Universität Augsburg
Wissenschaftszentrum
Umwelt

Jahresbericht 2015

Vorwort

Sehr geehrte Damen und Herren,
liebe Leserinnen und Leser,

Forschung im Bereich der *Environmental Health Sciences* (EHS) findet in Augsburg ausgezeichnete Rahmenbedingungen. Die Konzentration herausragender epidemiologischer, medizinischer und umweltwissenschaftlicher Forschungsinstitutionen in der Metropolregion München ermöglicht eine Clusterbildung auf hohem Niveau. Umweltmedizin als klinische Komponente der EHS ist am Klinikum Augsburg im UNIKA-T institutionalisiert.

Auf der Grundlage der in Augsburg seit Jahrzehnten etablierten großen Kohortenstudien (Monica, Kora), die jetzt um die Nationale Kohorte ergänzt wurden, ist eine zukunftsweisende, moderne Form der Forschung möglich, die nicht nur hilft, unsere urbanen und ländlichen Umwelten gesünder zu machen, sondern die ebenso konkreten Nutzen für die Therapie bringt. *Environmental Health Sciences* sollen neben den *Medical Information Sciences* einer der beiden Forschungsschwerpunkte der geplanten medizinischen Fakultät der Universität Augsburg werden. Frau Professor Annette Peters, mit der wir in diesem Bereich seit vielen Jahren kooperieren, erläutert im Interview in diesem Jahresbericht aktuelle Herausforderungen und Perspektiven der Forschung im Bereich von Umwelt und Gesundheit.

Unsere Aktivitäten und Pläne in diesem und in anderen Bereichen der Umweltforschung stellt Ihnen der aktuelle Jahresbericht vor, er soll Ihnen ein aktuelles, kurz gefasstes Bild unserer Arbeit vermitteln. Gern geben wir oder die jeweiligen Projektleiter/innen Ihnen weitere Informationen. Wir wünschen Ihnen eine anregende Lektüre.

Prof. Dr. Armin Reller

Prof. Dr. Jucundus Jacobeit

Prof. Dr. Marita Krauss

Dr. Jens Soentgen

Inhalt

UMWELT UND GESUNDHEIT

05 Aerosolmessstation
13 Luftschadstoffe und Blutbiomarker
19 Klimawandel und Feinstaub in Bayern

RESSOURCENSTRATEGIE UND STOFFGESCHICHTEN

27 Lehrstuhl für Ressourcenstrategie
35 Ressourcengeographie des Phosphors
40 Auf der Suche nach den Seltenen Erden
46 ForCycle – Zukunftssichernde Nutzung von Wertstoffen
51 Grüner Klee und Dynamit

LOKALE UMWELTEN

56 Lech-Magerrasen
60 Die Terras Pretas im Amazonas-Gebiet
64 Virtuelles Alpenobservatorium

WISSENSVERMITTLUNG UND ANWENDUNG

73 Arbeitskreis Nachhaltigkeit
78 Disziplinübergreifende Lehrveranstaltungen
81 Stoffgeschichten

IM GESPRÄCH

84 mit Frau Prof. Dr. Annette Peters

DAS WZU

90 Profil
91 Das Team am WZU
92 Die Mitglieder des WZU
96 Aktuelle Publikationen

UMWELT UND GESUNDHEIT

05 Aerosolmessstation
13 Luftschadstoffe und Blutbiomarker
19 Klimawandel und Feinstaub in Bayern

Aerosolmessstation

PROJEKTTEAM

- Dr. Josef Cyrys
  cyrys@helmholtz-muenchen.de
  Tel.: 0821 598 3562
- Dr. Jianwei Gu
  jianwei.gu@physik.uni-augsburg.de
  Tel.: 0821 598 3578
- Thomas Kusch
  Thomas.Kusch@hs-augsburg.de
  Tel.: 0821 5586 3259 (Büro)
  Tel.: 0821 5586 3918 (Messstation)
- Klaus Hager
  klaus.hager@geo.uni-augsburg.de
- Dr. Jens Soentgen
  soentgen@wzu.uni-ausgburg.de
  Tel.: 0821 598 3560
- Claudia Weitnauer
  claudia.weitnauer@geo.uni-augsburg.de
  Tel.: 0821 598 2765
- Dr. Christoph Beck
  christoph.beck@geo.uni-augsburg.de
  Tel.: 0821 598 2129

