

Schräge Lieder mit leerem Magen

London/Kanada – Wie schön ein Vogel singt, hängt vor allem von seiner Art ab. Offensichtlich aber auch von seinem Ernährungszustand, wie kanadische Forscher jetzt berichten. Männliche Singammern erlernen ihren arttypischen Gesang ab dem zweiten Lebensmonat. Schlechte Ernährung beeinträchtigt diese Lernleistung und verringert die Variationsvielfalt der Gesänge. Wie die Wissenschaftler weiter entdeckt haben, lässt sich diese Beeinträchtigung darauf zurückführen, dass sich eine bestimmte Hirnregion schlechter entwickelt. Da die weiblichen Vögel ihren Brutpartner aufgrund der Sangeskunst auswählen, haben diese Tiere eine geringere Chance, sich fortpflanzen zu können. Bei weiblichen Singammern, die selbst nicht singen, vermindert das Hungern vermutlich die Fähigkeit, Gesangsunterschiede zu erkennen, so die Forscher im Fachblatt „Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences“.



Die Singammer zirpt desto hübscher, je besser sie genährt ist

„Unsere Untersuchungen zeigen, dass ein mäßiger Nahrungsmangel die Gehirnentwicklung in den ersten Lebenstagen stört, bereits bevor die Gesangslernphase beginnt“, sagte Scott MacDougall-Shackleton von der University of Western Ontario gegenüber dem „New Scientist“. Sein Forschungsteam untersuchte die Entwicklung des Gehirns von Singammern (*Melospiza melodia*) in den ersten 26 Tagen ihres Lebens. Die Hälfte der Nestlinge erhielt ein Drittel weniger Nahrung als die anderen. Das führte dazu, dass sich die Hirnregion, die mit dem Sprachzentrum beim Menschen vergleichbar ist, schwächer entwickelte. Dieser Teil des Gehirns ist bei männlichen Vögeln für das Erlernen und die Wiedergabe von Gesang wichtig, bei den Weibchen wahrscheinlich für das Erkennen der Qualität, sagt MacDougall-Shackleton.

Am größeren Liedrepertoire des Männchens erkennen die Weibchen die Fitness eines Brautwerbers. Hungern verstärkt unter anderem die Produktion von Stresshormonen, die die Hirnentwicklung beeinträchtigen können. „Den gleichen Effekt könnten auch andere Stressfaktoren haben“, sagt Tapio Eeva, Ornithologe von der Universität von Turku in Finnland. So sei bekannt, dass Kohlmeisen, deren Lebensraum mit Umweltschadstoffen belastet ist, ein geringeres Liedrepertoire haben als Artgenossen an unbelasteten Standorten. *wsa*

GESUNDHEIT

Wenn Getreide krank macht

Wer durch Brot, Brötchen oder Kuchen Durchfall und Magenschmerzen bekommt, leidet möglicherweise an Zöliakie. Die Unverträglichkeit gegen das Eiweiß Gluten wird von Ärzten häufig übersehen. Obwohl keine Heilung in Sicht ist, haben Betroffene eine gute Prognose, wenn sie auf Getreide verzichten. **SEITE W2**

ZOOLOGIE

Sanftmütiges Bienenvolk

Sie sind die Boten des Frühlings, und jetzt in diesen Wochen schlüpfen die Winterbienen. Bienen haben als Blütenbestäuber eine enorme wirtschaftliche Bedeutung, und Neurobiologen sind vom Lernvermögen der sozialen Insekten begeistert. Weil es in Deutschland aber an Imkern mangelt, wird auch das Summen immer leiser. **SEITE W3**

MEDIZIN

Angriff auf den Zahnschmelz

Zahnputzen hilft zwar gegen Karies, doch zu starkes Schrubben schadet dem Schutzmantel ebenso wie bestimmte Säuren. Zahnärzte empfehlen daher Patienten mit Zahnerosionen, auf Fruchtsäfte zu verzichten und mehr Milchprodukte zu essen. **SEITE W2**

