DEN SCHLAFENDEN RIESEN WECKEN

Das DLR forscht für die Wärmewende

von Denise Nüssle

© DLR

Die Testanlage für Wärmespeicherung in Salzschmelzen (TESIS) des DLR-Instituts für Technische Thermodynamik in Köln ist die erste Forschungsanlage für Flüssigsalzspeicher und -technologie in diesem Maßstab in Deutschland. Hier kann die Industrie Komponenten zur Flüssigsalzspeicherung unter realen Einsatzbedingungen erproben.

In öffentlichen Diskussionen zum Thema Energiewende fristete der Bereich der nachhaltigen Wärme lange ein Schattendasein. Der Fokus lag auf Strom aus erneuerbaren Ressourcen und wie man ihn am besten in großen Mengen erzeugt und verteilt. Wer nicht zum Kreis der Häuslebauer und Renovierenden gehörte und sich deshalb zwangsläufig mit Heizungstechnik, Gebäudedämmung und Wärmepumpen beschäftigen musste, an dem ging das Thema „Wärmewende" oft vorbei – bis jetzt.

Aufgrund der unsicher gewordenen Versorgungslage, vor allem im Bereich von Erdgas, stehen Bürgerinnen und Bürger, Politik und Wirtschaft vor der Frage, wie industrielle Prozesse, die oft viel Wärme benötigen, am Laufen gehalten werden können. Gleiches gilt fürs Heizen öffentlicher wie privater Gebäude. Auch der politische und gesellschaftliche Konsens, dem globalen Klimawandel Einhalt zu gebieten, macht einen neuen Blick auf unsere Wärmeversorgung sowie nachhaltigere und teilweise komplett neue technologische Lösungen notwendig. Das DLR hat mit seiner Energiesystem-Analyse den Finger am Wärmepuls der Republik. Gleichzeitig forscht es gemeinsam mit Partnern aus Wissenschaft und Industrie an innovativen Technologien für klimafreundliche Wärme aus erneuerbaren Quellen und unterstützt Ausgründungsprojekte beim Start ins Unternehmensleben.

Ein Blick auf die Zahlen: ein Energieriese namens Wärme

Mehr als die Hälfte der in Deutschland verbrauchten Energie wird dafür verwendet, Wärme und Kälte herzustellen – einschließlich der Prozesswärme für Industrieprozesse. In diesem Zusammenhang entstehen auch 40 Prozent der energiebedingten CO_2-Emissionen. Auf Ebene der privaten Haushalte schlägt Wärme für Heizen und Warmwasser ebenfalls enorm zu Buche: Sie ist für rund 80 Prozent des Energieverbrauchs verantwortlich. Die finanzielle Belastung ist angesichts steigender Gaspreise in letzter Zeit enorm gewachsen.

„Im Vergleich zur ‚Stromwende' ist die Bilanz der ‚Wärmewende' allerdings bisher eher bescheiden", fasst Evelyn Sperber vom DLR-Institut für Vernetzte Energiesysteme zusammen. Sie arbeitet in der Abteilung Energiesystem-Analyse und erforscht die Wechselwirkungen zwischen der Wärmeversorgung von Gebäuden und der Stromversorgung der Zukunft. Der Anteil von Wärme aus erneuerbaren Energien liegt bei rund 15 Prozent. Der Löwenanteil stammt aus Biomasse, mit Holz als wichtigstem Energieträger. Biomasse ist allerdings nur begrenzt verfügbar, ist nicht unbedingt klimaneutral und ihr Anbau kann in Konkurrenz zur Erzeugung von Nahrungsmitteln stehen. Gebäude aller Art werden immer noch überwiegend mit fossilen Rohstoffen – also Erdgas oder Erdöl – und veralteten Anlagen geheizt. „Wenn es uns gelingt, Technologien für eine klimaschonende Wärmeversorgung intelligent mit dem durch Wind und Fotovoltaik geprägten Stromsektor zu verknüpfen, kann die Wärmewende einen immensen Beitrag für die Energiewende leisten", blickt DLR-Forscherin Sperber in die Zukunft.

Eine kleine Drohne erfasst Gebäude hinsichtlich ihrer geometrischen, bauphysikalischen, energetischen und funktionalen Eigenschaften.