PROJEKTPARTNER

- Bayerisches Landesamt für Umwelt,
  Dr. Ott, Dr. Pitz
- Department of Applied Environmental Science,
  University Stockholm, Dr. Johansson
- Deutscher Wetterdienst, Dr. Thomas, Dr. Flentje
- Helmholtz Zentrum München,
  Prof. Dr. Peters, Dr. Schneider, Dr. Breitner,
  Dr. Schnelle-Kreis, Prof. Dr. Zimmermann
- Hochschule Augsburg, Prof. Dr. Weber
- Institut für Energie- und Umwelttechnik,
  Dr. Kuhlbusch
- Institut für Troposphärenforschung, Dr. Birmili,
  Dr. Wiedensohler
- Karlsruher Institut für Technologie,
  Prof. Dr. Schäfer, Dr. Suppan, Dr. Emeis
- Ludwig-Maximilians-Universität München,
  Prof. Dr. Küchenhoff, Dr. Wiegner
- Sächsisches Landesamt für Umwelt, Dr. Löschau,
  Dr. Bastian
- Studienzentrum KORA (Kooperative Gesundheits-
  forschung in der Region Augsburg),
  PD Dr. Meisinger
- THL National Institute for Health and Welfare,
  Dr. Hänninen, Dr. Lanki
- Umweltbundesamt, Dr. Ries, Dr. Wirtz
- Universität Augsburg, Prof. Dr. Jacobeit
- UNIKA-T, Prof. Dr. med. Claudia Traidl-Hoffmann
- Utrecht University, Prof. Dr. Brunekreef, Dr. Hoek

Das Umweltaerosol in Augsburg

Worum geht es?

In diesem Projekt erforschen wir, wie Luftschadstoffe im urbanen Raum entstehen, wie sie sich gesundheitlich auswirken und welche Maßnahmen geeignet sind, um sie zu bekämpfen. In enger Kooperation mit dem Zentralklinikum Augsburg sowie mit dem Helmholtz Zentrum München (HMGU, Institut für Epidemiologie II) wird an der Universität Augsburg seit über 10 Jahren disziplinübergreifend geforscht. Diese Forschung bringt Ergebnisse hervor, die für die Praxis relevant sind und die international publiziert werden. Sie spielt auch im Hinblick auf die geplante Neugründung der Universitätsmedizin in Augsburg mit dem Schwerpunkt *Environmental Health Sciences* eine wichtige Rolle.
Durch die langjährig gepflegte Zusammenarbeit in der Projektgruppe Aerosole-Klima-Gesundheit bestehen gewachsene Kooperationen mit dem Helmholtz Zentrum München (HMGU), dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT), der Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU), der Technischen Universität München (TU) und dem Landesamt für Umwelt Bayern (LfU), die für eine erfolgreiche Arbeit unerlässlich ist.
Schwerpunkt unseres Interesses ist die Aerosolforschung. Aerosolpartikel kommen in der Luft in unterschiedlichster Konzentration, Zusammensetzung, Größe und Form vor und sind äußerst komplexe und dynamische Gemische, die insbesondere im städtischen Bereich anthropogenen Ursprungs sind und aus den Abgasen von Autos, Häusern und Betrieben entweichen. Insbesondere Verbrennungsprozesse liefern große Mengen sehr feiner und gesundheitlich besonders problematischer Partikel. Jeder Mensch inhaliert enorme Mengen dieser Partikel und es stellt sich die Frage: Welche Eigenschaften und/oder Komponenten des Umweltaerosols sind für die in epidemiologischen Studien nachgewiesenen gesundheitlichen Effekte verantwortlich? Eine Klärung dieser Frage kann nur durch eine detaillierte physikalische und chemische Charakterisierung der Umweltpartikel erfolgen. Der Einsatz einer zentralen Messstation zur Abschätzung der Exposition großer Bevölkerungsgruppen ist aber nur dann sinvoll, wenn die Luftschadstoffe homogen über das Studiengebiet verteilt sind, in denen die zu untersuchenden Personen leben. Deshalb wurden in speziellen Intensivmesskampagnen an verschiedenen Standorten im Stadtgebiet von Augsburg die räumlichen Variationen der Belastung durch Luftschadstoffe abgebildet. Die Messungen werden durch Landnutzungs-, Dispersionsmodelle und Fernerkundungsdaten ergänzt, um so eine präzise Expositionsabschätzung der Bevölkerung zu erhalten.

Zielsetzung & Methoden

Die Aerosolmessstation steht seit 2004 im Mittelpunkt der *Environmental Health*-Aktivitäten am Wissenschaftszentrum Umwelt und am Institut für Geographie der Universität Augsburg. Sie ist ein wichtiger Netzwerkknoten für die Kooperation vieler Umweltforscher im süddeutschen Raum. Sie wird von der Universität Augsburg und dem Helmholtz Zentrum München in Kooperation mit der Hochschule Augsburg betrieben. Einbezogen in die Forschung ist auch das Karlsruhe Institut für Technologie (KIT, Campus Alpin) und das LfU sowie das Umweltamt der Stadt Augsburg. Die Messstation liefert

kontinuierlich hochaufgelöste und hochwertige Daten zur physikalischen und chemischen Charakterisierung feiner und ultrafeiner Partikel, die die mittlere Belastung der Stadt widerspiegeln und somit für einen Großteil der Augsburger Bevölkerung repräsentativ sind. Zudem werden meteorologische Größen erfasst, die die Feinstaubbelastung beeinflussen können. Folgende Aspekte stehen im Mittelpunkt der Forschungsaktivitäten:

