

**INEC**

INSTITUT FÜR INDUSTRIAL  
ECOLOGY

Ressourcen.  
Nachhaltig.  
Nutzen.

AKTUALISIERTE  
AUSGABE 2026







## Liebe Leserinnen und Leser,

mit dem Wintersemester 2026/27 steht ein Wechsel in der Leitung des INEC an, von Prof. Mario Schmidt zu Prof. Claus Lang-Koetz. Aber die Expertise bleibt erhalten, ebenso die Inhalte unserer Forschung und Lehre. Schnuppern Sie rein in unser Spektrum. Wir haben hier eine Auswahl zusammengestellt und aktuell ergänzt.

**D**as INEC ist thematisch und personell breit aufgestellt. Acht hauptamtliche Professuren mit Nachhaltigkeitsbezug sind im Institut zusammengefasst. Neu an Bord ist Dr. Roukaya Issaoui-Domnik, die 2025 auf die Stiftungsprofessur der Carl-Zeiss-Stiftung berufen wurde und insbesondere den Ressourcenbereich verstärkt. Unser langjähriger Lehrbeauftragter Dr. Rüdiger Herpich wurde im Frühjahr 2026 zum Honorarprofessor ernannt. Er bringt wichtiges Know-how aus der betrieblichen Praxis mit ein. Im Gegensatz dazu ist unser langjähriger Mitarbeiter und Institutsgeschäftsführer Dr. Christian Haubach von der Hochschule in die Wirtschaft gewechselt. Dafür wünschen wir ihm viel Erfolg. Unsere geschätzte Kollegin Heidi Hottenroth übernimmt die Aufgaben der Institutskoordination.

Die Themen, die wir hier zusammengestellt haben, stammen aus vergangenen und laufenden Forschungsprojekten und Aktivitäten. Wir haben einen umfangreichen Fundus an Beiträgen in den Jahresberichten der Hochschule Pforzheim, auf den wir aufbauen und den wir aktuell ergänzen. Hier sei ein herzlicher Dank an das Konturen-Team gerichtet, in erster Linie an Kollegin Prof. Christa Wehner und an die Grafikerin Patricia Braun, die uns auch diesmal unterstützt hat. Ein großer Dank gilt allen Kolleginnen und Kollegen, die zu dieser Broschüre beigetragen haben.

Für Ihr Interesse an unseren Arbeiten bedanken wir uns ebenfalls. Wenn Sie mehr Informationen brauchen, dann sprechen Sie uns an. Die Kontakte stehen am Ende dieser Broschüre. Denn Wissenschaft bewegt nur etwas, wenn sie auch angewendet wird. In den Unternehmen, in der Politik und bei den Menschen.

Ihr

Mario Schmidt

Claus Lang-Koetz

[www.hs-pforzheim.de/inec](http://www.hs-pforzheim.de/inec)

>  
Sie kommen direkt auf die Instituts-Homepage, wenn Sie diesen QR-Code per Handy oder Tablet scannen.



## Editorial — 003

## Forschung

- Das INEC – eine besondere Institution in der Hochschule [SCHMIDT, LANG-KOETZ] — 004
- Seltene Erden – eine seltsame Geschichte [SCHMIDT] — 010
- Wie Unternehmen mit GreenTech erfolgreich wachsen können [LANG-KOETZ, HUTSCHEK] — 014
- Recycling von Rotorblättern aus Windenergieanlagen [WOIDASKY, STEINER] — 018
- Ressourcen sparen und die Umwelt schonen [LANG-KOETZ, TIETZE] — 020
- Kunststoffrasensysteme – was passiert nach dem Abpiff? [WALZ] — 022
- Kreislaufwirtschaft im Krankenhaus [ZECHA, WOIDASKY] — 025
- Wie können Beatmungssysteme kreislauffähiger gestaltet werden? [KERN, WOIDASKY] — 026
- H<sub>2</sub> Chemie 2050 [RUDOLF, SCHMID, SENK, APITZSCH-DELAVALT] — 028
- greenProd [BISCHOFF, TIETZE] — 030
- Kreislauf E-Wende [HEIDAK, PATT] — 032
- Mogeln mit Ökobilanzen [SCHMIDT] — 034
- Umberto [SCHMIDT] — 037
- Mit DfC-Industry frühzeitig in Kreisläufen denken [PRUHS, KUSCH, VIERE, WOIDASKY] — 040
- Global gedacht – lokal gehandelt: Klimaresilientes Gebäudemanagement [LAMBRECHT, PUFAL] — 042
- Warum ist die Circular Economy für den Klimaschutz wichtig? [CASTILLO, HAUBACH, VIERE] — 044
- Ressourcen schonen mit der Materialflusskostenrechnung [HENDRICH, SCHMIDT] — 046
- »100 Betriebe«: 10 Prozent sind immer drin – bewiesen! [SCHMIDT, HAUBACH] — 048
- 1-2-3: Wie berechne ich meinen Carbon Footprint? [SCHMIDT, HAUBACH] — 052
- Glasklar mit viel Luft nach oben [WOIDASKY] — 054
- Lean und Green ergänzen sich! [BERTAGNOLLI] — 056
- Sechs Planspiele für Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz [BERTAGNOLLI] — 058
- Nachhaltigkeitsorientierte Innovationen in Unternehmen initiieren und umsetzen  
[LANG-KOETZ, SCHIMPF] — 060
- ReDiBlock [COBLENZER] — 062
- Recyceltes Gold aus der Goldstadt ist auch ökologisch goldig [SCHMIDT] — 065
- Goldbagger sind die Vorhut der Regenwaldkiller [FRITZ] — 068

Mit Spieltheorie und Operations Research dem Gold auf der Spur [SCHMIDT] — 070

Der Preis der Dekarbonisierung beginnt in Afrikas Minen [HEIDAK] — 073

Aus Müll wird Wissenschaft [DETERDING, SCHILL, AUER, EBERLE, KARATOPI, LANG-KOETZ, WOIDASKY] — 077

Verpackungsabfälle zum Leuchten bringen [SCHMIDT, AUER, KUSCH, LANG-KOETZ, WOIDASKY] — 080

Klimaschutz = Umweltschutz!?! [HOTTENROTH, LAMBRECHT, LEWERENZ, TIETZE, VIERE] — 082

Klimaneutralität – realistische Vision oder Mogelpackung? [SCHMIDT] — 085

## Lehre

Nachhaltig und ressourceneffizient studieren [SCHMIDT, BERTAGNOLLI] — 088

Mit Zahlen der Umwelt auf den Zahn fühlen [SCHMIDT, VIERE] — 089

Für Umwelt und Natur auf dem Weg zum Dokortitel [SCHMIDT] — 090

»Challenge-based learning« [LANG-KOETZ, BERTAGNOLLI, TIETZE, VIERE, WOIDASKY] — 092

Auf dem »Shopfloor« indischer Unternehmen [ANSTÄTT] — 096

Bienen an der Hochschule [BERTAGNOLLI] — 098

»Klima-Challenge« – Studierende sparen eine Tonne CO<sub>2</sub> [LAMBRECHT] — 100

## Veranstaltungen

Voller Erfolg für ein neues Format des Instituts für Industrial Ecology  
[PREISS, LANG-KOETZ, HAUBACH] — 102

»Klimaneutralität« oder »Greenwashing« [SCHMID, RUDOLF, ARIAS-CASTILLO] — 106

20. Ökobilanzwerkstatt [HAUG, HOTTENROTH, VIERE] — 113

Wohlwollende Unterstützer: Die PSD Bank Karlsruhe-Neustadt [SCHMIDT] — 114

## Personen

Honorarprofessur für Dr. Rüdiger Herpich [LANG-KOETZ] — 116

Ein Leben für die Umwelt zwischen Wissenschaft und Politik [HERZIG, SCHMIDT] — 117

Mitglieder am Institut für Industrial Ecology (INEC) — 122

## Impressum — 124

# Das INEC – eine besondere Institution in der Hochschule

VON MARIO SCHMIDT UND CLAUS LANG-KOETZ | erschienen in den KONTUREN HSPF 2023

Das zehnjährige Jubiläum fiel aus – genauer: der Corona-Pandemie zum Opfer. Es hätte 2020 stattfinden müssen, denn das Institut für Industrial Ecology (INEC) wurde 2010 gegründet. Es war aus einer Forschergruppe hervorgegangen, die bereits seit dem Jahr 2000 direkt am Institut für Angewandte Forschung (IAF) angesiedelt war.

**D**ann war es Zeit, eine eigene Institution zu gründen, denn die Anzahl der drittmittelfinanzierten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter und auch die Aufgaben wuchsen: Im Rahmen der Hochschulausbaupläne wurden an der Fakultät für Wirtschaft und Recht ein neuer Bachelor-Studiengang Ressourceneffizienz-Management (REM) und ein neuer Master-Studiengang „Life Cycle & Sustainability“ (MLICS) eingerichtet. Damit kamen insgesamt sechs neue Professorinnen und Professoren an Bord, die im engeren Sinne etwas mit Nachhaltigkeit zu tun haben, darunter war auch eine Professur, die auf Vermittlung des damaligen Rektors Martin Erhardt von der PSD-Bank Karlsruhe-Neustadt gestiftet wurde.

Das INEC ist damit nicht nur als Forschungsstätte installiert worden, sondern zugleich auch als Peer Group für die Lehre im Nachhaltigkeitsbereich. Forschung und Lehre als Einheit, das war und ist bis heute das Ziel des INEC. Mit inzwischen zwei kooperativen Promotionskollegs in Zusammenarbeit mit dem KIT in Karlsruhe wurde dieses Konzept nochmals unterstrichen.

Doch was ist „Industrial Ecology“? Warum dieser Name und nicht Institut für Nachhaltigkeit, Kreislaufwirtschaft und sonstige „Weltschmerzen“? Darüber wurde 2010 im Forscherteam intensiv diskutiert. Welcher Begriff passt? Was ist das Alleinstellungsmerkmal des Instituts? Das kann-



&gt;

Die Logos des INEC und der Studiengänge REM und MLICS (v.l.n.r.)



te schnell identifiziert werden: Es war und ist bis heute die Quantifizierung von Umwelt- und Nachhaltigkeitsaspekten. Die Ökobilanzierung, in der Fachsprache Life Cycle Assessment (LCA) genannt, steht im Mittelpunkt. Ebenso der Klimafußabdruck (Carbon Footprint) und viele andere Methoden der quantitativen Analyse. Zum Einsatz kommen Software-Tools, die von Mitgliedern des Teams in der Vergangenheit teilweise mitentwickelt wurden und heute weltweit und professionell eingesetzt werden. Nachhaltigkeit wird also nicht als leere Begriffsformel oder Weihnachtswunschzettel der Menschheit verwendet, sondern als die anspruchsvolle Herausforderung, quantitative Ziele – z. B. im Klimaschutz – durch konkrete Maßnahmen zu erreichen. Im Mittelpunkt der Arbeit stehen deshalb die Energie- und Materialströme unserer Industriegesellschaft, also der industrielle Metabolismus. Daraus leitet sich auch der Begriff Industrial Ecology ab, der im Deutschen ungebräuchlich, im Angelsächsischen aber weit verbreitet ist.

## Lehre für die Nachhaltigkeit

Besondere Sorgfalt wurde auf die Suche nach einem geeigneten Logo gelegt. Hier erfolgte eine enge Zusammenarbeit mit der geschätzten Kollegin Alice Chi aus der Fakultät für Gestaltung und ihren Studierenden (vgl. *Artikel in Konturen 2011*). Aus den vielen verschiedenen Entwürfen wurde schließlich die Dekomposition eines Kreislaufs gewählt und damit die ein Jahrzehnt spätere populäre Diskussion um Circular Economy weitsichtig aufgegriffen. Der Entwurf stammte von dem Studenten Simon Mager, der heute erfolgreicher Grafikdesigner in Lausanne ist. Apropos Logo: Auch die beiden Studiengänge bekamen ein Logo verpasst: Der REM erhielt ein Bündel an Pfeilen, was die Energie- und Stoffströme symbolisieren soll; der MLICS wurde durch Bänder, die die Welt umspannen, dargestellt, was den globalen Ansatz der Ganzheitlichkeit „von der Wiege bis zur Bahre“ – der Schlachtruf der Ökobilanzierer – andeuten soll. Beide Logos, die von dem Mannheimer Grafikbüro ID Kommunikation entworfen wurden, sind natürlich in der Schmuckfarbe der Hochschule gehalten, in Gold, was sich Jahre später noch als sehr treffend erweisen sollte.

&lt;

Das aktuelle INEC-Team im Frühjahr 2026.

Foto: Cornelia Kamper

Innovation erfordert Mut und Risikobereitschaft. So war das auch mit den neuen Studiengängen. Beide gab es bislang nicht, keine Blaupausen für ein Curriculum. Selbst die Namensgebung war neu. Ressourceneffizienz-Management? Was soll das sein? Ein grüner Hausmeister? Auch wenn die Themen aktuell und interessant waren, werden die Absolventen später eine Anstellung finden? Mehr als zehn Jahre danach kann man diese Frage mit einem selbstbewussten JA beantworten. Gut ausgebildete und methodisch geschulte Experten in Sachen Ökobilanzierung oder Ressourceneffizienz werden derzeit überall gesucht: in der produzierenden Wirtschaft, in der Politik und Verwaltung und im Consulting-Gewerbe, von NGOs ganz zu schweigen. Die Zeiten eines Nischendaseins der Nachhaltigkeit sind vorbei. Der Studiengang Ressourceneffizienz-Management wurde inzwischen an anderen Hochschulen kopiert, z. B. an der Hochschule Mittelhessen, allerdings mit mehr technischem Einschlag, das war seinerzeit an der Hochschule Pforzheim nicht möglich. Der Master-Studiengang Life Cycle & Sustainability ist bislang der einzige seiner Art in Deutschland, in dem man Ökobilanzierung von der Pike auf lernen und richtig anwenden kann. Gerade diese Expertise wird händeringend von Industrieunternehmen gesucht. Denn die Öko- oder Klimabilanz wird immer mehr zum Standard, aber kaum jemand kann sie „richtig“ berechnen.

## Forschung für die Nachhaltigkeit

Im Forschungsbereich hat sich das INEC zur drittstärksten und kontinuierlichsten Kraft an der Hochschule entwickelt. Drei Dinge sind hier besonders wichtig: Zum einen wird das Institut von einem Kollegium an Professorin und Professoren getragen, das eine große Breite an Forschungsthemen, aber auch eine Langfristigkeit über die Halbwertszeit einzelner Professuren hinaus zulässt. Zum anderen ist das Drittmittelvolumen und damit auch die Möglichkeit, wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter zu beschäftigen, stetig gewachsen und betrug im Jahr 2022 mehr als 1,6 Mio. Euro. Schließlich sind die Institutsangehörigen eng vernetzt mit gesellschaftlichen Akteuren und anderen Forschungseinrichtungen, engagieren sich auf Kongressen und in Gremien und publizieren ihre Ergebnisse in angesehenen Fachjournals. Diese Kombination führt zu Synergieeffekten und beeinflusst maßgeblich den Erfolg des Instituts, der das Ergebnis einer intensiven Teamarbeit ist.

&gt;&gt;



Die Themenpalette, die am INEC bearbeitet wird, ist vielfältig. Sie reicht von konkreten Lösungen in einzelnen Unternehmen, geht über Methoden- und Toolentwicklungen bis hin zur Politikberatung auf Landes- und auf Bundesebene. Derzeit hoch im Kurs ist alles, was mit dem Klimawandel und der Treibhausgas-Neutralität zu tun hat. Doch dem Thema Ressourceneffizienz hat das INEC seine bundesweite Bekanntheit zu verdanken.

Bereits vor 20 Jahren konnte das Pforzheimer Forscherteam in BMBF-geförderten Projekten nachweisen, dass im Energie- und Materialbereich der produzierenden Wirtschaft große Einsparpotentiale schlummern. „10 Prozent sind immer drin“, war damals ein Slogan und eine Kampagne, die an der Hochschule Pforzheim 2009 entwickelt wurde, mit finanzieller Unterstützung des damaligen Umweltministeriums in Stuttgart. Auf Bundesebene waren das Team an einer großen Studie des Wuppertal-Instituts für des Bundesumweltministeriums zur Materialeffizienz und Ressourcenschonung beteiligt, ebenso an den Richtlinien-Arbeiten des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI). Die neue grüne Landes-

regierung in Baden-Württemberg griff das Thema dann 2011 prominent auf. Auf unseren Vorschlag wurde ein jährlicher Ressourceneffizienz-Kongress eingerichtet, an dem inzwischen über 1.000 Personen regelmäßig teilnehmen. Zusammen mit dem INEC wurde eine Landesstrategie Ressourceneffizienz entwickelt; auch an der aktuellen Fortschreibung ist das INEC unmittelbar beteiligt. Die Krönung war aber ein Projekt, bei dem es gelang, eine Kooperation zwischen (grün geführter) Landesregierung und den wichtigsten Wirtschaftsverbänden im Land zu erreichen: die „100 Betriebe für Ressourceneffizienz“.

### Einhundertmal Praxis – eine große Zahl

Mit maßgeblicher Unterstützung des inzwischen verstorbenen Präsidenten im Landesverband der Industrie Baden-Württemberg, Dr. Hans-Eberhard Koch, der auch Mitglied in unserem Hochschulrat war, wurden zahlreiche Firmen gefunden, die ein offenes Bekenntnis und Beispiel zu ressourceneffizi-

^  
Auf dem Ressourceneffizienzkongress 2016 zeichnete Ministerpräsident Winfried Kretschmann die ersten 50 Unternehmen des INEC-Projektes aus.

Foto: Stefan Longin

>  
Aus dem Leuchtturm-Projekt entstanden drei Bände mit Praxisbeispielen und eine englische Übersetzung.



enten Ideen in ihrer Produktion geben. Das Projekt lief mit großem Erfolg 8 Jahre lang, in denen insgesamt 126 Fallbeispiele analysiert und vorgestellt und die Firmen schließlich prämiert wurden. Das INEC war Ideengeber und machte die Begleitforschung dazu. Der Ministerpräsident prämierte die ersten 50 Unternehmen auf dem Ressourceneffizienzkongress 2016. Daraus sind 3 Bände mit ausführlichen Beschreibungen der Beispiele entstanden, dazu eine englischsprachige Übersetzung. Im Dezember 2022 wurde das Projekt abgeschlossen. Kurzzeitig überlegte das Bundesumweltministerium, für Deutschland ein gleichlautendes Projekt mit 1.000 Betrieben aufzusetzen – aber das war dann doch zu viel des Guten. Man soll mit großen Zahlen nicht leichtfertig umgehen.

Um diesen „Leuchtturm“ gruppierten sich in den vergangenen Jahren zahlreiche andere Forschungsprojekte. So wurden eigens sechs Planspiele für die Weiterbildung in Unternehmen entwickelt (lesen Sie dazu den Beitrag von Frank Bertagnolli auf S. 58). Die Materialflusskostenrechnung (MFCA nach ISO 14051) wurde methodisch weiterentwickelt und im März 2023 in Stuttgart einer Fachöffentlichkeit vorgestellt. Die Verbindung der Materialeffizienz zum Klimaschutz wurde aufgegriffen. Für staatliche Fördermaßnahmen von fünf Bundesländern wurde eine Methode entwickelt, mit der in Unternehmen die Klimawirksamkeit von Materialeffizienzmethoden ermittelt werden kann. Ein kostenloser webbasierter Rechner für Unternehmen wurde entwickelt, mit dem die sogenannten Scope-3-Emissionen, also die Treibhausgasemissionen der Lieferkette, berechnet werden können. Apropos Lieferkette: Die Verfolgung von ökologischen und sozialen Informationen über die Lieferanten war Thema eines großen Forschungsprojektes, bei dem neue Methoden der Blockchain-Technik bzw. der Distributed Ledger Technology genutzt wurden.

## Ressourcen pur

Was für ein Unternehmen die Rohmaterialien oder Halbzeuge sind, war irgendwann mal Rohstoff, der aus der Umwelt gefördert werden musste, meistens mit großem Energieaufwand, Umwelt- und Klimabelastungen. Die Hälfte der weltweit erzeugten Treibhausgasemissionen geht auf die Förderung und Bereitstellung von Rohstoffen zurück: Metalle, Baumineralien, fossile Energieträger oder Biomasse. Deshalb war es verständlich, dass am INEC auch über die seit dem Club of Rome-Bericht 1972 apostrophierte Ressourcenknappheit und das Allheilmittel Recycling nachgedacht wurde. Mehrere Doktorarbeiten wurden dazu im Rahmen von größeren Forschungsvorhaben angefertigt. Die Situation stellt sich heute komplexer dar als 1972: Die weltweite Verflechtung der Wirtschaft ist größer, die Rohstoffabhängigkeit von wenigen Ländern ebenso.



^

Unterzeichnung des Kooperationsvertrags zu einem Forschungsprojekt zwischen der Firma Evonik in Rheinfelden und dem INEC der Hochschule Pforzheim im Jahr 2022.

Foto: INEC

Dazu kommt eine immer geringere technologische und wirtschaftliche Kompetenz Deutschlands und der EU bei der Eigenversorgung mit Rohstoffen. Hier liegen die eigentlichen Herausforderungen – und das bei enormen infrastrukturellen Aufgaben. So verlangen gerade der Klimaschutz und die Energiewende große Mengen an Rohstoffen zum Aufbau alternativer Versorgungssysteme. Der Einsatz und das mögliche Recycling von Rohstoffen in Energiesystemen wird derzeit in einem Forschungsprojekt für das Bundeswirtschaftsministerium erforscht, unter anderem gemeinsam mit der TU Darmstadt und Siemens Energy. Im Frühjahr 2023 wurde vom INEC eine Studie veröffentlicht, die sich mit dem Abbau von Manganknollen in der pazifischen Tiefsee befasst, zusammen mit der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Hannover – zeitgleich zur Konferenz der Internationalen Meeresbodenbehörde in Jamaica.

Ein ebenfalls aktuelles Energiethema wird zusammen mit der Firma Evonik in Rheinfelden aufgegriffen: Wir kann mit dem Wasserstoffeinsatz die Chemieproduktion in Deutschland in den nächsten Jahrzehnten sichergestellt werden? Die Alternative wäre das Abwandern von Industriebetrieben in das Ausland, z.B. nach China – allerdings mit deutlich negativen Auswirkungen auf das globale Klima, denn die Produktion in Deutschland ist vergleichsweise (!) effizient und klimaschonend. Lesen Sie dazu den KONTUREN-Beitrag „Transformation zu grünem Wasserstoff in der Chemischen Industrie“ auf S. 28.

## Nachhaltiges Gold aus Pforzheim?

Pforzheim hat eine besondere Beziehung zu Gold und zu Schmuck. Aber Gold hat einen zweifelhaften Ruf. Aus Nachhaltigkeitsperspektive sind mit der Gewinnung von Gold ökologische und soziale Probleme verbunden. Diese wurden in den vergangenen Jahren am INEC erforscht, insbesondere durch



^  
 Forschungsprojekte zum Goldabbau  
 im Amazonas Regenwald.

Foto: INEC

mehrere Exkursionen zu den Goldgruben im brasilianischen Regenwald des Amazonas (siehe Konturen 2020: „Recyceltes Gold aus der Goldstadt“). In Pforzheim stellt die Produktion von Gold eine Ausnahme dar: In Deutschland und speziell in der Goldstadt wird zu einem hohen Prozentsatz Recyclinggold eingesetzt – mit einem phantastisch niedrigen Carbon Footprint und ohne die sozialen und sonstigen Probleme beim Abbau, wie das INEC in verschiedenen Studien für Pforzheimer Scheideanstalten ermitteln konnte. Das Gold in dem Institutslogo hat also seine Berechtigung.

## Diversifizierung der Forschungsthemen

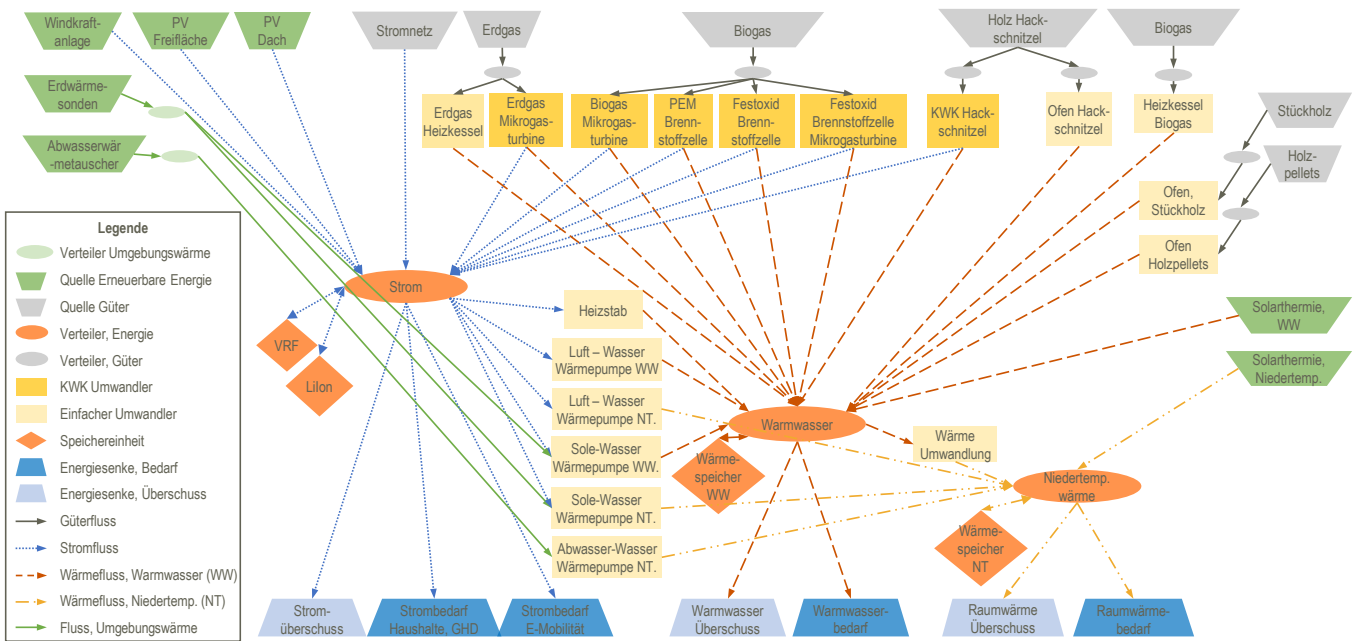
Mit der Institutsgründung und den neuen Studiengängen ist es gelungen, ein neues Schwerpunktthema an der Hochschule Pforzheim zu etablieren, das es so noch nicht gegeben hat und das weit in die Zukunft weist. Dabei ergeben sich auch neue Themen, die aus den Synergien von Professorinnen und Professoren, Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, drittmittelfinanzierten Forschungsprojekten, aber auch den Abschlussarbeiten der Studentinnen und Studenten entstehen.

Zum Beispiel: „Circular Economy“ (zirkuläres Wirtschaften). Das INEC befasst sich damit sowohl auf der Makro- wie auch auf der Mikroebene. Für das unternehmerische Handeln wird gemeinsam mit der Robert Bosch GmbH, dem Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz und der ipoint-systems GmbH erforscht, wie ein integriertes „Design for Circularity“ im industriellen Produktentwicklungsprozess funktionieren und IT-gestützt umgesetzt werden kann. Im Projekt MaReK wurde

untersucht, wie durch die Markierung von Kunststoffverpackungen mit einem Tracer-Material eine bessere Sortierung erreicht und ein qualitativ hochwertigeres Recycling ermöglicht werden kann. Zur Ermittlung einer fundierten Datengrundlage wurden die in gelben Säcken / Tonnen entsorgte Verpackungsabfälle von 238 deutschen Haushalten erfasst und charakterisiert. Auf der Makroebene ist das INEC Teil eines großen europäischen Forschungskonsortiums (u.a. Universität Utrecht, NTNU Trondheim, Uni Freiburg), das die Auswirkungen kreislaufwirtschaftlicher Maßnahmen auf den Klimaschutz modelliert.

## LAEND – diesmal kein Werbegag

Ein wichtiges Forschungsgebiet am INEC ist die Integration von Nachhaltigkeitsbewertungen in der Energiesystemmodellierung. Im Mittelpunkt steht die Frage, wie sich die Transformation der Energiesysteme aus Klima-, Kosten- und Gesamtnachhaltigkeitssicht optimal erreichen lässt und auch, welche Zielkonflikte dabei entstehen. Auf nationaler Ebene wurde dies im Forschungsvorhaben InNOSys gemeinsam mit namhaften deutschen Energieforschungseinrichtungen untersucht und umfangreich publiziert. Auf der Ebene von einzelnen Stadtteilen und -quartieren setzt das INEC im Rahmen des InPEQt-Vorhabens eigene Energiesystemmodellierungs- und -optimierungstools ein und entwickelt diese weiter. Das open-source-Modell LAEND steht für „Life Cycle Assessment based Energy Decision“ und wurde erstmals 2020 veröffentlicht – übrigens deutlich vor der baden-württembergischen Charme-Offensive The LÄND. Tantiemen für letztere gibt's leider keine.



Bei so vielen Innovationen müssen diese natürlich auch noch selbst beforscht werden: Wie kann die Entwicklung nachhaltigkeitsorientierter Innovationen gefördert werden? Dies wurde im Forschungsprojekt InnoDiZ speziell für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) betrachtet, z.B. die Berücksichtigung der Umweltaspekte im Innovationsprozess von Unternehmen. Und schließlich spielen Innovationen auch bei Unternehmensgründungen eine wichtige Rolle. Im Projekt GrünNetz wurde ermittelt, welche Anforderungen grüne Startups bei der Kooperation mit vorhandenen Unternehmen haben.

neues Video über die beiden Studiengänge und die Inhalte des Instituts gedreht und in der Region gesendet. Mehr als 90 Sendungen „Weniger ist mehr“ sind dadurch entstanden und auch heute noch auf Youtube verfügbar (<https://www.youtube.com/@INECundREM/videos>). Inzwischen gibt es ein neues Format zusammen mit dem Moderator Kevin Gerwin „Es kommt darauf an“, mit dem Antworten auf lebenspraktische Frage rund um die Umwelt gegeben werden sollen. So finden die Forschungsergebnisse des INEC hoffentlich auch ihren Weg in den Alltag.

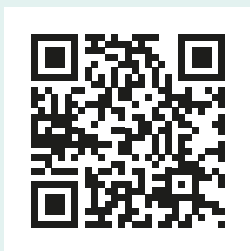
### Tue Gutes und rede darüber

Klappern gehört zum Handwerk, heißt es. Für neue Studiengänge mit völlig neuen Themen war das lebenswichtig. Von 2011 bis 2020 wurde fast jeden Monat in Kooperation mit der PSD-Bank Karlsruhe-Neustadt und dem Lokalsender Baden-TV ein

**DR. MARIO SCHMIDT**  
 ist seit 1999 Professor an der Hochschule Pforzheim und Direktor des INEC.  
**DR. CLAUS LANG-KOETZ**  
 ist seit 2015 Professor und stellvertretender Direktor des INEC.

> Weiteres Video-Format mit Kevin Gerwin, hier mit Professor Hendrik Lambrecht zum Thema Verpackung.

Screenshot von <https://youtu.be/yLPDFauo-5w>



# Seltene Erden – eine seltsame Geschichte

Kaum andere Materialien erfahren so viel öffentliche Aufmerksamkeit wie Seltene Erden. Doch was verbirgt sich dahinter und ist dieses Interesse wirklich gerechtfertigt? An der Hochschule Pforzheim wird über Seltene Erden geforscht, sogar mehrfach: Einerseits spielen sie bei Ökobilanzen und der Rohstoffpolitik eine Rolle, was vom INEC-Institut bedient wird, andererseits forschen Kollegen aus der Fakultät für Technik an Recyclingmethoden.

VON MARIO SCHMIDT | erschienen in den KONTUREN HSPF 2026

**A**ls US-Präsident Donald Trump einen seiner berüchtigten Deals mit der Ukraine abschloss, war viel von den Rohstoffen die Rede, die sich dort in der Erde befinden. Richtig, es gibt Eisen. Lithium. Kohle. Titan. Aber Seltene Erden? Davon haben auch erfahrene Geologen nichts gehört. Das waren eher Trump'sche FakeNews. Dann wollte er Grönland kapern, unter anderem auch wegen der Seltenen Erden. Okay, die gibt es dort. Aber die könnte er schon heute dort abbauen lassen. Das will aber kein Unternehmen machen, weil es in Grönland viel zu teuer wäre. Die logistischen Herausforderungen sind dort viel zu groß. Und Bergbau wird immer noch von Wirtschaftsunternehmen betrieben, nicht von ganzen Staaten, wenn man von China mal absieht. Das heißt, es muss sich betriebswirtschaftlich rechnen.

Stattdessen gibt es Seltene Erden an vielen anderen Stellen dieser Welt, in den USA (Mountain Pass ist am bekanntesten, aber nicht das einzige Vorkommen), in Australien (z.B. Mount Weld), sogar in Deutschland gibt es Vorkommen, nämlich in Storkwitz in Sachsen. Die Probleme liegen ganz wo anders. Aber langsam. Was sind überhaupt Seltene Erden?

## Eine kurze Einführung

Die Seltenen Erden Elemente (SEE) sind eine Gruppe von 17 chemischen Elementen: die 15 Lanthanoide sowie Scandium und Yttrium. Dazu gehören u. a. Neodym, Dysprosium, Europium, Terbium und Lanthan. Chemisch sind sie sich sehr ähnlich, weshalb sie in Erzen meist gemeinsam vorkommen und schwer voneinander zu trennen sind. Sie werden vor allem wegen ihrer magnetischen, optischen und katalytischen Eigenschaften benötigt und sind daher Schlüsselrohstoffe für Hochtechnologie, Energiewende und Rüstung. Der Name ist historisch und eigentlich irreführend: Früher bezeichnete man Metalloxide als „Erden“. Bei ihrer Entdeckung im 18./19. Jahrhundert wurden sie nur in wenigen Mineralen gefunden. Heute weiß man aber: Seltene Erden sind geologisch gar nicht besonders selten, sondern nur selten in abbaubaren Lagerstätten mit hoher Konzentration vorhanden. Das SEE-Metall Cer ist auf der Erde beispielsweise so häufig wie Kupfer. Neodym, der wichtigste Stoff für Hochleistungsmagnete, ist deutlich häufiger als Zinn. Das Problem ist also nicht die geologische Seltenheit, sondern die wirtschaftliche Gewinnbarkeit.

Die Schwierigkeiten liegen vor allem in der Aufbereitung (Refining) des SEE-Gemischs. Weil die SEE chemisch sehr ähnlich sind, müssen aufwendige Trennverfahren mit dem Einsatz von Säuren, Lösungsmitteln und Ionenaustauschern eingesetzt werden. Oft enthalten Erze radioaktive Begleitminerale wie Thorium oder Uran. Es werden große Mengen an Abraum und giftigen Schlämmen erzeugt. Deshalb wurde das Refining in vielen westlichen Ländern aufgegeben.

Doch die westlichen Industrieländer sind von den SEE abhängig wie Drogensüchtige. Sie brauchen sie für Smartphones, Festplatten, LEDs, Laser, Katalysatoren, Windkraftanlagen oder Elektroautos. Sie sind enthalten in Präzisionsraketen, Radar- und Sonarsysteme, Nachtsichtgeräten, Lenkwaffen oder Drohnen. Ein moderner Kampfjet enthält hundert Kilogramm Seltene Erden.

Deutschland importiert jährlich einige Tausend Tonnen SEE mit einem Marktwert von mehreren hundert Millionen Euro. Der Markt ist im



Das Problem ist nicht die geologische Seltenheit, sondern die wirtschaftliche Gewinnbarkeit.

^

Proben von Seltenen Erden in Metallform. Normalerweise werden sie nicht als Metalle, sondern als Salze gehandelt.  
Foto: Mario Schmidt.

Vergleich zu Öl oder Kupfer sehr klein. Das Weltmarktvolumen liegt bei ca. 15 Milliarden Dollar pro Jahr, der Ölmarkt dagegen bei mehreren Billionen Dollar. Für Investoren ist der Markt oft zu klein und Minenprojekte wirtschaftlich sehr risikoreich. Deshalb spricht man von einem „Small Market Problem“.

### China als cleverer Markt-Player

Das war die Chance Chinas, einer staatlich gelenkten und subventionierten Wirtschaft. Die wichtigste Lagerstätte der Welt ist die Bayan Obo Mine in der inneren Mongolei. Die ursprüngliche Eisenerzmine liefert einen großen Teil der chinesischen Produktion. China kontrolliert fast 70 Prozent der weltweiten Förderung, nahezu 90 Prozent des Refinings und schlussendlich 90 Prozent der Magnetproduktion. Damit beherrscht China die gesamte Wertschöpfungskette.

Erkauft hat sich China das mit großen Umweltproblemen. Besonders bekannt ist ein riesiger Tailings-See bei Baotou, der als einer der größten giftigen Abfallseen der Welt gilt. Der Klimarucksack von Neodym-Oxid liegt bei ca. 50 kg CO<sub>2</sub> pro kg, der von Dysprosium ist deutlich höher. D.h. die Produktion von REE-Magneten ist sehr energieintensiv und klimaschädlich.

Eigentlich hatte der Westen jahrzehntelang die Nase vorn bei der SEE-Gewinnung. Die wichtigste US-Mine ist die Mountain Pass Mine in Kalifornien, die in den 1960er bis 1980er die USA zum größten Produzenten weltweit machte. In den 1990er traten Umweltprobleme auf, die teure Investitionen erfordert hätten. In dieser Zeit senkte China massiv die Preise, so dass Mountain Pass unwirtschaftlich und die Mine 2002 geschlossen wurde. So erlangte China sein Monopol. Als China die Exportmenge 2010 reduzierte und die Preise wieder stark anstiegen, wurde Mountain Pass wieder eröffnet. Später ging der Betreiber bankrott. Die Chinesen wussten die Marktmechanismen des

Westens auszunutzen. Heute wird Mountain Pass wieder betrieben. Die Firma MP Materials hat aber nun als Investoren u.a. die US-Regierung und das Pentagon mit im Boot. Es gibt Abnahmegarantien. D.h. der Staat greift massiv in das Marktgeschehen ein, aus strategischen Gründen.

### Know-how-Problem Refining

Aber der Bergbau ist nur das eine Problem. Ein weitaus größeres Problem ist das Refining. Das REE-Refining ist der technologisch schwierigste Teil der Wertschöpfungskette. Es ist chemisch extrem kompliziert, die Umweltauflagen sind hoch und der Markt ist klein und volatil. Beispielsweise hatte Frankreich – neben den USA – früher die erforderlichen Kompetenzen (Solvay / Rhodia), aber die Industrie wurde weitgehend nach China verlagert. Dem Westen ist das Know-how verloren gegangen. Vor allem: Der Westen hat aus dem chinesischen Preisschock von 2010 nichts gelernt. Man hat einfach so weitergemacht, als sich die Preise wieder erholt hatten.

Mit einer Ausnahme: Japan hatte unter dem Exportstopp 2010 besonders gelitten und daraufhin eine Rohstoffstrategie entwickelt. Es hat seine Importe diversifiziert (Australien, Vietnam), Recycling und Substitution vorangebracht, weltweit Minen staatlich mitfinanziert und sich an Projekten beteiligt und langfristige Lieferverträge geschlossen. Besonders wichtig: Es hat mit der Organisation JOGMEC halbstaatliche Rohstofflager eingerichtet, ähnlich der strategischen Ölreserven. Solche Lager haben auch die USA schon seit Jahrzehnten, aus militärischen Gründen. Die EU tut sich mit solchen Maßnahmen schwer, weil sie immer noch der freien Marktwirtschaft und dem offenen Welthandel anhängt. Strategisches Handeln ist nicht ihre Stärke. Deshalb fällt der von ihr gefeierte Critical Raw Materials Act von 2024 ziemlich schwach aus. Statt strategischer Rohstofflager werden Berichtspflichten für Unterneh-



Recycling in Wasserstoffatmosphäre: Der neodymhaltige Magnet zerfällt zu Pulver, was wieder eingesetzt werden kann.

Foto: Carlo Burkhardt.

men eingeführt, statt Recycling endlich staatlich massiv zu subventionieren, setzt man sich nahezu illusionäre Zielvorgaben. Handeln soll allerdings der freie Markt.

Mit dieser Politik kann Europa den Vorsprung Chinas nicht aufholen. Es wäre ein gemeinsamer Kraftakt erforderlich, Summen, die in die zig Milliarden gingen, dazu der Aufbau von technischem Know-How (Wer studiert heute noch Bergbau oder chemische Verfahrenstechnik?). Europa hätte zwar grundsätzlich das Potential, aber nicht den politischen Willen. Dazu ist es zu zerstritten und zu langsam. Dabei gäbe es durchaus geeignete Maßnahmen, die Abhängigkeit Europas zu reduzieren. Zum Beispiel durch mehr Recycling.

## Lösungsansatz Recycling

Deutschland wird mit wachsender E-Auto-Flotte, aber auch mit der zunehmenden Anzahl an Windkraftanlagen, zu einem anthropogenen Neodym-Lager – in der Form der verbauten Hochleistungsmagnete. Diese Magnete könnten nach der Nutzungsphase recycelt werden und zumindest teilweise den zukünftigen Bedarf decken. Aber sie müssten auch im deutschen oder zumindest europäischen Markt verbleiben. Hier gibt es zwei Probleme: Einerseits die Kostenseite des Recyclings und andererseits der Abfluss von Altprodukten außerhalb Europas, im schlimmsten Fall wieder nach China.

Bei den Altfahrzeugen ist das Phänomen schon länger bekannt: In der EU verschwinden jedes Jahr bis zu 4 Millionen Fahrzeuge aus dem Recycling-System. Diese werden exportiert, illegal zerlegt oder nicht korrekt erfasst. Über 800.000 Gebrauchtfahrzeuge pro Jahr werden aus der EU offiziell exportiert, hauptsächlich nach Afrika. Europa ist damit der größte Exporteur von Gebrauchtfahrzeugen weltweit. Viele dieser Fahrzeuge erfüllen die EU-Abgasnormen nicht mehr und wären eigentlich Schrott. Studien aus UK haben gezeigt, dass die strengen EU-Abgasnormen zusammen mit dem Export letztendlich zu mindestens 13–53 Prozent mehr Emissionen führen als wenn die Fahrzeuge weiter inländisch genutzt worden wären (DOI: 10.1038/s41558-024-01943-1). Außerdem enthalten sie große Mengen Metalle (Stahl, Kupfer, Aluminium, Platinmetalle, SEE). Diese Rohstoffe gehen dem europäischen Recycling verloren. Ähnlich problematisch ist es mit Elektro- und Elektronikaltgeräten. Das heißt, Recyclinganlagen

in Europa bekommen zu wenig Material, weil der Schrott exportiert wird. Dann jedoch rentieren sich die Investitionen in entsprechende Anlagen nicht. Es entsteht ein Henne-Ei-Problem. Die Herausforderung ist deshalb zum einen, die Verfügbarkeit der Altprodukte zu gewährleisten, was aber wiederum dem bisherigen EU-Ansatz globaler freier Warenströme widerspricht.

Zum anderen ist Recycling keine billige Angelegenheit und sie steht – wie der europäische Bergbau – in Konkurrenz zu sonstigen Alternativen, konkret: zu Billigangeboten von Neodym aus der Bergwerksproduktion oder aus dem Recycling in China. D.h. auch hier wäre eine finanzielle Absicherung notwendig, wenn Unternehmen sich marktwirtschaftlich erfolgreich in Deutschland und Europa engagieren sollen. Das erforderte aber wieder politisches Eingreifen, was derzeit in der EU und in Deutschland kaum in Sicht ist.

## FfR: Forschen für Recycling

Deutschland hat derzeit Probleme, Forschungsergebnisse zur Marktreife und zur industriellen Anwendung zu bringen. Aber die Forschung selbst arbeitet auf einem hohen Niveau, so auch im Recycling. Will man SEE aus Hochleistungsmagnete recyceln, so gibt es mehrere Möglichkeiten. Der aufwendigste Weg ist das rohstoffliche Recycling, das sogenannte Long-Loop-Recycling, bei dem die Metalle wieder in Reinform zurückgewonnen werden. Dazu sind teilweise hydrometallurgische Verfahren notwendig, die der Primärgewinnung ähnlich sind. Deshalb ist das werkstoffliche Recycling, das sogenannte Short-Loop-Verfahren, von Interesse, bei dem die Magnetlegierung, in der SEE – meistens Neodym und Dysprosium – enthalten sind, im Wesentlichen erhalten bleibt. Doch es stellt sich dabei die Frage, welche Qualität und Eigenschaften das zurückgewonnene Material hat und inwieweit es mit Primärmaterial konkurrieren kann.

Deutschland wird mit wachsender E-Auto-Flotte, aber auch mit der zunehmenden Anzahl an Windkraftanlagen, zu einem anthropogenen Neodym-Lager



In Pforzheim arbeitet Professor Carlo Burkhardt mit seiner Forschungsgruppe seit vielen Jahren an dem werkstofflichen Recycling, teilweise in großen internationalen Verbundprojekten. Dabei werden die demontierten neodymhaltigen Magnete einer Wasserstoff-Atmosphäre ausgesetzt, was dazu führt, dass sie zu einem Pulver zerfallen und danach zu neuen Magneten verarbeitet werden können.

In dem Forschungsprojekt PRESERVE, das vom Land Baden-Württemberg und von der Europäischen Union gefördert wird, arbeitet die Hochschule Pforzheim mit der Hochschule Aalen zusammen. Dabei werden u.a. die Rezyklate von Seltenerdmetallen untersucht, deren Alterungseigenschaften prognostiziert und geeignete Anwendungen abgeleitet. Dazu kommt die ökobilanzielle Bewertung der alternativen Recyclingverfahren, die vom INEC durchgeführt wird.

Die Forschungsarbeiten von Carlo Burkhardt haben sogar den Sprung in die industrielle Wiederaufbereitung der Magnete geschafft. Das Unternehmen HyProMag ist ein Technologie-Start-up, das in der Wiederaufbereitung von Permanentmagneten auf Basis Seltener Erden spezialisiert ist. Das patentierte HPMS-Verfahren, um recycelte Magnetpulver im abfallfreien Metallpulverspritzgussverfahren herzustellen, wurde bereits mit dem deutschen Rohstoffeffizienzpreis ausgezeichnet. Im April 2026 wurde die HyProMag GmbH feierlich in Pforzheim aus der Taufe gehoben.

Der Wasserstoffreaktor der HyProMag GmbH in der Serienausführung.  
Foto: Nelson Brito.

## Fazit

Die westlichen Industrieländer werden sich verstärkt Gedanken machen müssen, wie sie ihren Rohstoffhunger in Zukunft befriedigen können. Im Brennpunkt stehen dabei die SEE, besonders durch die unberechenbare Exportpolitik Chinas. Aber es gibt noch weitere sogenannte kritische oder strategische Materialien, die für die Wirtschaft unverzichtbar sind.

**Recycling ist eine Möglichkeit, den Bedarf an Primärmaterial zu reduzieren. Doch das Recycling muss auf Dauer auch preislich konkurrieren können, wenn die Versorgung privatwirtschaftlich organisiert werden soll.**

Dazu muss die Politik geeignete Rahmenbedingungen schaffen. Ganz auf die Primärversorgung, also auf den Bergbau und das anschließende Refining, kann Europa trotz Recycling nicht verzichten. Hier müssen Know-how und entsprechende Infrastrukturen aufgebaut werden, wenn mehr Resilienz und Unabhängigkeit von den Weltmärkten erreicht werden sollen. Kurzum: Es braucht eine echte und umfassende Rohstoffpolitik, die diesen Namen auch verdient.

DR. MARIO SCHMIDT

ist Professor und war bis August 2026 Direktor des Instituts für Industrial Ecology (INEC).



# Wie Unternehmen mit GreenTech erfolgreich wachsen können

Während viele klassische Industriebranchen unter Transformationsdruck stehen, entwickelt sich die GreenTech-Branche in Baden-Württemberg zunehmend zum strategischen Wachstumsmotor. Sie umfasst ein breites Spektrum von klassischen Bereichen der Umwelttechnik zu neuen, innovationsgetriebenen Themenfeldern: Wasserwirtschaft, Luftreinhaltung, Recycling, zirkuläres Wirtschaften, Energieerzeugung und -speicherung, Energieeffizienz, Rohstoff- und Materialeffizienz, Klimaschutztechnologien sowie die zirkuläre Bioökonomie.

VON CLAUD LANG-KOETZ UND ULRICH HUTSCHEK | erschienen in den KONTUREN HSPF 2026

Im Jahr 2022 belief sich der weltweite Markt für Umwelttechnik auf 468,5 Milliarden Euro. Davon entfielen 1,6 Prozent auf Baden-Württemberg. Damit zählt GreenTech zu den bedeutenden Wachstumsbranchen des Landes. Die Zahl der Erwerbstätigen im GreenTech-Bereich stieg zwischen 2010 und 2023 im Durchschnitt um 2,5 Prozent pro Jahr und damit deutlich stärker als in der Gesamtwirtschaft. Die Bruttowertschöpfung entwickelte sich ebenfalls überdurchschnittlich und legte jährlich um 5,8 Prozent zu, verglichen mit 4,3 Prozent in der Gesamtwirtschaft (Umwelttechnik BW 2023; Umwelttechnik BW 2025).

Betrachtet man dahingegen die klassische Industrie in Baden-Württemberg, dann ergibt sich ein anderes Bild: Viele Unternehmen dort, insbesondere mittelständische Betriebe, stehen vor tiefgreifenden Herausforderungen. Dazu zählen eine volatile Nachfrage, zunehmender internationaler Wettbewerbsdruck, eine hohe Exportabhängigkeit sowie weitreichende Transformationsprozesse, etwa im Zuge der Elektromobilität. Gerade vor diesem Hintergrund gewinnt GreenTech als strategisches Zukunftsfeld weiter an Bedeutung. Es bietet die Möglichkeit, dort bestehende industrielle Stärken anzuwenden und so neue, wachstumsstarke Märkte zu erreichen. Damit kann ein wichtiger Beitrag zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit des Wirtschaftsstandorts geleistet werden.

Sowohl für etablierte Unternehmen als auch für neue Marktakteure in Baden-Württemberg ergeben sich daraus wirtschaftliche Chancen: GreenTech wirkt als wichtiger Impulsgeber für die wirtschaftliche Entwicklung wie auch als Motor für den Umwelt- und Klimaschutz.

Vor diesem Hintergrund wurde am Institut für Industrial Ecology (INEC) im Auftrag der Landesagentur Umwelttechnik BW und in Zusammenarbeit mit der TIM Consulting GmbH eine Studie durchgeführt. Ziel war es, systematisch aufzuzeigen,

- welche technologischen sowie markt- und kundenbezogenen Kompetenzen für erfolgreiches Agieren in GreenTech-Märkten erforderlich sind,
- wie Unternehmen aus klassischen Industrien ihre bestehenden Kompetenzen gezielt auf GreenTech-Anwendungen übertragen können,
- welche praxisnahen Vorgehensweisen sich für die Entwicklung neuen, innovationsgetriebenen Geschäfts im GreenTech-Bereich eignen.

Ein besonderer Fokus lag auf den vier GreenTech-Leitmärkten umweltfreundliche Energieerzeugung, Carbon Management, Bioökonomie und Wasserwirtschaft.

## Zusammenführung von GreenTech-Trends und industriellen Kompetenzen

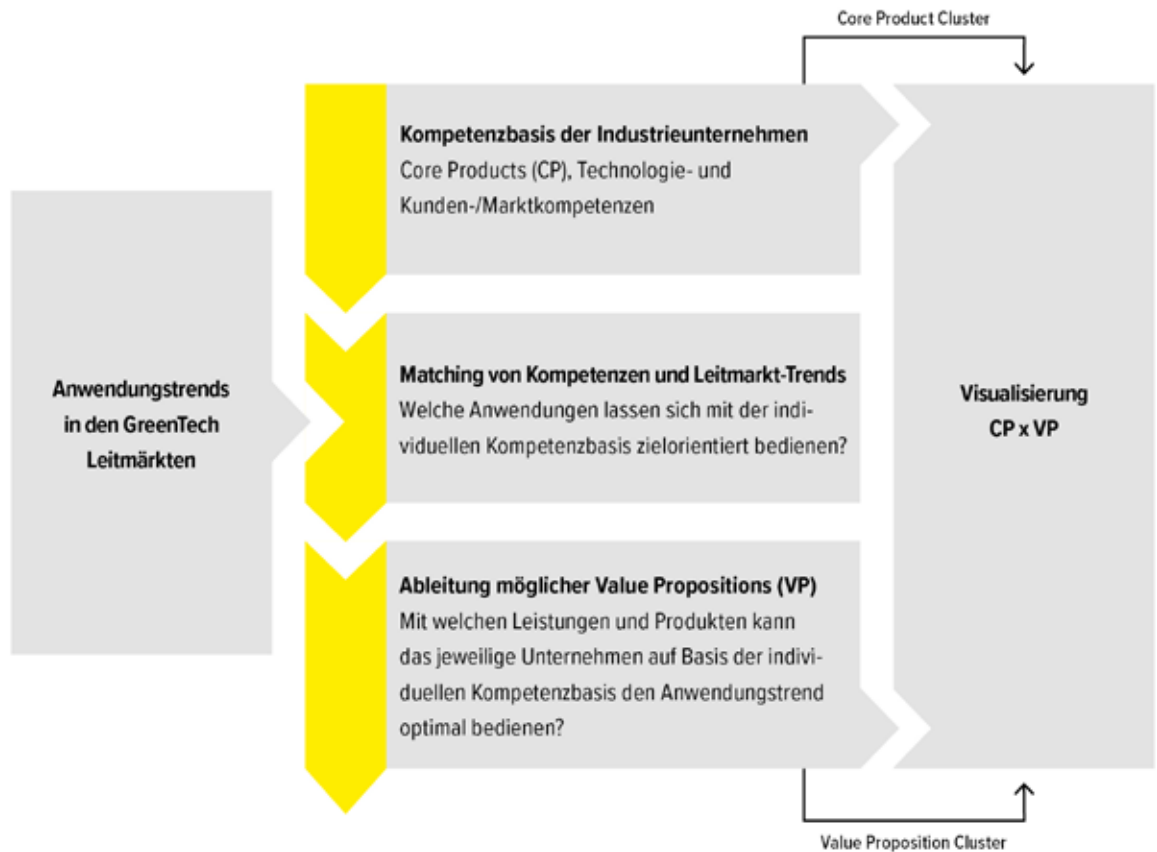
Die Studie folgte einem mehrstufigen, daten- und praxisbasierten Ansatz (siehe Abb. 1). Ziel war es zunächst, Zukunftstrends im GreenTech-Bereich systematisch mit den vorhandenen Stärken der baden-württembergischen Industrie zusammenzuführen.

Im ersten Schritt wurden mithilfe des KI-Analysetools CumulusAI von TIM Consulting relevante Technologie- und Anwendungstrends in den vier Leitmärkten identifiziert und systematisch ausgewertet.

Im zweiten Schritt wurden die Kompetenzen der baden-württembergischen Industrie erfasst. Mithilfe von Web-Crawling und anschließenden Clustering-Verfahren wurden dazu die Websites von rund 400 mittelständischen Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes analysiert. Dabei wurde zwischen technologischen Kompetenzen sowie bestehenden Kunden- und Marktkompetenzen unterschieden. Die Ergebnisse wurden in sogenannten „Core Products“ gebündelt, die die zentrale Kompetenzbasis der untersuchten Industrieunternehmen abbilden.

Abb. 1: Vorgehensweise der Studie (Quelle: Hutschek et al. 2025)

Die Studie enthält für jeden der vier betrachteten Leitmärkte detaillierte Übersichten zu den identifizierten Trends - zunächst zu den Technologietrends, anschließend zu den Anwendungstrends. Einen beispielhaften Ausschnitt zeigt Abb. 2.



Anschließend wurden die identifizierten GreenTech-Trends mit diesen industriellen Kompetenzen systematisch zusammengeführt („Matching“). Auf dieser Grundlage konnten mögliche Wertbeiträge und Marktchancen in Form von „Value Propositions“ abgeleitet werden. Darunter versteht man konkrete Wertangebote, mit denen Unternehmen bestehende Kompetenzen in neue GreenTech-Märkte übertragen können.

Abschließend wurde visualisiert, wie die vorhandenen „Core Products“ mit potenziellen „Value Propositions“ zusammenpassen und welche Geschäftsmöglichkeiten sich daraus ergeben.

### Fallstudien zeigen Erfolgsfaktoren für den Eintritt in GreenTech-Märkte

Zur systematischen Auswertung wurden qualitative Fallstudien erstellt, die Zielsetzungen, Motivationen sowie fördernde und hemmende Faktoren beim Eintritt baden-württembergischer Unternehmen in GreenTech-Märkte transparent darstellen. Ziel war es, praxisnahe Handlungsansätze zu ermitteln, die anderen Unternehmen als Orientierung für einen möglichen Einstieg in die betrachteten Leitmärkte dienen können.

Die Fallstudien basieren auf leitfadengestützten Interviews mit vier Unternehmen, die den Eintritt in GreenTech-Märkte bereits erfolgreich vollzogen haben oder sich in einer fortgeschrittenen Umsetzungsphase befinden: ElringKlinger AG, J. Schmalz GmbH, CropEnergies AG und Amperfiel GmbH. Die Gespräche wurden jeweils mit einem Experten pro Unternehmen im Zeitraum von Dezember 2025 bis Januar 2026 geführt.

Abb. 2: Auszug aus den für den Leitmarkt Carbon Management ermittelten Anwendungstrends (Quelle: Hutschek et al. 2025)

Die Verknüpfung der Value Propositions im GreenTech-Bereich mit den bestehenden Kompetenzen der baden-württembergischen Industrie (dargestellt als „Core Products“) ist in Abb. 3 dargestellt. Die dortige Visualisierung steht auch als interaktive Anwendung auf der Projektwebsite zur Verfügung und ermöglicht eine vertiefte Exploration der Ergebnisse: [www.umwelttechnik-bw.de/de/greentech-interaktives-diagramm](http://www.umwelttechnik-bw.de/de/greentech-interaktives-diagramm)



### Konkrete Anwendungstrends: Carbon Management

#### 1. Industrielle CO<sub>2</sub>-Abscheidung und Nutzung in Prozessketten

Verfahren zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung und Integration in Nutzungspfade, etwa thermochemische und hochtemperaturbasierte Methoden, mineralische Karbonatisierung, Absorption und kryogene Ansätze sowie die Kopplung an industrielle Stoffströme.

#### 2. CO<sub>2</sub>-Nutzung in grünen chemischen Prozessen

Umwandlung von CO<sub>2</sub> in Wertchemikalien und Zwischenprodukte, inklusive CCU-Prozessdesign, Direct-Conversion-Pfade, Kreislaufkonzepte und Skalierung von Pilot- zu kommerziellen Anlagen in der Chemieproduktion.

#### 3. CO<sub>2</sub>-gestützte Enhanced Oil Recovery mit geologischer Speicherung

Injektion von CO<sub>2</sub> zur Steigerung der Förderrate in reifen Feldern, gekoppelt mit Reservoircharakterisierung, Fluid- und Phasenverhalten, Enhanced Oil-Recovery-spezifischen Betriebsstrategien und der Einbettung in CCUS-Projektketten.

#### 4. Geologische CO<sub>2</sub>-Mineralisierung und Emissionsmanagement

Dauerhafte Bildung von CO<sub>2</sub> durch Mineralreaktionen in Basalt, Ultramafiliten oder industriellen Reststoffen, ergänzt um Ansätze der CO<sub>2</sub>-Entnahme und die Bewertung geologischer Formationen und Standortbedingungen.

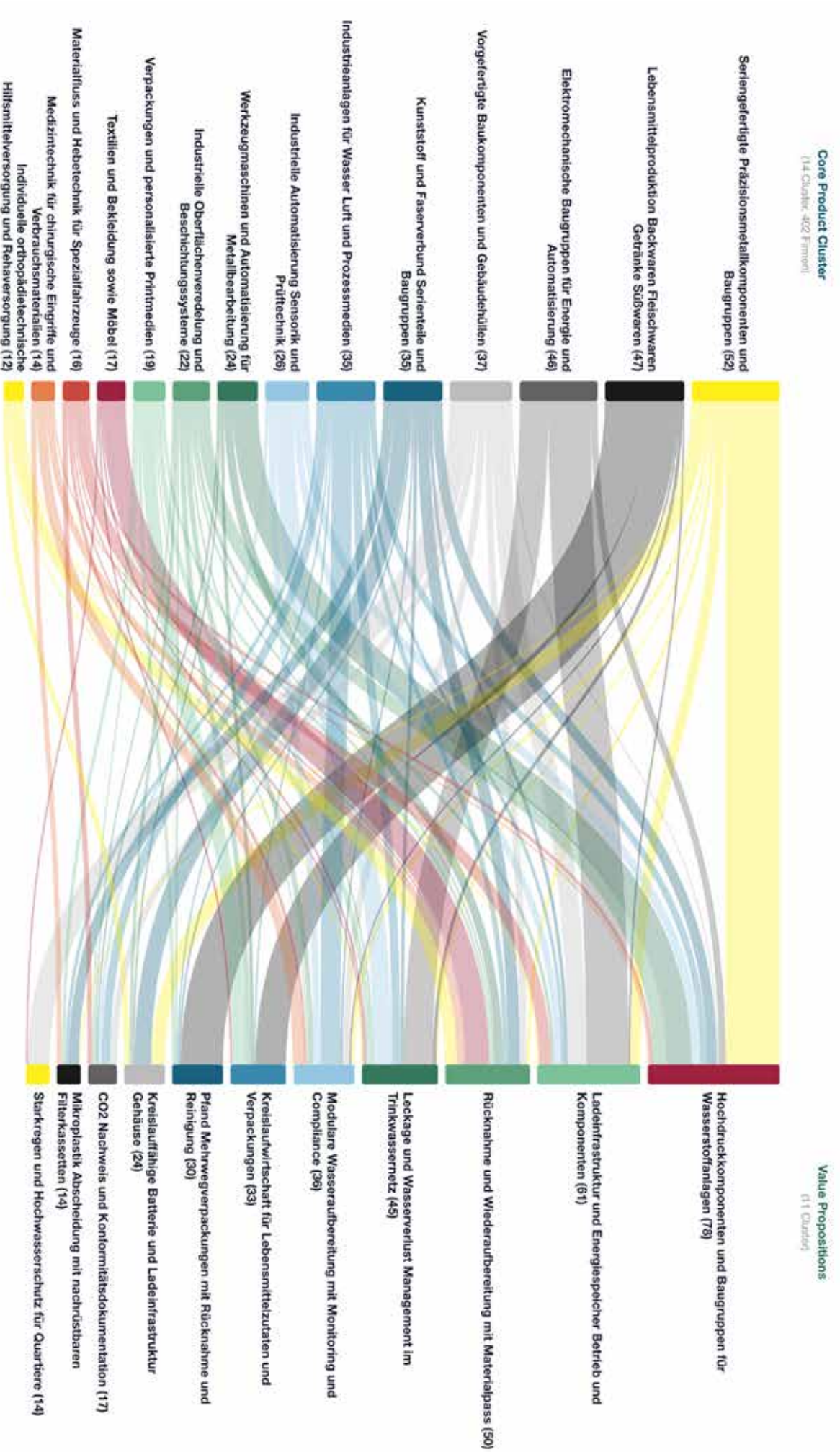


Abb. 3: Matching von Kompetenzen der verarbeitenden Industrie in Baden-Württemberg („Core Products“) mit möglichen Wertangeboten im Green-Tech-Bereich („Value Propositions“) (Quelle: Hultschek et al. 2025)

Über alle vier Unternehmensbeispiele hinweg zeigt sich ein klares Muster: Erfolgreiche Wachstumspfade im GreenTech-Bereich entstehen nicht allein durch technologische Innovation. Entscheidend ist vielmehr das Zusammenspiel aus einer fundierten Marktauswahl, hoher industrieller Umsetzungsstärke und einem belastbaren Marktzugang.

**Klar erkennbar ist auch: Besonders erfolgreich sind jene Unternehmen, die ihre vorhandenen Stärken gezielt in neue Märkte übertragen. Dazu zählen insbesondere Kompetenzen in den Bereichen Industrialisierung, Qualitätsmanagement, Sicherheit, Systemintegration, Servicefähigkeit sowie robuste Liefer-, Dokumentations- und Prozessstrukturen. Ausschlaggebend ist, dass diese Stärken in ein konkretes Leistungsversprechen übersetzt werden, das für die Kaufentscheidung im Zielmarkt relevant ist.**

Ein weiterer zentraler Faktor ist das präzise Matching zwischen bestehenden Kompetenzen und einem Wertangebot („Value Proposition“), das im GreenTech-Zielmarkt tatsächlich einen relevanten Nutzen stiftet. Erfolgreiche Markteintritte sind daher nicht nur technologisch plausibel, sondern zeichnen sich auch durch eine klar definierte Marktrolle aus.

#### Leitfaden zur Neugeschäftsentwicklung mit sechs Schritten

Im Rahmen der Studie wurde zudem ein praxisorientierter Leitfaden für die Entwicklung neuer Geschäftsfelder im GreenTech-Bereich erarbeitet (siehe auch Abb. 4).

Im Zentrum stand die Frage, wie Unternehmen ihre bestehenden Stärken nutzen können, um realistische Wachstumsoptionen zu identifizieren, zu bewerten und in Pilotvorhaben zu überführen. Hierfür wurde ein sechsstufiges Vorgehensmodell entwickelt, das direkt im Unternehmenskontext eingesetzt werden kann. Dabei werden zwei Perspektiven verbunden: zum einen die Marktseite mit konkreten Anwendungsfeldern, in denen bereits eine erkennbare Nachfrage besteht, und zum anderen die Unternehmensseite mit übertragbaren Kompetenzen, etablierten Produktlogiken und bestehenden Marktzugängen.

Auf dieser Grundlage unterstützt das Vorgehensmodell Unternehmen dabei, potenzielle Geschäftschancen systematisch einzugrenzen, strukturiert zu bewerten und Investitionsentscheidungen auf eine belastbare Basis zu stellen.

Die zugehörigen Arbeitsvorlagen (Suchraum-Vorlage, Kompetenzprofil, Opportunity-Bewertung sowie Konzept- und Pilot-Canvas) sind so gestaltet, dass sie unmittelbar in Workshops, Innovationsprints und Strategieprozessen eingesetzt werden können.

