

CCS

Eine sinnvolle Maßnahme für den Klimaschutz?

Der Ozeanboden-Seismometer
Monitoring von CCS

Speicherung auf dem Festland
Interview mit Dr. Michael Münter

Kernenergie – Kosten und Klimawirkung
Kolumne von Dr. Christoph Pistner

Wal, Schiff oder Beben?

Passives seismisches Monitoring für die CO₂-Speicherung

Man kann sehen, wenn ein Schiff vorbeigekommen ist. Oder auch ein Schweinswal, wenn er laut genug war. Sogar, wenn der Wind Wellen erzeugt oder weiter entfernt ein Sturm vorbeizieht, zeichnet das Gerät dies auf. Und natürlich: Ob es ein Seebeben gab. K. U. M. produziert so genannte Ozeanboden-Seismometer. „Diese messen die Bodenschwingungen und zeichnen sie auf. So können wir zum Beispiel prüfen, ob sich ein Gebiet mit Blick auf die seismische Aktivität grundsätzlich für die Speicherung von CO₂ eignet“, erklärt Dr. Florian Schmid, Leiter der Abteilung für seismische Systeme bei K. U. M. Bis zu einer Magnitude von 3 sei ein Beben unkritisch und es seien keine Schäden zu befürchten. „Ab einer Magnitude von 4 oder 5 wird es kritisch, aber das gibt es in Deutschland quasi nicht. Aus seismologischer Sicht spricht nichts gegen eine CO₂-Speicherung in der Nordsee.“

Darüber hinaus geben die Geräte Einblick in die Art des Gesteins. „Man kann über seismische Wellen die Struktur der Erdkruste untersuchen. Je nach ihrer Geschwindigkeit lassen sich Aussagen über die geologische Zusammensetzung und deren Veränderung treffen.“ Auch nach der Speicherung von CO₂ im Untergrund sind die Seismometer wirksam. „Durch die Verpressung können sich Spannungen in Form von Mikro-Erdbeben lösen. Mit unseren Geräten kann man hier ein Monitoring machen und auf Grundlage der bisherigen Aufzeichnungen prüfen, ob die Seismizität im Zusammenhang damit steht oder andere Gründe hat“, sagt der marine Seismologe.

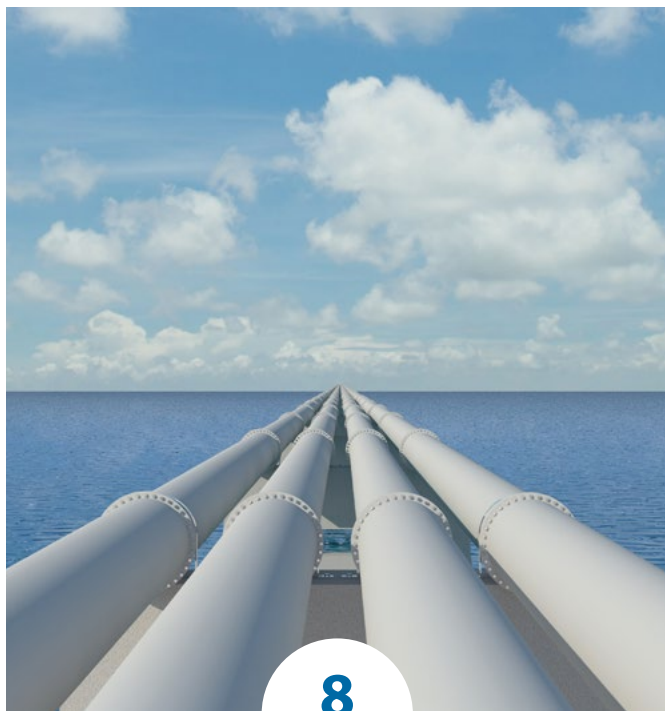
Die Seismometer laufen über Batterien und speichern ihre Aufzeichnungen. Zukünftig soll es aber auch aus der Ferne möglich werden, die seismische Entwicklung zu beobachten. „Wir arbeiten an einem Live-Streaming von Daten. Dies kann etwa über die Verkabelung der Geräte mit Bojen geschehen, die dann über Satelliten die Seismizität übermitteln.“ Der Einsatz von künstlicher Intelligenz zur Auswertung der Daten ist ebenfalls bereits in der Diskussion. „Das langfristige Ziel ist, dass eine KI unterscheiden kann, ob es sich bei einer Aktivität um ein vorbeifahrendes Schiff oder ein Beben handelt und dann nur im zweiten Fall Alarm schlägt.“

Christiane Weihe

Florian.Schmid@kum-kiel.de
www.kum-kiel.de

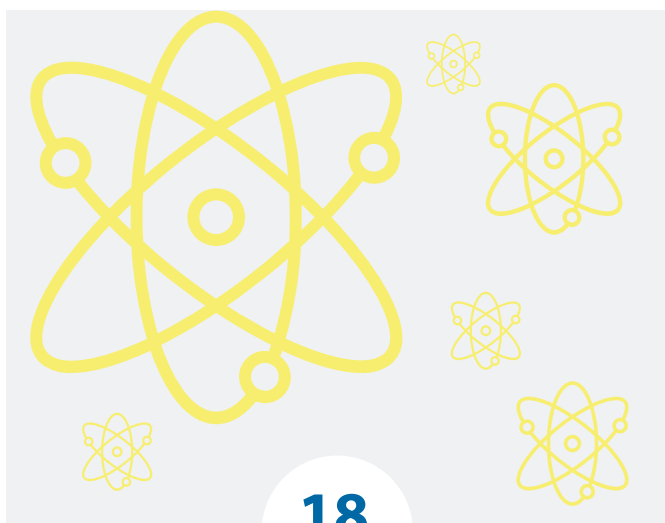






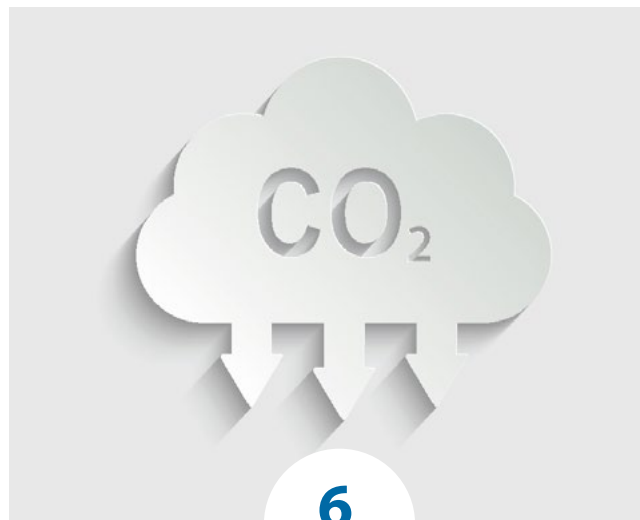
8

Wohin damit?
Mögliche Standorte und Risiken



18

(K)eine Zukunft für die Kernenergie?
Eine Kolumne von Dr. Christoph Pistner



Die Abscheidung und Speicherung von CO₂
Ihre Rolle für den Klimaschutz

IM FOKUS: CCS

- 2 **Wal, Schiff oder Beben?**
Passives seismisches Monitoring für die CO₂-Speicherung
- 6 **CCS – wieso, wofür, wieviel?**
Carbon Capture and Storage in Deutschland
- 8 **Ab unter die Nordsee?**
Standortauswahl für die Kohlenstoffspeicherung
- 12 **Porträts**
Dr. Florian Krob (Öko-Institut)
Karoline Schacht (WWF)
Dr. Tanya Srivastava (CEMEX)
- 13 **„Bei CCS braucht es eine gemeinsame Anstrengung aller Beteiligten“**
Interview mit Dr. Michael Münter,
Amtschef Umweltministerium Baden-Württemberg

ARBEIT

- 14 **Von gestressten Wäldern bis zur Wärmeplanung**
Aktuelle Projekte, neue Ideen
- 16 **Von Mobilitätsarmut bis zu unterirdischen Wärmespeichern**
Kurze Rückblicke, abgeschlossene Studien

PERSPEKTIVE

- 18 **(K)eine Zukunft für die Kernenergie?**
Die Rolle der Atomkraft für das zukünftige Energiesystem

EINBLICK

- 19 **Von der Mitgliederversammlung bis zur Geschäftsführung**
Neuigkeiten aus dem Öko-Institut

VORSCHAU

- 20 **Status Endlager**
Der Stand des Auswahlverfahrens

Abspalten, speichern, nutzen



Anke Herold
Sprecherin der Geschäftsführung
des Öko-Instituts e. V.
a.herold@oeko.de

Ohne CCS geht es nicht. Das sagt zum Beispiel die Internationale Energieagentur (IEA). Sie betrachtet die Abscheidung und Speicherung von CO₂ (Carbon Capture and Storage, CCS) sowie dessen Nutzung (Carbon Capture Utilisation and Storage, CCUS) als unverzichtbar auf dem Weg zur Klimaneutralität. Auch in den meisten Szenarien des Weltklimarats IPCC ist CCS ein notwendiger Baustein, um Restemissionen der Industrie oder der Landwirtschaft auszugleichen und die internationalen Klimaziele zu erreichen. Ein Blick auf die weltweiten CCS-Projekte zeigt ebenso die hohe und weiter steigende Relevanz der Technologie. 2025 waren weltweit 77 Projekte in Betrieb, die Speicherkapazität lag bei 64 Millionen Tonnen CO₂ jährlich. Das Global CCS Institute rechnet damit, dass dieser Wert allein bis 2030 auf 337 Millionen Tonnen ansteigt. 2025 waren 47 Anlagen in Planung, 297 in fortgeschrittenen und 313 in frühen Entwicklungsphasen.