- Identifizierung der wichtigsten lokalen und überregionalen Feinstaubquellen
- Dokumentation zeitlicher Trends der Feinstaubbelastung
- Untersuchung der Auswirkungen von Maßnahmen zur Feinstaubreduzierung (z.B. Umweltzone)
- Modellierung von Luftschadstoffen, um die Exposition der Bevölkerung besser zu erfassen
- Bereitstellung von Daten für epidemiologische Studien, die die Gesundheitsrelevanz von Luftschadstoffen untersuchen
- Bereitstellung von Daten für Studien, die den Zusammenhang von Umweltwandel (z.B. Klimawandel) und Gesundheit erforschen
- Beitrag zur Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses (Master- und Doktorarbeiten, umweltwissenschaftliche Seminare)

Durchführung und Ergebnisse

Das Projektteam war im Berichtszeitraum an folgenden Projekten beteiligt:

- EU-Projekt: „Assessment of changing conditions, environmental policies, time-activities, exposure and disease (ACCEPTED)"
- HMGU-Projekt: „Exposure, Modeling and Epidemiology of Nanoparticles and their Composition within KORA (ULTRA III)"
- Helmholtz Gemeinschaft-Projekt: „Regionale Klimaänderungen – Ursachen und Folgen (REKLIM)"
- DFG-Projekt: „Klimawandel und Feinstaub in Bayern (PACLIMBA – *Particulate Matter and Climate Change in Bavaria*)"
- DFG-Projekt: „Luftschadstoffe und Blutbiomarker (ACCEPTED)"

Den Schwerpunkt der Arbeiten bildeten die Projekte REKLIM und ULTRA III.

REKLIM

Im Rahmen dieses Projekts wurden 2015 die Messungen von Lufttemperatur und relativer Feuchte an 55 Standorten (35 davon in der Stadt Augsburg und 20 in den umliegenden Landkreisen) weitergeführt. Die Standorte wurden, basierend auf der räumlichen Verteilung der Heimadressen der KORA-(Kooperative Gesundheitsforschung in der Region Augsburg) Studienteilnehmer sowie der zu erwartenden räumlichen Variation der meteorologischen Variablen ausgewählt. Im Februar 2015 wurden 20 Messgeräte verlegt, um während der Birkenblüte (Februar bis Mai) direkt an beprobten Birken zu messen. Die Messkampagne endete im Mai 2015. Nachfolgend wurden die Jahres- und Saisonmittelwerte berechnet und die GIS-Datenbasis mit den neuesten Karten zu Verkehr, Landnutzung und Bevölkerung aktualisiert. Zuerst wurde die Lufttemperatur an 35 Messstationen in der Stadt Augsburg mittels Landnutzungscharakteristiken

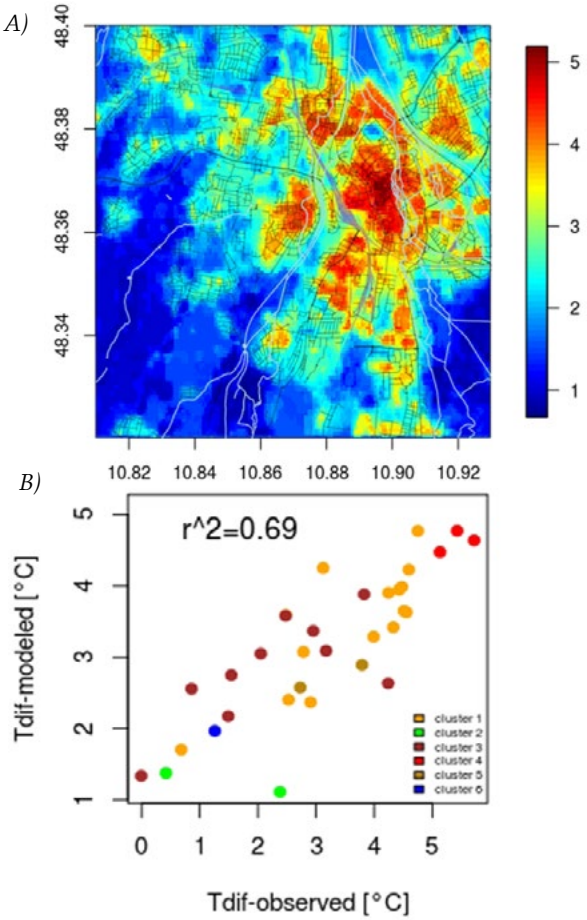


Abb. 1: A) Modellierte räumliche Verteilung der Lufttemperatur (Juli, 04:00, ruhig und klar). B) Scatterplot der beobachteten vs. gemessenen Lufttemperatur an 35 Messstationen in der Stadt Augsburg (Juli, 04:00 Uhr, ruhig und klar)