#### Fazit

Die GreenTech-Branche hat für Baden-Württemberg bereits heute eine zentrale strategische Bedeutung für die wirtschaftliche Entwicklung. Insbesondere vor dem Hintergrund der Herausforderungen klassischer Industriezweige eröffnet GreenTech erhebliche Marktpotenziale.

Die verarbeitende mittelständische Industrie in Baden-Württemberg verfügt über ein breites und gut anschlussfähiges Fundament mit Kompetenzen in den Bereichen Engineering, Fertigung, Qualitätssicherung, Systemintegration und Service, die sich gezielt auf GreenTech-Anwendungen und deren Anforderungen übertragen lassen.

Die Ergebnisse der Studie geben Orientierung über relevante GreenTech-Leitmärkte, technologische Trends und Marktlogiken. Mit dem entwickelten Vorgehensmodell können Unternehmen systematisch neue GreenTech-Geschäftsfelder entwickeln und Potenziale dieses wachsenden Bereichs gezielt erschließen.

Die Studie ist auf der Website von Umwelttechnik BW in elektronischer Form frei verfügbar (siehe Infobox unten).

DR.-ING. CLAUS LANG-KOETZ

ist Professor für Nachhaltiges Technologie- und Innovationsmanagement und stellvertretender Leiter des Instituts für Industrial Ecology (INEC).

DR. ULRICH HUTSCHEK

ist als Principal bei der Stuttgarter Management-Beratung TIM Consulting für die Themenfelder »Technologiebasierte Neugeschäft-Generierung« sowie »KI-gestütztes Foresighting« mitverantwortlich.

#### Literatur

Hutschek, Ulrich; Lang-Koetz, Claus; Heil, Marius (2026): Unternehmen im Wandel: Mit GreenTech erfolgreich wachsen, herausgegeben von Umwelttechnik BW GmbH, Stuttgart, DOI: 10.60846/cx1e-2346

Umwelttechnik BW (2023): Analyse der GreenTech-Branche in Baden-Württemberg. Stuttgart: Umwelttechnik BW

Umwelttechnik BW (2025): Die GreenTech-Branche in Baden-Württemberg. Ökonomische und ökologische Mehrwerte. Stuttgart: Umwelttechnik BW



Praxisleitfaden in gedruckter Form, Download möglich unter <https://www.umwelttechnik-bw.de/de/kompetenzfelder/greentech>

Foto: Umwelttechnik BW



# Recycling von Rotorblättern aus Windenergieanlagen – Es läuft noch nicht ganz rund...

Windenergieanlagen tragen etwa 17% zur Bruttostromerzeugung der Europäischen Union bei – mit steigender Tendenz. In Deutschland liegt der Erzeugungs-Anteil bei 27%, Spitzenreiter der EU ist Dänemark mit 58%. Diese Art der Stromerzeugung ist zwar emissionsfrei, aber doch mit Ressourcenverbräuchen und Abfällen verbunden, denn Windenergieanlagen sind aufwendige Bauwerke mit Gründungen und Turmelementen je nach Standort aus Beton oder Stahl, elektrischen und elektronischen Komponenten sowie Rotorblättern aus Verbundwerkstoffen.

VON JÖRG WOIDASKY UND PAUL STEINER | erschienen in den KONTUREN HSPF 2026

Übliche Nutzungsdauern der Anlagen liegen bei zwanzig Jahren, jedoch mit steigender Tendenz. Heute erscheinen aus technischer Sicht Nutzungsdauern bis zu dreißig Jahren durchaus realistisch. Hierzu tragen sowohl verbesserte Herstellungs- als auch regelmäßige Wartungs- und Reparaturprozesse bei. Während die anderen Komponenten von Windenergieanlagen meist etablierte Wege in die Kreislaufwirtschaft finden, ist das bei den Rotorblättern anders: Sie bestehen aus Verbunden von Glasfasern mit duroplastischen Kunstharzen, Klebern, Kunststoffschäumen und Balsaholz, und in den besonders langen Rotorblättern für Offshore-Anlagen werden auch Carbonfasern eingesetzt.

Nur damit lassen sich die Anforderungen an die bis zu etwa 60 Meter langen Blätter sicher über die langen Nutzungszeiten erfüllen, aber bei der Entsorgung wird das zum Problem. Die Harze sind nicht mehr aufschmelzbar, die Fasern fest mit den Kunststoffen verbunden, und das Materialgemisch ist insgesamt eine Herausforderung für die Aufbereitung und hochwertige Verwertung (siehe Abbildung 1).

Tatsächlich werden zerkleinerte Rotorblätter daher heute im besten Fall thermisch verwertet, entweder als Bestandteil von Ersatzbrennstoffen in Industrieheizung oder – zu einem kleinen Teil – auch bei der Zementherstellung. Während in Industrieheizungen aus den Glasfasern und unverbrannten Resten eine Schlacke entsteht, die z. B. im Deponiebau eingesetzt wird, werden die Silizium- und

Calcium-Verbindungen der Glasfasern und Füllstoffe in den Zementklinker eingebunden, während die brennbaren Anteile einen Teil der Wärmeenergie für den Brennprozess dieses Rohstoffs liefern. So kann der Materialkreislauf geschlossen werden – allerdings auf einem deutlich anderen Qualitätsniveau als bei der ursprünglichen Nutzung im Rotorblatt.

Die Schließung hochwertiger Stoffkreisläufe für Rotorblätter ist Gegenstand intensiver Forschungsarbeiten, an denen sich auch die Arbeitsgruppe Nachhaltige Produktentwicklung der Hochschule Pforzheim beteiligt. Seit 2024 ist sie Projektpartnerin im europäischen REWIND-Vorhaben und arbeitet hier in einem Konsortium aus insgesamt 14 Partnern zusammen

zum Themenfeld „Efficient Decommissioning, Repurposing and Recycling to increase the Circularity of end-of-life Wind Energy Systems“.

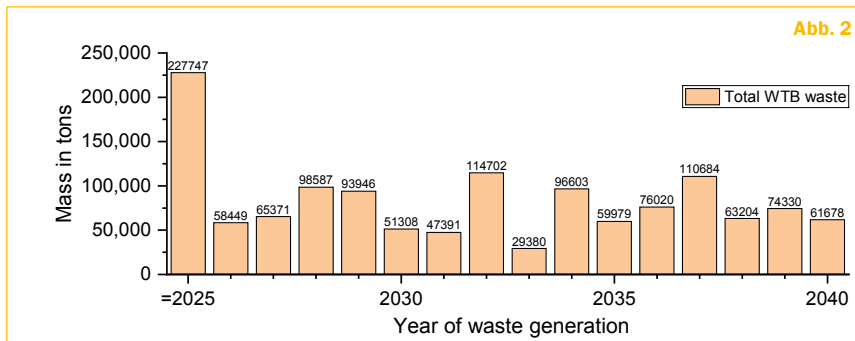
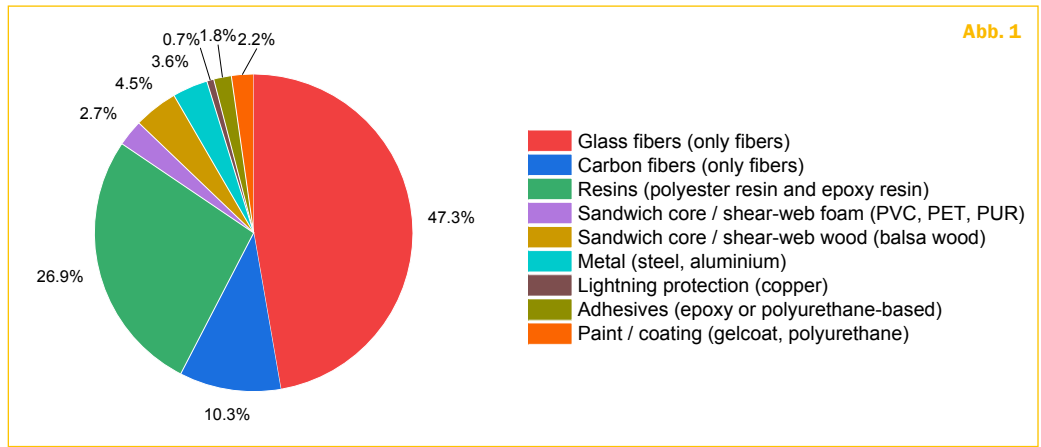
Das Konsortium untersucht systematisch alle Schritte der Nachnutzungsphase von der Demontage über die Eigenschaftsbestimmung der gebrauchten Rotorblätter, den Wiedereinsatz von Blattabschnitten im Kfz-Bau, die Verwertung der Fasern zu Dämmstoffen oder anderen textilen Elementen bis hin zur chemischen Verwertung der Kunststoffe und der stofflichen Glas- und Carbonfaser-Rückgewinnung.

Die Hochschule ist mit zwei Schwerpunkten an den Arbeiten beteiligt: Aus Pforzheim stammen die grundlegenden Informationen zu den



Abb. 1:  
Mittlere Zusammensetzung  
von Rotorblättern aus Wind-  
energieanlagen in Europa

Abb. 2:  
Jährliche Abfallmengen-  
Prognose von Rotorblättern  
zur Entsorgung in Europa



Einsatzmengen von Rotorblättern, die erstmals für die gesamte Europäische Union einheitlich auf Basis von Datenbanken berechnet wurden. Zusätzlich wurden auch die Zusammensetzung der Blätter einbezogen und die steigenden Nutzungsdauern berücksichtigt. Eines der Kernergebnisse der Arbeit war, dass sich derzeit in Europa 3,2 Millionen Tonnen Rotorblattmaterial im Einsatz befinden. Sie gelangen künftig in Jahresmengen von teilweise deutlich über 100.000 Tonnen zur Entsorgung

(Abbildung 2). Der Anteil der Glasfasern an der Gesamtmasse dieser Rotorblätter liegt bei knapp 700.000 Tonnen, der von Carbonfasern bei gut 40.000 Tonnen. Auf dieser Grundlage können nun Entsorgungstechniken und Geschäftsmodelle entwickelt werden.

Der technische Schwerpunkt der Arbeiten liegt bei der Elektropulsbehandlung der Verbundwerkstoffe, um saubere Einzelkomponenten freizulegen. Hierfür nutzt die Arbeitsgruppe eine besondere Einrichtung: Die

Hochschule Pforzheim besitzt als einzige deutsche HAW eine „Selfrag“-Laboranlage zur elektrodynamischen Fragmentierung von Werkstoffverbunden (Foto unten). Sie nutzt das Prinzip von „Blitz und Donner“ zur Zerlegung von Verbundwerkstoffen. Dabei wird ein kurzer elektrischer Blitz“ durch die Werkstoffe geschickt, dem dann ein „Donner“, also ein Druckwechsel folgt, der die Verbunde in ihre einzelnen Bestandteile von innen heraus zerlegen kann. So kann das Verbundmaterial für weitere Aufbereitungsschritte geschwächt oder insgesamt soweit zerlegt werden, dass Fasern von dem Harzmaterial getrennt und anschließend separat und möglichst hochwertig verwertet werden können. Die Proben werden dafür zu anderen Forschungspartnern unter anderem in Spanien geschickt. **Das gesamte REWIND-Vorhaben wird im Rahmen des EU Horizon Europe Framework Programme (HORIZON) von 2024 bis 2026 finanziert (Förderkennzeichen 101147226).** Am Ende des Projekts sollen dann neue, hochwertige und möglichst wirtschaftliche sowie umweltfreundliche Ansätze für die Kreislaufführung von Rotorblättern gefunden worden sein – damit es auch beim Recycling rund läuft.



DR.-ING. JÖRG WOIDASKY  
ist Professor für Nachhaltige Produktentwicklung.  
PAUL STEINER  
ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Fakultät für Technik.

Younes Lhousni und Paul Steiner (rechts, mit REWIND-Probenmaterial) führen Versuche mit der Selfrag-Laboranlage der Hochschule als studentisches Forschungsprojekt im Rahmen ihres Wirtschaftsingenieur-Masterstudiums durch.

Bildrechte: Hochschule Pforzheim

# Ressourcen sparen und die Umwelt schonen

## Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt IRMa

In der Chemischen Industrie steckt großes Potenzial, Ressourcen effizienter zu nutzen. Studien zeigen: Schon mit einfachen Maßnahmen können Unternehmen bis zu zehn Prozent ihres Energie- und Materialverbrauchs einsparen – mit weitergehenden Ansätzen sogar bis zu 70 Prozent. Doch in vielen Betrieben fehlt ein systematischer Ansatz, um den Verbrauch systematisch zu erfassen und gezielt zu verbessern.

VON CLAUS LANG-KOETZ UND INGELA TIETZE | erschienen in den KONTUREN HSPF 2025

Hier setzte das Forschungsprojekt IRMa – Integratives Ressourceneffizienz-Management für mittelständische Unternehmen der Chemischen Industrie an. Drei Jahre lang arbeiteten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Instituts für Industrial Ecology (INEC) der Hochschule Pforzheim gemeinsam mit den Chemieunternehmen BUZIL-WERK Wagner GmbH & Co. KG und MÜNZING Chemie GmbH sowie den Digitalisierungsexperten von krumedia GmbH daran, praxisnahe Wege zur Verbesserung der Ressourceneffizienz und zur

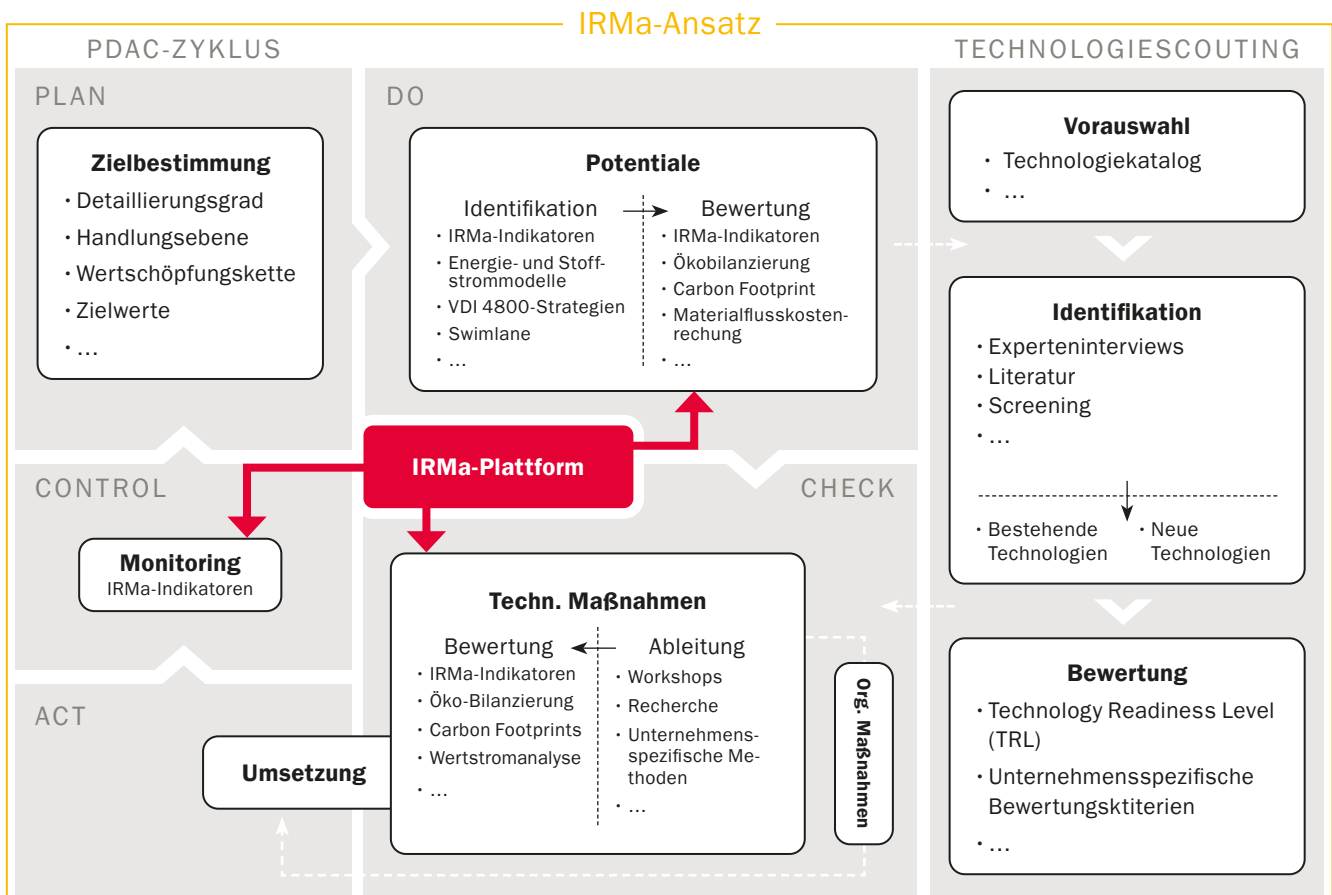
Förderung der Kreislaufwirtschaft zu entwickeln. Gefördert wurde das von Professorin Dr. Ingela Tietze und Professor Dr.-Ing. Claus Lang-Koetz geleitete Projekt vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. Ende 2024 wurde es erfolgreich abgeschlossen.

### Methoden und Indikatoren für mehr Effizienz

Im Projekt wurde ein leicht anwendbarer methodischer Ansatz entwickelt, mit dem Unternehmen ihre Prozesse analysieren, Einsparpotenziale

identifizieren und passende technische Lösungen auswählen können. Der sogenannte IRMa-Ansatz basiert auf einem bewährten Verbesserungszyklus (PDCA-Zyklus) und wird durch ein systematisches Technologiescouting ergänzt – also die strukturierte Suche nach geeigneten Innovationen. Ziel war es, komplexe Anforderungen in einen verständlichen, praxistauglichen Prozess zu übersetzen.

Zur Messung der Fortschritte wurde außerdem ein spezielles CERE-Indikatorensystem (Circular Economy und Ressourceneffizienz) entwickelt.



> Ausschnitt aus der IRMa Plattform

v IRMa-Projektteam.  
Foto: C. Lang-Koetz



Es umfasst 25 Kennzahlen aus den Bereichen Energie, Material, Abfall, Abwasser und Emissionen. So lassen sich Fortschritte nicht nur dokumentieren, sondern auch gezielt steuern.

Diesen Ansatz übertrug krume-dia in eine digitale Softwarelösung, die IRMa-Plattform, die bei beiden Unternehmenspartnern erfolgreich eingeführt wurde. Sie bietet ein flexibles Tool zur Kennzahlenbildung mit Zeitreihenmessung und Schnittstellen zu bestehenden Systemen im Unternehmen. Auch ein Modul zur CO<sub>2</sub>-Bilanzierung wurde integriert.

Ein weiteres Ergebnis des Projekts ist ein umfangreicher Technologie-katalog mit 87 Einträgen – von Heiz- und Kühlsystemen über Wasseraufbereitung bis hin zur Materialsubstitution. Der Katalog soll auch anderen mittelständischen Chemieunternehmen helfen, passende Technologien zur Steigerung der Ressourceneffizienz schneller zu finden.

#### Praxisbeispiele mit Vorbildfunktion

Die beiden beteiligten Unternehmen nutzten das Projekt, um konkrete Verbesserungen umzusetzen:

- Buzil konnte durch die Analyse seiner Abfallströme den Abfall um mehr als 50 Prozent reduzieren. Energieeinsparungen, die Umstellung auf andere Energieträger und der Ausbau der Photovoltaikanlage führten dazu, dass die CO<sub>2</sub>-Emissionen 2024 gegenüber 2020 um fast 70 Prozent gesenkt wurden. Außerdem setzt das Unternehmen heute verstärkt auf recycelte Verpackungsmaterialien, angestoßen durch die IRMa-Analysen.
- Bei Münzing lag der Schwerpunkt auf Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung, zum Beispiel bei der Druckluft- oder Kälteerzeugung. Eine kältegeführte Wärmepumpe mit Wärmespeicher wurde beschafft und läuft seit August 2024 im Dauerbetrieb. Das Unternehmen rechnet mit einer CO<sub>2</sub>-Einsparung von jährlich 278 Tonnen. Im Werk in Heilbronn werden Prozesstemperaturen über 160 Grad Celsius benötigt – durch die Technologierecherche im Projekt konnte eine passende Lösung identifiziert werden: eine Hybrid-Kompressions-Absorptions-Wärmepumpe.

#### Fazit

Das Projekt IRMa ist ein gelungenes Beispiel für die erfolgreiche Zusammenarbeit zwischen anwendungsorientierter Forschung und praxisnaher Industriearbeit. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Instituts für Industrial Ecology (INEC) der Hochschule Pforzheim arbeiteten zielgerichtet mit Expertinnen und Experten aus der Chemieindustrie und der Softwarebranche zusammen.

**IRMa zeigt eindrucksvoll, wie durch fundierte Analyse, innovative Technik und praxisnahe Methoden spürbare Fortschritte bei der Ressourcenschonung erzielt werden können**

– und das mit und ohne große Investitionen. Die entwickelten Werkzeuge und Erkenntnisse stehen nun auch anderen mittelständischen Unternehmen des produzierenden Gewerbes zur Verfügung und können ihnen helfen, klimafreundlicher zu wirtschaften.

DR.-ING. CLAUS LANG-KOETZ

ist Professor für Nachhaltiges Technologie- und Innovationsmanagement und stellvertretender Leiter des Instituts für Industrial Ecology (INEC).

Dr. Ingela Tietze

ist Professorin für Nachhaltige Energiewirtschaft und Prorektorin für Nachhaltigkeit und Studierendengewinnung.





# Kunststoffrasensysteme – Was passiert nach dem Abpfeiff?

Fußball ist Deutschlands beliebteste Sportart. Überall im Land – in Städten, Vororten oder auf dem Land – prägen Fußballplätze das Bild unserer Sportstätten. Was vielen jedoch nicht bewusst ist, ist dass im Amateurbereich häufig Kunststoffrasensysteme verbaut sind.

VON JULIA WALZ | erschienen in den KONTUREN HSPF 2025

**D**ies liegt vor allem an ihrer einfacheren Pflege und hohen Beständigkeit. Doch was geschieht mit ihnen, wenn sie das Ende ihres Lebens erreicht haben? Könnte mechanisches oder chemisches Recycling eine umweltfreundlichere Alternative zur thermischen Verwertung sein? Diese Fragen hat sich der Landessportverband Baden-Württemberg gestellt und die Hochschulen Aalen, Furtwangen und Pforzheim um die Suche nach Antworten gebeten.

Im Projekt **RewitAI**, gefördert durch die Europäische Union und das baden-württembergische Wissenschaftsministerium, wird transdisziplinär an verschiedenen Recyclingmethoden geforscht, und nach der ökologischen Bewertung werden alternative nachhaltigere Materialien entwickelt. Forschende des Instituts für Industrial Ecology (INEC) an der Hochschule Pforzheim vergleichen mit Hilfe der Ökobilanzierung die unterschiedlichen Verwertungsszenarien miteinander, um Handlungsempfehlungen für die Sportstättenbetreiber abzuleiten.

## Gesprächsthema: Mikroplastik

Seit 2023 geraten Kunststoffrasensysteme immer mehr in den Fokus. Die EU verbietet in einem neuen Gesetz das gezielte Einbringen von Mikroplastik in bestimmten Produkten – darunter Kosmetika und Kunststoffrasensysteme. Für Kunststoffrasensysteme tritt das Gesetz im Jahr 2031 in Kraft. Auch der Blaue Engel hat eine Zertifizierung entwickelt, um Betreiber von Sportstätten zur Vermeidung von Mikroplastik zu motivieren. Da Kunststoffrasensysteme eine Lebensdauer von ca. 12 bis 15 Jahren haben, werden diese heute schon mit Alternativen wie zum Beispiel Sand, Kork oder Olivenkernschrot als sogenanntes Infill gebaut.

Das Verbot bezieht sich bei Fußballplätzen auf die Systeme der dritten Generation. Diese bestehen aus einem komplexen und hochfunktionalen Stoffgemisch, klassischerweise aus einer elastischen Tragschicht (ELT), Quarzsand, Performance Infill, PE-Fasern sowie Latex und PU-Schaum als Klebemittel. Die unterste Schicht – die ELT – dient der Stoßdämpfung und besteht aus Gummigranulaten aus Altreifen (SBR) oder EPDM sowie PU-Schaum und Latex. Darauf folgt der eigentliche Kunstrasen (mit PE-Fasern, dem Teppichrücken aus SBR, dem beschwerenden Quarzsand, dem



PU-Schaum bzw. Latex-Kleber) sowie das aus SBR oder EPDM bestehende Performance Infill. Letzteres steht im Zentrum der Verbotsregelung. Obwohl das entsprechende Infill heute nicht mehr verbaut wird, bestehen viele der aktuell genutzten Plätze aus solchen Systemen. Genau deshalb liegt der Schwerpunkt im Projekt **Rewital** auf der Entsorgung und deren Bewertung.

### Recycling – mehrere Wege führen weg vom Fußballfeld

Die Materialzusammensetzung ist für das Recycling maßgeblich: Pro Quadratmeter fallen im Durchschnitt etwa 20 Kilogramm Quarzsand, 5 Kilogramm Performance Infill, 1 Kilogramm Kunstrasenfasern, 1 Kilogramm Trägermaterial sowie 31,5 Kilogramm elastische Tragschicht (ELT) an. Das gängige Verfahren ist die sogenannte thermische Verwertung, bei der die aufgerollten Systeme in Zementwerken als Brennstoff eingesetzt werden.

Das alternative mechanische Recycling wird derzeit von wenigen Recyclingunternehmen in und um Deutschland herum durchgeführt. Grundlegend kann der mechanische Prozess in die Demontage vor Ort und dem Re-cycling in der Fabrik oder einem teilweise Recycling vor Ort unterteilt werden. Schwierig ist die Trennung der verschiedenen Komponenten voneinander. So muss das Performance Infill von dem Sand getrennt werden sowie die Kunststofffasern von dem

>>

*Querschnitt eines Kunstrasens mit den PE-Fasern, Quarzsand, Performance Infill und Teppichrücken sowie dem schwarzen ELT. Bildrechte: Deimling, PR-Recycling.*



Recycling vor Ort mit der Trennung des Sandes und Performance Infills von den aufgerollten Kunststoffrasenbahnen. Bildrechte: Deimling, PR-Recycling.

PU-Schaum und Latex. Die Qualität der daraus resultierenden Materialien hängt stark von den angewendeten Verfahren ab.

Das chemische Recycling in Form von Pyrolyse ist heute noch nicht in der Industrie etabliert. Die Kunststoffe werden dabei in einen rohölähnlichen Ausgangsstoff verwandelt, aus dem dann wieder Kunststoffe und andere Produkte hergestellt werden können. Dieses Recycling und dessen Skalierung werden im Rahmen des Projekts und in Zusammenarbeit mit Industriepartnern weiter erforscht.

## Von der Ökobilanz zur Praxis

Die ökologische Bewertung wird am INEC mit dem sogenannten Life Cycle Assessment (LCA) durchgeführt. Dafür werden alle relevanten Stoff- und Energieströme erfasst. Die Daten stammen von den Industriepartnern sowie externen Recyclingunternehmen. Eine Schlüsselrolle spielt die Qualität der recycelten oder wiederverwendeten Materialien – sowohl hinsichtlich der Effizienz des Recyclingprozesses als auch im Hinblick auf ihre potenzielle Anrechnung als Ersatz für Primärrohstoffe. Gerade der lange Zeithorizont spielt hierbei eine wichtige Rolle, da die Vergleichbarkeit von heutigen und zukünftigen Daten und Umweltauswirkungen kritisch zu hinterfragen ist.

Ein oft unterschätzter, aber relevanter Aspekt ist der Transportaufwand: Für den Abbau eines Fußballplatzes werden für Kunstrasen und ELT ca. 20 LKW-Ladungen benötigt. Bei einer durchschnittlichen Distanz von etwa 350 Kilometern zwischen dem Sportplatz und dem jeweiligen Recyclinghof entstehen erhebliche Treibhausgasemissionen. Aber auch für die thermische Verwertung müssen die LKW eine Distanz von bis zu 500 km zurücklegen. Hier wird das Szenario des Vor-Ort Recycling interessant. Gerade wegen der großen Mengen an Sand stellt sich die Frage, ob es Möglichkeiten gäbe, diesen vor Ort zu trennen und wiedereinzusetzen – ein Zukunftsszenario, welches auch im Projekt RewitAI mitgedacht wird. Die technische Machbarkeit solcher Lösungen ist dabei ein limitierender Faktor. Gleichzeitig werden Trade-offs zwischen Treibhausgas-emissionen

und weiteren Wirkungskategorien wie etwa Feinstaubbelastung oder ländliche Ressourcennutzung berücksichtigt. Ziel ist eine umfassende Betrachtung, die über CO<sub>2</sub>-Emissionen hinausgeht.

Im Rahmen der aktuellen Diskussion um Mikroplastik sollen die etablierten Umweltwirkungskategorien um die Kategorie Mikroplastik erweitert werden. Damit betreibt das Projekt auch aktuelle Umweltforschung, da die Entwicklung und Integration einer Wirkungsabschätzung von Mikroplastik in der Ökobilanzierung nach wie vor am Anfang stehen.

## Zukunftsweisendes Recycling

Die Ökobilanzierung liefert nicht nur eine gute Entscheidungsgrundlage für Sportstättenbetreiber, sondern zeigt zugleich Optimierungspotential in den bestehenden Prozessen auf. Doch damit endet die Arbeit im Projekt **RewitAI** nicht: Die Arbeitsgruppen der Hochschulen Aalen und Furtwangen bringen ihre Expertise in die Entwicklung neuartiger automatisierter Maschinen zur Demontage sowie umweltfreundlicher Materialien für die Kunststoffrasensysteme ein. Parallel dazu wird an der Hochschule Aalen die Weiterentwicklung des Pyrolyseverfahrens vorangetrieben. Damit die nachhaltige Entsorgung nicht nur in der Theorie überzeugt, wird das End-of-Life der Kunststoffrasensysteme auch ökonomisch betrachtet. In diesem Zusammenhang wird untersucht, wie sich Social Enterprises im Bereich Kunststoffrasenrecycling etablieren lassen und wie sich so umweltfreundliche Innovationen dauerhaft in der Praxis verankern können.

Damit leistet das Projekt einen bedeutenden Beitrag, der sich perspektivisch nicht nur auf Kunststoffrasensysteme anderer Sportarten übertragen lässt, sondern auch **Impulse für die Materialforschung** in verwandten Anwendungsfeldern bietet.

JULIA WALZ, M.Sc.

ist Absolventin des Studiengangs »Life Cycle & Sustainability« und Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Industrial Ecology (INEC).

# Kreislaufwirtschaft im Krankenhaus

VON FRANZISKA ZECHA UND JÖRG WOIDASKY | erschienen in den KONTUREN HSPF 2025

Das Gesundheitswesen gehört in Deutschland mit einer jährlichen Abfallmenge von etwa 5 Mio. Tonnen zu den größten Abfallproduzenten. Auch die Klimawirkung des Gesundheitswesens ist mit etwa 5% der Gesamtklimagasemissionen relevant. Im Gesundheitswesen werden zunehmend medizinische Einmalgebrauchsprodukte eingesetzt, die oft aus Kunststoffen oder Verbundwerkstoffen bestehen. Sie sind schlecht rezyklierbar und stellen eine große Herausforderung für eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft und indirekt auch den Klimaschutz dar.

Um diese Herausforderung anzugehen, ist die Kooperation aller Akteure des Gesundheitswesens beginnend mit den Herstellern von Medizinprodukten über die Anwender im Krankenhaus bis hin zu den Entsorgungsunternehmen erforderlich. Im Rahmen eines durch die Klimaschutzinitiative des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) geförderten Projekts wird unter Leitung der Hochschule Pforzheim ein innovativer Ansatz entwickelt, um die stoffliche Verwertung medizinischer Einwegprodukte zu fördern und ihre Kreislauffähigkeit zu verbessern.

Das Vorhaben »Medizinische Einmalgebrauchsprodukte in der Kreislaufwirtschaft« mit dem Akronym »MEiK« wird mit rund 1,7 Millionen Euro bis Ende 2026 unterstützt. **Ziel des Projekts ist es, Lösungen zu entwickeln, die eine klimafreundliche und hochwertige Verwertung von Einweg-Medizinprodukten ermöglichen.** Dabei werden sowohl die ökologischen als auch die ökonomischen Auswirkungen berücksichtigt, um eine praktikable und nachhaltige Kreislaufwirtschaft im Gesundheitswesen zu etablieren. Das Projekt ist das erste Vorhaben, das von der im September 2024 im INEC der Hochschule Pforzheim gegründeten **Forschungsstelle Kreislaufwirtschaft im Gesundheitswesen** bearbeitet wird. Unter der Leitung von Dr. Jörg Woidasky, Professor für nachhaltige Produktentwicklung, bündelt die Forschungsstelle die wissenschaftlichen Kompetenzen der Hochschule Pforzheim in diesem Themenfeld. Derzeit werden hier bereits drei Doktorarbeiten und zahlreiche studentische Qualifikationsarbeiten zu Gesundheitsthemen betreut. Hierbei profitiert die Hochschule vom Promotionsrecht ausgewählter Hochschullehrer, zu denen der Gründungsdirektor der Forschungsstelle ebenso wie der zweite MEiK-Projektleiter, Dr. Tobias Viere gehört, der die Professur für Energie- und Stoffstromanalysen innehat.

Für die Optimierung der Kreislaufwirtschaft im Krankenhaus sind zunächst Kennwerte zum Ausgangsstand erforderlich, die aus den vorliegenden veröffentlichten statistischen Daten nicht gewonnen werden können. Daher wurde durch die Hochschule Pforzheim eine deutschlandweite Erhebung zu Abfallmengen in deutschen Krankenhäusern konzipiert und mit Unterstützung der Deutschen Krankenhausgesellschaft und der Landes-Krankenhausgesellschaften durchgeführt.

Das MEiK-Projektteam am Klinikum Saarbrücken. Bildrechte: HS PF



Über 100 Kliniken nahmen an dieser bundesweiten Studie teil, die es den teilnehmenden Einrichtungen ermöglicht, ihre Abfallkennzahlen mit anonymisierten Werten anderer Krankenhäuser zu vergleichen. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse helfen dabei, Potenziale zur Abfallvermeidung und -reduktion zu identifizieren und praxisorientierte Lösungen für die nachhaltige Entsorgung von medizinischen Einmalprodukten zu entwickeln. Die Ergebnisse unterstützen so nicht nur die teilnehmenden Krankenhäuser, sondern werden auch mit Hilfe des Projektpartners BLOPRO Baden-Württemberg GmbH im Rahmen von Vernetzungsveranstaltungen branchenweit kommuniziert.

Als Hersteller von Medizinprodukten fokussieren sich im MEiK-Vorhaben B. Braun SE, Carl Zeiss Meditec AG und die Harro Höfliger Verpackungsmaschinen GmbH auf die Produktentwicklung und Verpackungsoptimierung von Nahtmaterialien, medizinischen Scheren oder kompletten OP-Kits.

Das Klinikum Lüneburg gGmbH spielt als Verwender eine zentrale Rolle, indem es Beschaffungs- und Abfalldaten von Einwegprodukten erfasst und Entsorgungsprozesse optimiert. Die Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes (htw saar) unterstützt mit ihrer pflegewissenschaftlichen Expertise die Entwicklungen, unter anderem durch Prozessanalysen im OP. München Klinik und das Klinikum Saarbrücken unterstützen als assoziierte Partner diese Untersuchungen. Die Pflegewissenschaftlerinnen der htw saar nutzen diese Untersuchungen, um nachhaltige Prozesse und Schulungskonzepte zu entwickeln, die eine umweltfreundliche Entsorgung und Wiederverwertung von medizinischen Abfällen fördern.

Die Abfälle werden derzeit u.a. durch den Projektpartner REMONDIS Medison GmbH energetisch verwertet – zukünftig sollen hier werkstoffliche Verwertungsansätze entwickelt und umgesetzt werden. **Als ersten Schritt führte das Unternehmen gemeinsam mit der Hochschule Pforzheim eine umfangreiche Charakterisierung der Inhalte der angelieferten Abfallbehälter durch, die bereits während der ersten Wochen zu einer erheblichen Betriebsoptimierung führte.** An der Hochschule Pforzheim wird neben der Zusammensetzung der Abfälle aber auch die Zusammensetzung der Einwegprodukte intensiv untersucht, um die Kreislaufführung der verwendeten Werkstoffe zu optimieren.

Bis 2026 hat sich das MEiK-Team noch weitere Aufgaben vorgenommen, zu denen vor allem die ökologische Bewertung der Beschaffungsvorgänge in Krankenhäusern gehört. Erste Zwischenergebnisse der umfangreichen Untersuchungen im Konsortium sollen aber bereits Ende 2025 im Rahmen eines Symposiums an der Hochschule vorgestellt werden.

FRANZISKA ZECHA
ist Wissenschaftliche Mitarbeiterin.
PROFESSOR DR.-ING. JÖRG WOIDASKY
leitet das Projekt MEiK.

# Wie können **Beatmungssysteme** kreislauffähiger gestaltet werden?

Die Beatmung von Menschen wird nicht nur in Notfällen oder bei Operationen in Krankenhäusern durchgeführt, sondern auch im Bereich der Langzeitbeatmung im privaten Umfeld oder Beatmungs-WGs. Auch die Atemunterstützung bei Schlafapnoe, die bei etwa drei bis fünf Prozent der deutschen Bevölkerung auftritt, erfolgt durch Beatmungssysteme.

VON MARCEL KERN UND JÖRG WOIDASKY |  
erschienen in den KONTUREN HSPF 2026

**M**it der Beatmung ist nicht nur eine Unterstützung der Patientinnen und Patienten verbunden, sondern auch Energie- und Materialverbrauch: Zwar werden die Beatmungsgeräte und Befeuchtungseinheiten oft jahrelang verwendet, aber die zugehörigen Filter- und Schlauchelemente sowie Masken oder andere „Patienteninterfaces“ sind Verbrauchsmaterialien. Sie bestehen meist aus Kunststoffen oder Materialverbunden und müssen aus hygienischen Gründen regelmäßig ausgetauscht werden. Hierfür kommen Einwegprodukte zum Einsatz, die zwar eine einfache Handhabung und ein hohes Hygieneniveau sicherstellen, jedoch gleichzeitig Rohstoffe verbrauchen und die Abfallmengen vergrößern.

Die Nutzungsdauern der Beatmungs-Verbrauchsmaterialien reichen je nach Anwendungsfall von der einmaligen Nutzung im Notfall über einwöchige Nutzungsdauern in klinischen Anwendungsfällen bis hin zur Heimbeatmung mit Nutzungsdauern von sechs Monaten oder sogar darüber hinaus. Insgesamt werden so in Deutschland etwa 1,2 Millionen Schlauch-

Ausgewählte Beatmungs-Interfaces.  
Foto: Jörg Woidasky



systeme jährlich verbraucht – eine Abfallmenge von 500 Tonnen. Diese Abfälle werden fast immer verbrannt, und damit gehen Rohstoffe verloren und entstehen Klimagas.

Um Beatmungssysteme umweltfreundlicher und kreislauffähiger zu gestalten, fördert die Deutsche Bundesstiftung Umwelt in ihrem Medizintechnik-Förderschwerpunkt „CirculAID“ das Vorhaben „Systematische Erschließung des kreislaufwirtschaftlichen Potentials von Beatmungssystemen“ als eines von insgesamt fünf Entwicklungsvorhaben.

Das dreijährige Projekt wurde von der „Forschungsstelle Kreislaufwirtschaft im Gesundheitswesen“ konzipiert und wird gemeinsam mit Industriepartnern umgesetzt. Ziel des Projektes ist die systematische Untersuchung des kreislaufwirtschaftlichen Potentials von Beatmungssystemen. Bearbeitet wird das Projekt gemeinsam mit Löwenstein Medical Technology GmbH + Co. KG (Antragsteller) als Hersteller von Beatmungssystemen und Beatmungsmasken sowie als Serviceprovider für die Heimbeatmung im Unternehmensverbund und der WILamed GmbH, einem Hersteller von Beatmungsschläuchen und Atemgasbefeuchtern. Durch diese Partnerschaft werden von der Entwicklung über die Herstellung bis hin zum Einsatz der Produkte alle relevanten Lebenszyklusphasen von Beatmungssystemen abgedeckt, sodass kreislaufwirtschaftlich optimierte Produkte und zugehörige Geschäftsmodelle

ganzheitlich entwickelt und angeboten werden können.

Zum Beginn des Vorhabens gab es keine publizierten Informationen zu genauen Verbrauchsmengen von Einwegprodukten bei der Beatmung oder auch zu Abfallmengen und -entsorgungswegen. Die Schaffung einer Datengrundlage war daher eine der ersten Aufgaben im Rahmen des SEB-Vorhabens. Weitere, darauf aufbauende Schritte sind die genaue kreislaufwirtschaftliche Charakterisierung der relevanten Beatmungssysteme, die systematische Abbildung kreislaufwirtschaftlicher Prinzipien auf die Elemente und Prozesse der Beatmung, die Ableitung von Eco-Design-Ansätzen sowie die Entwicklung entsprechender Geschäftsmodelle für umweltlich vorteilhafte Beatmungslösungen.

Das Forschungsprojekt SEB startete 2024 und wird von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt für einen Zeitraum von drei Jahren gefördert. Im Rahmen dieses Vorhabens entstehen zahlreiche Qualifikationsarbeiten insbesondere in den Bereichen Medizintechnik und Wirtschaftsingenieurwesen der Hochschule Pforzheim.

MARCEL KERN

ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter.

DR.-ING. JÖRG WOIDASKY

ist Professor für Nachhaltige Produktentwicklung in der Fakultät für Technik.

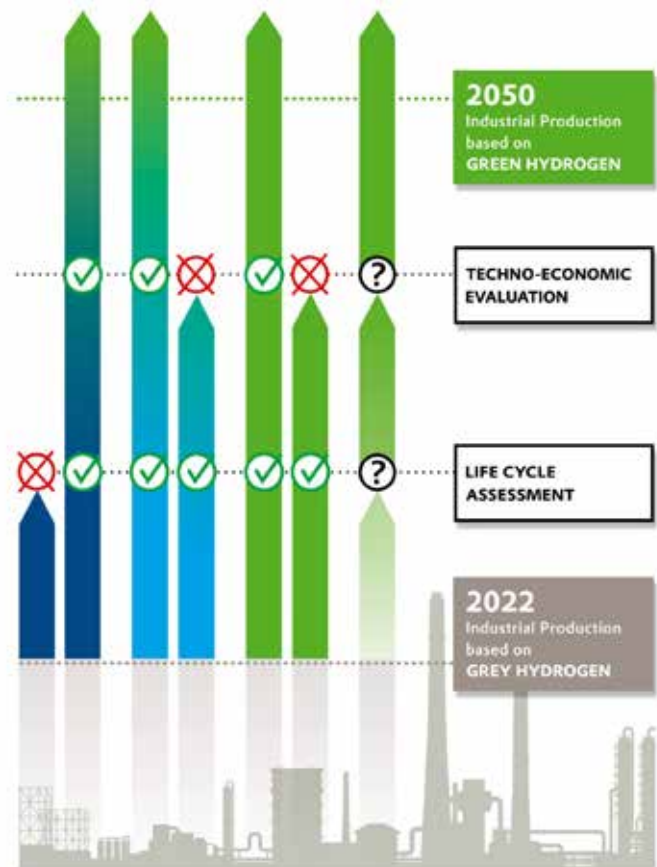


Hersteller, Vertrieber und Entwickler von Beatmungssystemen arbeiten zusammen mit der Forschungsstelle »Kreislaufwirtschaft im Gesundheitswesen«: Professor Dr.-Ing. Jörg Woidasky, Marcel Kern und Professor Dr.-Ing. Benno Dömer von der Hochschule Pforzheim, Tim Wunderlich und Constantin Wagner von Löwenstein Medical Technology und Dennis Jung von WILamed. Foto: Dennis Jung

# H<sub>2</sub> Chemie 2050

## Transformation zu grünem Wasserstoff in der Chemischen Industrie: Wie kann das gelingen?

Wasserstoff? Ja klar! Den brauchen wir, am besten »grün« und möglichst schnell. Ganz so einfach ist es leider nicht, den knappen Stoff bereitzustellen. Nicht nur große Mengen an Energie, sondern auch Infrastrukturanpassungen, Prozessumstellungen, Kooperationen und passende politische Rahmenbedingungen werden benötigt.



VON MARCO RUDOLF, MARCO SCHMID, MAIKE-KATHARINA SENK  
UND MELANIE APITZSCH-DELAVALT | erschienen in den KONTUREN HSPF 2023

**W**ie die Umstellung der Chemischen Industrie auf treibhausgasarmen Wasserstoff gelingen kann, untersuchen Forschende der Hochschule Pforzheim (INEC) gemeinsam mit dem Chemiekonzern Evonik Industries AG an dessen Produktionsstandort Rheinfelden.

Ohne das kleinste und häufigste Element im Universum geht nicht viel. Wasserstoff ist nicht nur zentraler Bestandteil allen Lebens – in Verbindung mit Sauerstoff zu Wasser –, sondern auch entscheidender Baustein der weltweiten Energiewende. Er wird insbesondere in Wirtschaftssektoren benötigt, deren Prozesse nicht – oder nur sehr schwer – elektrifizierbar sind, darunter auch die Chemieindustrie. Bislang stammen rund 95% des weltweit hergestellten Wasserstoffs aus Erdgas oder Kohle. Der Großteil davon wird als sogenannter „grauer“ Wasserstoff mittels Dampfreformierung gewonnen, wobei pro Tonne Wasserstoff zwischen 9 und 12 Tonnen CO<sub>2</sub> freigesetzt werden. Entscheidend für das Gelingen der Energiewende ist, dass die Wasserstoffherstellung treibhausgasarm wird. Das gelingt beispielsweise durch die Trennung von Wasser in dessen Bestandteile Sauerstoff und Wasserstoff per Elektrolyse unter Verwendung von Strom aus erneuerbaren Quellen. Der dabei entstehende Wasserstoff wird als „grüner“ Wasserstoff bezeichnet.

### Systembetrachtung – Wasserstoff-Hub in Rheinfelden und der Region

Wie die Transformation der Chemischen Industrie zu einer hundertprozentigen Bedarfsdeckung mit treibhausgasarmem Wasserstoff gelingen kann, wird im von der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg geförderten Projekt H<sub>2</sub>-Chemie 2050 untersucht. Dabei fokussieren die Forschenden des INEC und des Chemiekonzerns Evonik dessen Produktionsstandort in Rheinfelden am südlichen Oberrhein. Dort wird Wasserstoff bereits seit Jahrzehnten in großen Mengen aus Erdgas gewonnen und für die Herstellung verschiedener Produkte verwendet. Auch für die zukünftige Industrieproduktion, nicht nur am Standort Rheinfelden, sondern in der gesamten umliegenden Region, wird Wasserstoff eine entscheidende Rolle spielen. Verwendung findet dieser sowohl in direkter stofflicher Nutzung – wie am Evonik Standort in Rheinfelden – sowie zukünftig als Energieträger für nicht elektrifizierbare, hochenergetische Industrieprozesse. Voraussetzung für das Gelingen der Transformation und deren Beitrag zur Treibhausgasneutralität ist die Schaffung der entsprechenden Verfügbarkeit von Wasserstoff sowie die Sicherstellung einer treibhausgasarmen Herstellung. Perspektivisch können und sollen nicht nur Unternehmen der Chemieindustrie, sondern die gesamte Region Oberrhein vom Aufbau eines Wasserstoff-Hubs profitieren, in dem die Bereiche Industrie, Energie und Mobilität vernetzt sind.

Gelingen soll das in einer Region, in der bislang weder die Voraussetzungen für ausreichenden Wasserstoffimport noch für dessen wirtschaftliche Erzeugung auf Basis erneuerbarer Energien geschaffen sind. Die zu bewältigende Herausforderung besteht darin, technische Möglichkeiten, ökonomische Machbarkeit und ökologische Ziele zusammenzubringen und den optimalen Weg in Richtung eines treibhausgasneutralen Wasserstoff-Hubs in der Region zu bestimmen und einzuleiten.

### Blicke in die Zukunft – Entscheidungsgrundlage für Industrie und Politik

Um kostspielige Irrwege – im ökonomischen als auch im ökologischen Sinne – auf dem Weg der Wasserstofftransformation zu vermeiden, entwickeln die Forschenden des INEC ein Energie- und Stoffstrommodell für die Projektregion, mit dem ein „Blick in die Zukunft“ ermöglicht wird. Unterstützt von der technischen und regionalen Expertise Evonik's fließen sowohl techno-ökonomische als auch ökobilanzielle Parameter der Wasserstoffherstellung, Transport und Speicherung in das Modell ein. Diese werden ergänzt durch weitere zukunftsrelevante Einflussfaktoren, etwa der zukünftigen Entwicklung des deutschen Strommixes, den regionalen Bedingungen für erneuerbare Energieerzeugung oder der voraussichtlichen Entwicklung des Wasserstoffbedarfs in der Region.

&lt;

Identifizierung von Transformationspfaden zu grünem Wasserstoff in der Industrie basierend auf ökobilanziellen und techno-ökonomischen Modellanalysen.

Blick auf den Produktionsstandort von Evonik in Rheinfelden. Das Werk für Spezialchemie bildet den Ausgangspunkt des Energie- und Stoffstrommodells, welches Wege zu einem zukünftigen Wasserstoff-Hub in der Region aufzeigt. Bildrechte: HS PF

v

Die Ergebnisse der Analyse sollen in Form von relevanten Zukunftsszenarien eine belastbare Entscheidungsgrundlage liefern, mit deren Hilfe sowohl die ansässige Industrie als auch die Politik wichtige Schritte der Wasserstofftransformation einleiten können. Dabei geht es insbesondere um die Identifikation von „No-Regret“-Maßnahmen, die unabhängig von der zukünftigen realen Entwicklung ökonomischen und ökologischen Nutzen bringen.

### Blaupause für andere Standorte

Zusätzliches Ziel des Projektes ist es, die entwickelten Modelle und gewonnenen Erkenntnisse auf andere Standorte zu übertragen, in Deutschland und darüber hinaus. **Das Projekt soll damit zu einer Blaupause für die Transformation der Chemischen Industrie hin zu grünem Wasserstoff werden.** Wichtig dabei ist: Jeder Standort ist anders und verfügt über unterschiedliche Voraussetzungen. Spezifische Ergebnisse des Projekts am Hochrhein werden nicht eins zu eins übertragbar sein. Es gilt daher, die Ergebnisse zu vereinfachen und allgemeine Erkenntnisse für die Transformation der Chemischen Industrie und den Aufbau regionaler Wasserstoff-Hubs zu gewinnen. Zusätzlich ist es perspektivisch möglich, das entwickelte Modell auf andere Standorte anzupassen, um spezifische Transformationspfade der jeweiligen Standorte zu optimieren.

Mit ersten Ergebnissen des Projekts H<sub>2</sub> Chemie 2050 ist im Frühjahr 2024 zu rechnen.

MARCO RUDOLF, MARCO SCHMID, MAIKE-KATHARINA SENK UND MELANIE APITZSCH-DELAVALT

sind wissenschaftliche Mitarbeiter\*innen am Institut für Industrial Ecology (INEC).



# greenProd

Wie die Industrie die Herausforderungen der Energiewende meistern kann



VON FELIX BISCHOFF UND INGELA TIETZE

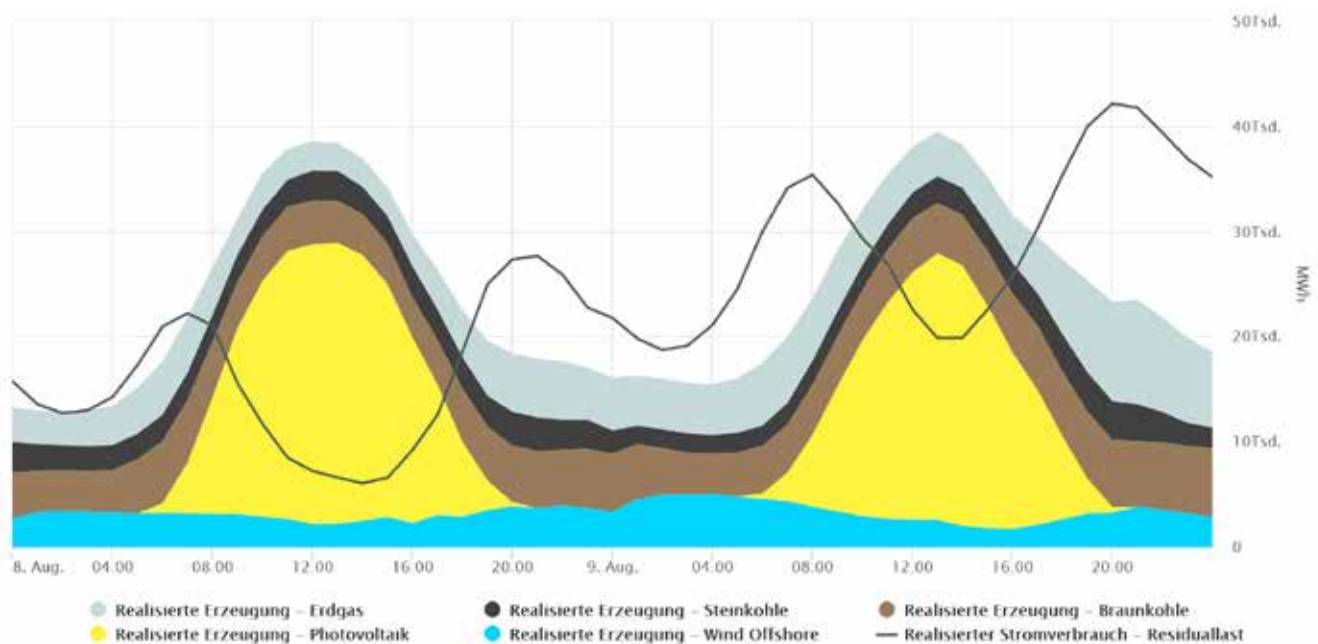
Das Forschungsprojekt »greenProd – Energieoptimierte Produktion mit Hilfe von grünen digitalen Zwillingen« wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) im Rahmen des Förderprogramms »Entwicklung digitaler Technologien« gefördert. Ein interdisziplinäres Forschungsteam mit sechs weiteren Partnern im In- und Ausland arbeitet an der Transformation der produzierenden Industrie im Hinblick auf eine verstärkte Nutzung von regenerativer Energie.

Die Zielsetzungen der Energie- und Klimapolitik erfordern eine Veränderung der gesamten Energiewirtschaft. Vor diesem Hintergrund ist in Deutschland ein tiefgreifender Umgestaltungsprozess eingeleitet worden. Die Energiewende soll den Ausbau der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien voranbringen, sowie eine sichere, bezahlbare und umweltschonende Energieversorgung ermöglichen. Da die Versorgung mit regenerativer Energie maßgeblich vom Wetter abhängig ist, ergeben sich im Tagesverlauf Überschüsse und Defizite. Zwar gibt es bereits Bestrebungen, die Stromerzeugung auf die Nachfrage der

Verbraucher abzustimmen, in Zukunft bedarf es jedoch zusätzlich einer flexiblen Produktion, die dynamisch auf das veränderliche Energieangebot reagiert.

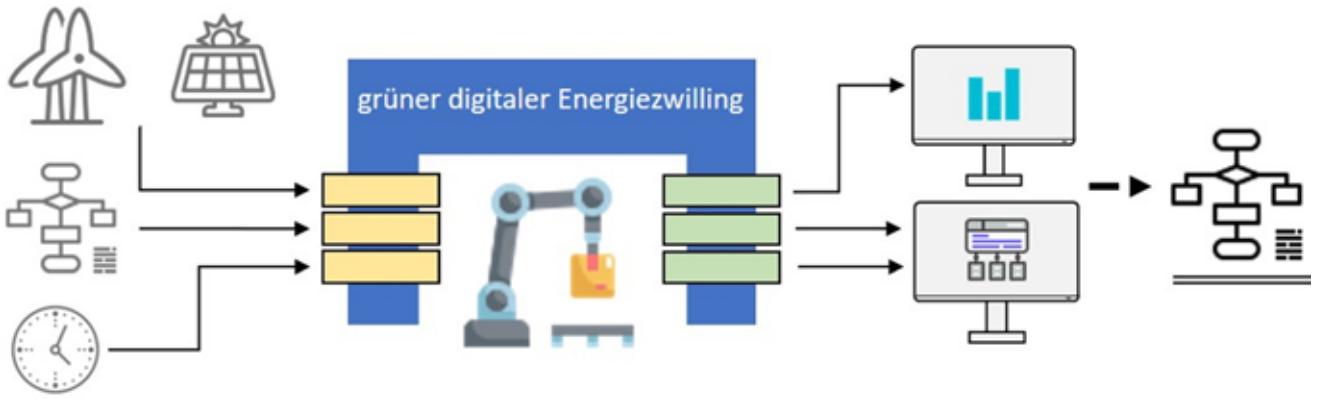
Die Defizite im deutschen Stromnetz werden zum Großteil durch den Einsatz fossiler Kraftwerke ausgeglichen, wodurch CO<sub>2</sub> Emissionen entstehen. Überschüsse sind ebenfalls problematisch, da das Stromnetz nur bis zu einer bestimmten Grenze belastet werden kann. Auf dem Strommarkt werden diese Überschüsse deshalb teilweise zu negativen Preisen abgegeben. Eine höhere Flexibilität auf der Verbraucherseite könnte die Preisfluktuationen am Strommarkt

Abbildung 1: Stromerzeugung in Baden-Württemberg



Quelle: SMARD Strommarktdaten

Abbildung 2: Darstellung eines gDEZ mit möglichen Schnittstellen



Quelle: Icons von icons8.com

verringern. Dies ist aktuell jedoch schwer umzusetzen, da die Produktionsanlagen der Industrieunternehmen in der Regel statisch und basierend auf dem aktuellen Bedarf betrieben werden. Eine Steuerung, die sich zum Beispiel an der Verfügbarkeit grüner Energie orientiert, ist nur begrenzt möglich. Es fehlen die notwendigen herstellerübergreifenden Schnittstellen und digitalen Modelle, die eine solche Steuerung zulassen. Darüber hinaus sind die technischen Anpassungen und der Ausbau von PV-Anlagen zur Eigenerzeugung von grünem Strom mit Investitionen verbunden. Ebenso ist es aktuell schwierig, die tatsächlich entstandenen CO<sub>2</sub> Emissionen direkt einem Produkt zuzuordnen.

Im Forschungsvorhaben greenProd wird untersucht, wie die Produktionsprozesse der produzierenden Industrie im Hinblick auf die Nutzung regenerativer Energiequellen optimiert werden können, um die Wettbewerbsfähigkeit zu steigern und die CO<sub>2</sub> Emissionen zu verringern.

Dies wird durch digitale Zwillinge realisiert, die als digitale Stellvertreter von Maschinen und Anlagen den Energieverbrauch (Strom, Wärme etc.) in einem digitalen Modell nachbilden. Dafür werden grüne digitale Energiezwillinge (gDEZ) entwickelt, die basierend auf der Industrie 4.0 Verwaltungsschale den Energieverbrauch von Produktionsschritten sowie die Verfügbarkeit grüner Energie mittels Prognosemodellen beschreiben. Ebenfalls wird eine Softwareplattform entwickelt, die die gDEZ bei den Anwendern integriert, die energieoptimierte Automatisierung der Fertigung unterstützt und Informationen für den digitalen Produktpass bereitstellt.

Dazu müssen Informationsmodelle in Form vorkonfigurierter gDEZ entwickelt und in die eingesetzten Werkzeuge integriert werden, wozu standardisierte Datenmodelle – im Format AutomationML – und eine vereinfachte Automatisierungssoftware auf der Basis einer domänenspezifischen Sprache (DSL) benötigt werden. Zur Programmierung werden definierte Schnittstellen genutzt, welche die beteiligten Softwarewerkzeuge befähigen, den gDEZ in ihre Aufgaben einzubeziehen. Da das Spektrum der Verbraucher relativ heterogen ist, werden zusätzlich entsprechende Ontologien eingesetzt.

## Vision

Die Verbindung grüner digitaler Energiezwillinge von Erzeugern, Verbrauchern und Speichern zu einem Gesamtmodell (Produktionssystem bzw. Produktionskette) ermöglicht eine Analyse wechselseitiger Abhängigkeiten einzelner Produktionsschritte. Dadurch können Optimierungspotentiale abgeleitet und simuliert werden. Energieintensive Arbeitsschritte können verlagert und vorrangig dann durchgeführt werden, wenn ein Überschuss an regenerativer Energie im Netz verfügbar ist oder selbst erzeugt, grüner Strom zur Verfügung steht. Die Vision des greenProd-Teams ist es, eine optimierte Prozessplanung für Produktionsschritte und gegebenenfalls vorbereitende Aktivitäten zu ermöglichen und damit einen reduzierten CO<sub>2</sub>-Fußabdruck der fertiggestellten Produkte zu erreichen. Dies beinhaltet auch die Betrachtung, inwieweit Investitionen in eine betriebsinterne Erzeugungstechnologie, wie zum Beispiel eine PV-Anlage, sinnvoll sind.

FELIX BISCHOFF
ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am INEC.
DR.-ING. INGELA TIETZE
ist Professorin für Nachhaltige Energiewirtschaft und Prorektorin der Hochschule Pforzheim.



# Kreislauf E-Wende

Durch Recycling den Rohstoffbedarf der Energiewende mindern

VON PIA HEIDAK UND MARLON PATT | erschienen in den KONTUREN HSPF 2024

Bei dem BMBF-geförderten Projekt Kreislauf-E-Wende geht es um die Frage, welche Potentiale zur Minderung von Treibhausgasen in Materialkreisläufen von energietechnischen Anlagen stecken. Zusammen mit den Projektpartnern der TU Darmstadt, der Forschungsstelle für Energie (FfE) und Siemens Energy aus Erlangen werden Analysen durchgeführt und die erforderlichen Methoden dafür entwickelt.

Der Materialbedarf für die Umsetzung der Energiewende durch den Bau von Netzinfrastruktur, Speichertechnologien und Erneuerbaren Energie-Anlagen ist enorm. In der gesamten EU wird bis 2050 beispielsweise für den Photovoltaik-Ausbau mit einem Anstieg des Siliziumbedarfs von gut 70 % gegenüber dem heutigen Bedarf in der EU gerechnet. Der Mehrbedarf an Nickel und Zink alleine für den Windturbinenausbau wird auf knapp 10 % (Ni) und 25 % (Zn) geschätzt. Der Bedarf einiger Seltener Erden und Technologiemetalle erhöht sich noch ungleich stärker und auch Massenmetalle werden in großen Mengen verbaut. Daher ist es wesentlich, die mit der Materialherstellung einhergehenden Treibhausgasemissionen zu vermindern sowie mögliche Versorgungsrisiken durch kritische Rohmaterialien zu reduzieren. Einen wesentlichen Beitrag hierfür erwar-

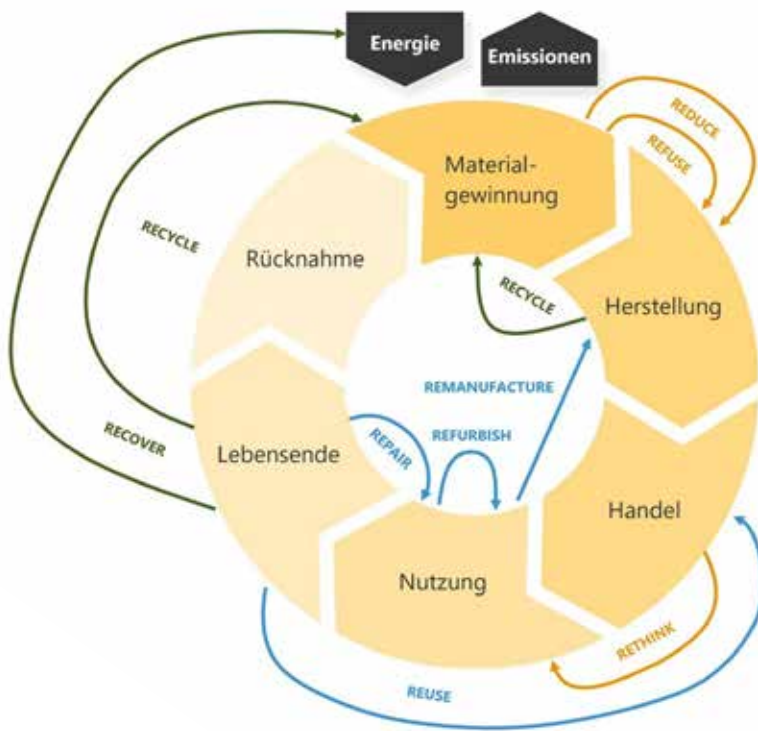
tet man von Maßnahmen der Circular Economy. *Abbildung 1* zeigt beispielhaft, welche kreislaufwirtschaftlichen Maßnahmen im Lebenszyklus einer Photovoltaikanlage zur Anwendung kommen können.

Um möglichst zielgerichtete und effiziente Maßnahmen der Circular Economy zu identifizieren und die damit einhergehenden Einsparungen an Treibhausgasemissionen zu bilanzieren, ist eine Erfassung des gesamten Lebenszyklus von Anlagen und Komponenten auf Basis des Life Cycle Assessment (LCA, dt. Ökobilanz) sowie die erforderlichen Aufwendungen für Maßnahmen der Circular Economy erforderlich. Es stellt sich zum Beispiel die Frage, wann ein geeigneter Break-Even-Punkt für die Erneuerung oder den Ersatz älterer Anlagen ist, da die schnelle Transformation des Energiesystems auch den Ersatz noch funktionsfähiger, weniger effizienter Anlagen beinhaltet – also ab welchem Zeitpunkt die eingesparten Treibhausgasemissionen durch z.B. ein effizienteres Windrad jene Emissionen, die seine Herstellung verursacht, überwiegen.

