

# Klima Schutz Maßnahmen

**Kreislaufwirtschaft:**  
Stoffkreislauf für PET-Flaschen  
➔ Seite 9

**Ökobilanz:**  
Lebenszyklus von Gebäuden  
neu betrachten  
➔ Seite 14

**Agrar/Energie:**  
Wassermanagement einer  
Agri-Photovoltaik-Anlage  
➔ Seite 24





Mehr Ideen  
aus Hochschulen  
in Niedersachsen:  
[wissenhochn.de](http://wissenhochn.de)



## Inhalt

Technologie-Informationen 1 | 2024  
Klima – Schutz – Maßnahmen

- 3 Aktuelles
- 4 Luftfahrt – „Es gibt nicht die eine Silver Bullet, die das Klima rettet“
- 6 Synergien nutzen, um effizienter zu fliegen
- 7 Wieviel CO<sub>2</sub> steckt in der Wasserstoffbereitstellung?
- 8 Modellfabrik für Energie-Monitoring und Klimaschutz
- 9 Der (fast) perfekte Stoffkreislauf für PET-Flaschen
- 10 Mit Biokunststoffen und Mehrweg zu mehr Klimaschutz
- 11 Zentrum für Klimaforschung in Niedersachsen
- 12 Kreislaufwirtschaft im Betonbau
- 13 Bauteile aus Lehm – mit Roboter auf die Baustelle
- 14 Ökobilanz von Gebäuden – ganzen Lebenszyklus betrachten
- 15 Circular Design – neue Wege in Architektur und Städtebau
- 16 Nachhaltige Wirtschaft erfordert Mix aus Staat und Markt
- 17 Klimaanpassung verringert Risiken für Veranstaltungen
- 18 Risiken von Binnenhochwasser ganzheitlich managen
- 19 Naturbasierte Wasserreinigung mit Pflanzenkläranlagen
- 20 Seegraswiesen für den Klimaschutz
- 22 Gewässerschutz – Stoffstrombilanz in der Landwirtschaft
- 23 Bodenfeuchte messen, Wasser sparsam einsetzen
- 24 Wassermanagement unter einer Agri-Photovoltaik-Anlage
- 25 Kalk in landwirtschaftlichen Böden ist klimarelevant
- 26 Mischkulturen – mehr Nützlinge und weniger Schädlinge
- 27 Vertical Farming im Gewächshaus
- 28 Grünlandmanagement für mehr Biodiversität und Klimaresilienz
- 29 Moorlandschaften in Zukunft nachhaltig nutzen
- 30 5G-Technologie optimiert Wassermanagement

Die Technologietransferstellen der niedersächsischen Hochschulen erleichtern insbesondere kleinen und mittleren Unternehmen sowie öffentlichen Einrichtungen den Zugang zu Forschung und Entwicklung. Bei Fragen oder Kontaktwünschen wenden Sie sich bitte an die Transferstelle in Ihrer Region. Ihre Ansprechpersonen finden Sie auf der vorletzten Seite der Technologie-Informationen.



## Liebe Leserinnen und Leser,

im Winter 2023 hatten wir in Deutschland mit Dauerregen und Überschwemmungen zu kämpfen, während der Februar 2024 einen neuen Rekord aufstellte: Er war der heißeste Februar seit Beginn der Aufzeichnungen. Laut EU-Klimadienst Copernicus erreichten wir 2023 bereits mehr als zwölf Monate am Stück eine Erderwärmung von 1,5 Grad. Wir können es uns schon lange nicht mehr leisten, mit Rohstoffen verschwenderisch umzugehen, und wir haben die Verantwortung, auch unseren nachfolgenden Generationen eine lebenswerte Umwelt zu hinterlassen.

Der nachhaltige Umgang mit Ressourcen, ob Energie, Wasser, Boden, Material oder Emissionen, ist in allen Wirtschafts- und Lebensbereichen wichtig. Lange Zeit waren langlebige, wiederverwertbare Produkte bei Verbraucherinnen und Verbrauchern eher nicht gefragt – stattdessen erwarben sie Neuprodukte. Die Wirtschaft orientierte sich an Gewinnmaximierung, die Bauindustrie bevorzugte Neubauten, die Agrarindustrie steigerte die Produktion. Doch mittlerweile vollzieht sich ein Wandel, die Ideen der Kreislaufwirtschaft sind wieder hochaktuell. Die Fähigkeit, Vorhandenes zu bewahren, zu reparieren, anzupassen und weiter zu nutzen, wird heute wieder sehr geschätzt.

Eines lässt sich mit Sicherheit sagen: Die Herausforderungen im Umgang mit unseren Ressourcen und den Klimaveränderungen werden zunehmend komplexer. Wie schützen wir uns und unsere Lebensgrundlagen? Welche Maßnahmen müssen wir ergreifen? Lösungen im Themenfeld Klima – Schutz – Maßnahmen stellen Forscherinnen und Forscher aus Niedersachsen in der vorliegenden ti-Ausgabe vor.

**Dr.-Ing. Alexandra Pehlken**  
Expertin für Rohstoffe und Nachhaltigkeit  
OFFIS – Institut für Informatik



In Online-Präsenzen und Selbstlernphasen erarbeiten sich die Teilnehmenden praxisrelevante Kompetenzen zum Thema Nachhaltigkeit.

## Kreislaufwirtschaft und Nachhaltigkeitsberichte

### Berufsbegleitende Weiterbildung mit Zertifikat

Der Artenschwund an Land und die Wasserknappheit gehen zu jeweils 90 Prozent auf Abbau und Verarbeitung von Ressourcen zurück (Quelle: EU-Parlament 2023, Ecodesign Your Future). An diese Herausforderung knüpft das berufsbegleitende Online-Zertifikat **„Zirkuläres Wirtschaften“** der Leuphana Universität Lüneburg an. Es zielt auf eine konsequente Kreislaufwirtschaft ab, die Rohstoffe effizienter nutzt und wiederverwendet. Das Zertifikat führt in die grundlegenden Strategien ein, um zirkuläre Produkte und Dienstleistungen zu entwickeln und in neuen Geschäftsmodellen erfolgreich umzusetzen.

Von 2025 an sind rund 15.000 Unternehmen in Deutschland aufgrund von EU-Vorgaben dazu verpflichtet, umfassende Nachhaltigkeitsberichte zu veröffentlichen. Das berufsbegleitende Online-Zertifikat **„Sustainability Reporting and Accounting“** vermittelt das notwendige Wissen und Handwerkzeug in diesem hochaktuellen Themenfeld. Teilnehmende lernen, wie sie die positiven und negativen Nachhaltigkeitsauswirkungen ganzheitlich erfassen und ihre Unternehmen auf Kurs bringen können. Beide Zertifikate starten im Oktober 2024, Bewerbungsfrist ist der 31. Juli. Auch eine flexible Belegung von Einzelmodulen ist möglich.

### Leuphana Universität Lüneburg Professional School

- [csm-certificates@leuphana.de](mailto:csm-certificates@leuphana.de)
- <https://www.leuphana.de/professional-school/zertifikatsstudium-berufsbegleitend.html>

## Webtipp!

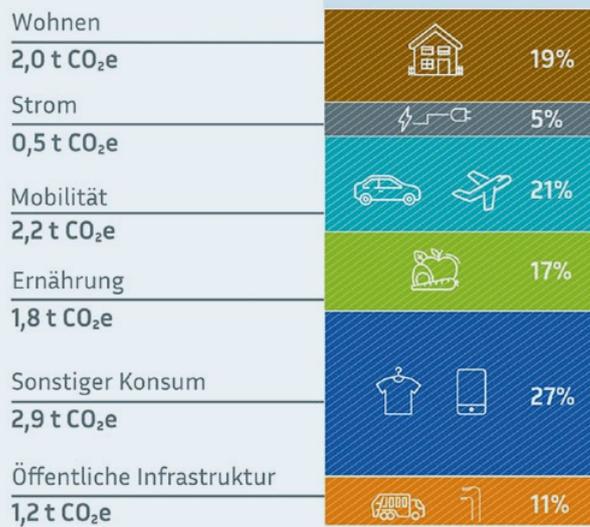
### Berechnen Sie Ihre eigene CO<sub>2</sub>-Bilanz

Im Web gibt es diverse Rechenmodelle, mit denen Sie Ihren individuellen ökologischen Fußabdruck ermitteln können. Die Fragen beziehen sich auf Ihr Verhalten bei Ernährung, Mobilität, Wohnen, Energie und Konsum. Als Ergebnis sehen Sie Ihren persönlichen CO<sub>2</sub>-Ausstoß im Jahr.

Sehr übersichtlich und nutzerfreundlich ist der WWF-Klimarechner. Hier erhalten Sie Zwischenergebnisse nach jeder Frage und Tipps, wie Sie Ihren CO<sub>2</sub>-Fußabdruck reduzieren können. Zudem gibt es Informationen für ein nachhaltigeres Leben, zur Ernährung und zum Energiesparen.

➔ <https://www.wwf.de/themen-projekte/klimaschutz/wwf-klimarechner>

## Durchschnittlicher CO<sub>2</sub>-Fußabdruck pro Kopf in Deutschland



CO<sub>2</sub>e: Die Effekte von unterschiedlichen Treibhausgasen (z.B. Methan) werden zu CO<sub>2</sub>-Äquivalenten umgerechnet und in die Berechnung einbezogen.

 Dieses Werk ist unter einer Creative Commons Lizenz vom Typ Namensnennung - Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International zugänglich.

Quelle: Umweltbundesamt CO<sub>2</sub>-Rechner (Stand 2023)  
© Kompetenzzentrum Nachhaltiger Konsum

# Luftfahrt – „Es gibt nicht die eine Silver Bullet, die das Klima rettet“

Das Exzellenzcluster „Nachhaltige und energieeffiziente Luftfahrtsysteme – SE2A“ hat das Ziel, die Grundlagen für eine Transformation im Luftverkehrssystem zu schaffen, um Emissionen deutlich zu reduzieren. Prof. Dr.-Ing. Jens Friedrichs, Cluster-Sprecher und Leiter des Instituts für Flugantriebe und Strömungsmaschinen der Technischen Universität Braunschweig, geht von einem radikalen Umbau des gesamten Flugverkehrs aus. Welche Lösungen zeichnen sich ab und wie kommt das Cluster international an? Der aktualisierte Auszug stammt aus dem Interview des Pressereferats vom September 2023.

## Was sind aktuell die größten Herausforderungen, vor denen das Cluster steht?

**Jens Friedrichs:** Der globale Luftverkehr hat inzwischen wieder das Vor-COVID-Niveau erreicht – viel früher als gedacht. Das macht meiner Ansicht nach deutlich, wie groß das Moment ist, die Luftfahrt in Richtung Nachhaltigkeit bewegen zu müssen. Offensichtlich regelt das Verbraucherbewusstsein nicht die Nachfrage. Es gibt sicher den Anspruch zu mehr Nachhaltigkeit, aber zu wenig Angebote. Die größte Herausforderung aktuell ist, dass die Zeit extrem drängt, wenn wir ab 2050 emissionsfrei fliegen wollen. Die neuen Technologien müssen in den nächsten fünf, höchstens zehn Jahren fertig werden, damit sie eine Chance haben, in den Markt zu kommen.

Im Cluster sind wir aus der Phase der breiten Grundlagenforschung zu den verschiedenen Treibstoffkandidaten in die nächste Phase der Down-Selection übergegangen: Wir forschen nun weiter an Sustainable Aviation Fuels (nachhaltige Flugkraftstoffe, Anm. d. Red.), Wasserstoff-Antrieben und am batterieelektrischen Fliegen sowie an der Frage, wie die optimalen Flugzeuge und die Verkehrsführung dafür aussehen müssen.

## „Es geht nicht nur um CO<sub>2</sub>-Emissionen, sondern um Klimaeffekte insgesamt.“

### Sie sind mit dem Cluster voll am Puls der Zeit. Wie denken Sie das Thema weiter, auch mit Blick auf eine Cluster-Fortsetzung ab 2025?

Wir werden Klimawirkungen noch stärker bewerten. Vor fünf Jahren stand noch sehr der Carbon Footprint im Mittelpunkt des Interesses. Heute hat sich die Erkenntnis durchgesetzt, dass es nicht nur um CO<sub>2</sub>-Emissionen geht, sondern um Klimaeffekte insgesamt. Auch Wasseremissionen von Wasserstoff-Antrieben können klimaschädlich sein, wenn

sie langlebige Kondensstreifen bilden. Um das zu untersuchen, bauen wir gerade eine Projektgruppe mit Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern auf.

Wir werden uns außerdem noch intensiver mit der Transition des Luftfahrtsystems auseinandersetzen. Wie soll es in 25 Jahren aussehen? Es geht um die Integrierbarkeit von neuen Lösungen in bestehende Flotten, ein graduelles Austauschen von gegenwärtigen Technologien gegen nachhaltigere – sozusagen ein Rollout im laufenden Betrieb. Für Fluggesellschaften, Flughäfen und die gesamte Infrastruktur ist der Austausch eines herkömmlichen Flugzeugs gegen ein Wasserstoff-Flugzeug eine Riesenrevolution. Die Auswirkungen sind gigantisch. Die Grundlagen für diesen nahtlosen Übergang müssen wir deutlicher fokussieren.

### Der Druck auf die Luftfahrtbranche wird immer größer, nachhaltige Technologien einzuführen. Bekommen Sie den auch zu spüren?

Auf uns kommen Flugzeug- und Triebwerkshersteller zu, denen man den großen Druck anmerkt: Es muss eine Entscheidung getroffen werden, welche Technologien in zehn Jahren in die Flugerprobung gehen soll. Auch von politischer Seite besteht Beratungsbedarf. Wir hatten gerade mehrere Workshops mit dem „Ausschuss für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung“ im Bundestag. Hier ging es um die Frage, welche politischen Rahmenbedingungen für Regel- und Anreizsysteme im Bereich der Klimaneutralität geschaffen werden müssen. Wozu wir überhaupt eine Energiewende in der Luftfahrt bräuchten, fragt heute keiner mehr.

Klar ist: Es gibt nicht die eine Silver Bullet, die das Klima rettet – es gibt verschiedene Technologien, die sich für verschiedene Segmente jeweils am besten eignen. Die Herausforderung liegt also nicht nur im eindimensionalen Wandel der Luftfahrt. Für Hersteller heißt es, dass sie auf mehrere Technologien wie alternative Kraftstoffe, Wasserstoff und elektrische Energie setzen müssen. Im Vergleich zu heute haben sie also quasi den dreifachen Technologie- und Investitionsaufwand. Das betrifft auch die Rahmenbedingungen.

## „Die absoluten Superbilligflüge gibt es nicht mehr.“

### Was wird sich für Passagiere und Passagierinnen ändern?

Die absoluten Superbilligflüge – zum Beispiel von einem innerdeutschen Flughafen an eine Mittelmeer-Touristenlocation – gibt es zukünftig nicht mehr. Das waren Preise zum Auffüllen der Kabine. Ich halte das für eine vernünftige Entwicklung. Wie stark sich die Preise verändern, hängt davon ab, wie stark die Nutzungsbereitschaft und Akzeptanz in Richtung Nachhaltigkeit umschaltet. Allgemein gesagt wird es keine radikalen Änderungen für Fluggäste geben. Was aber zum Beispiel eine Rolle spielen wird, ist die Frage, ob es noch Langstreckenflüge über mehr als 8.000 Kilometer geben wird, so wie wir sie heute kennen, das heißt sehr schnell und direkt. Das könnte für Fluggäste bedeuten, dass sie länger unterwegs sind und häufiger umsteigen müssten.

### Ist absehbar, welche Lösungen oder Szenarien, insbesondere bei den Antrieben, in den nächsten Jahren in Frage kommen?

Ganz klar Sustainable Aviation Fuels (SAF). Sie dienen zumindest als „Brückentechnologie“, bis wir neue Technologien fertiggestellt haben. Auf der Langstrecke werden diese Treibstoffe langfristig die Lösung bleiben; hier müssen wir die Produktionsroute klären, also welche Ausgangsstoffe und Produktionswege am nachhaltigsten sind. SAF ersetzen fossilen Flugzeugkraftstoff und werden zum Beispiel aus biologischen Rohstoffen wie Zucker, Altfetten, erneuerbarer Biomasse und Algen hergestellt oder eben voll-synthetisch produziert. Letzteres ist mit zusätzlichem CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre die nachhaltigste Variante – aber leider auch die teuerste. Außerdem ist SAF in allen Produktionsprozessen immer noch teurer als fossiles Kerosin.

Der zweite Energieträger ist Wasserstoff – entweder in der direkten Verbrennung in der Gasturbine oder in Form einer Brennstoffzelle. Diese beiden Varianten werden langfristig zusammen mit dem SAF mindestens 85 Prozent des Transportvolumens abdecken. Die Elektrofliegerei wird mittel- bis langfristig auch mit sehr optimistischen Annahmen nicht mehr als 10 bis 15 Prozent abdecken. Das Problem beim Batteriebetrieb ist, dass man kurze Strecken und geringe Lasten in Kauf nehmen muss.