als Prädiktorvariablen modelliert. Danach wurden die passenden statistischen Modelle auf gerasterte Landnutzungsdaten angewendet, um räumliche Verteilungen der städtischen Lufttemperaturen abzuleiten. Vorläufige Ergebnisse der Analysen bestätigen die generelle Anwendbarkeit des gewählten statistischen Ansatzes, zeigen aber auch ausgeprägte Schwankungen der Beiträge der Prädiktorvariablen hinsichtlich Jahreszeit, Tageszeit und synoptischer Wetterlage. Abbildung 1 zeigt exemplarisch die Ergebnisse der Modellierung für Juli, 4:00 Uhr (vor Sonnenaufgang) und für eine ruhige und klare Wetterlage. Modelliert wurden Abweichungen von der Temperatur, die an der Referenzstation „Flughafen Augsburg" gemessen wurde.

ULTRA III

Diese Studie ist eine epidemiologische Langzeiteffektstudie, in der die Inzidenzraten von Krankheiten oder die Häufigkeit von Frühformen und Symptomen in der KORA-Kohorte mit den Werten einer individuellen Langzeitexpositionsabschätzung in Beziehung gesetzt werden. Das erfordert die Schätzung der Langzeitbelastung an aktuellen und früheren Wohnorten bzw. häufigen Aufenthaltsorten der Studienteilnehmer. Da Expositionsmessungen mit der erforderlichen räumlichen Auflösung in der Regel nicht existieren, wird die Langzeitexposition in dieser Studie aus einer Kombination von Messung und Modellierung geschätzt.
Im Rahmen des ULTRA III Projekts wurden an 20 Standorten in Augsburg sowie in den zwei Landkreisen Augsburg Land und Friedberg-Aichach ultrafeine Partikel (UFP), $PM_{2.5}$ (particulate matter),PM_{10}, *Black*

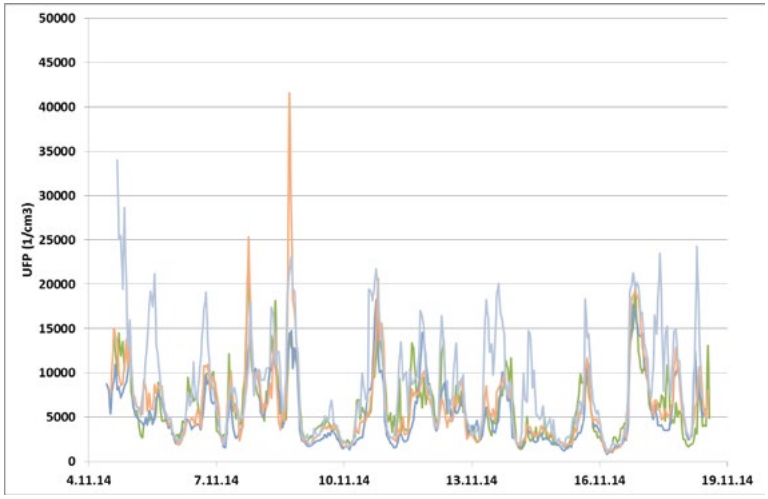


Abb. 2: UFP-Konzentrationen an vier ULTRA III - Messstationen (beispielhaft)

Smoke, Stickoxide sowie Ozon gemessen. Die Messungen wurden im Zeitraum vom März 2014 bis April 2015 durchgeführt. Sie liefern Daten für die Modellierung der räumlichen Verteilung der oben genannten Luftschadstoffe. Die Modellierung erfolgt mit Hilfe von Land-Nutzungsmodellen.
Die ersten Ergebnisse zeigen eine erstaunlich hohe zeitliche Korrelation zwischen den UFP-Konzentrationen der Satelliten-Messstationen und der Referenzmessstation in einer Höhe von ca. 0.7 - 0.9 (Spearman Korrelationskoeffizienten).
Die Jahresmittelwerte der UFP-Konzentrationen an den 20 Satelliten-Messstationen, die auf die zeitliche Variation adjustiert wurden, reichen von 14000 Partikel/cm³ an hochbelasteten städtischen Verkehrsmessstationen bis 5500 Partikel/cm³ im regionalen Hintergrund (Abbildungen 2 und 3). Nachfolgend werden Landnutzungsmodelle entwickelt, die die räumliche Variabilität der gemessenen UFP erklären sollen. Hierfür werden für jeden Messstandort Daten zu Verkehr, Landnutzung und Bevölkerung mithilfe eines Geoinformationssystems (GIS) als Prädiktoren für die Regressionsmodelle ermittelt. Die ersten Modelle erklären mehr als 90% der räumlichen Variabilität der UFP-Jahresmittelwerte (Abbildung 4). Die endgültigen Modelle werden auf die Wohnorte der Studienteilnehmer angewendet, um so die wohnortgenaue Konzentration der UFP zu ermitteln.