## Zeitabhängige Ökobilanz erforderlich

Für die Analysemethoden bedeutet dies, dass der Faktor Zeit mitberücksichtigt werden muss, was eine große Herausforderung bezüglich der Daten und der Algorithmen darstellt. In dem gemeinsamen Projektkonsortium wird an den notwendigen Bilanzierungstools gearbeitet, um diese Fragestellungen beantworten zu können. Denn eine zentrale Herausforderung für verfügbare ökobilanzielle Instrumente ist die Abbildung zukünftiger Materialkreisläufe und der zeitlichen Dynamik, die sich über die vergleichsweise lange Nutzungsdauer der Anlagen und Komponenten ergibt. Das trifft einerseits auf methodische Fragen zu, wie z.B. der Zuordnung von Treibhausgas-Einsparungen aus dem Recycling auf die unterschiedlichen Akteure, andererseits auf die zugrundeliegenden Daten, die sich üblicherweise nur auf heutige Produktionssysteme beziehen. Beide Aspekte müssen zudem in ökobilanziellen Software-Tools implementiert werden, um eine Anwendung in der Praxis zu gewährleisten. Deshalb ist auch der

Hintergrund-Foto:  
© DeVice – Fotolia.



**Abbildung 1:** Veranschaulichung möglicher CE-Maßnahmen im Photovoltaik-Lebenszyklus

Abbildung bereitgestellt durch unseren Projektpartner FfE, nach Lacy et al. (2014): *Circular Advantage - Innovative Business Models and Technologies to Create Value in a World without Limits to Growth*. Hg. v. Accenture Strategy. Dublin.

deren Mehrbedarf besonders hohe Treibhausgasemissionen nach sich zieht. Wenig überraschend waren das vor allem die Massenmetalle Eisen und Stahl, Kupfer, Silizium, Aluminium sowie zusätzlich auch Zement und glasfaser- und carbonfaserverstärkter Kunststoff. Um die zukünftigen Entwicklungen in der Herstellung dieser treibhausgasrelevanten Materialien mit einzubeziehen, werden LCA-Modelle entwickelt, welche die wichtigsten Einflussfaktoren auf den Klimawandel parametrisieren. Die zeitspezifischen Prozesse für die Materialien werden in den LCA-Modellen der energietechnischen Anlagen und Komponenten im Gesamtprojekt verwendet.

Zur Erprobung aller im Projekt entwickelten Methodiken und Daten werden mehrere ausgewählte inhaltliche Fragestellungen beantwortet. Mit ersten Ergebnissen des Projekts Kreislauf-E-Wende ist im Sommer 2024 zu rechnen.

#### PIA HEIDAK UND MARLON PATT

sind wissenschaftliche Mitarbeiter\*innen am INEC. Pia Heidak promoviert am Karlsruher Institut für Technologie (KIT).

Praxispartner Siemens Energy involviert, welcher die Effekte von Kreislaufwirtschaftsmaßnahmen in seiner Produktpalette methodisch fundiert wiedergeben möchte. Die Methode wird in einer Pilotanwendung von Siemens Energy implementiert.

Damit das LCA-Modell einen zeitlichen Verlauf abbilden kann, müssen einerseits zukünftige Entwicklungen des sogenannten Foreground-Systems abgebildet werden. Darunter versteht man die unmittelbar beteiligten technischen Prozesse der Herstellung, Nutzung und Verwertung der Produkte, also der energietechnischen Anlagen. Darüber hinaus sollte auch die Dynamik jener Systeme, die im Hintergrund stehen, wie z.B. die ferne Bereitstellung von Vorprodukten, Materialien oder Energie mit betrachtet

werden, da sie ebenfalls einen großen Einfluss auf die Treibhausgasemissionen haben. Das INEC arbeitet an Methoden, um die Dynamik in verfügbaren Softwarelösungen abzubilden. Die Forschenden erweitern dabei die weit verbreitete ecoinvent-Datenbank mit der speziellen Software Premise, sodass sie auch zukünftige Entwicklungen mit abdeckt. Die zeitspezifischen Versionen der Datenbank werden schließlich in einem LCA-Modell zusammengeführt.

#### Geplant: Ein Blick in die Zukunft

Eine verlässliche LCA benötigt gute Daten, wobei sich die Unsicherheit beim Blick in die Zukunft erhöht. Das INEC-Team hat über eine Materialbedarfs-Analyse der Stromwende jene Materialien identifizieren können,

> Das Kreislauf-E-Wende-Team zu Gast bei Siemens Energy in Erlangen. Von links: Steffi Weyand, Pia Heidak, Anne Isbert, Jessica Kilb, Marlon Patt, Kirsten Maciejczyk, Sofia Haas, Mario Schmidt, Falko Parthey.  
Foto: Siemens Energy



< Bei einer Führung durch das Transformatoren-Werk von Siemens Energy. Transformatoren bilden einen Anwendungsfall für die zeitabhängige Ökobilanz.  
Team-Foto: Siemens Energy

# Mogeln mit Ökobilanzen

Ist ein Produkt umweltfreundlich? Oder gar klimaneutral?  
Ist es nachhaltig? Nur mit grünem Strom produziert?  
Aus nachwachsenden Rohstoffen? Aus 100 Prozent Recycling?  
Fragen, die einfach nicht mehr wegzudenken sind!

VON MARIO SCHMIDT | *erschieden in den KONTUREN HSPF 2025*

Die Rede ist nicht nur von Ökobilanzen, auf Englisch **Life Cycle Assessments (LCA)**, sondern auch von ihren kleinen Brüdern: dem **Carbon Footprint (CF)** oder dem **Water Footprint (WF)**. Diese Bilanzen gewinnen für die Nachhaltigkeit von Unternehmen und Produkten immer mehr an Bedeutung. Nicht nur die Konsumenten fragen danach. Auch der Staat stellt immer mehr Forderungen und knüpft Vergünstigungen an die entsprechenden ökologischen Nachweise, z.B. in der Taxonomie-Verordnung der EU.

Es gibt zahlreiche Normen und Leitfäden, wie solche Bilanzen anzufertigen sind. Die Schar der Berater und Gutachter, die LCA oder CF gegen ein saftiges Salär erstellen, wächst. Man sollte meinen, dass es dann auch klare und eindeutige Regeln gibt, wie solche Bilanzen erstellt werden, die dann auch untereinander vergleichbar sind. Aber das ist kompliziert.

Eine Ökobilanz ist eine Zurechnung von Umweltbelastungen – im einfachsten Fall der Treibhausgasemissionen – zu Produkten, die sich allerdings nicht einfach empirisch belegen lässt. Das ist eine knifflige Herausforderung an die Wissenschaftlichkeit von Bilanzen.

Wie will man zeigen, dass mit der Herstellung genau dieses einen Produktes die errechneten Emissionen freigesetzt wurden, möglicherweise Tau-sende von Kilometern entfernt, über eine Kaskade von verschiedenen Bearbeitungsstufen und Prozessen, und dass deshalb schlussendlich der Eisbär in der Arktis von der schmelzenden Scholle kippt?

Keine Chance! Umso wichtiger ist ein stringentes und in sich logisches Berechnungsschema, das von plausiblen und in sich logischen Annahmen ausgeht. Hier gibt es viele Parallelen zu den monetären Bilanzen, für die es in der Betriebswirtschaftslehre (BWL) ebenso umfangreiche Theoriegebäude gibt.

Für viele Aspekte der Ökobilanzierung ist in den vergangenen drei Jahrzehnten ein Kanon an Annahmen und Berechnungsvorschriften geschaffen worden, vorrangig durch die **Internationale Standardisierungsorganisation (ISO)**. Aber für einige Punkte gibt es bis heute kontroverse Diskussion. Da ist zum einen die geographische Abhängigkeit von Umweltbelastungen: Zum Beispiel trägt ein hoher Wasserverbrauch unterschiedlich zur Wasserknappheit bei, je nachdem, ob er in trockenen oder feuchten Gebieten erfolgt. Ihn über eine ganze Lieferkette zu verfolgen und richtig aufzuaddieren, ist nicht einfach. Zum anderen spielt der Zeitpunkt der vermutlich verursachten Umweltbelastung eine Rolle – davon wird später noch die Rede sein.

Einen Dauerstreit gibt es darüber, wie bei **Kuppelprozessen oder Multi-Produkt-Prozessen** eine Zurechnung zu den einzelnen Produkten erfolgt. Also ein Prozess bringt zwei Produkte hervor, die in einem festen Verhältnis zueinander hergestellt werden, zum Beispiel Strom und Fernwärme aus einem Kraftwerk, und denen man nun die Emissionen, Verbräuche etc. des Prozesses zurechnen muss. In der Ökobilanzsprache ist von **Allokation** die Rede, auch dies ist in der BWL ein zentrales Thema. Wirtschaftswissenschaftler wie Heinrich von Stackelberg, Paul Riebel oder Rudolf Gümbel haben sich diesem Thema gewidmet. Lösungen reichen von einfachen **Zurechnungsregeln** nach Menge oder Wert bis hin zu komplexen Ansätzen aus der Spieltheorie, etwa den **Shapley-Werten**, benannt nach einem US-amerikanischen Wirtschaftsnobelpreisträger.

Eine besondere Bedeutung hat die Allokation in **Recycling-Kaskaden**, also wenn ein Material durch Recycling mehrmals genutzt wird. Man könnte sagen, es hat mehrere »Leben«, denn es wird nach der Gewinnung aus der Natur als Primärmaterial in einem ersten Produkt eingesetzt, dann recycelt und als Sekundärmaterial in einem zweiten Produkt eingesetzt usw. Welchen Materialverbrauch und welche damit verbundenen Treibhausgasemissionen weist man nun den verschiedenen Produkten oder »Materialleben« in dieser Recyclingkaskade zu? (Abb. 1)

Das Sekundärprodukt verwendet Materialien, die ansonsten vielleicht weggeschmissen werden. Deshalb ist ein möglicher Ansatz, die Vorgeschichte (also die damit verbundenen Emissionen) des Sekundärmaterials zu vergessen, was zu einer deutlichen Begünstigung von Produkten aus Recyclingmaterial führte. Man spricht dann von einem **Cut-off-Ansatz**. Doch das Sekundärmaterial könnte ohne die Primärgewinnung des Materials gar nicht existieren; das rechtfertigt, ihm auch Anteile der Aufwendungen bei der (Primär-)Gewinnung zuzurechnen. Das würde dann das Produkt aus Primärmaterial begünstigen, weil ein Teil seiner Emissionen dem Sekundärmaterial angelastet werden. Und schließlich könnte nach der Nutzung das Sekundärmaterial an die Stelle von Primärmaterial treten, d.h. Primärmaterial müsste gar nicht erst abgebaut werden, man würde diese Umweltbelastungen in Bergwerken und Metallhütten sparen. Das würde (auf Neudeutsch) Design for Recycling begünstigen. Ein heiß umkämpftes Thema also, an dem auch direkte wirtschaftliche Interessen hängen, insbesondere im Kontext der derzeit so populären **Circular Economy!**

Ein übliches Verfahren ist folgendes: Braucht ein Produkt ein Material, so werden dem Produkt erst einmal die vollen Emissionen für die Gewinnung und Herstellung des Materials angerechnet, auch aus der Primärproduktion. Wenn nach der Nutzung des Produktes das Material wieder recycelt werden kann, so bekommt es dafür eine Gutschrift unter der Annahme, dass damit am Markt die entsprechende Menge an Primärmaterial ersetzt, also nicht

benötigt wird. Das Ganze wird als **Substitution** bezeichnet.

Stellen wir uns vor, ein Produkt braucht 10 kg Aluminium. Die Gewinnung und Herstellung dieses Aluminiums von der Bauxitmine bis zur Aluminiumhütte beträgt 90 kg CO<sub>2</sub>. Dann wird das Produkt mit diesen 90 kg CO<sub>2</sub> belastet. Wenn am Lebensende 9 kg Aluminium zurückgewonnen werden, so spart man damit 81 kg CO<sub>2</sub> für die Gewinnung von neuem Aluminium, d.h. das Produkt wird netto nur mit 9 kg CO<sub>2</sub> belastet. Material zu recyceln, verbessert also den Carbon Footprint des Produktes. Dieses Vorgehen nennt man eine **Gutschrift**, und es ist innerhalb der Circular Economy sehr beliebt.

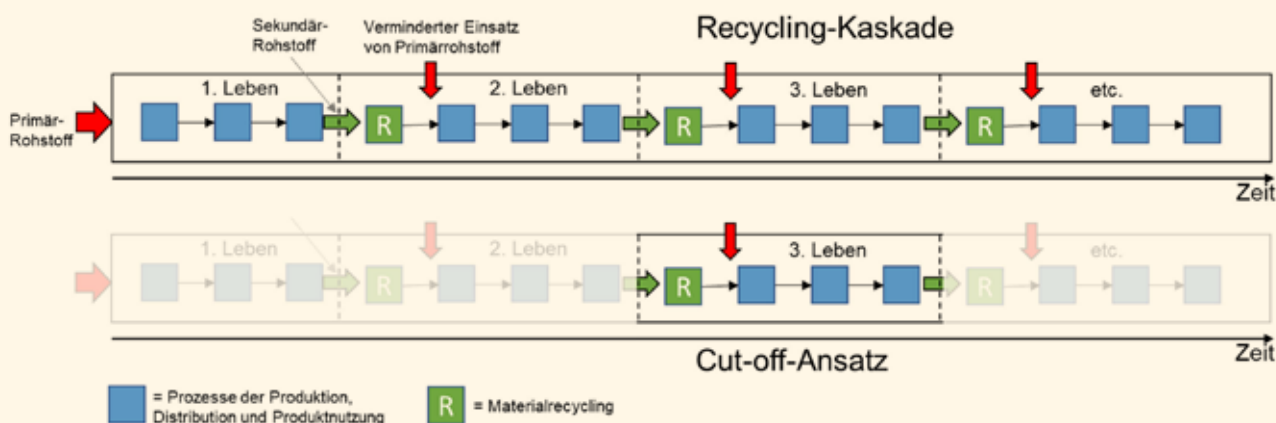
Hier tritt nun das oben erwähnte zeitliche Problem auf. Ökobilanzen werden bisher zeitunabhängig gerechnet, das heißt, dass alle Prozesse und Emissionen nach heutigem technischem Stand angenommen werden. Die Bilanz des Produktes wird über den ganzen Lebensweg ausgewiesen. Also wird so getan, als wenn alle Emissionen zum jetzigen Zeitpunkt erfolgen.

Was ist aber, wenn das Produkt langlebig ist, z.B. erst nach 25 Jahren entsorgt wird? Heute erfolgen die 90 kg Emissionen in Mine und Aluminiumhütte bei der Produktion. Das Produkt erhält eine Gutschrift und hat einen Carbon Footprint von nur 9 kg CO<sub>2</sub>. Doch die Einsparung der 81 kg CO<sub>2</sub> durch vermiedene Primärproduktion kann erst in 25 Jahren erfolgen. Durch die Gutschrift werden also Emissionen, die heute bereits erfolgt sind, rechnerisch in die Zukunft geschoben. Heutige Produkte werden in ihrem Carbon Footprint entlastet, Produkte der Zukunft durch die Gutschrift belastet – **ein Verfahren, das mit einer intergenerationalen Nachhaltigkeit nicht vereinbar ist.**

Dazu kommt, dass die technischen Verhältnisse in 25 Jahren sich geändert haben können. Möglicherweise kann dann gar nicht mehr so viel CO<sub>2</sub> eingespart werden, weil die Primärgewinnung von Aluminium inzwischen kaum noch CO<sub>2</sub> freisetzt. Dann war die Gutschrift eine Buchung realer heutiger Emissionen ins Nirwana, oder anders ausgedrückt: eine geschickte Form von **Greenwashing**. Demgegenüber erscheint eine Cut-off-Rechnung ein realistischerer und konservativerer Ansatz zu sein.

&gt;&gt;

Abb. 1: Vereinfachtes Schema einer Recyclingkaskade, bei der ein Material immer wieder verwertet wird. Unten: Mit dem Cut-off-Ansatz wird die Vor- und Nachgeschichte des Materials vergessen.



Entsprechende Rechnungen wurden in einem gemeinsamen Projekt mit der Technischen Universität Darmstadt, gefördert durch das Bundeswirtschaftsministerium, durchgeführt. Sie wurden möglich, da im Rahmen des Projektes umfangreiche Ökobilanz-Datensätze von Zukunftsszenarien bis 2050 erstellt wurden. In *Abbildung 2* ist ein Beispiel zu sehen, bei dem Aluminium 2025 in einem Produkt verwendet wird, in einem Mix aus Primär- und Sekundäraluminium (60 und 40 %). Nach der Nutzung nach 25 Jahren werden 70 % wieder recycelt. Dadurch wird Primäraluminium für das Folgeprodukt eingespart, aber es darf nur die Einsparung im Jahr 2050 berücksichtigt werden. Das Ergebnis dieser Rechnung ist in *Abbildung 3* dargestellt. Bei langlebigen Produkten führt die Gutschrift zu einer vermeintlichen Verbesserung des Carbon Footprints des Produktes (*Balken Mitte*); zeitlich richtig gerechnet fällt die Bilanz viel schlechter aus (*Balken rechts*).

Solche buchhalterischen Tricks zeigen, dass Ökobilanzierung oder Carbon Footprints nicht trivial sind. Um die methodischen Untiefen zu erkennen, bedarf es einer soliden Ausbildung, die unmöglich aus ein paar wenigen Vorlesungsstunden bestehen kann.

Ein internationales Expertengremium unter Pforzheimer Leitung hat Anforderungen an den erforderlichen Wissenskanon im LCA-Bereich entwickelt ([www.doi.org/10.1007/s11367-024-02319-5](http://www.doi.org/10.1007/s11367-024-02319-5)). An der Hochschule Pforzheim gibt es einen speziellen Masterstudiengang »**Life Cycle & Sustainability**«, der in drei Semestern die Methodik und die praktische Anwendung in Wirtschaft, Politik und Wissenschaft vertieft.

Die Pforzheimer Absolventinnen und Absolventen sind dann echte LCA-Spezialisten und für forensische Greenwashing-Suche bestens gerüstet.

DR. MARIO SCHMIDT  
ist seit 1999 Professor an  
der Hochschule Pforzheim.

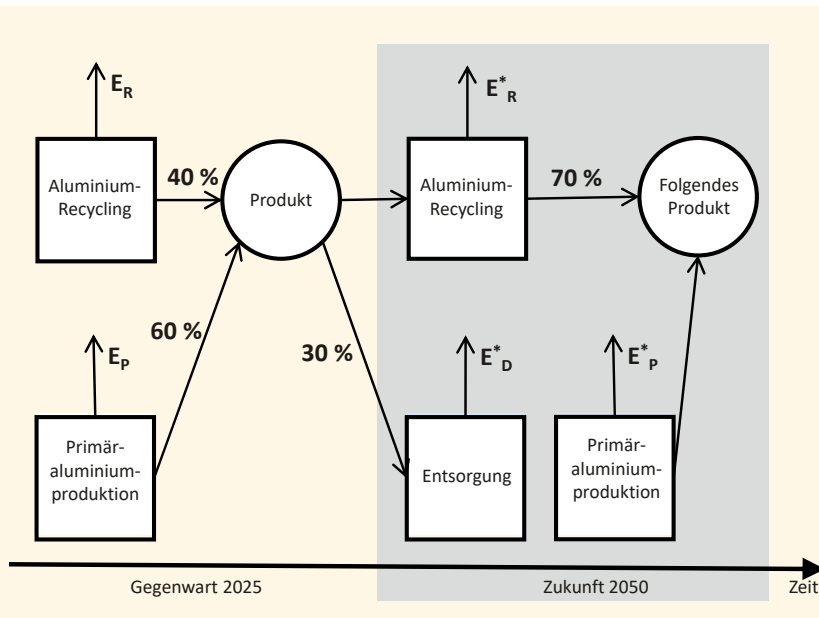


Abb. 2: Beispiel für eine zweistufige Verwendung von Aluminium durch Recycling in einem langlebigen Produkt.

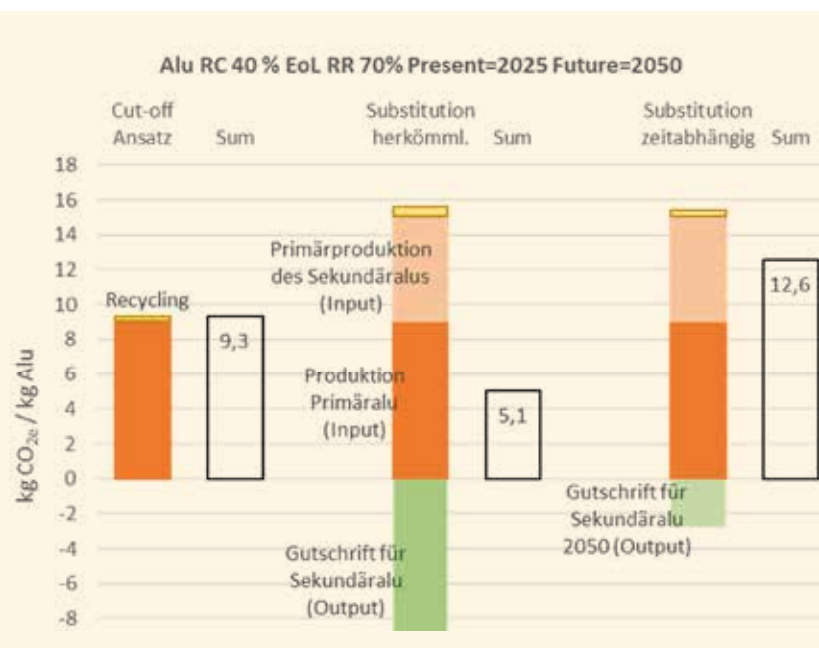


Abb. 3: Carbon Footprint für Aluminium (in kg CO<sub>2e</sub>-Äquivalent pro kg Al) im Vergleich verschiedener Allokationsansätze.

# Umberto

## Eine Software zwischen Accounting und Nachhaltigkeit

Methodische Konsistenz und Professionalität prägen eine Ökobilanz-Software, die indirekt mit der Hochschule Pforzheim verbunden ist. Ursprünglich Econet genannt, dann aber mit einem Augenzwinkern in den »Vornamen« (von Umberto Eco) umbenannt, wird sie heute immer noch in der Lehre eingesetzt. Professor Mario Schmidt gehörte zu den Geburtshelfern dieser Software.

VON MARIO SCHMIDT | erschienen in den KONTUREN HSPF 2025

Es gibt manchmal Dinge, von denen man ein ganzes Berufsleben lang verfolgt wird. Bei mir war und ist es eine Software, die ich vor über 30 Jahren mit entwickelt hatte. Damals arbeitete ich noch am Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu) in Heidelberg. Anfang der 1990er Jahre kam das Thema Ökobilanz auf. Firmen wollten wissen, wie die Umweltauswirkungen ihrer Produkte aussehen. So auch der **Europäische Verband der Non-wovens (EDANA)**, oder wie wir ihn oft nannten: der »Verband der europäischen Windelhersteller«. Eine Ökobilanz zu erstellen war kein Problem, aber der Verband wollte auch eine Software, die er seinen Mitgliedsunternehmen zur Verfügung stellen kann. Eine Excel-Tabelle erschien uns damals nicht angemessen: viel zu primitiv und fehleranfällig bei den vielen Daten. Also musste eine neue Software her.

Daraus ergab sich 1993 eine Zusammenarbeit mit einem Startup-Unternehmen der Universität Hamburg, dem **Institut für Umweltinformatik GmbH**. Damals noch als junger Informatik-Diplomand setzte **Andreas Möller** einen Formalismus aus der Theoretischen Informatik ein, die sogenannten Petri-Netze, mit dem man das Prozessbild eines Produktlebensweges übersichtlich abbilden, modellieren und berechnen konnte. Daraus entstand

im Jahr 2000 schließlich seine Doktorarbeit, und seit 2005 ist Andreas Möller Professor an der Leuphana Universität in Lüneburg. Die Software nennt sich **Umberto**, wurde ab 1995 international professionell eingesetzt, und es gibt sie immer noch, inzwischen als Produkt eines baden-württembergischen Software-Hauses.

Ich war bei meinem alten Institut maßgeblich an der Entwicklung der Software beteiligt und Stichwortgeber für viele implementierte Funktionen. Interessant ist aber, dass die Hochschule Pforzheim mit zu den ersten Lizenznehmern und Anwendern der Software gehörte, damals noch unter der Leitung des früh verstorbenen Kollegen, **Professor Harald Stehfest**, dessen Nachfolger ich quasi wurde.

Inzwischen nutzen das **Institut für Industrial Ecology (INEC)** und die Studiengänge Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz (BNRE) sowie Life Cycle & Sustainability (MLICS) die Software-Lizenz kostenlos – Ergebnis der jahrzehntelangen Zusammenarbeit und der zahlreichen Anregungen nicht zuletzt durch die vielen gemeinsamen Forschungsprojekte rund um die Ökobilanzierung. So wurde z.B. in einem baden-württembergischen Forschungsprojekt das sogenannte **Material Flow Cost Account-**



Erste Vorstellung der Ökobilanz-Software auf der CeBit in Hannover 1994 mit Jan Hedemann, Mario Schmidt und Andreas Möller. Foto: privat.

**ting (MFCA)** weiterentwickelt und dabei die Software von den Hamburger Kollegen auch MFCA-tauglich gemacht. Es ist ein Glücksfall, wenn man die Ergebnisse der Hochschulforschung nicht nur zu Papier, sondern schnell auch in ein marktfähiges Produkt umsetzen kann – die optimale Kombination von Methodenentwicklung und Praxisanwendung! Eine Pforzheimer Absolventin hat darüber sogar ihre Doktorarbeit geschrieben.

**Doch was sind die methodischen Vorteile der Software, weshalb sie heute immer noch gerne in der Lehre und Forschung eingesetzt wird?**

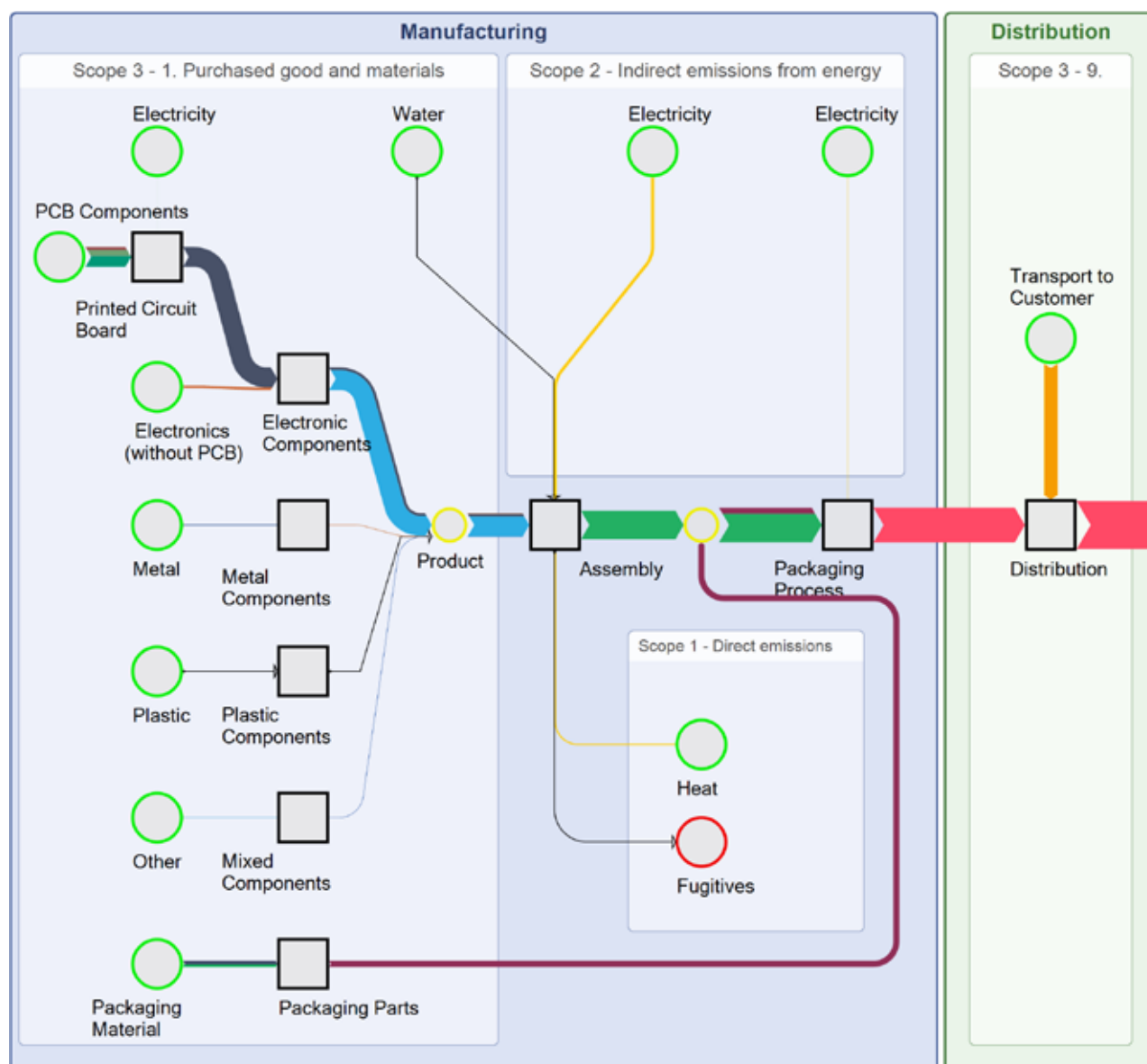
Am Anfang stand der Wunsch, eine grafische Oberfläche zu haben, mit der man den Lebensweg eines Produktes, also die verschiedenen Herstellungsprozesse, die Nutzung und schließlich die Entsorgung interaktiv und Schritt für Schritt modellieren kann. Dazu dienen die Petrinetze. Ihre Objekte stehen für Umwandlungsprozesse, Speicher und Energie- und Materialflüsse (als Pfeile dargestellt). Hinter diesen Objekten sind aber die Produktionskoeffizienten verborgen, also die Rezepturen der Herstellungsprozesse. Einzigartig unter den

Konkurrenz-Tools: Diese Rezepturen können auch nichtlineare Funktionen enthalten bis hin zu eigenen komplexen Programmen, die z.B. in Python geschrieben sind. Damit lassen sich beispielsweise auch Chemieprozesse abbilden, was weit über eine gewöhnliche Ökobilanzsoftware hinausgeht.

Die Petrinetze stellen nur das Datengerüst der Energie- und Materialflüsse dar. Entscheidend ist, wie diese Daten ausgewertet werden bis hin zu den verschiedenen Umweltwirkungen, ob das nun der Treibhauseffekt (»Carbon Footprint«), der Wasserfußabdruck (»Water Footprint«), die Versauerung oder Eu-trophierung der Umwelt ist. Dafür gibt es verschiedene Auswertungsroutinen, die auf die erhobenen Daten angewendet werden.

Ein wesentliches Problem der Ökobilanz oder des Carbon Footprints ist, dass man ihn auf verschiedene Bezugsobjekte anwenden will: auf ganze Firmen oder Organisationen und auf einzelne Produkte. Klingelt da etwas? Genau: In der BWL taucht dieses Problem auch auf, aber eben mit monetären Größen. So war es die innovative Idee von Professor Andreas Möller, den gleichen Algorithmus, den

Modell eines Produktlebensweges von der Herstellung bis zur Entsorgung. Hier: Das Sankey-Diagramm stellt als Pfeile die Beiträge zum Carbon Footprint des Produktes dar. Erstellt mit Umberto.



man aus der Kosten- und Leistungsverrechnung kennt, auf die Energie- und Materialflüsse und damit schließlich auf die Umweltwirkungen eines beliebigen Prozesssystems anzuwenden. Mit flexibel setzbaren Bilanzgrenzen, wozu die grafische Darstellung der Petrinetze sehr nützlich ist, kann die Organisation in Teilen oder als Ganzes bilanziert werden. Die Produktsicht erhält man mit einem Algorithmus auf der Basis der ökonomischen Aktivitätsanalyse, die einst der Wirtschaftsnobelpreisträger Tjalling C. Koopmans eingeführt hatte. Sie ähnelt sehr dem Leontief'schen Ansatz für die volkswirtschaftliche Gesamtrechnung; Wassily Leontief war 1973 Wirtschaftsnobelpreisträger.

**Man sieht also: Es zahlt sich aus, etwas von BWL und VWL zu verstehen und die Methoden in einem anderen Kontext wieder einzusetzen.** Mit diesem Ansatz lassen sich Produktbilanzen aus einem komplexen Gesamtsystem »herausschneiden«, einzeln und völlig konsistent zur Unternehmensbilanz.

Die Berechnung beispielsweise eines Carbon Footprints ist dann – vereinfacht gesprochen – nichts anderes als das, was auch die BWLer machen: An die Stelle der Wertangaben in Euro treten die Emissionen in kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten. Der Preis eines Produktes (€ pro Stück oder kg) entspricht

dem Product Carbon Footprint (kg CO<sub>2</sub>-Äq pro Stück oder kg). In einer Lieferkette werden so die Werte von Vorprodukt zu Vorprodukt weitergereicht und akkumuliert bis zum Endprodukt. Dabei werden die direkten und indirekten Emissionen einer Bearbeitungsstufe (also Firma) stets dazu addiert – wie die Kosten und Margen bei einer Kostenrechnung.

Dieser Ansatz hat weitreichende Folgen. Während die meisten anderen Software-Pakete jedes Produkt sozusagen einzeln modellieren und bilanzieren, steht in Umberto das gesamte Unternehmen im Vordergrund, oft genug mit Tausenden von Produkten.

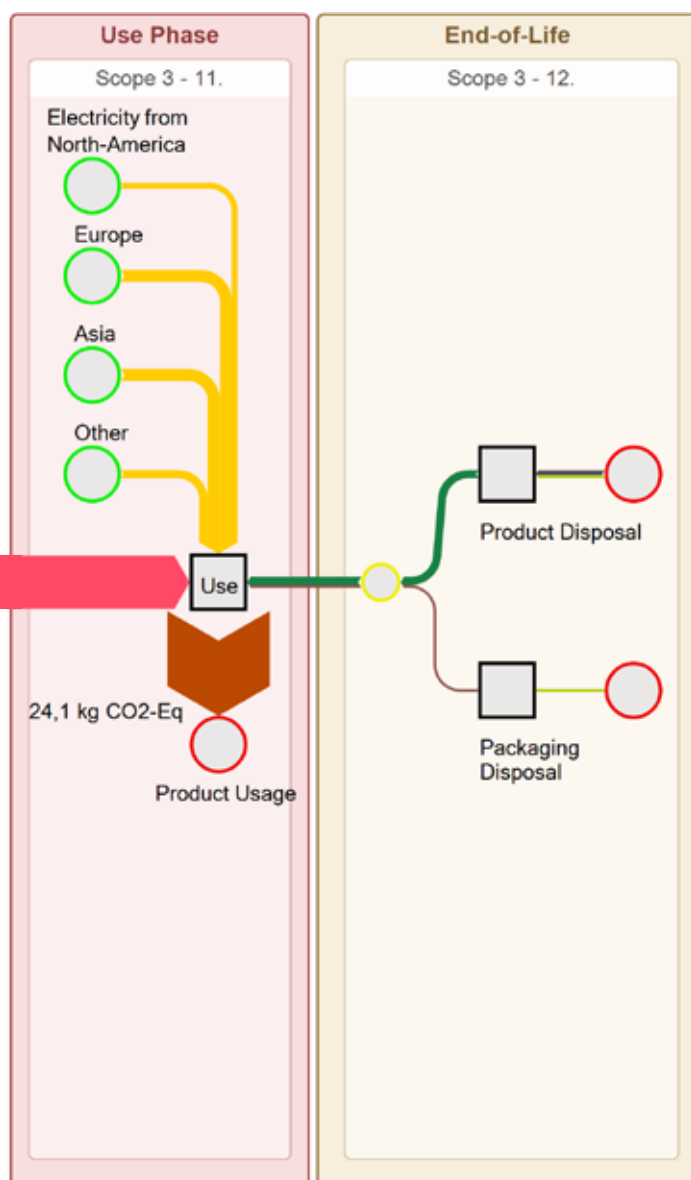
Per Knopfdruck kann die Unternehmensbilanz erstellt werden, aber genauso auch jede einzelne Produktbilanz. Das ist ein enormer Vorteil in einer Zeit, in der Carbon Footprints für Produkte immer wichtiger werden, die Consultants für die Erstellung der Ökobilanz eines einzelnen Produktes aber viel Geld verlangen.

Wichtig ist dabei natürlich das **Datenmanagement**. Einerseits braucht man Daten aus der Lieferkette. Hier werden große Datenbanken eingebunden, die generische Daten für verschiedene Rohstoffe, Halbzuge oder Energien liefern und nach Bezugsland unterscheiden. Andererseits werden die Produktaufträge mit ihren Stücklisten oder Rezepturen aus dem Unternehmen eingebunden, um die Produktion des Gesamtunternehmens und der einzelnen Produkte möglichst realistisch abzubilden.

Für unsere Lehre an der Hochschule hat die Software einen besonderen Stellenwert: Zum einen können wir sie sehr flexibel einsetzen. Man kann sie als universelles Modelliertool auffassen. Zum anderen ist sie methodisch strikt aufgebaut und eignet sich zum tieferen Verständnis, was die Ökobilanz oder der Carbon Footprint eines Unternehmens oder seiner Produkte ist: **Ein individuell gewählter Ausschnitt aus dem realen Stoff- und Energie-Metabolismus unserer Industriegesellschaft.** Damit er auch zu richtigen Ergebnissen führt, müssen die Studierenden die Bilanzierungsmethoden dahinter verstehen. Was ist der (ökologische) Aufwand und was der Ertrag in einer Bilanz? Wie verrechnet man Gemeinkosten oder Kuppelprodukte, in der Fachsprache als Allokationsproblem bezeichnet. Wie geht man mit Abgrenzungsfragen bei Lagerbildung um?

Leider versteht das nicht jeder, der heute mit Ökobilanzen zu tun hat. Die Absolventinnen und Absolventen der Pforzheimer Studiengänge BNRE und MLICS dagegen schon. Sie werden in die Methoden, die sich hinter banal anmutenden Bilanzen verbergen, gewissenhaft eingeführt, mit Tools, die von ihren Professoren einst mitentwickelt wurden.

PROFESSOR DR. MARIO SCHMIDT  
ist Direktor des Instituts für Industrial  
Ecology (INEC).



# Mit DfC-Industry frühzeitig in Kreisläufen denken

## Operationalisierung eines »Design for Circularity« im Produktentstehungsprozess

VON ANNIKA PRUHS, ANINA KUSCH, TOBIAS VIERE UND JÖRG WOIDASKY

**K**reislaufwirtschaft bezeichnet ein Wirtschaftssystem, das das »Entsorgen« eines Produktes durch Reduzierung, Wiederverwendung, Recycling und Materialrückgewinnung in Produktions-, Vertriebs- und Verbrauchsprozessen ersetzt, um eine nachhaltige Entwicklung zu fördern. Daraus ergibt sich Zirkularität, die konkrete Umsetzung der Kreislaufwirtschaft.

Der Schlüssel für erfolgreiches Design for Circularity (DfC) liegt in der Gestaltung von Produkten und der Erfüllung der Kreislauffähigkeitsanforderungen. Im Verlauf des Produktentstehungsprozesses (PEP) müssen deshalb nicht nur Kosten, sondern auch spätere Umweltauswirkungen und die Kreislauffähigkeit von zukünftigen Produkten und Dienstleistungen beachtet werden. Derzeit erfolgt die Analyse und Verbesserung von Umweltleistung oft erst nach Abschluss des Konstruktionskonzepts, was meist zu spät ist.

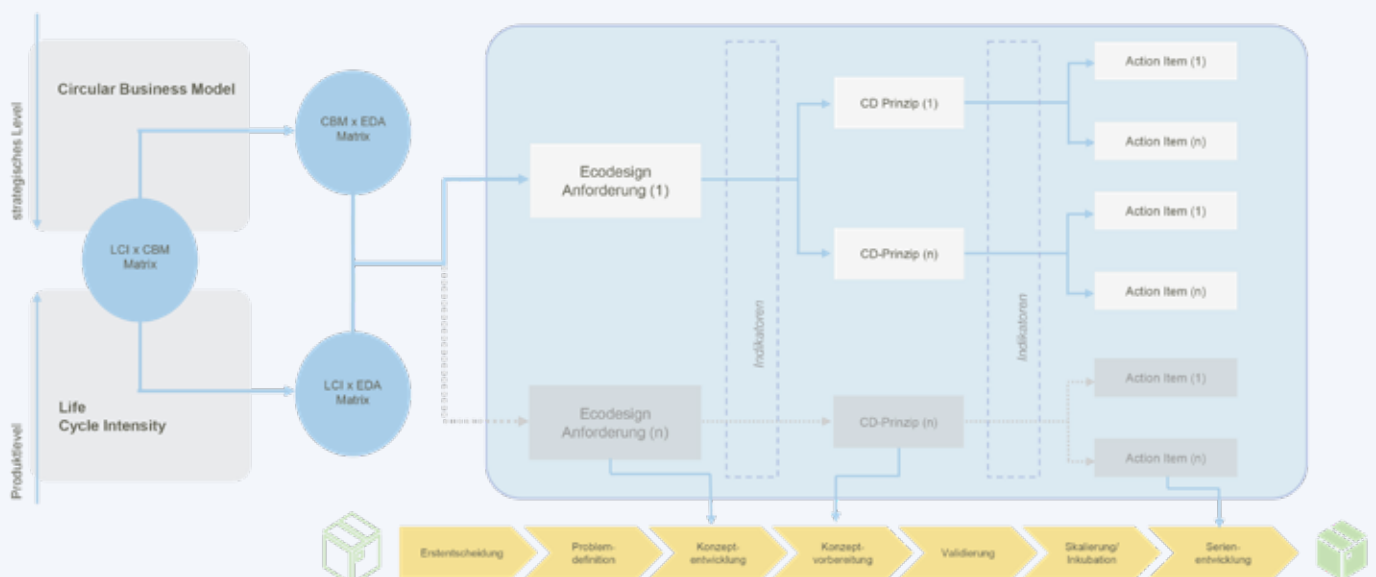
Um eine erfolgreiche Circular Economy (CE) im PEP zu realisieren, sind relevante ökologische und kreislaufwirtschaftliche Indikatoren, sowie anwendbare Bilanzierungsinstrumente und zirkuläre Geschäftsmodelle notwendig. Bisher fehlen konkrete Lösungen für diese Herausforderungen, obwohl digitale Ansätze wie Online-Handreichungen oder Ökobilanzsoftware-Add-Ons existieren. Die Integration in bestehende Software ist jedoch begrenzt. Das Forschungsvorhaben »DfC-Industry« zielt darauf ab, »Design for Circularity«-Konzepte durch automatisierte Einbindung in industrielle Produktentstehungsprozesse voranzutreiben. Dies soll mithilfe eines entscheidungsorientierten

Ansatzes auf Grundlage von kreislaufwirtschaftlichen und technischen Vorgaben erreicht werden. Das Projekt erfolgt in Kooperation mit der Robert Bosch GmbH, dem ifu Institut für Umweltinformatik Hamburg GmbH sowie der Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH. Die Forschungsannahme war, dass die Kreislauffähigkeit von Produkten nicht nur von ihren Eigenschaften, sondern auch von Faktoren wie Nutzungsphasen oder Geschäftsmodellen abhängt. Die Literaturanalyse ergab fünf Dimensionen, die die Kreislauffähigkeit beeinflussen:

- 1. Makroökonomische Rahmenbedingungen:** Gesetze, Normen und Verordnungen
- 2. Circular Business Models (CBM):** Geschäftsmodelle und Strategien.
- 3. Ecodesign Anforderungen (EDA):** Richtlinien wie die EU-Richtlinie 2009/125/EC.
- 4. Life Cycle Intensity (LCI):** Klassifizierung eines Produktes in eine Lebenszyklusphase auf Basis des umweltseitigen Hotspots abgeleitet aus einem Life Cycle Assessment, z. B. nutzungsentensives Produkt.
- 5. Indikatoren:** Diese unterstützen die Quantifizierung und Bewertung von Ecodesign-Ansätzen.

Diese Dimensionen nehmen Bezug auf verschiedene Ebenen in Unternehmen: Strategisch werden Ziele wie das gewünschte Geschäftsmodell festgelegt; Taktisch erfolgt die Planung, Priorisierung und Methodenauswahl im Produktentwicklungsprozess; Operativ werden Ecodesign-Methoden angewandt, Hotspots identifiziert und Lösungen entwickelt. Die Vielfalt der Aspekte und Ebenen stellt eine Herausforderung dar, das DfC im PEP umzusetzen. Um diese Struktur zu schaffen und Praktiker zu unterstützen, können Entscheidungsmatrizen und -bäume verwendet werden.

**Abbildung 1:** Entwicklungsphasen-adaptierter Entscheidungsablauf für den industriellen Produktentwicklungsprozess (CBM = Circular Business Model; LCI = Life Cycle Intensity; EDA = Ecodesign Anforderung; CD-Prinzip = Circular Design Prinzip).





<  
Das DfC-Team beim Projekttreffen im April 2023 bei Ipoint in Reutlingen. Von links nach rechts: Jörg Woidasky<sup>1</sup>, Anina Kusch<sup>1</sup>, Jonas Brinker<sup>3</sup>, Paula Kuhn<sup>1</sup>, Tobias Viere<sup>1</sup>, Maria Dos Santos<sup>4</sup>, Annika Pruhs<sup>1</sup>, Max König<sup>3</sup>, Jan Hedemann<sup>4</sup>, Michaela Stiefmann<sup>4</sup>, Ralf Mendgen<sup>2</sup>, Torsten Hummen<sup>2</sup>.

1 INEC | 2 Robert Bosch GmbH  
3 Deutsches Forschungszentrum für künstliche Intelligenz GmbH-Smart Enterprise Engineering | 4 iPoint-systems gmbh.

Foto: Claus Lang-Koetz

Sie vergleichen Optionen und bieten eine Bewertungshilfe durch ein Bewertungsschema, wodurch Wechselwirkungen und Abhängigkeiten erkannt werden können. Diese bewerteten Matrizen dienen als Basis für die Erstellung eines Entscheidungsbaums für die Bewertung der Zirkularität. Ein Entscheidungsbaum visualisiert den komplexen, mehrstufigen Entscheidungsprozess transparent, indem er alle möglichen Entscheidungsoptionen darstellt.

Um die Umsetzung des DfC im PEP zu unterstützen, wurden die genannten Aspekte und Ebenen komprimiert und in einen Entscheidungsbaum übertragen (Abbildung 1). Dieser führt zu technischen Prinzipien für die Zirkularität („Circular-Design-Prinzipien“) und ordnet diesen geeignete konstruktive Ansätze („Action Items“) zu. Der Entscheidungsprozess kann entweder von einem strategischen (strategisches Level) oder produktbezogenen Standpunkt (Produktlevel) gesteuert werden. Hierfür können entweder strategische Überlegungen zu zirkulären Geschäftsmodellen oder produktspezifisches Wissen genutzt werden. So können passende Ecodesign-Ansätze ermittelt und entsprechende Circular-Design-Maßnahmen abgeleitet werden.

Der mehrstufige Auswahlprozess innerhalb des Entscheidungsbaums wird durch die Berücksichtigung der drei Dimensionen CBM, EDA und LCI bestimmt (Abbildung 1). Die Kombination der Dimensionen erfolgte durch Matrizen, die während des Vorhabens durch mehrere Expertinnen und Experten für Kreislaufwirtschaft und den PEP bewertet wurden:

- **Die LCI x CBM-Matrix** vergleicht Produktgruppen nach Phasenintensitäten und zirkulären Geschäftsmodellen, um geeignete Produktgruppen für zirkuläre Geschäftsmodelle zu identifizieren.
- **Die LCI x EDA-Matrix** stellt Ecodesign-Anforderungen Produktgruppen mit unterschiedlichen Phasenintensitäten gegenüber, um effektive Ecodesign-Ansätze zu ermitteln.
- **Die CBM x EDA-Matrix** zeigt, welche Ecodesign-Ansätze zu welchen zirkulären Geschäftsmodellen passen. Die Bewertung erfolgt binär, abhängig von der Eignung zur Umsetzung im jeweiligen Geschäftsmodell.

Der methodische Ansatz des DfC-Vorhabens sieht vor, nach dem Entscheidungsbaum technische Lösungen zur Umsetzung der CD(Circular Design)-Prinzipien im PEP bereitzustellen. Diese bereitgestellten Informationen können und sollen dann in Unternehmen durch Materialvergleichslisten, Beständigkeitsbewertungen, Verfügbarkeitsinformationen zu Rezyklaten oder durch weitere, unternehmensspezifische Hinweise ergänzt werden. Bei Bedarf können Lösungen priorisiert werden.

Das Projektziel ist die systematische Umsetzung von Zirkularitätsanforderungen in Produktentwicklungsprozessen. CE-Strategien und -Geschäftsmodelle sollten mit Hilfe eines fortschreibungsfähigen Regelwerks für die Entwicklungspraxis operationalisiert werden. Ein semi-quantitativer Ansatz verknüpft die Dimensionen „Zirkuläre Geschäftsmodelle“, „Ökodesign-Gestaltungsregeln“ und „Produkt- und Lebenszyklusphasen-spezifische Umweltauswirkungen“ in einem Entscheidungsbaum. Die PEP-Integration ermöglicht dabei die einfache Berücksichtigung kreislaufwirtschaftlicher und umweltrelevanter Informationen. Der Baum bietet individuell zugeschnittene Empfehlungen und berücksichtigt den Innovationsstand des Unternehmens. Besonders wirksam ist er dort, wo bereits ökologische Vorbetrachtungen von Produkten und/ oder existierende zirkuläre Geschäftsmodelle vorhanden sind. Der Pfad des Entscheidungsbaums mit seinen anwendungsorientierten Lösungsansätzen basiert derzeit auf der Expertise der am Projekt beteiligten Fachleute aus Wissenschaft und Praxis. Sie soll kurz- bis mittelfristig durch Integration weiterer Fachexpertise und den Abgleich mit Fallstudien aus weiteren Branchen validiert und adaptiert werden. Außerdem sollen Kennzahlen zur Zielerreichung bereitgestellt werden, indem passende Indikatoren den CD-Prinzipien zugeordnet werden. Auch die Berücksichtigung der Produktreife, um Entscheidungs- und Informationsbedarfe den jeweiligen Produkt-Entwicklungsschritten zuzuordnen sind Entwicklungsziele. Angestrebt wird zudem die Bereitstellung einer entsprechenden digitalen, interaktiven Umgebung.

ANNIKA PRUHS UND ANINA KUSCH  
sind wissenschaftliche Mitarbeiterinnen am INEC.  
DR. TOBIAS VIERE UND DR.-ING. JÖRG WOIDASKY  
sind forschende Professoren am INEC.

# Global gedacht – lokal gehandelt: Klimaresilientes Gebäudemanagement

VON HENDRIK LAMBRECHT UND MARCO PUFAL

Die Dringlichkeit des Klimaschutzes verfügt heute über breite gesellschaftliche Zustimmung und prägt die öffentliche Wahrnehmung. Der fortschreitende anthropogene Klimawandel erfordert zunehmend jedoch auch Ansätze für eine wirkungsvolle und gleichzeitig ressourceneffiziente Klimaanpassung. Dies ist Gegenstand des Forschungsprojektes **KliReGeM** und Inhalt dieses Artikels.



**Abbildung 1:** Daxlanden mit Sonnenschutz Fallarmmarkisen an der Federbachschule in Karlsruhe. Foto: Atelier Altenkirch

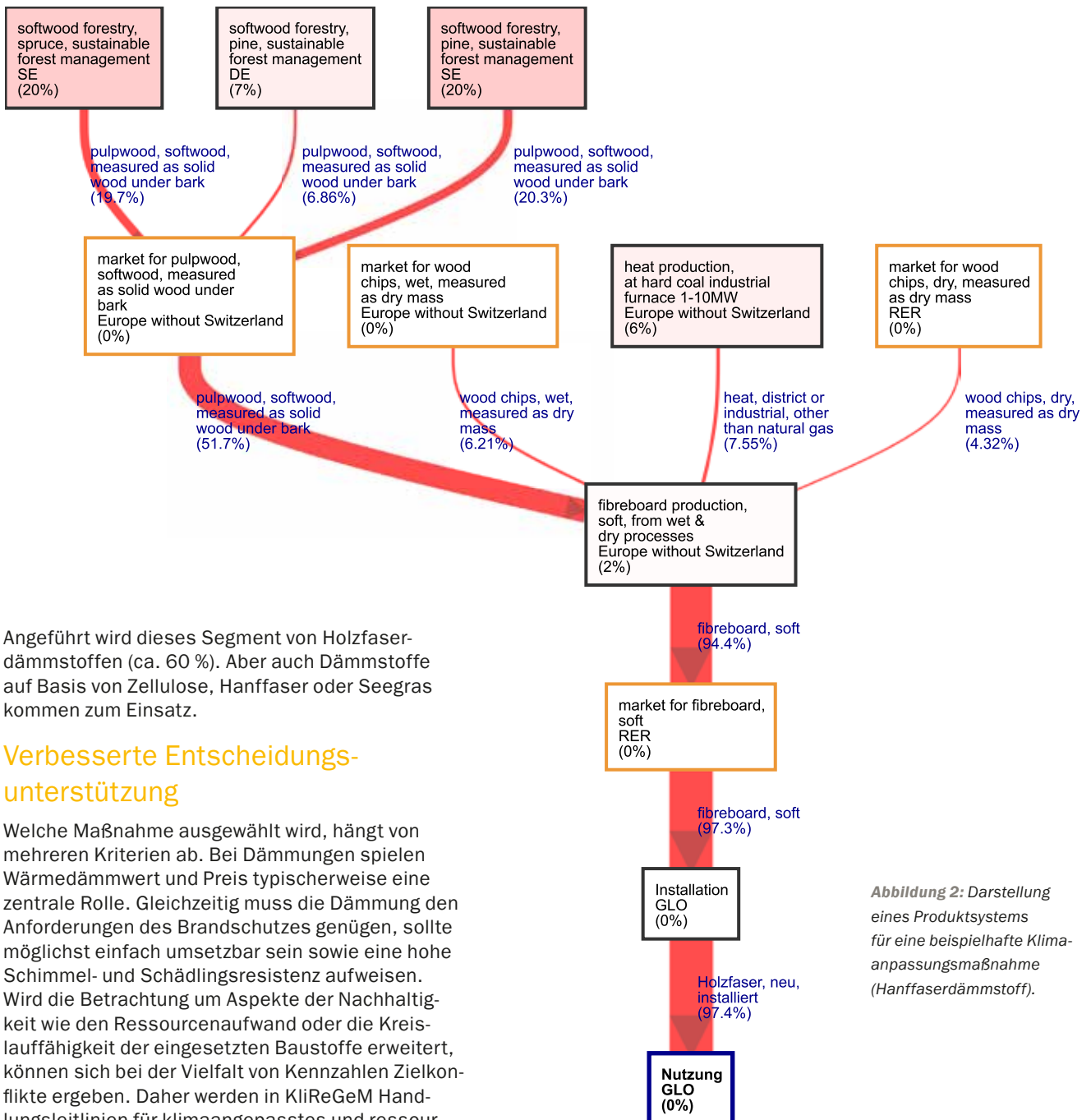
**O**bwohl der Gebäudesektor von zentraler Bedeutung für die Klimaanpassung im Alltag ist, werden Aspekte der Klimaanpassung in Projektausschreibungen momentan nur unzureichend eingebunden. Folgerichtig identifiziert der Entwurf des neuen Bundes-Klimaanpassungsgesetzes Gebäude als wichtiges Handlungsfeld und sieht ein Berücksichtigungsgebot von Belangen der Klimaanpassung in den Planungen und Entscheidungen der Träger öffentlicher Aufgaben vor.

## Hitzeinsel Karlsruhe

Wie die Klimaanpassung im kommunalen Gebäudebestand ressourcenschonend gelingen kann, untersuchen die Autoren im Rahmen des durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) geförderten Projekts „Klimaresilientes Gebäudemanagement“ in Zusammenarbeit mit dem Amt für Hochbau und Gebäudewirtschaft der Stadt Karlsruhe. Die Stadt Karlsruhe liegt schon heute in einer der wärmsten Regionen Deutschlands. Zukünftig wird sich diese Situation durch eine überdurchschnittliche Erwärmung der Region verschärfen. Daher denkt man in Karlsruhe zunehmend über sinnvolle Lösungen für klimaangepasstes Bauen nach. Der Fokus liegt dabei auf Maßnahmen zur Steigerung der Hitzeresilienz.

## Vielfalt der Klimaanpassungsmaßnahmen

Für den Hitzeschutz von Gebäuden gibt es vielfältige Maßnahmen. Diese reichen von der Dämmung der gesamten Gebäudehülle über einen Sonnenschutz bei Fenstern (*Abbildung 1*) bis hin zur Begrünung von Dach und Fassade. Die Maßnahmen können zudem auf unterschiedliche Weise ausgeführt werden. Dämmungen gibt es auf Basis fossiler Rohstoffe (Marktanteil: ca. 50 %) wie beispielsweise Styropor® oder mineralischer Rohstoffe (ca. 40 %) wie etwa Steinwolle. Auch nachwachsende Rohstoffe (ca. 5 – 10 %, Tendenz steigend) werden verwendet.



Angeführt wird dieses Segment von Holzfaserdämmstoffen (ca. 60 %). Aber auch Dämmstoffe auf Basis von Zellulose, Hanffaser oder Seegras kommen zum Einsatz.

## Verbesserte Entscheidungsunterstützung

Welche Maßnahme ausgewählt wird, hängt von mehreren Kriterien ab. Bei Dämmungen spielen Wärmedämmwert und Preis typischerweise eine zentrale Rolle. Gleichzeitig muss die Dämmung den Anforderungen des Brandschutzes genügen, sollte möglichst einfach umsetzbar sein sowie eine hohe Schimmel- und Schädlingsresistenz aufweisen. Wird die Betrachtung um Aspekte der Nachhaltigkeit wie den Ressourcenaufwand oder die Kreislauffähigkeit der eingesetzten Baustoffe erweitert, können sich bei der Vielfalt von Kennzahlen Zielkonflikte ergeben. Daher werden in KliReGeM Handlungsleitlinien für klimaangepasstes und ressourcenschonendes Gebäudemanagement entwickelt, die eine möglichst einfache und doch wissenschaftlich fundierte und richtungssichere Entscheidung ermöglichen.

## Vermeidung negativer Rückwirkungen

Bei der „Klima-Optimierung“ der Gebäudehülle verlagern sich Umweltauswirkungen von der Nutzungs- in die Bauphase. Bei sehr effizienten Gebäuden macht die Bauphase bis zu 90 % der Umweltauswirkungen des gesamten Lebensweges aus. Zudem können Verlagerungen zwischen Umweltmedien stattfinden. So kann eine Dämmung mit nachwachsenden Rohstoffen Treibhausgasemissionen senken, möglicherweise aber zu Konflikten in der Landnutzung oder Schadstoffeinträge aus einer intensivierten Landwirtschaft führen. Um derartigen Verlagerungen von Umweltbelastungen vorzubeugen, werden die untersuchten Maßnahmen zunächst umfassend ökobilanziell betrachtet (Abbildung 2). Die dabei gewonnenen Ergebnisse

werden anschließend in den Gesamtkontext des Klimaanpassungsbedarfs in Deutschland gesetzt, um die Auswirkungen beim Einsatz im großen Maßstab zu verstehen. So werden Maßnahmen identifiziert, die ressourcenschonende Klimaanpassung im Einklang mit den sogenannten planetaren Grenzen ermöglichen.

## Übertragbarkeit der Ergebnisse

Da nicht nur die Stadt Karlsruhe vor der Problematik eines erhöhten Anpassungsbedarfs steht, werden die Handlungsleitlinien auch für die Unterstützung der Entscheidungsfindung in anderen Kommunen sowie in privatwirtschaftlichen Gebäuden entwickelt.

DR. HENDRIK LAMBRECHT
ist Professor für Industrial Ecology.
MARCO PUFAL
ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am INEC.

**Abbildung 2:** Darstellung eines Produktsystems für eine beispielhafte Klimaanpassungsmaßnahme (Hanffaserdämmstoff).

# Warum ist die Circular Economy für den Klimaschutz wichtig?

VON ALEJANDRO ARIAS CASTILLO, CHRISTIAN HAUBACH UND TOBIAS VIERE |  
erschiene*n* in den KONTUREN HSPF 2024

Die Dekarbonisierung der Produktion und des Konsums von Gütern und Materialien spielt eine kritische Rolle bei der Erreichung von ambitionierten Klimazielen. Zudem führt das aktuelle lineare Wirtschaftsmodell zur Erschöpfung der Ressourcen und zur Abfallerzeugung, während die derzeitige globale Klimapolitik noch immer nicht die Impulse gesetzt hat, die für die Umsetzung der Ziele des Pariser Klimaabkommens erforderlich wären.

Im von der EU im Rahmen des Förderprogramms Horizon Europe geförderten Projekt **CIRCUMOD – Circular Economy Modelling for Climate Change Mitigation** sollen diese Zusammenhänge dargestellt werden und es soll der mögliche Beitrag der Circular Economy zum Klimaschutz untersucht werden.

Das INEC ist Teil eines sehr renommierten Konsortiums, an dem zwölf europäische Organisationen, u.a. die Universitäten in Leiden, Lissabon, Freiburg und Trondheim, beteiligt sind und ihre jeweilige Expertise einbringen. Dabei geht es darum, die Circular Economy in den wichtigsten ökonomischen und ökologischen Modellen abzubilden und mit Hilfe der Verknüpfung der verschiedenen Modellansätze den Beitrag der Circular Economy zum Klimaschutz bestimmen zu können.

Die Kreislaufwirtschaft (Circular Economy, CE) wird oftmals als Alternative zum derzeitigen linearen Wirtschaftsmodell betrachtet. Ein neues zirkuläres Wirtschaftssystem, das auf eine Verringerung des Primärmaterialverbrauchs abzielt, kann daher in Verbindung mit Energieeffizienzmaßnahmen und dem Wechsel zu klimafreundlicheren Energieträgern sowohl die Treibhausgasemissionen verrin-

gern als auch die Ressourceneffizienz steigern. CE zielt darauf ab, mithilfe folgender Strategien den Primärmaterialverbrauch zu reduzieren:

- 1) **Reduzierung des Materialeinsatzes** (»narrowing loops«)
- 2) **Produkte und Materialien länger im Gebrauch zu halten und intensiver zu nutzen** (»slowing loops«)
- 3) **Rückgewinnung oder Recycling von Materialien und Verringerung von Verlusten** (»closing loops«)

Aktuelle Modelle und Szenarien zur Darstellung der THG-Emissionen zum Zweck der Politikberatung ignorieren allerdings in der Regel diese Entwicklungen und Strategien der Circular Economy (CE); Materialien und deren Zyklen werden kaum beachtet. Mögliche Synergien von CE und anderen gesellschaftlichen Zielen wie den Sustainable Development Goals (SDG) werden darin ebenso nicht berücksichtigt wie die Herausforderungen, die sich aus der Veränderung von Konsummustern und Lieferketten ergeben.

CIRCUMOD adressiert diese Herausforderungen indem eine neue Generation fortgeschrittener Modelle und Szenarien entwickelt wird, mit welchen untersucht werden kann, wie

CE die zukünftigen THG-Emissionen und Materialverbräuche reduziert. Das Vorhaben bringt dabei Industrial Ecology und Stoffstrommodelle, prozess-orientierte Integrated Assessment Modellierung mit makroökonomischer Modellierung zusammen.

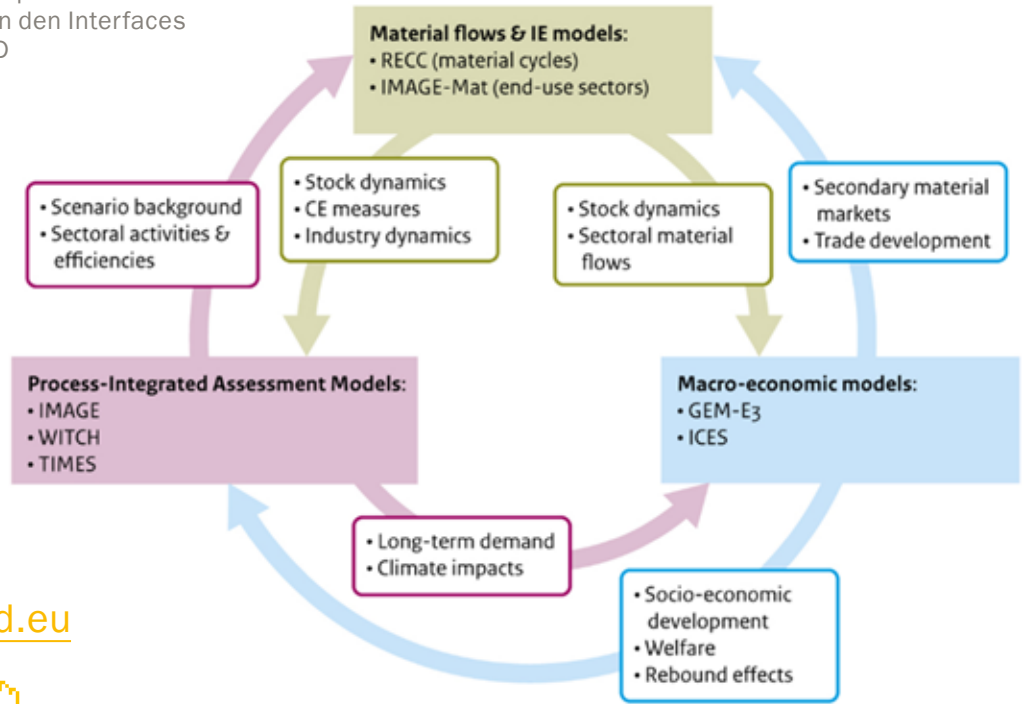
Im Rahmen von CIRCUMOD wird eine umfassende Datensammlung und Modellbildung durchgeführt, um wissenschaftliche Erkenntnisse über die Wirksamkeit und die systemweiten Auswirkungen der verschiedenen CE-Strategien zu gewinnen.