Einer der wichtigsten Vorreiter ist dabei China. Hier wird CCS vor allem von der Kohleindustrie vorangetrieben, um ihre Kraftwerke zu dekarbonisieren. 15 Prozent der Emissionen sollen in China damit reduziert werden. Derzeit sind im Reich der Mitte nach einer neuen australischen Studie knapp 40 Anlagen in Betrieb, sechs in Bau und neun in Planung. Gleichzeitig hat China viel Forschungskapazität in die Abscheidung investiert und zum Beispiel Technologien für geringe CO₂-Konzentration im Rauchgas von unter fünf Prozent entwickelt sowie die Kosten für CO₂-Abscheidung erheblich gesenkt, sie liegen etwa beim Projekt Ningxia bei nur 30 Dollar pro Tonne CO₂. Bei der Nutzung des abgeschiedenen CO₂ etwa für die Herstellung von Methanol oder Synthesegas für die Produktion von chemischen Produkten und Kraftstoffen ist China ebenfalls ein Vorreiter.

Auch unsere Wissenschaftler*innen sehen in CCS einen Baustein für den Klimaschutz. Einen, der vor allem für jene Branchen und Sektoren genutzt werden sollte, die nur schwer dekarbonisierbar sind und deren Emissionen sich nicht vermeiden lassen. Europa und auch Deutschland stecken im weltweiten Vergleich jedoch noch in den Kinderschuhen. Von den oben zitierten 77 CCS-Anlagen, die weltweit in Betrieb sind, liegen – wenn man Norwegen und Island ausklammert – nur drei in der EU. Es wird Zeit, dass wir hier in die Umsetzung kommen, auch in Deutschland. Denn die Zeit in Sachen Klimaschutz drängt, das hat nicht zuletzt der Hitzesommer in den vergangenen Monaten wieder einmal verdeutlicht. Was mit Blick auf CCS hierzulande gerade passiert, zeigt Ihnen dieses Heft.

Ihre
Anke Herold



Weitere Informationen zu unseren Themen finden Sie im Internet unter www.oeko.de/magazin

eco@work – September 2026 – ISSN 1863-2009 – Herausgeber: Öko-Institut e. V.
Redaktion: Mandy Schoßig (mas), Christiane Weihe (cw) – Verantwortlich: Anke Herold
Weitere Autor*innen: Florian Hacker, Anke Herold, Dr. Christoph Pistner, Clara Wisotzky (cwi)
Druckauflage: 1.600. Im Internet verfügbar unter: www.oeko.de/magazin

Gestaltung/Layout: Hans-Albert Löbermann – Technische Umsetzung: Markus Werz – Gedruckt auf 100-Prozent-Recyclingpapier
Redaktionsanschrift: Borkumstraße 2, 13189 Berlin, Tel.: 030/4050 85-0, redaktion@oeko.de, www.oeko.de

Bankverbindung für Spenden:

GLS Bank, BLZ 430 609 67, Konto-Nr. 792 200 990 0, IBAN: DE50 4306 0967 7922 0099 00, BIC: GENODEM1GLS
Spenden sind steuerlich abzugsfähig.

Bildnachweis: Titel: Strassner Fotografie @ stock.adobe.com; S. 2: Firma K.U.M. Kiel GmbH; S. 4 links oben: Samran @ stock.adobe.com, rechts: veronchick84 @ stock.adobe.com; S. 6: veronchick84 @ stock.adobe.com; S. 8: hafenkieker @ stock.adobe.com; S.10: Samran @ stock.adobe.com; S.13 oben: DragonImages @ stock.adobe.com, unten: Lena Lux; S.14: Corri Seizinger @ stock.adobe.com; S. 15: runningwild @ stock.adobe.com; S. 16: joyt @ stock.adobe.com; S. 17 oben: edshots @ stock.adobe.com; S.19 mitte links: Thilo Wagner @ stock.adobe.com; S. 20: Malte Müller © fStopImages ; andere © Privat oder © Öko-Institut

CCS – wieso, wofür,

Carbon Capture and Storage in Deutschland

Es wird aus der Luft oder in Industrieprozessen abgetrennt. Dann transportieren Schiffe, Züge oder Pipelines das CO₂ in komprimierter Form an geeignete Speicherorte. Schließlich wird das Klimagas in geologischen Formationen langfristig gespeichert – unter dem Meer oder dem Land, etwa in salinaren Aquiferen oder ausgeförderten Gasfeldern. Zusätzlich kann CO₂ ebenso als Rohstoff genutzt werden, so für die Herstellung von synthetischen Kraftstoffen. Das Abscheiden, der Transport und das sichere Speichern von Kohlendioxid sowie dessen Nutzung – oder auch Carbon Capture and Storage (CCS) und Carbon Capture and Utilization (CCU) – sollen den Weg zur Klimaneutralität unterstützen. Welche Rolle sie für einen wirkamen und bezahlbaren Klimaschutz in Deutschland spielen können, dazu arbeitet auch das Öko-Institut.

Die EU will bis 2030
insgesamt
50 Mio. t CO₂
einspeichern.

Sollen wir das überhaupt? Macht es nicht mehr Sinn, Emissionen zu vermeiden anstatt sie irgendwo im Untergrund verschwinden zu lassen? CCS wird kontrovers diskutiert – wegen der Kosten, wegen des Risikos, dass die Technologie notwendige Anstrengungen beim Klimaschutz verhindert, aber ebenso wegen möglicher Umweltwirkungen (siehe hierzu ausführlich „Ab unter die Nordsee?“ auf Seite 8). „Wir werden in Deutschland nicht drum herumkommen, auf dem Weg zur Klimaneutralität CCS einzusetzen. Denn es werden sich nicht alle Emissionen komplett vermeiden lassen. Auch die Klimaszenarien des Öko-Instituts integrieren daher CCS“, sagt Christoph Heinemann, Senior Researcher im Bereich Energie & Klimaschutz. „Der Einsatz für bestimmte Anwendungen ist durchaus sinnvoll – so

etwa für die Zement- und Kalkindustrie sowie die Abfallwirtschaft. Dies sollte aber in einem Ausmaß geschehen, bei dem die Emissionsminderung nicht gefährdet wird, und eben nicht für Anwendungen, wo sich erneuerbare Energien oder grüner Wasserstoff einsetzen lassen.“

KAPAZITÄTEN UND MARKTHOCHLAUF

Bevor CCS jedoch in Europa marktfähig wird, braucht es nicht nur CO₂-Speicher und eine Transportinfrastruktur, sondern auch passende finanzielle und regulatorische Rahmenbedingungen. In der Analyse „Carbon Capture and Storage (CCS) in der Energiewende zur Klimaneutralität“ von Öko-Institut und Agora Industrie beleuchten die Expert*innen die Kapazitäten von bereits bestehenden und in Planung befindlichen europäischen Offshore-Projekten zur CO₂-Speicherung sowie die dabei entstehenden Kosten. „Darüber hinaus haben wir die verschiedenen Transportoptionen analysiert und Empfehlungen für die Politik entwickelt, wie sie die passenden Rahmenbedingun-

gen für einen zügigen und effizienten Markthochlauf setzen kann“, so Roman Mendelevitch, ebenfalls Senior Researcher im Bereich Energie & Klimaschutz.

CO₂ IN DER NORDSEE

Die Summe der geplanten CCS-Projekte zeigt: der Nordseeraum wird zum Zentrum der europäischen CO₂-Einspeicherung werden – hier sind vor allem Dänemark, Norwegen und die Niederlande aktiv. „Die Geologie unter der Nordsee ist aufgrund der jahrzehntelangen Öl- und Gasförderung gut erkundet, gleichzeitig bietet der Mittelmeerraum schlechtere geologische Voraussetzungen und es gibt potenzielle Risiken für Verwerfungen im Untergrund“, so Heinemann. Großbritannien ist ein klarer Vorreiter: 40 Prozent der bis 2030 geplanten Einspeicherleistungen in Europa gehen auf Projekte in diesem Land zurück. Insgesamt erwarten die Wissenschaftler*innen von den bestehenden CCS-Projekten in der EU und in Norwegen bislang jedoch nur eine jährliche Einspeicherleistung von zehn Millionen Tonnen CO₂ bis Anfang der 2030er Jahre. „Soll der Speicherbedarf

wieviel?

der gesamten EU bis 2050 gedeckt werden, bräuchten wir jedoch jährlich einen Zubau von zwei Großspeichern mit einer Injektionsleistung von je fünf Millionen Tonnen pro Jahr“, so Heinemann. Darüber hinaus haben die Expert*innen die notwendige Transportinfrastruktur betrachtet – das CO₂ kann per Pipeline, Zug oder Schiff befördert werden. „Insbesondere für den Aufbau einer Pipeline-Infrastruktur, aber auch für die Auswahl einer geeigneten Transportoption für einen spezifischen Standort braucht es eine sehr vorausschauende Planung, denn es gibt sehr große Unterschiede bezüglich Flexibilität und Kosten. Daher sollte so früh wie möglich Klarheit über Standorte, zu transportierende Mengen und den Zeitpunkt des Anfallens herrschen.“

