Menge an Kohlenstoffdioxid gefüllt, so schlägt der Indikator bei Hineindrücken des Kolbens in den sauren Bereich, bei Herausziehen in den neutralen Bereich um. Die Erhöhung der Konzentration der Oxoniumionen bei Druckerhöhung kann nur durch Verschieben des Gleichgewichtssystems (1) bis (3) zu Gunsten der Aufnahme von Kohlenstoffdioxid gedeutet werden. Bei Druckverminderung wird das Gleichgewichtssystem in die andere Richtung verschoben.

⇒ *Die Reaktionsrichtung des Gleichgewichtssystems (1) bis (3) ist abhängig von den äußeren Bedingungen Druck und Temperatur.*

5. Schritt: Der strukturelle Aufbau der Ozeane wird betrachtet unter Einbeziehung von *Versuch 6: Modellexperiment zur thermischen Schichtung des Ozeans*. Es ergibt sich die Frage: *Wie gelangt Kohlenstoffdioxid in die Tiefen der Ozeane?*

6. Schritt: Die Durchbrechung der thermischen Schichtung durch kaltes Oberflächenwasser wird im Unterrichtsgespräch unter Weiterentwicklung des Versuchs 6 zu *Versuch 7: Modellexperiment zur physikalischen Kohlenstoffpumpe* erarbeitet. Die physikalische und biologische Kohlenstoffpumpe sowie das marine Förderband werden durch entsprechendes Material (Text, Internet, Abbildungen) erläutert.

⇒ *Kohlenstoffdioxid gelangt durch die biologische und physikalische Kohlenstoffpumpe in die Tiefen des Ozeans.*

Vernetzungs- und Vertiefungsphase

In dieser Phase kann auf den aktuellen Forschungsstand bezüglich eines weiteren Kohlenstoffspeichers in den Ozeanen eingegangen werden: Es handelt sich hierbei um *Methanhydrate*, die vor einigen Jahren in ungeheuren Mengen am Meeresgrund entdeckt worden sind (s. Kasten 1). Unter Einsatz von Dokumentarfilmen [19], Zeitschriftenartikeln [20] sowie unter Nutzung des Internets [21] kann neben dem chemischen Aufbau der Methanhydrate ihr möglicher Nutzen als Rohstoffquelle, das Problem der industriellen Förderung bezüglich des globalen Klimas sowie der aktuelle Forschungsstand diskutiert werden.

Brennendes Eis:

Methanhydrate am Grunde des Meeres

Methanhydrate sind eisähnliche Verbindungen aus Methan und Wasser, die bei höheren Drücken und tiefen Temperaturen stabil sind. Sie treten auf dem Meeresgrund in Tiefen ab 400 Metern auf. Erstmals gelang es im Jahre 1996 mit dem deutschen Forschungsschiff *FS Sonne* größere Mengen Methanhydrate zu heben [20]. Wegen ihres hohen Gehaltes an Methan ist diese eisartige Substanz brennbar, wie spektakuläre Aufnahmen von »brennendem Eis« zeigen [21]. Nach Schätzungen von Wissenschaftlern ist in den Methanhydraten mehr Kohlenstoff gespeichert als in allen fossilen Energieträgern zusammen. Eine mögliche Bergung in größerem Maßstab ist jedoch nicht unproblematisch, da Methan ein treibhausrelevantes Spurengas ist.

4 Zusammenfassung

Die Thematik »Die Bedeutung der Ozeane im Kohlenstoffkreislauf« bietet die Möglichkeit, eine Vorstellung von der Umkehrbarkeit chemischer Reaktionen sowie des chemischen Gleichgewichts und dessen Beeinflussung durch äußere Faktoren kontextgebunden und experimentell im Chemieunterricht der gymnasialen Oberstufe zu entwickeln. Die chemischen Grundlagen werden erarbeitet, wenn sie zum Verständnis der Vorgänge, die in den Ozeanen stattfinden, notwendig sind. Dieser direkte Bezug zur Bedeutung der Chemie für die Vorgänge des Lebens und der Umwelt soll

Schülerinnen und Schülern die Notwendigkeit vor Augen führen (und damit ihre Motivation erhöhen), sich mit chemischen Fachinhalten auseinander zu setzen.