## „Bei anderer Routenführung fallen die Auswirkungen auf das Klima geringer aus.“

### Sie gehen von einem radikalen Umbau des gesamten Flugverkehrssystems aus, um es fit für die Zukunft zu machen. Welche Maßnahmen sollten als erstes umgesetzt werden?

Zum Beispiel können bei anderer Routenführung die Auswirkungen auf das Klima merklich geringer ausfallen – und das bei denselben Emissionen. So werden sensible atmosphärische Gebiete umflogen und die Gefahr einer Wolkenbildung reduziert. Das kann technisch sofort umgesetzt werden. Tieferes Fliegen, alternative Routen und geringe

## Sustainable and Energy Efficient Aviation (SE<sup>2</sup>A)

Der Exzellenzcluster beschäftigt sich mit der Herausforderung, den zukünftigen Luftverkehr effizient zu gestalten und gleichzeitig den konkurrierenden Anforderungen an kontinuierliches Wachstum und ökologische Nachhaltigkeit gerecht zu werden.

An SE<sup>2</sup>A sind neben der TU Braunschweig das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt, die Leibniz Universität Hannover, die Hochschule für Bildende Künste Braunschweig und die Physikalisch-Technische Bundesanstalt beteiligt.

➔ [www.tu-braunschweig.de/se2a](http://www.tu-braunschweig.de/se2a)

Geschwindigkeiten gehen allerdings zu Lasten von vorher-sagbaren Reisezeiten und des Reisekomforts. Begrenzt wird die Umsetzung auch durch die Komplexität der Anschlüsse und Taktraten auf den Flughäfen.

### Wie ist die internationale Wahrnehmung des Clusters?

Wir führen intensive Kooperationen mit unseren Partnern in Frankreich, den Niederlanden und England. In Europa sind wir eine feste Größe, die Wahrnehmung des Exzellenzclusters ist sehr prominent. In Übersee haben wir gute Kontakte in die Community und sehr starken Austausch. Bemerkenswert ist, dass nicht überall die Einsicht in die Notwendigkeit und die Radikalität im Wandel der Luftfahrt so klar ist, wie wir es in Deutschland und Europa sehen.

Interview: János Krüger

### Technische Universität Braunschweig Institut für Flugantriebe und Strömungsmaschinen

→ Prof. Dr.-Ing. Jens Friedrichs

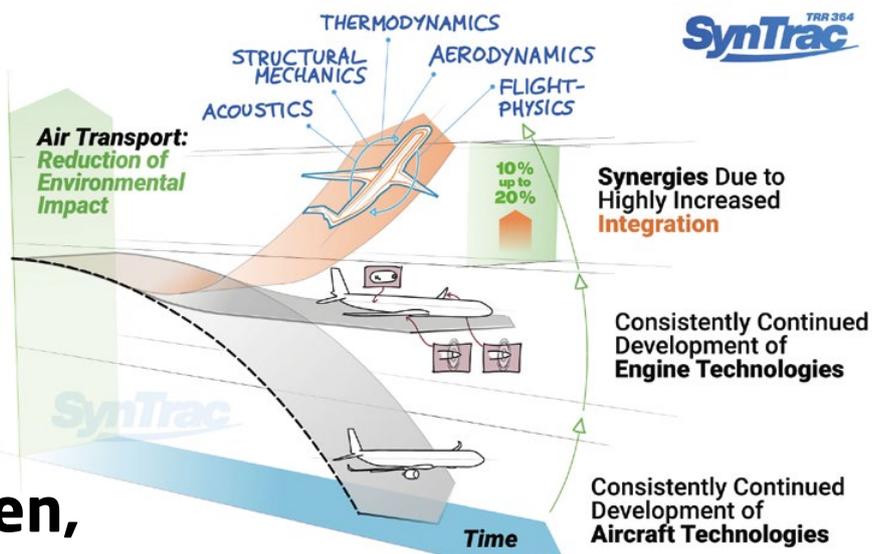
→ [j.friedrichs@ifas.tu-bs.de](mailto:j.friedrichs@ifas.tu-bs.de)

→ [www.tu-braunschweig.de/ifas](http://www.tu-braunschweig.de/ifas)



Prof. Dr.-Ing. Jens Friedrichs nimmt einen großen Druck auf die Luftfahrtbranche wahr, nachhaltige Technologien einzuführen.

SynTrac nutzt das einzigartige Potenzial der Hochintegration, um die Effizienz des Gesamtsystems Flugzeug in den nächsten zwölf Jahren erheblich zu steigern.

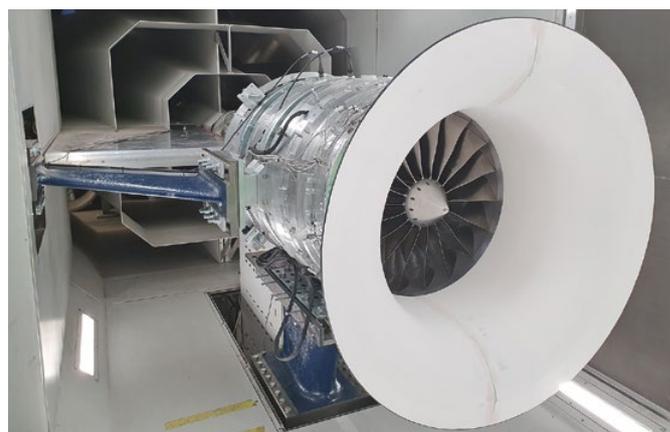


Forschung

# Synergien nutzen, um effizienter zu fliegen

Für einen klimaneutralen Luftverkehr müssen nicht nur Antriebe, sondern auch die Flugzeuge selbst optimiert werden. Integrierte Funktionen und Bauteile senken Gewicht, Größe und Energieverbrauch und steigern gleichzeitig Leistung und Effizienz. Doch wie groß sind diese Effekte wirklich? Welche Potenziale und Synergien ergeben sich bei hochintegrierten Flugzeugen? Die TU Braunschweig untersucht im Verbund des Sonderforschungsbereichs „SynTrac“ grundlegende physikalische Prozesse.

Energieverbrauch von Flugzeugen bis 2035 um 50 Prozent reduzieren – das ist das erklärte Ziel der EU. Im Sonderforschungsbereich/Transregio-Projekt „Synergies of Highly Integrated Transport Aircraft“ (SynTrac) suchen Forschende nun nach Wegen, um die Gesamteffizienz von Transportflugzeugen zu steigern. Hierbei loten sie die Synergien und Potenziale einer hochintegrierten Flugzeugentwicklung aus. In einer systemübergreifenden Sicht nutzen sie die Wechselwirkungen von Aerodynamik, Akustik, Flugphysik, Strukturmechanik und Thermodynamik für ihre innovativen Ansätze. Die Technische Universität Braunschweig (Federführung) arbeitet hier mit der Leibniz Universität Hannover, der Universität Stuttgart sowie dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) zusammen. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft fördert die Projekte.



Im Propulsor-Prüfstand untersucht das Institut für Flugantriebe und Strömungsmaschinen der TU Braunschweig zukünftige Triebwerke.

## Hohe Komplexität beim Entwurf von Bauteilen

Ein Schwerpunkt von SynTrac ist es, den Antrieb in die Flugzeugzelle und weitere Funktionen zu integrieren und dabei die Systeme zu optimieren. Aus diesem hohen Grad der Integration ergibt sich eine hohe Komplexität, zum Beispiel beim Entwurf von Bauteilen und bei der Konstruktion. Die disziplinübergreifenden Teams prüfen zunächst die wichtigsten voneinander abhängigen physikalischen Prozesse im Flugzeug, welchen Einfluss sie auf die Umwelt haben und wie gut sie sich integrieren lassen. Dann untersuchen sie, ob sich aus der Zusammenlegung von Funktionen neue Synergieeffekte ergeben und wie groß diese sind. Die Synergien werden etwa in der Flugzeugkonstruktion, der Akustik, der Aero- und Thermodynamik erwartet.

## Synergieeffekte und ihre Auswirkungen

Diese integrative Herangehensweise verändert vieles, allem voran benötigt sie neue Analysemethoden,

Entwurfswerkzeuge und Formen der interdisziplinären Zusammenarbeit. „Für die Nachhaltigkeit in der Luftfahrt ist es erforderlich, Kräfte zu bündeln und Potenziale auszuschöpfen“, sagt Prof. Dr.-Ing. Sabine C. Langer, Sprecherin des Sonderforschungsbereiches. Bevor die Forschenden also Bauteile, Funktionen und Prozesse aufwendig optimieren, müssen sie wissen, wie groß die Synergieeffekte sind und wie stark sie damit die Effizienz und Umweltverträglichkeit des Flugzeuges steigern können. Zugleich müssen sie die Auswirkungen auf wichtige Prozesse wie Aerodynamik, Flugdynamik, Handhabung, Steuerungszuordnung und Akustik bewerten.

## Technische Universität Braunschweig Institut für Akustik und Dynamik

- Prof. Dr.-Ing. Sabine C. Langer
- [inad-leitung@tu-braunschweig.de](mailto:inad-leitung@tu-braunschweig.de)
- [www.tu-braunschweig.de/inad](http://www.tu-braunschweig.de/inad)

# Wieviel CO<sub>2</sub> steckt in der Wasserstoffbereitstellung?



Wasserstoff gilt als Energieträger der Zukunft, doch der Energiebedarf zur Herstellung ist hoch. Werden hierfür fossile Energiequellen verwendet, schmälern CO<sub>2</sub>-Emissionen die Klimabilanz. Als nachhaltig gilt die Produktion von grünem Wasserstoff durch Wasserelektrolyse mithilfe erneuerbarer elektrischer Energie. Doch wie groß ist der Beitrag von Wasserstoff zum Klimaschutz? Die Bewertung der Nachhaltigkeit ist mit verschiedenen Methoden und Annahmen möglich und führt zu unterschiedlichen Ergebnissen.

Für Wasserstoff gibt es vielfältige Anwendungen. Die Herstellung ist am nachhaltigsten per Wasserelektrolyse und erneuerbarer Energiequellen.

**A**ktuell basiert praktisch die gesamte weltweite Wasserstoffproduktion auf fossilen Energieträgern, hauptsächlich auf Dampfreformierung von Erdgas und Kohlevergasung. Das verursacht hohe CO<sub>2</sub>-Emissionen. Der Anteil an emissionsarmer Wasserstoffherstellung durch Wasserelektrolyse war in den vergangenen drei Jahren geringer als ein Prozent der gesamten Produktionsmenge. Allerdings steigt die Produktion von grünem Wasserstoff weltweit an und kann somit zum Klimaschutz beitragen. Die Nachhaltigkeitsbewertung der Elektrolyse hängt dabei von verschiedenen Faktoren ab. Wie ist der Stand der Wissenschaft?

## Verschiedene Technologien und Berechnungsmodelle

Die mit der weltweiten Wasserstoffproduktion verbundenen Treibhausgasemissionen erreichten zuletzt mehr als 900 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente (kurz CO<sub>2</sub>e) pro Jahr. Im globalen Durchschnitt entstehen aktuell rund 10 Kilogramm CO<sub>2</sub>e pro Kilogramm Wasserstoff. Einzelne Angaben zur CO<sub>2</sub>e-Bilanz der Wasserstoffproduktion können deutlich von diesem Durchschnitt abweichen. Dies ist zum einen in den unterschiedlichen Technologien begründet, zum anderen im Berechnungsmodell. Die Berechnung einer CO<sub>2</sub>e-Bilanz unterliegt internationalen Standards (zum Beispiel ISO 14040, ISO 14067). Gleichzeitig können der technische, zeitliche und geografische Bilanzrahmen, Bezugsgrößen und

Annahmen in jedem Modell individuell definiert werden. Somit existieren nebeneinander ganz unterschiedliche Betrachtungen der potenziellen Klimawirkung mit entsprechend abweichenden Ergebnissen.

## Prozessenergie maßgeblich für Emissionen

Bei der Berechnung der Treibhausgasemissionen ist die Prozessenergie, die zur Herstellung des Wasserstoffs eingesetzt wird, maßgeblich. Daher bietet die Wasserelektrolyse, wenn sie mit fossil erzeugter elektrischer Energie (zum Beispiel beim aktuellen Strommix in Deutschland) betrieben wird, keinen Vorteil in Bezug auf den Klimaschutz. Werden hingegen die Elektrolyseprozesse zur Erzeugung von grünem Wasserstoff mit 100 Prozent erneuerbarer elektrischer Energie betrieben, können die Emissionen deutlich auf 0,5 bis 3 Kilogramm CO<sub>2</sub>e pro Kilogramm Wasserstoff gesenkt werden. Gegenstand der aktuellen Methodenentwicklung in der Nachhaltigkeitsbewertung sind eine weitere Vereinheitlichung der Kriterien, größere Transparenz sowie die Integration von Stoffkreisläufen, etwa die Herstellung der Anlagen.

## Technische Universität Clausthal Professur für Circular Economy Systems

→ Prof. Dr.-Ing. Christine Minke MBA  
→ [christine.minke@tu-clausthal.de](mailto:christine.minke@tu-clausthal.de)  
→ [www.ifad.tu-clausthal.de/circulareconomysystems](http://www.ifad.tu-clausthal.de/circulareconomysystems)



Prof. Dr.-Ing. Christine Minke (zweite von rechts) entwickelt mit ihrer Arbeitsgruppe Modelle zur Nachhaltigkeitsbewertung von Energietechnologien. Bei der Wasserstoffherstellung gibt es verschiedene Ergebnisse.



Praxis

## Modellfabrik für Energie-Monitoring und Klimaschutz

Wie lassen sich bei der Zuordnung und Verpackung von Medikamenten Energie- und Produktionskosten sparen? Anhand einer Modellfabrik und bunten Kugeln erproben Studierende das Energie-Monitoring.

Im Zeitalter der Industrie 4.0 avanciert das Energie-Monitoring zu einem unerlässlichen Instrument, um die Energieeffizienz zu steigern und Betriebskosten in Produktionsanlagen zu minimieren. Die Hochschule Hannover bildet Studierende mithilfe einer Modellfabrik praxisnah aus. Anhand dieser Produktionsanlage, die Medikamente autonom kommissioniert und verpackt, lernen sie das Energie- und Prozessmanagement umfassend kennen.

**K**limaschutz, Nachhaltigkeit und Kosteneinsparungen werden für Unternehmen vor dem Hintergrund stark steigender Energiekosten immer relevanter. Dafür benötigen sie kompetente Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, die den Energieverbrauch der Unternehmensprozesse erfassen und entsprechende Maßnahmen ergreifen können. In der autonomen Modellfabrik der Hochschule Hannover, die Medikamente Klinikpatienten individuell zuordnet und verpackt, können Studierende diese zentrale Technologie praxisnah erforschen. Die Studierenden lernen das technische Energiemanagementsystem (tEnMS) kennen und bearbeiten spezielle Aufgaben in Gruppen. Ziel ist es, den gesamten Kommissionierungsprozess der Medikamente zu realisieren.

### Energieflüsse in Echtzeit erfassen

Die Gruppe Energie-Monitoring hat zum Beispiel die Aufgabe, die Gesamtanlage mit acht vollautomatischen Stationen energetisch zu analysieren und zu überwachen. Dabei begutachtet sie den Verbrauch an elektrischer Energie und Druckluft während des Betriebs und in Ruhephasen. Mithilfe moderner Leistungsmessgeräte, SPS-Technologie und intelligenter Sensoren erfasst sie die Energieflüsse in Echtzeit und stellt sie zur Auswertung bereit. Anhand historischer Energieflüsse lassen sich Änderungen erkennen. Es folgen eine Plausibilitätsprüfung sowie Analysen der Wirkleistung und der Leistungsfaktoren. Anschließend erarbeiten die Studierenden potenzielle Maßnahmen zur Energieeffizienz. Sie bewerten und prüfen die Maßnahmen hinsichtlich Technik, Umsetzung sowie des besten Kosten-Nutzen-Faktors.

### Daten visualisieren und auswerten

Die Studierenden arbeiten mit professioneller Soft- und Hardware. Die Energiemanagementsoftware stellt die Energieflüsse transparent dar, identifiziert und quantifiziert die

Verbraucher. Die Netzvisualisierungssoftware GridVis 7.3 erleichtert die Konfiguration der Messpunkte, was für die Visualisierung und Bewertung der Energieeffizienz ausschlaggebend ist. Die Hardware-Komponenten (SENTRON PAC 5200, S7 1516 SPS-Systeme) erfassen physikalische Größen. Elektrische und pneumatische Daten erweisen sich als besonders aussagekräftig für die Energieeffizienz der Gesamtanlage. Die Modellfabrik bietet den Studierenden einen wichtigen Einblick in die Effizienzsteigerung von hochautomatisierten Produktionsanlagen und trägt maßgeblich zur praxisnahen Ausbildung künftiger Ingenieurinnen und Ingenieure bei.