EIN VERLÄSSLICHER RAHMEN

Um den Hochlauf zu beschleunigen, müsse die Bundesregierung verlässliche Rahmenbedingungen schaffen. Zwar habe sie mit dem Ende 2025 in Kraft getretenen, novellierten Kohlendioxid-Speicherungs- und Transportgesetz (KSPTG) die rechtliche Grundlage für den kommerziellen Einsatz von CCS in Deutschland geschaffen, es fehle jedoch an einer industriepolitischen Strategie für deren zielgerichteten Einsatz. „Es braucht einen integrierten Ansatz, der zum einen die rechtliche Zulässigkeit gewährleistet, aber auch Marktgrundlagen schafft und den Markthochlauf initiiert.“ Die notwendigen rechtlichen Regelungen seien vorhanden oder sehr kurzfristig

realisierbar, bei Marktgrundlagen und -hochlauf gebe es noch eine Menge zu tun. „Notwendig sind ein robuster CO₂-Preis sowie planerische und finanzielle Maßnahmen für den Hochlauf von Abscheidung, Transport und Speicherung. Mittelfristig reicht für emissionsintensive Unternehmen, die derzeit bereits vom europäischen Emissionshandel (EU ETS) erfasst sind und die CCS als Vermeidungstechnologie nutzen wollen, der CO₂-Preis alleine nicht aus, um die Technologie attraktiv zu machen. Hier sind Förderungen sinnvoll.“ Staatliche Absicherungsgarantien könnten im Bereich der Pipeline-Infrastruktur erforderlich werden, um das Ausfallrisiko von Ankernkunden im Transportnetz abzufedern.

TEURER ALS GEDACHT

Doch wie hoch ist die Kostenlücke eigentlich? „CCS ist teurer als viele denken“, sagt der Experte aus dem Bereich Energie & Klimaschutz. „Wir erwarten pro Tonne Kosten in Höhe von 150 bis 300 Euro – der CO₂-Preis liegt im Europäischen Emissionshandel hingegen derzeit bei nur rund 85 Euro. Damit der Markthochlauf gelingt, muss diese Kostenlücke geschlossen werden.“ Investitionen in CCS sind bislang also nicht wirtschaftlich. „Beim Bau von CO₂-Speichern unter dem Meeresboden liegen die Projektentwicklungszeiten zudem bei sechs bis 13 Jahren – die Kapazitäten lassen sich nur langsam erhöhen.“ Erfahrungen aus dem Wasserstoffbereich zeigten außerdem die Herausforderungen völlig neuer Wertschöpfungsketten

– ihre Komplexität, ihre Unsicherheiten und ihre Kosten.

Sollten wir das überhaupt? Ja, sagt der Wissenschaftler vom Öko-Institut. Und auch Europa geht weitere Schritte beim Thema CCS. Für den Herbst 2026 hat die EU-Kommission ein weitreichendes CO₂-Infrastrukturpaket angekündigt. „Dieses soll den rechtlichen Rahmen unter anderem für grenzüberschreitende Netze legen“, so Heinemann. „Vor diesem Hintergrund ist es an der Zeit, dass die Bundesregierung auch hierzu eine langfristige Strategie vorlegt und diese mit entsprechenden Instrumenten hinterlegt.“

Christiane Weihe



Christoph Heinemann hat Geographie, Wirtschaftspolitik und Betriebswirtschaftslehre studiert. Er ist seit 2011 für das Öko-Institut tätig, wo er sich im Bereich Energie & Klimaschutz unter anderem der Modellierung des zukünftigen Energiesystems, den Effekten von Speichern und Flexibilität im Stromsystem sowie der Nutzung von Wasserstoff und seinen Derivaten widmet.
c.heinemann@oeko.de

Ab unter die

Standortauswahl für die Kohlenstoffspeicherung

Möglichst umweltverträglich. Möglichst ohne Risiken. Kurz gesagt: möglichst sicher. So sollte die CO₂-Speicherung umgesetzt werden – in Deutschland und natürlich auch in anderen Ländern. Doch welche Risiken bestehen überhaupt bei der Kohlenstofflagerung und wie lassen sie sich minimieren? Mit diesen Fragen befasst sich das Öko-Institut in unterschiedlichen Projekten. Ein Fokus liegt dabei auf der Nordsee, wo sich europäische Projekte zur CO₂-Speicherung konzentrieren.

In Europa gibt es zahlreiche geeignete geologische Formationen für die Speicherung von Kohlendioxid. Laut Prognosen plant die EU, bis 2030 insgesamt 50 Millionen Tonnen CO₂ zu speichern. Eine Menge, die auf dem Weg zur Klimaneutralität bis 2040 sicher erheblich steigen wird. „Es gibt bereits viele europäische Projekte zur CO₂-Speicherung, sie wird derzeit vor allem von Norwegen, Dänemark, Großbritannien und den Niederlanden vorangetrieben“, sagt Dr. Florian Krob, Senior Researcher am Öko-Institut. „So lagert Norwegen etwa seit Mitte 2025 im Projekt Northern Lights in der Nähe von Bergen Kohlendioxid ein.“

Auch in Deutschland gibt es mehrere Gebiete, die für CCS grundsätzlich geeignet sind – dies sind vor allem so genannte salinare Aquifere – tiefe, Salzwasser führende Gesteinsschichten

– sowie theoretisch auch erschöpfte Erdgaslagerstätten. Salinare Aquifere befinden sich vor allem in Norddeutschland, aber auch am Oberrhein Graben sowie im Alpenvorland. „Nicht alle Standorte sind tatsächlich passend, etwa, wenn es andere Nutzungen gibt. Die Pläne in Deutschland konzentrieren sich außerdem derzeit auf die Nordsee. Man geht hier von einer möglichen Gesamtspeichermenge von einer bis anderthalb Gigatonnen CO₂ aus – ich schätze, dass der tatsächliche Wert eher unter einer Gigatonne liegt.“

RISIKEN. WELCHE RISIKEN?

In der Analyse „Securing the Underground – Managing the Risks of Carbon Storage through Effective Policy Design“, die vom Naturschutzbund Deutschland (NABU) initiiert und von der European Climate Foundation (ECF) gefördert

wurde, hat das Öko-Institut mit Fokus auf die Lagerung unter dem Meeresboden untersucht, welche Risiken es bei der Einspeicherung von CO₂ geben kann und auch, wie diese kontrolliert werden können. „Wir blicken dabei nicht nur auf die Technologien selbst, sondern auch auf die Regulierung, die es braucht, um Risiken zu minimieren sowie die Sicherheit und Nachhaltigkeit der CO₂-Speicherung zu verbessern.“ Aber über welche Risiken sprechen wir überhaupt? „Erfahrungen bisheriger Projekte zeigen, dass bei der Injektion enorme betriebliche Schwierigkeiten vielfältiger Art auftreten können. Gleichzeitig gibt es viele weitere Herausforderungen, die damit in Wechselwirkung stehen. So etwa in Hinsicht auf die öffentliche Wahrnehmung, finanzielle Anreize, Umweltauswirkungen auf marine Ökosysteme und eine Verzögerung der tatsächlichen Wirksamkeit zur Emissionsreduktion.“



Nordsee?

Bis 2040 liegt
die potenzielle
Einspeicher-
kapazität auf
See in Europa
bei etwa

100 – 300
Mio. t
CO₂

Das Projektteam betont mit Blick auf den rechtlichen und technischen Rahmen: Die EU-Direktive zur Kohlenstoffabscheidung und -speicherung sei eine Grundlage, um die CO₂-Speicherung zu verwalten, aber auch verbesserungswürdig – etwa mit Blick auf Transparenz und das öffentliche Vertrauen. „Es braucht eine unabhängige Aufsicht durch Dritte, die vertrauliche Meldung von Unregelmäßigkeiten sowie harmonisierte CO₂-Reinheitsstandards“, sagt Florian Krob. „Gibt es in der EU zudem nicht genug regulatorische Standardisierung, führt das zu Ineffizienz und höheren Betriebskosten für die Projektbetreiber.“ Apropos Betreiber: Bei den norwegischen Speicherprojekten Sleipner und Snøhvit wurden die Kosten erheblich überschritten, verursacht durch betriebliche Schwierigkeiten während der CO₂-Injektion. „Es besteht zum Beispiel das Risiko, dass die Gesteinsschichten nicht das Injektions- und Speicherverhalten zeigen, das prognostiziert wurde. Die richtige Auswahl des Standorts und der Injektionsprotokolle – also des genauen Vorgehens für die Einspeicherung – ist daher entscheidend. Zusätzliche Risiken gibt es, wenn bestehende Infrastrukturen wie etwa Pipelines aus der fossilen Brennstoffindustrie wieder verwendet werden sollen. Sie sind technisch nicht mit den Anforderungen der CO₂-Speicherung kompatibel.“

GERINGE UMWELTRISIKEN

Laut der Analyse ist die Offshore-Speicherung mit relativ geringen Umwelt-

risiken verbunden. Diese können aber natürlich nicht ignoriert werden. „Zu nennen sind hier direkte Effekte wie die Beeinträchtigung von Meeresökosystemen durch CO₂-Leckagen, aber auch indirekte Folgen wie eine Lärmbelästigung durch den zunehmenden Schiffsverkehr.“ Das Projektteam empfiehlt daher, die Umweltverträglichkeitsprüfungen für CO₂-Speicherprojekte auch auf solche indirekten Auswirkungen auszuweiten. Darüber hinaus fordert es eine umfassende und mehrdimensionale Raumplanung, um insbesondere in ökologisch sensiblen Gebieten Konflikte mit anderen Oberflächen- und Untergrundnutzungen zu vermeiden. „Es sollte auch versucht werden, Vereinbarkeiten mit anderen Nutzungen zu finden.“