PARTNERSCHAFT

Untreue macht wütend und depressiv

Vertrauen in der Beziehung ist für neun von zehn Menschen wichtig. Dennoch geht etwa jeder Dritte fremd. Während betrogene Männer häufig unter Schuldgefühlen und Nervosität leiden, reagieren Frauen oft mit Kontrollwahn oder Hass. **SEITE W4**

BÜCHER

Unser Planet im Kreuzfeuer

Gerade hat die Internationale Astronomie-Union beschlossen, systematischer als bisher den Himmel nach Objekten abzusuchen, die der Erde gefährlich werden könnten: Meteoriten, die so groß sind, dass sie nicht in der Atmosphäre verglühen, und beim Einschlag Schaden verursachen. Solch ein Objekt kann durch die enorme Aufprallgeschwindigkeit von einigen Zehntausend Stundenkilometern verheerende Auswirkungen haben. Nach Schätzungen von Geoforschern reicht ein Kilometer großes Objekt, um die Zivilisation der Erde zu zerstören. Solche Katastrophen hat es mehrfach gegeben, und jeweils wurde ein großer Teil der Tier- und Pflanzenarten ausgerottet. Dieses Buch fasst das paläontologische und biologische Wissen über Impaktereignisse zusammen. *wom*

Klaus Wilhelm. Projekte-Verlag 188, Halle, 177 Seiten, 14,80 Euro

VON BERNHARD MACKOWIAK

Ohne die Treibhausgase Wasserdampf, Kohlendioxid (CO₂) und Methan in der Atmosphäre wäre es auf der Erde bitterkalt: Statt bei erträglichen 15 Grad im globalen Schnitt hätte sich die Menschheit bei minus 18 Grad vermutlich gar nicht entwickeln können.

Doch durch die Nutzung der fossilen Brennstoffe Erdöl, Erdgas und Kohle kommen jedes Jahr mehr als 25 Milliarden Tonnen CO₂ hinzu. Ein Teil wird in Pflanzen und Meeren gebunden, doch ein bedeutender Teil trägt zur Erwärmung der Atmosphäre und damit zum bedrohlichen Klimawandel bei. Deutschland hat einen Anteil von rund 850 Millionen Tonnen pro Jahr daran, also gut zehn Tonnen pro Kopf.