CIRCUMOD wird nationale, EU- und internationale Entscheidungsträger mit wichtigen politischen Erkenntnissen ausstatten, indem es

- (i) **die erste wissenschaftliche Modellierung des Potenzials von CE für Umwelt-, Klima- und Wirtschaftsmaßnahmen und**
- (ii) **angereicherte CE-Datensätze bereitstellt, die für politische Erkenntnisse, die Überwachung von CE-Interventionen und Wechselwirkungen mit Treibhausgasemissionen und Klima notwendig sind.**

Diese Entwicklungen werden dazu beitragen, die Umweltpolitik von einer hauptsächlich qualitativen Wissenschaft zu einer quantitativen, robus-

Aktuelle Modell-Typen und potenzieller Datenaustausch zwischen den Interfaces der Modelle in CIRCOMOD



<https://circomod.eu>



ten, datenbasierten und systembezogenen Folgenabschätzung zu entwickeln. Dadurch wird sie eine bessere politische Entscheidungsfindung (Klima-, Industrie- und Innovationspolitik) unterstützen, um die planetarischen Grenzen einzuhalten.

Diese neuen Modelle werden sich auch direkt auf die Ziele des Europäischen Green Deals auswirken, wenn sie von politischen Entscheidungsträgern genutzt werden sowie die Klima- und CE-Politik weltweit unterstützen. Da die Verfeinerung der Nationally Determined Contributions (NDCs) des Pariser Abkommens in den kommenden Jahren immer wichtiger werden,

wird CIRCOMOD ein viel besseres Verständnis der CE-Beiträge ermöglichen.

Mit CIRCOMOD soll weiterhin ein Beitrag zu internationalen Untersuchungen im Rahmen des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) und des International Resource Panel (IRP) geliefert werden. Zu den Schwerpunkten gehören die Auswirkungen der Ressourcennutzung und Szenario-Projektionen für Ressourceneffizienz und nachhaltige Produktion und Verbrauch sowie die Aussichten für die Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Umweltzerstörung.

CIRCOMOD wird Szenario-Ergebnisse unter Berücksichtigung der CE-Strategien liefern, welche die derzeit in Betracht gezogenen Strategien zur Erreichung der Klimaziele erweitern werden und dabei helfen, eine der größten Herausforderungen der kommenden Jahrzehnte anzugehen.

Für das INEC ist es eine große Ehre, gemeinsam mit den Kolleg:innen der anderen Forschungseinrichtungen diese bedeutenden Themen zu bearbeiten und sich mit den führenden Wissenschaftler:innen im Fachgebiet direkt austauschen zu können.

ALEJANDRO ARIAS CASTILLO
ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am INEC.
DR. CHRISTIAN HAUBACH
ist Geschäftsführer des INEC.
DR. TOBIAS VIERE
ist Professor am INEC.



< Gruppenfoto des Projektteams im April 2023 in Venedig.

Foto: CMCC (Centro Euro-Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici)

# Ressourcen schonen mit der Materialflusskostenrechnung

VON ALINE HENDRICH UND MARIO SCHMIDT | erschienen in den KONTUREN HSPF 2024

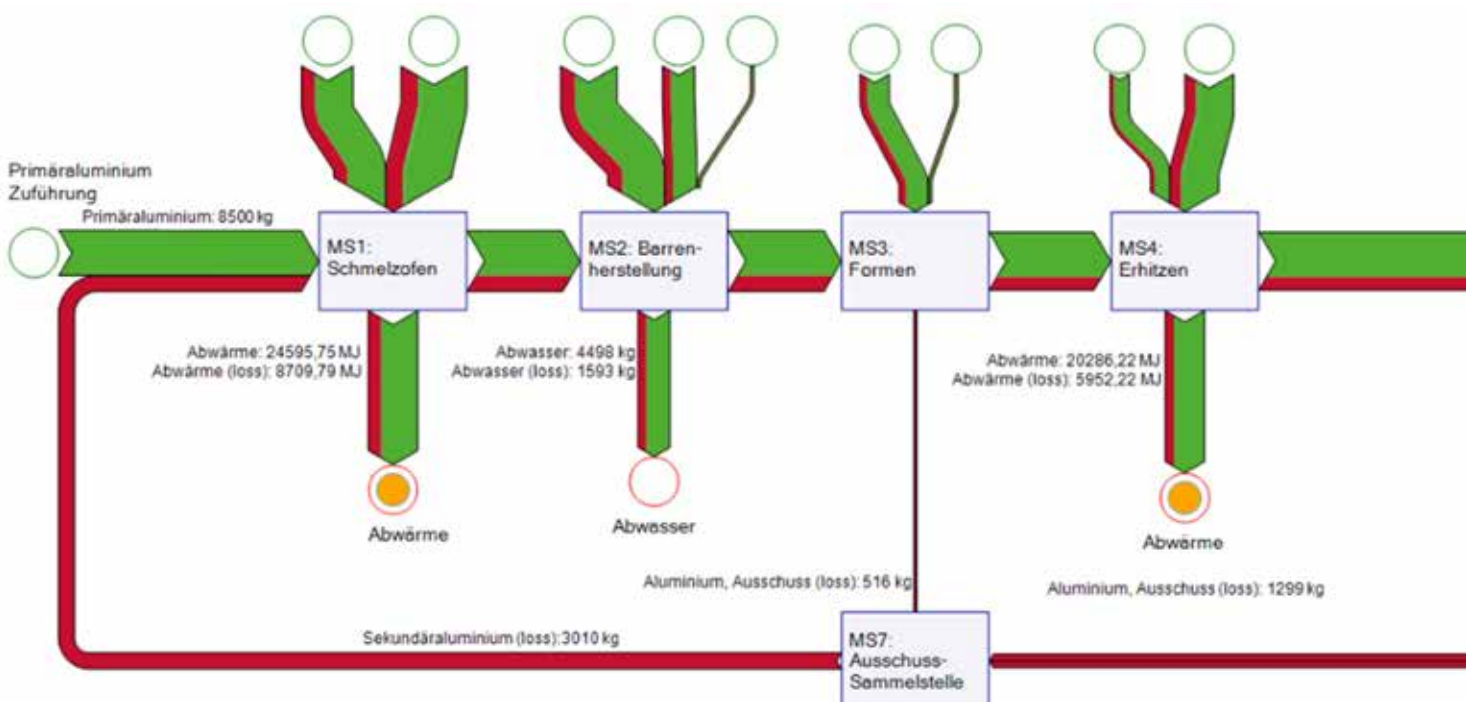
Der internationale Standard ISO 14051 beschäftigt sich mit dem **Material Flow Cost Accounting (MFCA)**, einer Methode, die die Kosten von Materialverlusten in der Produktion ganzheitlich ermittelt. Zusammen mit Professor Andreas Möller von der Universität Lüneburg und dem Software-Anbieter ifu Hamburg GmbH hat das INEC diese Methode weiterentwickelt.

Welche Kosten entstehen, wenn im Unternehmen Materialreste weggeschmissen, Fehlerprodukte ausgesondert oder überquellende Lager freigeräumt werden? Meistens denkt man nur an die Entsorgungskosten. Manchmal bekommt man dafür sogar noch Geld, etwa für Kupfer- oder Aluminiumschrott. Aber was da zu Müll wird, wurde irgendwann mal teuer eingekauft. Es wurde bewegt, bearbeitet, gelagert und hat Produktionskapazitäten gebunden. Die eigentlichen Kosten dieser Reste – im Englischen redet man von material losses – sind also viel größer und müssen über das gesamte Produktionssystem hinweg betrachtet werden. Losses bedeuten Vernichtung von Wertschöpfung und müssen vermieden werden.

Genau das steht im Fokus des sogenannten **Material Flow Cost Accounting (MFCA)**, einer Methode, die vor ca. 30 Jahren in Deutschland entwickelt wurde, dann in Vergessenheit geriet, in Japan wiederentdeckt und 2011 zu einem internationalen Standard erhoben wurde.

Seitdem gibt es zahlreiche Praxisanwendungen, auch in Baden-Württemberg. Von der Landesagentur Umwelttechnik BW wird seit ca. 10 Jahren kostenlos ein **Software-Tool (bw!MFCA)** angeboten, mit dem die wahren Kosten der Materialverluste in einem Unternehmen berechnet werden können. Dazu werden auch Schulungen angeboten.

Abbildung 1: Visualisierung der Flüsse im System als Sankey-Diagramm. Die rote Farbe zeigt die einsparbaren Kosten und Mengen an, wenn – in diesem Fall – die Recyclingströme vermieden werden können.





^  
Vorstellung der Projektergebnisse durch Aline Hendrich (links) auf der EcoBalance-2022-Tagung in Fukuoka (Japan), hier mit Kolleginnen und Kollegen vom INEC (Pia Heidak, Florian Bodrogi, Marlene Preiß, v.r.n.l.). Foto: INEC

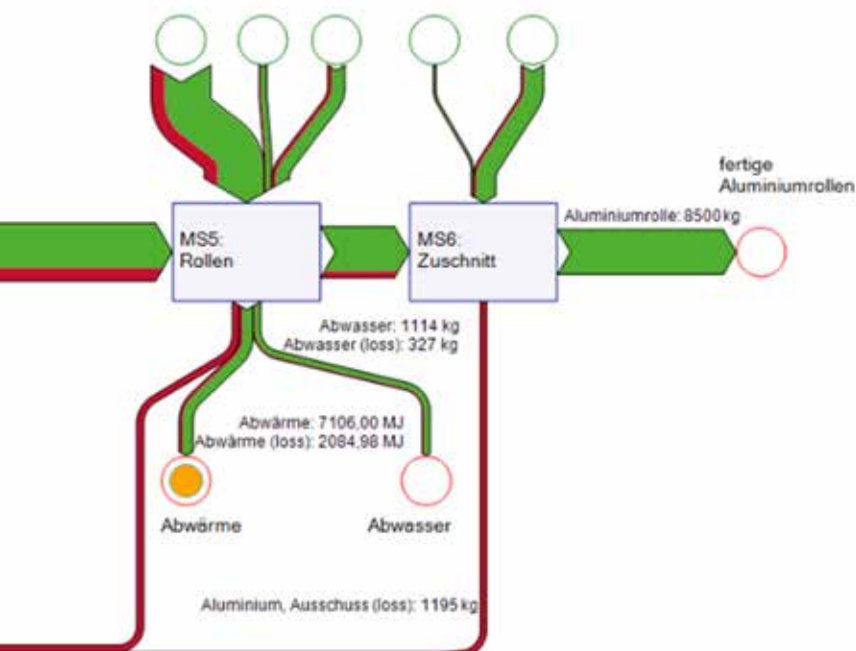
So wichtig und nützlich die Methode nach ISO 14051 ist, sie hatte auch inhaltliche Mängel. Beispielsweise ließen sich damit keine Materialkreisläufe abbilden. Denn auch hier gilt: Das Vermeiden von Abfällen ist immer noch besser als sie zu recyceln. Dazu kommt, dass die ISO 14051 nur die Kosten der Materialverluste ausweist. Aber mit den Verlusten sind auch unnötige CO<sub>2</sub>-Emissionen verbunden, sozusagen Emissionen, die nicht unmittelbar mit dem Produkt in Verbindung stehen und deshalb theoretisch vermeidbar sind. Schließlich fehlt der ISO 14051 eine Brücke von der Kostenanalyse zu den konkreten Maßnahmen, wie man die Materialverluste auch vermeiden kann, sowie die Bewertung dieser maßnahmenbasierten Einsparungen aus Sicht des betrachteten Systems.

Diese Fragen standen im Vordergrund des Forschungsprojektes „**Material-Flow Based Improvement Assessment**“ (MAFIMA), das vom Land Baden-Württemberg gefördert wurde. Die Berech-

nungsalgorithmen wurden soweit verändert und ergänzt, dass nun auch Materialkreisläufe gerechnet werden können, Maßnahmen in unterschiedlichen Stärken bewertet werden und sich die damit eingesparten CO<sub>2</sub>-Emissionen errechnen lassen. Prototypisch wurde von den Projektpartnern ifu Hamburg GmbH und Professor Möller aus Lüneburg auch eine Software-Lösung entwickelt, die auf einer gängigen professionellen Ökobilanz-Software basiert. Wesentlicher Ansatz ist dabei ein Szenariovergleich zwischen dem Ist-Zustand eines Produktionssystems und einem technisch oder organisatorisch verbesserten Zustand. Die Differenzen können in Mengen (kg oder kWh), in Emissionen (kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent) oder in Wertangaben (Euro) dargestellt werden.

In der Abb. 1 ist ein Beispiel einer mehrstufigen Fertigung dargestellt. Interne Schrottmengen können – was grundsätzlich gut ist – im System rückgeführt und wieder als Rohstoff eingesetzt werden. Würde man allerdings diesen internen Schrott vermeiden können, so ließen sich erhebliche Kosten einsparen. Dies wird durch die roten Anteile der Flüsse angezeigt. Die Darstellung nutzt dabei ein sogenanntes Sankey-Diagramm, bei dem die Breite der Pfeile den Wert der Material- oder Energieflüsse anzeigt. Mit dieser Visualisierung können schnell Einsparpotenziale aufgezeigt werden.

**Die Projektergebnisse werden eine Rolle spielen, wenn 2024 die ISO 14051-Norm international überarbeitet wird.** Dann können die neuen Algorithmen in die Norm mit einfließen und den Anwendern neue Möglichkeiten eröffnen, um mit der MFCA-Methode die Ressourceneffizienz von Produktionssystemen zu erhöhen.



ALINE HENDRICH
ist wissenschaftliche Mitarbeiterin und Doktorandin am INEC.
DR. MARIO SCHMIDT
ist Professor und Direktor des INEC.

# »100 Betriebe«: 10 Prozent sind immer drin – bewiesen!



VON MARIO SCHMIDT UND CHRISTIAN HAUBACH

»Ressourceneffizienz war noch nie so wichtig wie heute«, resümierte Ministerpräsident Winfried Kretschmann beim Ressourceneffizienzkongress 2022 in Karlsruhe. Das Land Baden-Württemberg gehört in Deutschland zu den Pionieren in Sachen Ressourceneffizienz und war über 10 Jahre hinweg ein wesentlicher Treiber, wenn es darum ging, das Thema in der Wirtschaft zu verbreiten. Dabei war das 100-Betriebe-Projekt des INEC der Leuchtturm.

Im Jahr 2014 startete ein Projekt, das eine lange Vorlaufzeit mit viel Überzeugungsarbeit bei Politik und Wirtschaft hatte: die „100 Betriebe für Ressourceneffizienz“. Es sollten konkrete Fallbeispiele gesammelt, angestoßen, analysiert und publiziert werden, wie in produzierenden Unternehmen sparsamer mit den natürlichen Ressourcen umgegangen werden kann. Das betrifft den Einsatz von Rohstoffen und Materialien, aber auch von Energie und ist damit zusätzlich ein Beitrag zum Klimaschutz. Bereits in den Jahren zuvor hatte das INEC das Thema immer wieder aufgegriffen, z.B. mit dem Konzept einer Awareness-Kampagne. Denn jahrelange Erfahrungen haben gezeigt, dass die Einsparpotenziale in Unternehmen beträchtlich sind und sowohl ökonomisch als auch ökologisch sinnvoll sind. Aber wie kann man diese Potenziale auch heben?

Neben den technischen Voraussetzungen in der Produktion sind es auch die mentalen Muster, die in der Unternehmensleitung und bei den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern auf dem Shopfloor vorherrschen und den sparsamen Umgang mit Ressourcen beeinflussen. Diese kulturellen Dispositionen und die managementbezogenen Hemmnisse wurden bereits 2008 von der ehemaligen Mitarbeiterin und Doktorandin Regina Schwegler herausgearbeitet. Bei den „100 Betrieben“ kamen diese technisch- und managementbezogenen Erfahrungen zusammen.

Zusammen mit den führenden Wirtschaftsverbänden Baden-Württembergs startete der damalige Umweltminister Franz Untersteller eine Allianz für mehr Ressourceneffizienz, in deren Kern das 100-Betriebe-Projekt stand. Das Projekt wurde gemeinsam mit der Landes-

&gt;&gt;

## Effizienz kann man lernen!

10 bis 15 Prozent der Energie- und Materialkosten können schnell und mit vertretbarem Aufwand in der Produktion eingespart werden. Das zeigt die Erfahrung in vielen Unternehmen. Der Materialanteil beträgt im Durchschnitt fast 45 Prozent an den Gesamtkosten. Deshalb verbergen sich hier Chancen für mehr Wirtschaftlichkeit, Wettbewerbsfähigkeit und Ressourcenschonung. Das sind Potenziale, die oft übersehen werden. Im Studiengang Ressourceneffizienzmanagement wollen wir genauer hinschauen. Und das Beste tun – für die Wirtschaft und die Umwelt.

© ID-Kommunikation/Hochschule Pforzheim

> Plakatvorschlag zu einer Awareness-Kampagne für mehr Ressourceneffizienz im Jahr 2010



agentur Umwelttechnik BW unter der Leitung von Dr.-Ing. Hannes Spieth in drei verschiedenen Projekttranchen von 2014 bis 2022 durchgeführt. Eine gemeinsame Jury aus Wissenschafts- und Verbandsvertreter wählte die Fallbeispiele aus. Denn sie sollten einen Vorbildcharakter für andere Unternehmen haben, d.h. sie sollten für die jeweilige Branche entweder mengenmäßig bedeutsam oder innovativ sein und sie sollten auch ein gewisses Transferpotenzial haben. Drei deutschsprachige Bände mit den Fallbeispielen sind so entstanden, dazu kam noch eine englischsprachige Übersetzung und ein Leitfaden für die Unternehmen (s. Infokasten mit QR-Codes als Links zu den einzelnen Bänden).

Das Projekt setzte Maßstäbe und wurde sowohl auf Bundesebene als auch international beachtet. Es setzte genau das auf praktischer Ebene um, was zeitgleich vom Verein Deutscher Ingenieure (VDI) als theoretisches Rahmenkonzept für Ressourceneffizienz und als Richtlinie VDI 4800 entwickelt und veröffentlicht wurde: eine

Sammlung von Ansatzpunkten bei der Produktion und bei Produkten, wie Ressourcen eingespart werden können und welche Auswirkungen das auf die Umwelt hat. Besonders wichtig ist hierbei stets der Systemgedanke: Was bewirkt eine Maßnahme unter dem Strich, d.h. zu welchen Umwelteinsparungen führt die Reduktion von Material- und Energieeinsatz einschließlich der Vorketten.

Das Projektteam trug bis 2022 insgesamt 126 Fallbeispiele zusammen, an denen 136 verschiedene Unternehmen aus allen Branchen des Produzierenden Gewerbes und allen Landesteilen beteiligt waren. Durch die Fallbeispiele wurden Einsparungen an Treibhausgasen von insgesamt jährlich 436.000 Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalent erzielt. Allein durch die letzte Projekttranche mit 23 Fallbeispielen wurden jährlich 7.380 Tonnen Metalle, 2.682 Tonnen Kunststoffe, 3.803 Tonnen Holz, Karton und Papier, 54.351 Tonnen Steine und mineralische Materialien sowie 6.922 Tonnen chemische Erzeugnisse eingespart.



&lt;

Zwei wichtige Wegbereiter der „100 Betriebe“: der ehemalige Umweltminister Franz Untersteller und der ehemalige Präsident des Landesverbandes der Industrie Dr. Hans-Eberhard Koch. Fotos: Martin Stollberg

&gt;

PR-Erfolg für Baden-Württemberg: 100-Betriebe-Buch (im Bild rechts) als Grundausstattung beim Amtsantritt der ehemaligen Bundesumweltministerin Svenja Schulze in ihrem Büro (Quelle: <https://www.bmu-kids.de/ministerium/organisation/leitung-und-struktur/> (aufgerufen: 10. Mai 2018).

↳

Erste Keimzelle für Ressourceneffizienz: Projekt mit der IHK Südlicher Oberrhein 2003 in Freiburg zum Energie- und Stoffstrommanagement in produzierenden Unternehmen. Foto: IHK Südlicher Oberrhein



»Ressourceneffizienz bedeutet zwar nicht automatisch Nachhaltigkeit, aber Nachhaltigkeit ist ohne Ressourceneffizienz nicht vorstellbar. Denn es geht genau darum, nur so viel einzusetzen wie nötig ist, um das gewünschte Ergebnis zu erzielen.«

Winfried Kretschmann

Sind diese Einsparungen viel? Ja, denn viele der Maßnahmen haben nur wenig gekostet bzw. sich nach kurzer Zeit amortisiert. Deshalb liegen die Vermeidungskosten für eine Tonne CO<sub>2</sub>-Äquivalent durch dieses Projektdesign äußerst niedrig. Dabei hat sich auch gezeigt, dass die mit dem Material verbundenen CO<sub>2</sub>-Rucksäcke sehr bedeutend für die Vermeidung von Treibhausgasen sind. Ein Umstand, der zuvor nur wenig Berücksichtigung fand. Material- oder Energiesparen geht nicht zulasten des Produktoutputs oder der Produktqualität. Daher ist dies immer noch die vorteilhafteste Strategie für alle Beteiligten und sollte überall an erster Stelle stehen. Auch dies wurde mit einem Bonmot des baden-württembergischen Ministerpräsidenten Kretschmann kom-

mentiert: „Ressourceneffizienz bedeutet zwar nicht automatisch Nachhaltigkeit, aber Nachhaltigkeit ist ohne Ressourceneffizienz nicht vorstellbar. Denn es geht genau darum, nur so viel einzusetzen wie nötig ist, um das gewünschte Ergebnis zu erzielen.“ Schließlich ist mit der Ressourceneffizienz auch eine mitunter nicht unerhebliche Kosteneinsparung verbunden, insbesondere, wenn sich z.B. große Mengen eines Roh-, Hilfs- oder Betriebsstoffs bzw. eines wirtschaftskritischen Rohstoffs einsparen lassen.

Das wohl schönste Lob zu dem Projekt kam aus dem Ausland, von dem inzwischen 91-jährigen US-amerikanischen Pionier der Industrial Ecology, Robert U. Ayres: „I just got back to my office at INSEAD today and found your book on efficient resource management waiting. ... It seems you have succeeded in creating an institute doing exactly what I wanted to do 30 years ago. Maybe the times are changing.“

DR. MARIO SCHMIDT ist Professor und Direktor des INEC.
DR. CHRISTIAN HAUBACH ist Geschäftsführer des INEC.

## 100 Betriebe für Ressourceneffizienz

Links zu den Bänden und zum Leitfaden für Unternehmen



Band 1 – Praxisbeispiele aus der produzierenden Wirtschaft (Springer Link)



Band 2 – Praxisbeispiele und Erfolgsfaktoren (Springer Link)



Band 3 - Praxisbeispiele und Klimabilanz (hs-pforzheim.de)



100 Pioneers in Efficient Resource Management: Best practice cases from producing companies (Springer Link)



Leitfaden betriebliche Ressourceneffizienz und Ressourcenschonung (hs-pforzheim.de)

# 1-2-3: Wie berechne ich meinen Carbon Footprint?

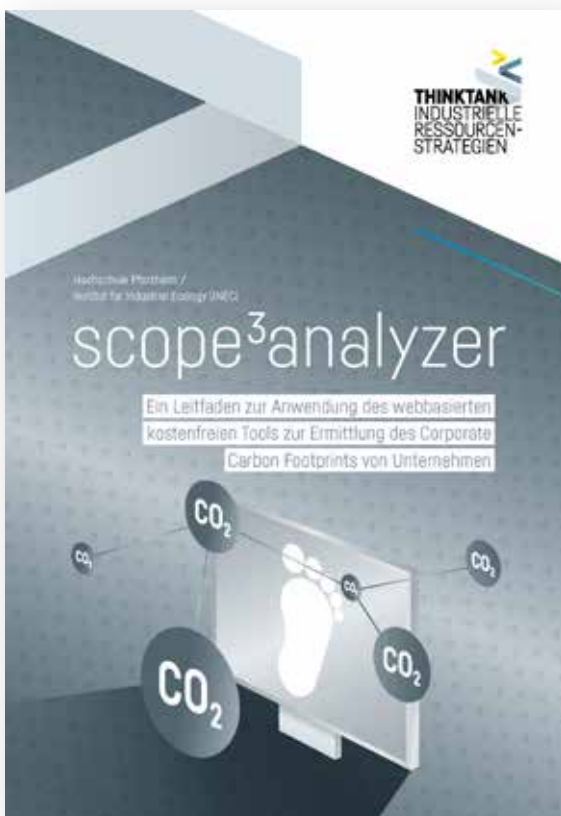
VON MARIO SCHMIDT UND CHRISTIAN HAUBACH

Mit einem Anteil von bis zu 80 % wird der weitaus größte Teil der Treibhausgase (THG) des produzierenden Gewerbes in der Lieferkette emittiert (sogenannte Scope 3-Emissionen). Im Rahmen des vom Land Baden-Württemberg geförderten KLIWER-Projekts wurde der »Scope3Analyzer« entwickelt – ein einfaches Werkzeug zur Abschätzung der Scope3-THG-Emissionen, das Unternehmen im Internet drei Jahre lang kostenlos zur Verfügung stand.

Nachdem viele Unternehmen in Deutschland ihre unmittelbaren und energiebedingten THG-Emissionen (sogenannten Scope 1 und 2-Emissionen) an ihren Standorten bereits ermitteln und unternehmensspezifische Maßnahmen zu deren Minderung eingeführt haben, geraten zunehmend die THG-Emissionen in der Lieferkette in den Fokus. Die Berechnung stellt die meisten Unternehmen vor große Herausforderungen. Verlässliche Angaben von Lieferanten sind nur selten zu bekommen, insbesondere wenn es sich um globale Lieferbeziehungen handelt. Generische Werte aus öffentlich und kostenlos verfügbaren Datenbanken sind kaum belastbar, veraltet oder von zweifelhaftem Wert, wie z.B. die vom Umweltbundesamt betriebene Datenbank Probas. Selbst kommerziell angebotene Datenbanken sind nur

begrenzt valide, denn sie decken in den seltensten Fällen die konkreten Verhältnisse der jeweiligen Lieferbeziehungen ab. Was auf den ersten Blick trivial erscheint – die Erstellung einer Klimabilanz – erweist sich in der Praxis als ein schwieriges Terrain mit einigen Untiefen.

Besonders unter methodischen Gesichtspunkten sind diese unternehmensbezogenen Bilanzen oft zweifelhaft. Denn sie beziehen sich auf ein ganzes Unternehmen, nicht auf ein einzelnes Produkt. Während das Unternehmen seine Unternehmensbilanz erstellen will, braucht es von seinen Lieferanten Daten, die sich auf die gelieferten Vorprodukte, Rohstoffe usw. beziehen, also produktbezogene Daten. Hat der Lieferant auch nur eine unternehmensbezogene Bilanz – für sein ganzes Unternehmen – erstellt, gibt es ein Problem. Wie rechnet er seine Unternehmensbilanz auf die einzelnen Produkte um? Wer validiert diese Zahlen? Werden solche Zahlen auch international zur Verfügung stehen und wie belastbar sind sie?

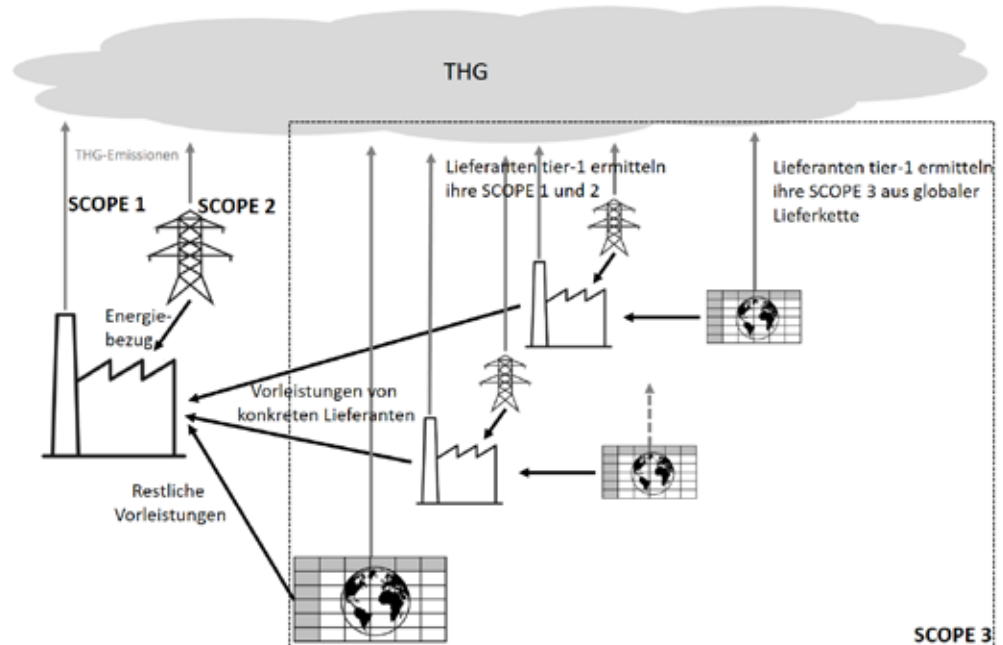


Links zu Leitfaden:



Weiterführende Informationen:





> Die Daten aus der Lieferkette können entweder aus der globalen Handelsverflechtung (unten) stammen, oder mit konkreteren Angaben für Scope 1 und 2 von den Lieferanten (Mitte), die für Scope 3 selbst wiederum auf die Handelsdaten zugreifen (rechts). Hieraus ließe sich eine Rekursion mit hoher Genauigkeit entwickeln.

Eine weitere Herausforderung ist beispielsweise der Zeitbezug. Der Quasi-Standard für diese Scope-1-2-3-Bilanzen von dem sogenannten Greenhouse Gas Protocol, einer privatwirtschaftlichen Initiative, fasst unter den Scope-3-Emissionen nicht nur die Lieferantenkette eines Unternehmens zusammen, sondern auch die Emissionen bei den nachgelagerten Kunden, also „downstream“. Diese können zwar fakultativ angegeben werden. Aber wenn sie mit einbezogen werden, kommt es zu Doppelzählungen in der Wertschöpfungskette. Abgesehen davon sind Emissionsangaben über das, was danach passiert, also wenn die Produkte das Werkstor verlassen haben, meistens spekulativ. Solche Bilanzen kommen eher aus der Welt der Produktbilanzen, des sogenannten Life Cycle Assessments, und haben einen anderen methodischen Ansatz. In der praktischen Anwendung werden diese Ansätze derzeit wild durcheinandergeworfen.

Trotzdem ist es für Unternehmen wichtig, Anhaltspunkte zu bekommen, wie groß der Beitrag ihrer Lieferkette zu ihrem Klimafußabdruck ist und wo das Unternehmen am ehesten mit Maßnahmen ansetzen muss. Entsprechende Berechnungen sollten möglichst einfach sein. Schon die Datenbeschaffung stellt eine Schwierigkeit dar: Müssen die eingekauften Produkte alle in Kilogramm erfasst und zurückverfolgt werden? In welcher Detaillierung und Feinheit? Oft sind davon Zehntausende Einzelpositionen und Tausende von Lieferanten betroffen. Der Aufwand für solche Erhebungen steht selten in Relation zu der mangelnden Qualität der damit erhaltenen Bilanz.

Als praxisnahe Alternative wurde zusammen mit dem Thinktank Industrielle Ressourcenstrategien am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und Wissenschaftlern von dem Beratungsunternehmen Sustain aus dem Hamburger Otto-Konzern ein Software-Tool zur Ermittlung der Scope3-THG-Emissionen entwickelt - der „Scope3Analyzer“. Er basiert auf statistischen Daten über die globalen Handelsströme und die jeweiligen nationalen Emissionsbilanzen. Methodisch wird dazu auf sogenannten multiregionalen Input-Output-Analysen (MRIOA) aus der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung aufgebaut, die entsprechend konfiguriert und weiterentwickelt wurden. Für die Berichterstattung der THG-Emissionen hat dieser Ansatz entscheidende Vorteile: Die Daten sind einheitlich erhoben, nach dem gleichen System. Sie werden konti-

nuierlich nach der gleichen Methode fortgeschrieben. Sie berücksichtigen globale Handelsverflechtungen und sie lassen sich auch auf nicht homogene Vorprodukte anwenden, für die selten Datenbankwerte vorliegen.

Für den Praktiker gibt es noch einen weiteren Vorteil: Die Eingabedaten sind statt der üblichen Kilogramm nun Wertangaben, also in Euro, die von den Einkaufsabteilungen schnell bereitgestellt werden können. Tatsächlich korreliert der Carbon Footprint vieler Produkte eher mit dem Preis als mit der Menge in kg, da mit steigender Wertschöpfung meistens auch mehr Energieeinsatz verbunden ist. Insbesondere Unternehmen, die eine komplexe Zulieferstruktur mit vielen Lieferanten und zahlreichen Vorprodukten haben, profitieren von diesem Tool. Denn es fasst bestimmte Gütergruppen zusammen. Das vereinfacht deutlich die Ermittlung und Eingabe der erforderlichen Zahlen – und zwar ohne, dass die Aussagekraft darunter leidet.

Natürlich liefert eine solche Bilanz auch nur Schätzungen und keine exakten spezifischen Werte. Aber sie kann einer Hotspotanalyse dienen. Hat man festgestellt, welche Lieferketten besonders relevant sind, kann man dort gezielt nachrecherchieren und die Datenbasis verbessern. Doch es gibt noch einen weiteren Vorteil dieser Vorgehensweise: Falls die Lieferanten eine ähnliche Methode oder Bilanz anwenden und diese Werte an ihre Kunden melden, könnte sich eine rekursive Struktur entlang der Wertschöpfungskette ergeben, bei der jeder Lieferant seine direkten und energiebezogenen Emissionen (Scope 1 und 2) exakt erfasst, und die Emissionen der Lieferkette sich dann aus dieser Rekursion ergeben. Je mehr Lieferantestufen daran teilnehmen, desto genauer und spezifischer wird dann der Wert für die eigene Lieferkette eines Unternehmens. Dieses System würde funktionieren, ohne dass man aufwendige Produktbilanzen erstellen müsste. Aber es würde eine verstärkte Kooperation mit den Lieferanten und Vorlieferanten erfordern, die nach dem gleichen System bilanzieren müssten.

DR. MARIO SCHMIDT  
ist Professor und Direktor des INEC.  
DR. CHRISTIAN HAUBACH  
ist Geschäftsführer des INEC.

# Glasklar mit viel Luft nach oben

## Industriekonsortium gewinnt Förderprojekt zur Acrylglas-Kreislaufführung

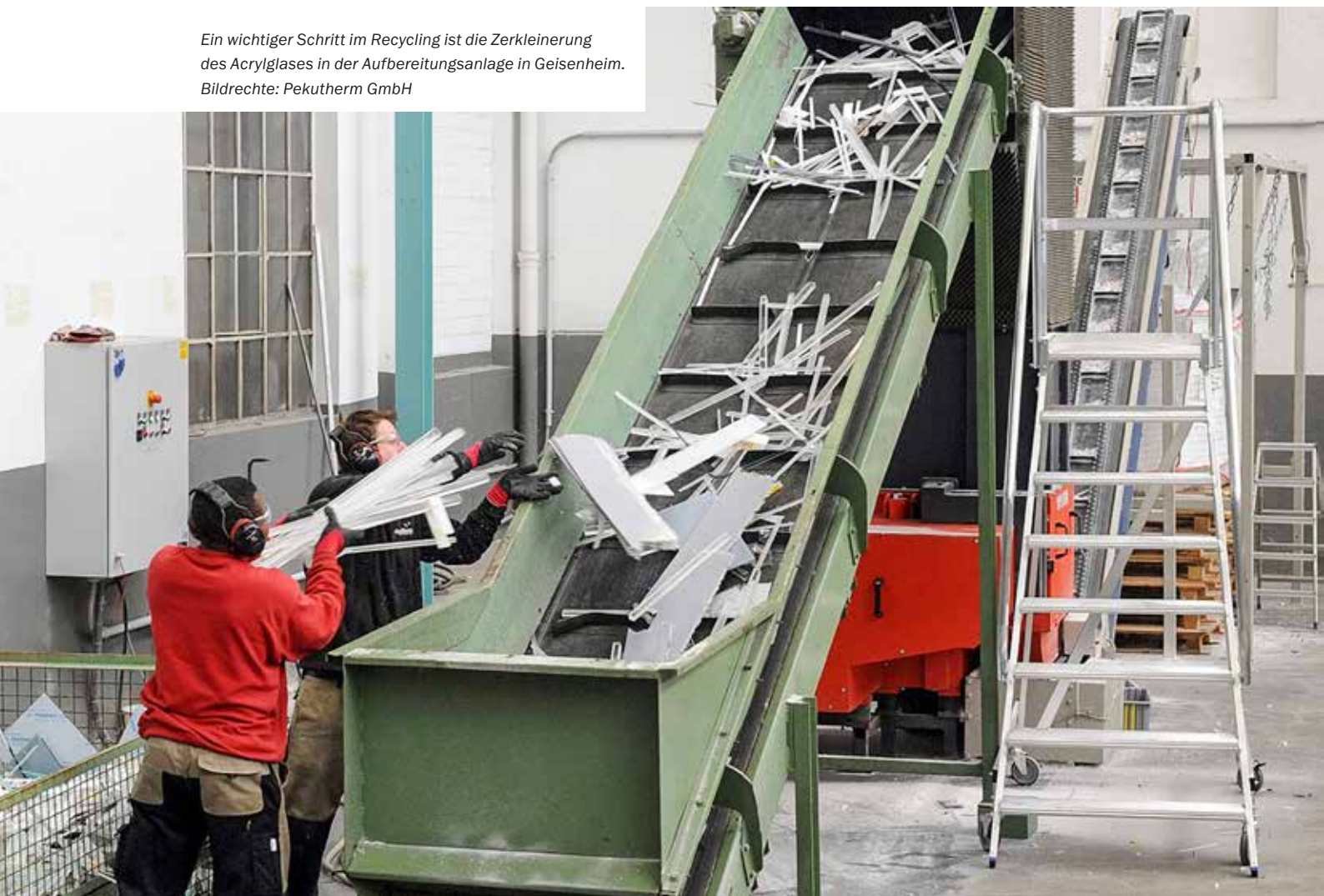
Das Acrylglas-Recyclingunternehmen Pekutherm Kunststoffe GmbH entwickelt gemeinsam mit der Polysecure GmbH, der Hochschule Pforzheim und einem Acrylglas-Anbieter eine innovative Recycling-Lösung, um hochwertige transparente Kunststoffe erkennen und sortenrein verwerten zu können.

VON JÖRG WOIDASKY | erschienen in den KONTUREN HSPF 2023

**D**er Ansatz wird von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) mit insgesamt knapp 250.000 Euro gefördert. Das Projekt PACE – „PMMA in der Circular Economy“ soll innerhalb von zwei Jahren ein durchgängiges Konzept zur Wiederverwertung für gebrauchtes Acrylglas entwickeln, von dem deutschlandweit derzeit erst 10 % recycelt werden.

Während der Pandemie wurde Acrylglas flächendeckend für Hygiene-Schutzscheiben an Tresen oder in Wartezonen eingesetzt. Auch im Bau-, Kfz- oder Innenausbaubereich, im Messebau oder bei Beleuchtungselementen hat der Werkstoff PMMA eine so hohe Bedeutung, dass das Volumen des europäischen Halbzeug-Marktes für Acrylglas 2020 etwa 230.000 Tonnen

*Ein wichtiger Schritt im Recycling ist die Zerkleinerung des Acrylglases in der Aufbereitungsanlage in Geisenheim.  
Bildrechte: Pekutherm GmbH*





»Aus vielen anderen Vorhaben wissen wir, dass die werkstoffliche Verwertung von Polymeren fast immer die nachhaltigste Entsorgungslösung ist.«

betrug. Die Steigerung des Rezyklatanteils in Acrylglas-Produkten kann zur Verbesserung der Kreislaufwirtschaft beitragen und ist ein starker Antrieb für die an diesem Industriekonsortium beteiligten Unternehmen. Acrylglas ermöglicht in zahlreichen Anwendungen, zum Teil mit sehr hohen Anforderungen an die Optik, sehr lange Nutzungszeiten. Daher sind für eine funktionierende Kreislaufführung höchste Reinheitsanforderungen an die verwendeten Rezyklate einzuhalten.

Dieser Herausforderung stellt sich die Pekturm Kunststoffe GmbH aus Geisenheim. Das Unternehmen ist eines der wichtigsten PMMA-Recyclingunternehmen Deutschlands und wird von Geschäftsführer Heiko Pfister geleitet: „Wir sehen derzeit einen starken Anstieg der Nachfrage nach unseren qualitätsgesicherten Rezyklaten. Um den Markt weiter gut bedienen zu können, müssen wir weitere Materialquellen erschließen, ohne Abstriche an unserer Produktqualität zu machen. Hierfür haben wir mit Polysecure und der Hochschule Pforzheim starke und innovative Partner gefunden.“

Im Rahmen des Projektes „PACE“ soll die Kreislaufwirtschaft von PMMA-Abfällen in Deutschland systematisch entwickelt werden. Ausgangspunkt sind folien- und plattenförmige PMMA-Halbzeuge sowohl aus Post-Industrial als auch aus Post-Consumer-Quellen. Neben der systematischen Prüfung von Erkennungsverfahren sowie der sichtbaren Kennzeichnung von Halbzeugen wird im Rahmen des Vorhabens mit dem Einsatz von Fluoreszenzmarkern ein weiterer, völlig neuer Ansatz verfolgt. Die anorganischen Fluoreszenzmarker werden als

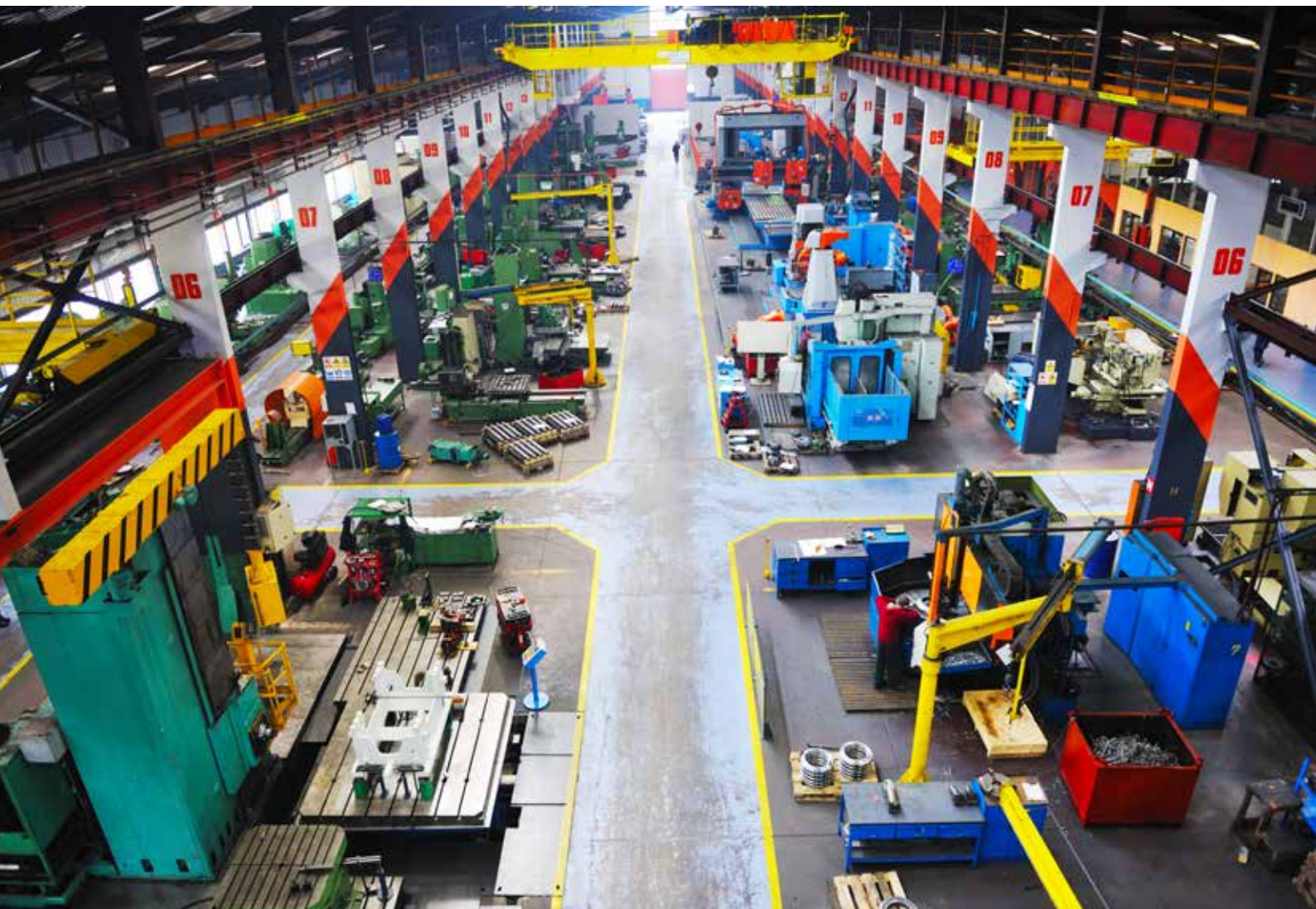
Kennzeichnung in ppm-Konzentrationen den Acrylglas-Produkten zugegeben und ermöglichen in der Herstellungs-, Nutzungs- und Nachnutzungsphase die eindeutige Materialerkennung. „Unsere Fluoreszenzmarker können wie andere Kunststoff-Additive einfach bei der Kunststoff-Formgebung eingearbeitet werden. Sie sollen die Produktnutzung nicht beeinflussen, und im Recycling sind sie einfach und unschlagbar sicher zu erkennen – und genau das ist für das Acrylglas-Recycling erforderlich. Hierbei kann die Erkennung sowohl manuell als auch automatisiert im SORT4CIRCLE®-Prozess von Polysecure umgesetzt werden,“ betont Polysecure-Projektleiter Reiner Just. Im Rahmen des Vorhabens soll u. a. ein mobiler Detektor entwickelt und getestet werden, mit dessen Hilfe insbesondere große, plattenförmige Halbzeuge vor einer Zerkleinerung verlässlich identifiziert werden können.

Für eine überzeugende kreislaufwirtschaftliche Lösung für Acrylglas müssen nicht nur unterschiedlich stark vernetzte PMMA-Qualitäten erkannt, sondern auch andere glasklare Polymere wie Polycarbonat (PC), Polystyrol (PS), Styrol-Copolymere oder PET separiert werden. „Wir werden die technischen Entwicklungen systematisch durchführen und mit einer ökobilanziellen Bewertung begleiten“, kündigt Professor Jörg Woidasky an: „Aus vielen anderen Vorhaben wissen wir, dass die werkstoffliche Verwertung von Polymeren fast immer die nachhaltigste Entsorgungslösung ist. Wir sind deshalb davon überzeugt, dass wir im PACE-Vorhaben mit diesem schlagkräftigen Konsortium einen deutlichen Beitrag zur Umweltentlastung durch Recycling in Deutschland leisten werden.“

DR.-ING. JÖRG WOIDASKY

ist Professor für Nachhaltige Produktentwicklung im Bereich Wirtschaftsingenieurwesen an der Fakultät für Technik.

# Lean und Green ergänzen sich!



VON FRANK BERTAGNOLLI

**D**as aus Japan stammende Toyota Produktionssystem (TPS), welches als Basis für den in produzierenden Unternehmen weit verbreiteten Lean-Ansatz gilt, hat den Fokus auf effiziente Prozesse, um Ressourcen einzusparen. Nach dem zweiten Weltkrieg hatte Japan kaum Ressourcen zur Verfügung, um Produkte herzustellen. So musste mit den vorhandenen Materialien äußerst sorgsam umgegangen werden. Verbunden mit dem Kaizen-Gedanken (stetige Verbesserung der Prozesse) entstand in Japan in einigen Unternehmen eine sehr effiziente und effektive Produktion von Gütern. Allen vorneweg Toyota.

Lean und Ressourceneffizienz verfolgen dasselbe Ziel: mit wenig Input viel Output erreichen. Während bei Lean „Muda“ (jap. für sich abmü-

hen) vermieden werden soll, fokussiert die Ressourceneffizienz auf den effizienten Rohstoff- und Energieeinsatz. Die klassischen sieben Arten von Muda, welche als Verschwendungsarten übersetzt wurden, sind: Überproduktion, Bestände, Transporte, unnötige Bewegung, Warten/Suchen, Prozessübererfüllung und Defekte/Ausschuss/Nacharbeit.

Lean-Prinzipien, welche sich um die Verbesserung von Abläufen und die Vermeidung von Verschwendung annehmen, sind beispielsweise „Jidoka“ oder „Just-in-Time“. Jidoka legt den Fokus auf die Qualität und reduziert Fehler, Ausschuss sowie Nacharbeit. Die ansonsten eingesetzten Materialien und Ressourcen müssten dann entsorgt werden. Damit wären Materialien, Energie und Arbeitskraft verloren. Bei Nacharbeit

müssten zusätzliche Ressourcen eingebracht werden. Just-in-Time (JIT) betrachtet die Prozesse im Sinne der Zeit und der Vermeidung von Beständen, die unnötigerweise durch eine Push-Produktion entstehen. Weiterhin werden Verschwendungen wie Wege, Transporte oder Warten reduziert. Just-in-Time meint dabei die direkte und nahegelegene Anlieferung im Fluss-Prinzip.

Aus ökologischer Perspektive wurde der Lean-Ansatz meistens nur hinsichtlich des Just-in-Time-Themas bewertet und wegen des damit oft zusätzlich erzeugten Güteverkehrs kritisiert. Dabei ist der Grundgedanke von Lean der Idee der Ressourceneffizienz sehr ähnlich. Deshalb führt das Institut für Industrial Ecology (INEC) Forschungsprojekte mit Industriepartnern durch und integriert

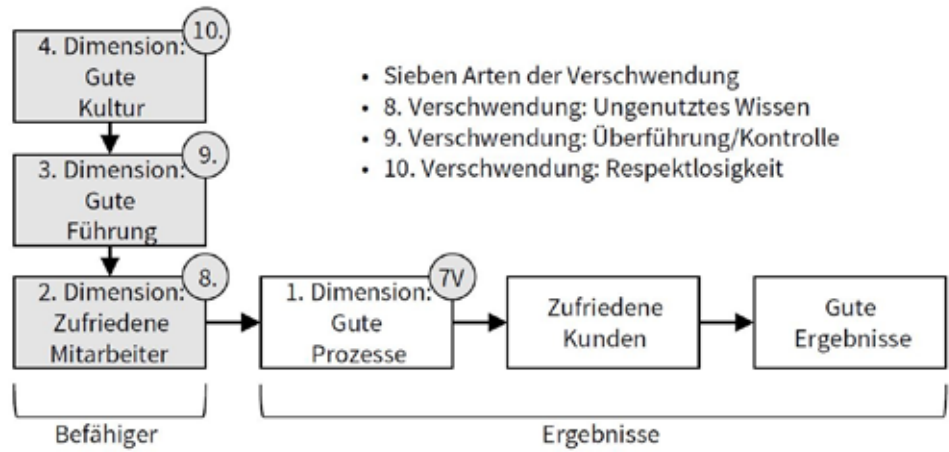
&gt;

Lean Empowerment: Zusammenhänge der vier Dimensionen: 1. Prozess, mit den sieben Arten der Verschwendung (7V), 2. Mensch (achte Verschwendungsart) sowie 3. Führung (9. Verschwendungsart) und 4. Kultur (10. Verschwendungsart).

&lt;

Standardisierte Arbeit in der Produktion: Sicherheit, Ordnung und Sauberkeit sind die Basis für eine Produktion nach Lean-Gesichtspunkten.

Foto: Shutterstock/dotshock



beide Themenfelder in öffentlich geförderten Projekten. Im Fokus steht hierbei die Operational Excellence, die Vermeidung von Verschwendungen und die damit verbundene Ressourceneffizienz.

Im Rahmen von Projekten werden verschiedene Lean-Prinzipien angewendet und weiterentwickelt, um Prozessabläufe effizienter zu gestalten. Die Spanne reicht hierbei von der einfachen Verschwendungssuche und Prozessverbesserung bei Produktionsabläufen, über die Integration von Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz in das Shopfloor-Management (Führen vor Ort) sowie die „Lean-Logistic“ mit neu entwickelten Methoden und der Integration von logistischen Informationsflüssen in Wertstromanalysen. Der Fokus liegt dabei auf den genannten Themen der Ressourceneffizienz, den Menschen, der Produktqualität und der Prozesszeit.

Im Projekt „RE-Plan – Planspiele für Ressourceneffizienz“ wurden beispielsweise eines der sechs Planspiele mit einem Schwerpunkt auf Lean und der damit verbundenen Ressourceneinsparung entwickelt. Es zeigt Möglichkeiten von Lean im Nachhaltigkeitsumfeld spielerisch auf. Integriert wurden dabei auch Maschinen und logistische Tätigkeiten. Zum Einsatz kommen ein um das Thema Nachhaltigkeit ergänztes Shopfloor-Management-Board oder ein effizienter Routenzug nach dem Warenkorb-Prinzip.

Weitere Forschungsfelder ergeben sich im Bereich der Produktentwicklung, die eine Auswirkung auf die spätere Planung und Produktion hat, sowie die Einfachautomatisierung (Karakuri), mit effizienten und intelligenten Lösungen zur Vermeidung von unnötiger Arbeitskraft und Energie.

Publiziert werden zum Thema Lean neben dem Lehr- und Praxisbuch „Lean Management“ (2. Auflage, Springer, Heidelberg) auch Journalartikel mit dem Schwerpunkt „Lean and Green“.

Das aktuelle Forschungsthema am INEC sind die passende Führung und Kultur im Kontext von Lean mit „Lean Empowerment“ (Schäffer-Poeschel). Lean Empowerment geht einen Schritt weiter, als der Gedanke von Lean Leadership und berücksichtigt neben dem Menschen und der Führung auch die Lean-Werte in der Unternehmenskultur. Damit wird die Brücke zum Themenfeld Change-Management geschlagen. Die Begleitung von Veränderungen ist sowohl bei Lean als auch der Ressourceneffizienz notwendig, denn die Ansätze erfordern einen kulturellen Wandel in Unternehmen und bei den Menschen.

DR. FRANK BERTAGNOLLI

ist Professor für „Lean Production und Ressourceneffizienz“ und Leiter des Bachelor-Studiengangs Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz.



&lt;

Lean-Projekt in der Praxis mit dem Einsatz von Cardboard Engineering in Kooperation mit einem Pforzheimer Unternehmen.

Foto: INEC

# Sechs Planspiele für Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz



RE:MATERIAL

RE:MFKR

RE:LEAN

RE:GEBÄUDE

RE:PRODUKTION

RE:DESIGN

Spielerisch ressourceneffizientes Handeln zu verstehen und in der Praxis umzusetzen, so dass CO<sub>2</sub> eingespart werden kann, ist das Ziel einer Reihe von sechs Planspielen, die das Institut für Industrial Ecology (INEC) zusammen mit ihren Projektpartnern RKW Projekt GmbH und Umwelttechnik BW GmbH entwickelt hat.

[www.replan-spiele.de](http://www.replan-spiele.de)



VON FRANK BERTAGNOLLI | erschienen  
in den KONTUREN HSPF 2023

**A**usgangspunkt war ein Forschungsprojekt der nationalen Klimaschutzinitiative des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit mit dem Fokus auf den Themen Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz.

„Sie sind Leiter\*in der Produktion und müssen sich für eine der folgenden Möglichkeiten entscheiden...“ mit dieser Instruktion werden Teilnehmende in unterschiedlichste Rollen der Industrie gebracht und müssen sich überlegen, wie sie effizient und effektiv agieren können, um die gesteckten Ziele der Betriebswirtschaft und Nachhaltigkeit zu erreichen.

Die sechs Planspiele bilden unterschiedliche Themengebiete ab: Produktentstehung mit Ecodesign, Lean Production und Logistik, Materialflusskostenrechnung, Energie- und Stoffstrommanagement, Energieeffizienz in Verwaltungsgebäuden sowie bei Querschnitts-



< *Lean in Aktion: Beim Planspiel zu Lean Production werden unterschiedliche Produktvarianten zusammengebaut und dabei alle Produktions- und Logistikprozesse auf deren Ressourceneffizienz überprüft und schrittweise verbessert. Foto: Nadja Flad*



^ *Aktivitäten und Berechnungen im Planspiel über Energie- und Stoffstrommanagement. Foto: Michael Karalus*

^ *Studierende des Masterstudiengangs Lifecycle & Sustainability (MLICS) im Planspiel zur Materialflusskostenrechnung. Foto: Nadja Flad*

technologien. Egal mit welcher Methodik oder Thematik man sich dem Thema nähert, die unterschiedlichen haptischen Planspiele zeigen auf, wie Kosten, Energie, Ressourcen und CO<sub>2</sub> eingespart werden können.

Spielerisch werden in den sechs unterschiedlichen Planspielen Alltagssituationen und notwendige Entscheidungen simuliert. Im geschützten Raum des Planspiels sind Fehler erlaubt, um daraus für die Realität zu lernen. Alle Entscheidungen und Handlungen können anhand von Kennzahlen über mehrere Runden immer wieder überprüft werden und geben so eine Rückmeldung zum eigenen Handeln. Methoden, Vorgehensweisen und Einflussfaktoren für eine spätere praktische Umsetzung in der Wirtschaft werden hierbei geübt und identifiziert.

Die in den Spielen vermittelten Kenntnisse und Methoden qualifizieren Mitarbeiter\*innen, bestehende Strukturen in den Unternehmen zu hinterfragen und darüber hinaus eine Verhaltensänderung hin zu einem ressourcenschonenderen und damit auch klimafreundlicheren Handeln anzustoßen. So stellen alle Planspiele eine sehr gute Möglichkeit dar, die Kreativität der Mitarbeiter\*innen zu nutzen und die Zusammenarbeit über Abteilungs- und Hierarchiegrenzen hinaus zu fördern. Dabei ergeben sich neue Ideen für einen Transfer in die eigene unternehmerische Praxis. Langfristiges Ziel der Spiele ist

es, Klimaschutz- und Ressourceneffizienz-Maßnahmen dauerhaft in Prozessen zu verankern.

Die Planspiele stehen kostenfrei zum Download zur Verfügung und wurden mit ihren Konzepten und Vorgehensweisen durch die Herausgeber Kerstin Anstatt, Frank Bertagnolli und Mario Schmidt in einem 420-seitigen Buch veröffentlicht: **Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit – Sechs Planspiele für die betriebliche Weiterbildung** (2022, Springer, Open Access, <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-662-64071-5>). Zusammen mit dem Buch können sich Interessierte alle Planspielunterlagen herunterladen, diese selbst aufbauen und durchführen.

Neben der Industrie interessieren sich auch andere Hochschulen und Universitäten für die Planspiele. An der Hochschule Pforzheim kommen sie zum Beispiel im Masterstudiengang Lifecycle & Sustainability (MLICS) zum Einsatz. Ganz nach dem Motto: Spielen, Erfahrung sammeln, in der Praxis umsetzen und Nachhaltigkeitsziele erreichen.

**DR. FRANK BERTAGNOLLI**

ist Professor für Lean Production und Ressourceneffizienz und forscht am Institut für Industrial Ecology (INEC). Er war im Projekt RE:Plan vor allem für das Planspiel mit dem Schwerpunkt „Lean Production“ verantwortlich.

IDEEN FRÜH BEWERTEN,  
WENN EINFLUSSMÖGLICHKEITEN  
AM HÖCHSTEN SIND.

green-check-your-idea.com

UMWELT  
TECHNIK  
BW

L-BANK  
Kreditbank für Baden-Württemberg

Annika Reischel präsentiert  
die Ergebnisse von Green Check  
Your Idea auf dem Ressourcen-  
effizienz-Kongress 2019.  
Foto: Mario Schmidt

KONGRESS BW



# Nachhaltigkeitsorientierte Innovationen in Unternehmen initiieren und umsetzen

VON CLAUD LANG-KOETZ UND SVEN SCHIMPF | erschienen in den KONTUREN HSPF 2022

## Leitlinien und Methoden für die Praxis

Nachhaltigkeit spielt für Wirtschaft und Industrie eine immer wichtigere Rolle, auch in Bezug auf Produkte und Lösungen – und damit auch für Innovationsaktivitäten von Unternehmen.

Im Innovationsmanagement wird die Grundlage für die Produkte und Lösungen der Zukunft gelegt. Es adressiert die Organisation der „Generierung und Umsetzung von neuen Ideen in marktfähige Leistungen“.

Wie können nun Nachhaltigkeitsaspekte in den Innovationsaktivitäten des Unternehmens verankert werden? Eine Schlüsselrolle nehmen hier nachhaltigkeitsorientierte Innovationen ein. Dies sind Innovationen, die nicht nur ökonomischen Nutzen, sondern auch sozialen und ökologischen Mehrwert schaffen.

Um solche Innovationen auf den Weg zu bringen, müssen Nachhaltigkeitsaspekte in das Innovationsmanagement integriert werden. Zum Stand der Dinge in der Industrie haben wir 110 Unternehmen mit folgenden Ergebnissen befragt: 58 Prozent der Teilnehmenden haben konkrete Ziele in Bezug auf Nachhaltigkeit in ihrer Innovationsstrategie verankert. Ebenfalls 58 Prozent nutzen bereits ökologische Kriterien zur Bewertung von Innovationsideen, nur 40 Prozent jedoch berücksichtigen soziale Kriterien. Es zeigt sich auch, dass Nachhaltigkeits- und Innovationsmanagement in der Praxis nur wenig miteinander verzahnt

sind: Lediglich 24,5 Prozent der befragten Unternehmen beziehen Expert\*innen aus dem Nachhaltigkeitsmanagement in Innovationsaktivitäten des Unternehmens mit ein.

Diese Ergebnisse und viele Gespräche mit Praktikern aus der Industrie zeigen: Nachhaltigkeit scheint noch kein integraler Bestandteil des Innovationsmanagements von Unternehmen zu sein. Es wird häufig als einschränkender Faktor gesehen, mit dem zusätzliche Anforderungen einhergehen, weniger als Chance für Innovation.

Hinterfragt man jedoch klassische Denkmodelle und Paradigmen und denkt Lösungen komplett neu, dann können klare Vorteile gegenüber Wettbewerbern im Zusammenspiel sozialer, ökologischer und ökonomischer Faktoren entstehen. Dazu sollten im klassischen Innovationsprozess von der Anforderungsermittlung über die Ideengenerierung bis zur Umsetzung auch ökologische und soziale Aspekte berücksichtigt werden.

In den letzten Jahren haben wir uns in Forschungsprojekten intensiv mit der Integration von Nachhaltigkeitsmanagement und Innovationsmanagement und der methodischen Unterstützung bei der Umsetzung nachhaltigkeitsorientierter Innovation beschäftigt.

Name	Zweck	Weitere Informationen
Methodenkoffer für nachhaltige Innovationsideen	Methodenset zur Einbringung von ökologischen und sozialen Nachhaltigkeitsaspekten in Kreativitätsprozesse <i>Leitfaden, entwickelt an der Hochschule (Design Factory-Projekt und INEC) siehe Beitrag von Preiss et al. in KONTUREN 2022</i>	<a href="https://tinyurl.com/nachhaltigkeitkeitscoach">https://tinyurl.com/nachhaltigkeitkeitscoach</a>
Geschäftsmodelle für Circular Economy	Entwicklung von Ideen für zirkuläre und nachhaltigere Geschäftsmodelle <i>Methode, entwickelt in Masterarbeit im Studiengang Life Cycle &amp; Sustainability</i>	<a href="https://tinyurl.com/ce-businessmodel">https://tinyurl.com/ce-businessmodel</a>
Impulse durch grüne Startups	Ideen von grünen Startups nutzen, um Innovationen voranzubringen <i>Konzept für Unternehmen, entwickelt im Forschungsprojekt GrüNetz durch INEC, Umwelttechnik BW und Grünhof</i>	<a href="https://www.pure-bw.de/de/gruenetz">https://www.pure-bw.de/de/gruenetz</a>
Green Check Your Idea	Ermittlung und Verbesserung der Umweltwirkungen von Innovationsideen <i>Web-Tool, entwickelt von INEC, Annika Reischl und Umwelttechnik BW, siehe auch Infokasten</i>	<a href="https://www.green-check-your-idea.com">https://www.green-check-your-idea.com</a>

Daraus haben wir folgende Aspekte abgeleitet, die wir bei der Entwicklung nachhaltigkeitsorientierter Innovationen als zentral erachten und die als Handlungsleitlinien für Unternehmen dienen können:

➤ **Nachhaltigkeitstrends im Unternehmensumfeld erkennen**

Unternehmen sollten aktuelle Entwicklungen und Trends mit Bezug zu Nachhaltigkeitsthemen und deren Einfluss auf Innovationsaktivitäten kontinuierlich betrachten. Anforderungen aus gesetzlichen Regeln zu CO<sub>2</sub>-Fußabdruck, Umweltwirkungen und Lieferkettentransparenz sind zu ermitteln und zu konkretisieren. Weiterhin empfiehlt es sich, eine Priorisierung auf Basis möglicher Auswirkungen betrachteter Trends durchzuführen und konkrete Nachhaltigkeits-Innovationsziele und -aktivitäten abzuleiten. So wird der strategische Rahmen für ein nachhaltigkeitsorientiertes Innovationsmanagement gesetzt.

➤ **Lösungen komplett neu denken**

Nachhaltigkeitsorientierte Innovationen erfordern ein komplett neues Denken. Anstatt bestehende Lösungen inkrementell zu verbessern, sollten etablierte Vorgehensweisen und Paradigmen hinterfragt werden. Als Leitfragen eignen sich hier beispielsweise: Wie muss eine Lösung für Kund\*innen gestaltet werden, um einen bestmöglichen Beitrag zur Umsetzung der Nachhaltigkeitsziele der Vereinten Nationen leisten? Wie kann der Hauptnutzen einer bestehenden Lösung erzielt werden, ganz ohne CO<sub>2</sub>-Fußabdruck? Hier sind neue Ideen gefragt, um Innovationssprünge zu ermöglichen.

➤ **Auswirkungen gezielt analysieren**

Als Grundlage für die Ermittlung von Verbesserungsmöglichkeiten dient eine fundierte Informations- und Datenbasis. Daher sollten ökologische und soziale Auswirkungen der eigenen Produkte und Lösungen über ihren Lebenszyklus hinweg ermittelt und transparent gemacht werden. Dabei sind sämtliche Phasen eines Produktsystems von der Rohstoffbeschaffung oder Erzeugung aus natürlichen Ressourcen über die Produktion, Logistik und Nutzung des Produkts bis hin zur Entsorgung zu betrachten.