„Wenn es uns gelingt, Technologien für eine klimaschonende Wärmeversorgung intelligent mit dem durch Wind und Fotovoltaik geprägten Stromsektor zu verknüpfen, kann die Wärmewende einen immensen Beitrag für die Energiewende leisten."

Evelyn Sperber

Energetische Gebäudesanierung: DLR-Know-how für Analyse und Bewertung

In Deutschland wird kontinuierlich weniger Wohnfläche abgerissen, als neu gebaut. Selbst wenn Neubauten keine CO_2-Emissionen verursachen würden, ließen sich die Emissionen insgesamt nicht wesentlich senken – und damit auch die gesetzlich verankerten Klimaziele nicht erreichen. Eine wichtige Stellschraube ist deshalb die energetische Sanierung von bereits existierenden Gebäuden. Doch aktuell sind die Sanierungsrate und die Sanierungstiefe in Deutschland zu gering. Eigentümer und Investoren scheuen die mit einer umfassenden Sanierung verbundenen, nur schwer kalkulierbaren Kosten und Risiken. Die Qualitätssicherung ist schwierig, weil objektive Prüftechnologien fehlen oder teuer und aufwändig sind.

Um das zu ändern, arbeitet das DLR mit einem interdisziplinären Team an einer ganzen Reihe von Technologien. Mit ihnen sollen sich Gebäude und Quartiere in Zukunft objektiv, schnell und kostengünstig analysieren und zu bewerten lassen. „Wir möchten eine präzise Grundlage für Planungs- und Bauunternehmen, Eigentümer und Investoren schaffen. Anhand dieser können sie die energetisch wie wirtschaftlich sinnvollen Sanierungsmaßnahmen ableiten und nach

© DLR

Die Forscherinnen und Forscher des DLR-Instituts für Vernetzte Energiesysteme entwickeln Modelle zur Kopplung des Wärmesektors mit dem Stromsektors.

Das Integrated Positioning System (IPS DLR OS) des DLR, hier getragen vom Boston Dynamics Roboterhund SPOT, misst die innere Gebäude- und Raumgeometrie.

Abschluss auch qualitativ überprüfen“, fasst Prof. Dr. Bernhard Hoffschmidt zusammen. Er leitet das DLR-Institut für Solarforschung und hat bereits mehrere Ausgründungen erfolgreich angestoßen, unterstützt und geleitet. Der Weg von der Forschung an solarthermischen Kraftwerken zur Gebäudeanalyse ist dabei gar nicht so weit, wie man vermutet: Hoffschmidts Institut hat beispielsweise ein Messsystem entwickelt, das an Bord einer kleinen Drohne den Zustand der oft riesengroßen Spiegelfelder solarthermischer Kraftwerke überwacht. Mit ähnlichen Ansätzen lassen sich in Zukunft auch Gebäude und ganze Stadtviertel analysieren und bewerten. „Das Wissen, die Technologien und die Erfahrung im Einsatz haben wir im DLR dazu größtenteils schon“, ist sich Bernhard Hoffschmidt sicher.

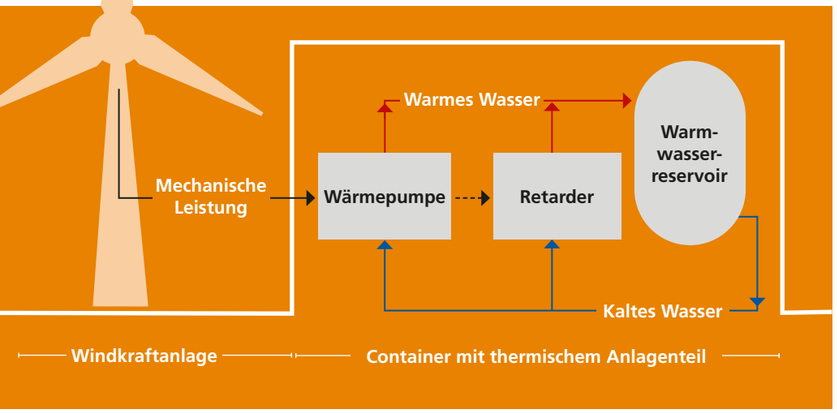
Einige Beispiele: Analysemethoden aus den Bereichen Erdbeobachtung, Sicherheits- und Energieforschung nutzen bereits Sensoren, die von Satelliten, Flugzeugen oder Drohnen aus automatisch Messungen vornehmen. Viele davon ließen sich anpassen und im Gebäudebereich einsetzen. Zudem testen DLR-Forschende ein spezielles Kamerasystem: Es ist huckepack auf einem Roboterhund unterwegs, kann die innere Geometrie von Räumen oder ganzen Gebäuden per 3D-Scan feststellen und außerdem Lücken und Löchern auf die Spur kommen. Radar und Radiometrie machen verborgene Wandstrukturen, wie Hohlräume, Kanäle und Schächte, sichtbar. Mit der Lumoview Building Analytics hat das DLR bereits die erste Ausgründung in diesem Bereich auf den Weg gebracht. Mit einem tragbaren 360-Grad-Infrarotkamerasystem und einer speziellen Software erstellt das Start-up dreidimensionale Gebäudemodelle. Die Aufnahmen zeigen auch die thermischen Eigenschaften. So lässt sich auf einen Blick erkennen, an welchen Stellen Außenwände am meisten Wärme verlieren oder wo es feuchte Stellen gibt. Das Ganze funktioniert in wenigen Minuten, einfach und ohne lange Einarbeitung.