ACCEPTED

Die Auswertung der Umweltzoneneffekte für München, Berlin und Augsburg wurde fortgesetzt und für alle Städte vereinheitlicht. Für München wurde die Analyse um den Zeitraum der Stufe 3 der Umweltzone erweitert. Eine internationale Publikation der Ergebnisse ist in Vorbereitung.
Die Modellierung der räumlichen Verteilung der Luftschadstoffkonzentrationen in Augsburg durch Anwendung des Ausbreitungsmodells IMMIS^{Luft} wurde fortgesetzt und die ersten Ergebnisse liegen vor. Die Ergebnisse werden noch in diesem Jahr in einem Workshop bei der Firma IVU Umwelt GmbH in Freiburg vorgestellt und validiert. In Zukunft soll eine neue Methode der räumlichen und zeitlichen Modellierung der PM_{10}- und $PM_{2.5}$-Konzentrationen (Hybrid-Modelle), die maßgeblich an der Harvard University (USA) entwickelt wurde, zuerst für Augsburg und in einem weiteren Schritt für

ganz Deutschland angewendet werden. Diese Methode kombiniert die Nutzung von Satellitendaten, Landnutzungsmodellen (die für Augsburg bereits vorliegen) und Ausbreitungsmodellen (wie IMMIS^{Luft}) für eine flächendeckende Modellierung der Luftschadstoffe.

Ausblick

Die Augsburger Messstation ist Teil eines Verbunds von Messstationen, die von der Zugspitze (Umweltforschungsstation Schneefernerhaus) über den Hohenpeißenberg (DWD) bis München und Augsburg in qualitativ hochwertiger und kontinuierlicher Weise gesundheitsrelevante Daten messen, und zwar auf verschiedenen Höhenstufen. Dadurch kann die Frage nach der Herkunft dieser für die menschliche Gesundheit kritischen Luftbestandteile und die Frage nach konkreten Maßnahmen neu beantwortet werden.
Grundlegend für unseren Ansatz ist die langjährige, erfolgreiche und disziplinübergreifende Kooperation zwischen Umweltnaturwissenschaftlern, Epidemiologen, Mathematikern und Umweltsozialwissenschaftlern.