### Hochschule Hannover

#### Fakultät I – Elektro- und Informationstechnik

- Prof. Dr.-Ing. Jens Christian Will
- jens-christian.will@hs-hannover.de
- Prof. Dr.-Ing. Joachim Imiela
- joachim.imiela@hs-hannover.de
- <https://f1.hs-hannover.de/forschung/modellfabrik>



Die Modellanlage ordnet die ärztlich zugewiesene Arznei für die Patienten in die individuellen Medikamentenschalen. Es folgen Verpackung, Kontrolle und Lagerung.

# Der (fast) perfekte Stoffkreislauf für PET-Flaschen



Einweggetränkeflaschen und sonstige Gebrauchsgegenstände aus PET (Polyethylenterephthalat) oder Textilien aus Polyester sind aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken. Ein entscheidender Nachteil des Materials ist jedoch, dass es nur sehr begrenzt recycelbar ist. Um das zu ändern, forschen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Technischen Universität Braunschweig an einem neuen Recyclingverfahren, das PET in seine Ausgangsstoffe zurückversetzt. So ließe sich der Stoffkreislauf nahezu komplett schließen.

In der Technikum-Anlage werden PET- oder Polyesterverbindungen in ihre Ursprungsmaterialien aufgetrennt und isoliert.

**K**unststoffe wie PET werden zum Recycling normalerweise zu Flakes zerkleinert und dann in neues PET eingearbeitet. Auf diese Weise werden zum Beispiel Getränkeflaschen oder Textilien mit Recyclinganteil hergestellt. Dabei gibt es zwei entscheidende Nachteile: Zum einen funktioniert dieses Verfahren nur mit sortenreinen Kunststoffen. Kunststoffverbunde wie etwa PET/PE-Schalen (PE = Polyethylen) oder eingefärbte Kunststoffe scheiden für dieses Recyclingverfahren aus, da andere Polymere oder Farbpartikel nicht abgetrennt werden können. Zum anderen verkürzen sich durch das mechanische Recycling die Polymerketten. „Eine PET-Flasche kann mit diesem Verfahren bis zu achtmal recycelt werden. Danach wird sie verbrannt und geht dem Wertstoffkreislauf verloren“, erklärt Prof. Dr.-Ing. Stephan Scholl.

## PET in seine Grundkomponenten rückführen

Um den Stoffkreislauf zu schließen, hat seine Arbeitsgruppe am Institut für Chemische und Thermische Verfahrenstechnik der TU Braunschweig ein neues Verfahren entwickelt, das Kunststoffe wie PET in seine Ursprungsmaterialien zurückversetzt. Hierbei werden zerkleinerte und gewaschene Kunststoff-Flakes in einem Extruder depolymerisiert. Es entsteht eine teigartige Masse, die anschließend in Wasser gelöst wird. Die Wertkomponenten Monoethylenglykol und Dinatriumterephthalat sind vollständig im Wasser löslich, nicht lösliche Verunreinigungen wie Farbpartikel oder Fremdpolymere lassen sich herausfiltern. Durch Zugabe einer Säure (zum Beispiel Schwefelsäure) zur wässrigen Lösung bildet sich

Terephthalsäure, welche dabei als Feststoff ausfällt. Die Monomere Ethylenglykol und Terephthalsäure lassen sich nun einfach vom Wasser trennen, um daraus von neuem PET herzustellen.

## Hohe Ressourceneffizienz, vielfältig übertragbar

Im Gegensatz zum Recycling mit zerkleinerten PET-Flakes kann die neue Methode beliebig oft wiederholt werden. Sie ist sehr klimafreundlich und mit bis zu vier Stunden Prozesszeit ähnlich schnell wie der herkömmliche Recyclingprozess. „Mit nur drei bis fünf Prozent Materialverlust sind wir auf dem Weg zu einem fast perfekten Stoffkreislauf“, resümiert Stephan Scholl. Auch die Investitionen und Betriebskosten schätzt der Verfahrenstechniker kaum höher ein als für eine mechanische PET-Recycling-Anlage. Das neue Verfahren wird bereits in einer Technikum-Anlage zusammen mit dem Partner RITTEC 8.0 Umwelttechnik GmbH und Kunden im kleinen Maßstab umgesetzt und soll weiter automatisiert werden. Schon jetzt steht fest, dass alle Polykondensate auf diese Weise recycelbar sind – somit auch Kleidung. Dabei testet das Forschungsteam vor allem Mischgewebe, zum Beispiel Polyester mit Baumwolle oder mit Elasthan, auf ihre Recycelbarkeit. Mit Partnern in Brasilien, Thailand und Ghana wird die Übertragbarkeit der Technologie in den globalen Süden evaluiert.

## Technische Universität Braunschweig Institut für Chemische und Thermische Verfahrenstechnik

- Prof. Dr.-Ing. Stephan Scholl
- [s.scholl@tu-braunschweig.de](mailto:s.scholl@tu-braunschweig.de)
- [www.tu-braunschweig.de/ictv](http://www.tu-braunschweig.de/ictv)



Abfall oder recycelbarer Rohstoff? Ein an der TU Braunschweig entwickeltes Recyclingverfahren versetzt PET-Müll in seine Ausgangsstoffe zurück und schließt so den Stoffkreislauf nahezu perfekt.



Praxis

## Mit Biokunststoffen und Mehrweg zu mehr Klimaschutz

An der Hochschule Hannover ist die Mehrwegschale und der Pieker für Pommes und Currywurst produziert worden. Mehrweg verringert die CO<sub>2</sub>-Belastung und Müll in der Umwelt.

Der Bedarf an Kunststoffen und vor allem die weltweite Umweltverschmutzung durch Plastikmüll verschärfen sich stetig. Eine zukunftsfähige Kreislaufwirtschaft und ein nachhaltigerer Umgang mit Kunststoffen bieten Wege aus der Plastikkrise. Welche Rolle können Biokunststoffe dabei spielen? Welche Vorteile und welches Potenzial bieten sie? Ein wissenschaftliches Team der Hochschule Hannover entwickelt neue Materialien und Mehrwegprodukte und erforscht die Auswirkungen auf den Klimaschutz.

**A**ngaben des WWF zufolge gelangen jedes Jahr 4,8 bis 12,7 Millionen Tonnen Plastik in die Meere – mit schwerwiegenden Folgen für die Umwelt, Tiere und Menschen. Lösungen müssen her – und genau daran arbeitet das IfBB – Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe an der Hochschule Hannover. Diese Ansätze zählen zu den Kernforschungsthemen:

- Einwegartikel reduzieren,
- Recyclingquote für eine Kreislaufwirtschaft erhöhen,
- Erforschung und Förderung innovativer, alternativer Einsatzmaterialien wie beispielsweise Biokunststoffe sowie deren Nachhaltigkeitsbewertung.

Anhand konkreter Anwendungen zeigt die Wissenschaftlerin Dr. Lisa Mundzeck viele Vorteile auf.

### Mehrwegprodukte verringern Müll und Emissionen

Aktuell ist das IfBB an der Entwicklung von Mehrweggeschirr für die Landeshauptstadt Hannover beteiligt: Im August 2023 stellte der Kooperationspartner Stadtreinigung Hannover eine Mehrwegschale für Pommes und Currywurst mit passendem Pieker vor. Nach der erfolgreichen Einführung des Mehrwegbechers „Hannoccino“ 2017 werden die neuen Geschirteile zunächst testweise in der Gastronomie der Innenstadt ausgegeben. Bei Erfolg soll der Einsatz in der gesamten Stadt erfolgen. Die Testreihe wird vom Land Niedersachsen und von der NBank gefördert. „Die Mehrwegschale und der Pieker, die wir produziert haben, sind derzeit noch aus petrobasiertem Kunststoff“, berichtet Lisa Mundzeck. „Doch im Vergleich zu Einwegprodukten leistet Mehrweg einen wichtigen Beitrag zur Kreislaufwirtschaft, verringert die CO<sub>2</sub>-Belastung und Müll in der Umwelt.“

## Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen

Hier schließt sich die Frage an, inwiefern biobasierte Kunststoffe zum Klimaschutz beitragen. „Eine grundsätzliche Aussage dazu, ob Biokunststoffe umweltfreundlicher sind als fossilbasierte, lässt sich nicht treffen“, erklärt Lisa Mundzeck. „Es hängt vielmehr von der konkreten Anwendung ab.“ Für Biokunststoffe spricht aber generell, dass die Nutzung nachwachsender Rohstoffe die begrenzten Erdölvorräte schont. Im Vergleich zu erdölbasierten Kunststoffen entsteht bei der Verbrennung oder Kompostierung von Biokunststoffen weniger CO<sub>2</sub>. Außerdem lassen sich Biokunststoffe aus Reststoffen herstellen, um Agrarrohstoffe zu vermeiden, und recyceln. Gegen die Umweltverschmutzung stellen auch abbaubare Kunststoffe in bestimmten Anwendungen einen Zusatznutzen dar, beispielsweise Mulchfolien, medizinisches Nahtmaterial oder Fischereinetze, deren Verlust im Meer unvermeidlich ist.

## Offene Fragen erforschen und diskutieren

Komplex wie die biobasierten Kunststoffe sind die übergeordneten Forschungsfragen. Diese thematisierte das IfBB bei der Klimakonferenz „LCOY!“, der größten Jugend-Klimakonferenz Europas, im Oktober 2023 in München. Können Biokunststoffe dazu beitragen, das Plastikproblem zu lösen? Ist „bio“ automatisch „grün“? Welche Vor- und Nachteile bietet ihr Einsatz? Diese Fragen haben die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus Hannover mit den Teilnehmenden im Workshop „Plastic fantastic: Biokunststoffe als ressourcenschonende und kreislauffähige Materialien?“ diskutiert.

### Hochschule Hannover IfBB – Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe

- Dr. Lisa Mundzeck
- [lisa.mundzeck@hs-hannover.de](mailto:lisa.mundzeck@hs-hannover.de)
- [www.ifbb-hannover.de/de/](http://www.ifbb-hannover.de/de/)



Auch Reststoffe wie beispielsweise getrocknete Spargelschalen können für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe genutzt werden.

[Mehr Ideen unter wissenhochn.de](https://www.wissenhochn.de)



Das Zukunftslabor erforscht beispielsweise im Harz Auswirkungen des Klimawandels auf das Ökosystem Wald.

Forschung

## Zentrum für Klimaforschung in Niedersachsen

Steigende Temperaturen, Trockenperioden, Starkregenereignisse – um die Forschung zum Klimawandel und dessen Folgen entscheidend voranzubringen, nahm das Zentrum Klimaforschung Niedersachsen (ZKfN) im April 2023 seine Arbeit auf. Interdisziplinäre Teams erarbeiten in themenspezifischen Zukunftslaboren Lösungen für eine sichere und gerechte Klimazukunft. Die Geschäftsstelle sitzt an der Technischen Universität Braunschweig und koordiniert alle Aktivitäten.

Die ersten Zukunftslabore legen den Fokus auf „Klimagerechte Stadtentwicklung und Raumplanung“ sowie „Auswirkungen des Klimawandels auf das Ökosystem Wald“. Weitere werden folgen. Interdisziplinäre und standortübergreifende Forschungsteams aus Wissenschaft und Praxis erforschen klimaspezifische Fragestellungen in verschiedenen Lebens- und Gesellschaftsbereichen. „Ziel der Labore ist es, nachhaltig konzipierte Lösungen für die Herausforderungen des Klimawandels zu entwickeln und ein Netzwerk aus Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft zu den Themen der Klimafolgenforschung zu bilden“, erklärt ZKfN-Geschäftsführerin Katharina Zickwolf.

Die Zukunftslabore werden über sechs Jahre mit jeweils bis zu fünf Millionen Euro aus dem Förderprogramm [zukunft.niedersachsen](https://www.zukunft.niedersachsen.de) des Niedersächsischen Ministeriums für Wissenschaft und Kultur und der VolkswagenStiftung gefördert. Aufgabe der Geschäftsstelle ist es, das Netzwerk zu ähnlichen Institutionen im Bereich Klima- und Klimafolgenforschung auszubauen, die Öffentlichkeit zu informieren sowie Transferformate zur Wissenschaftskommunikation und zum gesellschaftlichen Diskurs zu entwickeln. Ausschreibungen für weitere Zukunftslabore sind aktuell in Vorbereitung.

### Technische Universität Braunschweig Zentrum Klimaforschung Niedersachsen (ZKfN)

- Mark-Frederik Winter
- [m.winter@tu-braunschweig.de](mailto:m.winter@tu-braunschweig.de)
- [www.tu-braunschweig.de/zkfn](http://www.tu-braunschweig.de/zkfn)

Forschung

# Kreislaufwirtschaft im Betonbau

Zementproduktion: Im 65 Meter langen Drehrohrofen sintert das Rohmehl bei etwa 1450°C zu Zementklinker. Das bei diesem Prozess entstehende CO<sub>2</sub> soll durch die Verwendung von Reststoffen gesenkt werden.

Betonabbruch wird in Deutschland bereits heute mechanisch aufbereitet und als ressourcenschonender Ersatz für natürlichen Sand und Kies eingesetzt, zum Beispiel um neuen Beton herzustellen. Der bei der Aufbereitung anfallende und bisher wenig genutzte Brechsand könnte als CO<sub>2</sub>-armer Rohstoff für die Zementherstellung verwendet werden. Bisher stehen dafür aber keine geeigneten Technologien zu Verfügung. Die Leibniz Universität Hannover entwickelt mit Verbundpartnern neue Verfahren.

**K**lima- und ressourcenschonende Verfahren zur Herstellung von Beton sind aufgrund seiner immensen Nachfrage für eine nachhaltige Bauindustrie wichtig. Beispielsweise trägt die Zementproduktion zu fast sieben Prozent zum weltweiten CO<sub>2</sub>-Ausstoß bei. Der zur Zementherstellung verwendete Rohstoff Kalkstein verursacht zirka 70 Prozent dieser Emissionen, da er sich beim Brennvorgang in Calciumoxid und CO<sub>2</sub> zersetzt. Außerdem werden für die Betonherstellung große Mengen an mineralischen Ressourcen benötigt. Diese beiden Thematiken verknüpft das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz geförderte Verbundprojekt „URBAN“, um einen weiteren Schritt in Richtung Klima- und Ressourcenschutz zu erreichen.

Projektpartner Wege, wie dennoch im Prozess anfallende CO<sub>2</sub>-Emissionen im Betonabbruch über mineralogische Ansätze gebunden werden können. Schließlich werden mittels der so entwickelten Techniken Recycling-Betone hergestellt und auf ihre Eigenschaften hin geprüft.

## Leibniz Universität Hannover Institut für Baustoffe

- Prof. Dr-Ing. Michael Haist
- haist@baustoff.uni-hannover.de
- Macielle Deiters, M. Sc.
- m.v.deiters@baustoff.uni-hannover.de
- www.baustoff.uni-hannover.de/de/

## Reststoff für die Zementherstellung

Ein Forschungsteam vom Institut für Baustoffe der Leibniz Universität Hannover erforscht daher neue Herstellungstechniken für CO<sub>2</sub>-arme und ressourcenschonende Zemente und Betone. Neben dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT) als Koordinator zählen die Holcim (Deutschland) GmbH, die Sika AG sowie die Ehl AG zu den Verbundpartnern. Als Alternative ersetzen sie hier Kalkstein durch fein gemahlene Brechsand aus dem Gebäudeabbruch, der in der Regel kaum chemisch gebundenes CO<sub>2</sub> enthält. Durch diesen teilweisen Austausch können sie den CO<sub>2</sub>-Ausstoß bei der Zementherstellung um bis zu 40 Prozent reduzieren. Gleichzeitig werden natürliche Ressourcen geschont.

## Betonabbruch als CO<sub>2</sub>-armer Rohstoff

Zielsetzung des Projekts ist es, die technische Machbarkeit zur Einbindung von Reststoffen und das Potenzial zur CO<sub>2</sub>-Reduktion zu erkunden. Weiterhin erforschen die



Gefördert durch:  
Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Das Recycling von Reststoffen ergibt einen nachhaltigen Betonkreislauf.

# Bauteile aus Lehm – mit Roboter auf die Baustelle



Ein Bauteil aus Stampflehm hat viele Vorteile. Das vielseitige Material ist überall verfügbar, klimafreundlich und wiederverwertbar.