Natürlich existieren im Innovationsmanagement und im Nachhaltigkeitsmanagement bereits vielfältige Methoden, beispielhaft genannt seien hier Trendmanagement / Corporate Foresight, Kreativitätstechniken zur Unterstützung der Ideenfindung oder Ökobilanzierung zur Analyse der Umweltwirkungen bestehender Produkte. Diese können die oben genannten Aspekte bzw. Handlungsleitlinien teilweise, jedoch nicht gänzlich abbilden.

Zur Unterstützung eines nachhaltigkeitsorientierten Innovationsmanagements sind in den letzten Jahren daher eine stetig wachsende Zahl frei verfügbarer Methoden und Tools entstanden. Einige wurden an der Hochschule Pforzheim entwickelt und sind in der Tabelle dargestellt. Sie können sowohl von Unternehmen als auch in der Lehre eingesetzt werden. Für die aufgeführten Methoden stehen weitere Erläuterungen und Arbeitsmaterialien zur Verfügung.

*Anmerkung: Kernaussagen dieses Artikels wurden in ähnlicher Form im IHK-Magazin Nordschwarzwald Nr. 5, Mai 2022 veröffentlicht.*

DR.-ING. CLAUD LANG-KOETZ

ist Professor für Nachhaltiges Technologie- und Innovationsmanagement und stellvertretender Leiter des Instituts für Industrial Ecology (INEC).

DR.-ING. SVEN SCHIMPF

ist Geschäftsführer des Fraunhofer-Verbunds Innovationsforschung sowie Professor für Innovations- und Interdisziplinaritätsforschung und Direktor des Instituts für Human Engineering & Empathic Design (HEED).

Ermittlung und Verbesserung der Umweltwirkungen von Innovationsideen mit dem kostenfreien Tool »Green Check Your Idea«:

[www.green-check-your-idea.com](http://www.green-check-your-idea.com)



# ReDiBlock

## Ressourcenschonung durch Distributed-Ledger- und Blockchain-Technologie für die industrielle Produktion und Kreislaufwirtschaft

VON LARISSA COBLENZER | erschienen in den KONTUREN HSPF 2024

In der mineralischen Rohstoffwirtschaft stehen Unternehmen vor zahlreichen neuen Informationspflichten. Neben dem Dodd Frank-Act (Sec. 1502) und der Konfliktmineralienverordnung der EU werden zukünftig noch weitere Vorgaben erwartet. Darunter auch Regelungen, die die Rohstoff- und Edelmetallwirtschaft erst auf den zweiten Blick, dafür aber umso stärker betreffen – wie die EU-Pläne für Sustainable Finance und der digitale Produktpass.

In der Vergangenheit hatten Unternehmen oftmals Schwierigkeiten, neue Pflichten rechtzeitig zu erfüllen, sobald sie in Kraft treten und von Gesetzgebern sowie Abnehmern gefordert werden.

Die Notwendigkeit, physische Stoff- und Güterströme über den gesamten Produktkreislauf hinweg zu qualifizieren, quantifizieren, analysieren und zu bewerten, um eine effiziente Steuerung zu ermöglichen, ist evident. Jedoch fehlt es in der Praxis oft an einer effektiven Datengrundlage für alle Akteure in Wertschöpfungs- und Kreislaufwirtschaftsnetzwerken. Häufig sind branchen- oder produktspezifische Insellösungen anzutreffen.

Genau hier setzt das Forschungsprojekt ReDiBlock an, an dem neben dem INEC der Thinktank Industrielle Ressourcenstrategien und das Institut für Angewandte Informatik und Formale Beschreibungsverfahren am Karlsruher Institut für Technologie (KIT AIFB) sowie das Software-Unternehmen ipoint systems GmbH in Reutlingen beteiligt waren. Das Ziel war die Entwicklung einer transparenten und

manipulationssicheren Informationsaustauschplattform entlang von Wertschöpfungsketten, basierend auf der Distributed-Ledger- (DLT) bzw. Blockchain-Technologie. Dadurch entstand die Grundlage für eine ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft, die einen sicheren und effizienten Austausch von Informationen – wie Material, Energie, Produktion, Verarbeitung, Qualität, Wartung und Recycling – zwischen verschiedenen Akteuren ermöglicht. In einer Zeit, in der eine nachhaltige Wirtschaftsführung immer entscheidender wird, bietet ReDiBlock eine innovative Lösung, um die Herausforderungen der Ressourcenschonung und des nachhaltigen Produktlebenszyklusmanagements anzugehen.

### Konzept

Im Rahmen des Projekts wurde ein allgemeines Systemkonzept entwickelt, aus welchem ein anwendungsspezifisches Konzept abgeleitet wurde. Letzteres wurde mit der Scheideanstalt C.Hafner GmbH + Co. KG aus Pforzheim entwickelt, getestet und evaluiert. Beide Konzepte basieren auf der DLT, da sich diese für eine effektive Datengrundlage in der Wertschöpfungskette eignet. Distributed Ledger, eine dezentrale Datenbank, arbeitet durch Verschlüsselung, Konsens-Algorithmen und miteinander verknüpften Informationsblöcke, um Transaktionen unveränderbar, transparent und nachvollziehbar zu gestalten. Die somit kontinuierlich wachsende Informationskette kann von berechtigten Netzwerkteilnehmern eingesehen werden. Sie gewährleistet eine vertrauenswürdige und lückenlose Überprüfung von der Rohmaterialgewinnung bis hin zum Endkunden, wobei gleichzeitig Datenschutz, Betriebsgeheimnisse und Anonymität berücksichtigt werden.

<

Das ReDiBlock Team zu Gast bei der Gold- und Silberscheideanstalt C.Hafner GmbH + Co.KG in Wimsheim. Von links: Christian Bergemann, Mikael Beyene, Larissa Coblenzer, Florian Bodrogi, Maria Dos Santos, Frauke Hänel.

Bildrechte: INEC





## Der Weg zum Produktpass und Zertifikat

Der materialgebundene Produktpass (Abb. 1) verfolgt den Lebenszyklus eines Produkts von der Rohstoffgewinnung bis zum Endverbraucher und dem Recycling und nutzt die Produktketten-Modelle der Identitätssicherung<sup>1</sup> und der Massensegregation<sup>2</sup>. Er ist immer dann Bestandteil des Systemkonzeptes, wenn es mit vertretbarem Aufwand möglich ist, digitale Produktpässe dauerhaft mit einem physischen Objekt zu verknüpfen.

Im Anwendungsfall sammelt ein Lieferant Altgold (bspw. Schmuck) und übergibt es als Schüttgut an C.Hafner. Gewicht, Herkunft und weitere Merkmale werden im DLT-System erfasst. C.Hafner nimmt das Schüttgut an, welches eindeutig als Old Scrap<sup>3</sup> identifiziert werden kann, scheidet es in seine Materialbestandteile, erstellt einen Nachweis, dass es sich um Old Scrap, also um „echtes“ Recyclinggold, handelt und produziert einen Goldbarren aus dem Material. Da der Goldbarren als physisches Objekt durch Seriennummer, Gewicht und optische Merkmale auf der Verpackung (QR-Code) mit dem digitalen Produktpass verknüpft wird, entsteht an dieser Stelle der materialgebundene Produktpass. Der verpackte Barren inkl. Produktpass geht im nächsten Schritt an den Händler, der beim Verkauf an den Verbraucher Daten wie HändlerID und Verkaufsdatum/-ort in der Blockchain hinter-

legt. Der Verbraucher hat letztendlich die Möglichkeit den Goldbarren inkl. Produktpass erneut dem Kreislauf zuzuführen.

Neben dem materialgebundenen digitalen Produktpass gibt es auch materialungebundene Zertifikate (Abb.2). Sie ermöglichen die Nachverfolgung von Rohstoffen oder Produkten, die sich aufgrund von Verarbeitungs-/Umwandlungsprozessen physisch nicht an den digitalen Produktpass binden lassen und basieren auf dem Produktketten-Modell des „Book and Claim“<sup>4</sup>. Die rechnerische Nachverfolgung mittels Zertifikaten ist weniger aufwendig als die physische mittels digitaler Produktpässe. Entsprechend kann ersteres auch eingesetzt werden, wenn letzteres zu aufwändig wäre oder keinen Mehrwert bietet. Zertifikate eignen sich, wenn die massenbilanzielle Verfolgung als Nachweis genügt. Akzeptieren Abnehmer z.B., dass es sich rein bilanziell um Old Scrap handelt, eignet sich das Zertifikatsystem.

Das Zertifikat wird in diesem Fall unabhängig vom Material gehandelt, was zu einem neuen Geschäftsmodell führen kann. C.Hafner könnte in diesem Beispiel ein Recyclingnachweis-Zertifikat ohne Material an einen Verarbeiter oder Händler verkaufen. Das Zertifikat wird ausgebucht und es bleibt physisches Recyclingmaterial ohne Zertifikat zurück. Im System wird garantiert, dass nicht mehr Nachweise generiert werden, als Old Scrap-Material verarbeitet wird. Die Zertifikate können nun beim

Abbildung 1: Anwendungsspezifisches Konzept – materialgebundener Produktpass

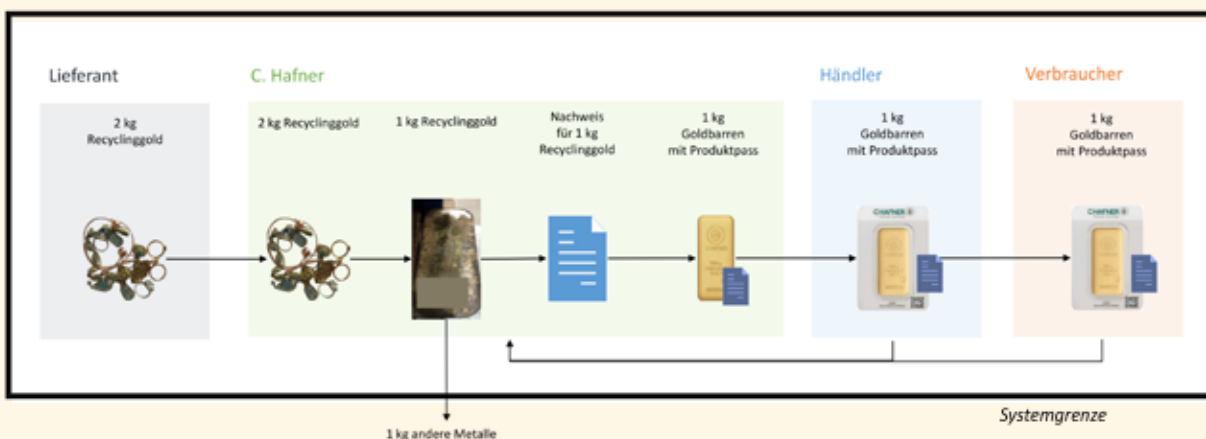
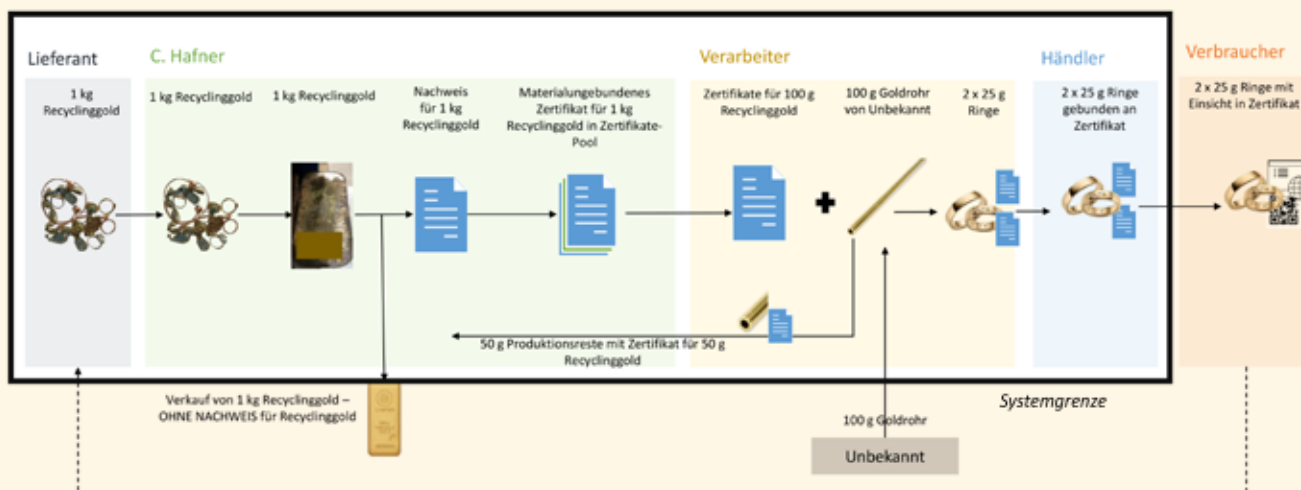


Abbildung 2: Anwendungsspezifisches Konzept – materialungebundenes Zertifikat





Das ReDiBlock-Team beim Abschlusstreffen im März 2023 an der Hochschule in Pforzheim. Von links: Mario Schmidt<sup>1</sup>, Ali Sunyaev<sup>2</sup>, Stefan Schiffer<sup>3</sup>, Sven Doleski<sup>4</sup>, Frauke Hänel<sup>4</sup>, Christian Bergemann<sup>5</sup>, Larissa Coblenzer<sup>1</sup>, Christian Kühne<sup>5</sup>, Sandra Popp<sup>6</sup>, Eduard Stefanescu<sup>6</sup>, Florian Bodrogi<sup>1</sup>, Carolin Hampel<sup>6</sup>, Mikael Beyene<sup>2</sup>, Philipp Reisert<sup>6</sup>. Foto: INEC

1 INEC | 2 KIT (AIFB) | 3 egf - Eduard G. Fidel GmbH | 4 iPoint | 5 Thinktank industrielle Ressourcenstrategien | 6 C.Hafner GmbH + Ko.KG

Verarbeiter mit Material aus unbekannter Herkunft vereint werden, da es sich laut Massenbilanz um Recyclingmaterial handelt. Das materialungebundene Zertifikat kann auch in zirkulären Wertschöpfungsketten übermittelt werden, indem es bspw. vom Verarbeiter oder Händler zurück zum Zertifikatersteller geführt wird.

Verbraucher befinden sich außerhalb der Systemgrenze und können nicht mit dem Zertifikat handeln, da dies zu einer Zertifikate-Akkumulation am Markt führen könnte.

Die Zertifikate können von unterschiedlichen Akteuren eines DLT-Systems in Umlauf gebracht werden. Sinnvoll ist, dass sich die Akteure eines Zertifikate-Handels vorab einigen, welche Akteure die Berechtigung zum Erstellen von Zertifikaten erhalten. Die Zertifikatserstellung sollte für alle Teilnehmer des Systems sowie Stakeholder vertrauenswürdig und transparent sein, etwa durch die Durchführung von Auditierungen des Erstellers.

<sup>1</sup> **Identitätssicherung:** Materialien bzw. Produkte können einzeln durch eine Wertschöpfungskette hindurch nachverfolgt werden, physische Trennung von allen anderen Objekten, zu jedem Zeitpunkt eindeutig identifizierbar, wird auch als hard IP oder track and trace bezeichnet.

<sup>2</sup> **Segregation:** physische Trennung von Materialien bzw. Produkten mit einer bestimmten Eigenschaft von den Materialien bzw. Produkten ohne diese bestimmte Eigenschaft, Unterschied zur Identitätssicherung ist: Objekte mit gleichen Eigenschaften dürfen vermischt werden, eine Vermischung mit Gütern ohne die betrachtete Eigenheit erfolgt nicht, wird auch als bulk commodity oder soft IP bezeichnet.

<sup>3</sup> **Altschrott:** ist Metall in Produkten, welche das Ende ihrer Nutzung erreicht haben.

<sup>4</sup> **Massenbilanz:** Ansatz sieht ausdrücklich vor, dass Objekte mit einer betrachteten Eigenschaft mit Objekten ohne jene Eigenschaft vermischt werden dürfen; Kontrolle, dass nicht mehr Güter mit einer bestimmten Eigenschaft einen Bilanzraum verlassen, als zuvor in diesen Bilanzraum gelangt sind; Nachverfolgung der Materialströme erfolgt nicht durch physische Trennung, sondern rechnerisch; auch als blending bekannt.

Quellen von **1, 2, 4:** ISEAL Alliance (2016): Chain of custody models and definitions. (Version 1.0) [https://www.isealalliance.org/sites/default/files/resource/2017-11/ISEAL\\_Chain\\_of\\_Custody\\_Models\\_Guidance\\_September\\_2016.pdf](https://www.isealalliance.org/sites/default/files/resource/2017-11/ISEAL_Chain_of_Custody_Models_Guidance_September_2016.pdf); ISO 22095:2020(E): Chain of custody — General terminology and models. <https://www.iso.org/standard/72532.html>

## Übertragbarkeit auf andere Branchen

Die Edelmetallindustrie eignete sich sehr gut als Fallbeispiel, da hier strenge Branchenanforderungen, vor allem was Transparenz, Nachvollziehbarkeit, Konformität und Geheimhaltung angehen, beachtet werden müssen. Anforderungen an Zertifizierungen sowie Gesetzeskonformität können mit dem entwickelten DLT-Ansatz leichter erfüllt und nachgewiesen werden. Ebenso kann das Carbon Footprinting entlang der Lieferkette in der DLT abgebildet werden. Hierfür bedarf es weiterer Gespräche und Standards innerhalb der Lieferkette sowie einer Einigung über Bilanzierungsmethoden und -grenzen. Gleichzeitig können die detaillierten Erkenntnisse der Fallstudie auch auf andere Branchen übertragen werden.

Sowohl der materialgebundene Produktpass als auch das materialungebundene Zertifikat existieren gemeinsam in einem System und bilden keine isolierten Insellösungen. Durch vielfältige Kombinations- und Erweiterungsoptionen können sie verschiedene Branchen auf künftige Informationspflichten und Gesetze vorbereiten.

Insgesamt bietet das Projekt ReDiBlock eine wegweisende Möglichkeit, den Übergang zu einer ressourceneffizienten und nachhaltigen Industrie zu fördern, indem es eine vertrauenswürdige Plattform für den sicheren Austausch von Informationen entlang von Wertschöpfungsketten schafft.

LARISSA COBLENZER

ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Industrial Ecology (INEC).

# Recyceltes Gold aus der Goldstadt ist auch ökologisch goldig

VON MARIO SCHMIDT |  
erschiene*n* in den KONTUREN HSPF 2020



^  
Ein Goldnugget aus  
den Goldgruben  
des brasilianischen  
Regenwaldes  
(ca. 2,5 cm Länge)

Wie kaum ein anderer Rohstoff begleitet Gold die Menschheitsgeschichte, löst Emotionen und Begehrlichkeiten aus und steht für Erfolg und Reichtum. Aber mit der Goldgewinnung ist Mühsal und Verderben verbunden, wissenschaftlicher: soziale und ökologische Begleitumstände, die immer häufiger auch beim Endverbraucher in Frage gestellt werden. Wie sieht die Ökobilanz der Goldgewinnung aus?

**W**as für Arbeitsbedingungen herrschen beim Goldabbau? Gibt es auch Fair Gold oder Green Gold? Ein wichtiger sozialer und ökologischer Brennpunkt ist die Gewinnung von Gold im handwerklichen Kleinbergbau. Sie erfolgt immer noch mit Methoden wie im Mittelalter und belastet die Umwelt durch hohe Quecksilberfreisetzungen, z.B. im Amazonas Regenwald in Brasilien. Ein vom Bundesforschungsministerium gefördertes Forschungsprojekt am Institut für Industrial Ecology (INEC) ging dem sozialen und ökologischen Fußabdruck des Goldes nach.

Gold ist auch aus anderen Gründen ein interessantes Beispiel. In der Menschheitsgeschichte wurden bislang ca. 190.000 t Gold abgebaut. Das meiste davon befindet sich noch im Umlauf, nur max. 15% davon sind bislang verloren gegangen. Gold ist also ein Paradebeispiel für funktionierendes Recycling, nicht zuletzt durch den hohen ökonomischen Wert. Gold wird wiedergewonnen z.B. aus Elektroschrott. Diese Prozesse sind bekannt, und die Zahlen über die dort auftretenden Umweltbelastungen fließen



in zahlreiche Ökobilanzen von Produkten mit ein, z.B. von Elektronikprodukten, in denen Gold verwendet wird. Ebenso sind die enormen Umweltbelastungen aus dem Bergbau bekannt. Gerne wird kolportiert, dass an einem Ehering aus Gold mehrere Tonnen an umweltschädlichen Abfällen und Emissionen hängen. Doch das ist nur die halbe Wahrheit.

Gerade in der „Goldstadt“ Pforzheim sind viele Scheideanstalten angesiedelt. Sie recyceln Edelmetalle und insbesondere auch Gold, teilweise aus Elektroschrott. Aber den größten Anteil macht sogenannter High-Value-Scrap aus, also Schrott, der einen sehr hohen Goldanteil hat, z.B. von Schmuck oder Zahngold. Dieser High-Value-Scrap hat mit 90% Anteil beim weltweiten Recycling eine viel größere Bedeutung als beispielsweise das Recycling aus Elektroschrott, der nur etwa 10% ausmacht. Dazu kommt, dass das in Deutschland produzierte\* Gold weitgehend aus dem Recycling stammt, die Lieferquellen relativ gut nachvollziehbar sind und praktisch kein Doré-Gold aus zweifelhaften Quellen eingesetzt wird. Was die letzte Verwendungs- und Verwertungsstufe angeht, ist dieses Gold quasi frei von den unmittelbaren sozialen Bedingungen des Goldabbaus.

Die Umweltauswirkungen dieses Goldrecyclings waren bisher unbekannt, da sie weitgehend dem Betriebsgeheimnis unterlagen. Die Auswertung interner Prozessdaten von führenden Pforzheimer Scheideanstalten im Rahmen des NaGold-Projektes zeigte nun, dass das Recycling von Altgold im Vergleich zu industriellen und kleinbergbaulichen Minen sowie zum Elektroschrottreycling um Zehnerpotenzen besser abschneidet. Die Produktion von einem Kilogramm Gold verursacht einen Klima-

fußabdruck von ca. 53kg Kohlendioxid-Äquivalent (CO<sub>2</sub>-Eq), und ist damit um Faktor 300 geringer als die rund 16 Tonnen CO<sub>2</sub>-Eq der gleichen Menge an Gold aus einer Minenförderung. Diese Ergebnisse weichen deutlich von den derzeit verwendeten Daten in gängigen Ökobilanz-Datenbanken und in der Fachliteratur ab. In der Grafik rechts ist ein Vergleich mit den ermittelten Werten dargestellt. Auch der kumulierte Energieaufwand ist mit 820 MJ pro kg Gold deutlich niedriger. Quecksilberemissionen fallen praktisch nicht an.

Gold aus dieser Quelle und produziert mit diesem technologischen Standard, den man als derzeit beste verfügbare Technologie bezeichnen kann, hat also deutliche soziale und ökologische Vorteile. Dieses erstaunliche Ergebnis setzt voraus, dass die Lieferkette von Gold tatsächlich nachvollziehbar ist und kein Primär- oder Sekundärgold aus zweifelhaften Quellen zum Einsatz kommt. Die Transparenz der Lieferkette spielt deshalb eine entscheidende Rolle. Sie ist in den meisten Produktionsländern nicht gegeben.

Im kleinbergbaulichen Bereich bei der Gewinnung von sogenanntem Seifengold über Waschrinnen (wie auf dem Foto) liegen die Werte in ähnlichen Bereichen wie beim kommerziellen Bergbau, also deutlich höher als beim Recycling. Dies ergaben Abschätzungen aus Untersuchungen von ca. 20 verschiedenen informellen Minen im brasilianischen Amazonas Regenwald im Rahmen dieses Projektes. Der Klimafußabdruck liegt mit ca. 43 t CO<sub>2</sub>-Eq pro kg Gold verhältnismäßig hoch trotz des hohen Anteils an „Handarbeit“. Dazu kommen deutliche Quecksilberemissionen, die momentan aber noch nicht ausreichend validiert sind.

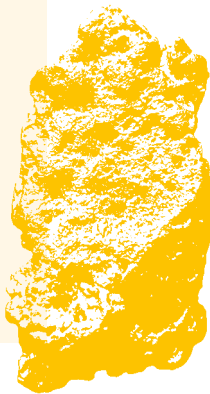
Doch der Kleinbergbau ist komplex. Zum einen kommen hier massive soziale Probleme und die Frage der Legalität hinzu. Zum anderen ist der Kleinbergbau die Lebensgrundlage von vielen Menschen

\* Das gilt nicht für das gehandelte Gold, das auch aus anderen Ländern stammen kann.



<  
 Goldgewinnung in einem Stich von Agricola aus dem Jahr 1557 und heute bei Goldgräbern im Amazonasgebiet mit einer Waschrinne bzw. caixa (auf Portugiesisch). Die Methode ist die gleiche

Fotos: Mario Schmidt



gerade aus ärmsten Verhältnissen. Die brasilianische Region am Fluss Tapajös ist ein Zentrum des kleinbergbaulichen Goldabbaus. Im Rahmen dieser Studie wurden auch die sozialen Probleme mit Hilfe der Methode des Social Life Cycle Assessments (SLCA) untersucht. Es zeigten sich Schwächen der neuen SLCA-Methode, und es konnten neue Aspekte aufgezeigt werden, z.B. die Bedeutung von Autonomie und Freiheit für die Goldgräber, was ein großes Hemmnis für Transformationsprozesse weg vom schädlichen Goldabbau in der Amazonasregion ist (in Konturen 2019, S. 148 hatten wir davon berichtet). Es zeigte sich außerdem der enge Zusammenhang zwischen der Urbanisierung des brasilianischen Regenwaldes und dem Goldabbau. Seit den 70er Jahren ist die Flächen von Goldgruben im brasilianischen Regenwald um das 17fache gestiegen. Die Flächen durch sonstige Nutzung sind in derselben Zeit um das fast Tausendfache angestiegen. Besonders auffällig bei einer Vor-Ort-Erhebung im Brasilien war der verstärkte Einsatz von Baggern, der nicht nur für die Goldgruben selbst, sondern auch für die Erschließung unwirtlicher Regionen und das Anlegen von Straßen und Wegen genutzt wird. In dem Gefolge des Goldabbaus, dessen

ökologische Auswirkungen meistens nur lokal sind, ziehen dann andere und weitaus raumgreifendere Nutzungen nach. Der Baggereinsatz der Goldgräber beschleunigt diese Prozesse.

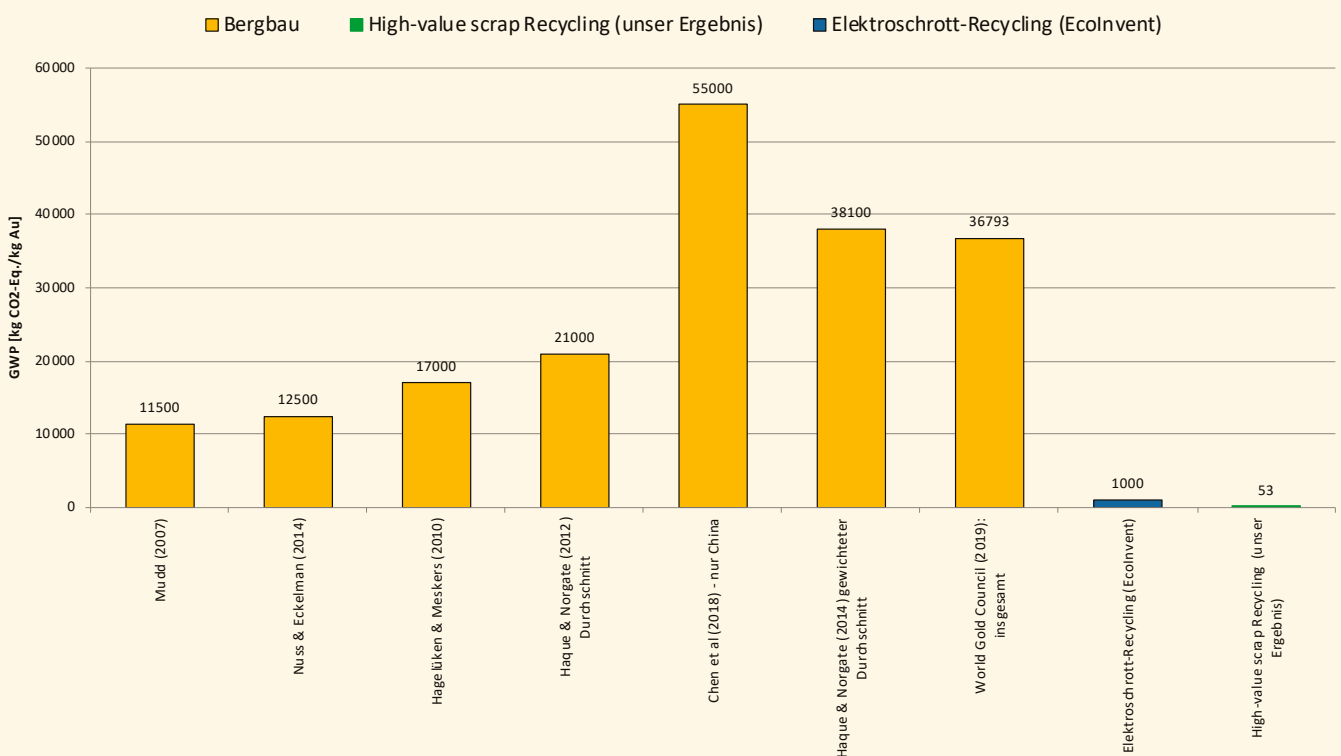
Als Konsequenz aus dem Projekt folgt, dass in Wissenschaft und Praxis gängige Gold-Datensätze für die Ökobilanzierung korrigiert und an die neuen Analysen angepasst werden müssen. Ebenso fraglich ist die Qualität anderer Edelmetall-Daten, die derzeit im Einsatz sind. Die Zahlen spiegeln allerdings nur deutsche Produktionsverhältnisse wider, ausländische Bedingungen müssten detailliert recherchiert werden, was aber schwierig erscheint. Besonders wichtig ist die Transparenz und Nachverfolgbarkeit der Lieferkette. Dies müsste auch von der deutschen Branche offensiver verfolgt und kommuniziert werden.

Im Kleinbergbau ist die Lösung der sozialen Frage entscheidend für eine Verringerung der Umweltbelastung, z.B. durch den Quecksilbereinsatz im brasilianischen Regenwald. Trotz des öffentlichen Interesses an dem Thema ist die Datenlage über die sozialen und ökologischen Bedingungen des Goldabbaus verhältnismäßig schlecht. Es fehlen verlässliche quantitative Daten, um die Belastungssituation und die Entwicklung der letzten Jahre – abgesehen von Einzelbeobachtungen – repräsentativ einschätzen zu können. Dafür kursieren jede Menge Gerüchte, Räuberpistolen und reißerische Reportagen, deren Wahrheitsgehalt man stets vorsichtig hinterfragen sollte, wenn es um Gold geht. Denn Gold veranlasst die Menschen zum Träumen – seit Jahrtausenden.

DR. MARIO SCHMIDT

ist Professor für Ökologische Unternehmensführung und Direktor des Instituts für Industrial Ecology (INEC) an der Hochschule Pforzheim.

Vergleich von Literatur- und Datenbank-Werten mit dem Klimafußabdruck aus dieser Studie (rechts).



# Goldbagger sind die Vorhut der Regenwaldkiller

VON BENJAMIN FRITZ | erschienen in den KONTUREN HSPF 2019

Professor Bernhard Peregovich (Universität Santarem), Professor Dr. Mario Schmidt und der „Dono“ (Besitzer) der Goldmine vor einer Waschrinne im Amazonas Regenwald.

Ale Fotos: INEC



## Eine Forschungsreise an den Amazonas zeigt eine deprimierende Entwicklung

Viele nennen Pforzheim die Goldstadt, denn hier wird tonnenweise Gold verarbeitet und auch „produziert“ – in den zahlreichen Scheideanstalten. Übrigens, wie ein aktuelles Forschungsprojekt des Instituts für Industrial Ecology (INEC) zeigt, mit phantastisch günstigem Klimafußabdruck, denn in Deutschland wird fast nur Recycling-Gold eingesetzt.

Das ist leider nicht überall so, wie eine Forschungsreise in den brasilianischen Regenwald des Amazonas unter Leitung von Professor Dr. Mario Schmidt gezeigt hat. Dort wird in unzähligen kleinen Goldgruben, so genannten Garimpos, nach Gold geschürft. Meistens illegal, aber das ist ein schwieriger Begriff, denn vom Staat ist hier kaum etwas zu sehen – keine Polizei, keine Schulen, keine Infrastruktur. Ein bisschen Wild West, und die „Freiheit“ ist es auch, die von den Garimpeiros als größtes Gut angesehen wird, selbst wenn sie oft bittere Armut bedeutet.

Der Goldabbau schlägt Schneisen in den Regenwald. Aber das Abholzen ist nicht das eigentliche Problem – der wachsende Sojaanbau oder die Rinderzucht sowie das Einschlagen von Edelhölzern sind viel raumgreifender. Schlimmer ist der Eintrag von Quecksilber und Cyaniden in die Umwelt, denn mit diesen einfachen Gewinnungsmethoden kann auch ohne großen technischen Aufwand Gold gewonnen werden. Die meisten Garimpeiros gehören zu der ärmsten Schicht in Südamerika, sind überwiegend Analphabeten und können sich keine großen Investitionen leisten. Oft ist es nur ein Gramm Gold pro Tonne Sediment, das dem Boden abgerungen wird, mit einem großen Umsatz an Schlamm, der in den Nebenflüssen des Amazonas landet.

Diese ökologischen Einwirkungen untersuchte Professor Mario Schmidt gemeinsam mit seinen Mitarbeitern Benjamin Fritz und Sally Springer sowie dem Geologen, Professor Bernhard Peregovich von der brasilianischen Bundesuniversität in San-

tarem. Professor Schmidt war vor fünf Jahren schon einmal hier. Im Sommer 2018 war im Rahmen des BMBF-geförderten Forschungsprojektes „NaGold“ ein Team im Amazonas Regenwald unterwegs, fernab der Zivilisation, hat 15 teils illegale Goldminen besucht und ca. 50 Interviews mit Garimpeiros und anderen Personen geführt. Im Mittelpunkt stand eine Region am Tapajós. Der „Nebenfluss“



>  
INEC-Mitarbeiterin  
Sally Springer lässt  
sich in einen Minen-  
schacht abseilen.



des Amazonas führt viermal so viel Wasser wie der Rhein, die weitgehend unerschlossene Region ist so groß wie Baden-Württemberg.

Die Goldminen sind gar nicht mal die schlimmsten Eingriffe in die Natur. Sie sind meist nur Nadelstiche in den Weiten des Regenwaldes, der sich über Tausende von Kilometern erstreckt. Erreichbar sind die Goldminen nur langwierig über Boote entlang der Seitenflüsse des Amazonas oder schneller mit Buschtaxis und auf einer der zahlreichen illegalen Landepisten im Urwald. Der Einsatz von schwerem Gerät ist fast unmöglich, lediglich die Dieselpumpen zum Wegschlännen des Sediments sind unverzichtbar. So war es zumindest früher.

Doch inzwischen haben Bagger in den Minen Einzug gefunden. Waren es vor fünf Jahren nur wenige, so ist das heute fast Standard in den Garimpos des Tapajós. Damit steigt die Produktivität der Minen. In gleicher Zeit kann fast viermal so viel Fläche bearbeitet werden. Schlimmer noch: Mit den Baggern können Wege und Straßen durch den Urwald geschlagen werden. Die Region wird plötzlich erschlossen. Siedlungen bilden sich. Der Regenwald wird damit auch für die Holzfäller, Rinderfarmer und Sojabauern erreichbar. Diese sekundären Effekte sind das, was die Forscher besonders sorgt. Der Druck auf den Regenwald nimmt damit zu, die Folgen davon sind noch nicht absehbar.

Kann man den Goldabbau im Regenwald nicht einfach verbieten? Das war in der Vergangenheit schon schwierig und wird jetzt unter der neuen Regierung in Brasilien prak-

tisch unmöglich. Es finden kaum noch Kontrollen statt. Die ohnehin schon knappen Mittel der Umweltbehörde werden weiter eingeschränkt. Vergessen wird aber meistens, dass allein in der Tapajós-Region schätzungsweise 100.000 Menschen in den Goldminen arbeiten. Sie betrachten das als ihren Beruf, der ihnen einen bescheidenen Wohlstand ermöglicht. Will man etwas für den Regenwald tun, so muss man das soziale Problem lösen.

Doch mit Arbeitsplätzen durch die Ansiedlung von Industriebetrieben oder legal arbeitenden Minen, die dann auch gewisse Umweltauflagen einhalten, ist es nicht getan. Sie finden kaum Mitarbeiter. Die Garimpeiros winken ab: in einer Firma arbeiten, mit festem Gehalt? Undenkbar. In den Goldminen gibt es einen Spruch: „Es ist einfach, aus einem Menschen einen Garimpeiro zu machen, aber unmöglich, aus einem Garimpeiro wieder einen Menschen zu machen“. Die Freiheit und die

Hoffnung auf den großen Goldfund entpuppen sich als die große soziale Falle. Nachhaltigkeit wird zu einem komplexen ökologischen und sozialen Problem.

Für die Konsumenten in den reichen Ländern bedeutet das, auf die Herkunft ihres Schmucks zu achten. Woher kommt das Gold? Unter welchen sozialen oder ökologischen Bedingungen wurde es gewonnen? Oder stammt es aus dem Recycling vorhandenen Goldes? Etwa 200.000 Tonnen Gold wurden in der Menschheitsgeschichte bisher gewonnen und ist immer noch irgendwo verfügbar – in den Tresoren der Banken oder in Schmuckschatullen zuhause. Und recyceln können zum Beispiel die Pforzheimer Scheideanstalten...

BENJAMIN FRITZ

ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Industrial Ecology INEC.

„Luxusbungalows“ der verhältnismäßig wohlhabenden Garimpeiros in Mamoal.

v

Eine Cyanid-Küche mitten im Amazonas Regenwald.

v



# Mit Spieltheorie und Operations Research dem **Gold** auf der Spur

Seit 50 Semestern »lese« ich Operations Research (OR) in der Fakultät für Wirtschaft und Recht, aktuell erfolgt das in den Vorlesungen »Mathematische Optimierung« und »Quantitative Analytics«. Für die Studentinnen und Studenten ist das meistens ein Horrorfach. Mathematik! Durchfallquoten von 30 Prozent (wobei sie bei einem meiner Vorgänger eher bei 60 Prozent lagen). **Wozu braucht man OR? Hat das überhaupt eine praktische Relevanz?**

VON MARIO SCHMIDT |  
erschieden in den KONTUREN  
HSPF 2026

**G**rundsätzlich hat OR bei uns die Aufgabe, auch die analytischen Fähigkeiten unserer Studierenden zu schulen. OR fördert das Abstrahieren von Problemen und stärkt die methodische Stringenz von Lösungen. Den Sinn der Methoden will ich an einem Beispiel aufzeigen, das mir gerade in meiner aktuellen Forschung begegnet ist. In der Goldstadt Pforzheim hat es natürlich mit diesem besonderen Edelmetall zu tun.

Gold wird in vielen Minen als Kuppelprodukt abgebaut. Das heißt, aus dem Erz wird nicht nur Gold, sondern auch Kupfer, Silber, Zink oder Blei gewonnen. Gemeinsam. Vergesellschaftet heißt es in der Geologensprache. Der Abbau ist sehr energieintensiv und, da das meistens mit dieselgetriebenen Geräten erfolgt, sehr klimaschädlich.

**Doch wie verteilt man nun die damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen auf die einzelnen Metalle, wenn die Emissionen gemeinsam anfallen?**



Genau das ist das Problem der Kuppelproduktion, ein altes Problem aus der Betriebswirtschaftslehre, wenngleich es da nicht um CO<sub>2</sub>-Emissionen, sondern um Kosten geht.

Schon die alten Meister der Wirtschaftswissenschaften hat dieses Thema umgetrieben. Adam Smith beschrieb das Grundproblem der Kuppelproduktion 1776 in seinem Hauptwerk "The Wealth of Nations": »Es gibt bestimmte Arten von Rohprodukten, die die Natur zu einer Art Anhang anderer Arten gemacht hat, sodass die Menge, die ein Land davon produzieren kann, zwangsläufig durch die Menge der anderen begrenzt ist«. John Stuart Mill behandelte das Problem der Kuppelproduktion 1871 in den Principles of Political Economy.

Er hatte das Beispiel der Schafzucht vor Augen, bei der Wolle und Fleisch gemeinsam produziert werden und sich die Kosten nicht sinnvoll aufteilen lassen. Auch andere Koryphäen der Wirtschaftswissenschaften versuchten später ohne Erfolg, wissenschaftlich eindeutige Aufteilungsregeln zu finden. Es blieb bei einer banalen und fast willkürlichen Aufteilung der Kosten z.B. nach Gewicht (genauer: Masse) der Kuppelprodukte oder nach Wert, d.h. da fließen dann die Marktpreise der Produkte mit ein.

Für das Goldbeispiel hat das kurose Folgen. Stellt man sich beispielsweise eine Gold-Kupfer-Mine vor, so kann man davon ausgehen, dass sich in einer Tonne Erz etwa 10 kg Kupfer und 1 Gramm (!) Gold befinden. Wenn beim Abbau der Tonne Erz 40 kg CO<sub>2</sub> freigesetzt werden, müssen sie auf Gold und Kupfer verteilt werden (die Experten reden von »alloziert«). Bei einer gewichtsbezogenen Aufteilung führt das bei beiden Metallen zu ähnlich hohen Emissionen, nämlich zu 4 kg CO<sub>2</sub> pro Kilogramm Metall. Sehr ungerecht, denn in reinen Goldminen liegt der Wert für Gold

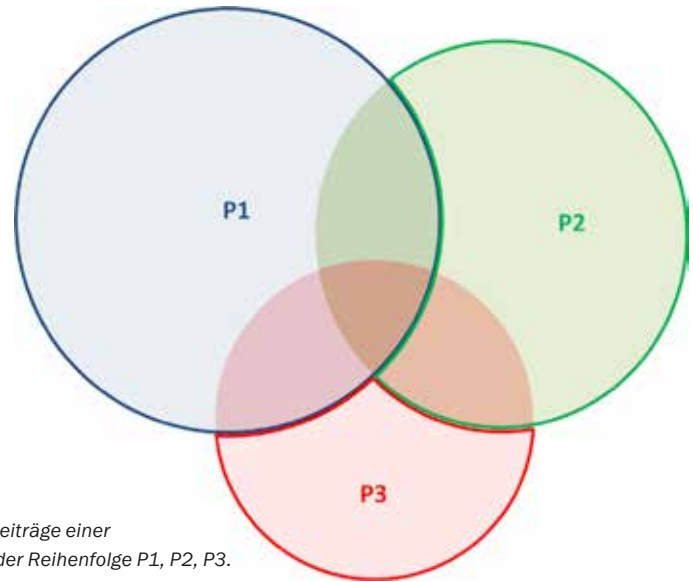
&lt;

Die Bingham Canyon Mine in den USA ist 1200 Meter tief und fördert jährlich 150.000 t Kupfer, 4 t Gold und 60 t Silber.

Bild: Fotolia/Royce Bair MMVIII.

&gt;

Abb. 1: Die Kostenbeiträge einer Dreierkoalition mit der Reihenfolge P1, P2, P3.



um das 10.000fache höher. Bei einem wertbezogenen Ansatz muss man den Preisunterschied zwischen Kupfer und Gold berücksichtigen. Die 10 kg Kupfer sind etwa 100 \$ wert, das eine Gramm Gold genauso viel. Pro Kilogramm Metall führt das zu enormen Unterschieden: Kupfer hat dann einen »Carbon Footprint« von 2 kg CO<sub>2</sub>, Gold dagegen von 20.000 kg CO<sub>2</sub> pro Kilogramm. Das ist immerhin vergleichbar mit den Werten aus reinen Goldminen.

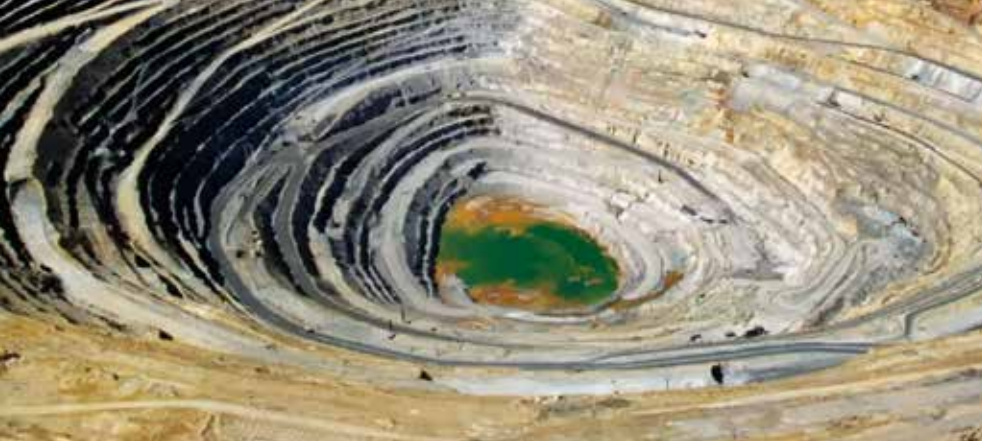
### Das eigentliche Problem liegt aber darin, dass der Goldpreis sehr volatil ist.

Vor 3 Jahren lag er noch bei 60.000 \$/kg. Im Januar 2026 überschritt er 150.000 \$/kg. Dementsprechend würde sich auch der Carbon Footprint der Metalle ändern, nicht, weil sich an den Emissionen etwas ändert, sondern weil sich die Preisrelationen verschieben. Für die Erstellung von Klimabilanzen von Produkten und Unternehmen sind diese Artefakte der Berechnung störend, denn sie zeigen nichts über tatsächliche Minderungsmaßnahmen. Wenn man beispielweise bei einem Mobiltelefon den Goldeinsatz durch bessere Produktentwicklung halbiert, hätte man am Ende trotzdem einen höheren Beitrag zur Klimabilanz des Mobiltelefons.

Doch jetzt kommt OR ins Spiel, im wahrsten Sinn des Wortes. Denn eine Lösung bietet sich durch die sogenannte Spieltheorie an, die oft auch Gegenstand in den OR-Vorlesungen ist. Es geht um die sogenannten Koalitionsspiele: Welche Vorteile (d.h.

z.B. geringere Kosten oder eben CO<sub>2</sub>-Emissionen) haben »Spieler«, wenn sie sich zu Koalitionen zusammenschließen?

Stellen wir uns dazu beispielhaft ein Projekt vor, bei dem ein bestimmter Nutzen generiert wird, der Kosten C verursacht. Diese Kosten seien in **Abb.1** durch die Flächen dargestellt. Spieler P1 beginnt sozusagen als Einer-Koalition und trägt seine Kosten C(P1) komplett selbst (blaue Umrandung). Ein weiterer Spieler P2 (grün) kommt hinzu, der gemeinsame Nutzen, aber auch die Kosten vergrößern sich, doch es gibt auch einen Überlapp an Kosten, d.h.  $C(P1+P2) < C(P1) + C(P2)$ . Es handelt sich nun um eine Zweierkoalition. Aber Spieler P2 zahlt nur die zusätzlichen Kosten  $C(P1+P2) - C(P1)$ , die durch ihn entstehen (grüne Umrandung), denn ein Teil (die Schnittmenge zwischen blauer und grüner Fläche) wird bereits von P1 getragen. Ein Spieler P3 kommt hinzu (Dreierkoalition) und auch er zahlt nur die durch ihn verursachten zusätzlichen Kosten (rote Umrandung). Diese Kostenaufteilung ist willkürlich und erscheint ungerecht, weil Spieler P1 einen wesentlich größeren Beitrag leistet als Spieler P2 oder P3. Wäre die Reihenfolge umgekehrt, also hätte z.B. Spieler P3 zuerst angefangen und zum Schluss wäre Spieler P1 hinzugekommen, so hätte Spieler P1 den geringsten Beitrag zahlen müssen. In jedem Fall liegt eine Unfairness vor, egal bei welcher Reihenfolge. Die Lösung des Gerechtigkeitsproblems ist, dass man alle möglichen Reihenfolgen des Eintritts in die Koalition permutiert, also jeder mal Erster bzw. Zweiter



Durch ein Lineares Optimierungsmodell können mit den 726 Minen die Emissionsdifferenzen berechnet werden.

oder Letzter ist, und daraus den Mittelwert bildet. Genau das sind die sogenannten Shapley-Werte, benannt nach Lloyd S. Shapley, der 2012 den Wirtschaftsnobelpreis bekam.

Ein solches Spiel wird nun quasi auf den Kopf gestellt. Die große Koalition von P1, P2 und P3 wird als die Kuppelproduktion von Gold, Silber und Kupfer interpretiert. Die Flächen stehen dann für die gemeinsamen CO<sub>2</sub>-Emissionen. Will man die Emissionen fair zwischen den drei Metallen aufteilen, müsste man wissen, wie viel die Differenzbeträge ausmachen, wenn nur zwei oder nur ein Metall produziert werden. Genau diese Zahlen liegen aber für eine einzelne Mine nicht vor. Deshalb kommt man mit den Koalitionsspielen allein nicht weiter.

Aber es gibt in der Welt viele verschiedene Minen.

## Wir haben bei unserer Forschungsarbeit 726 Minen weltweit ausgewertet.

Darunter befinden sich alle möglichen Kombinationen von Kuppelproduktionen, reine Goldminen, Gold-Kupfer-Minen, Kupfer-Silber-Minen usw. Wir haben sogar noch die Metalle Blei und Zink dazu genommen, also Fünferkonstellationen. Diese Minen kann man in ihrer globalen Gesamtheit auswerten.

Trivial ist das nicht. Denn die Differenzbeträge ergeben sich nicht so einfach durch Addition und Subtraktion. Es müssen einige Kriterien erfüllt werden. Hier kommt die sogenannte Lineare Optimierung aus dem OR zu Hilfe. Durch ein Lineares Optimierungsmodell können mit den 726 Minen die Emissionsdifferenzen berechnet werden, wenn die Metalle sich in unterschiedlichen Koalitionen befinden. Die Methode dazu lernen unsere BWL-Studierenden im zweiten Semester. Einziges Problem ist, dass dazu 726 Entscheidungsvariable auftreten. In der Vorlesung übt man höchstens mit drei oder vier. Aber wofür gibt es geeignete Software?!

Lange Rechnung, kurzer Sinn: Die Ergebnisse sind in **Tabelle 2** zusammengestellt. Die Emissionen in Höhe von knapp 126 Mio. t CO<sub>2</sub>, die von den 726 Minen im Jahr 2021 gemeinsam verursacht wurden, konnten auf die fünf Metalle aufgeteilt werden.

Der Carbon Footprint liegt dann bei knapp 17 Tonnen (!) pro Kilogramm Gold. Bei Silber sind es 2,4 Tonnen. Diese Werte weichen stark von den gebräuchlichen Werten ab, bei denen ökonomisch alloziert wird. Vor allem aber sind sie unabhängig vom Metallpreis, denn mit einer »ökonomischen« Allokation wäre der Carbon Footprint von Gold in den fünf Jahren zwischen 2021 und 2025 um die Hälfte angestiegen. Ein Artefakt der Allokation, nicht der realen Emissionen.

Die Spieltheorie und die Lineare Optimierung aus dem Gebiet des Operations Research bieten also Methoden, wie man dieses Problem lösen kann. Pech nur, dass die wenigsten, die sich mit Ökobilanzen und Carbon Footprints beschäftigen, etwas von Mathematik verstehen. So blieb dieser Lösungsweg seit 35 Jahren – so lang wird die Diskussion um solche Allokationen bei den Ökobilanzieren schon geführt – verborgen. Aber glücklicherweise gibt es auch Hochschulen, in denen solche Methoden noch gelehrt und in der Forschung angewendet werden.

PROFESSOR DR. MARIO SCHMIDT  
lehrt neben Nachhaltigkeitsthemen auch Operations Research.

Tabelle 2

	Emissionen	Output	Shapley	Ökonomisch (2021)		Ökonomisch (2025)	
				\$/kg	kg CO <sub>2</sub> e/kg	\$/kg	kg CO <sub>2</sub> e/kg
	kt CO <sub>2</sub> e	kt	kg CO <sub>2</sub> e/kg	\$/kg	kg CO <sub>2</sub> e/kg	\$/kg	kg CO <sub>2</sub> e/kg
Gold	33.180	1,97	<b>16880</b>	57871	20720	110675	29301
Silber	55.170	22,8	<b>2420</b>	810	290	1280	339
Kupfer	29.090	18900	<b>1,54</b>	9,3	3,34	9,9	2,6
Blei	2.210	3920	<b>0,56</b>	2,2	0,79	2,0	0,52
Zink	6.340	11680	<b>0,54</b>	3,0	1,08	2,9	0,76
Summe	125.990						

# Der Preis der Dekarbonisierung beginnt in Afrikas Minen

Was steht in der Macht von Bergbauunternehmen, um die Umweltauswirkungen der Erz-Förderung zu reduzieren oder bestenfalls zu vermeiden? Wie viel teurer ist das – und könnten Unternehmen diese Mehrkosten überhaupt einpreisen?

VON PIA HEIDAK | erschienen in den KONTUREN HSPF 2026

**M**it diesen Fragen im Gepäck hatte ich bereits zwei europäische Minen besucht, bevor sich – wie der Zufall es wollte – zwei weitere Gelegenheiten ergaben: eine Busbekanntschaft auf dem Weg zu einer Konferenz, ein Gespräch am Rande einer Hochzeit. Wenig später fand ich mich in Namibia und Südafrika wieder. Antworten auf meine Fragen habe ich nur teilweise erhalten. Erhellend waren die Besuche dennoch.\*

Im Rahmen des **Promotionskollegs KLIREC und meiner Arbeit am Institut für Industrial Ecology** befasse ich mich mit genau diesen Fragestellungen. Jede Erzmine – insbesondere im Kupferbergbau, auf den ich mich konzentriere – verursacht Umweltauswirkungen. Während des Betriebs, manchmal aber auch noch Jahrzehnte nach der Stilllegung. Entscheidend ist der Kontext: Liegt die Mine im Urwald oder in der Wüste, nahe einer Siedlung oder im sprichwörtlichen Nirgendwo? Enthält das Erz neben Kupfer zum Beispiel auch Schwermetalle? Erfolgt der Abbau im Tagebau oder unter Tage? Abhängig von diesen Faktoren muss eine Mine mehr oder weniger tun, um planetare Grenzen zu respektieren und das lokale Ökosystem zu schützen. Technisch ist vieles möglich – die Frage ist, ob und wie konsequent es umgesetzt wird.

Mein erster Besuch führte mich in den Norden Namibias, in die Bergbaustadt Tsumeb. Dort war der Betrieb einer Kupfermine nach längerer Pause wieder aufgenommen worden. Zum Zeitpunkt meines Besuchs wurde ausschließlich bereits gefördertes Erz weiterverarbeitet, im sogenannten Haufenlaugungsverfahren: Das Gestein wird aufgeschichtet und mit Schwefelsäure berieselt, die das Kupfer aus dem Erz löst. Ich durfte sämtliche Verarbeitungsschritte bis zum fertigen Kupferblech besichtigen – eine seltene Gelegenheit. In der Grube selbst jedoch bot sich ein anderes Bild: Ein riesiger See hatte sich gebildet und verhinderte weiteren Abbau. Ein anschauliches Beispiel dafür, welche

operativen Risiken unzureichendes Wassermanagement mit sich bringen kann. In Gesprächen wurde deutlich, dass Umwelt- und Versickerungsrisiken nur sporadisch erfasst wurden. Trotz möglicher Schwermetallbelastungen oder Schwefelverbindungen im Erz – man zeigte sich »wenig besorgt«.

In Südafrika besuchte ich die Palabora Mining Company. Das Land ist eher für seine Edelmetalle bekannt, doch auch diese Kupfermine beeindruckt allein durch ihre Größe. Sie liegt in unmittelbarer Nähe zum Kruger-Nationalpark – eine ökologisch hochsensible Region. Immer wieder gelangen Wildtiere wie Elefanten auf das

>>



Führung durch die Aufbereitungs-Prozesse, welche durch die im Hintergrund ablaufende Elektrolyse zu reinem Kupfer abgeschlossen werden

\* Herzlichen Dank an Professor Mario Schmidt, das Promotionskolleg KLIREC und die Fakultät für Wirtschaft und Recht für die finanzielle und organisatorische Unterstützung meiner Studienreise.

Gelände. Ein eigenes Team kümmert sich darum, Begegnungen zwischen Mensch und Tier möglichst konfliktfrei zu gestalten. Auch die Lage am Fluss und die Nähe zur Siedlung Palabora erhöhen die Anforderungen an das Umweltmanagement. Letztere wurde einst nördlich der Mine errichtet, um Distanz zum Fluss und damit zum Malariarisiko zu schaffen – heute weht der Staub der Mine in Hauptwindrichtung in die Stadt. Einblick erhielt ich in die Rückstellungsplanung für die Zeit nach der Stilllegung. Der Staat verpflichtet Unternehmen, finanzielle Mittel für sichere Schließung und Renaturierung vorzuhalten. Umweltwissenschaftler:innen haben mir im Gespräch versichert, dieses System funktioniere relativ gut – sofern die Gelder später tatsächlich zweckgebunden eingesetzt würden.

Die Mine gehört inzwischen übrigens mehrheitlich zur chinesischen HBIS Group. Dass China in afrikanische Rohstoffprojekte investiert, wurde auf meiner Reise deutlich sichtbar – etwa auch im Hafen von Walvis Bay in Namibia (der moderne Teil ist in chinesischer Hand).

Einer Diamantenmine nahe Johannesburg galt mein dritter Stopp. Auffällig war, dass alle besuchten Minen wirtschaftliche Motoren ihrer Regionen sind.

↖

*Elefanten finden immer wieder Wege aus dem Kruger-Nationalpark auf das Minengelände.*

↘

*Der Erzabbau ist aufgrund von Überflutung der Grube schon lange unterbrochen – ein anschauliches Beispiel für die operativen Risiken durch unzureichendes Wassermanagement.*



Viele Siedlungen entstanden historisch aus Goldgräbercamps; der industrielle Bergbau wurde zum Nachfolger – mit vergleichsweise gut bezahlten Arbeitsplätzen.

Hohe Feinstaubbelastung oder mögliche Schwermetalle im Grundwasser werden hingegen von großen Teilen der Bevölkerung in Kauf genommen. Das hat mich nachdenklich gemacht. Einerseits sollte die lokale Bevölkerung selbst priorisieren dürfen, welche Umweltprobleme sie wie gewichtet. Andererseits beschreibt die Psychologie das Phänomen der »adaptive preferences« – die Anpassung von Ansprüchen an eingeschränkte Lebensrealitäten. Warum sollte also ein gesundes Maß an Umweltschutz verwehrt bleiben, wenn zusätzliche Maßnahmen möglicherweise lediglich



Kosten verursachen, die weit unter den üblichen Preisschwankungen der Rohstoffmärkte liegen?

Neben Gesprächen mit Praktiker:innen besuchte ich auch Universitäten, unter anderem in Pretoria und Kapstadt. Viele Absolvent:innen wechseln direkt in die Rohstoffbranche – bergbauliches und metallurgisches Know-how ist dort reichlich vorhanden, während es in Deutschland zunehmend rar wird. Beim gemeinsamen Blick auf die verheerenden Treibhausgasbilanzen der südafrikanischen Metall-Minen im Vergleich zum globalen Durchschnitt wurde aber deutlich, was es für diese jungen Menschen und ihr Land zu tun gibt, um die Abhängigkeit von Kohle-Minen zu reduzieren.

An der Universität Kapstadt wiederum wurde sehr viel zum Reststoffmanagement geforscht, z. B. zu sauren Grubenwässern, was mich zu einem weiteren Besuch veranlasste. Ich wurde herzlich empfangen. Und tatsächlich traf ich die meisten Wissenschaftler:innen auch nochmal auf der INDABA, der größten Bergbaukonferenz Afrikas, die einmal im Jahr stattfindet. Hier trafen sich Staatschefs, (Bergbau-)Ministerien, Unternehmen, NGOs und Wissenschaft.

Spürbar war ein starkes Selbstbewusstsein: Afrika weiß um seinen Rohstoffreichtum – gerade im Kontext der globalen Dekarbonisierung. Gleichzeitig kommt der kritische Ruf, warum dieser Reichtum so selten in nachhaltige Wertschöpfung im Land übersetzt wird. Auch

deutsche Institutionen wie die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe waren vor Ort. Angesichts geopolitischer Spannungen und wachsender Rohstoffabhängigkeiten stellt sich die Frage, welche Rolle direkte Partnerschaften künftig spielen könnten. Der Think-Tank Industrielle Ressourcenstrategien verweist in seinem Papier »Ist die deutsche Rohstoff-Strategie resilient?« auf Rohstoff-Partnerschaften mit afrikanischen Staaten als wichtiger Säule zur Diversifizierung der Rohstoff-Lieferketten.

Zurück zur Ausgangsfrage: Einige Zeit nach meinem Besuch rief mich der leitende Umweltmanager der Palabora-Mine an. Seine Frage war ebenso schlicht wie grundlegend: »Meinst du wirklich, dass es Unternehmen gibt, die uns einen fairen Preis bezahlen – einen Preis, der auch unser Engagement im Umweltbereich vergütet?« Anders formuliert: **Lässt sich Umweltleistung marktwirksam einpreisen – oder verlassen wir uns weiterhin primär auf politische Rahmensetzung?** Noch kann ich ihm darauf keine abschließende Antwort geben. Aber genau hier liegt der Kern meiner Forschung. Zwischen technischer Machbarkeit, ökonomischer Realität und gesellschaftlicher Verantwortung entscheidet sich, ob nachhaltiger Bergbau Ausnahme bleibt – oder zur Regel wird. ■

PIA HEIDAK

ist Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Industrial Ecology (INEC) und Stipendiatin des KLIREC-Promotionskollegs.

*In der Ferne zu sehen: ein Reststofflager und der Staub, den es häufig in die angrenzende Siedlung weht.*

Alle Fotos: Pia Heidak





## Forschungsprojekt präziSort

# Aus Müll wird Wissen(schaft)

Kreislaufwirtschaft und hohe Recyclingquoten gelten als effektive Maßnahmen gegen Rohstoffknappheit und den Klimawandel und stellen eine sichere Basis für eine zukunftsfähige Wirtschaftsweise dar. Die europäische Kunststoffstrategie sieht vor, den Einsatz von Kunststoff Rezyklat zu erhöhen. Die aktuelle Differenz zwischen der sortierten und tatsächlich rezyklierten Menge an Kunststoffabfällen weist auf die Notwendigkeit von effizienteren Sortiertechnologien hin.

VON LEON DETERDING, RAPHAEL SCHILL, MAXIMILIAN AUER, SIMON EBERLE, KIRIAKI KARATOPI, CLAUS LANG-KOETZ UND JÖRG WOIDASKY | erschienen in den KONTUREN HSPF 2025

**Z**iel des Forschungsprojekts »präziSort« ist die Entwicklung und Errichtung einer Pilotanlage mit integrierter Detektion zur präzisen Einzelstreckensortierung von Kunststoffabfall und anderen Materialien. Die Verpackungsstudie am Institut für Industrial Ecology der Hochschule Pforzheim wird von den Professoren Dr.-Ing. Jörg Woidasky und Dr.-Ing. Claus Lang-Koetz geleitet. In Kooperation mit dem Unternehmen Polysecure wird die Anlage am Standort Freiburg errichtet. Grundlegende Informationen zur Auslegung und zu möglichen Märkten für diese Sortiertechnik werden durch die Hoch-

schule Pforzheim erarbeitet. Die geplante Pilotanlage soll dann die Kunststoffobjekte – vor allem Verpackungen – vereinzeln, um diese anschließend mithilfe mehrerer Detektionstechnologien verlässlich zu identifizieren und in einem einzigen Schritt in sortenreine Fraktionen abzulegen. **Durch das präzisere und spezifizierte Sortieren kann der umweltfreundlichere Weg des mechanischen Recyclings ausgebaut werden.** Gleichzeitig profitieren auch die alternativen Recyclingwege der lösemittelbasierten und chemischen Recyclingverfahren von gut sortierten Input-Strömen.

<

Das präziSort Projektteam zum Start der Verpackungsstudie. Foto: Marcel Kern

v

Die Wissenschaftssäcke werden an der Hochschule in Kühlwagen gelagert. Foto: Max Auer

Die Hochschule Pforzheim begleitet den Aufbau der Pilotanlage und das damit verbundene Sortierverfahren **Sort4Circle®**, um daraus Schlussfolgerungen für eine umweltfreundliche Verpackungsabfallwirtschaft zu ziehen. Hierfür werden umweltrelevante Prozessdaten erfasst und eine Ökobilanz erstellt. Zusätzlich identifizieren Stakeholder-Interviews Anforderungen und Technologiepotenziale für die Kunststoffaufbereitung. Während die Verpackungsabfallmenge bereits 2021 auf 19,7 Mio. Tonnen angestiegen war und die Gesamt-Recyclingquote mit 67,9 % [1] hoch erscheint, werden nur etwa 50 % der Kunststoffverpackungen in Deutschland recycelt. Ein zentrales Problem ist die unzureichende Datengrundlage zur Zusammensetzung des Leichtverpackungsabfallstroms, da vorhandene Abfalldaten [2,3,4] nicht veröffentlicht werden. An dieser Stelle setzt die an der Hochschule Pforzheim durchgeführte Verpackungsstudie 2024 an.

Zum zweiten Mal nach 2019 verfolgt die Verpackungsstudie der Hochschule Pforzheim das Ziel,

die Zusammensetzung des deutschen Leichtverpackungsabfalls (z.B. Gelber Sack, Wertstofftonne) detailliert auf die Zusammensetzung und Verwertbarkeit der Verpackungsabfälle zu untersuchen. So können Erkenntnisse über die Kreislauffähigkeit von Verpackungen gewonnen und Fortschritte für eine nachhaltigere Recyclingwirtschaft in Deutschland ermöglicht werden. Hierfür konnten aus den insgesamt 700 Teilnehmer:innen einer deutschlandweiten Onlineumfrage auf Basis des jeweiligen lokalen Sammelsystems, der Haushaltsgröße sowie der Gemeindegröße 350 Teilnehmer:innen für die Studie ausgewählt werden. Sie erhielten die Bitte, alle in einem zweiwöchigen Zeitraum anfallenden Leichtverpackungen (LVP) zu sammeln und an die Hochschule zurückzusenden. Die Teilnehmer:innen sollten den zur Verpackungssammlung zugesandten »**Wissenschaftssack**« wie ihr normales Sammelsystem nutzen.