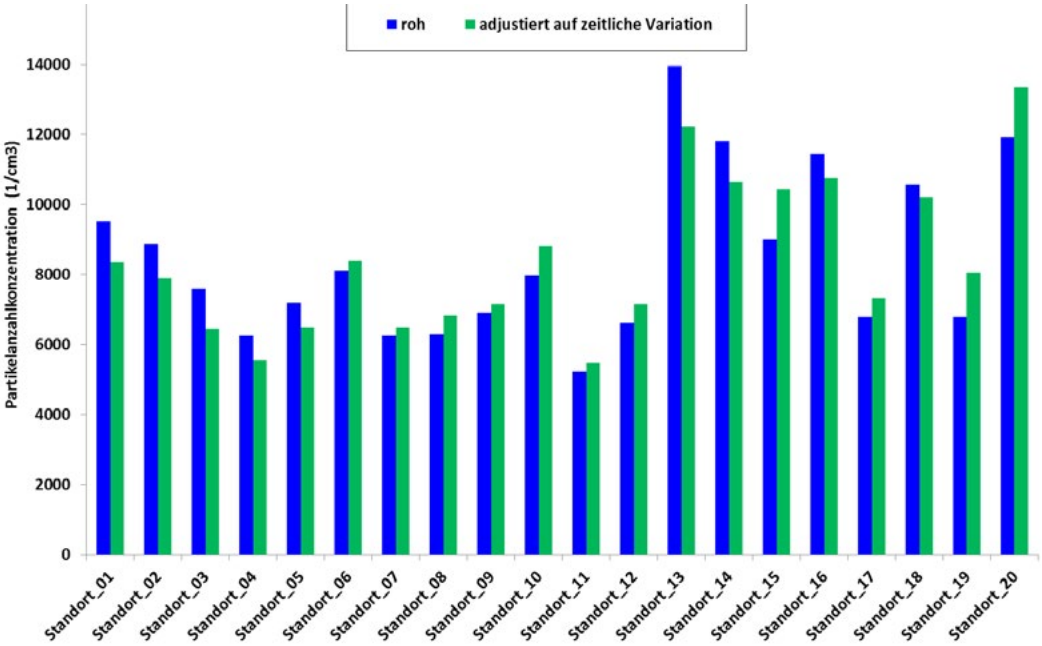


Abb. 3: UFP-Jahresmittelwerte der 20 ULTRA III-Messstationen

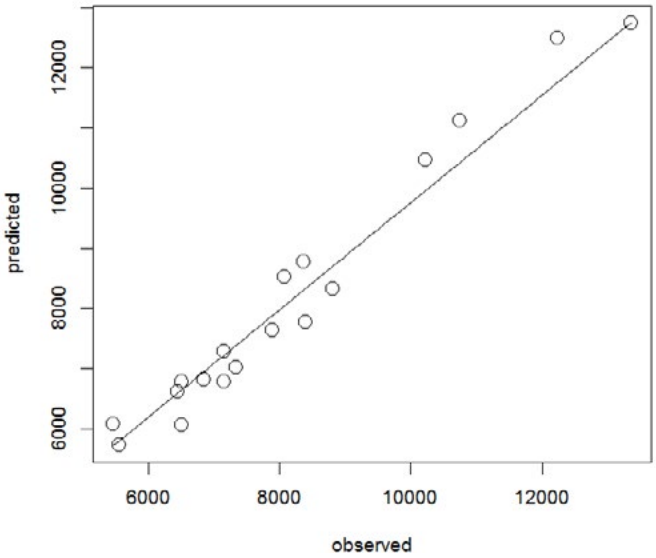


Abb. 4: Gemessene und modellierte UFP-Konzentrationen an den ULTRA III – Messstationen (n=18)

Die Gruppe „Aerosole-Klima-Gesundheit" setzt sich aus rund 20 Mitgliedern zusammen, die in verschiedenen Forschungsinstitutionen im süddeutschen Raum situiert sind. Sie führt seit 2009 regelmäßige Treffen durch, auf denen interdisziplinäre Arbeiten diskutiert werden. Neue Methoden (z.B. Mess-Drohnen) werden dabei ebenso besprochen wie neue Fragestellungen. Der geplante Ausbau des Augsburger Zentralklinikums zu einem Universitätsklinikum wird von der Gruppe aktiv begleitet, weil er für die Forschung im Bereich „Umwelt und Gesundheit" eine wesentliche Stärkung bedeutet.

Literatur

Expositionsforschung:

- Gu, J./Kraus, U./Schneider, A./Hampel, R./Pitz, M./Breitner, S./Wolf, K./Hänninen, O./Peters, A./Cyrys, J. (2015) Personal day-time exposure to ultrafine particles in different microenvironments, *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 218 (2), S.188-195.
- Cyrys, J./Peters, A./ Soentgen, J./Gu, J./Wichmann, H.-E. (2015) *Umweltzonen, Umweltmed–Hygiene–Arbeitsmed,* 20 (1), S. 33-57.
- Kraus, U./ Breitner, S./Hampel, R./Wolf, K./Cyrys, J./ Geruschkat, U./ Gu, J./ Peters, A./Schneider, A. (2015) Individual daytime noise exposure in different microenvironments, *Environmental Research* 140, S. 479-487.
- Flentje, H./Briel, B./Beck, C./Collaud Coen, M./Fricke, M./Cyrys, J./ Gu, J./ Pitz, M./Thomas, W. (2015) Identification and monitoring of Saharan dust: An inventory representative for south Germany since 1997, *Atmospheric Environment* 109, S. 87-96.
- Jedynska, A./Hoek, G./Wang, M./Eeftens, M./Cyrys, J./Beelen, R./Cirach, M./De Nazelle, A./Keuken, M./Visschedijk, A./Nystad, W./Makarem, H.-A./Meliefste, K./Nieuwenhuijsen, M./de Hoogh, K./ Brunekreef, B./Kooter, I.M. (2015) Spatial variations of levoglucosan in four European study areas, *Science of the Total Environment* 505, S.1072-1081.

Luftschadstoffe und Gesundheit:

- Adam, M./…/Cyrys, J./…/Künzli, N./Probst-Hensch, N. (2015) Adult lung function and long-term air pollution exposure. ESCAPE: a multicenter cohort study

and meta-analysis, *European Respiratory Journal* 45, S. 38-50.

- Hampel, R./Peters, A./…/Cyrys, J./…/Lanki, T. for the ESCAPE TRANSPHORM study groups (2015) Long-term effects of particulate matter components on inflammatory blood markers in European cohorts, *Environment International* 82, S. 76-84.
- Mölter, A./…/Cyrys, J./…/Pershagen, G./Agius, R. (2015) A multicentre study of air pollution exposure and childhood asthma prevalence: the ESCAPE project, *European Respiratory Journal* 45, S. 610-624.
- Perez, L./Wolf, K./ …/Cyrys, J./…/Künzli, N. (2015) Air Pollution and Atherosclerosis – A Cross-Sectional Analysis of Four European Cohort Studies, *Environmental Health Perspectives* 123 (6), S. 597-605.
- Peters, A./Hampel, R./Cyrys, J./Breitner, S./Geruschkat, U./ Kraus, U./Zareba, W./Schneider, A. (2015) Elevated particle number concentrations induce immediate changes in heart rate variability: a panel study in individuals with impaired glucose metabolism or diabetes, *Particle and Fiber Toxicology* 12, S. 7.
- Turunen, A./Hampel, R./…/Cyrys, J./…/Peters, A./ Forastiere, F. (2015) Long-term exposure to particulate matter constituents and the incidence of coronary events in eleven European cohorts, *Epidemiology* 26 (4), S. 565-574.
- Wolf, K./…/Cyrys, J./…/Breitner, S. (2015) Assessing the Health Benefits of Reducing Particulate Matter Air Pollution During the Beijing Olympics: An Accountability Study, *Environmental Research* 142, S. 112-122.