Er ist klimafreundlich, feuchteregulierend, wiederverwertbar, leicht abbaubar und ein fast überall verfügbarer Rohstoff: Lehm. Als nachhaltig-ökologischer Baustoff rückt er jetzt wieder in den Fokus. Die Technische Universität Braunschweig untersucht, wie sich Stampflehmteile mit Roboterunterstützung wirtschaftlich herstellen lassen. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler entwickeln die automatisierten Prozesse weiter, um die additive Fertigung direkt auf der Baustelle einzusetzen.

Lehmbauten werden seit Jahrtausenden errichtet. „Lehm ist hundertprozentig reversibel und ein fast überall verfügbarer Rohstoff“, hebt Joschua Gosslar vom Institut für Tragwerksentwurf der TU Braunschweig zwei Vorteile hervor. „Lehm-Bauteile kann man nach 100 Jahren abreißen, im Garten verteilen oder umformen und ein neues Haus daraus bauen.“ Im Lehm sieht der studierte Architekt und zertifizierte Lehmbauer viele Antworten für das Bauwesen, das einen Großteil der weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen verursacht, etwa bei der Herstellung von Zement, Ziegeln und Stahl. Er möchte traditionelle Lehmbauweisen auf heutige Fertigungsmethoden anwenden.

## Vom Handstampfer zur additiven Fertigung

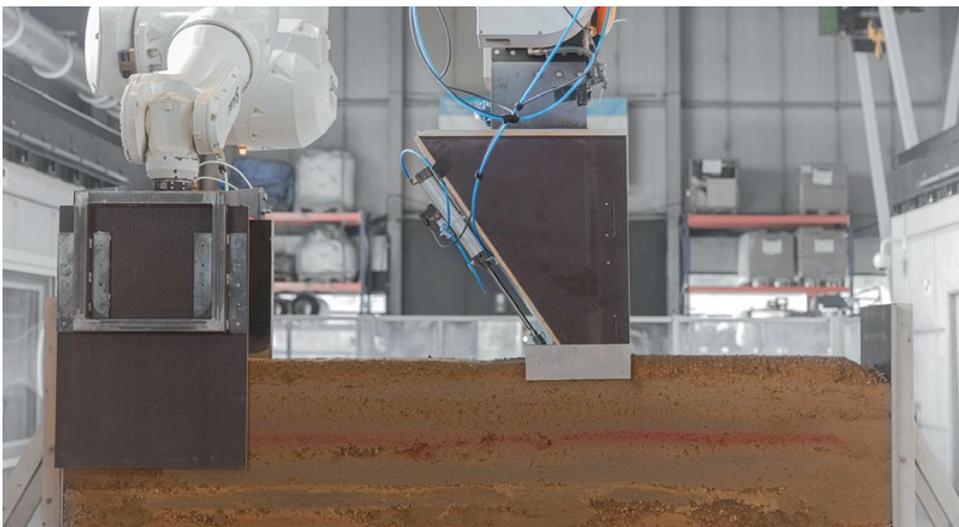
Die alte Bautechnik basiert darauf, Lehm in einer Schalung mit Hilfe eines handgeführten Holzstampfers schichtweise zu verdichten. Doch auch mit pneumatischen Stampfern ist das Verfahren im Vergleich zu anderen Baumaterialien und -techniken eher unwirtschaftlich und teuer, weil die Schalung sehr robust sein muss, damit sie dem Stampfdruck standhält. Im Verbund mit dem Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz und dem Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik will das Forschungsteam die Lehmbautechniken optimieren und eine Roboter-Einheit schaffen, die sich vor Ort auf der Baustelle einsetzen lässt. Unterstützt wird das Forschungsvorhaben von der Initiative GOLEHM.

## Ganze Fertigungsschritte entfallen

Eine digital gesteuerte additive Fertigung könnte hier nicht nur für eine höhere Präzision und gleichbleibende Qualität sorgen, sondern auch produktiver und damit wirtschaftlicher sein. „Bei der additiven Fertigung wird das Material schichtweise aufgebaut, ohne vorangehenden Formenbau oder nachlaufende Umformprozesse“, erklärt Institutsleiter Prof. Dr.-Ing. Harald Kloft. „Dadurch entfallen ganze Fertigungsschritte wie das Ein- und Ausschalen im Betonbau.“ Die Forschenden haben deshalb eine mitlaufende Schalung und ein Roboterwerkzeug zur Verdichtung entwickelt, das mit dem Schalungselement mitfährt und sich Lage für Lage hocharbeitet. Dafür kommt das Digital Building Fabrication Laboratory (DBFL), der große 3D-Drucker des Instituts, zum Einsatz. „Trotz Automatisierung ist zudem eine individuelle Formgebung möglich“, ergänzt Harald Kloft. „Damit erleichtern wir Planerinnen und Planern, sich für nachhaltige Materialien und innovative Bauweisen zu entscheiden.“

## Technische Universität Braunschweig Institut für Tragwerksentwurf

- Joschua Gosslar, M. Sc.
- [j.gosslar@tu-braunschweig.de](mailto:j.gosslar@tu-braunschweig.de)
- Prof. Dr.-Ing. Harald Kloft
- [h.kloft@tu-braunschweig.de](mailto:h.kloft@tu-braunschweig.de)
- [www.tu-braunschweig.de/ite](http://www.tu-braunschweig.de/ite)



Für Lehmteile haben die Forschenden eine mitlaufende Schalung mit Roboterwerkzeug zur Verdichtung (beides links) entwickelt. In der Mitte wird Lehm aufgetragen. Ziel ist es, die Bauteile wirtschaftlich und direkt auf der Baustelle herzustellen.

# Ökobilanz von Gebäuden – ganzen Lebenszyklus betrachten

Bei der Ökobilanz eines Wohngebäudes sollte nicht nur die Nutzungsphase betrachtet werden. Für die Energie- und Ressourceneffizienz zählt der gesamte Lebenszyklus.

Wie können die ökologischen Eigenschaften von Wohngebäuden über den gesamten Lebenszyklus analysiert werden? Ein Forschungsteam der Leibniz Universität Hannover hat eine neue Software entwickelt, welche die Energieeffizienz in allen Lebensphasen eines Gebäudes ermittelt. Damit können Planerinnen und Planer in Architektur und Bauingenieurwesen Nachhaltigkeitsaspekte besser berücksichtigen. Ziel ist es, Ressourcen effizienter zu nutzen und Umweltauswirkungen zu minimieren.

Gesetzliche Anforderungen an die Energieeffizienz eines Gebäudes beziehen sich momentan ausschließlich auf seine Nutzungsphase. Mit zunehmender energetischer Qualität von Gebäuden gewinnen jedoch der Energiebedarf und dessen Umwelteinwirkungen aus den anderen Lebenszyklusphasen wie Herstellung, Errichtung, Entsorgung und Recycling an Einfluss und können nicht mehr vernachlässigt werden. Deshalb formulierte die Politik das Ziel, diese Emissionen ab 2025 im Ordnungsrecht mit zu betrachten. Bisher existieren aber keine praxisingerechten Software-Anwendungen, die Lebenszyklen entsprechend bilanzieren.

## Nachhaltigkeit ermitteln und optimieren

Am Institut für Bauphysik der Leibniz Universität Hannover haben die Wissenschaftler in einem ersten Schritt das Verfahren vereinfacht, mit dem umweltbezogene Auswirkungen der Baustoffe und Bauteile eines Gebäudes detailliert berechnet werden. Mit der Forschungsvereinigung Kalk-Sand e.V. erarbeiteten sie Beispiele für Optimierungsmaßnahmen. Diese beziehen sich unter anderem auf Umweltkriterien wie Treibhausgas- und Ozonbildung sowie auf Tragfähigkeit und Dauerhaftigkeit von Gebäuden. Ziel ist es, Ressourcen während des gesamten Lebenszyklus von Gebäuden effizienter zu nutzen und die Umweltauswirkungen von Gebäuden zu minimieren.

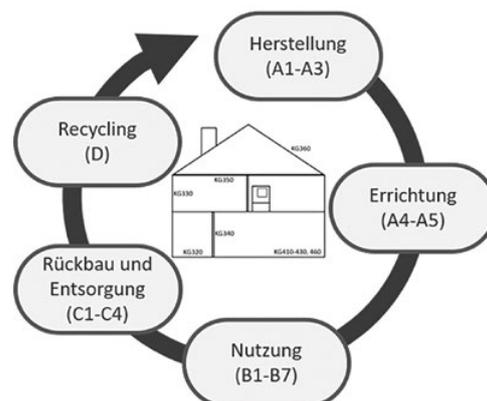
## Software für Forschung und Praxis

Darauf aufbauend hat das Forschungsteam eine Softwareanwendung entwickelt, mit der Planungsbüros und Bauunternehmen eine Ökobilanz für den Lebenszyklus eines Gebäudes erstellen können. Dabei berücksichtigten sie aktuell gültige Normen sowie die Bauproduktdata aus der Datenbank „Ökobaudat“. Die Software ist sehr

anwenderfreundlich und übersichtlich und quantifiziert bislang wenig erfasste Aspekte, zum Beispiel die Recarbonatisierung mineralischer Baustoffe oder einen dynamischen Energieverbrauch. Anhand verschiedener Gebäudetypen wie Mehrfamilienhaus, Reihenhaus und freistehendes Einfamilienhaus wurde sie validiert. Die Softwareanwendung ermöglicht es, Optimierungspotenziale hinsichtlich der Umweltauswirkungen von Wohngebäuden abzuleiten. Sie wurde bereits im Normungsausschuss des Bundesverbands Kalksandsteinindustrie e.V. sowie bei den Kalksandstein-Beraterseminaren vorgestellt.

## Leibniz Universität Hannover Institut für Bauphysik

- Zakaria Istanbuly, M. Sc.
- Dr.-Ing. Torsten Richter
- Prof. Dr.-Ing. Nabil A. Fouad
- [bauphysik@ifbp.uni-hannover.de](mailto:bauphysik@ifbp.uni-hannover.de)
- [www.ifbp.uni-hannover.de/de/](http://www.ifbp.uni-hannover.de/de/)



Über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes lässt sich die Ökobilanz mithilfe einer neuen Software umfassender als bisher ermitteln.

# Circular Design – neue Wege in Architektur und Städtebau



Wie lassen sich Städte weiterentwickeln, bezahlbarer Wohnraum bereitstellen und gleichzeitig Klimaneutralität erreichen? Das EU-Projekt Circular Design der Leibniz Universität Hannover zielt darauf ab, Architektur und Städtebau nachhaltiger und innovativer zu definieren sowie Forschung, Lehre und Bausektor neu auszurichten. Im Fokus stehen urbane Dichte und gemischte Stadtquartiere, Klimaschutz und Dekarbonisierung, die Weiterverwendung von Gebäuden sowie Material- und Prozessinnovationen.

Das CiD-Projekt bringt die Gestaltungsfelder Stadtplanung, Architektur, Produkt- und Servicedesign zusammen und fördert den Wissenstransfer.

**K**limaneutralität sowie die Entwicklung von Städten, bezahlbarer Wohnraum und dessen Finanzierbarkeit zählen zu den großen gesellschaftlichen Herausforderungen. Zur Lösung wird nahezu ausschließlich über Neubau diskutiert, mit negativen Folgen für Nachhaltigkeit und sozial gemischte Nachbarschaften. Das EU-Projekt CiD – Circular Design geht neue Wege: Es bringt bisher getrennte Gestaltungsfelder – Stadtplanung, Architektur, Produkt- und Service-design – zusammen und etabliert Verbindungen mit Gesellschafts- und Naturwissenschaften. Das Institut für Entwerfen und Städtebau der Leibniz Universität Hannover koordiniert das Projekt. Im Mittelpunkt stehen drei Themen:

- **Zirkularität und Dekarbonisierung:** Gestaltung sollte radikal neuausgerichtet werden auf kreative Prozesse der Raumbildung, Formgebung, Materialisierung, Programmierung sowie auf die Weiterverwendung bestehender Gebäude. Feedbackschleifen zu Nutzerinnen und Nutzern unterstützen den kulturellen Wandel.
- **Urbane Transformation der Städte zu Nachhaltigkeit und Klimaneutralität:** Die Gestaltung kann die Strategiebildung (Design-Thinking) und Transformationsprozesse für Stadtquartiere fördern und viele Akteure, Bürgerinnen und Bürger einbeziehen.

- **Bio-Innovation im Bauen:** Ziele sind Material- und Prozessinnovationen, die Reststoffe aus der Nahrungswirtschaft oder bisher nicht verwendete Bio-Ressourcen sowie bio-regionale Wertschöpfungsketten nutzen.

## Innovative Lehre, EU-weiter Austausch

CiD als Innovation Alliance mit elf Partnern geht sowohl in der Forschung als auch in der Universitätslehre und Fortbildung neue Wege. Die Kooperationspartner setzen dabei ihren Schwerpunkt auf Nachhaltigkeit, sie entwickeln und testen innovative Lernformate, zum Beispiel Challenge-based Learning und Situated Learning. Sie stehen in ständigem Austausch mit einem weiten Kreis von 100 Expertinnen und Akteuren der urbanen Transformation, Bio-Innovation und Circular Economy. Insbesondere mit Fallstudien in den drei Pilotstädten Hannover, Barcelona und Genua entwickelt das Projekt eine radikal andere, auf die Nutzung von Gebäudebestand ausgerichtete Herangehensweise.

Das Projekt hat sich zum Ziel gesetzt, Hinweise an die europäische und nationale Politik zu geben und die Gestaltungsdisziplinen an Universitäten und in der Praxis weiter zu entwickeln. Beiträge zu Nachhaltigkeit, Resilienz, Digitalisierung und Ökonomie helfen, die European Skills Agenda umzusetzen. Zudem strebt CiD eine große Ausstrahlung in Europa an. Der Projektpartner ACE Architects' Council of Europe vertritt dabei die Interessen von rund 600.000 Architektinnen und Architekten in 35 Ländern.

## Leibniz Universität Hannover Institut für Entwerfen und Städtebau

- Dipl.-Ing. Alissa Diesch
- Anna Pape, M. Sc.
- Prof. Dipl.-Ing. Jörg Schröder
- [schroeder@staedtebau.uni-hannover.de](mailto:schroeder@staedtebau.uni-hannover.de)
- [www.staedtebau.uni-hannover.de/en/territorial-design-and-urban-planning/](http://www.staedtebau.uni-hannover.de/en/territorial-design-and-urban-planning/)
- [www.cid-innovationalliance.eu/](http://www.cid-innovationalliance.eu/)

Das EU-Projekt Circular Design setzt sich für nachhaltige Städteplanung, Bau-Innovationen und Wissenstransfer ein. Teilnehmende treffen sich zum Workshop im Litauischen Pavillon auf der Architekturbieniale Venedig.



# Nachhaltige Wirtschaft erfordert Mix aus Staat und Markt

Auf dem Weg zu einer grünen Wirtschaft gibt es viele Interessenkonflikte bei Unternehmen und Kunden. Um nachhaltige Produktions- und Konsummuster zu etablieren, müssen Staat, Wirtschaft und Gesellschaft neue Schwerpunkte setzen.

Eine rein auf marktwirtschaftlichen Prinzipien basierende Lösung für die zunehmende Umweltzerstörung sowie den Klimawandel wird es nicht geben. Grüne Wirtschaftsstrategien und Transformationsprozesse erfordern gezielte staatliche Eingriffe mit einer klar nachhaltigkeitsorientierten Ausrichtung, fasst Prof. Dr. Michael Nusser von der Hochschule Hannover seine Forschungsergebnisse zusammen.

**A**lbert Einstein erkannte: „Ein Problem kann nicht mit Hilfe des Bewusstseins, durch welches es herbeigeführt wurde, gelöst werden.“ So legen gewinnmaximierende Unternehmen den Fokus auf Umsatzwachstum und Kosteneffizienz. „Auch für Konsumenten gilt oft: je mehr Einkommen, je billiger; je mehr Konsum, desto besser“, erläutert Prof. Dr. Michael Nusser von der Hochschule Hannover. Diese Marktmechanismen haben daher meist nicht-nachhaltige Produktions- und Konsummuster zur Folge – etwa eine Wegwerf-Gesellschaft mit kurzlebigen Gütern, Billigproduktion und Discounter-Mentalität. „Ambitionierte Nachhaltigkeitsziele führen in einer solchen Welt zu vielen Interessen- und Zielkonflikten“, stellt der Wirtschaftswissenschaftler fest. Aus seinem Forschungsvorhaben „Wege zu mehr Nachhaltigkeit“ folgert er: Nur eine nachhaltigkeitsorientierte Staatslenkung mit grünen ordnungspolitischen Leitplanken (Makro-Ebene), verbunden mit einer wettbewerbsorientierten Marktlenkung mit offenen Technologie- und Lernprozessen (Mikro-Ebene), stellt eine schnelle und bezahlbare Transformation zu mehr Nachhaltigkeit in der Breite sicher.