Für die Auswertung wird jedes Objekt in den Wissenschaftssäcken detailliert untersucht. Hierfür wurde das Projektteam im Zeitraum von Oktober bis April von insgesamt 31 studentischen Hilfskräften unterstützt. Nach der Öffnung eines Wissenschaftssacks wurde jedem einzelnen Objekt eine **individuelle ID** zugeordnet. Anschließend wurde das Objekt fotografiert, gewogen und einer Werkstoffbestimmung mithilfe einer Nahinfrarotspektroskopie un-

>>



terzogen. Anschließend wurde jedes Einzelobjekt durch eine Tiefencharakterisierung mit insgesamt 26 Attributen analysiert. Hierbei wurden unter anderem Informationen über Werkstoff, Farbe, Füllgüter, Etiketten und Verschlüsse erfasst.

## Vorläufige Ergebnisse der ersten 100 kg LVP-Abfall

Insgesamt wurden 277 Wissenschaftssäcke postalisch an die Hochschule zurückgesendet. Die teilnehmenden Haushalte mit 664 Personen sammelten insgesamt 398,3 kg an LVP-Abfällen. Durchschnittlich entspricht dies 1,4 kg je Haushalt und 0,6 kg je Haushaltsmitglied oder hochgerechnet rund 16,2 kg/Jahr und Person. Das entspricht knapp der Hälfte des nach Angaben des Statistischen Bundesamtes 2023 angefallenen LVP-Abfalls je Person [3]. Die Differenz kann unter anderem mit dem gesteigerten Bewusstsein der Studienteilnehmer:innen begründet werden, die

vergleichsweise weniger Abfälle und weniger Fehlwürfe generieren. Dieser Effekt wurde bereits in der Verpackungsstudie 2019 beobachtet [5].

Die vorläufigen Ergebnisse basieren auf einer Auswertung der ersten 100 Wissenschaftssäcke mit insgesamt 10.300 Einzelteilen und einer Gesamtmasse von 98,4 kg. Basierend auf dem Recyclingcode bzw. den optischen Eigenschaften besteht diese Stichprobe aus 51,0% Kunststoffen, 16,6% Metallen, 15,7% Verbundwerkstoffen, 6,2% Papier und 10,5% anderen Werkstoffen. Die relevantesten Kunststoffe sind mit 10,6% PP und 8,3% PET. Über 21% der Kunststoffe hatten keine Kennzeichnung, und 1,6% der Kunststoffverpackungen sind als Multilayer-Kunststoff (mehr als 2 Kunststoffarten) gekennzeichnet (*Abbildung: Werkstoffe der Verpackungen*).

Als Packmittel werden vor allem flexible Verpackungen (23%, Tüten, Beutel und Folien) eingesetzt, gefolgt von Schalen (16,6%) und Flüssigkeitskartons (14,9%) (*Abbildung: Verpackungsart*). Bei den Füllgütern sind lediglich 32,8% keine Le-



Im ersten Schritt werden die Wissenschaftssäcke geöffnet (*Abbildung links*). Dann bekommen die einzelnen Objekte eine eindeutige ID zugeordnet, werden gewogen und in der Fotobox aus drei verschiedenen Perspektiven fotografiert (*Abbildung rechts*).



Mithilfe der Nahinfrarotspektroskopie kann die Kunststoffart der Objekte bestimmt werden (*Abbildung links*). Schließlich erfolgt die Tiefencharakterisierung: Eine Detail-Analyse der Objekte anhand von 26 Kriterien (*Abbildung rechts*). Alle Fotos: Simon Eberle

bensmittel. Bei den Lebensmitteln überwiegen Milch und Milchprodukte (17,7%), Obst und Gemüse (8,5%) und Fertiggerichte (6,9%). Verpackungen für Getränke sind zu lediglich 4,6% vorhanden (Abbildung: Füllgut-Typ).

### Ausblick

Insgesamt kann das Projektteam der Hochschule wertvolle Daten über die Kreislauffähigkeit der Produkte gewinnen: Aus der Verpackungsstudie wird eine Datenbank generiert, die Detailinformationen zu ca. 30.000 Einzelobjekten enthält. Anhand dieser Daten können relevante Forschungsfragen wie die Bewertung der Recycling- und Kreislauffähigkeit von Verkaufsverpackungen oder ein Vergleich der Verpackungsstudien 2019 und 2024 im Hinblick auf Veränderungen durch die **Pfand-Ausweitung**, die **Single-Use-Plastic-Direktive** der Europäischen Union und das Inkrafttreten des **Verpackungsgesetzes** beantwortet werden. Die Verknüpfung dieser Detailinformationen mit der generierten Bilddatenbank bietet ein großes Potenzial für das Training von künstlicher Intelligenz insbesondere der Objekterkennung.

Die Verpackungsstudie liefert konkrete Erkenntnisse für eine **verbesserte Produktgestaltung, Sortierbarkeit und Wiederverwertbarkeit** von Verpackungen, die unter anderem in die Weiterentwicklung des Sort4Circle®-Verfahrens des Projektpartners Polysecure einfließen werden.

MAXIMILIAN AUER, LEON DETERDING, SIMON EBERLE, KIRIAKI KARATOPI UND RAPHAEL SCHILL
sind Wissenschaftliche Mitarbeiter:innen.
DR.-ING. CLAUS LANG-KOETZ
ist Professor für Nachhaltiges Technologie- und Innovationsmanagement und stellv. Leiter des Instituts für Industrial Ecology (INEC).
DR.-ING. JÖRG WOIDASKY
ist Professor für Nachhaltige Produktentwicklung in der Fakultät für Technik.

### Literatur

[1] Conversio Market & Strategy GmbH (2024): Stoffstrombild Kunststoffe in Deutschland 2023 – Zahlen und Fakten zum Lebensweg von Kunststoffen, Mainaschaff, Germany.

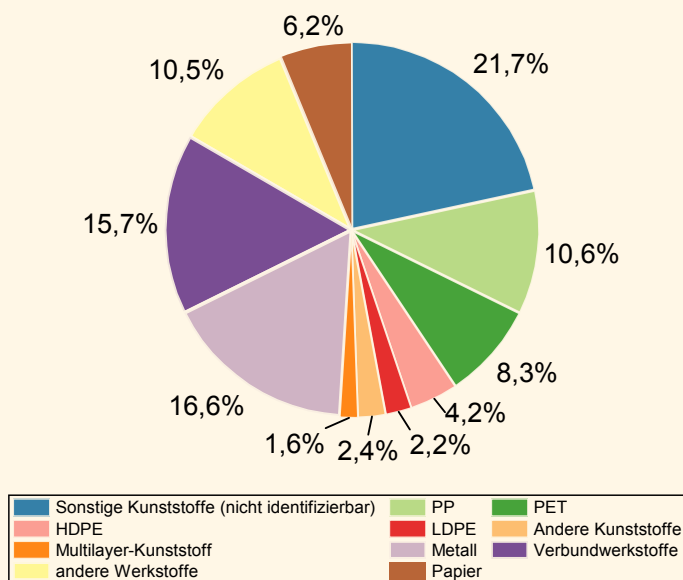
[2] Cayé, N, Marasus, S, Schüler, K (2023): Aufkommen und Verwertung von Verpackungsabfällen in Deutschland im Jahr 2021.

[3] Destatis (2024): Aufkommen an Haushaltsabfällen: Deutschland, Jahre, Abfallarten. <https://www-genesis.destatis.de/datenbank/online/table/32121-0001>. Abgerufen am 08.01.2025.

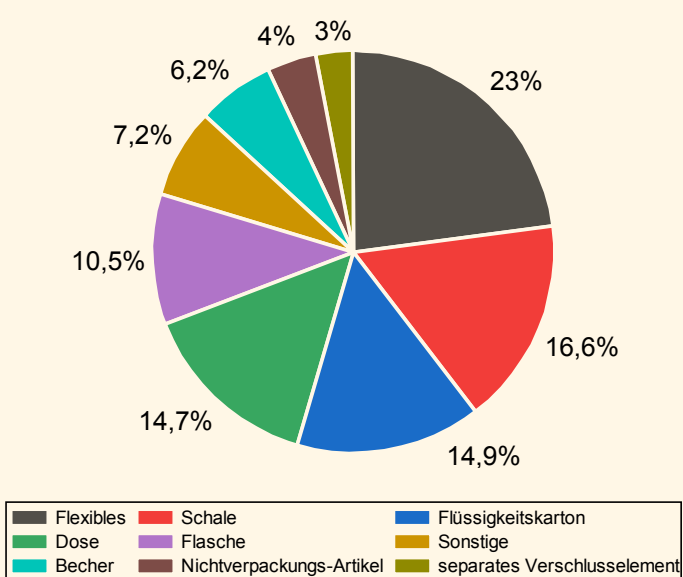
[4] Umweltbundesamt (2024): Verpackungsabfälle. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcenabfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehliter-abfallarten/verpackungsabfaelle>. Abgerufen am 30.09.2024.

[5] Schmidt, J, Auer, M, Maletz, R, Galler, V, Woidasky, J (2024): Consumer influence on lightweight pack-aging waste generation in Germany. Cleaner and Responsible Consumption, 12:100185.

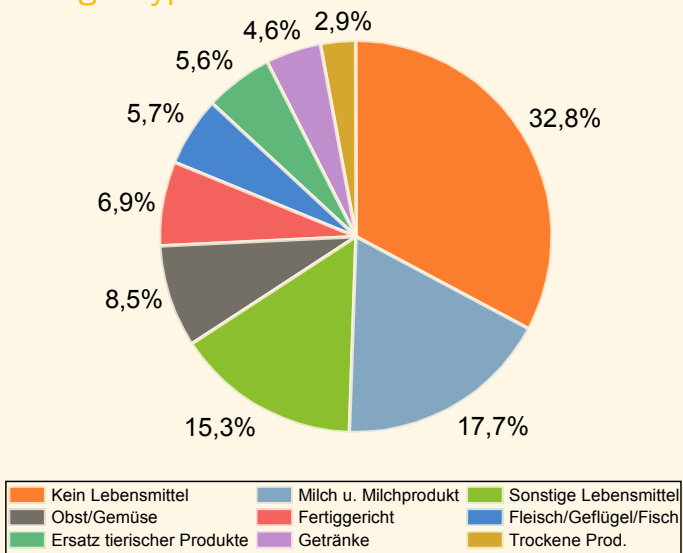
### Werkstoffe der Verpackungen



### Verpackungsart



### Füllgut-Typ



# Verpackungsabfälle zum **Leuchten** bringen

VON JANNICK SCHMIDT, MAXIMILIAN AUER, ANINA KUSCH, CLAUS LANG-KOETZ  
UND JÖRG WOIDASKY | erschienen in den KONTUREN HSPF 2021

## Erfolgreicher Abschluss des Forschungsprojekts MaReK

In Deutschland fallen jährlich knapp 19 Millionen Tonnen Verpackungsabfälle an, davon etwa 3,2 Millionen Tonnen Kunststoffe oder 40 Kilogramm Kunststoff pro Kopf und Jahr. Ab 2022 müssen 63 Prozent dieser Menge wieder für die Herstellung neuer Kunststoffprodukte rezykliert werden. In der Diskussion stehen darüber hinaus Mindest-Rezyklatanteile in Verpackungen.

**D**er Aufwand zum Trennen und Verwerten gebrauchter und verschmutzter Kunststoff-Verpackungen ist jedoch hoch und führte bisher dazu, dass nur knapp die Hälfte der Verpackungs-Kunststoffe werkstofflich verwertet und der größere Teil vor allem als Ersatzbrennstoff entsorgt wurden. Weltweit werden sogar derzeit nur knapp zehn Prozent aller Verpackungen stofflich verwertet. So gehen nicht nur wertvolle Werkstoffe verloren: Wenn Kunststoffe nicht gezielt gesammelt und verwertet werden, können Sie die Umwelt und die Gewässer verschmutzen und gelangen oft in die Ozeane mit gravierenden Folgen unter anderem für viele Tierarten.

Im über dreieinhalb Jahre laufenden Projekt „Markerbasiertes Sortier- und Recyclingsystem für Kunststoffverpackungen“ (MaReK) wurde diese Thematik interdisziplinär und unter Nutzung neuester Methoden bearbeitet: Das Team bestand aus zwei Arbeitsgruppen der Hochschule (Professor Woidasky und Professor Lang-Koetz, beide am Institut für Industrial Ecology tätig) und den Projektpartnern Polysecure GmbH, Werner & Mertz GmbH, Der Grüne Punkt – Duales System Deutschland GmbH sowie dem Institut für Mikrostrukturtechnologie des KIT und als assoziiertem Partner die Landesagentur Umwelttechnik BW GmbH. Das Projekt wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmenprogramm „Forschung für Nachhaltige Entwicklung“ (FONA3) in der Fördermaßnahme „Plastik in der Umwelt“ gefördert (Förderkennzeichen: 033R195A).

Der technische Kern des Vorhabens lag in der Anwendung von anorganischen, fluoreszierenden Marker-substanzen. Ziel des Konsortiums war die Entwicklung einer deutlich verbesserten Sortiertechnologie zur Sortierung von Leichtverpackungsabfällen durch Fluoreszenzmarker. Diese Technologie wird als „Tracer-Based-Sorting“ (TBS) bezeichnet und nutzt geringste Mengen von Fluoreszenz-Markern auf Verpackungen oder Etiketten. Diese bilden – anders als bei bestehenden Sortiertechniken – ein vom Packstoff unabhängiges Trennmerkmal. Außerhalb der Sortieranlage sind die Marker für das menschliche Auge nicht sichtbar, da die sichtbare Fluoreszenz nur nach Anregung mit Infrarot-Licht hervorgerufen wird. Die Fluoreszenz ist für jeden Markerstoff einzigartig wie der Fingerabdruck des Menschen.

Die Markierung funktioniert unabhängig von der Verpackungs-gestaltung und weitgehend auch von der Verschmutzung des Packmittels. So können Verpackungen einfach erkannt und aussortiert werden. Bisher wurden bei der Sortierung von Kunststoff-Verpackungen nur die Kunststoffarten (zum Beispiel PE, PP, PS, PET) getrennt. Das TBS ermöglicht nun viel genauere Trennungen, etwa von Kunststoffen für spezifische Verarbeitungsverfahren oder von Verpackungen für Lebensmittel, Nicht-Lebensmittel oder Gefahrstoffe. Durch dieses leistungsfähige Verfahren können hochwertige Rezyklate hergestellt werden, die sich für den erneuten Einsatz in Verpackungen eignen. TBS bietet somit eine effiziente und zuverlässige Methode zur

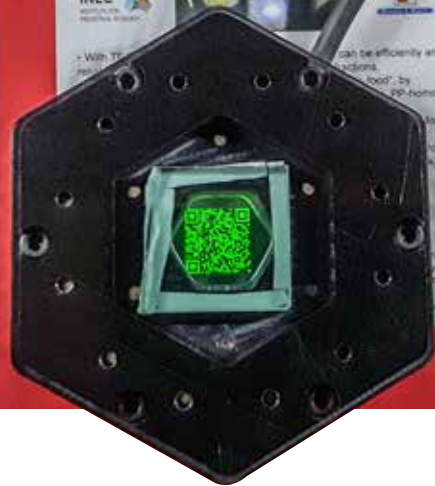
> Musteretiketten zur Marker-Demonstration: Fluoreszenzmarker aktiviert auf mittlerem Etikett, nicht sichtbar auf den Markerfeldern der seitlichen Etiketten.

Bildrechte: HS PF

Aussortierte Verpackungs-Kunststoffe werden als Ballenware für die Verwertung bereitgestellt.

v





Identifizierung von Verpackungen mit dem Potenzial, die Sortierung und das Recycling von Kunststoffabfällen zu verbessern.

Das Projekt MaReK wurde im Dezember 2020 erfolgreich abgeschlossen. Ein Ergebnis des Gesamtprojekts ist die Technumsanlage zur Verpackungssortierung beim Projektpartner Polysecure. Zusätzlich konnten mehrere optimierte Markersubstanzen bereitgestellt und die Aufbringung der Markersubstanzen auf die Kunststoffverpackungen mittels Druckverfahren erprobt werden.

Eine von der Hochschule Pforzheim durchgeführte ökobilanzielle Bewertung des Verfahrens zeigt, dass TBS umweltfreundlicher als das bestehende System der Verpackungsverwertung ist und eine Einsparung von durchschnittlich ca. 2,2 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten je kg Kunststoff ermöglicht. Zudem wurden Geschäftsmodelle entwickelt und der Umsetzungsprozess für diese umweltrelevante Innovation detailliert und transferorientiert untersucht. Als Grundlage hierfür diente eine deutschlandweite Analyse von Leichtverpackungen. Die dabei entstandene Fotodatenbank von über 25.000 gebrauchten Einzelverpackungen ermöglicht umfangreiche wissenschaftliche Folgearbeiten, die in mindestens einer Doktorarbeit Anwendung finden. Weiterhin zeigen die über zwölf wissenschaftlichen Veröffentlichungen während der Laufzeit des MaReK-Vor-

habens, dass das dreieinhalb Jahre dauernde Projekt eine außerordentlich intensive und produktive Zeit war.

Zusammen mit den Projektpartnern konnte so ein wegweisendes neuartiges Recyclingverfahren erfolgreich auf den Weg zu einer kommerziellen Umsetzung gebracht werden.

Und es geht weiter: Seit Februar 2021 beschäftigt sich das Tasteful-Konsortium (Tracer-Based-Sorting – ein effizientes und flexibles Sortier- und Recyclingsystem für Kunststoffe) bestehend aus den Forschungseinrichtungen Hochschule Pforzheim, Institut für Mikrostrukturtechnologie des KIT und das Fraunhofer Institut für Gießerei, Composite und Verarbeitungstechnik (IGCV) sowie den Unternehmen Polysecure GmbH und HD Vision Systems GmbH mit dem Aufbau einer industriellen TBS-Pilot-Sortieranlage für Verpackungen. Mehr dazu erfahren Sie im folgenden Beitrag.

JANNICK SCHMIDT UND MAXIMILIAN AUER sind wissenschaftliche Mitarbeiter im Bereich der nachhaltigen Produktentwicklung.
ANINA KUSCH ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für industrial ecology (INEC).
DR. CLAUD LANG-KOETZ ist Professor für Nachhaltiges Technologie- und Innovationsmanagement.
DR. JÖRG WOIDASKY ist Professor für nachhaltige Produktentwicklung.

# Klimaschutz = Umweltschutz!?!

## Projekte nehmen vielfältige Umweltwirkungen der Transformation des Energiesystems in den Blick

VON HEIDI HOTTENROTH, HENDRIK LAMBRECHT, STEFFEN LEWERENZ, INGELA TIETZE UND TOBIAS VIERE

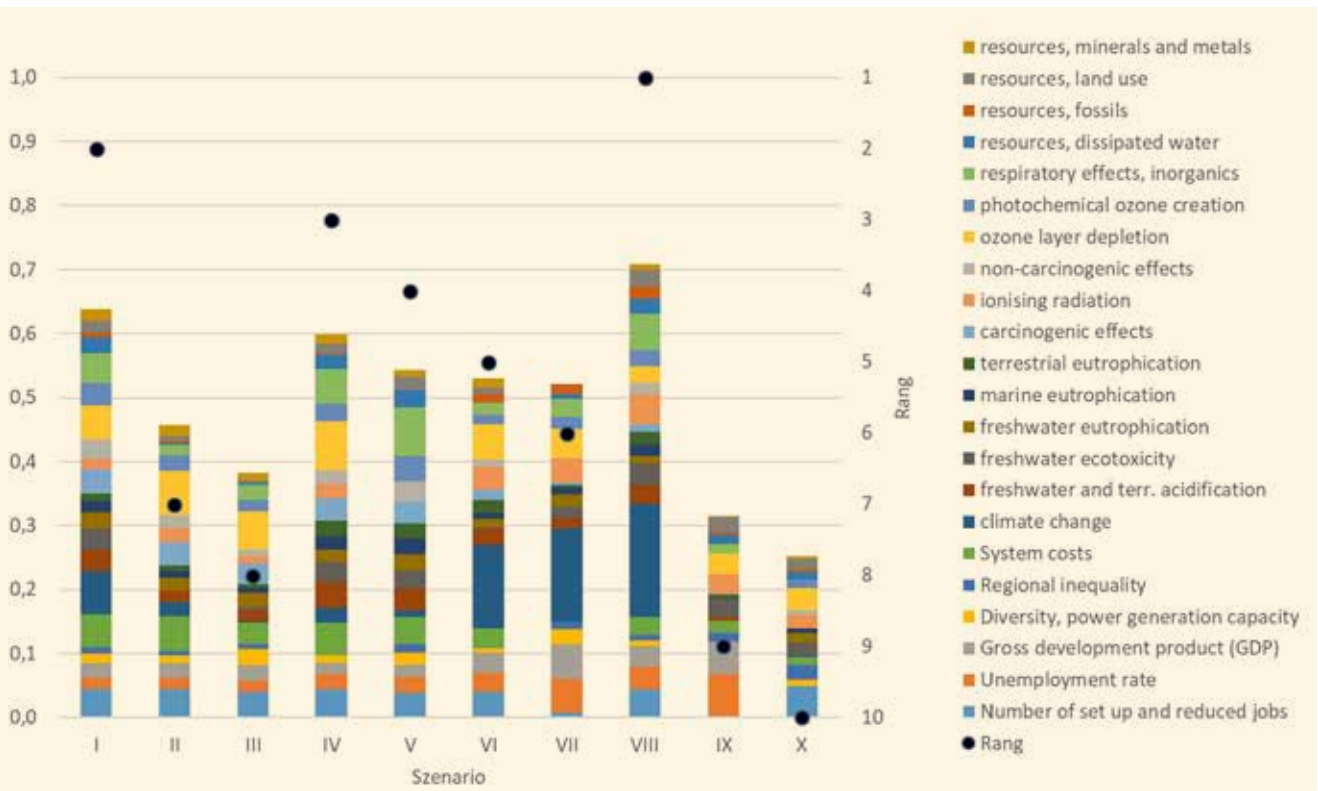
Um die Ziele des Pariser Klimaschutzabkommens einzuhalten, ist eine Transformation des Energiesystems hin zu erneuerbaren Energien notwendig. Das reduziert die bisher steigenden Treibhausgasemissionen – doch was passiert mit anderen Umweltwirkungen, wenn mehr nachwachsende Rohstoffe, Batterien oder Photovoltaik-Anlagen eingesetzt werden?

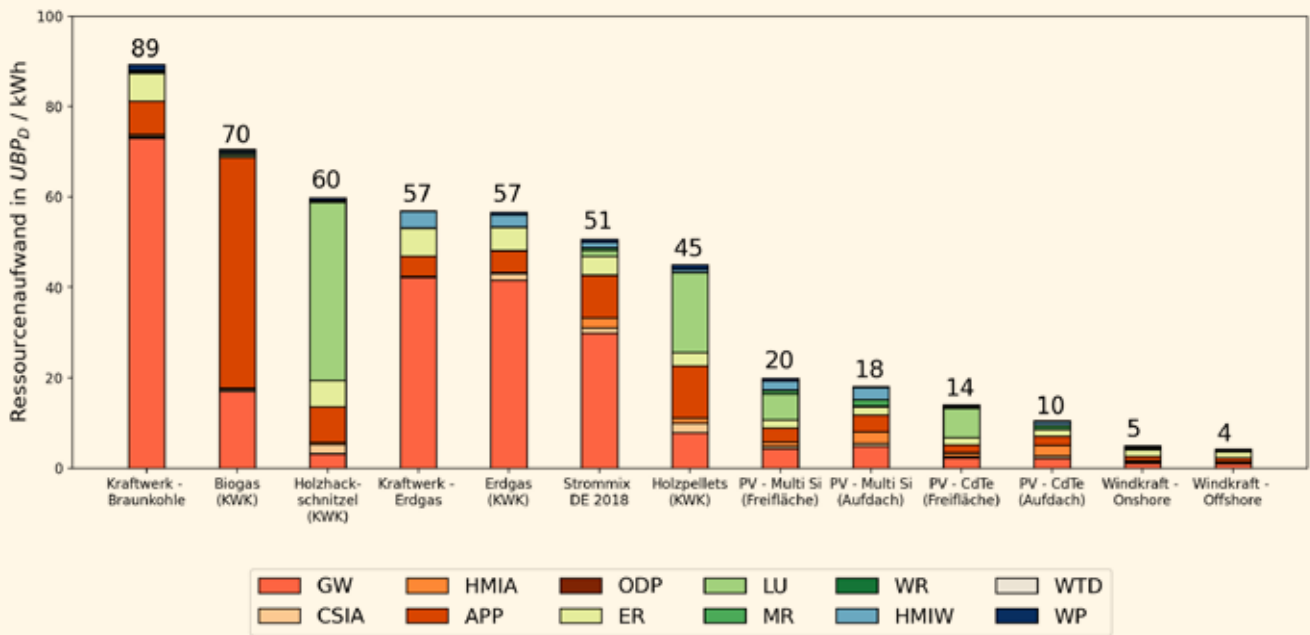
Eine solche Verlagerung in den Blick zu nehmen, ist Voraussetzung für eine nachhaltige Energiewende.

Zur Planung klimafreundlicher Transformationspfade kommen Energiesystemmodelle zum Einsatz. Stand der Technik ist es, Energiesysteme unter der Randbedingung geringer Treibhausgasemissionen in Hinblick auf die Kosten zu optimieren. Weitere Umweltwirkungen bleiben meistens außen vor, ebenso wie indirekte Treibhausgase, die bei der Herstellung von Anlagen oder Brennstoffen entstehen. Hier kommt die Ökobilanz

(engl. Life Cycle Assessment) ins Spiel, denn sie berücksichtigt sowohl den gesamten Lebenszyklus (hier z.B. einer Energieerzeugungstechnologie) als auch wesentliche Umweltwirkungen. Durch die Kopplung von Energiesystemmodellen und Ökobilanzen können kostenoptimale Energieszenarien auf ihre Umweltwirkungen hin analysiert werden. Zugleich besteht die Möglichkeit, Energiesysteme auf minimale Umweltwirkungen hin zu optimieren. Bei einer multi-kriteriellen Optimierung können Kompromisslösungen gefunden werden, die alle Aspekte im Blick haben.

**Abb. 1:**  
Ergebnisse des Projekts InNO-Sys: Ränge von zehn verschiedenen Energiesystemszenarien (Szenario I - V: 80 %, Szenario VI - X: 95 % CO<sub>2</sub>-Minderung 1990 bis 2050) auf Basis der Beiträge von 22 Nachhaltigkeitsindikatoren zur gewichteten Summe





Am Institut für Industrial Ecology (INEC) wurde und wird dieser Ansatz auf verschiedenen Ebenen in mehreren Forschungszusammenhängen verfolgt. Wesentliche Voraussetzung für die Ermittlung von Umweltwirkungen sind geeignete Ökobilanzdatensätze der zum Einsatz kommenden Energietechnologien.

Hierbei vorhandene Lücken zu schließen war die Hauptaufgabe des INEC im Verbundprojekt „InNO-Sys – Integrierte Nachhaltigkeitsbewertung und –optimierung von Energiesystemen“, das unter der Leitung vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Stuttgart im Februar 2021 abgeschlossen wurde.

Neben den Umweltwirkungen wurden in diesem Projekt von weiteren Projektpartnern auch sozio-ökonomische und sozio-technische Wirkungen ermittelt. Ziel war es, eine umfassende Nachhaltigkeitsbewertung verschiedener Transformationspfade für Deutschland vornehmen zu können.

Dazu wurden vom INEC verschiedene multi-kriterielle Entscheidungsunterstützungsmethoden daraufhin untersucht, inwiefern bei 22 oft gegenläufigen Nachhaltigkeitsindikatoren richtungsweisende Aussagen über mehr oder weniger nachhaltige Transformationspfade möglich sind.

Auch im Rahmen des kürzlich abgeschlossenen Zentrums für angewandte Forschung „ENsource – Urbane Energiesysteme und Ressourceneffizienz“ haben Mitarbeiter\*innen des INEC zukünftige Energieversorgungszenarien einer umfassenden Umweltbewertung unterzogen, um Empfehlungen für die Gestaltung möglichst ressourcensparsamer Energiesysteme geben zu können. Im Fokus der Forschungsaktivitäten stand dabei die Wirkungsabschätzung der Ökobilanz. Konkret wurde die so genannte Methode der ökologischen Knappheit aktualisiert, erweitert und auf die Belange von Energiesystemen angepasst. Die Methode ermöglicht die Zusammenfassung vielfältiger Umweltwirkungen auf einen Einzelindikator. So können insbesondere Technologien, die

^

#### Abb. 2:

Ergebnisse des Projekts ENsource: Umweltbelastungspunkte (UBP) für Deutschland für verschiedene Stromerzeugungstechnologien (Datenbasis: ecoinvent v3.5, allocation, cut-off; GW = Klimawandel; CSIA = Krebserregende Stoffe in Luft, HMIA = Schwermetalle in Luft, APP = Hauptluftschadstoffe und Partikel, ODP = Ozonschichtabbau, ER = Energie-Ressourcen, LU = Landnutzung, MR = Mineralien und Metalle, WR = Wasser-Ressourcen, HMIW = Schwermetalle in Wasser, WP = Wasserschadstoffe, WTD = Nicht radioaktive Abfälle in Deponie)

>>

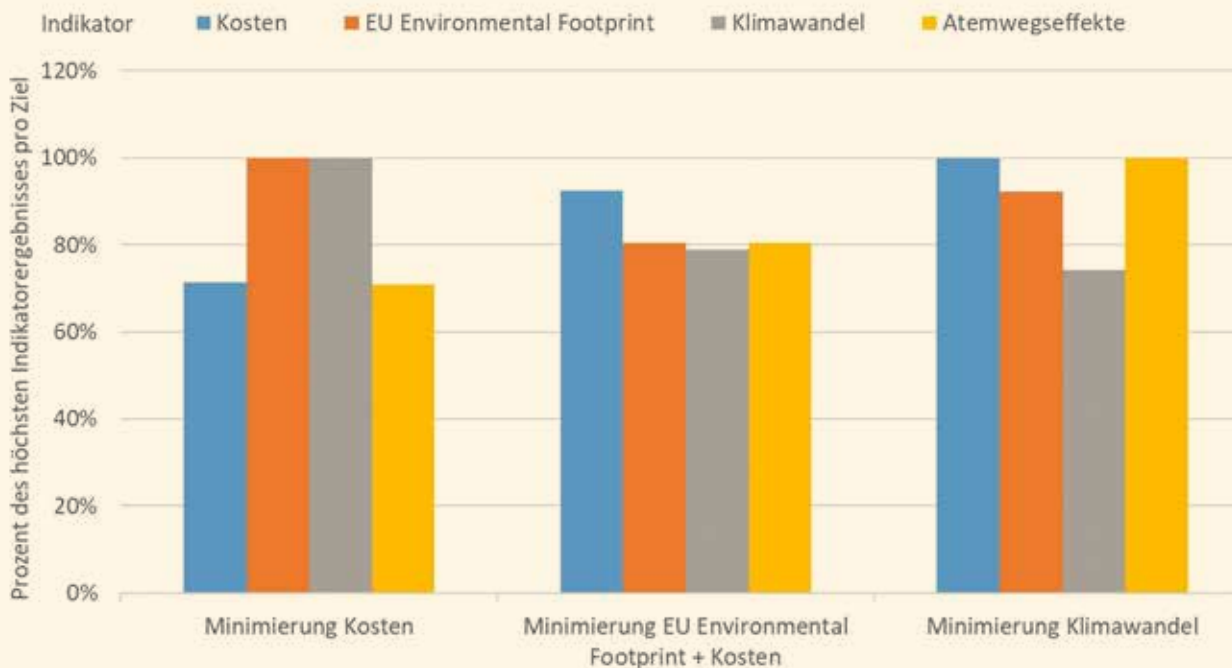


Abb. 3: Ergebnisse des Projekts InPEQt: Indikatoren Kosten, EU Environmental Footprint (aggregierte Umweltwirkungen) und Klimawandel für drei Energiesystemkonfigurationen (Minimierung von Kosten, EU Environmental Footprint plus Kosten und Klimawandel) für die Fallstudie Wiernsheim.

unterschiedliche natürliche Ressourcen verbrauchen, leichter miteinander verglichen werden. Das ist insbesondere bei gegenläufigen Tendenzen wichtig für die praktische Entscheidungsunterstützung: So lässt sich beispielsweise die Frage beantworten, ob eine Reduktion von Treibhausgasemissionen gesamtökologisch auch dann noch sinnvoll ist, wenn dafür beispielsweise die Landnutzung oder die Emission toxischer Substanzen bei der Gewinnung von Technologierohstoffen steigen.

Im Projekt »InPEQt – Integrierte kosten- und lebenszyklusbasierte Planung dezentraler Energiesysteme für eine energie- und ressourcenschonende Quartiersentwicklung« erfolgte eine Weiterentwicklung und Anwendung des Energiesystemmodells LAEND.

LAEND fokussiert auf die Optimierung der Energieerzeugung in Quartieren, also kleinen räumlichen Einheiten innerhalb von Städten und Gemeinden.

Für LAEND wurden am INEC die Methoden der Energiesystemmodellierung und der Ökobilanzierung (engl. Life Cycle Assessment) gekoppelt. Dies bietet die Möglichkeit, ein Energiesystem multi-kriteriell zu optimieren, um Kompromisslösungen zu finden, bei denen Kosten und Umweltwirkungen ausgeglichen sind. Quartiere in Konstanz, Gerstetten und Wiernsheim wurden zur Sicherstellung der Praxistauglichkeit des Modells im Projekt untersucht. Um die Umsetzungschance der klimaneutralen und umweltschonenden Energieversorgungskonzepte in den Beispielquartieren zu erhöhen, waren Stakeholder-Dialoge in den Quartieren Bestandteil des Vorhabens.

HEIDI HOTTENROTH

ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Industrial Ecology (INEC).

DR. HENDRIK LAMBRECHT

ist Professor für Industrial Ecology und Quantitative Methoden an der Hochschule Pforzheim.

STEFFEN LEWERENZ

ist wissenschaftlicher Mitarbeiter für Energiemanagement und Klimaschutz an der Hochschule Pforzheim.

DR. INGELA TIETZE

ist Professorin für Nachhaltige Energiewirtschaft an der Hochschule Pforzheim.

DR. TOBIAS VIERE

ist Professor für Energie- und Stoffstromanalyse an der Hochschule Pforzheim.

# Klimaneutralität – realistische Vision oder Mogelpackung?

VON MARIO SCHMIDT |  
erschieden in den KONTUREN HSPF 2021

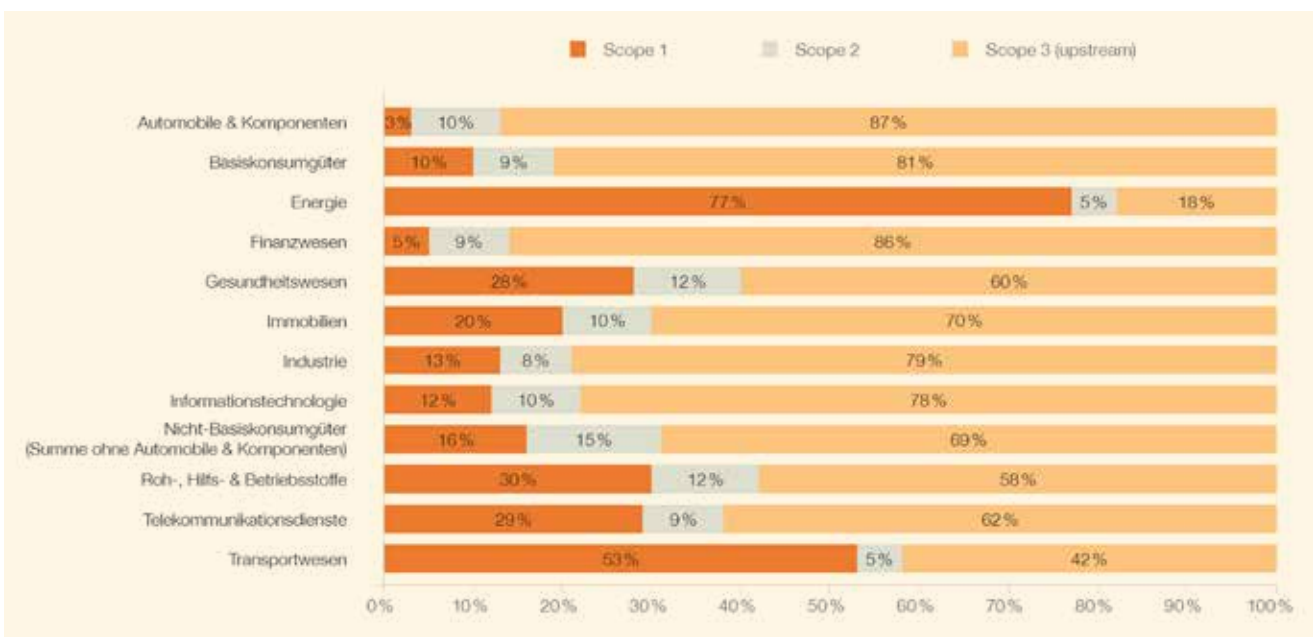
Fridays for Future fordert sie; Weltkonzerne proklamieren sie schon jetzt; ganze Städte wollen sie bis 2030 erreichen: die Klimaneutralität. Doch wissen die alle, wovon sie reden? Wahrscheinlich eher nicht oder es ist ein geschickter PR-Coup, der inzwischen den globalen Sprachgebrauch prägt.

Das Bundesverfassungsgericht erwähnt in seinem bahnbrechenden Beschluss zur Klimapolitik über dreißigmal das Wort klimaneutral. Dabei ist dieser Begriff rechtlich gar nicht definiert. Er taucht im Bundesklimaschutzgesetz zwar beiläufig auf, jedoch wird dort die „Treibhausgasneutralität“ bis 2050 proklamiert, das Gleichgewicht zwischen den anthropogenen Emissionen von Treibhausgasen aus Quellen und dem Abbau solcher Gase durch Senken. Das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), also die höchste wissenschaftliche Instanz zum Klimawandel, definiert „carbon neutrality“ als globale Netto-Null-CO<sub>2</sub>-Emissionen und stellt an deren Seite noch die Netto-Null-Treibhausgas-Emissionen – wohlgemerkt: global betrachtet! Der Treibhausgasansatz geht weiter als nur der Blick auf CO<sub>2</sub>, hier kommen noch andere Stoffe hinzu. Unter „climate neutrality“ versteht IPCC schließlich einen „Zustand, in dem menschliche Aktivitäten zu keinem Nettoeffekt auf das Klimasystem führen“, also ein hoher Anspruch, mehr als nur eine Netto-Null-Treibhausgas-Bilanz.

Natürlich kann man eine solche Bilanz aufstellen und versuchen die Emissionen auszugleichen, was mit all diesen Begriffen offensichtlich gemeint ist. Aber man muss dazu sagen, in welchem Rahmen bilanziert wird. Auf staatlicher Ebene geht es stets um die sogenannten territorialen Emissionen, also das, was auf dem Gebiet Deutschlands unmittelbar freigesetzt wird. Für ein Unternehmen muss man schon dazu sagen, was gemeint ist: Die Emissionen auf dem Betriebsgelände und der eigenen Organisation? Oder zählen auch die mittelbaren Emissionen durch den Strombezug hinzu, also jene, die bei den Kraftwerken (außerhalb der Unternehmensgrenze) freigesetzt werden? Und was ist gar mit den Emissionen der Lieferanten?

Die Frage ist keine Haarspalterei. Sie hat weitreichende Konsequenzen. So kann ein Unternehmen seine Emissionsbilanz schnell auf Null bringen, wenn nur der eigene Standort betrachtet wird und alle emissionsträchtigen Anlagen oder Aktivitäten ausgelagert oder verkauft werden. Dieses Thema wird in Fachkreisen seit vielen Jahren ernsthaft diskutiert. Man unterscheidet zwischen sogenannten Scope-1-Emissionen, das sind die direkten Emissionen des Unternehmens, Scope-2-Emissionen, das sind die mittelbaren Emissionen durch den Energiebezug, und den Scope-3-Emissionen, das sind die sonstigen Emissionen, die durch die Tätigkeit des Unterneh-

Abb.1: Verhältnis der Scope 1,2 und 3-Emissionen in verschiedenen Wirtschaftsbereichen. Quelle: Sustain (2014) <https://www.sustain.com/?ddownload=6426> (21.5.2021).



mens verursacht werden. Zu letzterem zählen vor allem auch die Emissionsrucksäcke der eingekauften Rohstoffe und Güter, also jene Emissionen, die in der vorgelagerten Lieferkette erfolgen. Bilanziert man über alle drei Scopes, so führen Verlagerungen innerhalb der Wertschöpfungskette zu keinen Scheinverbesserungen in den Emissionsbilanzen. Deshalb sind sie in der Summe die zuverlässigsten Bilanzen.

Auswertungen der vergangenen Jahre zeigen, dass diese Scope-3-Emissionen bei den meisten Branchen den Löwenanteil ausmachen. Im Schnitt sind die Scope-3-Emissionen der Lieferkette dreimal so hoch wie die Summe aus Scope 1 und Scope 2, manchmal sogar noch deutlich höher (Abb. 1). Die Herausforderung für die Unternehmen besteht darin, diese Emissionen in der Lieferkette zu bestimmen. Dazu wären Angaben von den Lieferanten und deren Vorlieferanten erforderlich. Für Unternehmen mit einigen Tausend oder Zehntausend Vorprodukten ist das angesichts der globalen Handelsverflechtungen eine kaum zu bewältigende und insbesondere kaum bezahlbare Aufgabe. Am Institut für Industrial Ecology (INEC) wurde dieses Problem schon vor über 10 Jahren zusammen mit der Firma Witzmann GmbH mittels volkswirtschaftlicher Input-Output-Analysen gelöst. Das INEC hat nun zusammen mit dem Thinktank „Industrielle Ressourcenstrategien“ am KIT Karlsruhe, dem Beratungsunternehmen Systain Consulting Hamburg und Praxisanwendern, wie z.B. der Robert Bosch GmbH oder der Carl Zeiss AG, die Methode weiterentwickelt und bietet ein Online-Tool an, wie solche Emissionen verlässlich abgeschätzt werden können.

Was die betriebliche Klimaneutralität angeht, hat z.B. die Robert Bosch AG sie öffentlichkeitswirksam bereits 2019 angekündigt - für das Jahr 2020. Aber Bosch hat sehr genau nach den Scopes unterschieden und relativiert auf seiner Homepage die Ankündigung für die Scope-3-Emissionen, wohlwissend, welche Herausforderung das darstellt. Denn für diesen Bereich Klimaneutralität zu verlangen, heißt, dies auch weltweit für die Lieferanten durchzusetzen.

»Bosch ist mit seinen weltweit über 400 Standorten seit 2020 klimaneutral (Scope 1 und 2). Eine unabhängige Prüfungsgesellschaft hat dies offiziell bestätigt. Doch damit nicht genug: Wir wollen den Klimaschutz über unseren unmittelbaren Einflussbereich hinaus gestalten und auch die vor- und nachgelagerten Emissionen (Scope 3) systematisch verringern – bis 2030 sollen sie um 15 % sinken.«

Quelle: <https://www.bosch.com/de/unternehmen/nachhaltigkeit/umwelt/> (21.5.2021)

Wie sieht es aber mit der territorialen Bilanz für ganz Deutschland aus? Würde man dieses Scope-Konzept aus dem Unternehmensbereich übertragen, dann hätte sich Deutschland – streng genommen – nur dazu verpflichtet, seine Scope-1-Emissionen zu neutralisieren. Deutschland importiert aber jede Menge Waren aus dem Ausland, die im Inland verarbeitet, konsumiert, teilweise auch wieder exportiert werden. Was ist mit dem Klimarucksack dieser Waren?

Diese Frage ist von großer industriepolitischer Bedeutung. Die Klimaziele wären nämlich leichter zu erreichen, wenn die Industrie in Deutschland gar keine Emissionen mehr freisetzt – etwa wenn in Deutschland nicht mehr produziert wird! Die Industrie steht immerhin für ein Viertel der Emissionen in Deutschland. Keine Chemieprodukte oder Autos, kein Stahl, Kupfer oder Zement mehr aus Deutschland. Das wäre aber eine große Mogelpackung, wenn man dann die Waren in Deutschland trotzdem verbraucht und nun aus dem Ausland bezieht. Die Emissionen würden stattdessen an anderer Stelle in der Welt erfolgen. Das wäre keine Klimaneutralität.

Tatsächlich ist der Beitrag der importierten Waren an der Emissionsbilanz Deutschlands schon heute beträchtlich – wenn man nicht nur territorial bilanziert. Das Statistische Bundesamt weist Deutschland weitere CO<sub>2</sub>-Emissionen durch den Import von Waren zu, die halb so hoch liegen wie die bisherige CO<sub>2</sub>-Bilanz Deutschland (siehe Abb. 2). Andere Berechnungen liegen – je nach volkswirtschaftlichem Modell – noch höher.

Diese zusätzlichen Emissionen der Importwaren waren bislang nie Gegenstand der deutschen Klimapolitik. Natürlich muss sich Deutschland auf seine internationalen Verpflichtungen konzentrieren, und die vereinbarten Minderungsziele sind nun mal gebietsbezogen. Rechnet man zu den Importrucksäcken noch den globalen Einfluss deutscher Exportwaren hinzu (deutsche Autos emittieren auch im Ausland), so ist der Einfluss Deutschland auf das Weltklima beträchtlich höher als die reinen territorialen Emissionen. Das hört sich schlimm an, könnte aber auch eine Chance für deutsche Produkte sein, wenn sie effizienter und klimafreundlicher wären. Sie könnten dann auch außerhalb Deutschlands zum Klimaschutz beitragen. Falls in Deutschland dann noch Produkte hergestellt werden...

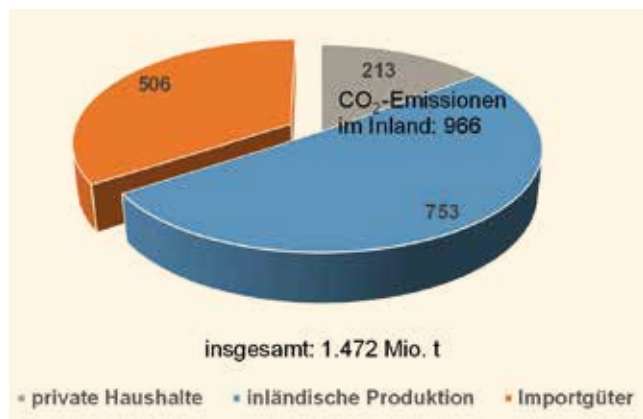


Abb.2: Direkte und indirekte CO<sub>2</sub>-Emissionen in Mio. t für Deutschland 2015. Von den insg. 1.472 Mio. t sind 506 Mio. t den Importgütern zuzurechnen. Quelle: Statistisches Bundesamt (2019)<sup>1</sup>.

Wenn man von dem engeren Begriff der Klimaneutralität ausgeht, dann müsste sich die deutsche Politik auch um die Klimarucksäcke der importierten Güter kümmern. Oder aber konsequent nur noch von CO<sub>2</sub>- oder Treibhausgasneutralität auf dem Gebiet Deutschlands sprechen, was schon ambitioniert genug ist. Noch absurder wird die Forderung nach Klimaneutralität, wenn sie auf kleinere Gebiete, auf Städte und Kommunen bezogen wird. Sie würde faktisch eine Autarkie der Gebiete verlangen; Waren mit einem Klimarucksack dürften die Stadtgrenze von außen nicht mehr passieren.

<sup>1</sup> [https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/UGR/energiefluesse-emissionen/Publikationen/Downloads/co2-emissionen-pdf-5851305.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/UGR/energiefluesse-emissionen/Publikationen/Downloads/co2-emissionen-pdf-5851305.pdf?__blob=publicationFile)

Die Unternehmen sind in gewisser Hinsicht einen Schritt weiter, wenn sie die Scope-3-Emissionen mitbilanzieren und darüber nachdenken, wie sie auch im Einkauf von Gütern Klimaschutz betreiben können. Ein Kilogramm Primäraluminium aus Europa verursacht derzeit ca. 7 kg CO<sub>2</sub>-Emissionen, aus China hingegen den dreifachen Wert. Angesichts dieser Zahlen, die sich kaum ganz auf Null drücken lassen, von Klimaneutralität zu sprechen, erscheint trotzdem vermessen. Denn die Abhängigkeit vom Ausland in den Lieferketten wird bestehen bleiben, und es wird noch lange dauern, bis dort alles klimaneutral ist. Selbst die vielzitierte Circular Economy löst dieses Problem nicht, denn auch die Sekundärrohstoffe brauchen zu ihrer Herstellung Energie und verursachen somit noch auf lange Sicht Emissionen.

Aber „Klimaneutralität“ hört sich toll an und lässt sich gut vermarkten. Seit Jahrzehnten wird von „Klimaschutz“ geredet, aber kaum etwas getan. Es fehlt an Ernsthaftigkeit in der Politik und in der Wirtschaft. Mit dem neuen Superlativ beteuert man nun die Ernsthaftigkeit, die von der Jugend und von den Gerichten gefordert wird. Aber ein Wort allein richtet das nicht, zumal die Fakten weitgehend dagegen sprechen. Um Klimaneutralität trotzdem proklamieren zu können, gibt es zwei Wundermittel, zu denen in der Wirtschaft nun verstärkt gegriffen wird: der Einkauf von grünem Strom und die Kompensation von Emissionen durch Geld.

Die Anbieter von „grünem Strom“ sind inzwischen unzählbar; es scheint ein lukratives Geschäft zu sein. Was die wenigsten wissen: Wer grünen Strom bestellt, kriegt keinen grünen Strom, sondern den gleichen wie zuvor – aus dem normalen Stromnetz. Es gibt in den Stromleitungen keine grünen und nicht-grünen Elektronen, die fein säuberlich nach Stromtarif sortiert werden. Es ist nur ein bilanztechnischer Effekt: Man bekommt den Strom aus regenerativen Quellen zugerechnet, z.B. aus Flusswasserkraftwerken, Windkraftanlagen oder Photovoltaik-Anlagen, der an anderer Stelle erzeugt und auch verbraucht wird. Wenn man für sich die Nutzung dieser grünen Quelle beansprucht, dann fällt sie aus dem allgemeinen nationalen Strommix weg, d.h. dort sinkt der Anteil regenerativer Energiequellen – unter dem Strich ein Nullsummenspiel. Der Kauf von grünem Strom macht nur Sinn, wenn durch einen deutlich höheren Preis auch in den Ausbau neuer regenerativer Quellen investiert wird. Das muss dann detailliert nachgewiesen werden. Bekäme man zum Beispiel Strom aus Flusswas-

serkraftwerken angeboten: Die gibt es meistens schon seit Jahrzehnten oder noch länger. Hier werden keine neuen Kapazitäten geschaffen. Die volkswirtschaftliche Wirkung der grünen Stromtarife auf den Anteil der erneuerbaren Energien wird deshalb als gering eingeschätzt.

Ein weiteres Wundermittel ist die Kompensation, was auf den ersten Blick schlüssig erscheint. Wenn man CO<sub>2</sub>-Emissionen nicht vermeiden kann oder will, zahlt man Geld dafür, dass an anderer Stelle in Minderungsmaßnahmen investiert wird und man damit auf Netto-Null-Emissionen kommt. Hier ist aber die Forderung, dass die Maßnahme *zusätzlich* sein muss zu den sowieso schon geplanten Minderungsmaßnahmen z.B. des Staates, und dass sie auch *garantiert langfristig* wirkt und nicht nur eine zeitliche Verschiebung der Emissionen darstellt. Ersteres wird immer schwieriger, da derzeit alles an möglichen Maßnahmen mobilisiert wird, um CO<sub>2</sub> einzusparen. Bei vielen Projekten muss man aufpassen, dass keine Doppelzählungen erfolgen oder die Einsparungen mehrmals verkauft werden. Der Markt an geeigneten Kompensationsprojekten wird deshalb in den nächsten Jahren immer begrenzter werden. Die Langfristigkeit hingegen spielt z.B. bei der populären Wiederaufforstungen eine große Rolle, wo Kohlenstoff der Atmosphäre entzogen und im Wald gespeichert wird. Dazu muss der neue Wald aber lange Standzeiten haben. Wer kann das heute schon garantieren? Die Rodung durch einen neuen Waldbesitzer oder ein Waldbrand können das schnell zunichtemachen, bezahlt ist aber schon. Dem Klima nützt das dann nichts. Einzig der Ankauf und die Vernichtung von Emissionszertifikaten macht wirklich Sinn. Damit greift man tatsächlich in die Emissionsmengen bei Kraftwerken und anderen Emittenten ein.

Es wäre also ehrlicher, statt von Klimaneutralität einfach nur von Klimaschutz zu reden, von dem Versuch, alles Mögliche zu unternehmen, die Treibhausgasemissionen deutlich einzuschränken. Dazu gibt es auch im betrieblichen Bereich viele Ansatzpunkte (siehe Abb. 3). Grüner Strom und Kompensation sollten höchstens die letzten Maßnahmen in dieser Kette sein, wenn man unbedingt mit Treibhausgas-Neutralität nach außen werben will. Aber eigentlich sollte die Zeit der vielen Wortkreationen, Proklamationen und sich überschlagenden Zielsetzungen vorbei sein, und endlich die Zeit der Maßnahmen anbrechen. Dem Klima wäre damit mehr geholfen.

Abb.3: Was kann ein Unternehmen für den Klimaschutz tun und was sollte es vorrangig tun?



DR. MARIO SCHMIDT

ist Professor für Ökologische Unternehmensführung und leitet das Institut für Industrial Ecology. Er ist u.a. Mitglied in den DIN/ISO-Normierungsgremien zu Carbon Neutrality.

# Nachhaltig und ressourceneffizient studieren



VON MARIO SCHMIDT UND FRANK BERTAGNOLLI

Umweltschutz und Nachhaltigkeit sind längst keine rein technischen oder naturwissenschaftlichen Themen mehr. Sie müssen organisiert werden, in Unternehmen, in der Politik, in Nichtregierungsorganisationen oder in Beratungsgesellschaften. Das sind häufig Managementaufgaben, deren Akteure aber auch etwas von Umwelt und Technik verstehen müssen und häufig Querschnittsfunktionen haben. Was kann die Produktentwicklung in der Firma zu nachhaltigen Produkten beitragen? Wie kann die Produktion effizienter mit Energie- und Materialeinsatz umgehen? Was ist mit dem Lieferkettengesetz oder der EU-Taxonomie? Wie will sich die Geschäftsleitung zum Klimaschutz positionieren? Oder wie soll der Nachhaltigkeitsbericht des Unternehmens aussehen?

Die Hochschule Pforzheim hatte 2011 als erste deutschsprachige Hochschule den Studiengang Ressourceneffizienz-Management (REM) ins Leben gerufen, der an der Fakultät Wirtschaft und Recht angesiedelt ist, zu einem **Bachelor-Abschluss** als Betriebswirt/in führt und inzwischen in „**Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz**“ (**BNRE**) umbenannt wurde. Ziel der Ausbildung war gerade die Querschnittsfunktion zwischen den Managementaufgaben als Betriebs-

wirt sowie den Themen Umwelt und Technik. Man könnte also von einem grünen technischen Betriebswirt sprechen; häufig wetteifern die Absolventen sogar mit Wirtschaftsingenieuren, allerdings haben sie eine wesentlich bessere Vorbildung in Sachen Nachhaltigkeit.

Ressourceneffizienz war ein Schlagwort vor 15 Jahren: sparsam und umweltschonend mit den natürlichen Ressourcen umgehen. Mit Rohstoffen, Energie, aber auch den Umweltmedien wie Luft und Wasser. Dies gehört auch heute noch zur DNA des Studiengangs. Aber es gibt heute viele weitere Stichworte, die bedient werden müssen: Circular Economy, Klimaschutz, ökologische und soziale Verantwortung in der Lieferkette u.v.m. Der Studiengang ist dabei praktisch ausgelegt. Es dreht sich immer um das konkrete Handeln in unserer Gesellschaft und hauptsächlich in der Wirtschaft. Dementsprechend haben Praktika und Fallstudien in Unternehmen einen hohen Stellenwert. Exkursionen in die Welt der Produktion gehören ebenfalls dazu.

Während Nachhaltigkeit in vielen anderen Studiengängen ein nebulöser Begriff ist, ein philosophisches Gebilde wird oder nur sehr qualitativ umschrieben bleibt, wird das Thema in Pforzheim konkretisiert. Wie misst

man die relevanten Indikatoren und wie berechnet man einen Carbon Footprint? Wie können Kreisläufe geschlossen und Produkte und Produktionen schlanker gemacht werden? Die Kernkompetenz des Pforzheimer Teams aus ProfessorInnen und Lehrbeauftragten liegt deshalb in den faktenbasierten und quantitativen Methoden. Neben Wirtschaftswissenschaftler betreuen Ingenieure, Juristen, Physiker, Chemiker und Sozialwissenschaftler die Studierenden.

Was 2011 noch wie ein Exot unter den Studiengängen wirkte, liefert heute begehrte Expertinnen und Experten in Sachen Umwelt und Nachhaltigkeit. Der Bedarf in der Wirtschaft ist groß, die Bedeutung angesichts der ökologischen und Klimakrise und den politischen Zielen noch größer. Durch die Verzahnung mit dem Institut für Industrial Ecology (INEC) ist auch stets eine Brücke zur aktuellen Forschung geschlagen. An Aktualität ist dieser Studiengang deshalb kaum zu überbieten.

DR. MARIO SCHMIDT

ist Professor und war Gründungs-Studiendekan des Studiengangs REM.

DR. FRANK BERTAGNOLLI

ist Professor und Studiendekan des Studiengangs BNRE.



<

Avantgarde in Sachen Ressourceneffizienz: Die ersten REM-Studierenden im Jahr 2011. Foto: Michael Karalus

Infos zum Bachelorstudiengang BNRE:



# Mit Zahlen der Umwelt auf den Zahn fühlen



VON MARIO SCHMIDT UND TOBIAS VIERE

Ökobilanzen und Klimafußabdruck – auf Englisch Life Cycle Assessments (LCA) und Carbon Footprint (CF) – sind sehr populär geworden. Sie werden für Produkte angefertigt, und entsprechende Bilanzen sind auch für ganze Unternehmen, Länder, Kommunen oder einzelne Personen interessant. Der Gesetzgeber verweist immer stärker auf solche Bilanzen, z.B. im Rahmen der EU-Taxonomie. Bei den angestrebten Produktpässen werden diese Bilanzen eine wichtige Rolle spielen. Große Firmen wie BASF, Volkswagen, Evonik oder Siemens beschäftigen ganze Teams, die für ihr Unternehmen solche Ökobilanzen anfertigen. Doch wo werden die Experten dazu ausgebildet?

In Pforzheim natürlich, zumindest seitdem es den **Master-Studiengang „Life Cycle & Sustainability“ (MLICS)** gibt. Er wurde 2016 ins Leben gerufen und soll Bachelorabsolventen aus Wirtschafts-, Ingenieur- und Naturwissenschaften spezifisches Wissen zur Ökobilanzierung vermitteln. Denn was auf den ersten Blick trivial erscheint – eine Bilanz von Emissionen zusammenzustellen – enthält unglaublich viele methodische Fallstricke, die ein Laie kaum überblickt und wodurch es schnell zu Fehlurteilen kommt. Hier reicht auch nicht nebenbei eine Vorlesung mit 2

Semesterwochenstunden, sondern es muss Theorie und Praxis ausführlich vermittelt und geübt werden.

Die Herausforderungen liegen zum Beispiel in der Wahl von Bilanzgrenzen, woran viele Ökobilanzierer schon scheitern und im wahrsten Sinne des Wortes Unvergleichliches produzieren. Die sogenannte Allokationsmethode bei Kuppelprozessen ist ein großes Thema, insbesondere in der Kreislaufwirtschaft. Sie bestimmt oft das Ergebnis der Bilanz, ist aber ein methodisches Artefakt. Dazu kommen Datenungenauigkeiten, das Arbeiten mit internationalen Datenbanken und professioneller Ökobilanz-Software. Schließlich ist auch Wissen über die verschiedenen Umweltwirkungen erforderlich. Gehören Treibhauseffekt und Ozonloch seit Jahrzehnten zu den Spitzenreitern der betrachteten Umweltwirkungen, so drängen sich neuerdings Mikroplastik oder die Wirkung von PFAS oder Feinstaub nach vorne. Dazu kommen zahlreiche internationale Standards und gesetzliche Regelungen, die zu beachten sind.

Zu diesem ökobilanziellen Wissen gesellen sich im Studiengang auch Grundlagen, die für eine/n Nachhaltigkeitswissenschaftler/in unerlässlich sind. Bachelorabsolventen aus anderen Fächern können somit in

3 Semestern einen Crashkurs absolvieren, mit dem sie später im Umwelt- und Nachhaltigkeitsbereich bestens gewappnet sind. Ebenso wie in dem Bachelor-Studiengang „Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz“ liegt ein wesentlicher Schwerpunkt in praxisnahen Anwendungen. Dazu gehören Projektfallstudien zusammen mit Unternehmen und praxisnahe Abschlussarbeiten.

Eine derart intensive Ausbildung in Sachen Ökobilanzierung ist in Deutschland nach wie vor eine Ausnahme. Die Hochschule Pforzheim hat hier Standards gesetzt, viele ihrer AbsolventInnen arbeiten inzwischen in Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft und garantieren die Qualität dieser wichtigen Bilanzen.

DR. MARIO SCHMIDT

ist Professor und war Gründungs-Studiendekan des Studiengangs MLICS.

DR. TOBIAS VIERE

ist Professor und Studiendekan des Studiengangs MLICS.



<

Exkursion in die Praxis. Hier der MLICS-Studiengang eine Fahrt zum Braunkohlekraftwerk Jämschwalde zusammen mit Prof. Dr. Niko Thißen (links). Foto: INEC

Infos zum Masterstudiengang MLICS:



# Für Umwelt und Natur auf dem Weg zum Doktorhut

Das **Institut für Industrial Ecology (INEC)** hat zum zweiten Mal den Zuschlag zu einem kooperativen Promotionskolleg bekommen. Das gelang durch die guten Kontakte zum **Karlsruher Institut für Technologie (KIT)** und durch die Unterstützung der **Pforzheimer Karlheinz-Osterwald-Stiftung** und der **PSD-Bank Karlsruhe-Neustadt**.

VON MARIO SCHMIDT | erschienen in den KONTUREN HSPF 2024

Die Promotion ist für junge Nachwuchswissenschaftler die Krönung der akademischen Ausbildung, und sie blieb lange Zeit den Hochschulen für Angewandte Wissenschaften (HAW) verwehrt. Das hat sich inzwischen geändert. Seit diesem Jahr haben die HAW in Baden-Württemberg ein Promotionsrecht, das sie gemeinsam über einen Promotionsverband organisieren. Doch es gibt noch einen anderen interessanten Weg zur Promotion, die kooperativen Promotionskollegs (KPK) zusammen mit einer Universität. Das INEC hatte von 2016 bis 2019 zusammen mit dem KIT ein solches Kolleg. Seit vergangenem Jahr gibt es nun ein weiteres KPK zu dem Thema „Klima, Ressourcen und Circular Economy (KLIREC) – Wechselbeziehungen, Synergien und Tradeoffs“. Es wird bis 2027 vom baden-württembergischen Wissenschaftsministerium gefördert.

Offiziell promovieren die jungen Wissenschaftler am KIT, aber die Forschung und die Betreuung durch die Professoren werden partnerschaftlich an Universität und Hochschule durchgeführt. So sollen Synergien zwischen Theorie- und Praxisbezug hergestellt und

HAW-Absolventen der Zugang zur Promotion erleichtert werden. Das Besondere der KPK ist die Förderung durch das Land Baden-Württemberg: Für die Doktorandinnen und Doktoranden werden aus Landesmitteln 10 Stipendien für bis zu 3 Jahren Förderung bereitgestellt. Damit können sich die Nachwuchsforscher voll und ganz auf ihre Themen konzentrieren.

Eine Hürde bei der Vergabe des Kollegs gab es allerdings: Das Land verlangt einen Eigenanteil bei den Stipendien. Mindestens zwei Stipendien müssen Universität oder Hochschule finanzieren. Bei KLIREC sind es sogar insgesamt fünf zusätzliche Stipendien geworden – dank der großzügigen Unterstützung zweier Spender: der Karlheinz-Osterwald-Stiftung und der PSD-Bank Karlsruhe-Neustadt.

**Mit der PSD Bank hat die Hochschule schon seit 13 Jahren einen treuen Förderer**, der mit einer Stiftungsprofessur, mit Spenden, Preisen und Deutschlandstipendien die Aktivitäten insbesondere im Bereich Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit unterstützt hat. Seit 2024 wird nun auch ein Promotionsstipendium aus den Spendengeldern der PSD-Bank finanziert. Die



< Marianne Engeser, Philipp Paschen und Susanne Hoffmann vom Stiftungsrat der Karlheinz-Osterwald-Stiftung überbrachten dem Rektor, Professor Dr. Ulrich Jautz, die frohe Kunde der Spende.

Foto: Axel Grehl



^  
Das kooperative Promotionskolleg mit den Stipendiat:innen und Betreuer:innen bei einem Workshop im März 2024 in Karlsruhe.

Foto: ITAS

Auswahl unter den Bewerber:innen oblag ausschließlich der Hochschule bzw. dem KPK. Die Wahl fiel auf Surya Mächtlen, die in Pforzheim bereits den Master of Life Cycle & Sustainability abgeschlossen hatte. Sie wird über Lenkungsstrategien und Handlungsempfehlungen zur Nachhaltigkeit im Wohnsektor arbeiten. „Nach den aktuellen Diskussionen in der Politik über den Wärmesektor ist diese Forschung wichtiger denn je“, meint Holger Morlock von der PSD Bank und zeigt sich optimistisch, was den Erfolg der Promotion angeht.

