

03 Professor Dr. Thomas Thiemeyer,
PHOTO: *Tanja Schuller*

04 Professor Dr. Christoph Bareither,
PHOTO: *privat*

siert. Im Grunde entscheidet dann die KI, was als relevantes Wissen – und überhaupt fragbares Wissen – im Kontext des Gedenkens gilt. Da geben wir der KI eine Menge Autorität.

Sie wird Teil der Interaktion mit Zeitzeuginnen und -zeugen. Wir wollen auch solche Aspekte untersuchen und analysieren, was da überhaupt passiert.“

Nicht zuletzt beschäftigt das Forschungsteam, was die Gesellschaft bezüglich ihrer Haltung zur Vergangenheit verbindet. „Das Verhältnis zu einer gemeinsam geteilten Geschichte ist in Deutschland und Israel hochgradig politisch“, sagt Thiemeyer. „Vor dem Hintergrund, dass die Gesellschaft in Parallelöffentlichkeiten zerfällt, stellt sich auch die Frage, wie man eigentlich sicherstellt, dass wir noch von denselben Dingen sprechen und auf welches Erinnern wir uns noch verständigen können.“



brance”, as Thiemeyer calls them. “In Israel, for example, we observe differences between official remembrance, which in many areas is being exploited by the nationalist government, and informal remembrance practices, which consciously want to set themselves apart from it. For example, the initiative Zikaron BaSalon, ‘Remembrance in the living room’, in which people create private spaces for remembrance, physically and online.”

When AI affects remembrance

In addition to research on memorials and social media, researchers are also reflecting critically on the impact of new technologies. The team plans to collaborate with the USC Shoah Foundation’s “New Dimensions in Testimony program”. This program has been recording interviews with survivors of the Holocaust for years that live on as holograms. It already enables interactive encounters today: Students can ask a question, which is analyzed using artificial intelligence and a suitable interview excerpt is played. The aim is to create a fluid dialog with the virtual witnesses.

“This is a very exciting project, from a digital anthropological perspective,” says Bareither. “The Dimensions in Testimony project is using AI to find out what people are interested in. The AI determines what is considered relevant knowledge – and it has influence over what kind of questions can be asked in conversations with the virtual survivor. In the process, we are giving AI a lot of authority. We also want to investigate such aspects and analyze what is happening.”

Last but not least, the research team is concerned with what unites society in terms of its attitude to the past. “The relationship with a shared history is highly political in Germany and Israel,” says Thiemeyer. Amid debate on parallel publics, we also need to ask how we can ensure that we are still talking about the same things and on which aspects of remembrance we can agree upon.”

KÜNSTLICHE PHOTOSYNTHE SCHÜTZT DAS KLIMA

ARTIFICIAL PHOTOSYNTHESIS PROTECTS THE CLIMATE

TEXT Christoph Karcher
PHOTOS Valentin Marquardt

Kira Rehfeld und Matthias May erforschen, wie sich CO₂ mit Sonnenenergie in großem Maßstab aus der Atmosphäre entfernen lässt. Als Kohleflocken oder organische Minerale abgespeichert, soll diese über viele Jahrzehnte verwahrt werden.

Kira Rehfeld and Matthias May are investigating how to remove CO₂ from the atmosphere on a large scale using solar energy. By storing CO₂ as coal flakes or organic minerals, it could be preserved for many decades.



Wissenschaft vom Dach: Die Messstation des Geoforschungszentrums sammelt Daten über Sonneneinstrahlung, Niederschläge und Luftdruck.
Science on the roof: The measuring station at the Geoscience and Environmental Research Center collects data on solar radiation, precipitation and atmospheric pressure.

→ **Das Projekt** „Von der Ära der Zeugen zur digitalen Erinnerung: Neue Medien, Holocaust-Stätten und sich wandelnde Erinnerungspraktiken“ startete im März 2023 für eine Laufzeit von drei Jahren. Es wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen der Nahostkooperation gefördert.

→ **Beteiligt** sind das Institut für Empirische Kulturwissenschaft (LUI) der Universität Tübingen und die Ben Gurion University of the Negev. In Tübingen verbindet das Projekt drei Schwerpunkte des LUI: Erinnerungskultur, Museum und Digitale Anthropologie.