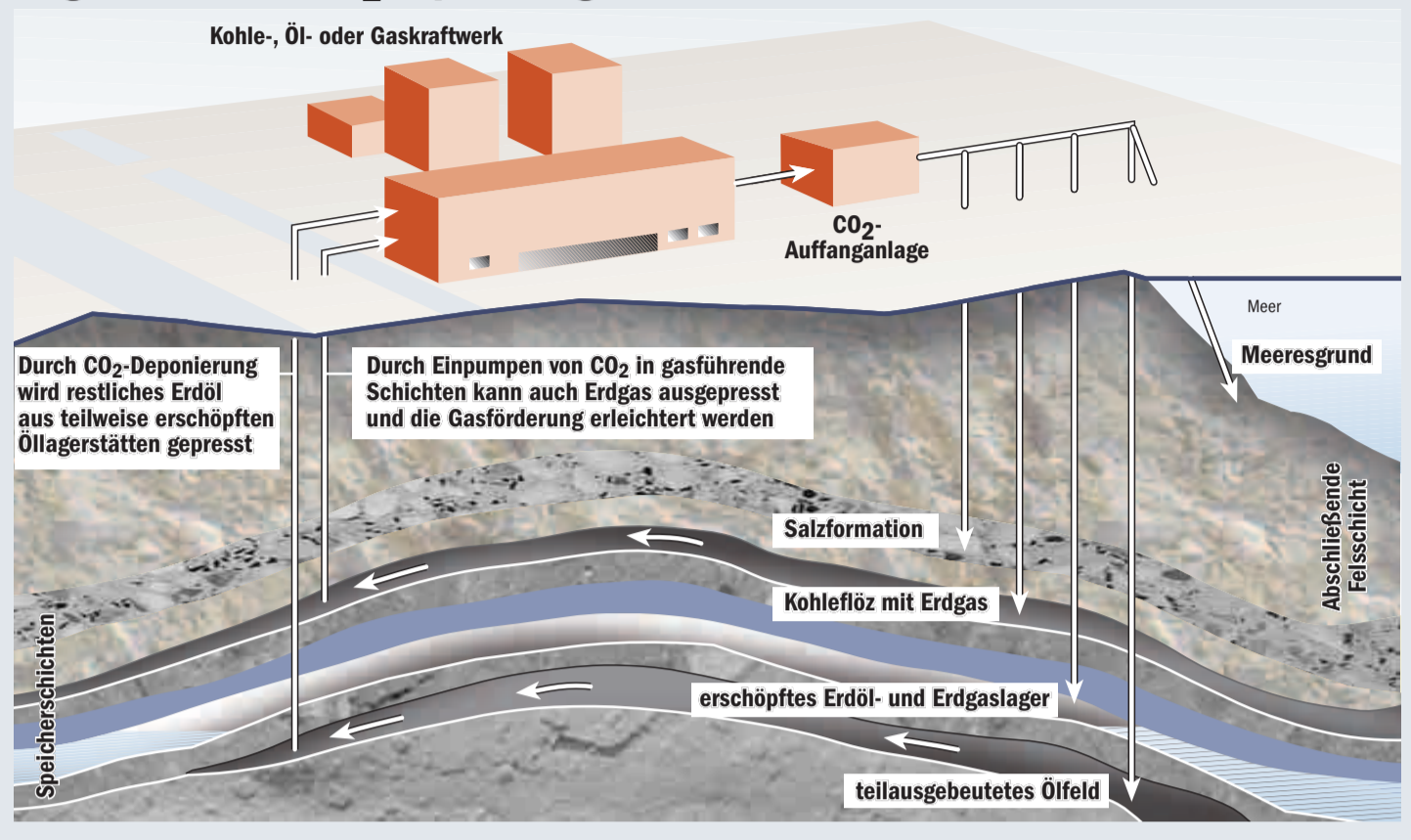
Um das Problem in den Griff zu bekommen, kann man entweder den Verbrauch fossiler Energie drosseln oder das beim Verfeuern freigesetzte Kohlendioxid vermeiden oder entfernen. Möglicherweise ist der zweite, technische Weg leichter gangbar und akzeptabler für Staaten wie die USA, die dem Kyoto-Protokoll kritisch gegenüberstehen.

Der CO₂-Ausstoß könnte vermieden werden, wenn dem fossilen Brennstoff entweder auf chemischem Weg der Kohlenstoffanteil schon vor der Verbrennung entzogen würde. Oder aber CO₂ wird aus den Verbrennungsgasen herausgefiltert und klimaschädlich deponiert. Dafür hat sich das Kürzel CCS eingebürgert („Carbon Capture and Storage“) sowie die Bezeichnung CO₂-Sequestrierung („Absonderung“). Die USA stellen für die Entwicklung eines CO₂-freien Versuchskraftwerks in den nächsten zehn Jahren 500 Millionen Dollar zur Verfügung. Dagegen nehmen sich die fünf Millionen Euro, die Deutschland für derartige Experimente unterstützt, bescheiden aus.

Roland Berger an der Universität Stuttgart arbeitet auf diesem Gebiet. Sein Konzept eines kleineren Versuchskraftwerks soll bis Ende dieses Jahres vorliegen. Der Wirkungsgrad wird nach seiner Schätzung bei 90 Prozent eines konventionellen Kraftwerks liegen. Eine Möglichkeit, CO₂ abzuscheiden, ist, es aus den Verbrennungsgasen auszuwaschen. Dafür müsste der Schornstein durch einen Waschturm ersetzt werden, in dem CO₂ durch spezielle Lösungsmittel wie etwa Amine absorbiert und in einen Abscheider geleitet wird. Dort würden die Amine erhitzt, um CO₂ wieder in reiner Form freizusetzen. So würde es endgültig abgeleitet werden. Die Amine liefern sich dann erneut zur Absorption verwenden. In dem dänischen Esbjerg läuft ein solcher „CO₂-Wäscher“ seit März im Pilotbetrieb. Im Prinzip lassen sich alle Kraftwerke für fossile Brennstoffe auf diese Weise nachrüsten.