Insgesamt vier Stipendien spendete eine private Stiftung, die der 2019 verstorbene Karlheinz Osterwald ins Leben gerufen hatte. Der ehemalige Bundesfinanzbeamte, der viele Jahre in Pforzheim lebte, wollte mit seiner Stiftung unter anderem den Umwelt- und Naturschutz fördern. Die Stipendien des KLIREC-Kollegs passen sehr gut zu diesem Förderzweck und gehen je zur Hälfte an Stipendiaten, die an der Hochschule in Pforzheim und am KIT forschen. Diese vier Stipendien sind eine wesentliche Basis für das Promotionskolleg, so dass insgesamt 15 Nachwuchswissenschaftler gefördert werden können. Bereits 2023 wurden drei dieser Stipendien im Rahmen des KPK vergeben. Pia Heidak, u.a. Absolventin des Studiengangs Ressourceneffizienz-Managements an der Hochschule Pforzheim, forscht über die Internalisierung der Umweltfolgen der Ressourcengewinnung im Bergbau. Marco Rudolf, Mathematikabsolvent der Universität Heidelberg, forscht über den Einfluss von Unternehmensinteressen auf die Bilanzierung der eigenen Klimawirkung. Anna König, Absolventin der Hochschule für Bildende Künste Braunschweig, arbeitet über das Gestalten von Kreisläufen in einer „Circular Society“.

Insgesamt kommt in dem Kolleg ein äußerst interdisziplinäres Team zusammen, das sich durch verschiedene Perspektiven gegenseitig befruchtet.

**Die Kooperation zwischen Hochschule und KIT läuft über mehrere Institute bzw. Fakultäten.** In Pforzheim koordiniert das INEC die Forschungsarbeiten; es ist auch für die operative Organisation zuständig. Professorale Betreuer sind hier Ingela Tietze, Tobias Viere und Mario Schmidt. In Karlsruhe ist hauptsächlich das Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemforschung (ITAS) mit den Professoren Armin Grunwald, Daniel Lang und Rafaela Hillerbrand beteiligt, außerdem das Institut für Angewandte Geowissenschaften (AGW) mit den Professoren Christoph Hilgers und Jochen Kolb.

Zwar forschen die Stipendiaten entweder in Pforzheim oder in Karlsruhe an den jeweiligen Instituten. Doch gelernt wird auch gemeinsam, in Workshops und regelmäßigen Kolloquien und durch einen regen inhaltlichen Austausch zwischen den Stipendiaten. Dadurch wird gleichzeitig die Zusammenarbeit zwischen den Instituten gestärkt. So sind die Professoren des INEC und des AGW bereits sehr aktiv im Thinktank Industrielle Ressourcenstrategien beteiligt, der am KIT angesiedelt ist und vom Land Baden-Württemberg und der baden-württembergischen Wirtschaft gefördert wird. Dies wiederum unterstützt die Verbindung von Theorie und Praxis, die bei den Promotionen an einer HAW eine besondere Bedeutung hat. ■

PROFESSOR DR. MARIO SCHMIDT  
ist Direktor des INEC und neben  
Professor Dr. Armin Grunwald vom KIT  
Co-Sprecher des Kollegs.

# »Challenge-based learning«

## Studierende erarbeiten Lösungen für relevante Zukunftsfragen

Nachhaltigkeit, Ressourcenschonung und innovative Produktentwicklung – das sind zentrale Herausforderungen für Unternehmen in Zeiten des Klimawandels, wachsender Umweltaforderungen und sich wandelnder Märkte. Doch wie lassen sich neue Ideen finden, zukunftsweisende Konzepte entwickeln und in der Praxis umsetzen?

VON CLAUS LANG-KOETZ, FRANK BERTAGNOLLI, INGELA TIETZE, TOBIAS VIERE UND JÖRG WOIDASKY |  
erschienen in den KONTUREN HSPF 2025

**E**ine Antwort darauf liefern Studierende der Hochschule Pforzheim – mit Projekten, die nicht nur theoretisches Wissen anwenden, sondern gemeinsam mit Unternehmen ganz konkrete Lösungen erarbeiten.

### Studierende entwickeln Lösungen für echte Herausforderung

Interdisziplinäres Arbeiten ist für die Herausforderungen aus den Bereichen Nachhaltigkeit, Ressourceneffizienz, Ökobilanzierung, Produktentwicklung und Prozessoptimierung unabdingbar. Deshalb bearbeiten Studierende aus den Fakultäten für Wirtschaft&Recht und Technik viele dieser Themen gemeinsam. In enger Zusammenarbeit mit Unternehmen entstehen so innovative Konzepte mit hoher Praxis-relevanz – und daraus wiederum sehr oft auch Ideen für Abschlussarbeiten in den Unternehmen. Einige Projekte münden sogar in Forschungsanträge oder Publikationen.

Die Grundlage dafür ist eine fachlich fundierte Ausbildung: Die Studiengänge *BWL/Nachhaltigkeit* und *Res-*

*sourceneffizienz, Wirtschaftsingenieurwesen* sowie der Masterstudiengang *Life Cycle & Sustainability* verbinden betriebswirtschaftliches Denken mit technischem Know-how und Kompetenzen im Nachhaltigkeitsmanagement. Neben der theoretischen Ausbildung zu Theorien, Konzepten und Methoden spielt die Integration von Fragestellungen aus der Praxis eine wichtige Rolle, ebenso wie Kommunikations- und Teamfähigkeit.

**Diese Fähigkeiten werden konkret beim Challenge-based Learning genutzt, dem zentralen didaktischen Konzept der Praxisprojekte:** Studierende arbeiten in Teams an konkreten Herausforderungen von Unternehmen und weiteren Organisationen wie z. B. Forschungseinrichtungen oder Kommunen. Dabei analysieren sie gemeinsam mit den externen Projektpartnern die Problemstellung, wählen geeignete Methoden aus und entwickeln umsetzbare Lösungen. Je nach Fragestellung werden von den Studierenden die aus Lehrveranstaltungen bekannten Methoden zielgerichtet ausgewählt und angewandt, von Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen über Ökobilanzen, Technologierecherchen, Wertstrom-, Markt- und Wettbewerbsanalysen bis hin zur Entwicklung von Geschäftsmodellen. Dabei



<  
Studierende der Bachelor Studiengänge »BWL/ Ressourceneffizienz-Management« und »Wirtschaftsingenieurwesen« mit den betreuenden Professoren Dr. Claus Lang-Koetz und Dr. Jörg Woidasky nach erfolgreichen Abschlusspräsentationen im Herbst 2022.  
Foto: Daniel Jäggle

>  
Studierende des Master-Studiengangs »Life Cycle & Sustainability« im Sommer 2024 nach Abschluss ihrer Projekte mit den Professoren Dr. Ingela Tietze (2. v. l.), Dr. Tobias Viere und Dr. Claus Lang-Koetz (1. und 2. v. r.).

kommen Experten-Interviews, Umfragen und Workshops, aber auch praktische Laboranalysen, Prozessanalysen und Machbarkeitsstudien z.B. zur Verarbeitung von Werkstoffen zum Einsatz.

**Professorinnen und Professoren begleiten den Prozess als Coaches – die Verantwortung für Organisation und Umsetzung liegt jedoch bei den Studierenden selbst.**

Dabei werden die Studierenden durch die Zusammenarbeit mit den externen Partnern zusätzlich motiviert – schließlich geht es hier nicht nur um Noten, sondern auch um einen Eindruck gegenüber Projektleitern und Geschäftsführern von Unternehmen. Die Ergebnisse werden in einer Abschlusspräsentation dargestellt und in anschließenden Diskussionen vertreten sowie in einem Abschlussbericht dokumentiert, der wissenschaftlichen Anforderungen genügen muss. Die Projekte liefern den beteiligten Unternehmen oft wertvolle Impulse – und bereiten die Studierenden hervorragend auf ihre Abschlussarbeiten in Unternehmen vor.

## Themenvielfalt und kreative Ideen aus der Praxis

Die Bandbreite der in den letzten Jahren bearbeiteten Projekte ist groß:

- Klimabilanzierung eines mittelständischen Unternehmens
- Nachhaltigkeitsbewertung von Produkten wie Kopfhörern, wiederverwendbaren Versandkartons oder auch plastikfreien Gassibeuteln
- Recyclingkonzepte für Kabelmahlgut
- Ökodesign-Ideen für Produkte wie z. B. Klettergriffe
- Simulation von Produktionsprozessen mittels Cardboard-Engineering und Lean Prinzipien
- Ermittlung von Treibhausgasemissionen entlang der Lieferkette (Scope 3)

- Elektromobilitätskonzepte unter Nutzung von Photovoltaik
- Entwicklung zirkulärer Geschäftsmodelle und Bewertung von Treibhausgas-Minderungsmaßnahmen
- Potenzialanalyse zur Nutzung von Wasserstoff in der Produktion
- Analyse von regionalen Stoffströmen

Der Blick von außen und der kreative Input der Studierenden bringen klare Analysen und gute neue Ideen – also frische Perspektiven in Unternehmen ganz ohne betriebsinterne »Scheuklappen«.

## Ein Gewinn für Studierende und Unternehmen

Die Praxisprojekte bieten den Studierenden wertvolle Erfahrungen: Sie erhalten tiefe Einblicke in reale Fragestellungen von Unternehmen und Organisationen und lernen, ihr theoretisches Wissen gezielt auf praktische Herausforderungen anzuwenden. Die intensive Auseinandersetzung mit konkreten Problemstellungen fördert nicht nur die fachliche Kompetenz, sondern auch zentrale Schlüsselqualifikationen wie Projektmanagement, Teamarbeit, Kommunikationsstärke und kritisches Denken.

Zugleich eröffnen die Projekte vielfältige Chancen für den weiteren Berufsweg. Die enge Zusammenarbeit mit Unternehmen bietet Einblicke in potenzielle Tätigkeitsfelder und schafft häufig Anknüpfungspunkte für Abschlussarbeiten oder den Berufseinstieg. Viele Studierende erfahren durch die unmittelbare Relevanz ihrer Arbeit zusätzliche Motivation – insbesondere, weil ihre Ergebnisse in der Praxis sichtbar wirken und von den Unternehmen wertgeschätzt werden.

Die beteiligten Unternehmen profitieren von fundierten Analysen und innovativen Impulsen zu aktuellen Herausforderungen. In vielen Fällen lassen sich die Ergebnisse direkt in der Praxis nutzen – etwa zur Weiterentwicklung

>>



von Nachhaltigkeitsstrategien, zur Produkt- und Prozessoptimierung oder zur Verbesserung der Klimabilanz. Besonders geschätzt wurde die professionelle, engagierte und methodisch fundierte Arbeitsweise der Studierenden. Die externe Perspektive brachte neue Denkanstöße, die oftmals zu innovativen Ansätzen führten. Nicht zuletzt bot die Zusammenarbeit den Unternehmen auch die Gelegenheit, potenzielle Nachwuchskräfte kennenzulernen. Insgesamt wurde das gemeinsame Arbeiten als sehr konstruktiv, zielführend und gewinnbringend bewertet.

Die Studierendenprojekte zeigen eindrucksvoll, wie praxisnahes Lernen und wissenschaftliche Methodik gewinnbringend miteinander verbunden werden können. Sie schaffen einen nachhaltigen Mehrwert für beide Seiten – und leisten zugleich einen Beitrag zur Lösung gesellschaftlich relevanter Zukunftsfragen.

## Auswahl einiger Studierendenprojekte aus den letzten Jahren

### Ökologische Betrachtung und Entwicklung von Innovationsideen für Boulder-Klettergriffe

Im Rahmen der Zusammenarbeit mit der HoldingGrips GmbH arbeiteten Studierende an zwei Teilprojekten:

1. Erstellung eines Product Carbon Footprints: Ziel war es, den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck der Produkte von HoldingGrips zu berechnen. Die Studierenden analysierten die Umweltwirkungen der Klettergriffe und verglichen diese mit den Umweltwirkungen von Standard-Klettergriffen. Dies umfasste die gesamte Wertschöpfungskette von der Materialgewinnung bis zur Entsorgung der Produkte.
2. Ermittlung von alternativen Materialien: Die Studierenden untersuchten Materialien, die als Ersatz für herkömmliche Polyurethangriffe dienen können. Ziel war es, nachhaltigere Materialoptionen zu identifizieren, die die Umweltbelastung reduzieren, ohne die Funktionalität und Qualität der Klettergriffe zu beeinträchtigen.

### Erarbeitung einer Klimabilanz für ein mittelständisches Unternehmen

Die Studierenden erfassten mit dem Corporate Carbon Footprint alle wesentlichen direkten und indirekten Treibhausgasemissionen der Haager GmbH & Co. KG. Ein selbst erarbeitetes Excel-Tool ermöglicht dem Unternehmen die Weiterentwicklung und Aktualisierung seiner Klimabilanz.

### Zirkularitätspotentiale für Hochleistungs-Kunststoffprodukte

Im Rahmen der Zusammenarbeit mit der ElingKlinger Kunststofftechnik GmbH untersuchten Studierende Zirkularitätspotentiale anhand der R-Strategien der Circular Economy. Darauf basierend wurden Konzepte zur Realisierung dieser für mehrere Hochleistungs-Kunststoffprodukte des Unternehmens entwickelt.

### Nachhaltigkeitsvergleich eines konventionellen Produktes vs. eines Produktes aus nachwachsenden Rohstoffen

Die Studierenden setzen sich in ihrer Arbeit mit möglichen Lösungsansätzen im Bereich Nachhaltigkeit und insbesondere der Ressourcenknappheit kritisch auseinander. Dabei wurden Produkte von fischer Befestigungssysteme aus anteilig biobasiertem Kunststoffgranulat analysiert, um gegebenenfalls Optimierungspotentiale abzuleiten.

### Carbon Footprints von Fertigungsteilen der Kaltfließpresstechnik

Für die Walter Schneider GmbH wurde eine allgemeine Vorgehensweise zur eigenständigen Ermittlung von Product Carbon Footprints (produktbezogenen Klimabilanzen) entwickelt und anhand von zwei Produkten erprobt.

### Lean-Prozessoptimierung mit Cardboard Engineering

Mit der Lean-Methode Cardboard Engineering wurden neue Soll-Layouts für zwei Produktionszellen der Witzemann GmbH im Maßstab 1:1 simuliert. Arbeitsbereiche für Schweißen, Löten und Prüfen wurden dabei mithilfe von Kartonmodellen aufgebaut, um Zeit- und Kostenanalysen durchzuführen.

Die einfache Umstellbarkeit der Kartonmodelle ermöglichte das Durchspielen und Optimieren von Abläufen, bevor reale Maschinen installiert wurden. So konnten verschiedene Varianten des Prozessflusses, der Organisation, Austaktung und Ergonomie kostengünstig erprobt und verbessert werden. Die Ergebnisse bilden eine fundierte Grundlage für zukünftige Fabrikplanungen.

### Konzepte für ökologisch vorteilhaftere Verpackungen

In Zusammenarbeit mit der Lorenz Bahlsen Snack World GmbH & Co KG Germany erarbeiteten Studierende ökologisch vorteilhaftere Verpackungskonzepte. Sie bewerteten diese unter Berücksichtigung des deutschen Marktes sowie des bestehenden Abfallentsorgungssystems.

### Treibhausgas-Bilanzierung von Maßnahmen zur Erreichung der Klimaziele der Landeshauptstadt

Damit die Stadt Stuttgart ihre ambitionierten Klimaschutzziele erreichen kann, sind viele Maßnahmen notwendig. Im Jahr 2021 bilanzierten Studierende für die Stadt Maßnahmen in den Bereichen Beschaffung und Ernährung. Anhand verschiedener Szenarien wurden so Einsparpotentiale bestimmt und Handlungsempfehlungen für die Stadt Stuttgart abgeleitet.

### Plastikfreie Gassibeutel

Hundekotbeutel werden millionenfach eingesetzt und haben damit trotz geringster Einzelmassen potentiell doch relevante Umweltauswirkungen. Im Rahmen der Studiererstellung wurde daher nicht nur die Umweltwirkung verschiedener Material- und Konfektionierungsvarianten für dieses Produkt untersucht, sondern auch ein produktorientierter Ökodesign-Ansatz in Matrixform entwickelt.

DR.-ING. CLAUS LANG-KOETZ

ist Professor für Nachhaltiges Technologie- und Innovationsmanagement und stellvertretender Leiter des Instituts für Industrial Ecology (INEC).

DR.-ING. FRANK BERTAGNOLLI

ist Professor für Lean Production und Ressourceneffizienz und Leiter des Studiengangs BWL/Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz.

DR. INGELA TIETZE

ist Professorin für Nachhaltige Energiewirtschaft und Prorektorin für Nachhaltigkeit und Studierendengewinnung.

DR. TOBIAS VIERE

ist Professor für Energie- und Stoffstromanalyse und Leiter des Masterstudiengangs Life Cycle & Sustainability.

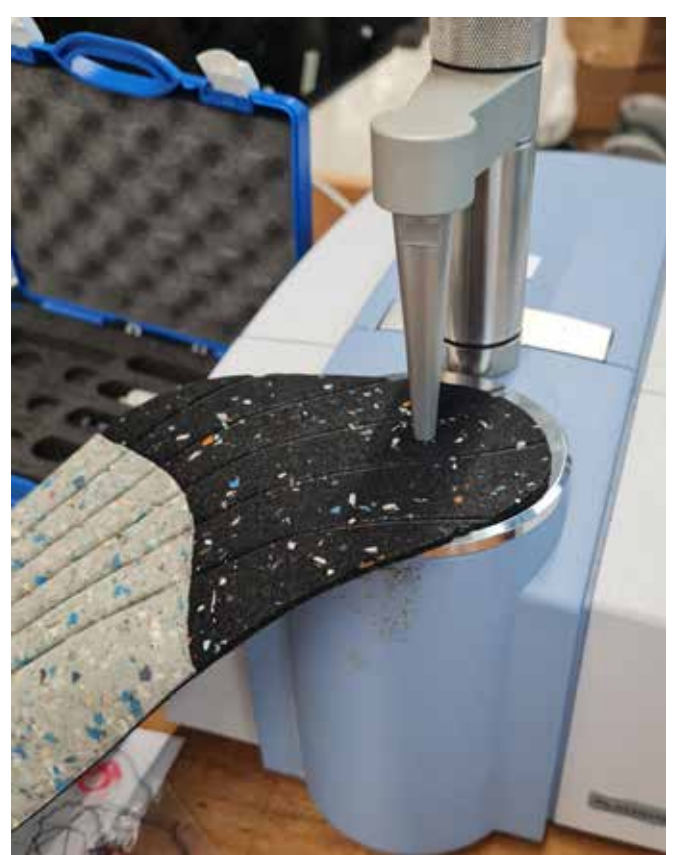
DR.-ING. JÖRG WOIDASKY

ist Professor für Nachhaltige Produktentwicklung und Leiter des Studiengangs Wirtschaftsingenieurwesen/Circular Economy Engineering.

> Studierende bei der Analyse eines Untersuchungsobjekts im Sommersemester 2025.  
Foto: Claus Lang-Koetz



▼ Studierende mit externem Partner bei Abschlusspräsentation im Sommersemester 2025.  
Foto: Raphael Schill;  
Unten li: Klettergriffe – in Zukunft aus umweltfreundlicheren Materialien. Foto: Jörg Woidasky;  
Unten re.: Analyse einer Schuhsohle im Labor für Nachhaltige Produktentwicklung. Foto: Susanne Gutmayer



# Auf dem »Shopfloor« indischer Unternehmen

VON KERSTIN ANSTÄTT |  
erschieden in den KONTUREN  
HSPF 2019

## Interkultureller Austausch an konkreten Praxisbeispielen

Ressourceneffizienz in deutschen Unternehmen – ist das nicht Eulen nach Athen tragen? Gibt es nicht in anderen Weltregionen einen viel größeren Bedarf an effizientem und umweltfreundlicherem Produzieren?

**D**as waren die Fragen, die am Institut für Industrial Ecology (INEC) gestellt wurden. Professor Mario Schmidt hatte bei mehreren Reisen nach Indien potenzielle Projektpartnern kennengelernt. Geplant war, eine deutsche Analysemethode in indischen Fabriken einzusetzen, mit der man Materialverschwendung aufdecken kann.

Im September 2018 war es dann so weit: Ein dreiköpfiges Team des INEC reiste nach Pune (Indien), um dort Fallstudien zur so genannten Materialflusskostenrechnung (MFKR) durchzuführen und Erfahrungen für eigene Forschungsprojekte zu sammeln. Nadja Wisniewski und Julia Schindler sind wissenschaftliche Mitarbeiterinnen am INEC und haben Ressourceneffizienz-Management in Pforzheim studiert. Mit dabei war auch Manuel Andresh, der zu dem Thema seine Masterthesis im Studiengang „Life Cycle & Sustainability“ schrieb.

Pune, früher Poona genannt und ein bekanntes Meditationszentrum, ist heute eine aufstrebende Millionenstadt im Bundesstaat Maharashtra. Dort befinden sich auch zahlreiche deutsche Niederlassungen und sogar ein Kontaktbüro Baden-Württembergs, denn Maharashtra ist so etwas wie ein Partner-Bundesstaat. Vor zwei Jahren war auch Ministerpräsident Winfried Kretschmann zu Besuch. Das erleichterte die Kontaktaufnahme zu indischen Firmen. Zusammen mit dem



Nadja Wisniewski, Julia Schindler und Masterstudent Manuel Andresh beim Sightseeing in Indien.



<  
„Effizienz“ im indischen Straßenverkehr.

↳  
Koexistenz von Mensch, Technik und Natur in Indien.

Fotos: INEC

In Indien werden offiziell  
23 verschiedene  
Sprachen gesprochen.



die Einsparpotenziale in Indien nicht wesentlich von hiesigen unterschieden. Die Produktion und der Wissensaustausch hierzu sind inzwischen international, und die Lernkurve in anderen Ländern ist sehr steil. Trotzdem sind die indischen Unternehmen anders organisiert. Niemand will hier Personal einsparen – bei Tageslöhnen von wenigen Dollar pro Person kein Wunder. Es geht eher darum, Arbeit zu schaffen. Deshalb muss die Ansprache an die Unternehmen eine andere sein: Ressourceneffizienz hört hier niemand gerne, weil sofort an „Human Resources“ gedacht wird. Also muss man explizit von Material und Energie sprechen.

Für das Pforzheimer Team waren diese kommunikativen Feinheiten, das Eintauchen in eine andere Kultur und in eine Gesellschaft voller Gegensätze spannend. Apropos Kommunikation: In einem Land, in dem offiziell 23 verschiedene Sprachen gesprochen werden, klappt die Verständigung mit den einfachen Mitarbeitern selbst auf Englisch nicht immer. Ohne Partner vor Ort hat man darum keine Chance. Der Aufbau von Netzwerken und Kooperationen ist deshalb für solche Projekte unerlässlich und für die Pforzheimer eine tolle Chance für interkulturelles Lernen.

indischen Kollegen Prashant Gogle wurden vier Firmen ausgewählt, die detailliert analysiert werden sollten: die Chemiefirma Harmony Organics, der Automobilzulieferer Renata Precision Components, die Lebensmittelfirma Schreiber Dynamix Dairies und der Automobilhersteller Tata Motors.

Bei der Materialflusskostenrechnung (MFKR) handelt es sich um eine Analyseverfahren, bei der die Materialverluste im Fokus stehen. Sie ist mit der ISO 14051 international standardisiert. Im Rahmen einer MFKR werden den Abfällen – im Gegensatz zur konventionellen Kostenrechnung – die Kosten der Produktion anteilig zugerechnet. Damit errechnet man die durch die Abfälle entgangene Wert-

schöpfung. Das Ziel einer MFKR ist es, den Unternehmen die versteckten Kosten und Einsparpotenziale aufzuzeigen. Eingespart werden dadurch auch Ressourcen und Treibhausgasemissionen. Neben der Datenerhebung geht es bei den Unternehmen sogar in die Produktion, auf den „Shopfloor“. Denn die Technik muss selbst von den Betriebswirten verstanden werden, will man irgendetwas an Kosten und Ressourcen einsparen.

Alle vier Fallstudien konnten trotz eines knappen Zeitbudgets von einem Monat erfolgreich und mit teilweise deutlichen Einsparpotenzialen abgeschlossen werden. Die „deutsche“ Methode fand großes Interesse bei den Unternehmen, wengleich sich

KERSTIN ANSTÄTT  
ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am  
Institut für Industrial Ecology (INEC).

# Bienen an der Hochschule

VON FRANK BERTAGNOLLI | erschienen in den KONTUREN HSPF 2023



Im Rahmen unserer innovativen Lehre startete im Frühjahr 2020 das Projekt **BEEsy Mission**, das sich inzwischen als kleines Nachhaltigkeitsprojekt und Wahlpflichtfach im Rahmen des interdisziplinären Lehrangebots der Hochschule Pforzheim etabliert hat.

**P**rojekthafte und forschende Lernen stand am Anfang der Idee des Autors, ein Bienenvolk an die Hochschule zu holen. Eine Mischung aus erfahrenen und unerfahrenen Studierenden machte sich im Frühjahr 2020 gemeinsam auf eine Lernreise mit dem Ziel: ein selbst produziertes Glas Honig. So startete die BEEsy Mission.

Stand am Anfang noch der Aufbau des Bienenhauses und das Kümern um das Volk, so entwickelte sich das Projekt nach und nach mit ganz unterschiedlichen Ideen weiter. Die Studierenden suchten sich in interdisziplinären Teams aus allen drei Fakultäten ihre Themen heraus und bearbeiten diese im Laufe des jeweiligen Sommersemesters. In den bisherigen Durchläufen ging es beispielsweise um die Gestaltung von Aufklebern für Honiggläser, das Honigernten, die Pflege des Bienenstocks, die Bildung eines Ablegers

durch eine Teilung des Volkes, um den Aufbau eines anderen Beutesystems oder um einen Instagram-Kanal mit den Projektinhalten.

Ein Wachs-Schmelzer wurde angeschafft, denn eine Gruppe beschäftigt sich mit Produkten rund um das Bienenwachs und stellt als Endprodukt Wachstücher her: wiederverwendbar, atmungsaktiv und nachhaltig. Eine andere studentische Projektgruppe analysierte betriebswirtschaftlich die exakten Kosten und den Aufwand, der für ein Glas Honig erforderlich ist.

Alle Themen entwickeln sich aus Fragestellungen der Teilnehmenden rund um das Thema Bienen und werden durch eigene Recherchen oder Expertenbefragungen praktisch gelöst. Am Ende jedes Sommersemesters steht für jede Teilnehmerin und jeden Teilnehmer die Prüfungsabgabe in Form eines Portfoliobe-

richtes an. Dieser beinhaltet eine Sammlung der Tätigkeiten, Erlebnisse und einen Bericht über die eigenen Aktivitäten. Hierbei entstanden auch Videobeiträge, interaktive Internetseiten, der erwähnte Instagram-Kanal und ein kleines Buch in der Reihe Springer essentials **„Bienen an der Hochschule“** (Springer 2022, Open Access, <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-662-64934-3>), mit dem einige der Teilnehmenden selbst zu Buchautorinnen und -autoren geworden sind. Sie publizierten dabei ihr Wissen zum Thema Bienen, zum Nachhaltigkeitsbezug, zu den Projekten selbst und zu ihren Lernerfahrungen.

Auf der Nachhaltigkeitsmesse 2022 der Hochschule gab es neben einer Honigverkostung auch ein Gewinnspiel mit Fragen über Bienen. Für Informationen rund um das Projekt und Hilfestellungen beim Gewinnspiel





standen Projektmitglieder Rede und Antwort. Gleichzeitig interessierten sich neue Studierende für das Projekt, in dem sie sich das Wissen für die Gründung eines eigenen Bienenvolkes aneignen können.

In Projekten verläuft natürlich nicht immer alles nach Plan. So wurde das erste Bienenhaus kurz nach seiner mühevollen Fertigstellung entwendet. Ein weiteres Problem zeigte sich im Frühjahr 2022, als die beiden Bienenvölker den Winter trotz Futtergabe nicht überlebt hatten.

Diese Misserfolge waren hart für das Projekt, zeigen aber die möglichen Risiken. Gleichzeitig bringen nicht planbare Ereignisse immer eine neue Dynamik in den Lehrablauf und damit neue Lernerkenntnisse für alle Beteiligten.

Das Projekt wird jeweils im Sommersemester angeboten, der aktiven Phase des Bienenjahrs. Im Wintersemester wird es ruhiger, und die Bienen überwintern. In dieser Zeit kümmern sich studentische Hilfskräfte um die Völker und deren Versorgung. Seit

dem Sommersemester 2023 unterstützt uns ein Lehrbeauftragter, der selbst Hobbyimker ist.

#### DR. FRANK BERTAGNOLLI

ist Professor für Lean Production und Ressourceneffizienz im Institut für Industrial Ecology (INEC). Er interessiert sich für innovative und projekthafte Lehrformate in der Praxis und hat die Lehrveranstaltung BEEsy Mission initiiert.



^  
Der Lehrbeauftragte und Hobbyimker Felix Bischoff freut sich über den Nachwuchs unter den verdeckelten Brutwaben.  
Foto: Frank Bertagnolli

<  
Die „BEEsy Mission“-Projektgruppe  
Foto: Cindy Fernandez

>  
Markierte Bienenkönigen des Hochschulvolkes mit Bienen auf einem Rähmchen.  
Foto: Florentine Parzich



# »Klima-Challenge«

## Studierende sparen eine Tonne CO<sub>2</sub>

VON HENDRIK LAMBRECHT |  
erschieden in den KONTUREN HSPF 2020

### Weniger Netflix, besseres Klima?

Weniger Fleisch essen, unnötige Verpackungen vermeiden, den eigenen PKW durch umweltfreundlichere Fortbewegungsmittel ersetzen – oder auch: weniger Netflix konsumieren. Das sind nur einige der Challenges, denen sich die Studierenden im ersten Semester des Master-Studiengangs Life Cycle & Sustainability gestellt haben.

**S**o haben Sie sich nicht nur theoretisch mit den Themen Ökobilanzierung und Nachhaltigkeit befasst, sondern diese angewendet, um einen konkreten und ganz persönlichen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten.

Zum vierten Mal haben sich die Studierenden im Wintersemester 2019/20 im Rahmen des einführenden Grundlagen-Moduls einer „Umwelt-Challenge“ gestellt und eine selbst gewählte umweltentlastende Maßnahme zwei Monate lang im Alltag umgesetzt. Anschließend haben sie die Wirkung der eigenen Maßnahme unter Zuhilfenahme der erlernten Konzepte und Methoden abgeschätzt und die Ergebnisse in einem Kurzbericht zusammengefasst. „Es ist spannend und begeistert mich immer wieder aufs Neue, auf welche Ideen die Studierenden kommen und welche Einblicke sie anschließend bei der Auswertung ihrer Challenges gewinnen.

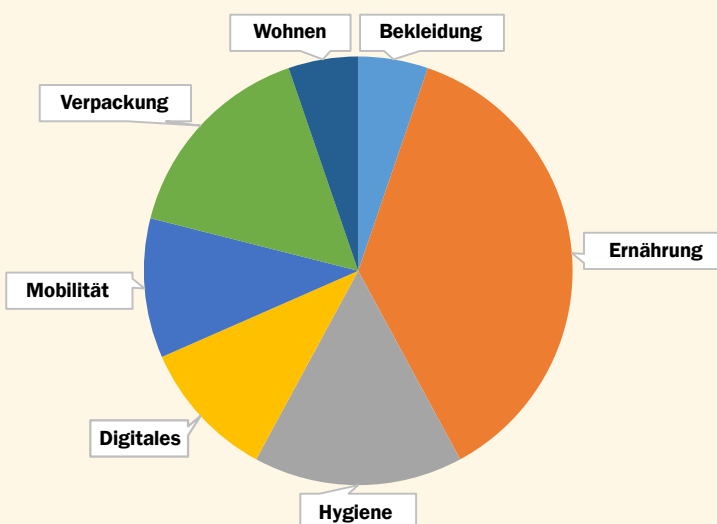
Häufig lerne ich dabei selbst etwas Neues!“ so der für das Modul verantwortliche Professor Dr. Hendrik Lambrecht.

So konnte eine einzige Studentin durch die – sowohl im Umfang als auch der Datenqualität – reduzierte Nutzung des Streaming-Dienstes Netflix im Zeitraum von nur 18 Wochen eine Einsparung von ca. 300 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten erzielen. Die Abschätzung solcher Zahlen wirft zweifellos methodische Fragen auf, verweist aber sicher zutreffend auf die steigende Bedeutung der Infrastruktur für die weltweite Datenübertragung am globalen Energie- und Ressourcenverbrauch. Ein anderer Student hatte sich zum Ziel gesetzt, auf Bestellungen im Online-Handel zu verzichten, um den Verpackungsaufwand zu reduzieren. Sein überraschendes Fazit: die eigentliche Wirkung seiner Maßnahme lag darin, dass er nur zwei der insgesamt sieben Kaufwünsche im Zeitraum der Challenge im Einzelhandel vor Ort realisierte. Die anderen fünf erschienen ihm nach kurzer Zeit überflüssig.

Insgesamt bilden die Maßnahmen einen guten Querschnitt durch die gesellschaftlich diskutierten Ansätze zum Klimaschutz im privaten Umfeld ab. Erwartungsgemäß haben Veränderungen in den Bereichen Mobilität, Wohnen und Bekleidung mit einem mittleren Einsparpotenzial von ca. 500 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten pro Jahr eine besonders hohe Wirkung..

„Man sollte die Relevanz der Maßnahmen aber nicht nur anhand der eingeschätzten Einsparung bewerten“, so Lambrecht, „dieser spiegelt schließlich auch die Ausgangslage wider und fällt damit umso niedriger aus, je umweltbewusster sich eine

Treibhausgas-Einsparungen der einzelnen Maßnahmen – zur besseren Vergleichbarkeit dargestellt als Potenzial, wenn die Maßnahme ein Jahr durchgeführt würde.



»Es ist spannend und begeistert mich immer wieder aufs Neue, auf welche Ideen die Studierenden kommen und welche Einblicke sie anschließend bei der Auswertung ihrer Challenges gewinnen.«



Studierende im 1. Semester des M.Sc. „Life Cycle and Sustainability“ mit Professor Dr. Hendrik Lambrecht (ganz links). Foto: Steffen Lewerenz

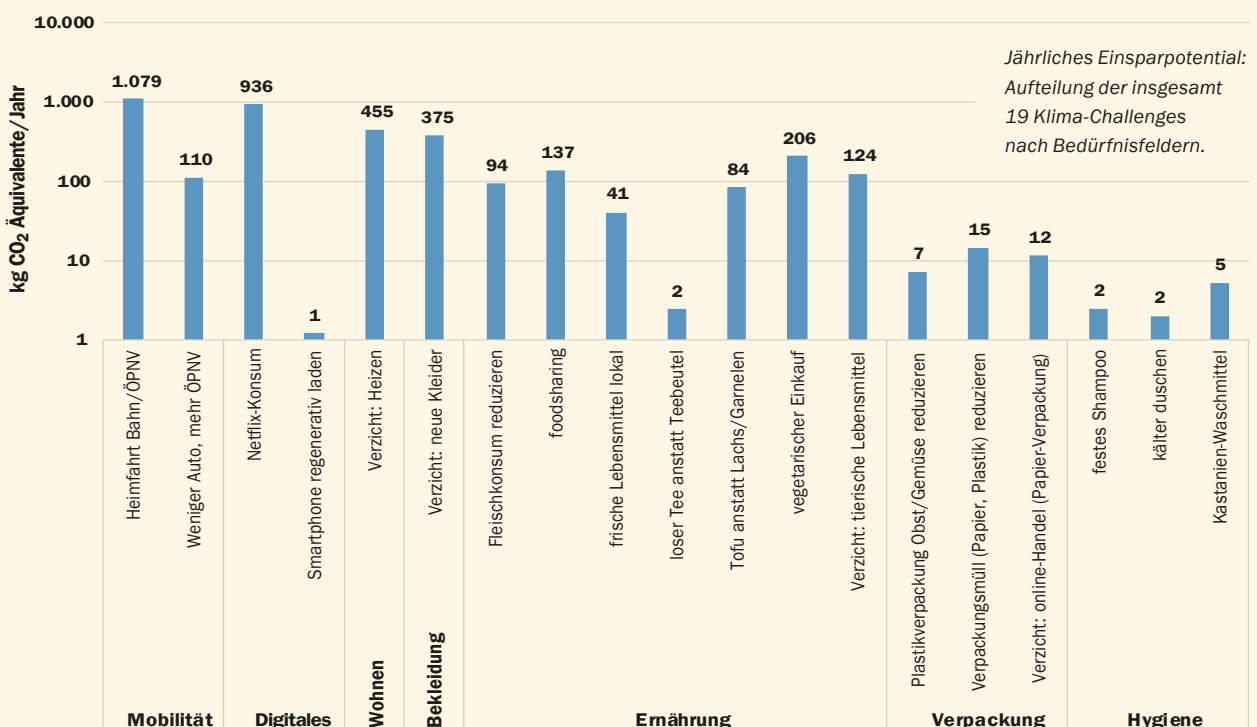
Person – beispielsweise beim Fleischverzicht – bereits zuvor verhalten hat. Außerdem sind es vielleicht gerade die etwas abwegigeren Ideen, die eine Gesellschaft benötigt um vorwärtszukommen.“ So wurde beispielsweise mit einem aus Rosskastanien hergestellten Ersatz für herkömmliche Waschmittel experimentiert. Interessante Einsicht: so wird die Umweltbelastung aus der aufwändigen chemischen Herstellung von Waschmitteln zwar reduziert, aber auch die natürlichen Saponine, die die reinigende Wirkung übernehmen, haben in der Umwelt toxische Eigenschaften.

Neben der Vielfalt der Ideen überzeugt der Elan, mit dem die Studierenden sich an die Auswertung ihrer Challenges begeben. Hausmüll wird gewogen, der eigene Warenkorb protokolliert, Temperaturprofile werden ermittelt, die Herkunft von Lebensmitteln recherchiert. Und man will es wirklich wissen:

so wird nicht selten auf unterschiedlichen Wegen überprüft, ob die eigene Abschätzung Bestand hat. Es gelingt den Studierenden zudem durchweg, die Ergebnisse kritisch zu reflektieren: Was ist der Effekt, wenn ich anstatt Fleisch mehr Milchprodukte konsumiere? Wie repräsentativ sind Stichproben beispielsweise des eigenen Konsumverhaltens? Welche Auswirkungen – außer auf das Klima – hat die gewählte Maßnahme noch? So ist die eine Tonne eingesparter Treibhausgase am Ende vielleicht nicht mehr als eine grobe Abschätzung der Größenordnung. Die Wirkung der Challenge selbst könnte jedoch deutlich größer ausfallen.

DR. HENDRIK LAMBRECHT

ist Professor für Industrial Ecology und Quantitative Methoden.



# Voller Erfolg für ein neues Format des Instituts für Industrial Ecology

## 1. Symposium Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz

VON MARLENE PREISS, CLAUS LANG-KOETZ UND CHRISTIAN HAUBACH |  
erschienen in den *KONTUREN HSPF 2023*

Ökobilanzierung, Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz in der Praxis, diesen Themen widmete sich das erstmals vom Institut für Industrial Ecology (INEC) veranstaltete Symposium Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz. Das Symposium ist ein neues Veranstaltungsformat des INEC, das die bisherige Ringvorlesungsreihe ersetzt.

Die Veranstaltung fand im Dezember 2022 im EMMA Kreativzentrum in Pforzheim statt, ein Ort, der ideal für einen Perspektivenwechsel ist. Dies spiegelte sich nicht zuletzt auch im Veranstaltungsprogramm wider: So konnten die über 100 Teilnehmer\*innen über Keynotes renommierter Fachleute, Vorträge von Alumni und Studierenden der Hochschule und Posterpräsentationen laufender Forschungsprojekte des INEC mehr über Forschungs- und Praxisaspekte des Themas erfahren.

Der Tag begann mit Keynotes zur Ökobilanzierung. **Professor Dr. Mario Schmidt**, Institutsdirektor des INEC, zeigte dem Publikum auf, in welchen Punkten die Ökobilanzierung für Laien und auch Experten Herausforderungen aufweist: Über Ökobilanzen können die wesentlichen Umwelt- und sozialen Aspekte von Produkt- und Servicesystemen erfasst werden – das ist in einer komplexen Welt mit weitverzweigten Lieferketten nicht trivial. Fallstricke lauern beispielsweise bei der Allokation von Umweltwirkungen bei mehrmaligem Recycling von Produkten, bei der Verrechnung von negativen Emissionen durch biogene Materialien, aber eben immer noch auch bei der Verfügbarkeit von sowohl Primär- als auch Sekundärdaten, z. B. zu Rohstoffen oder Produktions- und Transportprozessen.

An das Thema Daten für die Ökobilanzen knüpfte **Dr. Roland Hischier** vom schweizerischen Forschungsinstitut Empa aus St. Gallen an. Sein Vortrag war ein Streifzug durch die Geschichte der Ökobilanzdatenbank ecoinvent – von den Anfängen über die Gegenwart bis zu einem Ausblick auf zukünftige Entwicklungen und Herausforderungen. Die Geschichte der Datenbank hat er persönlich mitgeprägt und stellte sie lebhaft vor: Ende der 1990er Jahre wurde ecoinvent ins Leben gerufen mit dem Ziel, die an verschiedenen Instituten in der Schweiz gesammelten Ökobilanzdaten zur harmonisieren und zu konzentrieren, woraus die Datenbank ecoinvent entstand. Schließlich wurde sie ab 2004 erweitert und ab 2008 so strukturiert, dass sie flexibel und dennoch einfach ist. Im Jahr 2013 erfolgte schließlich die Gründung des Vereins ecoinvent mit der Vision, Menschen auf der ganzen Welt Zugang zu hochwertigen Informationen zu ermöglichen, um Nachhaltigkeitsbewertungen einfach und kostengünstig durchführen zu können. Mehrere tausend Nutzende weltweit zeigen den Erfolg dieser Bemühungen.

»Die Vorträge und Diskussionen zeigten ganz deutlich, dass Ökobilanz und Carbon Footprint hochrelevant sind und der Bedarf an Expertise in diesem Gebiet auch in Zukunft wächst.«

Professor Dr. Claus Lang-Koetz



Die abschließende Keynote hielt **Martina Prox** von der iPoint-systems GmbH zur Automatisierung von Ökobilanzen und Product Carbon Footprints. Aktuell liegen nur für einen geringen Prozentsatz an Produkten Ökobilanzen vor. Mit den bisher vorhandenen Mitteln und Vorgehensweisen kann dieser Prozentsatz jedoch nur langsam gesteigert werden, um Produkte möglichst flächendeckend mit Ökobilanzen auszustatten, zu langsam, wie Frau Prox betonte. Daher zeigte sie auf, welche Möglichkeiten zur Automatisierung von Ökobilanzen und Product Carbon Footprints bereits vorliegen und woran derzeit verschiedene Brancheninitiativen arbeiten. In der abschließenden Diskussion der drei Referenten mit dem Publikum wurde deutlich, dass es weiterer Bemühungen hinsichtlich frei verfügbarer, verlässlicher und aktueller Ökobilanzdaten bedarf und existierende Standards harmonisiert werden müssen.

In der Mittagspause konnten sich die Teilnehmer\*innen austauschen und vernetzen sowie im Rahmen einer Postersession einen Einblick in die vielseitigen Forschungsprojekte des INEC erhalten.

Am Nachmittag standen Vorträge von Alumni und Studierenden des Bachelorstudiengangs BWL-Ressourceneffizienzmanagement (mittlerweile: BWL-Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz) und des Masterstudiengangs Life Cycle and Sustainability auf dem Programm. Den ersten Vortragsblock bestritten die ehemaligen Masterstudierenden Dr. Katharina Gompf, Lucas Hadamek und Isabell Riester.

**Dr. Katharina Gompf**, die bei der BMW Group u. a. die Nachhaltigkeit der Produktlinie Mini verantwortet, zeigte auf, welche Emissions-Reduktionsziele sich die BMW Group gesetzt hat, wie diese auf einzelne Fahrzeugtypen heruntergebrochen und schließlich realisiert werden. So sollen die Treibhausgasemis-

&gt;&gt;

^  
Das INEC konnte sich über ein sehr gut besuchtes 1. Symposium Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz freuen.

>  
Keynote-Speaker Dr. Roland Hirschler vom schweizerischen Empa aus St. Gallen, Professor Dr. Mario Schmidt, Direktor des INEC, sowie Martina Prox von der iPoint-systems GmbH zusammen mit dem Moderator und Organisator des Symposiums, Professor Dr. Claus Lang-Koetz (v.r.n.l.).



Fotos: Cornelia Kamper



^  
*Dr. Katharina Gompf, Alumna des Masterstudiengangs Life-cycle & Sustainability, ist als Ökobilanz-Spezialistin bei der BMW Group tätig. Foto: Alexandra Vogt*



^  
*Organisator und Moderator des Symposions, Professor Dr. Claus Lang-Koetz, eröffnete das Event im EMMA Kreativzentrum vor über 100 Gästen. Foto: Cornelia Kamper*

sionen der Fahrzeuge über ihren Lebenszyklus bis 2030 (gegenüber 2019) um 40 % reduziert werden. Dies soll über den vermehrten Einsatz von Sekundärrohstoffen und Berücksichtigung der Zirkularität der Fahrzeuge schon bei deren Design umgesetzt werden, so dass aus den Autos von heute die Rohstoffe der Autos von morgen gewonnen werden können. **Lucas Hadamek** arbeitet als Sustainability-Consultant in den Bereichen Energie, Mobilität und Automotive bei der Sphera Solutions GmbH. Er gewährte einen Einblick in seine Tätigkeiten als Consultant und erläuterte, wie er Unternehmen dabei unterstützt, die ersten Schritte in Richtung Ökobilanzierung zu gehen. **Isabell Riestler**, Umweltmanagementbeauftragte der Aesculap AG, stellte in ihrem Vortrag dar, dass Produkt-Ökobilanzen und Corporate Carbon Footprints auch in der Medizintechnik zunehmend an Bedeutung gewinnen. So wurden in Pilotprojekten Ökobilanzen für ein Infu-

sionsbeutelset und einen Zahnbohrer erstellt. Aufgrund der Tatsache, dass es sich bei medizinischen Produkten oftmals um Einwegprodukte, sogenannte Single Use Surgical Instruments, handelt, ist insbesondere die Untersuchung der End-of-Life-Phase und möglicher Recyclingansätze relevant. Für den Standort Tuttlingen hat das Unternehmen bereits einen Corporate Carbon Footprint, der die Scope 1 und 2 Emissionen umfasst, erstellt.

Bei den Vorträgen der Studierenden präsentierte **Tayla Herrmann** die Ergebnisse einer Ökobilanz zu kabellosen Kopfhörern, welche sie vom Zerlegen des Produkts über die Bestimmung der Materialien der einzelnen Komponenten bis hin zur Modellierung und Auswertung der Ergebnisse durchgeführt hat. Das Treibhausgaspotenzial des Kopfhörers beläuft sich auf etwa 12 kg CO<sub>2</sub>e, wobei etwa 81 % davon in der Herstellungsphase anfallen.

>  
*Professor Dr.-Ing. Nikolaus Thißen und Professor Dr. Hendrik Lambrecht im Pausengespräch. Foto: Cornelia Kamper*





**Franziska Heckel** begann ihren Vortrag mit der Frage: „Wie viele Pakete bekommst du pro Monat nach Hause geliefert?“ Würden die 4,5 Milliarden jährlich in Deutschland anfallenden Sendungen in Mehrwegkartons versendet, die nur ein zweites Mal wiederverwendet würden, könnten pro Jahr etwa 330.000 t CO<sub>2</sub> vermieden werden. Das Pforzheimer Start-up *wir.kiste.kreis* hat eine Mehrwegkiste zur großflächigen Nutzung im B2C E-Commerce entwickelt. Frau Heckel hat dazu in ihrer Bachelor-Thesis eine CO<sub>2</sub>-optimierte Kreislauflogistik betrachtet und stellte dies in ihrem Vortrag vor.

Der Vortrag von **Felix Bischoff** und **Sophia Reiter** thematisierte die Ermittlung von Scope 3-Emissionen nach Greenhouse Gas Protocol in einem Industrieunternehmen. Auch hier kam das Thema der Datenverfügbarkeit wieder zur Sprache, so erachteten die beiden die mangelnde Verfügbarkeit als größte Herausforderung zur Ermittlung der Scope 3-Emissionen. Darüber hinaus gestaltete sich die Interpretation der Ergebnisse schwierig, da keine Benchmarks vorliegen.

»Die Veranstaltung gab einen vertieften Einblick in aktuelle Forschungsthemen zu Ökobilanzierung und Herausforderungen für deren Durchführung in der Praxis. Der erhoffte intensive Dialog mit unseren Gästen zu diesem Thema ist uns gelungen.«

Professor Dr. Mario Schmidt

^  
Martina Prox, Director Expert Services bei der iPoint-systems GmbH, zeigte Möglichkeiten zur Automatisierung von Ökobilanzen und Product Carbon Footprints auf.  
Foto: Cornelia Kamper

Zum Abschluss stellten **Maren Kientsch** und **Marlon Patt** den von ihnen ermittelten Carbon Footprint eines Hochtemperaturwärmespeichers aus Stahl vor. Die Ergebnisse zeigen, dass der größte Beitrag zum Carbon Footprint auf die Nutzungsphase entfällt, weshalb die beiden Studierenden Szenarien mit verschiedenen Stromerzeugungsarten modellierten. Dabei wurde deutlich, dass die Vorteilhaftigkeit des Speichers wesentlich von der Art der Stromerzeugung, mit dem er betrieben wird, abhängt. Bei der Nutzung von erneuerbaren Energien (Solar oder Wind) ist der Speicher einer Bereitstellung der thermischen Energie mittels Gasverbrennung vorzuziehen.

Die über 100 Teilnehmer\*innen (viele Studierende, aber auch zahlreiche externe Gäste) konnten das Schwerpunktthema Ökobilanz und Carbon Footprint aus unterschiedlichen Perspektiven erleben – von Fachexpert\*innen, aus Forschungssicht sowie aus der Sicht von Absolvent\*innen in der Berufspraxis und Studierenden im Bachelor- und Masterstudium. Die interessierten Nachfragen aus dem Publikum, die engagierten Diskussionen im Plenum und in den Pausen und das positive Feedback zeigten, dass das erste Symposium Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz eine wirklich gelungene Veranstaltung war und regelmäßig neu aufgelegt wird.

<b>MARLENE PREISS</b>
ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Industrial Ecology (INEC).
<b>DR. CLAUS LANG-KOETZ</b>
ist Professor für Nachhaltiges Technologie- und Innovationsmanagement.
<b>DR. CHRISTIAN HAUBACH</b>
ist Geschäftsführer des Instituts für Industrial Ecology (INEC).

# »Klimaneutralität« oder »Greenwashing«



**INEC**  
INSTITUT FÜR INDUSTRIAL  
ECOLOGY

## Symposien für Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz

Die Frage nach der Erreichbarkeit von Klimaneutralität im Unternehmen und der Kompensation von Emissionen stand im Mittelpunkt eines Symposiums, zu dem das **Institut für Industrial Ecology (INEC)** neben Studierenden zahlreiche Teilnehmer:innen aus Praxis und Forschung an die Hochschule eingeladen hat.

VON MARCO SCHMID, MARCO RUDOLF UND ALEJANDRO ARIAS-CASTILLO |  
erschienen in den KONTUREN HSPF 2025

**E**in weiteres Symposium widmete sich der Rolle von Wasserstoff in der Energiewende, wobei Treiber und Herausforderungen beleuchtet wurden. Auf einer dritten Plattform für den Austausch zwischen Wissenschaft, Industrie und Hochschulangehörigen präsentierte Pforzheimer Alumni interessante Fälle aus ihrer Praxis und Forschung.

### 4. Symposium Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz: Klimaneutralität und Kompensation

Für viele Unternehmen sind klimafreundliches Handeln und »Klimaneutralität« längst wichtige strategische Ziele. Die Unterscheidung von tatsächlichem Engagement und »Greenwashing« ist in diesem Themenfeld nicht immer einfach. Dies liegt an dem Begriff der »Klimaneutralität« selbst und an der üblichen Praxis, ausgestoßene Treibhausgase

durch Klimaschutzprojekte in anderen Teilen der Welt zu kompensieren. Somit bleiben die Fragen offen, ob und wie sich Klimaneutralität nachweisbar und glaubwürdig erreichen lässt und welche Rolle die Kompensation von Emissionen dabei spielen sollte. Das Symposium bot Kritikern und Anbietern von Klimaschutz- und Kompensationsprojekten Raum für eine differenzierte Auseinandersetzung und Einblicke in die Praxis von Unternehmen.





**Professor Dr. Mario Schmidt** eröffnete das Symposium mit dem Hinweis, dass es klimaneutrale Produkte oder Unternehmen im engeren Sinn derzeit nicht geben kann. Nur mit Hilfe von Kompensationen, also der Anrechnung von Klimaschutzmaßnahmen anderer, könne man rechnerisch auf null Emissionen kommen. Doch diese würden derzeit sehr unterschiedlich eingeschätzt. Teilweise werde verlangt, dass nur die langfristige Bindung von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre als Kompensation angerechnet werden darf, nicht aber andernorts vermiedene Emissionen. Weiterhin untersage die EU künftig Produktwerbung auf der Basis von Kompensationen als unlautere Geschäftspraktik. Klimaneutralität werde damit zu einer leeren Phrase, so Schmidt. Er plädierte für mehr und insbesondere einheitlichere Leitlinien zur Berechnung der Emissionen und schloss mit Fragen ab, die sich Unternehmen in diesem Zusammenhang dringend ehrlich beantworten müssen: »Kompensieren Sie primär

^  
Leonie Nazemi spricht im gut besuchten AudiMax.

<  
Alle Bühnengäste des 4. Symposiums Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz: Klimaneutralität und Kompensation.

Fotos: Alexandra Vogt

Das Label »Klimaneutralität« war für viele Unternehmen ein Einstieg und eine wichtige Motivation, mehr für den Klimaschutz zu tun.

aus Marketinggründen? Oder weil Sie tatsächlich Klimagas einsparen wollen? Oder geht es Ihnen eher darum, Projekte im globalen Süden zu fördern? Und braucht es dafür wirklich den Begriff der ‚Klima-neutralität‘?»

Der Begriff »Klimaneutralität« wird von der Deutschen Umwelthilfe sehr in Frage gestellt. Deren Vertreterin Agnes Sauter nannte die aktuelle Situation innerhalb der Europäischen Union eine Greenwashing-Krise, bei der die Hälfte an grünen Labels nur schwach bis gar nicht zertifiziert und genauso viele Umweltschutz-Behauptungen von Unternehmen nur sehr vage oder gar irreführend seien. Mit einem Augenzwinkern wies sie darauf hin, dass die Deutsche Umwelthilfe bisher alle Gerichtsverfahren zum Thema Greenwashing gewonnen habe.

Hier knüpfte der Vortrag der freischaffenden Biologin **Jutta Kill** an, deren Fokus auf Klimaschutz- und Kompensationsprojekten durch Waldschutz und Aufforstung lag. Über Jahre habe sie selbst viele solcher Projekte besucht und nie ein wirklich gutes Kompensationsprojekt erlebt. Bestätigung finde sie in einer Vielzahl an wissenschaftlichen Studien, die belegen, dass Aufforstungsprojekte ihre Versprechen oft nicht halten können. Das liege auch an der zugrundeliegenden Zeitrechnung sol-

cher Projekte: Zur Kompensation einer heute ausgestoßenen Tonne CO<sub>2</sub> müsse der aufgeforstete Wald über mehrere Jahrzehnte bestehen bleiben und während seines Wachstums CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre entnehmen und binden. Die Crux: Es sei nicht garantiert, dass der aufgeforstete Wald tatsächlich so lange bestehen werde, insbesondere nicht bei zunehmenden Klimafolgen wie Stürmen oder Bränden. Darüber hinaus seien die sozialen Folgen solcher Vorhaben zu berücksichtigen. Die lokale Bevölkerung werde oft nicht gefragt und eingebunden, was teilweise zu drastischen Konsequenzen wie Landnahme und Vertreibung führe. Frau Kill schloss ihren Vortrag mit der provokanten These, dass es keine guten Kompensationsprojekte geben könne.

Deutlich anderer Meinung waren **Leonie Nazemi** von ClimatePartner und **Christopher Schulz** von ForTomorrow. Leonie Nazemis Devise lautet, dass es beim Klimaschutz darauf ankomme, jetzt zu handeln und das so gut wie möglich. Ohne Frage seien in der Vergangenheit Fehler gemacht worden, aber zugleich sei das Label »Klimaneutralität« für viele Unternehmen ein Einstieg und eine wichtige Motivation gewesen, mehr für den Klimaschutz zu tun. Ihr Unternehmen

## »Bei globalen Problemen wie der Klimakrise können wir nur gemeinsam gewinnen.«

ClimatePartner lege großen Wert auf transparente, tatsächliche Emissionsreduktionen. Aufgrund der Kritik verberge das Unternehmen das Label »klimaneutral« nicht mehr, ermögliche Unternehmen aber ein Engagement in Klimaschutzprojekten außerhalb des eigenen Wirkungsbereichs, in der Fachsprache »beyond value chain mitigation« (dt.: Treibhausgasminde rung außerhalb der eigenen Wertschöpfungskette) genannt. Der Moderator der Veranstaltung, **Marco Rudolf** vom INEC, verglich solche Projekte mit der schwäbischen Kehrwoche: »Es wird nicht nur vor der eigenen Haustüre, sondern auch vor der des Nachbarn gefegt«.

Auch **Christopher Schulz** von ForTomorrow versteht Klimaschutz bzw. Kompensationsprojekte als gute Methode, Gelder für Projekte zu akquirieren, die ansonsten nicht ausreichend Aufmerksamkeit erfahren. Wichtig sei die sinnvolle Investition dieser Gelder. So würden bei ForTomorrow beispielsweise keine Waldschutzprojekte im Ausland unterstützt, sondern auf besser kontrollierbare Waldschutzprojekte im eigenen Land gesetzt. Zudem verfolge ForTomorrow den Ansatz, Emissionsrechte des europäischen Emissionshandels (EU-ETS) aufzukaufen und zu löschen. Dieser Ansatz solle für eine Verknappung der in Europa ver-

fügbaren Emissionsrechte und führe so zu einer Minderung an Treibhausgasemissionen. Die Kompensationsansätze von ForTomorrow seien dadurch deutlich teurer als die in der Kritik stehenden Kompensationsprojekte manch anderer Anbieter. Dass dies grundsätzlich ein guter Weg sei, war ein Konsens der anschließenden Podiumsdiskussion unter Moderation von **Professorin Dr. Ingela Tietze**, Prorektorin für Nachhaltigkeit an der Hochschule Pforzheim.

Der Nachmittagsblock des Symposiums war den Erfahrungen aus der Praxis gewidmet. **Dr. Corine Veithen** von LichtBlick erläuterte den komplexen Zusammenhang von »Öko-Strom«, Herkunftsnachweisen, dem deutschen Strommarkt insgesamt und dem Thema Klimakompensation. **Inga Schwind** von dm drogerie markt berichtete über das systematische Vorgehen ihres Unternehmens zur Entwicklung umweltfreundlicher Produkte, das mit der großen Herausforderung einhergehe, die erzielten Fortschritte adäquat und rechtssicher zu kommunizieren. Zum Abschluss tauchten die Anwesenden mit **Eduard Stefanescu** von C.HAFNER in die Welt des Edelmetallrecyclings ein und bekamen einen Einblick in die Treibhausgasbilanzierung und die Klimaschutzmaßnahmen des Unternehmens. Das Fazit der Unter-

nehmensrunde lautete: Die Kritik an Kompensationsprojekten verändert nicht nur die Kommunikation von Nachhaltigkeit, sondern auch tatsächliche Klimaschutzmaßnahmen. Von Kompensationsprojekten werde zunehmend Abstand genommen und Anstrengungen mehr auf die eigene Wertschöpfungskette fokussiert – mit Vorteilen für den Klimaschutz vor Ort, aber auch finanziellen Einbrüchen für Klimaschutzprojekte im Ausland.

**Professor Dr. Tobias Viere** vom Institut für Industrial Ecology lobte den respektvollen Umgang aller Referierenden trotz ihrer zum Teil weit auseinander liegenden Meinungen. **Marco Rudolf** fasste das Symposium zusammen: »Bei globalen Problemen wie der Klimakrise können wir nur gemeinsam gewinnen. Selten gibt es nur den einen einzigen Lösungsweg. Voraussetzung ist aber, dass wir uns gegenseitig zuhören und austauschen. Ich denke, das ist uns heute gelungen.«

### 5. Symposium Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz: Wasserstoff-Wundermittel der Transformation?

Wasserstoff soll als Speichermedium für den unstillen Sonnen- und Windstrom dienen, als grüner Energieträger für die Industrie und als Ersatz für das Erdgas in Gaskraftwerken. Dazu sollen in naher Zukunft





riesige Verteilnetze aufgebaut und umgebaut werden. Doch ist das alles realistisch? Das Symposium »Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz« widmete sich diesem Zauberstoff und seiner Bedeutung für die Energiewende. Expertinnen und Experten stellten einem großen Auditorium aus interessierten Bürgerinnen und Bürgern sowie Hochschulangehörigen die aktuellen Planungen vor.

Nach einem einführenden Vortrag von INEC-Leiter, **Professor Dr. Mario Schmidt**, präsentierte **Christoph Luschnat**, Wasserstoffkoordinator beim Netzbetreiber terranets bw, die Perspektive seines Unternehmens. Er stellte vor, was in den nächsten Jahren an Netzumstellung und Ausbau geplant ist. Schrittweise werden im Rahmen des nationalen Wasserstoff-Kernnetzes auch in Baden-Württemberg große Leitungen wasserstofftauglich gemacht, insbesondere auf der nördlichen West-Ost-Achse des Landes. Dabei sei aber nicht geplant, dass der Wasserstoff über die Verteilnetze der Stadtwerke bis in die Haushalte geleitet wird, er sei also kein direkter Ersatz für

das Erdgas. Der Wasserstoff diene vielmehr als klimafreundlicher Brennstoff für Kraftwerke und als Rohstoff für Industrieunternehmen.

**Isabell Knüttgen**, Leiterin der landesweiten Plattform H2BW bei der Landesagentur e-mobil BW, erklärte die Potenziale im Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft, aber auch welcher Abstimmungsbedarf erforderlich sei. Sie verglich die zukünftige Einführung der Wasserstoff-Infrastruktur mit der Kernsanierung eines Hauses, in dem man gleichzeitig wohnt – also eine Erneuerung im laufenden Betrieb. INEC-Leiter Professor Dr. Mario Schmidt, der das Symposium moderierte, äußerte sich hierzu sarkastisch: »Die Umstellung auf Wasserstoff ist eher eine Operation am offenen Herzen als eine Haussanierung. Die Herz-OP ist zweifelsohne notwendig und wenn sie gelingt, ist alles gut. Wenn nicht, ist der Patient tot. Das gilt dann für unseren Wohlstand und für unsere Wirtschaft, und dem Weltklima ist damit auch nicht mehr geholfen.«

Schmidt wies darauf hin, dass derzeit eine Koordination zwischen den verschiedenen Ebenen von der EU bis runter zu den Kommunen fehle. Doch alles müsse ineinandergreifen, damit die Transformation gelinge: »Ohne einen Masterplan und einen Gesamtverantwortlichen, der die ganzen administrativen und technischen Hürden ausräumen hilft, wird das Erfolgsrisiko der Wasserstoff-Transformation enorm groß sein.«

**Katharina Fraune**, Nachhaltigkeitsmanagerin des Chemieunternehmens Evonik in Rheinfelden, ging auf die Nöte der Wirtschaft ein. Der in Deutschland grün produzierte Wasserstoff sei nach derzeitigem Kennt-

»Alles muss ineinandergreifen, damit die Transformation gelingt.«

nisstand zu teuer, um mit den daraus produzierten Produkten am Weltmarkt zu bestehen. Die Regularien von EU und Bundesregierung seien ein Hemmnis für die rasche Umstellung auf grünen Wasserstoff. Die Anbindung an Pipelines, durch die billiger und grüner Wasserstoff fließt, sei deshalb entscheidend für den Chemiestandort Deutschland.

Diese Einschätzung wurde auch von INEC-Nachwuchswissenschaftler **Marco Schmid** untermauert, der in einem großen Forschungsprojekt an der Hochschule Pforzheim die Klima- und Kostenwirkung der Transformation zu grünem Wasserstoff analysiert hat. Aufgrund des enormen Infrastrukturbedarfs bleibe Energie in Deutschland dauerhaft teuer. Von der Vision »Wind und Sonne schicken keine Rechnung« könne erstmal keine Rede sein.

Auch das Pforzheimer Unternehmen Witzenmann ist im Wasserstoffbereich aktiv: Das Gas muss durch Leitungen und Schläuche geleitet werden, an die höchste Qualitätsansprüche gestellt werden – eine exklusive Kompetenz der Pforzheimer. **Dr. Stephan Weyand** betonte die Herausforderung der Qualitätssicherung bei großen Projekten und das Warten auf die verzögerte Nachfrage. Das Unternehmen sei jedoch bereit.

**Vanessa Roderer**, Absolventin des Studiengangs Ressourceneffizienz-Management, gab einen Einblick in ihre berufliche Laufbahn und ihre derzeitige Tätigkeit als Managerin für Wasserstoff beim Energieversor-

< Die Referenten des Wasserstoff-Symposiums waren Isabell Knüttgen (e-mobil BW), Christoph Luschnat (terranets bw GmbH) Marco Schmid und Professor Dr. Mario Schmidt (beide HS Pforzheim), Katharina Fraune (Evonik Industries AG), Dr. Stephan Weyand (Witzenmann GmbH) und Dr. Christian Haubach (Verband der Chem. Industrie BW).

Fotos: Alexandra Vogt

ger EnBW AG. Sie berichtete über die aktuellen Entwicklungen und Herausforderungen bei der Einführung von Wasserstoff und seinen Derivaten, wie z. B. Ammoniak, in Deutschland. Sie erläuterte, dass ihr bei ihrer Arbeit insbesondere die im Studium erlernten Ökobilanz-Berechnungen helfe.