→ **Eine weitere Plattform** des Projekts ist das neue „Digital Anthropology Lab Tübingen“: Hier vernetzen sich Digitalanthropologinnen und -anthropologen aus ganz Europa und verbinden die Forschung unterschiedlicher Projekte

→ **The project** “From the Era of Witnesses to Digital Remembrance: New Media, Holocaust Sites, and Changing Memory Practices” launched in March 2023 for three years. It is funded by the German Research Foundation within the framework of Middle East cooperation.

→ **Participants** are the Ludwig Uhland Institute of Historical and Cultural Anthropology (LUI) of Tübingen University and the Ben Gurion University of the Negev. In Tübingen, the project combines three research interests of the LUI: Cultures of Remembrance, Museums and Digital Anthropology.

→ **Another platform** of the project is the new Digital Anthropology Lab Tübingen: Digital anthropologists network from all over Europe and collaborate on different research projects.

Handeln wir bei der CO₂-Reduzierung nicht schneller und konsequenter, werden wir Verfahren brauchen, die bereits ausgestoßenes Kohlendioxid wieder der Atmosphäre entziehen und als „negative Emissionen“ speichern. Das stellt der Weltklimarat IPCC in seinem Bericht 2022 fest.

Der Überbegriff für solche Verfahren ist Carbon Dioxide Removal (CDR). An einem neuartigen CDR-Ansatz wird derzeit an der Universität Tübingen gearbeitet. Kira Rehfeld vom Geo- und Umweltforschungszentrum (GUZ) und Matthias May, Gruppenleiter am Institut für Physikalische und Theoretische Chemie, experimentieren im Rahmen des Verbundprojekts NETPEC (siehe Infobox) mit künstlicher Photosynthese. Ziel ist es, das Potenzial dieses elektrochemischen Verfahrens für die Umwandlung von CO₂ aus der Atmosphäre in speicherbare Produkte zu untersuchen.

„Aus unserer Perspektive wird zu wenig an Ansätzen geforscht, die auf großer Skala funktionieren“, sagt May. Die Initialzündung für ihn und Rehfeld gab ein Vortrag zu negativen Emissionen, den die beiden als Postdocs in Cambridge hörten. „Der Redner zeigte drastisch auf, dass wir uns nicht auf negative Emissionen verlassen sollten, weil die bisher betrachteten Lösungen sehr problematisch sind“, berichtet Rehfeld. „Unsere Idee war daraufhin, dass wir vielleicht aus unseren jeweiligen Blickwinkeln das Lösungsspektrum erweitern können.“

2019 beschrieben sie zum ersten Mal ihren Ansatz, CO₂ mit künstlicher Photosynthese effizienter aus der Atmosphäre zu entfernen als es mit Pflanzen möglich ist. Heute leiten Rehfeld und May das NETPEC-Konsortium: Wissenschaftlerinnen

und Wissenschaftler aus sechs Institutionen untersuchen dabei alle Kernaspekte einer photoelektrochemischen Technologie zur CO₂-Bindung.

Natürliche Photosynthese stößt an ihre Grenzen

Die Nutzung natürlicher Photosynthese – die Biomasse aus Bäumen und Pflanzen mit dem darin gebundenen CO₂ zu ernten und den Kohlenstoff in den Boden einzubringen – stoße an Grenzen, erklärt May. „Wenn wir von einem mittleren vom IPCC skizzierten Szenario ausgehen, müssen wir ab 2050 jedes Jahr zehn Gigatonnen CO₂ aus der Atmosphäre entfernen. Um dies mit natürlicher Photosynthese anzustreben, müssten zehn Millionen Quadratkilometer für die Bewirtschaftung mit Pflanzenmasse reserviert werden; das entspricht einer Fläche von Europa bis zum Ural.“ Dieser gewaltige Flächenbedarf stünde in Konkurrenz zur Lebensmittelproduktion, ergänzt Rehfeld. „Dazu erwarten wir für die Zukunft an den meisten Orten der Welt längere Dürreperioden. Der Wasserbedarf dieser Pflanzen könnte also eventuell nicht gedeckt werden.“



01

Auch vorhandene technische Verfahren haben bislang Nachteile: Das „Enhanced Weathering“ – verkürzt gesagt eine künstliche Gesteinsverwitterung, bei der Kohlenstoffe gebunden werden – sei energieaufwendig und ineffizient, sagt May. Und bei „Direct Air Carbon Capture and Storage“, der Filterung von CO₂ aus der Luft und anschließenden Speicherung, gebe es Unwägbarkeiten. „Einerseits ist die Verpressung in Gasform teuer, andererseits ist die Dichte des Speichers über hunderte von Jahren fraglich.“



02

If we do not act faster and more consistently in reducing CO₂, we will need processes that remove already emitted carbon dioxide from the atmosphere and store it as “negative emissions”. This is stated by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) in its 2022 report.