Schon bei der Verbrennung des Energieträgers Kohle und nicht erst danach setzt das „Oxyfuel“-Verfahren an, das das Energieunternehmen Vattenfall im brandenburgischen Spremberg erprobt: die weltweit erste Pilotanlage für ein CO₂-freies Braunkohlekraftwerk. Es soll 2008 in Betrieb

Möglichkeiten der CO₂-Deponierung



Wohin mit dem CO₂?

Kohlendioxid ist ein Klimakiller. Neue Verfahren sollen es aus den Abgasen von Kraftwerken herausfiltern und in unschädlicher Form deponieren



Eine ungewöhnliche Methode der Kohlendioxid-Abscheidung wird an der Internationalen Universität Bremen erprobt: Das Gas wird von Algen in einem Bioreaktor zu Biomasse aufgebaut, die dann zu Baustoffen weiterverarbeitet werden kann

gehen. In ihm wird Braunkohle mit einem Gemisch aus reinem Sauerstoff und rezykliertem Rauchgas verbrannt. Dabei fallen neben unproblematischem Wasserdampf und CO₂ fast keine weiteren Verbrennungsstoffe an. Das würde die CO₂-Abtrennung erheblich vereinfachen. Allerdings existieren bisher noch keine Werkstoffe, die die extremen Temperaturen der Verbrennung in reinem Sauerstoff aushalten.

Ein biotechnisches Verfahren entwickelt der Geowissenschaftler Professor Laurenz Thomsen von der Internationalen Universität Bremen: Im Kohlekraftwerk Farge des Stromerzeugers E.ON leitet er die Abgase durch einen Bioreaktor mit Algen, die das Kohlendioxid binden, dadurch Biomasse aufbauen und sich vermehren. Die Methode bildet Vorgänge im Meer nach – dort „fressen“ Algen CO₂ aus der Luft. Ansonsten brauchen die Algen hauptsächlich Sonnenlicht, um zu gedeihen. „Dabei fällt noch ein wirtschaftlicher Nutzeffekt ab: Die Algen lassen sich nämlich, nachdem sie das CO₂ gebunden haben, zu Baustoffen oder gar Biodiesel weiterverarbeiten“, erklärt Thomsen – Biodiesel, der konventionell aus Sprit aus fossilen Quellen ersetzt werden könnte. „Dabei lässt sich bei gleicher Anbaufläche 50 bis 100mal so viel Treibstoff erzeugen wie etwa aus Raps.“ Nach Thomsens Schätzung könnte die Technik in zwei bis drei Jahren marktreif sein. Eine optimistische Annahme, ist doch derzeit ein Pilotkraftwerk mit einem CO₂-Ausstoß von 500 Tonnen geplant – ein reguläres Bremer Kohlekraftwerk von E.ON produziert dagegen 5000 Tonnen – pro Tag wohlgemerkt.