NIEDRIGES EXPOSITIONSRISIKO

Für Menschen sei das Expositionsrisiko niedrig, es brauche dennoch eine umfassende und kontinuierliche Überwachung, damit Unregelmäßigkeiten bei der Lagerung erkannt und abgemildert werden können. Diese Überwachung brauche es sowohl während der Injektionsphase als auch nach der Schließung der Speicherstätte. „Darüber hinaus sollten unabhängige Verifizierer einbezogen werden und es braucht einen klaren Rahmen für die langfristige Haftung“, so der Senior Researcher. „Dieser muss sicherstellen, dass es finanzielle Vorkehrungen gibt, die Sanierungs- und Wartungskosten

nach der Schließung der Lagerstätte abdecken.“ Bislang schreiben die EU-Leitlinien eine 20-jährige Nachsorgephase vor, in Deutschland sind 40 Jahre vorgesehen. Nach dieser übernehmen die staatlichen Behörden die Verantwortung. „Wichtig ist auch, dass die politischen Entscheidungsträger*innen die Rahmenbedingungen regelmäßig überprüfen und aktualisieren – etwa mit Blick auf eine Weiterentwicklung der Technologien oder den grenzüberschreitenden Kohlenstofftransport.“

DIE NORDSEE, UNSER SPEICHER?

In der Analyse „Anforderungen an ein Verfahren zur Identifikation umweltverträglicher CO₂-Speicher“ für das Umweltbundesamt haben die Wissenschaftler*innen des Öko-Instituts die Eignung der Nordsee für deutsche CO₂-Speicherprojekte genauer analysiert. „Rein geologisch scheint sie vielversprechend, doch es gibt hier ernstzunehmende Nutzungskonflikte – mit dem Natur- beziehungsweise dem Meeresschutz, der Windenergie, der Fischerei oder auch militärischen Zwecken. Werden hier keine Vereinbarkeiten oder Möglichkeiten zur Mehrfachnutzung gefunden, ist CCS auf dem deutschen Gebiet der Nordsee nur schwer umsetzbar.“ CCS brauche zum Beispiel ein begleitendes Monitoring, das die Speicherung überwacht, sagt der Wissenschaftler. „Hierfür werden von Schiffen aus in regelmäßigen Abständen seismische Messungen durch-



geführt – diese müssen recht große Flächen systematisch abfahren. Das geht nicht, wenn da ein Windpark steht, weil man da nicht einfach mit dem Schiff durchkann und die Erschütterungen der Windparks seismische Messungen beeinträchtigen können. Auch auf den Flächen der Bundeswehr könnte eine Mehrfachnutzung schwierig sein.“ Darüber hinaus gibt es technische Ungewissheiten, die das mögliche Speicherpotenzial deutlich beeinflussen können.

Auch in diesem Projekt haben die Wissenschaftler*innen Umwelt Risiken betrachtet. Es gibt direkte Risiken – so etwa Probleme bei der Einspeicherung oder Leckagen. „Sollten unkontrolliert größere Mengen CO₂ freigesetzt werden, wirkt sich das auf die Boden- und Wasserchemie aus, eine Versauerung sowie Risiken etwa für Krustentiere und Plankton wären die Folge.“ CCS könne sich aber auch indirekt auf die Umwelt auswirken. „Die Technologie kann sensible Arten wie Schweinswale beeinträchtigen – etwa bei der Erkundung, dem Pipelinebau oder seismischen Überwachungsmaßnahmen.“ Grundsätzlich sieht Krob nur geringe und vertretbare Risiken durch Leckagen, auch, weil diese recht unwahrscheinlich sind. Auswirkungen auf marine Ökosysteme etwa durch Lärm sind aus seiner Sicht hingegen sehr wahrscheinlich und sollten auf jeden Fall vermieden werden. „Unsere Studie dient auch dazu, die Frage zu beantworten, wie wir Langzeitsicherheit und Umweltverträglichkeit gewährleisten können. Zentrale Punkte sind zudem die Überwachung sowie

ein Blick auf Prozesse und Methoden, um Umweltwirkungen zu verhindern.“

In der Nordsee sollte die Speicherung von CO₂ daher nach dem Prinzip „Je weniger, desto besser“ erfolgen. „Damit sie für die Umwelt verträglich ist, braucht es einen moderaten und verantwortungsvoll geplanten Hochlauf, der Fehlentwicklungen vorbeugt und ausreichend Sicherheitsreserven bietet.“ So seien bei der Standortauswahl etwa klare Ausschlusskriterien und verbindliche Mindestanforderungen notwendig. Dazu gehören neben einer ausreichenden Speicherkapazität und einer günstigen geologischen Tiefe von mindestens 800 Metern ebenso eine Mindestmächtigkeit der primären, abdichtenden Deckschicht sowie eine langfristige Stabilität und Integrität dieser Barriere. „Darüber hinaus braucht eine sichere und umweltverträgliche CO₂-Speicherung auch eine so genannte günstige Injektivität. Diese beugt technischen Schwierigkeiten bei der Injektion vor.“ Zu den Ausschlusskriterien gehören unter anderem aktive Störungen im Untergrund sowie großräumige Vertikalbewegungen, seismische oder vulkanische Aktivität oder auch die Beeinträchtigung nutzbarer Grundwasser durch die Speicherprojekte.

Aus Sicht von Dr. Florian Krob ist es zentral, die entsprechenden Prozesse frühzeitig und standardisiert aufzusetzen. „Derzeit sieht der gesetzliche Rahmen zum Beispiel die vertiefte Prüfung erst mit den Geländeuntersuchungen durch die Betreiber vor – das kommt zu spät,

es braucht ein Verfahren, das frühzeitig deutlich macht, welche Gebiete wegen Umwelt- und Sicherheitsfragen oder Nutzungskonflikten nicht in Frage kommen.“ Erfahrungen aus Dänemark zeigten zudem, dass ein frühzeitiges, systematisches und transparentes Verfahren die gesellschaftliche Akzeptanz von CCS deutlich erhöhen kann. „Es ist wichtig, die Bevölkerung frühzeitig und kontinuierlich einzubeziehen, um Vertrauen zu schaffen“, betont der Wissenschaftler vom Öko-Institut.

Christiane Weihe



*Der Geowissenschaftler Dr. Florian Krob ist seit 2022 für das Öko-Institut tätig. Im Bereich Nukleartechnik & Anlagensicherheit befasst er sich neben der CO₂-Speicherung in geologischen Schichten auch mit geotechnischen Fragestellungen im Kontext der Entsorgung und Endlagerung radioaktiver Abfälle.
f.krob@oeko.de*

**Dr. Florian Krob**

Senior Researcher am Öko-Institut

Endlagerung. Geothermie. Und jetzt: CCS. Der Untergrund ist ziemlich interessant dieser Tage. Das war nicht immer so, wie Dr. Florian Krob weiß. „Als ich angefangen habe, Geowissenschaften zu studieren, haben viele gesagt: Was willst du denn damit – Taxifahrer werden? Es ist schön zu sehen, dass sich das geändert hat und es heute für den geowissenschaftlichen Nachwuchs viele Perspektiven gibt.“ Er sagt: CCS kann eine Rolle für den Klimaschutz spielen, aber nur mit Blick auf jene Emissionen, die sich wirklich nicht vermeiden lassen. „Zunächst müssen überall dort, wo es möglich ist, die CO₂-Emissionen so weit wie möglich gesenkt werden.“

„Die Standorte für Speicherprojekte müssen vor allem mit Blick auf die Langzeitsicherheit ausgewählt werden.“

Bei der Etablierung von CCS in Deutschland könne man auch von der Suche nach einem Endlagerstandort lernen. „CO₂ ist zwar nicht so gefährlich wie hochradioaktive Abfälle, aber natürlich braucht es auch hier Akzeptanz und eine Beteiligung der Bevölkerung. Wichtig ist zudem, dass die verschiedenen Akteur*innen sich gut vernetzen.“ Auch das bessere Wissen über den Untergrund sei hilfreich. Für dieses Wissen hat Florian Krob schließlich beschlossen, Geowissenschaftler zu werden. „Ich wollte die Gesamtzusammenhänge der Erde verstehen, wie sie entsteht und wie sie sich entwickelt. Um alles zu begreifen, muss man sehr tief gehen.“ cw

f.krob@oeko.de

**Karoline Schacht**

Senior Policy Advisor Marine Conservation beim WWF Deutschland

Für sie ist es ein schmerzhafter Spagat. Als Meeresbiologin will sie die Meere schützen. Gleichzeitig weiß sie, dass auch Windparks gebraucht werden oder sogar CCS dem Klima dienen kann. „Es klingt ja wie eine gute Idee, CO₂ daran zu hindern, in die Atmosphäre zu gelangen. Aber wir müssen dafür Sorge tragen, dass die CO₂-Speicherung und andere Nutzungen der Nordsee ihre ökologische Tragfähigkeit nicht überschreiten“, sagt Karoline Schacht, Meeresschutzexpertin beim WWF. „Daher muss es Bedingungen geben. CCS darf zum Beispiel die international gültigen Biodiversitäts- und Meeresschutz-Ziele nicht gefährden, es braucht ein durchdachtes Risikomanagement sowie geschützte Rückzugs- und Regenerationsräume für die Meeresbewohner.“