The generic term for such processes is Carbon Dioxide Removal (CDR). A new CDR approach is currently being developed at the University of Tübingen. Kira Rehfeld from the Geoscience and Environmental Research Center (GUZ) and Matthias May, Institute of Physical and Theoretical Chemistry, are experimenting with artificial photosynthesis in the collaborative project NETPEC (see boxout). The aim is to investigate the potential of this electrochemical process for the conversion of CO₂ from the atmosphere into storable products.

“From our perspective, there is too little research on approaches that can work on a large scale,” says May. Both researchers were inspired by a lecture on negative emissions, which they attended as postdocs in Cambridge. “The speaker showed the urgency of not relying on negative emissions because the solutions considered so far are problematic,” says Rehfeld. “Our idea was to explore other possibilities for solving the problem.” Today, Rehfeld and May lead the NETPEC consortium, in which researchers from six institutions examine core aspects of photoelectrochemical technology for CO₂ binding.

01 Im Labor sucht das Team nach geeigneten Katalysatoren, die CO₂-Moleküle umwandeln können. In the laboratory, the team is looking for suitable catalysts that can convert CO₂ molecules.

02 In zahlreichen Durchläufen wird getestet, welche chemischen Produkte bei welcher elektrischen Spannung entstehen. Scientists test which chemical products are produced at which electrical voltage.

03 Um Lichtenergie für die Umwandlung von CO₂ zu nutzen, müssen die Eigenschaften der Photoelektronen noch besser erforscht werden, hier in simuliertem Sonnenlicht. To use light energy for the conversion of CO₂, the properties of photoelectrons must be better investigated better, here in simulated sunlight.

“**Um jedes Jahr zehn Gigatonnen CO₂ aus der Atmosphäre zu entfernen, müssten zehn Millionen Quadratkilometer für die Bewirtschaftung mit Pflanzenmasse reserviert werden; das entspricht einer Fläche von Europa bis zum Ural.**”

With natural photosynthesis, to remove ten gigatons of CO₂ from the atmosphere every year, ten million square kilometers would have to be reserved for cultivation with plant mass; this corresponds to an area from Europe to the Ural Mountains.

“

mass; this corresponds to an area from Europe to the Ural Mountains.” The enormous amount of land required would be in competition with food production and affected by prolonged drought periods that experts expect for the future worldwide. Existing technical processes also have disadvantages so far; they are often energy-intensive or too inefficient.

03



Natural photosynthesis reaches its limits

The use of natural photosynthesis – allowing trees and plants to grow, harvesting the biomass with the CO₂ bound in it and introducing the carbon into the soil – is reaching its limits, explains May. “If we assume the middle-of-the-road scenario outlined by the IPCC, we will have to remove ten gigatons of CO₂ from the atmosphere every year from 2050. With natural photosynthesis, ten million square kilometers would have to be reserved for cultivation with plant



CO₂ wird zu Kohleflocken

Vor diesem Hintergrund entwickelte das Forscher-Duo ein Konzept für künstliche Photosynthese. „Man kann die Energie des Lichts nutzen, um elektrochemisch Moleküle zu synthetisieren, also um beispielsweise Chemikalien herzustellen“, erklärt May. „So entstehen aus Sonnenenergie Wasserstoff, aber auch andere energiereiche Brennstoffe wie Methan oder Alkohole.“

Mit ihrem neuen Ansatz wollen sie die künstliche Photosynthese einsetzen, um CO₂ in ein Produkt umzuwandeln, das für mehrere hundert bis tausend Jahre gespeichert werden kann. Das Ganze, so die Vision, könnte in Modulen ähnlich einer Solarzelle ablaufen, in denen CO₂ aus der Umgebungsluft gefiltert, in einem elektrochemischen Prozess gelöst und hochkonzentriert abgeschieden wird.