Ob Quartiere, Gewerbe oder Industrie: Wärme vernetzt denken

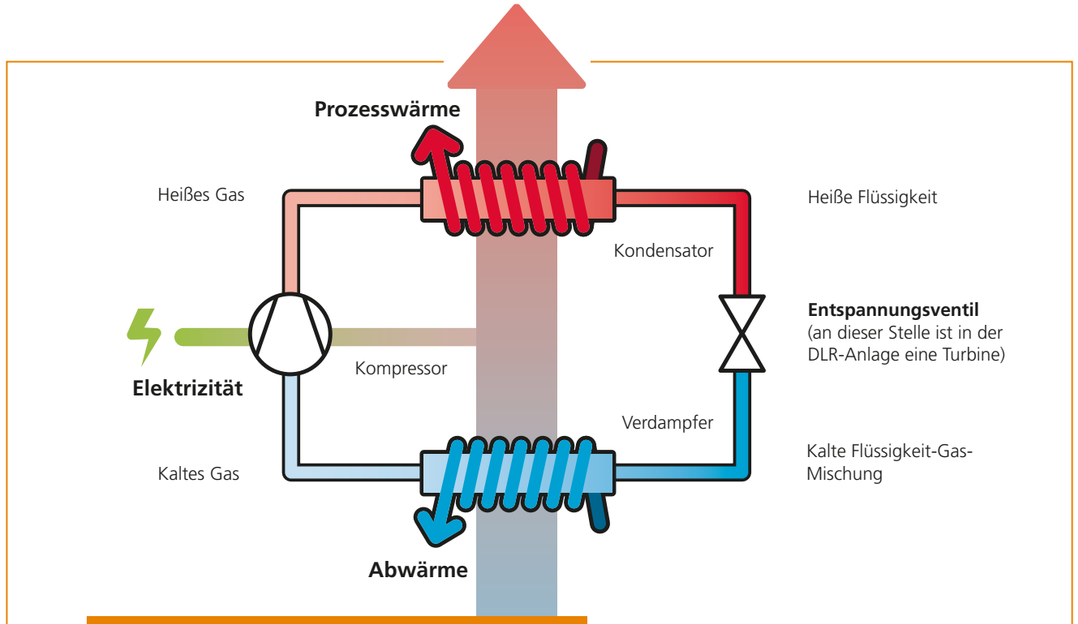
Für den Erfolg der Energiewende, muss auch der Wärmesektor vernetzter gedacht werden und vorhandene Ressourcen müssen besser und flexibler gemanagt werden – auf allen Ebenen und sektorenübergreifend. Das bedeutet, einzelne Gebäude im Kontext ihrer Umgebung zu betrachten und die Gebäudeklimatisierung mit Strom aus Fotovoltaik und thermischen Kollektoren zu koppeln. Abwärme aus Industrie und Gewerbe gilt es, dort, wo sie vorhanden ist, möglichst vor Ort effizient zu nutzen sowie die Wärmedämmung und den Ausbau des Wärmenetzes besser aufeinander abzustimmen. Die Bereiche Strom, Wärme, Industrie und Mobilität werden in Zukunft wesentlich enger miteinander gekoppelt sein. Im Forschungsprojekt Wärmewende Nordwest untersuchen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des DLR-Instituts für Vernetzte Energiesysteme gemeinsam mit Partnern zum Beispiel die Wärmewende in den Regionen Oldenburg und Bremen. Das Ziel ist dabei, den Wärmebedarf von Gebäuden, Quartieren, Gewerbe und Industrie transparent zu erfassen und zu optimieren. Sie entwickeln dazu ein bestehendes Simulationsmodell weiter, damit dieses zusätzlich zu den Stromflüssen auch die Wärmeflüsse sowie die Komponenten der Wärmenetze abbildet.