„Bei CCS-Projekten sind Umweltverträglichkeitsprüfungen unverzichtbar – das gibt auch den Betreibern Sicherheit mit Blick auf mögliche Risiken.“

Schon heute seien die marinen Ökosysteme durch zahlreiche Nutzungen stark unter Druck. „Meeresschutzgebiete machen nur Sinn, wenn sie unzerschnitten bleiben und ihren Schutzauftrag erfüllen können.“ Die politische Bedeutung von Umwelt- und Klimaschutz nehme aber aktuell eher ab. „Es ist eine Katastrophe für den Naturschutz, wenn zum Beispiel Umweltverträglichkeitsprüfungen oder Eingriffsregelungen ausgesetzt werden. Was wir heute kaputt machen, steht morgen nicht mehr zur Verfügung. Dabei ist eine stabile Umwelt auch die Lebensgrundlage für uns Menschen.“ cw

karoline.schacht@wwf.de

**Dr. Tanya Srivastava**

Managerin für CCUS bei CEMEX

Alle paar Wochen, wenn sie in Rüdersdorf ist, ist sie Teil einer „Revolution für die Zementindustrie“. Denn hier im Osten von Berlin wird das größte CCS-Projekt ihres Arbeitgebers CEMEX umgesetzt. „Im Zementwerk in Rüdersdorf sollen ab etwa 2030 jedes Jahr über eine Million Tonnen CO₂ abgeschieden werden“, erklärt Dr. Tanya Srivastava. „Dieses soll dann mit der Bahn zu Speicherstätten in der Nordsee transportiert und dort gelagert werden.“ Man merkt ihr an, dass sie die Prozesse schon oft erklärt hat. Dass sie es so verständlich tut, hat aber sicher auch mit ihrer Tätigkeit im Debattierclub der Universität Delft zu tun, von der sie einen Master und einen Doktor in Ingenieurwissenschaften hat.

„CCS ist für CEMEX nur ein Teil der Lösung – die Reduzierung der Emissionen und ein Fokus auf erneuerbare Energien sind zentrale Schritte.“

Die CCS-Technologie interessiert die Chemie-Ingenieurin bereits seit der Studienzeit. Deren Implementierung in Deutschland, sagt sie, sei nun „ein Rennen gegen die Zeit“. „Regulatorische Hürden müssen abgebaut, die Finanzierung muss gesichert werden und es braucht ein Bewusstsein in der Bevölkerung. Darüber hinaus braucht CCS starke Stromnetze und einen Zugang zu sauberer Energie.“ Dass sie sich so engagiert für die Dekarbonisierung einsetzt, sei „auch ein bisschen egoistisch“. „Die Auswirkungen des Klimawandels werden akut werden, wenn ich alt bin.“ cw

tanya.srivastava@cemex.com

“Bei CCS braucht es eine gemeinsame Anstrengung aller Beteiligten.”

Alle reden über die Nordsee. Doch was ist eigentlich mit der Speicherung von CO₂ auf dem Festland? Deutlich weiter im Süden wird auch hierüber ausführlich gesprochen: Die baden-württembergische Landesregierung räumt CCS bereits seit der letzten Legislaturperiode eine wichtige Rolle für den Klimaschutz ein und legt derzeit die Grundlagen für die Umsetzung auch an Land. Wo steht das Bundesland bei der Umsetzung, wo könnte CO₂ eingespeichert werden und was sind die nächsten Schritte? Über diese Fragen haben wir mit dem Amtschef des baden-württembergischen Umweltministeriums Dr. Michael Münter gesprochen.

Herr Dr. Münter, warum treibt Baden-Württemberg das Thema CCS voran?

Wir wollen jenen Industrien, die nicht so leicht zu dekarbonisieren sind, eine Perspektive in unserem Land bieten. Das betrifft die sechs Zementwerke in Baden-Württemberg, aber auch die Kalkindustrie und die Abfallwirtschaft. Vor diesem Hintergrund haben wir Anfang 2024 gemeinsam mit dem Wirtschaftsministerium einen Arbeitsprozess begonnen, in dem wir eng mit diesen Branchen, aber auch anderen Akteuren wie Verbänden oder Leitungsbetreibern zusammenarbeiten. Nach der Verabschiedung des Gesetzes zur CO₂-Speicherung durch Bundestag und Bundesrat, das den Ländern die Möglichkeit gibt, die Speicherung an Land zu prüfen und gegebenenfalls umzusetzen, haben wir beschlossen, genau das zu tun.

Schon im Oktober 2024 hat die Landesregierung ein Positionspapier zum Carbon Management verabschiedet. Was sind darin für Sie die wichtigsten Leitlinien?

Zentral ist, dass CCS nur für jene Emissionen genutzt werden soll, die nicht oder nur schwer vermeidbar sind – also eben aus der Müllverbrennung, der Kalk- und Zementindustrie und vielleicht noch aus Teilen der chemischen Industrie.

Überall dort, wo die Dekarbonisierung auf anderen Wegen zu erreichen ist – etwa durch Elektrifizierung – sollte dies auch getan werden. Gleichzeitig müssen die Prozesse der Abscheidung und Speicherung sicher sein.

Wo stehen Sie bei der Umsetzung?

Einerseits setzen wir begonnene Arbeiten fort, tauschen uns zum Beispiel mit anderen Bundesländern, aber auch anderen Staaten wie etwa Dänemark, Österreich und der Schweiz, zu Ideen und Erfahrungen aus. Zweitens bereiten wir konkret das gesamte Gesetzgebungsverfahren vor. Dabei geht es etwa um Zuständigkeiten, aber auch um die Frage, ob schon hierbei mögliche Gebiete für die eventuelle spätere Speicherung festgelegt werden. Darüber hinaus legen wir die Grundlagen für eine Machbarkeitsstudie, die sich möglichen Trassenverläufen widmet.

Das heißt, es wird keinen Transport mit Schiffen oder Zügen geben?

Mittel- und langfristig sind dafür die anfallenden Mengen zu groß. In der Hochlaufphase und für einzelne Standorte kann das eine Rolle spielen, aber es sollten keine Pfadabhängigkeiten geschaffen werden, die den Pipelinehochlauf behindern. Wir werden voraussichtlich auch nicht alles in Baden-Württemberg speichern können und müssen daher ebenso über Pipelines zu Offshore-Speicherstätten beziehungsweise den Anschluss an ein europaweites CO₂-Pipelinennetz reden. Und natürlich spielt CCU, also die Weiternutzung von abgetrenntem CO₂, ebenfalls eine Rolle.

Welche Gebiete eignen sich für die Speicherung an Land?

Geologisch sind dies vor allem der Oberrheingraben und das Molassebecken im Alpenvorland – das wir uns allerdings mit Bayern teilen. Bei beiden Gebieten wissen wir schon, dass es eine Deckschicht gibt, die gasförmige Stoffe gut und dicht halten könnte. Hier wird es aber noch genauere Untersuchungen brauchen.

Erwarten Sie Nutzungskonflikte – etwa mit der Geothermie im Molassebecken?

Wir erwarten nur wenige Nutzungskonflikte, sondern hoffen vielmehr auf Synergien. Der Untergrund wird an unterschiedlichen Stellen und für verschiedene Nutzungen untersucht – die Geothermie, die Lagerung hochradioaktiver Abfälle, den Abbau von Rohstoffen und eben CCS. Von einem Austausch über die Ergebnisse können alle Anwendungen profitieren und ihre Verfahren effizienter gestalten.

Was sind für Sie die größten Herausforderungen in diesem Prozess?

Zum einen, die grundsätzlich geeigneten Gesteinsformationen genauer zu untersuchen – und das unter Zeitdruck, denn die Industrie hat nur noch etwas mehr als ein Jahrzehnt, um klimaneutral zu werden. Zum zweiten die Finanzierung. Hier können wir von Unternehmen nicht erwarten, dass sie das komplett alleine stemmen. Ein dritter Faktor ist die gesellschaftliche Akzeptanz. Hier diskutieren wir momentan unterschiedliche Formate zur Einbindung der Öffentlichkeit. Bei CCS braucht es eine gemeinsame Anstrengung aller Beteiligten.

Vielen Dank für das Gespräch.

Das Interview führte Christiane Weihe.