## Vorrang für Nachhaltigkeitsinnovationen

„Bei allen praktischen Lösungsansätzen sollte daher auf der Makro- und Mikro-Ebene das übergeordnete Motto „Nachhaltigkeitsinnovationen First“ als Mainstream verankert werden“, meint Michael Nusser. Das bezieht er auf die Entwicklung konkreter Ziele, Strategien und Maßnahmen in der Wirtschafts- und Innovationspolitik sowie auf die Förderung von Forschung und Entwicklung, Netzwerken, Clustern und Gründungen. Mehr grüne Demonstrationsprojekte mit hoher Leuchtkraft können auf der Mikro-Ebene Unsicherheiten etwa hinsichtlich der technischen Machbarkeit,

Qualität, Kosteneffizienz, Funktionsfähigkeit oder Zuverlässigkeit reduzieren, eine breite Nachahmung stimulieren und dadurch Lern-, Skalen- und Kostensenkungseffekte erzeugen. Förderlich sind dabei auch grüne Internet-Austauschplattformen, um Forschungsergebnisse und Erfolgsfaktoren nationaler und internationaler „Best Practices“ schnell in der Breite sichtbar und nutzbar zu machen.

## Institutionen und Zivilgesellschaft einbeziehen

Zusätzlich zu Technologien sollten soziale Innovationen und nicht-technische Fragestellungen stärker gefördert werden, damit sich nachhaltige Produktions- und Konsummuster etablieren, beispielsweise Collaborative-Consumption-Modelle wie Carsharing oder Tauschbörsen. „Partizipation spielt dabei eine wichtige Rolle“, betont Michael Nusser. Er schlägt unter anderem vor, Verbraucher und Verbraucherinnen intensiver in Forschungsprozesse in ihrem realen Nutzungsumfeld einzubinden, etwa in „Living Labs“ im Alltagskontext Ernährung, Wohnen oder Mobilität. Die schnelle Verbreitung und der Wissenstransfer (Roll-out) erfordern eine breitere Stakeholder-Partizipation, die Umwelt- und Sportverbände, Social-Media-Institutionen, Gewerkschaften, Kommunen, das Handwerk und die Zivilgesellschaft einbeziehen.

## Hochschule Hannover Fakultät IV, Abteilung Betriebswirtschaft

→ Prof. Dr. Michael Nusser  
→ michael.nusser@hs-hannover.de  
→ <https://f4.hs-hannover.de/ueber-uns/personen/lehrende/abteilung-betriebswirtschaft/professorinnenprofessoren-bwl/nusser-michael-prof-dr-prof/veroeffentlichungen/>

# Klimaanpassung verringert Risiken für Veranstaltungen

Unwetter, Starkregen, Hitzewellen – der Klimawandel stellt die Veranstaltungsbranche vor neue Herausforderungen. Das Forschungsprojekt KlimaEvent der Hochschule und Universität in Osnabrück analysiert die aktuelle Auseinandersetzung mit dem Thema Klimaanpassung und empfiehlt eine stärkere Anpassung an Klimawandelfolgen und potenzielle Risiken. Das Ziel des Projektteams ist die Entwicklung eines Werkzeugkoffers mit Maßnahmen und Risikomanagementstrategien.

**Z**unehmende Extremwettersituationen fordern auch die Veranstaltungsbranche, sich mit dem Klimawandel und der notwendigen Anpassung an potenzielle Risiken auseinanderzusetzen. Als sechstgrößte Wirtschaftsbranche mit etwa 1,5 Millionen Mitarbeitenden und knapp 120 Milliarden Euro Direktumsatz zählt sie zu den klimasensiblen Branchen. „Besondere Wetterverhältnisse haben sowohl Auswirkungen auf Eventstandorte als auch auf die Verkehrsinfrastruktur. Stürme können Aufbauten wie Bühnen und Leinwände zerstören, Starkregen behindert An- und Abreise,“ erläutert Prof. Dr. Kim Werner von der Hochschule Osnabrück. Davon sind Outdoor-Events besonders betroffen, aber auch Indoor-Veranstaltungen wie Messen und Kongresse spüren die Auswirkungen, etwa durch gestörte Lieferketten.

## Kooperation fördert Resilienz

Hier setzt das Pilotprojekt „Klimaangepasste Events durch resiliente Wertschöpfungsketten“ (KlimaEvent) an, das vom Bundesumweltministerium gefördert wird. Verbundpartner sind die Hochschule und die Universität in Osnabrück sowie die Gemeinde Bad Essen. Sie kooperieren mit dem German Convention Bureau, dem Landkreis Osnabrück und dem LEADER-Regionalmanagement Wittlager Land. „Als Modellkommune dient uns Bad Essen mit den dort stattfindenden Veranstaltungen Historischer Markt, Culinaria und Hafenfest. Diese haben für die Gemeinde eine besondere strategische Bedeutung und Relevanz“ sagt Prof. Dr. Kai-Michael Griese von der Hochschule Osnabrück.

## Werkzeugkoffer mit Maßnahmen und Strategien

Das Projektteam identifiziert in Workshops und Interviews mit Akteuren und Unternehmen der Veranstaltungsbranche Risikofaktoren entlang der Wertkette sowie Potenziale für mehr Widerstandsfähigkeit. „Unser Ziel ist es, eine Art Werkzeugkoffer mit Maßnahmen und Strategien für das Risikomanagement zu entwickeln, der Akteuren und Kommunen bundesweit bei der Anpassung an Klimafolgen hilft“, erklärt Prof. Dr. Martin Franz von der Universität Osnabrück. Dabei kommt das Team zu dem Zwischenfazit, dass die Veranstaltungsbranche die Relevanz der Klimaanpassung noch nicht ausreichend erkannt habe. Der Fokus der Akteure liege auf den Themen Nachhaltigkeit und Kosteneinsparung, die zugleich die größten Hemmnisse für die Einführung von Klimaanpassungsmaßnahmen seien. Es erfolge somit momentan noch keine klimabezogene Auseinandersetzung und Risikoplanung. Als nächsten Schritt wollen die Kooperationspartner daher kritische Punkte innerhalb des Akteursnetzwerks in Bad Essen identifizieren und anhand dieser entsprechende Maßnahmen entwickeln.

## Hochschule Osnabrück Fachbereich Eventmanagement

- Prof. Dr. Kim Werner
- k.werner@hs-osnabrueck.de
- Laura Hoth, M. A.
- laura.hoth@hs-osnabrueck.de
- <https://www.hs-osnabrueck.de/klima-event/>

Klimafolgen wie Starkregen sorgen für Unterbrechungen und Absagen von Veranstaltungen, wie hier auf dem Appletree Garden Festival in Diepholz. Darauf muss sich die Branche verstärkt einstellen und Maßnahmen ergreifen.



Forschung

# Risiken von Binnenhochwasser ganzheitlich managen

Retentionsflächen wie hier in Oldersum sind wichtig, um die Risiken von Binnenhochwasser zu reduzieren. Ein Netzwerk erarbeitet weitere Schutzkonzepte.

Der Klimawandel verursacht Extremwetter und steigende Meeresspiegel – wie wirkt sich das auf die Entwässerung der Küstenniederungen aus? Welche Anpassungen sind erforderlich, um das Risikomanagement zukunftssicher aufzustellen? Die Jade Hochschule und die Universität Oldenburg haben mit regionalen Akteuren Schutzkonzepte entwickelt. Sie umfassen vorbeugende Maßnahmen für Schöpfwerke und Retentionsflächen sowie die Sensibilisierung der Öffentlichkeit.

Extreme Binnenhochwässer im Küstenraum wie zu Weihnachten 2023 werden durch den Klimawandel erheblich zunehmen. Sollen die Risiken und Folgen eines Hochwassers nicht in gleichem Maße wachsen, müssen geeignete Maßnahmen des Risikomanagements umgesetzt werden, um die Resilienz der Küstenräume zu steigern. Im Projekt „KLEVER-Risk – Klimaanpassung und Extremwettervorsorge: Verbandsübergreifendes Management von Binnenhochwasserrisiken im westlichen Ostfriesland“ haben die Universität Oldenburg und die Jade Hochschule integrative Konzepte entwickelt, um die Risiken zu reduzieren. Damit leisten sie im Auftrag des Bundesumweltministeriums einen Beitrag zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel.

hat gezeigt, dass besonders die Kombination von Maßnahmen aller genannten Handlungsbereiche zu einer erfolgreichen Klimaanpassung führen kann, und dass frühzeitig mit einer Umsetzung der Maßnahmen begonnen werden sollte. Die Ergebnisse werden in den Generalplan Siel- und Schöpfbauwerke des Landes Niedersachsen einfließen.

## Jade Hochschule Wilhelmshaven/Oldenburg/Elsfleth Referat Forschung und Transfer

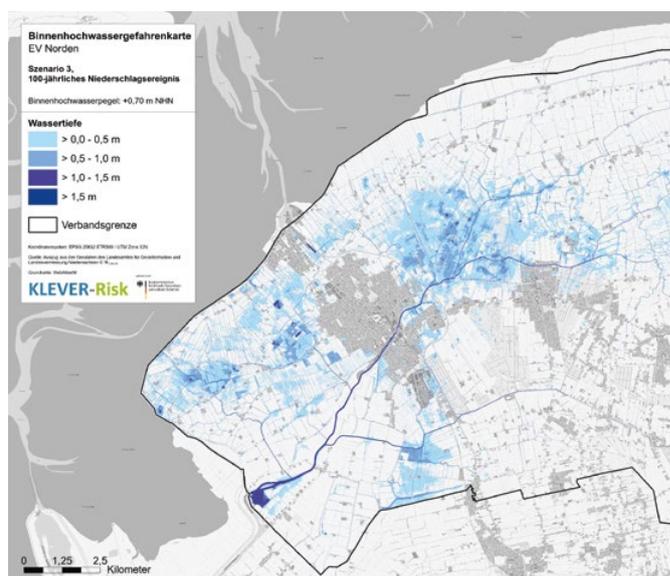
→ Apl.-Prof. Dr. Helge Bormann  
→ [helge.bormann@jade-hs.de](mailto:helge.bormann@jade-hs.de)  
→ [www.jade-hs.de/forschung/](http://www.jade-hs.de/forschung/)  
→ <https://uol.de/klever-risk/>

## Gefahrenkarten visualisieren Klimafolgen

Voraussetzung für eine erfolgreiche Anpassung ist die Quantifizierung potenzieller Klimafolgen. Die Forscherinnen und Forscher haben für das westliche Ostfriesland zukünftige Binnenhochwasser-Ereignisse modellbasiert abgeschätzt. Szenario-basierte Gefahrenkarten visualisieren mögliche Folgen von Überschwemmungen, wenn zum Beispiel extreme Niederschläge mit technischem Versagen der Schöpfwerke zusammentreffen. Gemeinsam mit einem Netzwerk aus regionalen Akteuren wurden erste Schutzmaßnahmen zur Vorsorge und Vermeidung besprochen. So können die Ertüchtigung von Schöpfwerken und der Ausbau von Retentionsflächen das Gefahrenpotenzial von Überschwemmungen senken.

## Maßnahmen zum Schutz und zur Vorsorge

Vorsorgende Maßnahmen können vor allem Schadenspotenziale reduzieren und die Gefahrenabwehr verbessern. Sie betreffen sowohl den Katastrophenschutz als auch die Sensibilisierung der Öffentlichkeit mittels Informationen und Verhaltensempfehlungen. Das Projekt KLEVER-Risk



Die Gefahrenkarte für Binnenhochwasser im Entwässerungsverband Norden zeigt die Folgen, wenn dreitägiger Dauerregen (100-jährliches Ereignis) mit einem Ausfall der Binnenentwässerung zusammentrifft.



Technologieangebot

# Naturbasierte Wasserreinigung mit Pflanzenkläranlagen

Die Pflanzenkläranlage im Werk Tanne reinigt kontaminierte Abwässer und Sedimente aus der ehemaligen Sprengstofffabrik – klimafreundlich und wartungsarm.

Der Klimawandel führt zu extremen Hitze- und Niederschlagsereignissen. Weltweit müssen daher in ländlichen und urbanen Räumen neue Konzepte für das Wassermanagement etabliert werden. Naturbasierte Lösungen für die Wasserbehandlung, zum Beispiel Pflanzenkläranlagen, sind hierfür wirksame Systeme. Um diese nachhaltigen Behandlungsformen weltweit zu fördern, hat die Leibniz Universität Hannover eine benutzerfreundliche Online-Plattform mitaufgebaut, die entsprechende Daten liefert.

**P**flanzenkläranlagen (Constructed Wetlands, CWs) zeichnen sich durch niedrige Betriebs- und Wartungskosten aus. Sie verbessern die Wasserqualität, führen zu einer größeren biologischen Vielfalt und tragen dazu bei, Städte und Landschaften besser an die klimabedingten Veränderungen anzupassen. Pflanzenkläranlagen werden auch zur Behandlung von kontaminierten Abwässern und Sedimenten eingesetzt (Phytoremediation), beispielsweise im Werk Tanne nahe Clausthal-Zellerfeld. In dieser ehemaligen Sprengstofffabrik wurde während des Zweiten Weltkrieges TNT hergestellt. Das Gelände ist in hohem Maße mit TNT und Abbauprodukten kontaminiert. Die Sanierung erfolgt durch die Sammlung und Behandlung des kontaminierten Sickerwassers mit Hilfe eines CW-Systems, das mit 28.000 Schilfrohr-Pflanzen (*Phragmites australis*) bestückt ist.

## Plattform stellt weltweite Daten zur Verfügung

Derzeit gibt es wenig Wissen über den Beitrag von Pflanzenkläranlagen zur globalen Menge an geklärtem Wasser.

Deshalb hat das Institut für Botanik der Leibniz Universität Hannover gemeinsam mit einem Konsortium eine zentrale Online-Plattform für CWs weltweit geschaffen. Diese Plattform liefert Daten und Informationen über mehr als 290 CWs, um eine nachhaltige Entwicklung bei der Wasserbehandlung zu unterstützen. Diese Open-Source-Plattform mit CW-Daten bietet ein standardisiertes System für die Datensammlung und -verwaltung. Es handelt sich um eine benutzerfreundliche Plattform mit dynamischen Karten und einem intuitiven effizienten Mechanismus zum Hoch- und Herunterladen von CW-bezogenen Daten.

## Leibniz Universität Hannover Institut für Botanik

- Dr. Ariel Turcios
- Melvin Rowel
- Prof. Dr. Jutta Papenbrock
- papenbrock@botanik.uni-hannover.de
- www.botanik.uni-hannover.de/de/
- <https://data.cwetlandsdata.com/>

Der Ausschnitt der CWetlandsData-Plattform zeigt die Standorte der erfassten Pflanzenkläranlagen. Die Suchmaske vereinfacht den gezielten Zugang zu weiteren Daten.



Praxis

## Seegraswiesen für den Klimaschutz

Seegras nützt dem Klima- und Küstenschutz, doch die Bestände gehen zurück. Zur Wiederansiedlung pflanzt ein Taucher einzelne Seegraspflanzen in einem festgelegten Raster.

Seegras hat eine immense Bedeutung für den Klima- und Küstenschutz, doch Temperaturanstieg, Überdüngung und intensiver Tourismus bedrohen die Bestände weltweit. Unter der Koordination der Leibniz Universität Hannover hat ein multidisziplinärer Forschungsverbund neue Seegraswiesen in der Ostsee angepflanzt. Und es gibt erste, beeindruckende Erfolge: Die angelegten Wiesen werden dichter, die Methoden zur Wiederansiedlung funktionieren und die Akzeptanz in der Bevölkerung wächst.

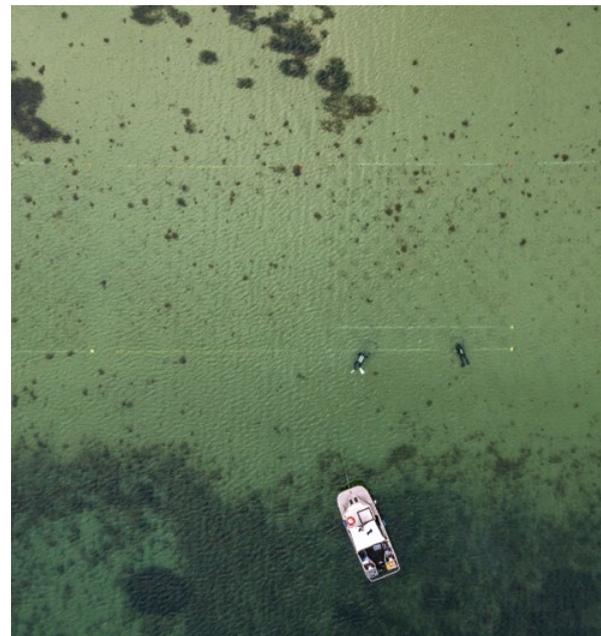
Seegraswiesen können große Mengen CO<sub>2</sub> speichern, die Küsten gegen Erosion stabilisieren und einen Lebensraum für Tausende von Arten schaffen. Seegräser entnehmen dem Meer das Treibhausgas CO<sub>2</sub> und speichern dessen Kohlenstoffanteil im Meeresboden ein – und zwar mit einer erheblich höheren Rate als jeder Wald an Land. Aber wie andere Küstenökosysteme sind auch Seegraswiesen stark bedroht. Die Meerwassererwärmung sowie Überdüngung, intensiver Tourismus und Siedlungsbau gefährden die Bestände weltweit. Auch die dominierende Seegrasart in der südlichen Ostsee, *Zostera marina*, steht vor dieser großen Herausforderung. Hier setzt das Verbundprojekt SeaStore an: Ziel ist es, Seegraswiesen erfolgreich wiederherzustellen.