Zum Heizen und Speichern: Wärme direkt aus Wind erzeugen

Die Windenergie ist einer der Hauptpfeiler der Energiewende. Schon heute trägt sie rund 20 Prozent zur Stromerzeugung bei. Doch aus Wind lässt sich auch direkt Wärme erzeugen – ohne CO_2-Emissionen und damit klimafreundlich, relativ einfach und preiswert. Unter dem Stichwort Windthermie erforschen die DLR-Institute für Flugsystemtechnik, für Technische Thermodynamik und für Vernetzte Energiesysteme diese bisher wenig bekannte Technologie, ihr wirtschaftliches Potenzial sowie die Einsatzmöglichkeiten. Eine erste Testanlage gibt es bereits. Sie besteht aus einer kleinen Windenergieanlage und allen Komponenten zur Wärmeerzeugung in einem Container – ist also kompakt und transportabel. „Windthermie ist ein Ansatz, um den Wärmesektor zu dekarbonisieren und flexibler zu machen.



Windthermische Pilotanlage des DLR in Celle



Quelle: White Paper „Strengthening Industrial Heat Pump Innovation – Decarbonizing Industrial Heat“

WIE FUNKTIONIERT EINE WÄRMEPUMPE?

Wärmepumpen transportieren Wärme von einem Ort mit niedriger Temperatur zu einem Ort mit höherer Temperatur und umgekehrt. Meist erfolgt dieser Transport in einem geschlossenen System, in dem ein Wärmeträgermedium fließt. Wärme von kalt nach warm zu pumpen benötigt Energie in Form von Strom – und zwar umso mehr, je größer der Unterschied zwischen den Temperaturniveaus ist. Ein bekanntes Beispiel ist der Kühlschrank, bei dem eine Wärmepumpe die Wärme von innen nach außen befördert.

Der entscheidende Vorteil ist die direkte Erzeugung von Wärme. Bisher nutzt man zum Beispiel gerade nicht benötigten Strom aus Windkraft, um Wärme zu erzeugen und diese zu speichern. Dabei hat man einen Schritt mehr und entsprechend hohe Verluste bei der Umwandlung von Bewegungsenergie in Strom und dann erst Wärme“, beschreibt Projektleiter Malte Neumeier vom Institut für Flugsystemtechnik. Einsatzmöglichkeiten für Windthermie sehen die DLR-Forschenden überall dort, wo Wärme auf niedrigem und mittlerem Temperaturniveau bis rund 300 Grad Celsius benötigt wird. Dazu zählen Nah- und Fernwärmeversorgung von Gebäuden sowie viele Industrieprozesse.

Wärmepumpe XXL: nachhaltige Wärme für Industrieprozesse

Wärmepumpen werden eingesetzt, um zu kühlen oder zu heizen. Diese Prozesse benötigen Energie in Form von Strom. „Aktuell werden Wärmepumpen zu einer immer interessanteren technologischen Komponente – für private Haushalte wie für die Industrie. Denn sie sind ein Lösungsansatz, um den Wärmesektor zu elektrifizieren und damit Emissionen zu vermeiden – natürlich nur, wenn dabei der Strom aus erneuerbaren Quellen zum Einsatz kommt“, fasst Dr. Panagiotis Stathopoulos vom DLR-Institut für CO_2-arme Industrieprozesse zusammen und ergänzt: „Das liegt daran, dass Wärmepumpen ein Mehrfaches an Wärme pro verbrauchte Einheit Strom produzieren. Das ist deutlich effizienter als elektrische Heizer oder die Verbrennung von grünem Wasserstoff – besonders im Temperaturbereich bis 300 Grad Celsius. Allerdings handelt es sich bei Wärmepumpen um komplexe Systeme mit hohen Installationskosten.“

Dieser Prototyp einer speziellen Hochtemperatur-Wärmepumpe namens CoBra steht am DLR-Institut für CO_2-arme Industrieprozesse in Cottbus. Die Anlage kann Wärme und Kälte für Industrieprozesse im Demonstrationsmaßstab bereitstellen.