Der große Charme der biotechnischen Methode indes besteht darin, dass das Treibhausgas letztlich als Sprit oder Baustoff genutzt werden kann und kein Endprodukt deponiert werden muss. Denn jede Form von Lagerung ist mit Unwägbarkeiten verbunden. Im Visier stehen hier zum einen die Ozeane. Ihre Abgründe bieten prinzipiell genügend Kapazität zur Aufnahme von Kalk (Karbonat) aus der Abscheidung von Kohlendioxid, und schließlich entziehen die Meere schon auf natürliche Weise der Atmosphäre ein Drittel des vom Menschen freigesetzten Gases und arbeiten so als riesige CO₂-Senke: Plankton oder Kalkalgen nehmen CO₂ auf und sinken nach ihrem Ableben in die Tiefsee. CO₂ reagiert zudem mit Karbonat-Ionen im Wasser zu Hydrogencarbonat und verschwindet auf diesem Weg ebenfalls vorerst aus dem Kreislauf. Am Meeresboden angelangt, wird CO₂ durch den dort herrschenden hohen Druck sowie die tiefen Temperaturen am Wiederaufstieg gehindert. Doch diese Form der Entsorgung könnte problematisch sein, denn die Kenntnisse der Tiefsee-Ökologie sind, gelinde gesagt, gering. So weiß man nicht, ob derart am Grund gelagertes CO₂ dort tatsächlich dauerhaft verbleibt. Eine andere Möglichkeit der CO₂-Sequestrierung entzieht nicht unmittelbar den Kraftwerksabgasen das CO₂ und bringt es in eine deponierbare Form, sondern entzieht das Treibhausgas ganz allgemein der Atmosphäre – die Lufthülle dient so gewissermaßen als Zwischenlager. Und das funktioniert so: Das Meer wird mit Eisensulfat gedüngt. Das kurzelt die Algenproduktion an und steigert so die CO₂-Aufnahme. In einem Testlauf „impfte“ das Alfred-Wegener-Institut Bremerhavens eine Region des Südpolarmeers mit 7000 Tonnen des Stoffes. Die Untersuchungen ergaben, dass das Meer maximal zehn Prozent des jährlichen CO₂-Ausstoßes aufnehmen könnte. Das ist zu wenig, um die Atmosphäre klimatisch zu entlasten. Zudem ist auch hier unbekannt, welche ungünstigen Nebeneffekte das Düngen entfalten kann.

Feuerschutz und Sodawasser

Kohlendioxid ist im Alltag ein äußerst nützliches Gas. Viele Getränke enthalten CO₂, um beim Trinken einen besonderen Erfrischungseffekt zu erzielen. Bei manchen Getränken entsteht es durch Gärung wie beim Bier oder Sekt, bei anderen wird es künstlich zugesetzt etwa bei Limonade und Sodawasser. Oder es wird dafür kohlendioxidhaltiges, natürliches Mineralwasser verwendet. Als Lebensmittelzusatzstoff trägt es die Bezeichnung E 290. CO₂ kommt auch in Feuerlöschern zum Einsatz, da es Sauerstoff vom Brandherd verdrängt, ferner als Dünger in Gewächshäusern oder um als weißer Nebel auf der Bühne, eindrucksvolle, faszinierende weil mystische Showeffekte zu erzielen. Schließlich wird es immer häufiger als natürliches Kältemittel verwendet, zum Beispiel in Klimaanlage, um auf diese Weise mit dazu beizutragen, die weitere Zerstörung der Ozonschicht zu verhindern. Auf der anderen Seite kann es jedoch als Gärgas zur Lebensgefahr für den Menschen werden, zum Beispiel in Silos oder Weinkellern. Denn es entstehen bei der Vergärung von einem Liter Most (Apfelwein) etwa bis zu 50 Liter dieses Gärases. Wenn dann nicht für eine ausreichende Entlüftung gesorgt ist, kommt es wegen der höheren Dichte von CO₂ im Vergleich zur Luft zu gefährlichen Konzentrationen in Bodennähe. Dort bildet sich ein sogenannter Kohlendioxid-See. *bma*

Schließlich wird es immer häufiger als natürliches Kältemittel verwendet, zum Beispiel in Klimaanlage, um auf diese Weise mit dazu beizutragen, die weitere Zerstörung der Ozonschicht zu verhindern. Auf der anderen Seite kann es jedoch als Gärgas zur Lebensgefahr für den Menschen werden, zum Beispiel in Silos oder Weinkellern. Denn es entstehen bei der Vergärung von einem Liter Most (Apfelwein) etwa bis zu 50 Liter dieses Gärases. Wenn dann nicht für eine ausreichende Entlüftung gesorgt ist, kommt es wegen der höheren Dichte von CO₂ im Vergleich zur Luft zu gefährlichen Konzentrationen in Bodennähe. Dort bildet sich ein sogenannter Kohlendioxid-See. *bma*

„500 Gigatonnen Kohlenstoff sicher lagern“

Ottmar Edenhofer, Chefökonom am Potsdamer Institut für Klimafolgenforschung, über die technische und wirtschaftliche Bedeutung von CO₂-Speicherung und ihre Kosten. Mit ihm sprach Bernhard Mackowiak.