„Die Erfolgsaussicht einer Wiederansiedlung hängt von einem komplexen Zusammenspiel vieler Faktoren ab“, sagt Projektleiterin Dr. Maike Paul vom Ludwig-Franzius-Institut für Wasserbau, Ästuar- und Küsteningenieurwesen (LuFI) der

Die Forschenden erkunden, unter welchen Bedingungen frisch gepflanzte Seegraspflanzen gedeihen.



So sieht eine natürliche Seegraswiese aus. Sie bietet Lebensraum für Tausende von Arten.



Das mit Seegras bepflanzte Raster ist aus der Luft gut zu erkennen.

Leibniz Universität Hannover. Basierend auf skandinavischen Vorarbeiten werden diese Faktoren in dem multidisziplinären Projekt untersucht. Die Zusammenarbeit erfolgt mit dem Institut für Kunststoff- und Kreislauftechnik in Hannover, der Technischen Universität Braunschweig, der Universität Greifswald, dem GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel und dem Institut für Weltwirtschaft Kiel.

### Taucher pflanzen Wiese aus Seegras

„Die Wiederansiedlung von Seegras im Projektgebiet läuft äußerst erfolgreich“, freut sich Maïke Paul. An drei Standorten entlang der schleswig-holsteinischen Ostseeküste (Kiel, Maasholm und Geltinger Bucht) haben die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler insgesamt mehr als 3.000 Quadratmeter mit 12.000 Pflanzen bestückt, die Forschungstaucher zuvor vorsichtig einer intakten Seegraswiese entnahmen. An einem Standort gab es anfängliche Startschwierigkeiten, doch insgesamt hat die Vegetationsdichte zugenommen und ist um mehr als das 25fache gestiegen. „Nach einem Jahr entspricht sie nun nahezu der Dichte einer natürlichen Wiese und ist inzwischen auf Satellitenbildern gut zu erkennen“, erläutert die Geoökologin.

Die Standorte und Pflanzungen unterscheiden sich darin, wie stark sie der Wellenbelastung ausgesetzt sind und wie viele Pflanzen pro Quadratmeter gepflanzt wurden. Das Forschungsteam hat auf den Flächen in regelmäßigen Abständen die Ausbreitung, Kohlenstoffspeicherung, Sedimentstabilisierung und biologische Vielfalt (inklusive der mikrobiellen Gemeinschaften) gemessen sowie die Entwicklung der Pflanzen bewertet. Diese Daten werden mit einer natürlichen Seegraswiese verglichen, um

Unterschiede beziehungsweise Ähnlichkeiten zu verstehen. Die Akzeptanz und Wahrnehmung in der Bevölkerung wird durch bundesweite Bevölkerungsbefragungen ermittelt. „Erste Auswertungen zeigen, dass eine Wiederansiedlung von Seegras als innovativer Beitrag zur Kohlenstoffspeicherung größtenteils positiv bewertet wird“, berichtet Maïke Paul.

### Vielversprechendes Instrument für Küstenmanagement

Die Instrumente und Modelle aus dem Projekt SeaStore sollen Behörden und anderen Akteurinnen und Akteuren dabei helfen, die Ansiedlung von Seegraswiesen zu bewerten, zu planen und erfolgreich umzusetzen. „Unsere ersten Ergebnisse demonstrieren sehr erfolgreich die Machbarkeit der Seegraswiederansiedlung“, resümiert Maïke Paul. Sie sieht in dieser Methode ein vielversprechendes Instrument für das Küstenmanagement der Zukunft. Ein Leitfaden ist in Planung, der alle Aspekte der Seegras-Restauration abdeckt: von der Wahl geeigneter Standorte, Samen oder Sprösslinge über Auspflanzungen und Erfolgskontrolle bis hin zur Beteiligung der Küstenbevölkerung und weiterer Interessengruppen, um Erfolgsaussichten und öffentliche Akzeptanz zu steigern. Das Verbundprojekt SeaStore ist vom Bundesministerium für Bildung und Forschung mit rund zwei Millionen Euro gefördert worden. Eine Projektverlängerung ist beantragt.

### Leibniz Universität Hannover Ludwig-Franzius-Institut für Wasserbau, Ästuar- und Küsteningenieurwesen

- Dr. Maïke Paul
- paul@lufi.uni-hannover.de
- www.lufi.uni-hannover.de/de/
- www.seegraswiesen.de



Forschung

## Gewässerschutz – Stoffstrombilanz in der Landwirtschaft

Ein effizienter Umgang mit Nährstoffen in der Landwirtschaft ist unumgänglich, um Grundwasser und Gewässer vor Nährstoffüberschüssen zu schützen. Zur Bilanzierung aller Stoffströme werden hier Proben auf einer Weidefläche genommen.

Reichern sich Nährstoffe übermäßig im Grundwasser und in Gewässern an, schadet das der Wasserqualität und der Artenvielfalt. Auch der Eintrag von Stickstoff und Phosphor aus der Landwirtschaft belastet das ökologische Gleichgewicht. Doch wie genau verlaufen die Nährstoffflüsse? Welche Einflussfaktoren gibt es? Eine Bilanzierung ist sehr komplex. Die Universität Göttingen hat in einem Kooperationsprojekt Stoffstrombilanzen für Milchviehbetriebe erstellt und bewertet.

**N**ährstoffüberschüsse belasten Oberflächengewässer (Eutrophierung) und auch das Grundwasser zunehmend mit Nitrat. Um diese negativen Folgen zu reduzieren und betriebliche Stoffströme in der Landwirtschaft besser nachzuvollziehen, hat der Gesetzgeber 2018 eine neue Verordnung zur Stoffstrombilanz eingeführt. Bei der Stoffstrombilanz

handelt es sich um eine Hoftor-Bilanz, bei der alle Nährstoffzufuhren und -abfuhr von Stickstoff und Phosphor eines Jahres in Kilogramm Nährstoff pro Hektar bilanziert werden. Die Bilanz erfasst vor allem mineralische und organische Düngemittel, Futtermittel, landwirtschaftliche Nutztiere, pflanzliche und tierische Erzeugnisse.

### Nährstoffsalden eines Betriebes errechnen

Im Verbundprojekt „Waterbuddies“ haben die Universitäten Göttingen und Oldenburg und die Landwirtschaftskammer Niedersachsen in Zusammenarbeit mit dem Grünlandzentrum die dominierenden Austragspfade von Stickstoff und Phosphor im Nordwesten Niedersachsens identifiziert. Gefördert wurde das Projekt durch die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung. Die Region zeichnet sich durch einen besonders hohen Grünlandanteil aus, Milchproduktion ist dort vorherrschend. Die Göttinger Forscherinnen und Forscher erhoben auf 23 Milchviehbetrieben betriebliche Input- und Output-Daten und berechneten die Stoffstrombilanzen für die Jahre 2019 bis 2021. Dabei zeigen die Bilanzen eine hohe Variabilität sowohl zwischen den einzelnen Betrieben als auch zwischen den einzelnen Jahren. Mithilfe der Bilanz konnten sie schließlich Brutto-Salden für Stickstoff und Phosphor bestimmen, die den rechnerischen Nährstoffüberschuss des Betriebes in dem Jahr darstellen.





Schematische Berechnung der Stoffstrombilanz für N – Stickstoff und P – Phosphor (nach StoffbilV 2017)

### Einflüsse durch Dünger, Futter und Witterung

Vielfältige Faktoren beeinflussen das Ergebnis. Das Forschungsteam identifizierte zugekauften Mineraldünger als Haupteinflussfaktor des Brutto-Stickstoff-Saldos. Den größten direkten Einfluss auf die Höhe des Brutto-Phosphor-Saldos nimmt der Futter- und Grobfutter-zukauf. Unterschiede zwischen den Jahressalden ergeben sich durch die allgemeine Marktlage (Vergütung für Milch, Preise von Mineraldünger, Kraftfutter und Diesel) und insbesondere durch die Witterung. Diese beeinflusst maßgeblich die Qualität und Quantität des betriebseigenen Grundfutters und damit wiederum die Menge an zugekauftem Futter.

Deshalb erachtet es das Team als unabdingbar, die Betriebssalden im dreijährigen Mittel zu bewerten, um die starken Jahreseffekte auf Futterbaubetrieben abzuschwächen und die betriebliche Entwicklung besser darstellen zu können. Ganz knapp zusammengefasst lässt sich festhalten, dass sich die effiziente Ausnutzung betriebseigener Ressourcen (insbesondere Wirtschaftsdünger und Grobfutter) direkt positiv auf die Höhe der Stoffstrombilanzsalden (Stickstoff und Phosphor) auswirkt. Außerdem prüfte und bewertete das Team drei aktuell diskutierte Ansätze zur Berechnung maximaler betriebsspezifischer Salden.

### Georg-August-Universität Göttingen Abteilung Graslandwissenschaft

- Dr. Friederike Sieve
- Prof. Dr. Johannes Isselstein
- PD Dr. Manfred Kayser
- manfred.kayser@agr.uni-goettingen.de
- www.uni-goettingen.de/de/33623.html
- www.gruenlandzentrum.org/projekte/waterbuddies/

Mehr Ideen unter [wissenhochn.de](http://wissenhochn.de)



Forschung

## Bodenfeuchte messen, Wasser sparsam einsetzen

Regionen mit hohem Wassernutzungsdruck wie Nordostniedersachsen benötigen eine effiziente Bewässerung für die Landwirtschaft. Ziel ist es, dadurch Wasser zu sparen, die Nahrungsmittelproduktion zu sichern und diese besser an den Klimawandel anzupassen. Hierzu erforscht die Ostfalia Hochschule den Einsatz von Sensorik zur Bodenfeuchtemessung.

Forscherinnen und Forscher vom Institut für nachhaltige Bewässerung und Wasserwirtschaft im ländlichen Raum (INBW) testen und bewerten zu diesem Zweck Bodenfeuchtesensoren. Im Projekt „5G La“ vergleichen sie verschiedene Methoden zur Bestimmung der Bodenfeuchte miteinander und entwickeln dazu eine einheitliche Bewertungsmethode. Indem sie Sensoren einbeziehen und die Digitalisierung fördern, wollen die Forschenden langfristig die Bewässerungslandwirtschaft resilienter gestalten (siehe auch Seite 30).

In Labor- und Feldversuchen hat das Forschungsteam verschiedene Bodenfeuchtesensoren erprobt und bewertet. Das dafür entwickelte einheitliche Bewertungsschema ist in drei Hauptkategorien mit weiteren Unterpunkten unterteilt: Handhabung, Messdaten und Software. Die fünfstufige Bewertungsskala reicht von sehr positiv bis sehr negativ. Dieses Vorgehen vereinfacht die Auswahl geeigneter Sensoren für verschiedene Anwendungen und erhöht die Transparenz im Bereich der Bodenfeuchtemessungen. Ziel ist es, eine verbesserte Datengrundlage zu generieren, um die Ressourcen Wasser, Energie und Arbeitszeit noch effizienter einsetzen zu können. Im nächsten Schritt will das Forschungsteam aus den punktuellen Bodenfeuchtemessdaten flächige Bodenfeuchtekarten ableiten, etwa auf der Basis von Drohnenüberflügen.

### Ostfalia Hochschule Institut für nachhaltige Bewässerung und Wasserwirtschaft im ländlichen Raum

- Felix Schmidt, M. Sc.
- felix.schmidt@ostfalia.de
- Prof. Dr.-Ing. Klaus Röttcher
- k.roettcher@ostfalia.de
- <https://wasser-suderburg.de>



Bei Agri-Photovoltaik werden Agrarflächen gleichzeitig zum Pflanzenanbau und zur Solarstromproduktion genutzt. Das Wassermanagement ist hierbei eine Herausforderung. Regensensoren (Mitte links) messen die Verteilung des Niederschlags.

## Forschung

# Wassermanagement unter einer Agri-Photovoltaik-Anlage

Konkurrieren Photovoltaikanlagen auf landwirtschaftlichen Flächen mit der Nahrungsmittelproduktion? Agri-Photovoltaik kombiniert Energieerzeugung und Pflanzenanbau, stellt aber neue Anforderungen an die Bewirtschaftung und ans Wassermanagement. Welche Bewässerungssysteme sind am effizientesten? Wie lassen sich Wasserbedarf, Niederschlag und Erosion regulieren? Ein Forschungsteam der Ostfalia Hochschule entwickelt ein Managementkonzept zur Wasserspeicherung und Beregnungstechnik.

Photovoltaik (PV) ist neben der Windkraft das wichtigste Standbein der regenerativen Energieversorgung zur angestrebten Klimaneutralität. Den Bedarf an installierter PV-Leistung für eine erfolgreiche Energiewende beziffert das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme mit 500 Gigawatt peak (GWP). Das mit Abstand größte technische Potenzial der integrierten Photovoltaik-Lösungen in Deutschland sieht Fraunhofer in der Agri-Photovoltaik. Die duale Nutzung von Agrarflächen zum Pflanzenanbau als Primärnutzung und zur Solarstromproduktion unterstützt die Energiewende und schafft neue Einnahmequellen für Landwirte. Doch das Wassermanagement für die beschatteten Pflanzen stellt eine Herausforderung dar und ist bisher kaum erforscht. Im EIP-Agri-Projekt „Wassermanagement und Mikroklima unter der Agri-Photovoltaik-Anlage“ sucht das Institut für nachhaltige Bewässerung und Wasserwirtschaft im ländlichen Raum (INBW) der Ostfalia Hochschule nach geeigneten Lösungen.

### Heterogene Niederschlagsverteilung ist problematisch

Im Landkreis Lüchow-Dannenberg steht die zurzeit größte Agri-PV-Anlage (APV) in Deutschland (Projektfläche zirka ein Hektar). Unter dieser Anlage wird für einen großen Trockenkräuter-Hersteller Schnittlauch angebaut. Die Forschenden der Ostfalia haben die Niederschlagsverteilung unter der Anlage gemessen. Verschiedene Versuchsaufbauten befanden sich unterhalb der Anlage mit und ohne Auffangrinnen an den Solarmodulen sowie neben der APV als

Referenzfläche. Die anfangs 111 Regensensoren pro Messplot wurden im späteren Verlauf modifiziert und zwecks höherer Auflösung mit 70 weiteren Regensensoren ergänzt. Die Niederschläge verteilen sich deutlich heterogen und es bilden sich ausgeprägte Abtropfkanten unter der APV. Wird das Regenwasser in Rinnen aufgefangen und abgeleitet, hängt das Auftreten von Abtropfkanten von der Regenintensität ab.

### Wasserspeicherung und Beregnungstechnik

Üblicherweise wird der Schnittlauch mit einem Düsenwagen beregnet, jedoch passen konventionelle Düsenwagen mit ihren Ausmaßen nicht unter die Agri-PV-Anlage. Daher wird ein Teil der Projektfläche mittels unterirdisch verlegten Tropfschläuchen beregnet und der andere Teil mit einem für das Projekt umgebauten Düsenwagen. Die Wasserverteilung im Boden untersuchen die Forschenden mit Bodenfeuchtesensoren, die Landschaftsverdunstung (Evapotranspiration) mit Multi-Parameter-Wettersensoren. Darüber hinaus entwickeln sie ein Wassermanagement- und ein Beregnungskonzept.

### Ostfalia Hochschule Institut für nachhaltige Bewässerung und Wasserwirtschaft im ländlichen Raum (INBW)

- Dominic Meinardi
- d.meinardi@ostfalia.de
- Prof. Dr.-Ing. Klaus Röttcher
- k.roettcher@ostfalia.de
- <https://wasser-suderburg.de>

# Kalk in landwirtschaftlichen Böden ist klimarelevant

Böden spielen eine bedeutende Rolle im globalen Kohlenstoffkreislauf. Vor allem landwirtschaftlich genutzte Flächen speichern große Mengen an CO<sub>2</sub>. Kalk als natürlicher Bodenbestandteil oder Dünger erhält die Bodenfruchtbarkeit, kann aber auch zu CO<sub>2</sub>-Emissionen führen, wenn die Böden versauern.