Das Endprodukt wäre im Idealfall ein leicht speicherbarer Stoff wie Kohleflocken, die man etwa in leere Tagebauten einfüllen kann. Denkbar sind auch mineralische Oxalate, die oberflächennah gelagert werden könnten. Ein weiterer Vorteil sei der geringere Flächenbedarf dieser „künstlichen Bäume“ im Vergleich zum natürlichen Pendant: „Um zehn Gigatonnen CO₂ im Jahr aus der Atmosphäre zu entfernen, könnten etwa 30.000 Quadratkilometer ausreichen, etwa die Fläche Brandenburgs“, rechnen sie vor. Zudem würden die Anlagen kaum Wasser benötigen und könnten auch in Wüsten oder Gegenden ohne Landwirtschaft betrieben werden.

Emissionen reduzieren statt entfernen

Soweit ist das NETPEC-Projekt jedoch noch nicht. „Wir bewegen uns im Bereich der anwendungsorientierten Grundlagenforschung“, sagt Rehfeld. Derzeit verifiziert das Team in experimenteller Arbeit die theoretischen Grundlagen des Verfahrens und testet nötige Zwischenschritte und „Zutaten“. Im Labor sieht das so aus: Die Forscherinnen und Forscher sprudeln CO₂ aus einer Flasche in einen flüssigen Elektrolyten ein. Darin wird das CO₂ gelöst, und an zwei Elektroden, angetrieben von einer Solarzelle, läuft eine chemische Reaktion ab.

Sie analysieren die einzelnen Bausteine dieses Systems: Welches Produkt entsteht bei welcher Spannung mit welcher Elektrode? Welche Solarzellen erzeugen ausreichend Spannung? Wie reagiert das System auf äußere Parameter wie Temperatur und



04

Sonneneinstrahlung? Ein Knackpunkt ist hierbei die Suche nach geeigneten Katalysatoren, die das CO₂-Molekül umwandeln, etwa spezielle Metalle im Elektrolyten.

In dem interdisziplinären Verbund prüft unter anderem ein Team der TU Darmstadt die Speicherbarkeit möglicher Endprodukte, am Karlsruher KIT wird die Nachhaltigkeit des Ansatzes untersucht. „Wir treffen uns häufig und evaluieren laufend die einzelnen Schritte, um nicht in Sackgassen zu laufen“, sagt May.

Neben der technischen Machbarkeit sind gesellschaftliche Fragen zu klären: „Es hängt nicht nur von technischen Bedingungen und Naturgesetzen ab, ob es große Anlagen in Wüsten geben wird oder kleine dezentrale Module. Oder Standorte in alten Bergwerken, wo das Ganze Hand in Hand geht mit Energieproduktion und einer Weiterverarbeitung der kohlenstoffhaltigen Produkte“, sagt Rehfeld. „Auch politische Entscheidungen bestimmen die Entwicklungen.“ Ihre Arbeitsgruppe untersucht deshalb auch potenzielle Nutzungskonflikte.

Von einem sind beide überzeugt: Emissionen zu reduzieren ist jedem Verfahren vorzuziehen. „Je früher wir komplett aus kohlenstoffbasierten Brennstoffen aussteigen, desto harmonischer und kleinteiliger können technologische Lösungen integriert werden“, macht Rehfeld deutlich. „Je länger wir blind bleiben und je langsamer wir effiziente Lösungen erforschen, desto großtechnischer müssen die Anlagen sein und umso größer sind die Eingriffe, die es global braucht, um die Klimaziele zu erreichen.“

Ob ihre Forschung an einer High Risk/High Potential-Methode die Lösung bringt, können sie nicht versprechen. „Im Idealfall sind solche Technologien nicht nötig“, sagt May. „So wie es momentan aussieht, wird es aber nicht ohne sie gehen.“



05

04 Am Ende soll es möglich sein, ein Produkt herzustellen, in dem sich CO₂ für viele Jahre abspeichern lässt.

In the end, it should be possible to produce a product in which CO₂ can be stored for many years.

05 In einem spektroelektrochemischen Aufbau werden die Eigenschaften von Photoelektroden getestet: In photoelektrochemischen Solarmodulen sollen Sie später CO₂ in Speicherprodukte umwandeln.

The performance of photoelectrons is tested in a spectroelectrochemical setup: In photoelectrochemical solar modules, they will later convert CO₂ into storage products.