DIE WELT: Zwei Möglichkeiten der CO₂-Sequestrierung sind in der Diskussion: Speicherung im Untergrund oder Speicherung in den Ozeanen.

Ottmar Edenhofer: Die sogenannte Ozeansequestrierung wird nur noch in Japan, aber nicht in Europa oder den USA ernsthaft diskutiert. Die Lagerung von CO₂ in geologischen Formationen – in ausgedehnten Erdgasfeldern oder salzföhrnden Gesteinsschichten – ist eine wichtige Option. Vor allem wenn man bedenkt, dass wir in diesem Jahrhundert etwa 500 Gigatonnen Kohlenstoff relativ sicher lagern können.



Ottmar Edenhofer, Ökonom

WELT: Gerade die Kosten bereiten ja das größte Kopfzerbrechen. Was wird wohl mehr kosten: die Abscheidung, die Lagerung oder der Transport?

Edenhofer: Die technischen Verfahren zur Abscheidung von Kohlenstoff sind im Wesentlichen bekannt und stehen auch zur Verfügung. Das ist der größte und dickste Kostenblock. Die größten Unsicherheiten bestehen aber bei der Einlagerung. Es bedarf daher einiger Leuchtturmprojekte, die zeigen, dass die gesamte Sequenz von Abscheidung, Transport und Lagerung technisch machbar und bezahlbar ist.

WELT: Wie soll für die Industrie die Abscheidung und Lagerung von CO₂ attraktiv gemacht werden?

Edenhofer: Die Abscheidung und Lagerung von CO₂ wird sich nur dann rentieren, wenn CO₂ einen Preis hat. Kein vermünftiger Mensch würde diese Option ernsthaft in Erwägung ziehen, wenn die Nutzung der Atmosphäre nichts kosten würde. Wenn der langfristige CO₂-Preis zwischen 25 und 30 Euro pro Tonne läge, könnte sich diese Option rentieren. Die USA treiben Forschungen auf diesem Sektor zielstrebig voran. Wenn Europa nicht aufpasst, könnten die USA die Ersten sein, die nach China emissionsarme Kohlekraftwerke exportieren. Wenn die USA über effiziente und kostengünstige Techniken zur CO₂-Vermeidung verfügen, dann werden sie sich auch in der einen oder anderen Form einem internationalen Emissionenhandel anschließen.

WELT: Die Kohle ist ja das langfristige Energieproblem, sie ist reichlich vorhanden.

Edenhofer: China und Indien werden für ihren wirtschaftlichen Aufschwung Kohle nutzen. Es muss daher gezeigt werden, dass man Kohle auf eine klimaverträgliche und kostengünstige Weise gebrauchen kann, und die Abscheidung und Einlagerung von Kohlenstoff ist hierfür eine Option. Wir müssen versuchen, Indien und China in ein internationales Zertifikatensystem einzubinden, wenn es nicht anders geht auch mit zusätzlichen Kompensationszahlungen; der Vorteil für Europa bestünde darin, dass ein nicht unbeträchtlicher Exportmarkt für emissionsarme Kohlekraftwerke entstünde.

WELT: Die Einlagerung von CO₂ scheint aber nicht nur ein technisches und finanzielles, sondern auch ein Akzeptanzproblem zu sein.

Edenhofer: Richtig. Das Problem besteht durchaus, und die Industrie ist gut beraten, das Problem nicht unter den Teppich zu kehren. Unternehmen sollten nur in solchen Lagerstätten CO₂ deponieren, bei denen das Risiko gering ist, dass CO₂ entweicht. Wir haben ein eigenes Instrument entwickelt: sogenannte Carbon Sequestration Bonds, die einen Anreiz schaffen, dass die Unternehmen auch nur in sicheren Lagerstätten einlagern.

Das Ressort Wissenschaft erreichen Sie unter:

Telefon: 030 25 91 - 7 19 68
Fax: 030 25 91 - 7 19 67
E-Mail: wissenschaft@welt.de
Internet: www.welt.de/wissenschaft