Literatur

- [12] V. SMETACEK: Die Primärproduktion der marinen Plankton-Algen. – Spektrum der Wissenschaft (1991) Nr. 12, 52–63.
- [13] W. PROBST: Algen. – Unterricht Biologie **21** (1997) Nr. 225, 4–13.
- [14] A. WEBER: Die Klimapumpe. – Geo (1995) Nr. 12, 72–81.
- [15] P. HOME-DOUGLAS: Wunder der Wissenschaft. Das Meer. 1. Aufl. – Amsterdam: Time-Life Bücher 1992.
- [16] G. BURTON – J. HOLMAN – G. PILLING – D. WADDINGTON: Chemical Storylines. Salters Advanced Chemistry. University of York, Oxford: Heinemann Educational Publishers 1994.
- [17] <http://www.awi-bremerhaven.de/Eistour/mikrostruktur-d.html>
- [18] W. VAN DER VEER et. al.: Die Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in Wasser – Ein verblüffendes Experiment. – CHEMKON **1** (1994) Nr. 2, 83–84.
- [19] J. KIRNDÖRFER: Gashydrat: Brisanter Brennstoff im tiefen Ozeanboden. – Prisma N3 (1997).
- [20] E. SUESS et.al.: Brennendes Eis. Methanhydrat am Meeresgrund. – Spektrum der Wissenschaft (1999) Nr. 6, 60–73.
- [21] <http://www.geomar.de/projekte/tecflux/einfuehr.html>

GABRIELE LEERHOFF, Realschule Emden, Am Herrentor 20, 26725 Emden;
 JENS MÖLLERING, Ratsgymnasium, Büschingstraße 37, 31655 Stadthagen;
 Dr. INGO EILKS, Universität Dortmund, Fachbereich Chemie, Otto-Hahn-Straße 6, 44227 Dortmund

Lernzirkel zur Behandlung der Stoffeigenschaften

Lernzirkel kommen im naturwissenschaftlichen Unterricht der Sekundarstufen I und II trotz ihrer guten Möglichkeiten hinsichtlich des selbstständigeren Lernens, der inneren Differenzierung sowie weiterer unterrichtsorganisatorischer Vorteile bisher nur vereinzelt zum Einsatz. Es wird eine Unterrichtssequenz skizziert, die eine schülerorientierte Annäherung an das Thema »Charakterisierung von Stoffeigenschaften« im Chemieunterricht erlaubt.

1 Einleitung

Zunehmend wird neben inhaltlichen Neuerungen auch eine methodische Veränderung des Chemieunterrichts gefordert (vgl. z. B. [1]). Eine Form der methodischen Öffnung, die sich aufgrund der guten Variierbarkeit des Grades der Freiheiten besonders auch für den stundenplangebundenen Unterricht eignet, ist die Lernzirkelarbeit (vgl. z. B. [2, 3]). Leider werden derartige Ansätze im Chemieunterricht der Sekundarstufen I und II bisher kaum umgesetzt und auch in der fachdidaktischen Literatur finden sich nur vereinzelt Vorschläge [4–6]. Im Folgenden werden einige Vorteile der Lernzirkelarbeit beschrieben und durch zwei erprobte Beispiele zu Aspekten der Stoffeigenschaften im Chemieanfangsunterricht illustriert.

2 Lernzirkel

Unter einem Lernzirkel¹ (oder auch Lernen an Stationen, Stationenlernen, Übungszirkel usw.) versteht man das Angebot verschiedener Stationen mit Arbeitsmaterialien und -aufträgen, das die Lernenden im Rahmen einer Thematik nach bestimmten Regeln und für eine vorgegebene Zeit selbstständig bearbeiten und unter Umständen sogar selbst mitgestalten (vgl. [2, S. 59]). Das heißt, bei der Lernzirkelarbeit werden in der Lernumgebung verschiedene Angebote bereitgestellt. Diese Lernstationen weisen unterschiedliche Arbeitsaufträge auf, die von den Schülerinnen und Schülern in beliebiger Reihenfolge zu absolvieren sind. Die Inhalte der einzelnen Stationen müssen dabei entsprechend selbstständig und unabhängig voneinander durchführbar sein. Sie sollten sowohl im Anspruch als auch im methodischen Zugang variieren, um unterschiedlichen Lerntypen und Leistungsniveaus gerecht zu werden. Verstärkt werden kann dieser Aspekt durch Angebote der Auswahl und individuellen Vertiefung. Ob jeder Schüler alle Stationen durchlaufen muss oder auswählen kann, sollte von der the-

¹ Lernzirkel für den Chemieunterricht sind bisher erst wenig dokumentiert. Unter www.chemie.uni-dortmund.de/groups/dcl1/ findet sich eine laufend aktualisierte Übersicht über bisher veröffentlichte Beispiele.