*Im Interview mit eco@work:
Dr. Michael Münter, Ministerialdirektor und
Amtschef des Ministeriums für Umwelt, Klima
und Energiewirtschaft Baden-Württemberg
presse@um.bwl.de*

Der gestresste Wald

Der Wald ist schon seit vielen Jahren sehr gestresst. Zu schaffen machen ihm vor allem Hitze, Stürme und Trockenheit, aber auch Schädlinge und eine intensive Forstwirtschaft. „Die Waldzustandserhebung von 2025 zeigt, dass nur etwa ein Fünftel der Bäume keine Schäden hat“, sagt Dr. Hannes Böttcher, Waldexperte am Öko-Institut. „Dabei sind die Wälder nicht nur für die Biodiversität wichtig, sondern dienen gleichzeitig als Kohlendioxidsenken und spielen daher eine zentrale Rolle für den Klimaschutz.“

Nun ist ein neues, EU-weites Forschungsprojekt zur Wiederherstellung von Ökosystemen gestartet. Im Rahmen von ECOMPASS untersuchen die Projektpartner unterschiedliche Anwendungsfälle, so auch in der Region Harz-Solling-Hainich. „Bis 2030 führen wir Szenarienanalysen mit der intensiven Beteiligung von Waldbesitzenden durch“, so Böttcher. „Der Schwerpunkt liegt dabei auf den Fragen, wie sich Wiederherstellungsmaßnahmen sozio-ökonomisch auswirken und wie sich negative Folgen vermeiden beziehungsweise Synergien erzeugen lassen.“ Der Senior Researcher betont: Die Wiederherstellung von Wäldern kann nur dann erfolgreich sein, wenn sie auf möglichst viele gesellschaftliche Ziele einzahlt. „Um diese in Entscheidungen zu berücksichtigen, wird ein Onlinetool entwickelt, mit dem sich etwa die Auswirkungen von Maßnahmen auf den Wasserverbrauch oder den Arbeitsaufwand analysieren lassen. Dies soll vor allem auch privaten und öffentlichen Waldbesitzenden dienen, denn sie tragen unterm Strich die Verantwortung für den Wald.“ *mas*

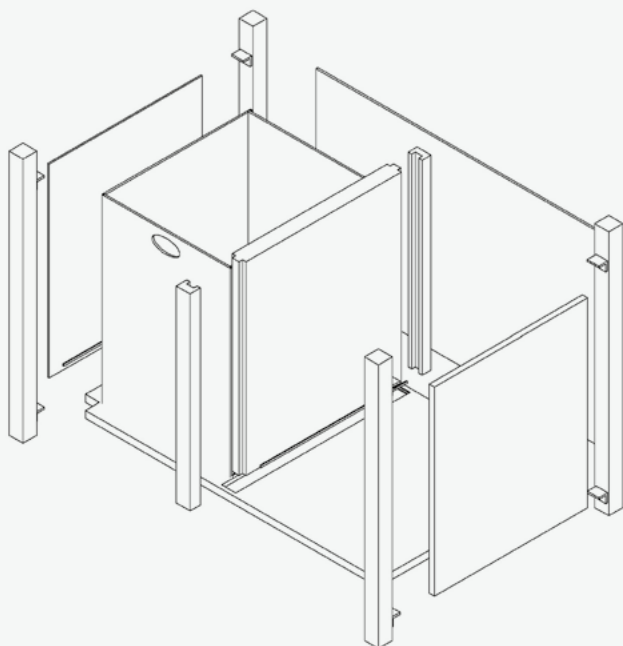
Einfacher effizient

Warum sollte ich mein Haus energetisch sanieren? Welche Maßnahmen machen Sinn? Energieberater*innen müssen sich nicht nur mit Maßnahmen auskennen, die Häuser und Wohnungen energieeffizienter machen, sondern deren Wert auch Eigentümer*innen verständlich machen. Um sie dabei zu unterstützen, entwickelt das Öko-Institut gemeinsam mit dem IREES – Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien für die Deutsche Energie-Agentur (dena) einen Praxisleitfaden. „Der Leitfaden übersetzt die zentralen Aspekte energetischer Sanierungen in verständliche Formate und widmet sich dabei konkreten Methoden und Gesprächsstrategien ebenso wie Praxisbeispielen“, sagt Katja Hünecke, Projektleiterin am Öko-Institut. Dies soll Entscheidungsprozesse erleichtern, Unsicherheiten abbauen und die Akzeptanz für Sanierungsmaßnahmen stärken – auch in heterogenen Wohnungseigentümergeinschaften. „Es gibt einen erheblichen Sanierungsstau im Gebäudebestand und eine sinkende Zahl neu installierter Heizsysteme“, so die stellvertretende Leiterin des Bereichs Energie & Klimaschutz. „Wir gehen davon aus, dass eine Ursache dafür in der Verunsicherung der Eigentümer*innen liegt, die gleichzeitig hohe Investitionskosten stemmen und sich mit komplexen rechtlichen Vorgaben auseinander setzen müssen.“

Das Projekt „Kommunikation in der Energieberatung“ sieht die Energieberatung in einer Schlüsselrolle. „Sie ist die zentrale Schnittstelle zwischen politischen Vorgaben, technischen Möglichkeiten und der praktischen Umsetzung. Es ist wichtig, dass im Kontakt mit den Eigentümer*innen Entscheidungsprozesse erläutert und die jeweiligen Bedürfnisse berücksichtigt werden.“ Hier setzt der Leitfaden an: Er stärkt die Kompetenzen der Energieberater*innen, adressatengerecht zu kommunizieren, zu informieren und zu beraten. „So können Unsicherheiten abgebaut und fundierte Entscheidungen getroffen werden, die dazu beitragen, die Sanierungsbereitschaft zu erhöhen.“ *cw*



Wärmewende in kleinen Kommunen



Mehr Ökodesign bei Möbeln

Umweltschonende Möbel, ob im Büro oder daheim – wie gelingt das? Daran arbeitet das Öko-Institut noch bis Juni 2028. Gemeinsam mit Trinomics, Ecoinnovazione, Fraunhofer IZM und VITO erarbeiten die Wissenschaftler*innen für die EU-Generaldirektion Umwelt eine Vorbereitungsstudie zu Möbeln. Diese prüft eine mögliche Regulierung im Rahmen der Ökodesign-Verordnung. Parallel dazu überarbeitet das Projektteam die Kriterien für das EU-Umweltzeichen für Möbel. „Wir untersuchen potenzielle Umweltverbesserungen für diese Produktgruppe auf dem europäischen Markt und betrachten dabei insbesondere Aspekte der Kreislaufwirtschaft wie Langlebigkeit, Reparierbarkeit und Recyclingfähigkeit“, sagt Projektleiter Daniel Hinchliffe. Ziele sind, mögliche regulatorische Maßnahmen abzuleiten und im nächsten Schritt eine Folgenabschätzung der Politikoptionen durchzuführen. „Unsere Analyse betrachtet nicht allein das ökologische Design, sondern befasst sich auch mit systemischen Ansätzen wie Rücknahme, Aufbereitung und Wiederverwendung“, so der Senior Researcher im Bereich Produkte & Stoffströme. *mas*

Wärmeplanung ist ein zentrales Instrument für die dringend notwendige Wärmewende – hunderte Kommunen in Deutschland haben diese daher bereits abgeschlossen. Für kleine Kommunen ist deren Umsetzung jedoch eine besondere Herausforderung. „Ursachen sind hier etwa die wenig spezialisierte Verwaltung, die oft nicht über eine eigene Klimaschutzstelle verfügt, finanzielle Engpässe, der Fachkräftemangel sowie das Fehlen eines Stadtwerks“, erklärt Tanja Kenkmann, Senior Researcher am Öko-Institut. Das Vorhaben „Umsetzung kommunaler Wärmeplanungen in kleinen Kommunen (KWIKK)“ will nun Gemeinden mit bis zu 15.000 Einwohner*innen unterstützen – das sind rund 91 Prozent der etwa 11.000 Städte und Gemeinden in Deutschland. „Wir analysieren Umsetzungshemmnisse und prüfen, wie sich diese überwinden lassen. Im gesamten Projekt binden wir relevante Akteur*innen ein. In den Kernarbeitspaketen entwickeln wir innovative sowie praxisnahe Maßnahmen, die von Partnerkommunen direkt erprobt werden können. Das können in dezentral versorgten Quartieren etwa die gemeinschaftliche Prüfung der Gebäudeeignung für Wärmepumpen und in Wärmenetzgebieten Geschäftsmodelle für den Bau und Netzbetrieb sein. Die Erprobung dieser Maßnahmen unterstützen wir mit innovativen Beteiligungsprozessen.“ Ziel von KWIKK ist es, übertragbare Lösungsansätze für die Umsetzung der Wärmeplanung in kleinen Kommunen zu schaffen und sie bundesweit nutzbar zu machen – durch wissenschaftliche Begleitung und Beteiligungsprozesse ebenso wie durch einen gezielten Wissenstransfer. „Ein Fokus liegt auch darauf, Akzeptanz herzustellen und die Menschen zum Mitmachen zu motivieren.“

Das Projekt wird gemeinsam mit neuland21, dem Fraunhofer ISI, den Gemeinden Ettenheim, Plön, Michendorf und Nordwestuckermark sowie dem Bürgerverein Barkauer Land durchgeführt. Es wird im Rahmen des 8. Energieforschungsprogramms vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördert und läuft bis November 2028. *cw*

Verfehlte Klimaziele

Zwei Prozentpunkte zu wenig bis 2030, acht Prozentpunkte fehlen bis 2040. Laut dem Projektionsbericht 2026 verfehlt Deutschland die im Bundes-Klimaschutzgesetz festgelegten Klimaziele. „Wir haben analysiert, wie sich die bestehenden klimapolitischen Instrumente bis 2050 auswirken“, erklärt Julia Repenning, Leiterin des Bereichs Energie & Klimaschutz. „Dabei zeigt sich, dass im Mit-Maßnahmen-Szenario, kurz MMS, die Emissionen bis 2030 im Vergleich zu 1990 um 63 statt um 65 Prozent und bis 2040 um 80 statt um 88 Prozent sinken.“ So kann die geforderte Treibhausgasneutralität bis 2045 nicht erreicht werden. „Dabei handelt es sich allerdings um Projektionen auf Grundlage von langfristigen, plausiblen Emissionsentwicklungen und nicht um Prognosen.“

Die Analyse widmet sich im Detail der Energiewirtschaft, der Industrie, dem Gebäudesektor, dem Verkehrssektor, der Landwirtschaft sowie der Abfallwirtschaft. „Eine positive Entwicklung zeigt sich im Energiesektor. Durch den Ausbau der erneuerbaren Energien erreicht er bis 2030 einen Großteil der Emissionsminderung und ist bereits 2028 nicht mehr der größte Emittent. Diese Rolle übernimmt laut unseren Projektionen etwa ab 2032 die Industrie. Und das obwohl hier die Emissionen bis 2030 um rund 60 Prozent sinken, vor allem wegen des EU-Emissionshandels“, erklärt Dr. Hannah Förster, Senior Researcher am Öko-Institut. Große Defizite gibt es im Gebäude- und im Verkehrssektor, es besteht bis 2030 eine Klimaschutzlücke von 110 beziehungsweise 187 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente. „Auch der Landnutzungssektor verfehlt seine Klimaziele deutlich, er bleibt mit 25 Millionen und 27 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente bis 2030 und 2045 eine Emissionsquelle. Ursachen sind hier die reduzierte Senkenleistung der Wälder und hohe Emissionen aus organischen Böden“, so die Gruppenleiterin Mitigation & Ökonomie.