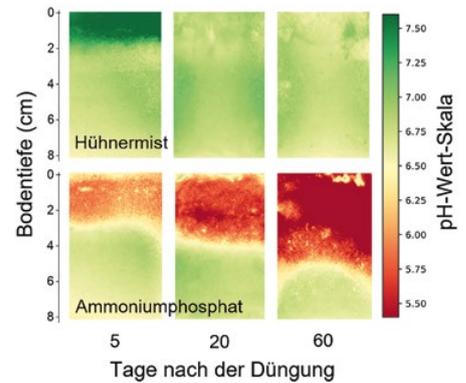
Die Leibniz Universität Hannover hat den Zusammenhang zwischen Kalk und Klimawandel untersucht. Ergebnis: Organische Dünger wie Stallmist verlangsamen die Bodenversauerung.

Hohe CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in der Atmosphäre sind die Hauptursache für den Klimawandel. In diesem Zusammenhang spielen die Böden eine wichtige Rolle. Kohlenstoff gelangt zum Beispiel über Wurzeln und abgestorbene Pflanzenreste in den Boden, wird von Bodenorganismen verwertet und an Minerale gebunden. Um die CO<sub>2</sub>-Emissionen zu verringern, konzentrierten sich bisher viele Studien und Agrar-Empfehlungen darauf, die organischen Kohlenstoffverbindungen im Boden zu erhöhen. Neben dem organischen Kohlenstoff gibt es aber auch anorganischen Kohlenstoff in Form von Kalk im Boden. Lange Zeit gingen Fachleute davon aus, dass Kalk nicht auf die landwirtschaftliche Bewirtschaftung reagiert. Neue Untersuchungen revidieren diese Annahme.

## Organische Dünger verhindern Bodenversauerung

Ein ganz normaler Prozess in Agrarökosystemen ist die Versauerung von Böden. Hierbei tragen Säuren von außen oder durch bodeninterne Prozesse mehr Protonen (Wasserstoffionen, H<sup>+</sup>) ein, als der Boden neutralisieren kann. Kalk reagiert sehr leicht mit den Säuren und neutralisiert sie, doch dabei entweicht CO<sub>2</sub>. Düngung, insbesondere mit Stickstoffdüngern, führt den Böden jährlich eine große Menge an Protonen zu, die sich allerdings unterschiedlich auswirken. Das Institut für Bodenkunde der Leibniz Universität Hannover hat in einer aktuellen Studie gezeigt, dass organische Dünger wie Stallmist eine Bodenversauerung verhindern oder verlangsamen, während mineralische Dünger wie

Die Forschenden Kazem Zamanian (links) und Jingjing Tao bereiten eine landwirtschaftliche Fläche für Analysen vor.



Während organische Düngemittel wie Hühnermist die Bodenversauerung verhindern, versauern mineralische Düngemittel wie Ammoniumphosphat den Boden in relativ kurzer Zeit stark. Der Boden enthielt 0,75 % Kalk (CaCO<sub>3</sub>).

Ammoniumphosphat zu einer starken Versauerung des Bodens führen. Daher kann Kalk je nach Düngemittelmanagement eine Nettoquelle von CO<sub>2</sub> sein, die bis zu drei Prozent der weltweiten jährlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Verbrennung entspricht.

## Hohe Kosten durch Kalkverluste

Zu berücksichtigen sind auch die Kalkverluste in Agrarökosystemen, die bisher wenig beachtet wurden. Kalk verschwindet mit der Zeit vollständig aus den landwirtschaftlichen Böden, zumindest in der Pflugschicht. Dadurch sinken der pH-Wert und die Bodenfruchtbarkeit. Das macht eine Kalkung notwendig, um wieder hohe Ernteerträge zu gewährleisten. Allein in Europa belaufen sich die Kosten für Kalk, der durch düngemittelbedingte Versauerung und ausgebrachten Kalk verloren geht, auf etwa 1,5 Prozent des für 2023 vorgeschlagenen EU-Haushalts. Diese bedeutenden Nachteile erfordern ein besseres Verständnis der komplexen Prozesse im Boden, um die Bodenversauerung zu verringern oder sogar zu verhindern.

## Leibniz Universität Hannover Institut für Bodenkunde / Institut für Erdsystemwissenschaften (IESW)

→ Dr. Kazem Zamanian  
→ zamanian@ifbk.uni-hannover.de  
→ zamanian@iesw.uni-hannover.de  
→ [www.soil.uni-hannover.de/en/kazem-zamanian](http://www.soil.uni-hannover.de/en/kazem-zamanian)

Forschung

## Mischkulturen – mehr Nützlinge und weniger Schädlinge

Mischkulturen im Streifenanbau, hier Winterweizen und Winterraps, eignen sich, um Nützlinge zu fördern und Schädlinge zu reduzieren.

Der globale Rückgang der biologischen Vielfalt ist gravierend. Forschende der Universität Göttingen weisen in einer Studie nach, dass nachhaltige landwirtschaftliche Praktiken die Biodiversität und damit verbundene Ökosystemleistungen fördern können. Vor allem Mischkulturen mit verschiedenen Pflanzen begünstigen nützliche Insekten und weitere Gliederfüßer. Sie drängen auch Schädlinge zurück.

**M**aßgeblich zum Biodiversitätsverlust trägt der großflächige Anbau einzelner Pflanzen in Monokulturen bei. Mischkulturen können dem entgegenwirken: Auf Äckern, auf denen gleichzeitig verschiedene Kulturpflanzen wachsen, gibt es mehr nützliche Gliederfüßer (Arthropoden) wie Insekten und Spinnen als in Monokulturen. Gleichzeitig kommen weniger Schädlinge vor. Das fanden Forschende der Universität Göttingen in einer Literatur- und statistischen Meta-Analyse heraus. „Besonders vorteilhaft ist es, wenn Getreide und Hülsenfrüchte kombiniert und im Streifen- oder Reihenanbau gepflanzt werden“, stellt Prof. Dr. Teja Tscharnkte von der Abteilung Agrarökologie fest. Die Ergebnisse erschienen in der Fachzeitschrift *Agriculture, Ecosystems & Environment*.

### Streifen- und Reihenanbau von Vorteil

Die Forschenden werteten 63 publizierte Fachartikel zum Vergleich von Misch- und Monokulturen aus 18 Ländern aus. Sie verglichen die Artenvielfalt, die Anzahl der Individuen (Häufigkeit) und die Dichte pro Pflanze von nützlichen und schädlichen Arthropoden. Bei den Nützlingen betrachteten sie Bestäuber, Räuber und Parasitoide, die Schädlinge töten, sowie Zersetzer. Zudem untersuchten sie, wie die Anordnung der Kulturen das Vorkommen dieser Tiere beeinflussen.

„Die Artenvielfalt nützlicher Arthropoden ist in Mischkulturen durchschnittlich um 27 Prozent höher als in Monokulturen“, berichtet Teja Tscharnkte. Ihre Häufigkeit ist um 36 Prozent höher und ihre Dichte pro Pflanze um 94 Prozent. Dabei profitieren Bestäuber, Räuber und Parasitoide stärker von Mischkulturen, für Zersetzer gibt es dagegen keinen Unterschied zu Monokulturen. Schädliche Arthropoden kommen in Mischkulturen um 38 Prozent weniger vor als in Monokulturen.



Marienkäfer können sehr effektiv zur Bekämpfung von Blattläusen beitragen.

Ihre Artenvielfalt unterscheidet sich nicht zwischen den Anbauformen. Der gleichzeitige Anbau von Getreide und Hülsenfrüchten übertrifft die Kombination verschiedener Getreidesorten, um Nützlinge zu fördern und Schädlinge zu reduzieren. Außerdem ist es effektiver, wenn die Kulturpflanzen im Streifen- oder Reihenanbau wachsen und nicht ungeordnet oder im Staffelanbau zeitversetzt ausgesät werden.

### Mischkulturen politisch fördern

„Unsere Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Mischkultur eine wirksame Methode ist, um die nachteiligen Auswirkungen der intensiven Landwirtschaft auf nützliche Arthropoden in Agrarökosystemen abzumildern“, sagt Erstautor Dr. Anjaharinony Rakotomalala, Postdoktorand an der Universität Marburg. „Die Ergebnisse sollten die Politik ermutigen“, ergänzt Dr. Anoush Ficiciyan von der Universität Göttingen, „in Agrarumweltprogrammen Anreize für die Überführung von Mono- in Mischkulturen zu setzen.“

### Georg-August-Universität Göttingen Abteilung Agrarökologie

→ Prof. Dr. Teja Tscharnkte

→ [ttschar@gwdg.de](mailto:ttschar@gwdg.de)

→ [www.uni-goettingen.de/de/92552.html](http://www.uni-goettingen.de/de/92552.html)

# Vertical Farming im Gewächshaus

Der Klimawandel gefährdet die Landwirtschaft: Häufigere Extremwetterlagen führen zu Ernteaussfällen, Bodendegradation und Erosion. Gewächshäuser bieten dagegen die Möglichkeit kontrollierter Wachstumsbedingungen, doch das Wassermanagement und der enorme Energiebedarf sind große Herausforderungen. Ein Gründungsteam der Leibniz Universität Hannover entwickelt ein innovatives Beleuchtungssystem für vertikale Gewächshäuser, in denen Pflanzen in Regalen gestaffelt werden.

Landwirtinnen und Landwirte sind häufig dazu gezwungen, übermäßig Dünger, Pestizide und Bewässerung einzusetzen, um ihre Ernteerträge zu sichern. Durch Klimawandel und häufigeres Extremwetter verstärkt, können daraus landwirtschaftliche Dürren, Bodendegradation und Umweltprobleme erfolgen. Das „Vertical Farming“ hingegen bietet in Regalen gestaffelten Pflanzenbau unter kontrollierten Wachstumsbedingungen und künstlichem Licht in geschlossenen Produktionshallen. Die Vervielfachung der Anbaufläche und das optimierte Mikroklima in sogenannten Indoor Vertical Farms steigert die Produktivität bis zu 100fach. Aufgrund der Rezirkulation der Bewässerung wird gleichzeitig der Wasser- und Nährstoffverbrauch allein durch den Stoffwechsel der Pflanzen bestimmt und damit auf ein Minimum reduziert. In der pestizidfreien Umgebung lassen sich ganzjährig und lokal frische landwirtschaftliche Güter erzeugen.

## Sonnenlicht nutzen, Energiekosten senken

Steht die Lösung also bereits vor der Tür? „Nein“, sagt Malte Freiknecht, „denn der enorme Energiebedarf der künstlichen



Die höchsten Kosten beim Indoor Vertical Farming verursacht die künstliche Beleuchtung. Ein neuartiges Anbaukonzept nutzt auch das Sonnenlicht und sorgt gleichzeitig für eine homogene Lichtverteilung.



Kulturpflanzen wie Mangold und Weißkohl gedeihen in Gewächshäusern unter kontrollierten Wachstumsbedingungen. Doch das Wassermanagement und die Lichtregelung sind große Herausforderungen.

Beleuchtung aller Erzeugnisse relativiert die ökologischen Vorteile.“ Er gehört zum Team eines Gründungsprojekts der Leibniz Universität Hannover, das derzeit an einer Lösung arbeitet. Gefördert durch ein EXIST-Gründungsstipendium, entwickelt das Team am Institut für Thermodynamik in Zusammenarbeit mit dem Institut für Gartenbauliche Produktionssysteme ein Vertical Farming System, das auch in Glasgewächshäusern funktioniert und das Sonnenlicht direkt nutzt.

## Regelung sorgt für homogene Lichtverteilung

„Trivial ist das nicht“, erklärt Malte Freiknecht, „denn durch die Regalbauweise kommt es zur Schattenbildung und es entstehen zunächst heterogene Wachstumsbedingungen.“ Hierfür entwickelt das Team eine Beleuchtungsregelung, die das Sonnenlicht nutzt. „Die Besonderheit liegt darin, dass die Regelung für alle Pflanzen genau so viel künstliches Licht substituiert, bis eine homogene Beleuchtungsverteilung vorliegt“, erläutert der Gründer. Im sogenannten Vertical Greenhouse wird im Vergleich zu einer herkömmlichen Indoor Vertical Farm bis zu 48 Prozent der elektrischen Leistung für die künstliche Beleuchtung eingespart. Für die Entwicklung ist eine europaweite Patentanmeldung eingereicht.

## Leibniz Universität Hannover Institut für Thermodynamik

→ Malte Freiknecht  
→ freiknecht@ift.uni-hannover.de  
→ [www.ift.uni-hannover.de/de/forschung/forschungsbereiche/hybrid-indoor-vertical-farming](http://www.ift.uni-hannover.de/de/forschung/forschungsbereiche/hybrid-indoor-vertical-farming)



Beispiel der Datenverarbeitung von künstlicher Intelligenz: Die KI erkennt und zählt bestimmte Pflanzenarten auf Drohnenbildern und markiert diese.

Praxis

# Grünlandmanagement für mehr Biodiversität und Klimaresilienz



Milchvieh grast auf der Weide – eine landläufige Vorstellung von artgerechter Tierhaltung. Doch die Beweidung kann unter Umständen die Biodiversität im Grünland gefährden. Die Universitäten Göttingen und Vechta wollen mit einem europäischen Konsortium die Milchproduktion mit Natur- und Artenschutz vereinbaren und landwirtschaftliche Betriebe fitter für den Klimawandel machen. Mit Hilfe von KI-basierter Drohnentechnik sollen verschiedene Bewirtschaftungsmethoden ausgewertet und Empfehlungen für ein schlagspezifisches Grünlandmanagement per App gegeben werden. Dafür werden noch Partnerbetriebe gesucht.

**M**ilchvieh haltende Betriebe haben einen direkten Einfluss auf die biologische Vielfalt im Grünlandökosystem. Betriebsindividuelle Entscheidungen, etwa die Wahl des Saatgutes, Düngung, Anzahl der Grasschnitte oder wann, wo und wie lange Kühe auf den Weiden grasen, entscheiden nicht nur über die Milchleistung, sondern auch darüber, wie lebensfreundlich die Fläche für Insekten, Vögel und Pflanzenarten ist. Gleichzeitig erfordern Klimawandel und zunehmende Sommertrockenheit ein angepasstes Grünlandmanagement, insbesondere auf Intensivgrünland. Hier setzt das europäische Projekt DivGrass an, das der Verbund Transformationsforschung agrar Niedersachsen (trafo:agrar) mit Sitz an der Universität Vechta koordiniert. Zentrale Fragestellungen sind: Kann ein artenreiches Grünland zu einer höheren Klimaresilienz beitragen? Wie gewährleistet ein angepasstes Grünlandmanagement gleichbleibend hohe Produktionsleistungen und erhält damit die Wirtschaftlichkeit des Betriebs?

## Empfehlungen zum Weidemanagement per App

Mit Hilfe von Feldlaboren und KI-basierter Drohnentechnik werden Daten von Weiden und Grünflächen gesammelt, verarbeitet und ausgewertet. Die Projektpartner arbeiten hierbei mit landwirtschaftlichen Betrieben aus der Praxis zusammen, unterstützen und beraten diese. So führen zum Beispiel eine anhaltende starke Beweidung und Trittschäden dazu, seltene Pflanzen aus einem System zu verdrängen. Im Gegensatz dazu kann mäßige Beweidung die Pflanzenvielfalt erhöhen und dominante Arten eindämmen. Das Gleichgewicht zu finden zwischen der Beweidung als Futtergrundlage und als Instrument, das Produktion, Biodiversität und Widerstandsfähigkeit von Grünlandssystemen steigert, erfordert Know-how und Übung. Geplant ist ebenfalls eine DivGrass-App, die Landwirtinnen und Landwirten Ergebnisse und Empfehlungen möglichst einfach zugänglich macht.

## Agrarbetriebe für Zusammenarbeit gesucht

In dem internationalen Verbund (Schweden, Niederlande, Belgien, Frankreich und Deutschland) entwickeln elf Partner aus Landwirtschaft, Wissenschaft und Wirtschaft gemeinsam praktische Ansätze, um Ökosystemdienstleistungen, Biodiversität, Natur- und Artenschutz mit Produktionsleistungen zu kombinieren und zu optimieren. DivGrass wird vom INTERREG North Sea Programm gefördert. Landwirtschaftliche Betriebe in Deutschland, die an einer Teilnahme interessiert sind, können sich gerne bei trafo:agrar melden. Die Tätigkeiten im Projekt werden für die teilnehmenden Betriebe vergütet.

## Universität Vechta

### Verbund Transformationsforschung agrar Niedersachsen

→ Dr. Barbara Grabkowsky, Dr. Martin Komainda, Vera Schockemöhle, B. Sc.