Internationales Flair bekam das Symposium mit einer Live-Schaltung nach Kasachstan zu dem Leiter des Büros für Wasserstoffdiplomatie in Astana, **Manuel Andresh**, der neben seinem Logistikstudium auch seinen Master zu Life Cycle & Sustainability in Pforzheim absolviert hat. Das Büro steht exemplarisch für die Klimadiplomatie Deutschlands, bei der Schwellenländern mit Knowhow beim Klimaschutz geholfen wird. Einen leidenschaftlichen Erfahrungsbericht lieferte abschließend **Helena Herzig**, die derzeit im Bachelorstudiengang Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz in Pforzheim studiert, von der Weltklimakonferenz in Baku. Ihr Fazit: »Aufgeben ist keine Option!«

## 6. Symposium Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz. 10 Jahre Nachhaltigkeit im Fokus: Wie Pforzheimer Alumni Praxis und Forschung prägen

Welche Impulse liefern aktuelle Forschungsprojekte und berufliche Erfahrungen von Nachhaltigkeitsfachleuten für den Umwelt- und Klimaschutz in Unternehmen? Wie lässt sich Nachhaltigkeit nicht nur auf dem Papier, sondern ganz konkret und messbar gestalten? Und wie kann all das angesichts aktueller geopolitischer Umbrüche gelingen?

Diese Fragen standen im Mittelpunkt des 6. Symposiums Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz am 16. Mai 2025, das erstmals als Veranstaltung im Rahmen der »Allianz für morgen« stattfand. Die »Allianz für morgen« hat sich zum Ziel gesetzt, die Unternehmen der Region Nordschwarzwald bestmöglich auf dem Weg zur »Circular Economy« und zum klimaneutralen Wirtschaften zu unterstützen.

Im Fokus des Symposiums standen Beiträge aus Praxis und Forschung von Alumni des Masterstudiengangs »Life Cycle & Sustainability«, der in diesem Jahr 10 Jahre alt wird, sowie die Promovierenden des Promotionskollegs »Klima, Ressourcen und Circular Economy« (KLIREC). Eröffnet wurde das Symposium durch **Professorin Dr. Ingela Tietze**, Prorektorin der Hochschule, die auf die Bedeutung hochqualifizierter Expertinnen und Experten für die Lösung der drängenden Umweltfragen hinwies.

Nachhaltigkeit in der Praxis – Einblicke aus Unternehmen und Forschungsinstituten

Der Vormittag des Symposiums, moderiert von **Professor Dr. Claus Lang-Koetz**, stellvertretender Leiter des Instituts für Industrial Ecology (INEC), war den aktuellen Herausforderungen von Unternehmen und Forschungsinstituten in der Quantifizierung von Umwelteinflüssen und der Umsetzung von Nachhaltigkeitsstrategien gewidmet.

Den Auftakt machte **Pia Szichta** von Bosch Home Comfort mit einem Vortrag zu EPDs (Environmental Pro-

Die »Allianz für morgen« hat sich zum Ziel gesetzt, die Unternehmen der Region Nordschwarzwald bestmöglich auf dem Weg zur »Circular Economy« und zum klimaneutralen Wirtschaften zu unterstützen.



&gt;

Professor Dr. Tobias Viere moderiert die Podiumsdiskussion zum Thema »Klimabilanzierung in der Praxis« mit Katharina Gompf (BMW), Tobias Berndt (Zeiss), Maximilian Schweikert (Lorenz Snack-World), Timo Armbruster (Hansgrohe) und Maren Kientsch (ARYZTA).

⌞

Pia Szichta von Bosch Home Comfort sprach im gut besetzten Audimax über die Herausforderungen, aber auch die Relevanz von Environmental Product Declarations (EPDs).

Fotos: Juliano Bezerra.



duct Declarations). Sie zeigte anschaulich, wie komplex der Weg zu einer verlässlichen Umweltdeklaration ist – insbesondere durch uneinheitliche Standards und Anforderungen an Datengrundlagen. EPDs sind dabei nicht nur ein externes Kommunikationsinstrument, sondern dienen auch intern als wichtige Grundlage für ökologisches Produktdesign.

**Dr. Michael Dieterle** von SEW-Eurodrive veranschaulichte, wie sich Prinzipien der Circular Economy in der Antriebstechnik umsetzen lassen. Mit dem Eco-Passport hat das Unternehmen ein Werkzeug geschaffen, das Nachhaltigkeitskennzahlen systematisch erfasst – von Energieeffizienz bis Wiederverwendbarkeit – und so zur Entwicklung umfassender Rücknahme- und Wiederverwendungsprogramme beiträgt.

**Malina Bachert**, Nachhaltigkeitsmanagerin bei Zott, beleuchtete Chancen und Herausforderungen der neuen EU-Verpackungsverordnung. Die Molkereibranche steht vor der Aufgabe, Ziele wie Recyclingfähigkeit und Rezyklateinsatz umzusetzen – oft unter regulatorischer Unsicherheit und Druck durch ambitionierte Klimaziele wie der Science-based Target Initiative (SBTi).

**Sofia Haas** (FfE) und **Jana Deurer** (IREES) stellten einen in Entwicklung befindlichen Leitfaden für betriebliches Klimamanagement vor, der im Auftrag des Umweltbundesamtes entsteht. Ziel ist es, Unternehmen in neun Schritten zu wirksamem und umsetzbarem Klimaschutz zu führen – trotz Hürden wie Datenverfügbarkeit und Fachkräftemangel.

LCA, Scope 3 und Landwirtschaft: Klimaschutz entlang der Wertschöpfungskette

Nach einer kurzen Pause nahm **Timo Armbruster** von Hansgrohe die Teilnehmenden mit in eine ungewöhnliche Analyse: die Lebenszyklusanalyse eines kompletten Badezimmers. Das überraschende Ergebnis: Die Herstellung und Entsorgung der Badelemente macht nur etwa 10 % der Klimawirkungen des Badezimmers aus, den größten Teil hat die Nutzungsphase, insbesondere der Energiebedarf für Warmwasser und mit großem Abstand die Klimawirkungen der Toilettenpapierproduktion. Für Hansgrohe bedeutet das, auch und gerade das Nutzungsverhalten in den Blick zu nehmen und hierfür innovative Lösungen zu schaffen.

**Dr. Katharina Gompf** von BMW berichtete, wie das Unternehmen seine Klimaziele bis 2030 (Einsparung von 40 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>) auf die Fahrzeugflotte herunterbricht. Treibhausgasemissionen verlagern sich durch die Umstellung auf Elektromobilität von der Nutzungs- auf die Herstellungsphase, insbesondere durch die Batterieherstellung.

**Maximilian Schweikert** von Lorenz Snack-World betonte in seinem Vortrag die Bedeutung der Landwirtschaft für die Klimabilanz von Snacks, welche den größten Anteil am Carbon Footprint von Snacks wie Chips und Salzstangen ausmacht. Lösungsansätze sieht das Unternehmen insbesondere in regenerativer Landwirtschaft, etwa beim Erdnussanbau in Argentinien oder bei Kartoffeln aus Deutschland. Wichtig sei der enge Austausch mit Lieferanten, um Emissionen messbar zu senken.

Die Landwirtschaft ist auch für das Schweizer Lebensmittelunternehmen ARYZTA ein entscheidender Faktor.

**Maren Kientsch** veranschaulichte in ihrem Vortrag die wachsende Bedeutung von Scope-3-Management. Ohne systematische Betrachtung der vor- und nachgelagerten Lieferkette (in der Klimabilanzierung als Scope 3 bezeichnet) sei glaubwürdiger Klimaschutz kaum möglich.

**Tobias Berndt** von Zeiss gab Einblicke in eine ganz andere, aber nicht minder aktuelle Branche: Die Halbleiterindustrie und deren Herausforderung, produktbezogene Klimabilanzen als zentrale Werkzeuge für Nachhaltigkeitsstrategien zu nutzen. Solche Klimabilanzen sind ein Türöffner bzw. Kommunikationsmittel ins Unternehmensmanagement hinein – stets mit dem Anspruch, Nachhaltigkeit mit Wirtschaftlichkeit zu verbinden.

Podiumsdiskussion: Fokus auf Klima – aber was ist mit dem Rest?

Im Anschluss diskutierten die fünf Alumni – moderiert von **Professor Dr. Tobias Viere**, Studiengangsleiter des Master Life Cycle & Sustainability (MLiCS), warum Klimathemen im Zentrum unternehmerischer Nachhaltigkeitsstrategien stehen, und andere Umweltwirkungen wie Biodiversität oder Ressourcenverbrauch dabei häufig in den Hintergrund rücken. Die Gründe: hohe öffentliche Aufmerksamkeit, klare Standards und gute Datenlage. Gleichzeitig wurde der Wunsch nach internationaler Harmonisierung, besserem Datenzugang und mehr Wissensaustausch laut.

&gt;&gt;



Dominik Huber (Vrije Universiteit Brussel) präsentiert seine ökobilanzielle Forschung zu Onshore- und Offshore-Windkraftanlagen.

Foto: Juliano Bezerra.

## Promotionskolleg KLIREC – Forschung mit Zukunft

Zum Auftakt standen die Promovierenden des KLIREC-Kollegs im Mittelpunkt. Nach einführenden Worten des Institutsleiters, Professor Dr. Mario Schmidt, der den Stiftern der Promotionsstipendien, der Karlheinz-Osterwald-Stiftung und der PSD Bank dankte, präsentierten die Forschenden ihre Themen in unterhaltsamen Kurzvorträgen. **Melanie Apitzsch-Delavault** forscht zu Umweltauswirkungen durch Wasserverbrauch bei der Wasserstoffproduktion, **Pia Heidak** untersucht Anspruch und Bezahlbarkeit des ökologischen Bergbaus, **Anna König** setzt sich mit der Circular Society als Pendant der Circular Economy auseinander, **Surya Mächtlen** analysiert die Wärmewende unter Ressourcen- und Kostengesichtspunkten, und **Marco Rudolf** widmet seine Doktorarbeit dem Thema »Funktionalität, Wirkung und Grenzen von Treibhausgasbilanzen«.

## Vormerken:

Das Symposium findet jedes Semester statt. Informieren Sie sich über die aktuelle Veranstaltung auf unserer Webseite: [hs-pforzheim.de/symposium](https://hs-pforzheim.de/symposium)

## Forschung für die Praxis – von Windkraft bis Waldschutz

Nach den Kurzpräsentationen kamen nochmals Alumni des Masterstudiengangs zu Wort. **Dominik Huber** von der Vrije Universiteit Brussel präsentierte seine ökobilanzielle Forschung zu Onshore- und Offshore-Windkraftanlagen. Seine Analyse verdeutlichte den klimabilanziellen Vorteil von Offshore-Anlagen aufgrund der höheren Energieausbeute und zugleich den nicht unerheblichen Ressourceneinsatz für den Bau der Anlagen.

**Yannic Graf** präsentierte den Innovationsprozess einer biologisch abbaubaren Wuchshülle für Bäume, die Mikroplastik im Wald verhindert. In Aufforstungsprojekten werden solche Wuchshüllen in großem Umfang eingesetzt und verbleiben oft im Wald, so dass mehr und mehr Plastik eingetragen wird. Die Innovation ist Ergebnis eines langjährigen Forschungsprozesses und wird vom Unternehmen Arbotrade, für das er von Beginn an arbeitet, kommerzialisiert.

Für viele Gäste neu: Viele Kunststoffe, die als biologisch abbaubar gekennzeichnet sind, zersetzen sich nur unter industriellen Kompostierungsbedingungen, aber nicht im Wald. Die Zersetzung auch im Wald sicherzustellen, war eine der großen Herausforderung in der Entwicklung der Wuchshüllen.

## Abschlussdiskussion: Zeitenwende für die Nachhaltigkeit?

Zum Ende des Symposiums wurde es politisch. Eine Podiumsdiskussion unter der Leitung von **Professor Dr. Mario Schmidt** thematisierte aktuelle politische Rückschritte im Umweltbereich, die Rolle und Verantwortung von Fachleuten für Nachhaltigkeitsfragen in Zeiten multipler Krisen sowie die Frage, wie tiefgreifende gesellschaftliche Veränderungen für eine Circular Economy gelingen können.

Das Organisationsteam des Symposiums um **Alejandro Arias Castillo**, **Professor Dr. Claus Lang-Koetz**, **Marco Rudolf**, **Marco Schmid** und **Professor Dr. Tobias Viere** bedankte sich herzlich bei allen Gästen und Referentinnen und Referenten für ihre Beiträge und den engagierten Austausch.

MARCO SCHMID, MARCO RUDOLF UND ALEJANDRO ARIAS-CASTILLO sind Wissenschaftliche Mitarbeiter am Institut für Industrial Ecology (INEC).

# 20. Ökobilanzwerkstatt

## Wie das INEC die Zukunft der Nachhaltigkeitsbewertung mitgestaltet

Wie misst man Nachhaltigkeit? Bei der 20. Ökobilanzwerkstatt, die zum 3. Mal an der Hochschule Pforzheim stattfand, diskutierten Nachwuchsforschende, wie ökologische, soziale und wirtschaftliche Aspekte künftig gemeinsam bewertet werden können.

VON MARINA HAUG, HEIDI HOTTENROTH UND TOBIAS VIERE | erschienen in den KONTUREN HSPF 2026

Nachhaltigkeit ist längst zu einem zentralen Thema unserer Zeit geworden – doch wie lässt sie sich wissenschaftlich bewerten und praktisch umsetzen? Im September 2025 hatte das Institut für Industrial Ecology (INEC) rund vierzig Nachwuchswissenschaftler:innen und Doktorand:innen aus dem deutschsprachigen Raum eingeladen, um neue Methoden und Ansätze für die Nachhaltigkeitsbewertung von Produkten und Prozessen zu diskutieren.

### Von der Ökobilanz zur umfassenden Nachhaltigkeitsbewertung

Traditionell werden in einer Ökobilanz (Life Cycle Assessment, LCA) vor allem Umweltwirkungen von Produkten untersucht – etwa, wie viel CO<sub>2</sub> ausgestoßen wird, wie viel Energie verbraucht wird oder wie sich Abfälle auf die Umwelt auswirken. Doch für eine wirklich umfassende Nachhaltigkeitsbewertung reicht das nicht aus: Immer häufiger werden daher auch soziale und wirtschaftliche Faktoren berücksichtigt, etwa Arbeitsbedingungen, faire Löhne oder Kostenstrukturen. Diese erweiterte Bewertung nennt sich Life Cycle Sustainability Assessment (LCSA). Passend dazu fand die Ökobilanzwerkstatt unter dem Motto „Von der Ökobilanzierung zum Life Cycle Sustainability Assessment!?“ statt, das zugleich auch Titel des Auftaktvortrags von Professor Dr. Tobias Viere war.

### Innovative Forschung und praktische Anwendungen

In Vorträgen, Poster-Sessions und Workshops wurden zahlreiche Projekte vorgestellt, die zeigen, wie vielfältig die Anwendungsgebiete der Ökobilanzierung heute sind. So ging es beispielsweise um die Umweltwirkungen von Solarkraftwerken, die Entwicklung nachhaltiger Batterien für Elektrofahrzeuge oder die Bewertung von innovativen Biogasanlagen. Auch die Integration von Lebenszyklusanalysen in Lernfabriken im Maschinenbau wurde diskutiert – hier lernen Studierende anhand praxisnaher Beispiele, wie Nachhaltigkeit in der Industrie umgesetzt werden kann.

Die Veröffentlichung der Beiträge in einem Tagungsband (<https://doi.org/10.60846/agn6-jt69>) bot den Teilnehmenden zudem die Gelegenheit, das wissenschaftliche Publizieren mit Peer-Review-Verfahren zu durchlaufen und sich damit auf weitere Publikationen vorzubereiten sowie zusätzliches Feedback zu ihrer Forschung zu erhalten.

### Keynotes, interaktive Workshops und Barcamps

Zu den Höhepunkten der Veranstaltung gehörten die Keynotes von Professor Dr. Mario Schmidt und Professorin Dr. Liselotte Schebek, die bereits bei der allerersten Ökobilanzwerkstatt im Jahr 2005 dabei waren. Professor Schmidt zeigte in seinem Vortrag, warum die Berücksichtigung von Zeit und Beständen in der Lebenszyklusanalyse wichtig ist, um ein realistisches Bild von Umweltwirkungen zu erhalten. Professorin Schebek beleuchtete die Abgrenzung von Circular Economy gegenüber der klassischen Kreislaufwirtschaft und die Bedeutung sowie die Herausforderungen dieses Themenfelds für die Durchführung und Methodik der Ökobilanzierung.

In einem interaktiven Workshop mit Philip Strothmann vom Forum for Sustainability through Life Cycle Innovation (FSLCI) entwickelten die Teilnehmer:innen gemeinsam eine „Landkarte“ der Ökobilanzierung. Diese visualisierte, welche Akteure, Standards, Tools und Initiativen derzeit im Bereich der Ökobilanzierung aktiv sind und wie sie miteinander verbunden sind.

Ergänzt wurde das Programm durch Barcamps, in denen aktuelle Themen wie Künstliche Intelligenz und Automatisierung, Unsicherheiten in der Bewertung, die Vermittlung mehrdimensionaler Ergebnisse sowie die Integration von Life Cycle Sustainability Assessment in die Hochschullehre diskutiert wurden.

### Vernetzung und Zukunftsperspektiven

Neben den fachlichen Diskussionen bot die Werkstatt auch Gelegenheiten zum Austausch und zur Vernetzung – etwa beim Besuch der Ausstellung „Amazonien“ im Pforzheimer Gasometer.

Die Ökobilanzierung hat sich in den letzten Jahren stark weiterentwickelt und wird zunehmend um neue, ganzheitliche Ansätze ergänzt. Dabei gibt es weiterhin großes Potenzial für weitere Forschung. Die Tagung in Pforzheim wurde von Marina Haug, Heidi Hottenroth, Professor Dr. Tobias Viere (alle INEC) und Dr. Vanessa Zeller (Fraunhofer IWKS und TU Darmstadt) organisiert und geleitet. Die 21. Ökobilanzwerkstatt findet im Herbst 2026 an der Universität Kassel statt.



#### MARINA HAUG

ist Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Industrial Ecology (INEC).

#### HEIDI HOTTENROTH

ist Wissenschaftliche Koordinatorin am INEC.

#### DR. TOBIAS VIERE

ist Professor für Energie- und Stoffstromanalysen am INEC.

Teilnehmer:innen der Ökobilanzwerkstatt 2025.

Foto: Tobias Viere

# Wohlwollende Unterstützer: Die PSD Bank Karlsruhe-Neustadt

VON MARIO SCHMIDT

Manchmal braucht es Engel, um etwas zu vollbringen. Im Management redet man von Business Angels. Wir hatten einen Sustainability Angel. Dafür sind wir dankbar.



^  
Mit dem Zweiten kühlt man schlechter –  
freche Videos mit Kevin Gerwin.

∩  
Isabelle Joyon – lange Zeit das  
prägende Gesicht des Filmformats  
„Weniger ist mehr“ bei Baden TV

>  
12 Jahre INEC, REM und MLICS –  
ein Blick ins Videoarchiv auf unserem  
YouTube-Kanal lohnt sich!

v  
Startschuss zur Kooperation mit der  
PSD Bank Karlsruhe-Neustadt 2012:  
Holger Morlock, Bernhard Slavetinsky,  
Rektor Prof. Dr. Martin Erhardt, Prof.  
Dr. Mario Schmidt (v.r.n.l.). Foto: INEC

Mit dem Start des Studiengangs Ressourceneffizienz-Management und durch Vermittlung des damaligen Rektors Professor Martin Erhardt kam 2012 eine Kooperation mit der PSD Bank Karlsruhe-Neustadt unter der Leitung des Vorstandsvorsitzenden Bernhard Slavetinsky zustande, die bis heute anhält. Das inhaltliche Konzept rund um die Ressourceneffizienz gefiel den Bankern damals und sie erklärten sich bereit, die Aktivitäten der Hochschule tatkräftig zu unterstützen. Am großzügigsten äußerte sich das in einer von der PSD-Bank finanzierten Stiftungsprofessur, die Dr. Frank Bertagnolli die ersten 6 Jahre

bekleiden durfte. Damit konnte das INEC neue Themen aufgreifen und eine Brücke zwischen „lean“ und „green“ schlagen, was die Praxisnähe der Studierenden enorm steigerte, denn so fanden sie schnell Anschluss in den produzierenden Unternehmen. „Ressourcen sparen“ war und ist bis heute der gemeinsame Nenner dieser beiden Themen.

Nach außen wurde die Unterstützung aber durch etwas anderes deutlich, nämlich durch unzählige Filmbeiträge, welche die ersten 10 Jahre von dem Lokalsender Baden TV im Großraum Pforzheim-Karlsruhe gesendet wurden und die schließlich durch eine neue Video-Reihe „Alles öko? Es kommt darauf an!“ mit dem Moderator Kevin Gerwin abgelöst wurden. **Nahezu 100 Videos sind so entstanden, über einen langen Zeitraum jeden Monat ein neuer Beitrag mit über 10 Minuten Länge**, vorgestellt meistens von der charmanten Baden-TV-Moderatorin Isabelle Joyon, gemeinsam produziert vom INEC und dem Sender. Die Beiträge sind noch heute verfügbar (*Der QR-Code rechts führt zum YouTube-Kanal*) mit beachtlichen Zugriffszahlen.

Eingeweihte munkeln, es gäbe keinen Studiengang in Deutschland, der so gut filmisch dokumentiert ist wie der Pforzheimer REM-Studiengang.





HOCHSCHULE FÜRZEHM  
**PROF. DR. PETER SLOTERDIJK**  
Hochschule für Gestaltung Kassel



HOCHSCHULE FÜRZEHM  
**PROF. TOBIAS VIERE**



Sie kommen direkt auf den YouTube-Kanal und die Videoliste von INEC und REM, wenn Sie diesen QR-Code per Handy oder Tablet scannen.

v



HOCHSCHULE FÜRZEHM  
**WINFRIED KRETSCHMANN**



HOCHSCHULE FÜRZEHM  
**JEREMY RIFKIN**  
US-amerikanischer Soziologe und Ökonom



HOCHSCHULE FÜRZEHM  
**BETTINA JOA**  
Institut für Industrial Ecology



HOCHSCHULE FÜRZEHM  
**PROF. NIKOLAUS THIREN**  
Kultur- und Politikwissenschaftler



HOCHSCHULE FÜRZEHM  
**PROF. DR. FRIEDRICH-WILHELM WELLMER**  
ehemal. Präsident Bundesanstalt für Gemeinwirtschaft und Rohstoffe



Da ist etwas Wahres dran, denn die Beiträge drehen sich von Anfang an um die Inhalte des Studiums, Vortragsreihen, den Studienverlauf, die Forschungsthemen des INEC und immer wieder gibt es Schmankerl wie z.B. Tagungsberichte mit Ministerpräsident Winfried Kretschmann, Interviews mit dem Philosophen Peter Sloterdijk oder dem Umweltwissenschaftler Ernst-Ulrich von Weizsäcker. Studierende haben eigene Sendungen zusammengestellt und die Bundesumweltministerin interviewt. Exkursionen in Stahlwerken und

Kupferhütten wurden dokumentiert, genauso wie Forschungsprojekte im Regenwald des Amazonas. Oder die Demontage und Ökobilanz von Kaffeekapsel-Automaten.

In den 12 Jahren hat sich einiges verändert. Musste das INEC anfangs noch halbprofessionelle Filmkameras anschaffen, um selbst auch Material zu erzeugen, so reichen heute schon gute Smartphones aus, um passable Videos zu drehen. Die Serie mit Kevin Gerwin wurde allerdings professionell von entermedia GmbH aus Heidelberg

produziert, großzügig finanziert von der PSD Bank: kürzer und frecher, wie es die Sehgewohnheiten heute verlangen. Aber mit ebenfalls ökologisch relevanten Inhalten.

Es rentiert sich, in das Ressourcenarchiv abzusteigen und die Entwicklung von INEC, REM und MLICS über die vergangenen 12 Jahre Revue passieren zu lassen.

**DR. MARIO SCHMIDT**

ist Professor für ökologische Unternehmensführung und Direktor des INEC.



# Honorarprofessur für Dr. Rüdiger Herpich

In den vergangenen 10 Jahren erst zweimal vergeben

Geehrt wurde der Diplomchemiker Dr. Rüdiger Herpich, der sich seit 2014 an der Fakultät für Wirtschaft und Recht als Lehrbeauftragter engagiert. Die sogenannte Honorarprofessur wird als besondere Anerkennung für herausragende akademische Leistungen an der Hochschule Pforzheim verliehen.

VON CLAUS LANG-KOETZ

**Dr.** Herpich hat sich zweifelsfrei für die akademische Lehre verdient gemacht. Er ist seit Anbeginn des Studiengangs Ressourceneffizienz-Management dabei und unterrichtet die Studierenden im 6. Semester zu „Rechtlichen Aspekten des Umwelt- und Ressourcenschutzes“. Er vermittelt den Studierenden praxisnahe Einblicke in die betriebliche Umsetzung von Umwelt- und Ressourcenschutz. In idealer Ergänzung zur eher theoretischen juristischen Einführung beleuchtet Dr. Herpich die technischen und organisatorischen Anforderungen, wie sie in produzierenden Unternehmen konkret umgesetzt werden. Ob Ressourceneffizienz, Gefahrstoffrecht, Produktkennzeichnung oder Kreislaufwirtschaftsgesetz: **Seine Lehrveranstaltungen zeichnen sich durch eine einzigartige Kombination aus Fachkompetenz, Aktualität und Praxisnähe aus.** Studierende profitieren besonders davon, dass sie Herausforderungen und Lösungsansätze unter anderem der chemischen Industrie anhand konkreter Fallbeispiele kennenlernen.

Denn der frisch gekürte Honorarprofessor ist nicht nur vollausgebildeter und promovierter Chemiker. Er schaut auf eine beachtliche Karriere bei der Rhein Chemie Rheinau GmbH in Mannheim, heute Teil der LANXESS Deutschland GmbH, zurück. Seine Laufbahn begann er als Teamleiter in der Forschung und Entwicklung. Dann übernahm er die Leitung der Qualitätssicherung und der analytischen Labore, später erweitert um die Koordination toxikologischer und ökotoxikologischer Prüfungen, der unternehmensinternen Implementierung des europäischen Chemikalienrechts „REACH“ sowie den Aufbau eines Abfallmanagementsystems am Standort Mannheim. Er hatte leitende Rollen als

Vice-President HSEQ (Health, Safety, Environment, Quality) auf globaler Konzernebene und war z. B. mit der Einführung und Weiterentwicklung integrierter Managementsysteme (ISO 9001, 14001, 50001) befasst. Seit 2015 ist er Direktor und Leiter HSEQ und verantwortet die globale Koordination aller HSEQ-bezogenen Prozesse, Berichte und Projekte. Zudem fungiert er als HSEQ- und Energiebeauftragter des Geschäftsbereichs Rhein Chemie. Außerdem ist Dr. Herpich Vorsitzender des Umweltausschuss des Verbandes der Chemischen Industrie in Baden-Württemberg.

Als Praktiker in der Industrie unterstützt Dr. Herpich die Hochschule Pforzheim auch in der Forschung am Institut für Industrial Ecology (INEC). **Er war ein wichtiger Impulsgeber bei der Entwicklung praxisnaher Forschungsprojekte wie „100 Betriebe für Ressourceneffizienz“ oder „H2Chemie“.** Sein Beitrag in der Publikation zu Blockchain-Technologien im Ressourcenmanagement mündete in das Drittmittelprojekt „ReDiBlock“. Auch seine aktive Mitwirkung beim Symposium „Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz“ im Dezember 2023 zu Nachhaltigkeitsanforderungen in der Lieferkette verdeutlicht sein Engagement. „Es macht mir Spaß, mein Wissen an die jungen Leute weiterzugeben“, fasst Dr. Herpich seine Motivation zusammen. Das kann er nun sogar offiziell als Honorarprofessor, und wir gratulieren ihm dazu!

DR. CLAUS LANG-KOETZ

ist Professor und ab September 2026 Direktor des Instituts für Industrial Ecology (INEC).

# Ein Leben für die Umwelt zwischen Wissenschaft und Politik

Helena Herzig studiert BWL/Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz und engagiert sich für Klima- und Umweltschutz. Sie hat den Verein Ökologische Marktwirtschaft e.V. gegründet und war auf der 28. und 29. Weltklimakonferenz in Dubai bzw. Baku. Hier interviewt sie **Professor Mario Schmidt**, der in frühen Jahren ähnlich aktiv war.



Helena Herzig und Mario Schmidt im Gespräch.  
Bild: Cornelia Kamper.

**HERZIG:** Lieber Mario, nach Jahrzehnten des Gestaltens und Wirkens ist es im August dieses Jahres tatsächlich soweit und der Ruhestand steht vor Deiner Tür. Wenn man Deinen Weg betrachtet, dann sieht man nicht nur einen Hochschulprofessor, nicht nur einen Wissenschaftler, sondern auch einen früh Umweltbewegten, einen Brückenbauer zwischen Theorie und Praxis, der Themen wie Klimaschutz oder Ressourceneffizienz in Deutschland entscheidend mitgeprägt hat. Mit welchem Gefühl blickst Du jetzt aktuell auf diesen Moment?

**SCHMIDT:** Eigentlich mit einem guten Gefühl. Ich habe vielleicht nicht alles erreicht, was ich mir vorgenommen hatte. Oder anders ausgedrückt, es gibt noch viel zu tun im Umwelt- und im Klimaschutz. Aber ich hoffe doch, einen gewissen Fußabdruck hinterlassen zu haben, und dass ich auch hier an der Hochschule den ein oder anderen Pflock eingeschlagen habe. Nach über 50 Jahren, die ich mich mit diesen Themen beschäftige, ist jetzt auch mal Zeit loszulassen.

*Ich finde, das merkt man extrem, wenn man auf Dein Leben blickt, dass Dir nicht nur wissenschaftlicher Fortschritt, sondern auch die institutionelle Verankerung von Strukturen wichtig sind. Und darauf kommen wir auch noch gleich zu sprechen. Aber lass uns mal bei Deinen Anfängen bleiben im Umweltbereich. Du hast Dich nämlich sehr früh schon mit Umweltfragen beschäftigt, lang bevor die Nachhaltigkeit überhaupt als gesellschaftliches Leitmotiv etabliert war. In Erinnerung an Deine Freiburger Tage wirst Du als Spiritus Rektor der Schülergruppe Umweltschutz beschrieben, als jemand, der Flugblätter verfasst hat, Proteste organisiert hat und sogar, obwohl es verboten war, mit dem Megafon auf dem Schulhof Kundgebung abgehalten hast. Du standest im Briefkontakt mit Petra Kelly. 1976! Was würdest Du sagen, wo der Ursprung Deiner Begeisterung für den Umweltschutz war?*

Das frage ich meine Studenten übrigens auch immer, wie sie zur Umwelt und Nachhaltigkeit gekommen sind. Bei mir kann ich das klar eingrenzen, weil es der Geografieunterricht in der 11. Klasse war. Da war ich 15 Jahre alt. Unser Geografielehrer hatte die Studie des Club of Rome, die „Grenzen des Wachstums“ durchgenommen. Das war absolut ungewöhnlich, denn das war im tiefenschwarzen Baden-Württemberg, Filbinger war Ministerpräsident. Aber wir hatten lauter 68er-Lehrer, die moderne Themen durchnahmen. Zur gleichen Zeit begann die ganze Protestwelle gegen das Kernkraftwerk in Wyhl, das war quasi vor meiner Haustür in Freiburg. Daran hatte ich damals aktiv teilgenommen durch die Schülergruppe, aber auch durch unsere örtliche Bürgerinitiative. Das hat mich stark geprägt: Dass man seine Meinung vertreten und sich engagieren muss, wenn man etwas erreichen will.

Aber nun sag auch Du, wie bist Du zur Nachhaltigkeit gekommen?

&gt;&gt;



»Wenn man als Umweltwissenschaftler unterwegs ist, dann dient man zwei Herren: da ist die Umwelt und da ist die Wissenschaft.«

Mario Schmidt im Rückblick auf 50 Jahre Umweltengagement. Bild: Cornelia Kamper

Winzer am Kaiserstuhl waren konservativ, die linken Studenten aus Freiburg wollten dagegen die Weltrevolution vorbereiten, am Beispiel des AKW-Protests. Das kam später deutlich zu Tage. Also Kernkraftwerke in sozialistischer Hand sind sicher und so ein Unsinn. Dagegen blieb ich gottseidank immun.

*Glaubst Du, es braucht einen Systemchange?*

Man muss hier wohl Marktwirtschaft vom Kapitalismus unterscheiden. Ich halte die Marktwirtschaft für das beste Wirtschaftssystem, aber nicht die Auswüchse in der Finanz- und Kapitalwelt, wie wir sie seit Jahrzehnten erleben. Doch Marktwirtschaft braucht Spielregeln, sonst funktioniert das mit der Umwelt nicht. Und wir brauchen die Wirtschaft zur Lösung der Klimaprobleme. Sie ist nicht nur Verursacher des Problems, sondern auch potentieller Problemlöser. Das verstehen viele nicht.

*Mit Ökonomie und Ökologie hast Du Dich auch an der Uni in Heidelberg befasst.*

Ja, ich hatte 1985 eine Ringvorlesung zu „Ökonomie und Ökologie“ durchgeführt. Quasi mit allen führenden Experten in Deutschland. Der Hörsaal war bis auf den letzten Platz voll. Später folgten weitere Ringvorlesungen. Dabei bin ich auf interessante Menschen gestoßen, auf den Zukunftsforscher Robert Jungk, auf Volker Hauff, der in der Brundtland-Kommission mitgewirkt hatte, auf den späteren Bischof Wolfgang Huber oder auf den Soziologen Ulrich Beck zur Risikogesellschaft. Später hatte ich an der Uni Heidelberg die Einrichtung der „Interdisziplinären Ergänzungsstudien Umweltwissenschaften“ angeregt, die dann auch lange Zeit bestanden.

*Zurück zu den Anfängen Deines Wirkens. Dein alter Mentor am IFEU-Institut in Heidelberg, Ulrich Höpfner, beschreibt Dich in Deinen Anfangstagen als cleveren jungen Schlaks mit dunklem Oberlippenbart und scharfer Artikulation. Wie viel von diesem scharfzüngigen jungen Physiker steckt denn heute noch in dem Professor, der später DIN- und ISO-Norm mitverhandelt hat und Kompromisse suchen musste?*

Ich glaube, dass ich beides kann. Ich kann scharfzüngig sein, ich kann aber auch Kompromisse aushandeln. Das hatte ich schon vor

*Fridays for Future hat ein bisschen geholfen. 2019 war die Hochphase von Fridays for Future.*

Da warst Du noch Schülerin, oder?

*Da war ich gerade fertig mit meiner Ausbildung bei Porsche. Fridays for Future hat die Aufmerksamkeit von mir auf das Klimathema erhöht. Was mich dann aber vor allem gereizt und angetrieben hat und auch der Grund war, dass ich selber nie bei Fridays for Future mitlaufen konnte, war der vermeintliche Widerspruch zwischen Wirtschaft, Wachstum, Wohlstand und Klimaschutz und Umweltschutz. Ich saß bei Porsche und habe gearbeitet und vor der Fabrik standen Fridays for Future Aktivisten und haben gegen den „kapitalistischen Konzern“ und Mitverursacher des Klimawandels demonstriert. Ich habe mir damals die Frage gestellt, wie wir das Problem lösen, auch ohne den Arbeitgeber Porsche zu verlieren. Wie bekommen wir eigentlich eine ökologische Marktwirtschaft geformt, die einerseits wirtschaftlichen Wohlstand ermöglicht, Arbeitsplätze erhält, dass wir einen guten Lebensstandard haben, aber nicht auf Kosten unserer natürlichen Ressourcen.*

Wenn man sich in meiner Generation früher für die Umwelt einsetzte, dann kam man eher aus einem linksalternativen Milieu. Da ist die Abgrenzung zu Firmen wie Porsche schon groß gewesen. Das war auch in Wyhl so: Die Bauern und

Jahrzehnten gekannt. Ich erinnere mich an den SPD-Umweltpolitiker Ulrich Steger, der mal ganz verblüfft über mein Verhandlungsgeschick war. Man muss den Mut haben, Konflikte einzugehen. Und dann muss man in der Lage sein, Kompromisse zu schließen und gemeinsam nach Lösungen zu suchen. Meine Frau hat das mal liebevoll als meine nachhaltige Aufsässigkeit bezeichnet. Sie ist übrigens viel konsequenter ökologisch als ich selbst.

*Wie meinst Du das?*

Ich lobe auch die Inkonsequenz, wie das der polnische Philosoph Leszek Kolakowski mal bezeichnet hatte (übrigens sehr lesenswert!). Also ich wasch mich frühmorgens nicht mit dem Waschlappen wie unser Ministerpräsident, sondern dusche gerne heiß, ich esse gerne Fleisch, und wenn es notwendig ist, dann fliege ich auch mit dem Flugzeug.

*Aber Du fährst mit dem Fahrrad den Berg hoch zur Hochschule und die Studierenden fahren mit ihren Autos an Dir vorbei...*

Es ist ein Pedelec! Aber ich reise halt immer mit dem Zug. Wir haben unser Auto komplett abgeschafft. Okay, manchmal fahre ich auch ganz gerne Taxi.

**Es ist gut, wenn es Heilige gibt, die uns ein suffizientes Leben vormachen. Aber diese wenigen Heiligen werden uns nicht vor dem Klimawandel retten. Dazu braucht es vielmehr Strukturen in Gesellschaft und Wirtschaft, die uns allen ein nachhaltigeres Leben ermöglichen.**

*Du bist Physiker. Was hat Dir eigentlich den Zugang zur Arbeit im Umweltbereich ermöglicht? Gab es einen Moment, in dem Dir klar wurde, okay, ich komme mit Naturwissenschaften allein in der Umwelt nicht voran?*

Also ich bin überhaupt erst über die Umwelt zur Physik gekommen. Ich wollte nicht nur gegen die Kernenergie protestieren, sondern auch verstehen, wie das funktioniert. Das Warum, also das Verstehen von Zusammenhängen war mir schon immer wichtig. Deshalb auch das Abdriften in die Astrophysik, die ich super spannend fand, wo ich dann aber wieder den Bodenkontakt fand. Den Klimawandel versteht man als Physiker ziemlich gut. Auch die Probleme des Ressourceneinsatzes oder der Circular Economy. Da spielt die Thermodynamik eine gewichtige Rolle. Aber ich war auch immer schon politisch interessiert und hatte sogar mal angefangen Soziologie zu studieren.

*Du hast es schon recht früh geschafft, aus Deinen Erkenntnissen auch die Gesellschaft zu erreichen. Das erste Mal 1986, als das Unglück in Tschernobyl passiert ist, hast Du es in kürzester Zeit geschafft, eine Broschüre zu schreiben, die am Ende 70.000 mal verkauft wurde. Was hat es denn damals mit Dir gemacht, als junger Wissenschaftler, ein gesellschaftliches Interesse auszulösen?*

Das Kernenergiethema hat mich einige Zeit verfolgt. Ich hatte damals die Grünen, die frisch im Bundestag waren, beraten. Otto Schily wollte mich für eine Untersuchungskommission zu dem Atomskandal in Hanau. Ich bin dann aber lieber nach Hamburg gegangen in die Ministerialbürokratie, also zur Senatsverwaltung und war dort für den Strahlenschutz zuständig. Da saß ich dann in Bund-Länder-Kommissionen, als 29-jähriger, mit alten Ministerialräten zusammen und wir haben über die Novellierung von Verordnungen und Gesetzen beraten. Das war schon speziell. Aber für mich zu viel Bürokratie und Hierarchie. Zu wenig Inhalte. Ich bin dann wieder zurück nach Heidelberg, wo mein altes Institut gerade eine Professionalisierungsphase durchmachte und zu einer GmbH wurde. Ich bin übrigens auch heute noch gegen Kernenergie und kann das sogar begründen, aber es sind heute andere Gründe als damals...

*Diesen Drang, die Sachen verstehen und herausfinden zu wollen, ist es wahrscheinlich, was der Heidelberger Umweltökonom Malte Faber meint, wenn er davon spricht, dass er bei Dir ein unbedingtes Interesse an der Wahrheit verspürt. In der Physik ist es ja so, dass Wahrheit relativ eindeutig messbar ist, in der Gesellschaft ist Wahrheit sehr umkämpft. Wie gelingt es Dir, wissenschaftliche Erkenntnisse, in die komplexe Realität der Gesellschaft zu übersetzen?*

Das ist eine gute Frage. Wenn man als Umweltwissenschaftler unterwegs ist, dann dient man zwei Herren oder genauer gesagt zwei Damen: da ist die Umwelt und da ist die Wissenschaft. Die Wissenschaft funktioniert nach bestimmten Regeln, nämlich, dass wir nach der Wahrheit suchen und uns dabei auch stets hinterfragen müssen. Bei der Politik geht es darum, dass ich wirkmächtig bin. Das heißt, ich will möglichst viele Menschen erreichen und überzeugen. Da spielen dann Erzählungen und Mythen eine wichtige Rolle. Mit „Moden und Mythen“ hat das mal der Mannheimer Wirtschaftswissenschaftler Alfred Kieser für den Managementbereich beschrieben. Beim Umweltwissenschaftler führt das zu kognitiven Dissonanzen, d.h. man vertritt manchmal öffentliche Narrative, die genau betrachtet, gar nicht stimmen. Aber man übernimmt sie einfach. Vielleicht nicht absichtlich, aber aus Bequemlichkeit. Doch als Wissenschaftler muss ich selbst meine eigenen Positionen und Annahmen stets in Zweifel ziehen und immer wieder überprüfen. Im Umweltbereich haben wir viele dieser Mythen, die sehr wirkmächtig sind. Auch ich bin schon solchen falschen Narrativen aufgesessen, z.B. dass uns >>



»Ich mag den Praxisbezug sehr. Und was ich sehr wichtig finde, und das merkt man bei allen Professoren am INEC, dass eben die Leidenschaft für das Thema mitschwingt.«

Helena Herzig engagiert sich für Klimaschutz im Verein Ökologische Marktwirtschaft e.V. Bild: Cornelia Kamper.

bald die Rohstoffe ausgehen. Eine öffentliche Fehlinterpretation der Studie des Club of Rome! Und wenn man der Sache dann auf den Grund geht, dann stellt man fest, dass die Probleme ganz woanders liegen.

*Da bricht dann erst mal eine Welt zusammen, wenn man im ersten Semester bei Dir in der Vorlesung sitzt, und Ressourceneffizienz studiert und dann gesagt bekommt, die Ressourcen sind gar nicht so knapp. Und sich dann erstmal kurz fragen muss, was mache ich denn eigentlich hier? Im besten Fall versteht man es dann trotzdem. Warum glaubst Du, ist es so unpopulär, angenommene Dinge auch mal wieder zu hinterfragen?*

Es ist unbequem, sich selbst zu hinterfragen, also dieser ständige Faktencheck. Wenn man andere hinterfragt, was bequemer ist, riskiert man Konflikte, was auch wieder unbequem ist. Dabei bin ich ein durch und durch bequemer Mensch (lacht)...

*Lass uns gerne mehr über die Gegenwart sprechen und zum Bereich Ressourceneffizienz kommen. Vom Projekt „100 Betriebe für Ressourceneffizienz“ über den Ressourceneffizienz- und Kreislaufwirtschaftskongress in Baden-Württemberg, den Du auf den Weg gebracht hast, bis hin zur ISO-Norm über Materialflusskostenrechnung. Was ist es denn, was Dich an diesem Thema so fasziniert?*

Weil es aus Umweltsicht sinnvoll ist, es ist ökonomisch sinnvoll für die Unternehmen, man spart damit auch Kosten, man wird dadurch resilienter. Von der Politik wird zu wenig beachtet, wie wir in Deutschland als Industrieland unsere Rohstoffversorgung sicherstellen und nachhaltiger gestalten. Das ist ein spannendes Thema. Ich bin bei dem ehemaligen Umweltminister Franz Untersteller in Stuttgart auf jemanden gestoßen, der das ernst genommen und unterstützt hat. So kam es zu dem Kongress, der bis heute jedes Jahr über 1000 Besucher anzieht, zu dem 100-Betriebe-Projekt und

zu vielen anderen Studien. Außerdem fand ich es faszinierend, mich mit anderen Fachdisziplinen auszutauschen, mit Leuten aus der Geologie und dem Bergbaubereich. Plötzlich in illegalen Goldminen im Amazonas Regenwald herum zu stapfen und Quecksilber zu messen.

*Würdest Du sagen, dass sich das Bild in den Betrieben schon gewandelt hat, dass Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz auch der Wirtschaftlichkeit helfen?*

Ja, ich denke schon. Wir waren besonders hier in Baden-Württemberg lange Zeit führend in Deutschland und haben ein positives Feedback von den Unternehmen bekommen. Das hat zuletzt etwas nachgelassen, aber ich hoffe auf die neue Landesregierung und neue Impulse.

*Wo war es eigentlich schwieriger zu beraten? In Unternehmen oder im Umfeld der Politik?*

**Die Unternehmen sind sehr viel mehr an Lösungen interessiert. Da ist es verhältnismäßig einfach. Bei der Politik ist es sehr, sehr schwer, durch so eine Art Sperrschicht durchzukommen. Sowohl institutionell als auch mental.**

*Was waren besondere Projekte?*

In früheren Jahren war das bestimmt mein Klimaschutz-Konzept, mit dem Heidelberg als erste Kommune 1991 das Thema auf die Agenda setzte. Andere Städte wie Freiburg hatten da schon ein Image als Ökohauptstadt durch ihr Energiekonzept, aber Heidelberg war die erste Stadt, die den Klimaschutz bediente. Zur Konferenz in Rio 1992 gab es dann ein stolzes Plakat „Rio verhandelt, Heidelberg handelt“. Das war ziemlich cool. Leider war es dann auch etwas übertrieben, wenn ich mir die heutige Situation anschau. Da gibt es noch viel zu tun. Aber man muss diese Aktivitäten von meinen wissenschaftlichen Arbeiten trennen. Ich hatte einiges

zur Berechnungsmethodik des Carbon Footprint in Lieferketten gearbeitet. Oder ich war entscheidend an der Entwicklung einer Software für Ökobilanzen beteiligt, zusammen mit Kollegen aus Hamburg, die bis heute im Einsatz ist. Erst vor kurzem habe ich über Kuppelproduktion und Spieltheorie gearbeitet. Das ist dann Wissenschaft.

*Was empfindest Du denn für Dich selbst als ein wahres Highlight?*

Das war etwas ganz anderes. Ich hatte mich in den 1990er-Jahren viel mit Verkehr beschäftigt. Ich hatte einige Forschungsprojekte zum Thema Verkehrsvermeidung und zwar sogar für das CDU-geführtes Bundesverkehrsministerium. Das hat mir höllischen Spaß gemacht, mich mit der Frage zu beschäftigen, warum entsteht eigentlich Verkehr und wie kann man da an den Ursachen ansetzen. Es gab ausgesprochen spannende Diskussion mit den Vertretern vom Bundesverkehrsministerium. Auch eine gemeinsame Tagung, bei der die damalige Umweltministerin Angela Merkel aufgetreten ist. Ich hatte damals vorgeschlagen, lasst uns doch bei allen Gesetzesvorhaben, die durchs Bundeskabinett gehen, prüfen, welche Auswirkungen das auf die Verkehrsentscheidung hat. Das führte zur „Verkehrsauswirkungsprüfung“, zu Prüffragen, die unter der Regierung Kohl in die Geschäftsordnung des Bundeskabinetts aufgenommen wurde. Das war ein echtes Husarenstück. Nach der nächsten Bundestagswahl ist das dann im Rahmen einer Entbürokratisierungswelle wieder kassiert worden. Aber ich finde das trotzdem spannend, weil man da erstmals über die eigentlichen Ursachen nachgedacht hat, warum es immer mehr Verkehr gibt. Das ist heute völlig in Vergessenheit geraten.

*Cool. Also das zeigt, man kann schon manchmal auch Dinge bewegen. Du hast auch an Normungsprozessen mitgearbeitet und die Norm der Materialflusskostenrechnung mitgeprägt. Wie kam es dazu? Wie viel Geduld und Diplomatie sind notwendig?*

Unendlich viel Geduld! Weil das unglaublich zähe Prozesse sind. Unendliche Diskussionen, da wird um jedes Wort gerungen, insbesondere im internationalen Rahmen. Man trifft auf ganz unterschiedliche Kulturen. Besonders die asiatischen Kulturen haben ein ganz anderes Verständnis, wie man zu einem Kompromiss kommt, wenn überhaupt. Aber ich hatte dann ganz gute, fast freundschaftliche Kontakte nach Japan. Ich war auch bei einigen Regierungsdelegationen dabei, mit Winfried Kretschmann in Japan, in Korea oder in Indien. Der Anlass für diese Normungsaktivität war schon das Thema Stoffstrommanagement. Ich hatte dann auch beim Verein Deutscher Ingenieure einige Richtlinien zur Ressourceneffizienz miterstellt.

*Du hast in der Wissenschaft nicht nur geforscht und publiziert, sondern eben auch Strukturen geschaffen. Du hast hier in Pforzheim Studiengänge aufgebaut, das Institut INEC gegründet, Netzwerke initiiert, für das Promotionsrecht gekämpft. Woher kommt der Impuls bei Dir?*

Das ist dann tatsächlich der Nichtwissenschaftler in mir, der Dinge auch bewegen und Ergebnisse sehen möchte. Da denke ich, ist die Hochschule für angewandte Wissenschaft oder Fachhochschule, wie es früher hieß, ein spannender Ort, weil wir eben nicht im Elfenbeinturm sitzen und von der Theorie begraben werden.

**Es ist wirklich ein großes Privileg, einen solchen Beruf auszuüben mit diesen Freiheiten, also der Zeitsouveränität, dass man sich die Forschungsthemen frei aussuchen kann, dass man mit jungen Menschen zusammenarbeiten darf**

und das auch noch bei einem guten Gehalt. Jammer verbietet sich da. Ich leite aus diesen Privilegien die Verantwortung ab, daraus auch etwas zu machen und mich zu engagieren. Das habe ich getan. Vielleicht mein zweites Husarenstück, sieben zusätzliche Professuren mit Nachhaltigkeitsbezug zu etablieren. Wenn ich heute die Liste der ehemaligen Mitarbeiter anschau, dann sind da inzwischen 15 Promovierte darunter, davon übrigens auch drei Professoren. Das kann sich sehen lassen.

Aber ich hätte auch noch eine Frage. Mich würde umgekehrt interessieren, wie man als Professor bei den Studierenden wirkt, wo gibt es Kritikpunkte, die nicht ausgesprochen werden?

*Ich bin nicht ganz repräsentativ, weil ich eigentlich alles immer sehr toll fand. Mich hält hier die Begeisterung für die Themen. Aber man muss auch mit der Nüchternheit der Themen ein bisschen klarkommen. Es ist zwar nicht so, dass wir den Weltuntergang gelehrt bekommen, aber man muss sich eben damit auseinandersetzen, wo man etwas bewirken kann. Manche haben da ein anderes Bild vor dem Studienbeginn versus dem, was dann die Realität ist. Aber ich mag den Praxisbezug sehr. Und was ich sehr wichtig finde, und das merkt man bei allen Professoren am INEC, dass eben die Leidenschaft für das Thema mitschwimmt. Und das macht unglaublich viel aus.*

*Was möchtest Du den Nachfolgerinnen und Nachfolgern hier in der Hochschule hinterlassen, das wir nicht auf Broschüren und Urkunden schreiben können?*

**Wir dürfen uns nicht nur als eine Ausbildungsmaschine verstehen, sondern wir müssen, wie übrigens im gesamten Bildungsbereich, auch Werte vermitteln.**

Z.B. Verantwortung zu übernehmen und sich über das hinaus, für das ich bei meinem Job bezahlt werden, zu engagieren. Diese Werte müssen wir den jüngeren Generationen mit auf den Weg geben. Weil nur so können wir die ganzen Umweltprobleme, aber auch andere Probleme, lösen und vor allem auch unsere Demokratie bewahren. ■

## Mitglieder am Institut für Industrial Ecology (INEC)



**Dr.-Ing. Frank Bertagnolli** ist Professor für Lean Production und Ressourceneffizienz. Er lehrt in den Studiengängen Ressourceneffizienz-Management und Life Cycle & Sustainability. Er studierte Wirtschaftsingenieurwesen an der Universität Karlsruhe (TH). Von 2001 bis 2005 arbeitete er im DaimlerChrysler Forschungszentrum in Ulm und promovierte 2006 zum Thema „Roboter-gestützte automatische Digitalisierung von Werkstückgeometrien mittels optischer Streifenprojektion“ an der Fakultät für Informatik der Universität Karlsruhe (TH). Seit 2005 war Frank Bertagnolli in der Automobilindustrie mit den Themenfeldern des Lean Managements international in unterschiedlichen Funktionen tätig. 2007 folgte die Experten-ausbildung mit dem Abschluss „Lean Manufacturing Consultant“ der Steinbeis-Hochschule Berlin.

Auch war er als Trainer und Führungskraft für die Ausbildung von Beratern und Führungskräften zum Thema Lean Production sowie Lean Management in den Bereichen Produktion, Planung und IT tätig. Für die PKW-Sparte der Daimler AG entwickelte er Lernfabriken in Europa und den USA für die Schulung und Umsetzung von unterschiedlichen Lean-Methoden. Seit 2009 ist Frank Bertagnolli Lehrbeauftragter mit Produktions-, Logistik und Managementthemen. Er verfügt über eine Ausbildung zum systemischen Berater und Coach und hat mehrere Lehrbücher rund um das Thema Lean Management veröffentlicht.

[frank.bertagnolli@hs-pforzheim.de](mailto:frank.bertagnolli@hs-pforzheim.de)  
Telefon: 07231 / 28 - 6372



**Prof. Dr. Roukaya Issaoui-Domnik** hat seit 2025 die Stiftungsprofessur der Carl-Zeiss-Stiftung für Ressourceneffizienz und nachhaltige Rohstoffversorgung. Sie studierte Agrarwissenschaften am National Agronomic Institute of Tunisia sowie Innovation Management an der National School of Engineers of Tunis und promovierte am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) zum Thema nachhaltige Phosphatbewirtschaftung mit Fokus auf ökologische und soziale Lebenszyklusanalysen und Kritikalitätsanalyse. Nach einer Tätigkeit als akademische Mitarbeiterin an der Hochschule Pforzheim beriet sie von 2021 bis 2024 bei PricewaterhouseCoopers (PwC) und bofest consult GmbH Unternehmen zu Nachhaltigkeitsmanagement, -bewertung und -berichterstattung.

Anschließend war sie als ESG-Managerin bei der AfB Group tätig. Bei INEC liegt ihr Arbeitsschwerpunkt auf nachhaltigen Wertschöpfungsketten für Rohstoffe, wobei ökologische, wirtschaftliche und soziale Aspekte einbezogen werden, sowie auf Ressourceneffizienz und Kreislaufwirtschaft und auf Nachhaltigkeit-Management.

[roukaya.issaoui-domnik@hs-pforzheim.de](mailto:roukaya.issaoui-domnik@hs-pforzheim.de)  
Telefon: 07231 / 28 - 6491



**Dr. Hendrik Lambrecht** ist Professor für Industrial Ecology und Quantitative Methoden. Nach dem Studium der Physik in Heidelberg und Lyon (Frankreich) begann seine berufliche Laufbahn 2003 beim Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW) und der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW), bevor er 2006 als wissenschaftlicher Mitarbeiter an die Hochschule Pforzheim wechselte. An der Fakultät für Nachhaltigkeit der Leuphana Universität Lüneburg promovierte er 2011 über das Thema stoffstrombasierte Optimierung betrieblicher Produktion. Nach kurzer Tätigkeit für ein Softwareunternehmen erhielt er den Ruf an die Hochschule Pforzheim, wo er seit 2012 in den Studiengängen BW/Nachhaltigkeit

und Ressourceneffizienz (B. Sc.), Life Cycle & Sustainability (M. Sc.) sowie im Bereich Operations Research lehrt. Hendrik Lambrecht ist Mitglied des baden-württembergischen Center of Applied Research (BW-CAR). Von 2016 bis 2019 engagierte er sich als Mitglied des Nationalen Begleitgremiums bei der Standortsuche für ein Endlager für hochradioaktiven Atom Müll. Seine Forschungsaktivitäten umfassen die Bereiche Energie- und Stoffstrommanagement, Prozessoptimierung im betrieblichen Kontext sowie Ökobilanzierung mit Schwerpunkt Energiesysteme.

[hendrik.lambrecht@hs-pforzheim.de](mailto:hendrik.lambrecht@hs-pforzheim.de)  
Telefon: 07231 / 28 - 6424



**Dr.-Ing. Claus Lang-Koetz** ist Professor für Nachhaltiges Technologie- und Innovationsmanagement an der Hochschule Pforzheim (seit 2014) und stellvertretender Leiter des Instituts für Industrial Ecology (INEC). Nach seinem Studium (Dipl.-Ing. Umweltschutztechnik) arbeitete er neun Jahre lang in der angewandten Forschung an der Universität Stuttgart (Promotion zum Dr.-Ing.) und am Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO in Stuttgart. Danach baute er das Innovationsmanagement bei einem international agierenden Anlagenbauunternehmen auf und leitete es. An der Hochschule Pforzheim leitet er neben seiner Lehrtätigkeit Forschungsprojekte am Institut für Industrial Ecology (INEC). In der

Forschung beschäftigt er sich mit der Organisation von Innovationsaktivitäten in Unternehmen, dem strategischen Technologiemanagement, der Nachhaltigkeitsbewertung neuer Technologien, der Integration von Nachhaltigkeitsaspekten in das Innovationsmanagement und grünen Startups. Zusätzlich ist er Co-Leiter des Projekts Design Factory Pforzheim und unterstützt dort Gründungsvorhaben an der Hochschule. Claus Lang-Koetz ist seit 2016 gewähltes Mitglied des Senats der Hochschule und weiterhin Mitglied des baden-württembergischen Center of Applied Research (BW-CAR).

[claus.lang-koetz@hs-pforzheim.de](mailto:claus.lang-koetz@hs-pforzheim.de)  
Telefon: 07231 / 28 - 6427



**Dr. Mario Schmidt** ist seit 1999 Professor für Ökologische Unternehmensführung. Er studierte Physik und Astrophysik an den Universitäten in Freiburg und Heidelberg und arbeitete dann auf den Gebieten des Emissionsschutzes, des Klimaschutzes, des Umweltmanagements und des Life Cycle Assessments. Er war Referatsleiter bei der Umweltbehörde Hamburg und leitender Angestellter bei der ifeu Heidelberg GmbH. Promoviert hat er über umweltorientierte Stoffstromanalysen. An der Hochschule Pforzheim hat er die Forschungsgruppe zur Energie- und Stoffstromanalyse aufgebaut, aus der 2010 das Institut für Industrial Ecology (INEC) hervorging, dessen Leiter er aktuell ist. Von 2002 bis 2013 war er gewähltes Senatsmitglied und von 2002 bis 2014 war er Wissenschaftlicher Direktor des Instituts für Angewandte Forschung (IAF). Von 2015 bis 2020 war er zusätzlich Hono-

rarprofessor an der Fakultät für Nachhaltigkeit der Leuphana Universität Lüneburg. In Pforzheim hat er die Studiengänge BW/Ressourceneffizienz-Management (B.Sc.) und Life Cycle & Sustainability (M.Sc.) gegründet, ebenso die kooperativen Promotionskollegs „Energiesysteme & Ressourceneffizienz“ (ENRES) und „Klima, Ressourcen und Circular Economy“ (KLIREC) in Kooperation mit dem Karlsruhe Institute of Technology (KIT). Von 2012 bis 2021 war er Mitglied im Beirat der Landesregierung für nachhaltige Entwicklung. Heute ist er Co-Vorsitzender der Jury Umweltzeichen Blauer Engel und Mitglied in der Ressourcenkommission des Umweltbundesamtes.

**mario.schmidt@hs-pforzheim.de**  
**Telefon: 07231 / 28 - 6406**



**Dr. Ingela Tietze** ist Professorin für Nachhaltige Energiewirtschaft. Nach ihrem Studium zur Diplom-Ingenieurin für Brauwesen und Getränke-technologie mit der Vertiefungsrichtung Technischer Umweltschutz an der Technischen Universität München (Weihenstephan) wechselte sie im Jahr 2001 an die Universität Karlsruhe (TH). Dort promovierte sie 2005 an der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften über das Thema Kosteneinsparpotenziale durch Erweiterung betrieblicher Systemgrenzen. Nach ihrer Promotion war Frau Tietze als Beraterin im Fachgebiet Energiewirtschaft der Lahmeyer International GmbH für die Weltbank, für Ministerien und für Energieversorgungsunternehmen im In- und Ausland tätig. Sie wechselte 2006 zur Evonik Degussa GmbH und beriet als Energy Consultant europäische Standorte in allen Belangen des

Energiebezugs, der Energieumwandlung und der Energienutzung. Darüber hinaus verantwortete sie die Minutenreservevermarktung und übernahm Spezialistenfunktionen in den Themen Emissionshandel und Energie- und Stromsteuer. 2009 erhielt Frau Tietze einen Ruf auf die Professur für Mittelstandsmanagement, Energiemanagement und Energietechnik an die Hochschule Niederrhein. Dort baute sie am Fachbereich Wirtschaftsingenieurwesen den Schwerpunkt Energiewirtschaft und Energietechnik auf und leitete ab 2012 das interdisziplinäre SWK-Energiezentrum E<sup>2</sup>. Seit 2015 lehrt und forscht sie im Fachgebiet Ressourceneffizienz der Hochschule Pforzheim. Seit 2020 ist sie Prorektorin.

**ingela.tietze@hs-pforzheim.de**  
**Telefon: 07231 - 28 - 6361**



**Dr. Tobias Viere** ist Professor für Energie- und Stoffstromanalyse und lehrt in den Studiengängen B.Sc. Betriebswirtschaftslehre /Ressourceneffizienz- Management und M.Sc. Life Cycle & Sustainability. Er studierte Umweltwissenschaften in Lüneburg und Canterbury (England) und promovierte an der wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der Leuphana Universität Lüneburg. Von 2003 bis 2007 betreute er als Projektmanager und Dozent ein internationales Weiterbildungsprogramm für südostasiatische Unternehmen zu Themen des Umweltcontrollings und begann anschließend seine Tätigkeit für ein Softwareunternehmen. Zuletzt leitete er dort den Bereich Beratung und Forschung und koordinierte mehrere praxisnahe Verbund-

forschungsprojekte. Tobias Vieres Forschungsaktivitäten umfassen unter anderem zahlreiche Publikationen und Fallstudien in den Themengebieten Energie- und Ressourceneffizienz, Life Cycle Assessment, Sustainability Accounting and Reporting, Circular Economy sowie Corporate Social Responsibility und Nachhaltigkeitsmanagement. Tobias Viere ist Mitglied des baden-württembergischen Center of Applied Research (BW-CAR) und im kooperativen Promotionskolleg KLIREC in Kooperation mit dem KIT.

**tobias.viere@hs-pforzheim.de**  
**Telefon: 07231 / 28 - 6423**



**Dr.-Ing. Jörg Woidasky** studierte „Technischen Umweltschutz“ an der Technischen Universität Berlin mit der Vertiefungsrichtung Abfallwirtschaft und promovierte an der Universität Stuttgart im Bereich Maschinenbau zur Kreislaufführung von Kunststoffkraftstoffbehältern. Er arbeitete von 1994 bis 2014 im Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie (ICT) in Pfinztal. Nach einem einjährigen USA-Aufenthalt zur Gründung des Fraunhofer Center for Energy and Environment in Pittsburgh/PA übernahm er 2006 im Fraunhofer ICT die stellvertretende Leitung des Bereichs „Umwelt-Engineering“ und gleichzeitig die Gruppenleitung „Kreislaufwirtschaft und Ressourceneffizienz“. Von 2008 bis 2012 leitete er das EU-Vorhaben „Clean

Sky - Eco Design“ mit mehr als 20 Industriepartnern. Im September 2012 wurde er als Professor für Nachhaltige Produktentwicklung an die Hochschule Pforzheim auf eine Forschungsprofessur im Bereich Wirtschaftsingenieurwesen berufen. Er lehrt in den Studiengängen Wirtschaftsingenieurwesen, Maschinenbau und BWL/Ressourceneffizienz und ist Mitglied des baden-württembergischen Center of Applied Research (BW-CAR). Seine Forschungsschwerpunkte liegen primär in den Bereichen Kreislaufwirtschaft und Recycling von Polymeren, Metallen und Werkstoffverbunden.

**joerg.woidasky@hs-pforzheim.de**  
**Telefon: 07231 / 28 - 6489**



**INEC**  
INSTITUT FÜR INDUSTRIAL  
ECOLOGY

### Ressourcen. Nachhaltig. Gestalten.

Broschüre des Instituts  
für Industrial Ecology,  
Hochschule Pforzheim

### Herausgeber

Prof. Dr. Mario Schmidt  
Prof. Dr. Claus Lang-Koetz

### Adresse

Hochschule Pforzheim  
Tiefenbronner Straße 65  
07231 / 28 - 5

Namensbeiträge stellen die Meinung  
der Autoren dar. Ein Nachdruck – auch  
auszugsweise – bedarf der Zustimmung  
der Redaktion.

### Redaktion

Larissa Coblenzer

### Gestaltung

Patricia Braun

Composing Titelseite unter Verwendung  
von Abbildungen von: Mario Schmidt / INEC,  
Maksim Shmeljov / Adobe Stock. Fotos Rück-  
seite von: Mario Schmidt / INEC, Fotolia /  
industrieblick und Shutterstock / TonyV3112

### Druck

Späth Media GmbH Baden-Baden

Gedruckt auf 100 % Altpapier, ausgezeichnet  
mit dem Blauen Engel (DE-UZ 14a)  
Umschlag und Inhalt: Circleoffset White matt

### Auflage

500 Exemplare

Stand: Mai 2026



*Lehrende, Forschende und Lernende: Am INEC werden die Nachhaltigkeitsexperten/innen der Zukunft ausgebildet.  
Foto: Michael Karalus*





**INEC**  
INSTITUT FÜR INDUSTRIAL  
ECOLOGY

Institut für Industrial Ecology  
Hochschule Pforzheim

Tiefenbronner Straße 65  
75175 Pforzheim

[hs-pforzheim.de/inec](https://hs-pforzheim.de/inec)