© DLR

Dr. Panagiotis Stathopoulos vom DLR-Institut für CO_2-arme Industrieprozesse an der CoBra-Anlage

Fürs Heizen von Gebäuden erforscht das DLR-Institut für Vernetzte Energiesysteme die „H2-ready-Technologie“. Langfristig könnte so auch Wasserstoff aus erneuerbaren Quellen direkt in Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerken zum Einsatz kommen.

Im Fokus der DLR-Forschungsarbeiten stehen vor allem sogenannte Hochtemperatur-Wärmepumpen. Sie sollen nachhaltige Wärme für Industrieprozesse bis zu 300 Grad Celsius bereitstellen, beispielsweise zum Trocknen oder Dampferzeugen. Mehr als 80 Prozent der Emissionen des Industriesektors stammen aus der Verbrennung von fossilen Rohstoffen, um Prozesswärme herzustellen. „Diese Technologie hat das Potenzial, ein Viertel der gesamten industriellen CO_2-Emissionen einzusparen. Die bisher erhältlichen Wärmepumpen können maximal Wärme bis 150 Grad zur Verfügung stellen. Wir schließen mit unseren Entwicklungsarbeiten also eine technologische Lücke und entwickeln vor allem die dafür benötigten Komponenten und Kreisprozesse“, beschreibt Panagiotis Stathopoulos. Dazu wollen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler vorhandene Abwärme bei möglichst hoher Temperatur nutzen.

„Diese Technologie hat das Potenzial, ein Viertel der gesamten industriellen CO_2-Emissionen einzusparen.“

Panagiotis Stathopoulos

Hierfür entstehen an den beiden DLR-Standorten Cottbus und Zittau einmalige Pilotanlagen: Der Prototyp CoBra wurde im September 2022 eingeweiht und arbeitet mit getrockneter Luft als Wärmeträger-Medium. Der Name CoBra setzt sich zusammen aus Cottbus, dem Standort der Anlage, und dem thermodynamischen Brayton-Prozess, der das Grundprinzip der Anlage beschreibt. Mit der Anlage wollen die Forschenden das Grundprinzip von Wärmepumpen im Hochtemperaturbereich demonstrieren. Neue Kompressionssysteme, die relativ hohe Temperaturen aushalten und ohne teure Materialien auskommen, sowie kompakte, effiziente und kostengünstig herzustellende Wärmeübertrager sind nächste Entwicklungsziele. Die zweite Pilotanlage soll nächstes Jahr in Zittau in Betrieb gehen. Sie basiert auf dem Rankine-Prozess, bei dem Wasser als Arbeitsflüssigkeit genutzt wird – der Brayton-Zyklus funktioniert mit Luft. Die Betriebsweise, also die richtige Temperatur und der richtige Druck zum richtigen Zeitpunkt, ist zentral in diesem Prozess, um Wärme sehr effizient auf ein höheres Temperaturniveau zu heben.

HABEN WIR EIN WÄRMEPROBLEM?

© DLR

Drei Fragen an Prof. Dr. Christian Sattler, Bereichsvorstandsmitglied Energie und Verkehr sowie Direktor des DLR-Instituts für Future Fuels

Warum war Wärme so lange aus dem Fokus geraten? Haben wir ein Wärmeproblem?

: Wir haben kein Wärmeproblem, sondern einen großen Wärmebedarf: sowohl zum Heizen von Gebäuden als auch zum Betrieb von Industrieprozessen. Das Problem sind die CO_2-Emissionen, weil Wärme hauptsächlich durch die Verbrennung fossiler Energieträger erzeugt wird. Ein weiterer Aspekt ist die Versorgungssicherheit.

Wie können Forschung und Technologie helfen?

: Indem sie beispielsweise effiziente Energiewandlungsprozesse und Speicher entwickeln, die erneuerbare Energie als Wärme bereitstellen, wann immer sie gebraucht wird.

Kann es ein wärmeautarkes Deutschland oder Europa geben?