Der Projektionsbericht wurde im Auftrag des Umweltbundesamtes gemeinsam mit Fraunhofer ISI, IREES, Prognos, M-Five, FfE und dem Thünen-Institut erstellt.

cw

Mobilitätsarmut in Europa

Täglich mit dem Bus zur Arbeit? Jedes Wochenende mit dem Zug zur Familie? Für einen erheblichen Teil der europäischen Bevölkerung ist das keine Option, wie die neue Studie „Access Denied: Transport Poverty in Europe“ des Öko-Instituts für Greenpeace Central and Eastern Europe zeigt. In etwa 90 Prozent der untersuchten Länder nutzt mehr als die Hälfte der Bevölkerung den öffentlichen Verkehr nicht regelmäßig. In Zypern, Italien und Portugal etwa steigen 72 bis 88 Prozent der Menschen nie oder weniger als einmal im Monat in Bus und Bahn, in Deutschland, Kroatien und Griechenland sind es 69 bis 72 Prozent. Deutlich geringer ist diese Quote mit 38 bis 54 Prozent etwa in Norwegen, der Schweiz und Tschechien. „Ein zentraler Grund hierfür ist, dass öffentliche Verkehrsmittel im Wohnumfeld der Bevölkerung einfach nicht ausreichend vorhanden sind – dies geben bis zu 56 Prozent der Befragten innerhalb der betrachteten Länder an. Bis zu 19 Prozent der Bevölkerung in den Ländern sind auf ein eigenes Auto angewiesen“, sagt Projektleiterin Nelly Unger. „Die Mobilitätsarmut trifft vor allem ältere Menschen, jene mit geringem Einkommen sowie Frauen.“ Neben der Verfügbarkeit spielen Kosten eine wichtige Rolle. „In einzelnen europäischen Ländern wie Deutschland, der Schweiz und den Niederlanden sind öffentliche Verkehrsmittel für bis zu sechs Prozent der Bevölkerung zu teuer. Bis zu 15 Prozent empfinden sie als starke finanzielle Belastung, nutzen sie aber trotzdem.“

Was also tun, um Mobilitätsarmut zu verringern? Die Analyse gibt zahlreiche Empfehlungen. „Wichtig sind bessere regionale Anbindungen, bedarfsgerechte Fahrpläne sowie eine dichtere Taktung, aber auch mehr Sicherheit und Barrierefreiheit“, erklärt die Wissenschaftlerin Dr. Viktoria Noka aus dem Bereich Energie & Klimaschutz. „Zusätzlich können auch finanzielle Entlastungen die Mobilität leichter zugänglich machen. Optionen sind hier etwa kostenfreie Angebote oder auch Sozialtickets, vor allem für vulnerable Gruppen.“

mas



Teilen und mobil sein

Eine Straßenumgestaltung und ein Mobilitätsnetzwerk in Stuttgart-Rot, ein Einkaufsshuttle und ein Parklet in Geislingen, ein Lastenrad-Sharing und ein sozialer Fahrdienst in Waldburg. Im Reallabor-Projekt MobiQ hat das Öko-Institut gemeinsam mit diesen Kommunen sowie der Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Geislingen-Nürtingen und der Hochschule für Technik Stuttgart diese und weitere Mobilitätsangebote unter Einbeziehung der Zivilgesellschaft geschaffen und verstetigt. Gefördert wurde dies vom Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg. „Im Mittelpunkt von MobiQ stand die Frage, wie Mobilität gemeinschaftlich nachhaltiger gestaltet und damit die Lebensqualität in der Nachbarschaft erhöht werden kann“, sagt Dr. Manuela Weber, Senior Researcher aus dem Bereich Ressourcen & Mobilität. „Ziel war es dabei, Lösungen zu entwickeln, die der Lebenswelt sowie den Bedürfnissen und alltäglichen Herausforderungen der Menschen entsprechen. Denn dann haben sie eine Chance, auf Dauer angelegt zu sein“, so Projektleiter Lukas Minnich. Die Evaluation der Angebote zeigt aber auch, dass es das Zusammenwirken von Ehrenamt mit der kommunalen Verwaltung braucht.

In der zweiten Förderphase hat das Projektteam zudem einen Seminarbaukasten für die Mobilitätswende vor Ort entwickelt. „Dieser versteht sich als Planungsformat für passgenaue Fortbildungen oder Workshops. Themen- und Inhaltskarten weisen notwendige Umsetzungsschritte zur Mobilitätswende vor Ort auf, Methodenkarten geben Anregung zu kreativen Formaten der Seminargestaltung“, so die Wissenschaftlerin. Dies kann und soll auch in Zukunft Initiativen und Engagierten dabei helfen, vielfältige Mobilitätsangebote umzusetzen – für die Menschen und fürs Klima. cw

Geparkte Wärme

Aquifere können uns beim Heizen helfen. Denn in diesen wasserführenden Gesteinsschichten lässt sich überschüssige Wärme „parken“ – in Form von Aquifer-Wärmespeichern (Aquifer Thermal Energy Storage, ATES). Im Projekt „Optimierte Integration thermischer Aquiferspeicher in Fernwärmesysteme“ (OptInAquiFer) hat das Öko-Institut gemeinsam mit Hamburg Institut Research (Leitung), der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, der Geothermie Neubrandenburg GmbH sowie drei Fernwärmenetzbetreibern analysiert, welchen Beitrag ATES zur Dekarbonisierung von Wärmenetzen leisten können. „Darüber hinaus haben wir das Potenzial von Aquiferspeichern im Norddeutschen Becken, im Oberrheingraben und im Molassebecken bewertet“, sagt Benjamin Köhler, Senior Researcher am Öko-Institut. „Das Modellgebiet in Augsburg eignet sich für ein verlustarmes Speichersystem, in Hamburg liegen die Vorteile bei einer effektiven direkten Nutzung der gespeicherten Wärme und in Freiburg bei einer hohen Energieumschlagrate.“ Die Analyse zeigt damit, dass es stets standortspezifische Lösungen braucht. „ATES können in der Fernwärme wirtschaftlich betrieben werden, selbst bei einem rein saisonalen Betrieb. Zusätzlich sinken mit Aquiferspeichern in den meisten Fällen die CO₂-Emissionen.“

Das Projektteam hat auch den regulatorischen Rahmen betrachtet, darin bestehende Lücken identifiziert und Hemmnisse für die Genehmigung von ATES-Vorhaben verdeutlicht. „Bereits im Lauf des Projektes hat das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie und schließlich der parlamentarische Gesetzgeber dies für einen Gesetzentwurf aufgegriffen, der die Technologie erstmals in das Fachrecht integriert“, so Köhler. Nicht zuletzt hat das Projektteam eine generalisierte Herangehensweise an die Umsetzung von ATES erstellt, um diese interessierten Fernwärmenetzbetreibern in Zukunft zu erleichtern. cw



(K)eine Zukunft für die Kernenergie?

Die Rolle der Atomkraft für das zukünftige Energiesystem

Da ist sie also wieder, die Kernenergie. Steht vor der Tür und sagt: Du brauchst mich doch. Ich kann Klimaschutz und Strom in großen Mengen. Es war nie eine gute Idee, mich abzuschalten. Doch ist das Stehaufmännchen der energiepolitischen Diskussion wirklich ein sinnvoller Beitrag, um das Klima zu schützen und die Strompreise bezahlbar zu halten?

Um diese Frage zu beantworten, haben wir für das Umweltbundesamt in der Lebenszyklusanalyse „Climate and environmental impact of nuclear power“ sowohl die CO₂-Emissionen der Kernenergie als auch ihre Kosten betrachtet. Das zentrale Ergebnis vorab: Sie ist nicht die Technologie, die uns dabei helfen wird, die Treibhausgasemissionen schnell, verlässlich und kosteneffizient zu senken. Da sind zum einen die Kosten, die in Europa für 2020 bei 15 bis rund 19 Cent pro Kilowattstunde (€ct/kWh) Strom liegen und damit über die gesamte Lebensdauer einer Anlage deutlich höher sind als bei erneuerbaren Energien. Bei Onshore-Windenergie etwa sprechen wir für 2020 über Kosten von etwa 2 bis 8 €ct/kWh, bei Photovoltaik sind es etwa 5 bis 15 €ct/kWh. Bis 2030 werden die Kosten für Strom aus Kernenergie noch einmal weiter steigen. So werden etwa für laufende Bauprojekte in Großbritannien bis zu diesem Zeitpunkt zwischen 26 und 36 €ct/kWh prognostiziert. Dies ist vor allem auf hohe Kapitalkosten, lange Bauzeiten und erhebliche finanzielle Risiken zurückzuführen. Alleine in den vergangenen Jahren lagen die Baukosten für neue Reaktoren in Europa und den USA zwischen 12 und 30 Milliarden Euro – pro Kernkraftwerk. Gleichzeitig wird die Stromerzeugung aus Kernkraft in Zukunft wohl nicht so zuverlässig sein, wie viele erwarten – sie wird etwa durch extreme Wetterereignisse und steigende Temperaturen beeinträchtigt, wie wir es auch in diesem Jahr wieder in Frankreich beobachten konnten, wo Reaktoren wegen extremer Hitze abgeschaltet wurden.