Luftschadstoffe und Blutbiomarker

PROJEKTTEAM

- Dr. Josef Cyrys
  cyrys@helmholtz-muenchen.de
  Tel.: 089 3187 4156
- Dr. Regina Pickford
  regina.pickford@wzu.uni-augsburg.de
  Tel.: 089 3187 3660
- Prof. Dr. Armin Reller
  armin.reller@wzu.uni-augsburg.de
  Tel.: 0821 598 3000
- Dr. Jens Soentgen
  soentgen@wzu.uni-augsburg.de
  Tel.: 0821 598 3560

PROJEKTPARTNER

- Helmholtz Zentrum München,
  Institut für Epidemiologie II
  Dr. Susanne Breitner, Dr. Annette Peters und
  Dr. Alexandra Schneider
- Universitätsklinikum Ulm,
  Prof. Dr. Wolfgang Koenig
- US Environmental Protection Agency,
  Environmental Public Health Division
  Dr. Robert Devlin, Dr. David Diaz-Sanchez

FÖRDERUNG

- Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG),
  Projekt RU 1453/1

LAUFZEIT

- Juni 2013 bis voraussichtlich Mai 2017

Zusammenhang zwischen neuartigen Luftschadstoffparametern und Blutbiomakern in empfindlichen Bevölkerungsgruppen in Augsburg

Auswirkungen von Außenluftschadstoffen auf die menschliche Gesundheit

Epidemiologische Studien haben einen Zusammenhang zwischen Außenluftschadstoffen und einer Erhöhung von Herz-Kreislauferkrankungen, wie beispielsweise Herzinfarkten, gezeigt. Es wird angenommen, dass besonders partikuläre Luftschadstoffe oxidativen Stress und Entzündungsreaktionen im Körper hervorrufen und auf diese Weise die Gesundheit beeinträchtigen. Oxidativer Stress entsteht, wenn das Gleichgewicht zwischen der Bildung und dem Abbau reaktiver Sauerstoffverbindungen im Körper gestört ist. Es wurde gezeigt, dass individuelle Charakteristika einen Einfluss darauf haben, wie stark der Einzelne von Luftschadstoffen betroffen ist. So scheinen einige Bevölkerungsgruppen, die beispielsweise durch Erkrankungen wie Typ 2 Diabetes Mellitus (T2D) vorbelastet sind, empfindlicher gegenüber Luftschadstoffen zu sein als gesunde Personen. Andere Studien deuten an, dass Personen mit bestimmten Genotypen, die im Zusammenhang mit Entgiftungsreaktionen stehen, stärker auf Luftschadstoffe reagieren. Konkret handelt es sich um Gene für die Expression bestimmter Enzyme, die die Ausscheidung körpereigener und körperfremder Stoffe erleichtern.

Untersuchung bestimmter Bevölkerungsgruppen in Augsburg

Dieses Projekt untersucht in empfindlichen Bevölkerungsgruppen den Zusammenhang zwischen verschiedenen Luftschadstoffparametern und einer Reihe von Blutbiomarkern, die Entzündungs- und Gerinnungsreaktionen im Körper widerspiegeln.
Bei 187 Personen mit gestörter Glukose-Stoffwechselfunktion (83 Personen mit T2D und 104 Personen mit bereits gestörter Glukosetoleranz, einer Vorstufe von T2D) sowie 87 Personen mit einer potenziellen genetischen Prädisposition, die mit einem verlangsamten Entgiftungsstoffwechsel einhergeht, wurde bis zu sieben Mal eine Blutprobe im Abstand von vier bis sechs Wochen entnommen. Alle Teilnehmerinnen und Teilnehmer stammten aus Augsburg oder den Landkreisen Augsburg und Aichach-Friedberg. Im Labor wurde aus den Blutpro-