: Das könnte es, aber es ist vielleicht nicht die beste Lösung. Wärme lässt sich anders als Strom oder Brennstoffe nicht beliebig weit transportieren und die Nutzung erneuerbarer Ressourcen zur Wärmeerzeugung erfordert viel Platz. Gerade in Ballungsräumen ist daher eine Sektorenkopplung notwendig, bei der neben Strom und Abwärme auch Reststoffe und gespeicherte Energie genutzt werden könnten. Und diese könnte dann auch aus anderen Regionen kommen, in denen mehr erneuerbare Energie pro Fläche verfügbar ist und somit effizienter gespeichert werden kann.

Heizen mit Kalk: von der Kunst (und der Wissenschaft) des Wärmespeicherns

Der Einsatz von Strom aus erneuerbaren Ressourcen zum Heizen beziehungsweise die Elektrifizierung der Wärmeerzeugung bietet die Möglichkeit, auch den Wärmesektor zu dekarbonisieren und dessen CO_2-Emissionen massiv zu senken. Da dieser Strom allerdings aufgrund von Wetterlage und Saison nicht immer in gleichem Umfang zur Verfügung steht, benötigt das Energiesystem der Zukunft auch Wärmespeicher.

In dem Reaktor wird das Kalkpulver erhitzt. Das Mischwerkzeug unterstützt die thermochemische Reaktion.

René Müller Photographie, Stuttgart

In dem ersten adaptiven Hochhaus der Welt, das Ende 2021 in Stuttgart eröffnete, soll der thermochemische Kalkspeicher ab 2023 unter realen Bedingungen getestet werden.

Im DLR-Institut für Technische Thermodynamik entwickeln Forscherinnen und Forscher neuartige Speicherlösungen auf Basis unterschiedlicher Materialien für einen Temperaturbereich von 100 bis 1.000 Grad Celsius und Speicherdauern von bis zu mehreren Monaten. Zum Einsatz kommen die unterschiedlichsten Speichermedien: von Flüssigkeiten wie geschmolzenem Salz oder Thermo-Öl über Druckluft bis hin zu Feststoffen wie Zement, Keramikpartikeln oder Kalk.

Wie man Gebäude mit einem Wärmespeicher aus gebranntem Kalk klimaneutral heizen kann, daran tüftelt ein Team um Dr. Marc Linder und Dr. Matthias Schmidt schon seit einigen Jahren – und das mit Erfolg: Aktuell testen die DLR-Forschenden gemeinsam mit der Universität Stuttgart eine Pilotanlage und bringen diese Technologie so zum ersten Mal und in größerem Maßstab außerhalb des Labors zum Einsatz. Um Wärme zu erzeugen, nutzen Kalkspeicher die chemische Reaktion von gebranntem Kalk und Wasser. Zunächst erhitzen sie Kalkpulver, sogenannten gelöschten Kalk, in einem Ofen auf über 450 Grad Celsius – mithilfe von Energie aus erneuerbaren Ressourcen. Dadurch entweicht das im Kalk gebundene Wasser und es entsteht gebrannter Kalk. Diesen kann man relativ einfach und über Monate verlustfrei einlagern. Benötigt man Wärme, gibt man zum gebrannten Kalk wieder Wasser dazu. Die beiden Stoffe reagieren und es entstehen wieder gelöschter Kalk sowie Temperaturen von über 100 Grad Celsius. „Die Heizleistung lässt sich durch die Kalk- und Wassermenge regeln“, erklärt Schmidt. „Wird der gelöschte Kalk wieder gebrannt, kann er erneut Energie speichern. Dieser Vorgang kann beliebig oft wiederholt werden.“ Im Sommer lassen sich mit diesem Prinzip erneuerbare Energien einspeichern und im Winter zum Heizen nutzen. Aus dem Betrieb der Pilotanlage wollen die Forschenden wichtige Erkenntnisse gewinnen, wie sich eine solche Heizung am besten regeln lässt, und so dem Einsatz in der Praxis näher kommen. Für private Haushalte wären Kalkspeicher vor allem interessant, weil Kalk sehr kostengünstig und in großen Mengen verfügbar ist. Auch ganze Wohnviertel ließen sich auf diese Weise versorgen – vielleicht bringt also der Tankwagen in naher Zukunft nicht mehr Öl zum Heizen, sondern ein Lkw einen Behälter mit Kalk.

Verschiedene Kalkproben

Denise Nüssle ist Presseredakteurin im DLR.