06 Professorin Dr. Kira Rehfeld

07 Dr. Matthias May

Turning CO₂ into coal

Taking up the challenge, the research team developed a concept for artificial photosynthesis. “We can use light to synthesize electrochemical molecules and produce chemicals,” says May. “In this way, solar energy can be used to produce hydrogen and other high-energy fuels such as methane or alcohols.”

With their new approach, the scientists want to use artificial photosynthesis to convert CO₂ into a product that can be stored for several hundred to thousands of years. They envision that the process could take place in modules like a solar cell, in which CO₂ is filtered out of the ambient air, dissolved in an electrochemical process and separated in a highly concentrated form.

Ideally, the end product would be an easily storable substance such as coal flakes, which can be filled into empty opencast mines. Mineral oxalates that could be stored near the surface are also conceivable. In addition to unproblematic final storage, another advantage is the small area required by these “artificial trees”: “To remove ten gigatons of CO₂ per year from the atmosphere, about 30,000 square kilometers could be enough, roughly the area of Brandenburg.” In addition, the modules would require hardly any water and could also be operated in deserts.

Reduce emissions instead of removing them

However, the NETPEC project is still in its early stages. “We are active in the field of application-oriented basic research,” says Rehfeld. Currently, NETPEC is verifying the theoretical method in experimental work and testing intermediate steps and components. In the laboratory it looks like this: The researchers inject CO₂ from a bottle into a liquid electrolyte, which dissolves the CO₂, and a chemical reaction takes place at two electrodes, driven by a solar cell.

The team analyses the individual components: Which product is produced at which voltage with which electrode? Which solar cells generate enough voltage? How does the system react to parameters such as temperature and solar radiation? An important bottleneck here is the search for suitable catalysts that convert the CO₂ molecule, such as special metals in the electrolyte.

In the interdisciplinary cooperation a team from TU Darmstadt is examining the storability of possible end products, while a team from the Karlsruhe Institute of Technology is investigating sustainability. In addition to technical feasibility, political issues need to be clarified: “Apart from technical requirements and natural laws, there are other factors that influence how we solve these problems and whether there will be large CO₂ removal plants in deserts or small decentralized modules. Or even sites at old mines, where the entire process includes energy production and further processing of carbon products,” says Rehfeld. “Political decisions will play an important role in determining further developments.” Their research team is therefore also investigating potential conflicts of use.

Overall, both researchers are convinced: Reducing emissions is preferable to any method. “The sooner we completely phase out carbon-based fuels, the easier it will be to integrate smaller scale solutions with a lower environmental impact,” says Rehfeld. They cannot promise whether their research on a high-risk/high-potential method will deliver a solution. “Ideally, such technologies are not necessary,” says May. “But the way it looks right now, we will certainly need them.”

06



07

→ **Das Verbundforschungsprojekt NETPEC** – Negative Emission Technologies based on PhotoElectro-Chemical Methods – wird vom Bundesforschungsministerium (BMBF) gefördert.

→ **Ziel** ist die Entwicklung hocheffizienter photoelektrochemischer Ansätze, mit denen sich CO₂ in leicht speicherbare, sichere und nachhaltige Stoffe umwandeln lässt. Begleitend werden Klimamodellierungen, geologische Reservoir-Untersuchungen und Nachhaltigkeitsanalysen durchgeführt.

→ **Das NETPEC-Konsortium** wird von Professorin Kira Rehfeld und Dr. Matthias May (beide Universität Tübingen) geleitet. Beteiligt sind das Karlsruher KIT, das Helmholtz-Zentrum Berlin, die Technische Universität Darmstadt, die Universität Stuttgart und die Universität Ulm.

→ **The collaborative research project NETPEC** – Negative Emission Technologies based on PhotoElectro-Chemical Methods – is funded by the Federal Ministry of Research (BMBF).

→ **The aim** is to develop highly efficient photoelectrochemical approaches that can be used to convert CO₂ into easily storable, safe and sustainable substances. This work includes climate modeling, geological reservoir investigations and analyzing sustainability.

→ **The NETPEC consortium** is led by Professor Kira Rehfeld and Dr. Matthias May (both University of Tübingen). The Karlsruhe Institute of Technology (KIT), the Helmholtz-Zentrum Berlin, the Technical University of Darmstadt, the University of Stuttgart and the University of Ulm are also involved in the project.