Das heißt auch: Erneuerbare Energien sind entscheidend für eine klimaneutrale Zukunft. In den von uns ausgewerteten Szenarien zur weltweiten Energieversorgung steigt ihr Anteil an der Stromerzeugung je nach Szenarioannahmen bis 2050 auf 70 bis 100 Prozent. Zum Vergleich: Die Kernenergie erreicht in diesem Zeitraum nur einen Anteil von null bis neun Prozent, dieser wird auch durch ambitionierte nationale Ausbaupläne nicht höher ausfallen. Für eine Verdreifachung der weltweiten Kernkraftkapazität, wie sie einige Staaten bis 2050 planen, bräuhete es bis dahin eine Netto-Stromkapazität von 1.160 Gigawatt. Im Durchschnitt müssten hierfür jährlich etwa 30 Gigawatt ans Netz gehen, ab sofort, jedes Jahr – ein unrealistischer Wert, wenn man sieht, dass in den vergangenen 75 Jahren gerade mal in fünf Jahren überhaupt mehr als 20 Gigawatt ans Netz gingen.

Zwar gehört die Kernenergie mit Emissionen von 5-15 g CO₂-Äquivalente pro Kilowattstunde tatsächlich zu den emissi-

onsarmen Technologien, doch ihre Emissionen können sehr unterschiedlich sein. Beeinflusst wird dies etwa von der Frage, ob Uranerze mit hohem Urangehalt eingesetzt werden oder welcher Strommix für den Anreicherungsprozess genutzt wird. Wird dieser etwa mit fossilem Strom durchgeführt, erhöhen sich die Treibhausgasemissionen deutlich. Die Klimabilanz der Kernenergie ist also auch eng mit der Kohlenstoffintensität des jeweiligen Energiesystems verbunden. Schließlich passen Atomkraftwerke auch nicht gut zu einem von Wind und Sonne geprägten Energiesystem, wie wir es bis 2050 haben werden. Für dieses brauchen wir Technologien, die mit ihnen harmonieren, also insbesondere flexibel und schnell abrufbar sind, wenn Wind oder Sonne nicht zur Verfügung stehen. Und das ist sicher nicht die Kernenergie, die schon aus ökonomischen Gründen auf eine hohe Auslastung angewiesen ist. Das sind ein kluges Management von Angebot und Nachfrage sowie ein Technologiemix, der vor allem auf Batteriespeicher und Gaskraftwerke setzt, die in Zukunft mit Wasserstoff betrieben werden, aber auch weitere Technologien wie etwa die Geothermie integriert.

Und auch, wenn dies kein umfangreicher Teil unserer aktuellen Analyse war, möchte ich außerdem noch betonen: Kernenergie ist auch aus anderen Gründen keine gute Idee. Das Unfallrisiko, das Problem der Entsorgung hochradioaktiver Abfälle und die Risiken der Nutzung der Technologie für Atomwaffen sind und bleiben die wichtigsten Argumente gegen eine langfristige Nutzung der Kernenergie.

Dr. Christoph Pistner



Dr. Christoph Pistner leitet am Öko-Institut den Bereich Nukleartechnik & Anlagensicherheit, darüber hinaus erstellt er unter anderem Gutachten und Stellungnahmen zur Technikfolgenabschätzung, dem kerntechnischen Regelwerk und der Anlagensicherheit. Darüber hinaus ist der Physiker unter anderem Vorstandsmitglied im Forschungsverbund Naturwissenschaft, Abrüstung und internationale Sicherheit (FONAS).

c.pistner@oeko.de



Mitgliederversammlung 2026: Abschied und Wahl des Vorstands

Am 27. Juni 2026 wurde in Berlin und digital die Mitgliederversammlung abgehalten. Wir begrüßen Manfred Schubnell als neues externes Vorstandsmitglied, der viele Jahre Arbeitsexpertise in der Finanzverwaltung in Baden-Württemberg mitbringt. Die drei externen Vorstandsmitglieder Prof. Dr. Lorenz Hilty, Bettina Lorz und Helmfried Meinel wurden bestätigt. Bettina Lorz übernimmt die Rolle der Vorstandssprecherin. Das Öko-Institut bedankt sich bei allen ehrenamtlich arbeitenden Mitgliedern des Vorstands für ihr wertvolles Engagement!

Neben dem Beschluss für den Haushalt 2026 und einer Einführung in den internationalen CO₂-Zertifikatehandel stand der Abschied von Dorothea Michaelsen-Friedlieb im Mittelpunkt.

Nach 30 Jahren ehrenamtlicher Vorstandsarbeit und den vergangenen 13 Jahren als Vorstandssprecherin ist Dorothea nicht mehr angetreten. In den 30 Jahren ist viel geschehen, das Institut hat sich verändert, neu aufgestellt und ist deutlich gewachsen. In allem hat Dorothea uns begleitet und mit wertvollem Rat unterstützt. Die Personalführung am Institut hat sie weiterentwickelt und in ihrer Zeit als Gleichstellungsbeauftragte sind wichtige Leitfäden wie der Code of Conduct entstanden. Unter den Mitarbeitenden wurde und wird Dorothea hoch geschätzt für ihre inklusive, empathische Art. Wir danken Dorothea für ihre langjährige Unterstützung und werden ihre vermittelnde, zupackende Art vermissen. Ihre Haltung, jederzeit alle Perspektiven zu bedenken, bleibt dem Institut erhalten. cwi

Wechsel in der Geschäftsführung

Der kaufmännische Geschäftsführer André Nelius ist Ende August aus der Geschäftsführung des Öko-Institut e.V. ausgeschieden. Wir danken ihm herzlich für die gute gemeinsame Arbeit in den vergangenen Jahren und nicht zuletzt für seine kompetente Unterstützung der Gremien des Instituts in allen betriebswirtschaftlichen Themen.

Als neues Mitglied der Geschäftsführung im Öko-Institut e.V. begrüßen wir Friedhelm Keimeyer, der als Leiter des Bereichs Umweltrecht & Governance zusätzlich Aufgaben in der Geschäftsführung übernimmt. cwi



Geht das eigentlich ... den Straßengüterverkehr elektrifizieren?

Der Straßengüterverkehr verursacht rund ein Drittel der Emissionen im Verkehrssektor, vor allem durch schwere Lkw im Fernverkehr.

Dabei ist Elektrifizierung technisch heute schon möglich. Knapp 3.000 schwere

Elektro-Lkw fahren bereits, das ist noch weniger als ein Prozent des Bestands, aber die Neuzulassungen nehmen stetig zu. Die Erfahrung in der Praxis zeigt: Wer E-Lkw einsetzt, bewertet sie überwiegend sehr positiv. Fahrer*innen schätzen die leisen und komfortablen Fahrzeuge. Gleichzeitig gibt es in der Breite der Branche noch große Vorbehalte – ein deutlicher „Erfahrungs-Gap“.

Wirtschaftlich ist die Technologie in vielen Anwendungen heute schon tragfähig, vor allem durch die Mautbefreiung von emissionsfreien Lkw und günstiges Depotladen. Der Angebotsmarkt entwickelt sich dynamisch, die Reichweiten steigen und neue Modelle erschließen zunehmend auch den

Fernverkehr. So liegen die größten Hürden nicht mehr bei der Fahrzeugtechnik, sondern bei Wissen und Infrastruktur. Viele Unternehmen unterschätzen die Wirtschaftlichkeit oder haben sich damit noch nicht beschäftigt. Damit ein schneller Umstieg gelingt, muss die Ladeinfrastruktur zügig ausgebaut werden, es braucht verlässliche politische Rahmenbedingungen und mehr Wissenstransfer in die Branche.



*Florian Hacker
Stellvertretender Leiter
des Institutsbereichs
Ressourcen & Mobilität*

VORSCHAU

Status Endlager

Schritt für Schritt auf dem Weg zum nuklearen Endlager. Seit 2020 arbeitet die Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE) daran, mögliche Standortregionen auf ihre Eignung zu prüfen. Bis Ende 2027 erarbeitet sie einen Vorschlag, welche von ihnen übertägig erkundet werden sollen. Gut die Hälfte der möglichen Flächen wurden bereits als gering geeignet oder ungeeignet klassifiziert, etwa ein Viertel der Bundesrepublik kommt derzeit noch für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle in Frage. In der nächsten Ausgabe der eco@work, die im Dezember 2026 erscheint, zeigen wir, wo das Verfahren jetzt steht. Wir befassen uns mit der Frage, was Zwischen- oder Endlager für eine Region bedeuten – nicht nur heute, sondern auch in Zukunft – und wie sichergestellt werden kann, dass notwendiges Wissen für die langen Zeiträume der Endlagerung bewahrt wird.



ECOMAIL
– der Newsletter
aus dem Öko-Institut

Monatlich kompakt informiert:
Jetzt abonnieren:
www.oeko.de/newsletter