→ [vera.schockemoehle@uni-vechta.de](mailto:vera.schockemoehle@uni-vechta.de)

→ [www.uni-vechta.de/koordinierungsstelle-transformationsforschung-agrar/projekte/aktuelle-projekt/universitaet-osnrabueck-4](http://www.uni-vechta.de/koordinierungsstelle-transformationsforschung-agrar/projekte/aktuelle-projekt/universitaet-osnrabueck-4)



Das Konsortium aus Wissenschafts- und Praxispartnern aus Schweden, Deutschland, Niederlande, Belgien und Frankreich traf sich im Oktober 2023 in Hamburg.

# Moorlandschaften in Zukunft nachhaltig nutzen



Mehr als zwei Drittel der deutschen Moore wurden bisher entwässert und in Ackerland umgewandelt, was große Mengen Treibhausgase verursachte. Die Nationale Moorschutzstrategie von 2022 sieht vor, ein Gros dieser Moorflächen wiederzuvernasen. Aber wie lässt sich diese Transformation konfliktarm und gerecht gestalten? Die Universität Göttingen untersucht die unterschiedlichen Wertvorstellungen zum Moor. Ein Schwerpunkt liegt auf den immateriellen Werten, wie den kulturellen Aspekten von Moorlandschaften, die oftmals wichtige Treiber oder Barrieren für Schutz- und Renaturierungsprojekte darstellen.

Intensive Landwirtschaft prägt viele entwässerte Moorböden, hier am Rand des Neustädter Moors, Teil der Diepholzer Moorniederung. Für eine klimafreundliche Landnutzung müssen die Belange der Landwirte berücksichtigt werden.

**M**oorlandschaften zu erhalten und wiederherzustellen ist angesichts der Klimakrise von entscheidender Bedeutung. Die aus der Entwässerung resultierenden Treibhausgasemissionen machen in Deutschland sieben Prozent der Gesamtbilanz aus. Doch groß angelegte Landschaftsveränderungen führen oft zu Konflikten. Familien haben über Generationen hinweg Fleiß, Arbeit und Wissen investiert, um das Moor in Ackerland zu überführen, was intensiv gefördert wurde. Die Landwirtinnen und Landwirte sind eng mit dieser Landnutzung verbunden und knüpfen immaterielle Werte daran. Viele Existenzgrundlagen hängen davon ab. Ein besseres Verständnis der Beziehungen zwischen Mensch und Moor kann dazu beitragen, Barrieren für Landschaftstransformationen zu erkennen und damit verbundene Konflikte zu lösen oder zu mildern.

Das Projekt „Menschen und Moore“ des Lehrstuhls für Sozialökologische Interaktionen der Universität Göttingen untersucht, welche immateriellen Werte mit Moorlandschaften verknüpft sind und welchen Beitrag diese für die Menschen leisten, die dort wohnen oder Landwirtschaft und Naturschutz betreiben. Das niedersächsische Wissenschaftsministerium fördert das Projekt. Basierend auf diesen Erkenntnissen werden Szenarien für eine nachhaltige Nutzung einer Moorlandschaft in Niedersachsen erarbeitet. „Die Ergebnisse werden praktische Tipps und Strategien zur Wiederherstellung von Mooren bieten“, stellt Projektleiterin Dr. Claudia Heindorf in Aussicht. Ihr zufolge sollten „politische Entschei-

dungen stärker immaterielle Werte berücksichtigen, durch die die Moorlandschaft zum menschlichen Wohlbefinden beiträgt“. Die Zusammenarbeit von Politik, Forschung, Landwirtschaft und Gesellschaft an der Wiederherstellung von Mooren und eine werteinklusive Planung steigern die Akzeptanz.

Doch wie können Landwirte von wiederhergestellten Mooren profitieren? Claudia Heindorf zufolge gebe es zahlreiche Ansätze. „Paludikulturen, wie Torfmoos- oder Schilfrohanbau, ermöglichen eine nachhaltige Bewirtschaftung von renaturierten Moorflächen mit hohem Wasserspiegel“, erläutert sie. Diese lieferten zum Beispiel nachwachsende Dämmstoffe. Zudem sei die extensive Grünlandnutzung, etwa mit Schafen oder Wasserbüffeln, in Moorrandgebieten eine Option. Eine andere Einkommensquelle böten Pflege- und Erhaltungsmaßnahmen. Solche Strategien ergänzen die Multifunktionalität von Moorlandschaften – einem Mosaik aus verschiedenen Landnutzungsformen, die allesamt zur Lebensqualität und zum Wohlbefinden der Menschen beitragen. Diese komplexen Zusammenhänge bei der Transformation von Moorlandschaften zu verstehen ist Ziel des Projekts.

**Universität Göttingen**  
**Department für Agrarökonomie und Rurale Entwicklung**

→ Dr. Claudia Heindorf

→ [claudia.heindorf@uni-goettingen.de](mailto:claudia.heindorf@uni-goettingen.de)

→ [www.uni-goettingen.de/de/573702.html](http://www.uni-goettingen.de/de/573702.html)



Ein wiedervernasstes Moor des Mittleren Wietingsmoors der Diepholzer Moorniederung: Um die Flächen vor Verbuschung zu schützen, müssen regelmäßig Bäume und Sträucher entnommen werden.

Forschung

# 5G-Technologie optimiert Wassermanagement

Die 5G-Technologie soll dazu beitragen, die Landwirtschaft noch ressourcenschonender zu gestalten. Sie überträgt Daten zwischen Sensoren, landwirtschaftlichen Maschinen, Wetterstationen und weiteren Quellen.

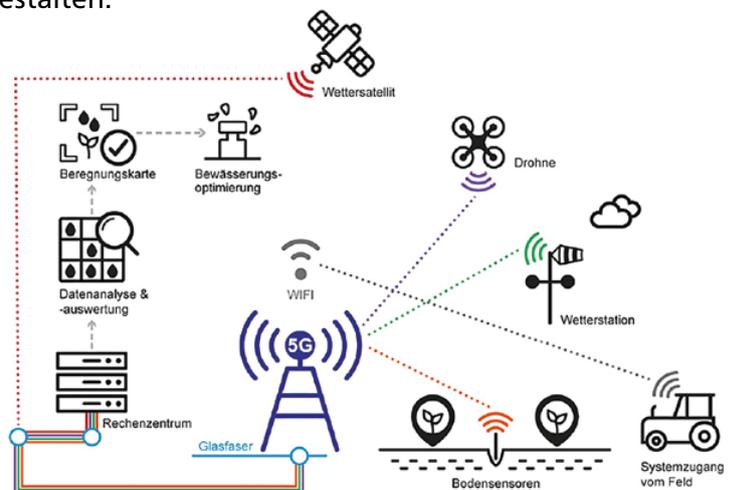
Die Region Nordostniedersachsen ist gemäß Umweltbundesamt eine der intensivsten bewässerten Regionen in Deutschland. Aus diesem Grund ist hier der sparsame Umgang mit der Ressource Wasser in der Landwirtschaft besonders relevant. Die Ostfalia Hochschule entwickelt hierfür eine praxistaugliche Datenplattform im 5G-Standard. Sie soll dazu beitragen, die Landwirtschaft noch ressourcenschonender zu gestalten.

**D**aten aus verschiedenen Sensoren, landwirtschaftlichen Maschinen und weiteren Quellen sind wichtig für ein effizientes Wassermanagement. Diese Daten sollen in einer offenen Datenplattform direkt zusammenfließen. Daran arbeitet derzeit das Institut für Nachhaltige Bewässerung und Wasserwirtschaft im ländlichen Raum (INBW) der Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften im Forschungsprojekt „5G in der Landwirtschaft“. Die Plattform verarbeitet die Daten KI-gestützt, um daraus eine Bewässerungsempfehlung abzuleiten, die wiederum direkt an die Beregnungsmaschine weitergegeben wird.

## Geräte vernetzen, große Datenmengen analysieren

Die systemrelevanten Daten wie Bodenfeuchte, Wetterdaten und Bilddaten aus Drohnenüberflügen werden mittels des neuen Mobilfunkstandards 5G an die offene Datenplattform gesendet. Die 5G-Technologie macht die schnelle Analyse und Verarbeitung von großen Datenmengen und die Kommunikation unterschiedlicher Geräte miteinander möglich. Für die geeignete Sensorik sind sowohl auf einer landwirtschaftlichen Testfläche als auch im Labor des INBW Bodenfeuchtesensoren von sieben verschiedenen Herstellern getestet worden (siehe auch Seite 23).

Zusätzlich fliegen Drohnen über landwirtschaftliche Testflächen und liefern Bilder aus Infrarot-, Multispektral-, und RGB-Kamerasystemen. Diese Informationen wertet die Plattform zusammen mit den punktuellen Daten der Bodenfeuchtesensoren aus, um daraus dann Empfehlungen für eine optimierte und bedarfsgerechte Bewässerung abzuleiten.



Das Projekt „5G in der Landwirtschaft“ führt relevante Daten auf einer Plattform zusammen. Die KI-gestützte Auswertung soll das Wassermanagement effizienter gestalten.

## Ostfalia Hochschule Institut für nachhaltige Bewässerung und Wasserwirtschaft im ländlichen Raum

- Nathalie Kockemüller, M. Sc.
- [na.kockemueller@ostfalia.de](mailto:na.kockemueller@ostfalia.de)
- Prof. Dr.-Ing. Klaus Röttcher
- [k.roettcher@ostfalia.de](mailto:k.roettcher@ostfalia.de)
- <https://wasser-sudenburg.de>
- <https://wasser-sudenburg.de/5g/>

# Ihre Ansprechpersonen bei den Technologietransferstellen der niedersächsischen Hochschulen

## Technische Universität Braunschweig Transferservice, Technologietransfer

→ Jörg Saathoff  
→ Telefon 0531 391-4260, Fax 0531 391-4269  
→ tt@tu-braunschweig.de

## Hochschule für Bildende Künste Braunschweig Technologietransfer

→ www.hbk-bs.de

## Technische Universität Clausthal Servicezentrum für Forschung und Transfer

→ Mathias Liebing  
→ Telefon 05323 72-7754  
→ transfer@tu-clausthal.de

## Georg-August-Universität Göttingen Abteilung Forschung und Transfer

→ Dr. Birte Otten  
→ Telefon 0551 39-28242  
→ birte.otten@zvw.uni-goettingen.de

## Universitätsmedizin Göttingen Stabsstelle Wissens- und Technologietransfer

→ Alexander Berg  
→ Telefon 0551 39-61258  
→ alexander.berg@med.uni-goettingen.de

## Leibniz Universität Hannover uni transfer

→ Christina Amrhein-Bläser  
→ Telefon 0511 762-5728  
→ christina.amrhein-blaeser@zuv.uni-hannover.de

## Medizinische Hochschule Hannover Stabsstelle Forschungsförderung, Wissens- und Technologietransfer

→ Christiane Bock von Wülffingen  
→ Telefon 0511 532-7902  
→ bockvonwuelfingen.christiane@mh-hannover.de

## Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover Technologietransfer

→ Dr. Jochen Schulz  
→ Telefon 0511 953-8953  
→ jochen.schulz@tiho-hannover.de

## Stiftung Universität Hildesheim Forschungsmanagement und Forschungsförderung

→ Christiane Brandau  
→ Telefon 05121 883-90122  
→ brandau@uni-hildesheim.de

## Leuphana Universität Lüneburg Wissenstransfer und Kooperationen

→ Andrea Japsen  
→ Telefon 04131 677-2971, Fax 04131 677-2981  
→ japsen@leuphana.de

## Carl von Ossietzky Universität Oldenburg Referat Forschung und Transfer

→ Franziska Gloeden  
→ Telefon 0441 798-4932  
→ franziska.gloeden@uni-oldenburg.de

## Universität Osnabrück/Hochschule Osnabrück Transfer- und Innovationsmanagement TIM der Hochschule und Universität Osnabrück

→ Dr. Christian Newton  
→ Telefon 0541 969-2057  
→ c.newton@wtt-os.de

## Universität Vechta Referat Forschung, Nachwuchsförderung und Transfer

→ Dr. Daniel Ludwig  
→ Telefon 04441 15-642  
→ daniel.ludwig@uni-vechta.de

## Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften Hochschule Braunschweig/Wolfenbüttel Wissens- und Technologietransfer

→ Kai Hillebrecht  
→ Telefon 05331 939-10710, Fax 05331 939-10702  
→ kai.hillebrecht@ostfalia.de

## Hochschule Emden/Leer Wissens- und Technologietransfer

→ Katrin Stern  
→ Telefon 04921 807-1385  
→ katrin.stern@hs-emden-leer.de

## Hochschule Hannover Stabsabteilung Forschung, Entwicklung und Transfer

→ Elisabeth Fangmann  
→ Telefon 0511 9296-1019  
→ forschung@hs-hannover.de

## HAWK Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst Hildesheim/Holzwinden/Göttingen Forschung und Transfer

→ Dr. Lars ten Bosch  
→ Telefon 05121 881-264  
→ lars.bosch@hawk.de

## Jade Hochschule Wilhelmshaven/ Oldenburg/Elsfleth Wissens- und Technologietransfer

**Studienort Wilhelmshaven**  
→ Prof. Dr.-Ing. Thomas Lekscha  
→ Telefon 04421 985-2211, Fax 04421 985-2315  
→ thomas.lekscha@jade-hs.de

### Studienort Oldenburg

→ Katrin Keller  
→ Telefon 0441 7708-3121  
→ katrin.keller@jade-hs.de

### Studienort Elsfleth

→ Bernhard Schwarz-Röhr  
→ Telefon 04404 9288-4283  
→ bernhard.schwarz-roehr@jade-hs.de

## Impressum

### Herausgeber

Arbeitskreis der  
Technologietransferstellen  
niedersächsischer Hochschulen

### Redaktion

Christina Amrhein-Bläser  
uni transfer  
Leibniz Universität Hannover  
Brühlstraße 27, 30169 Hannover  
Telefon 0511 762-5728  
christina.amrhein-blaeser@zuv.uni-hannover.de

### Redaktionelle Mitarbeit

Cornelia Flothow, Clara Josupeit

### Gestaltung

büro fuchsunthase, Hannover

### Bildquellen

Titel: VectorMine, adobestock; Seite 3: Leuphana, Marvin Sokolis (oben); Seite 4: Samuel S Photos, unsplash; Seite 5: Ahmed Nassif, TU Braunschweig; Seite 6: SFB/TRR 364 SynTrac (oben), Jonas Grubert, Patrick Brunow, IFAS (Mitte); Seite 7: Roman, Pixabay (oben), Christian Kreuztmann (unten); Seite 8: Hochschule Hannover; Seite 9: Stephan Scholl, TU Braunschweig (oben), Karl Allen Lugmayer, Pixabay (unten); Seite 10 und 11 (links): IfBB, Hochschule Hannover; Seite 11 (rechts): Mark Winter, ZKfN; Seite 12: Holcim Deutschland GmbH (oben), Universität Hannover (unten); Seite 13: Joshua Goslar, TU Braunschweig; Seite 14: 2211438, Pixabay (oben), Zakaria Istanbuly (unten); Seite 15: Institut für Entwerfen und Städtebau (oben), Anna Pape, Universität Hannover (unten); Seite 16: Benimage, iStock; Seite 17: Maxhartmannphoto; Seite 18: Entwässerungsverband Oldersum (oben), Jade Hochschule/Universität Oldenburg (unten); Seite 19: Khushal Borse (oben), Universität Hannover (unten); Seite 20/21: Submaris; Seite 22: Friederike Sieve, Universität Göttingen (oben), Clara Bastian, iStock (unten); Seite 23: Friederike Sieve mit Freepik.com (links), INBW, Ostfalia Hochschule (rechts); Seite 24: INBW, Ostfalia Hochschule; Seite 25: Kazem Zamanian, Universität Hannover; Seite 26: Universität Göttingen (oben), Ram Kishor, unsplash (unten); Seite 27: Malte Freiknecht; Seite 28: Spectro AG (oben), trafo:agrar (unten); Seite 29: Claudia Heindorf, Universität Göttingen; Seite 30: INBW, Ostfalia Hochschule (oben), Landkreis Uelzen (unten).

Wir danken dem Niedersächsischen Ministerium für Wissenschaft und Kultur für die finanzielle Unterstützung.

Gedruckt auf FSC-zertifiziertem Papier.

Die Online-Ausgaben der bisher veröffentlichten Technologie-Informationen finden Sie unter [www.wissenhochn.de/de/ti-magazin](http://www.wissenhochn.de/de/ti-magazin). Dort können Sie das Magazin auch kostenfrei abonnieren.

### Themen der vorigen vier Ausgaben

→ Gesellschaft – Klima – Wandel, 3/2023  
→ Energiesysteme im Wandel, 2/2023  
→ Verkehrslogistik, 1/2023  
→ Soziale Innovationen, 2+3/2022



Für kostenlose Beratung steht Ihnen das  
Enterprise Europe Network Niedersachsen zur Verfügung.

[www.een-niedersachsen.de](http://www.een-niedersachsen.de)