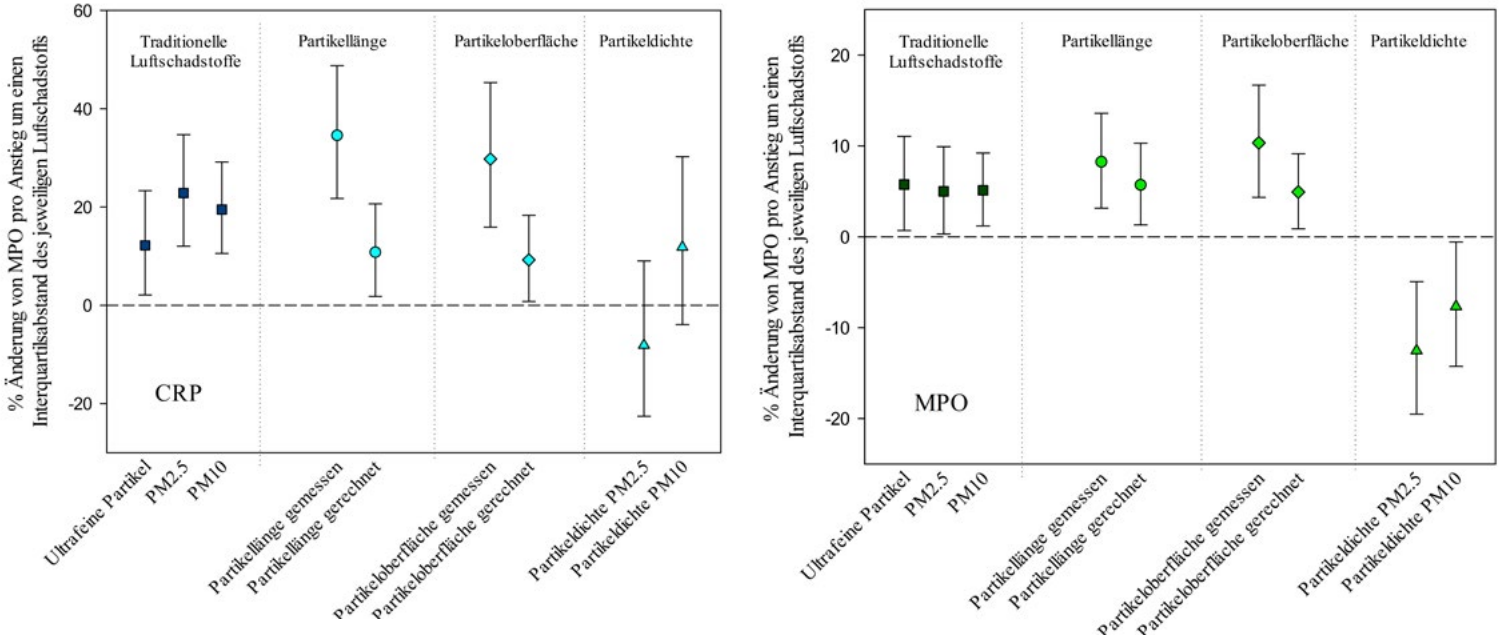


Abb. 1: Vergleich der Zusammenhänge zwischen traditionellen und neuartigen Luftschadstoffparametern und den Entzündungsmarkern C-reaktives Protein (CRP) und Myeloperoxidase (MPO). Die Abbildung zeigt den Zusammenhang für eine Erhöhung der Luftschadstoffe in den 5 Tagen vor der Blutabnahme (5-Tage-Mittel).

ben eine Reihe von Blutbiomarkern analysiert:
1) C-reaktives Protein (CRP) und 2) Myeloperoxidase (MPO), beides Blut-Biomarker für eine systemische Entzündungsreaktion, 3) Fibrinogen, ein wichtiger Faktor bei der Blutgerinnung und 4) Interleukin-6 (IL-6), ein Zytokin, das die Synthese von wichtigen Proteinen, wie CRP und Fibrinogen stimuliert.
Parallel dazu wird in Augsburg an einer zentralen Messstation kontinuierlich eine Vielzahl von Luftschadstoffen gemessen. Mittels statistischer Analysen wurde untersucht, ob es einen Zusammenhang zwischen einer Erhöhung der Luftschadstoffe und den untersuchten Blutmarkern gibt. Dabei wurden auch meteorologische Einflüsse berücksichtigt. Zur Untersuchung von kurzfristigen Auswirkungen wurde der Zusammenhang zwischen Blutmarkern und Luftschadstoffkonzentrationen 24 Stunden vor der Blutabnahme analysiert. Um verzögerte Effekte zu erfassen, wurden zudem die Luftschadstoffkonzentrationen bis zu fünf Tage vor der Blutabnahme betrachtet.
Im ersten Teil dieses Projekts wurden Luftschadstoffe untersucht, die zum Großteil routinemäßig in ganz Deutschland erfasst werden. Hierzu gehören inhalierbarer Schwebstaub (Feinstaub, PM10) und lungengängiger Schwebstaub (feine Partikel, PM2.5), also Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser kleiner 10 µm bzw. 2.5 µm, gemessen als Partikelmasse. Zusätzlich wurden ultrafeine Partikel (UFP, Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser kleiner 100 nm, die als Partikelanzahlkonzentration gemessen werden), eine der Hauptkomponenten des Kfz-Verkehrs, in die Analysen einbezogen.
Im zweiten Teil des Projekts wurde nun der Zusammenhang zwischen neuartigen Luftschadstoffparametern und den Entzündungsmarkern im Blut untersucht. Diese Luftschadstoffparameter werden nicht routinemäßig erfasst, können aber an der Messstation in Augsburg aufgrund spezieller Geräte zusätzlich zur traditionell gemessenen Größenverteilung gemessen werden. Nur eine geringe Anzahl an Aerosolmessstationen in Deutschland ist bisher in der Lage, diese speziellen Parameter zu messen.
Zu diesen neuartigen Luftschadstoffparametern gehören beispielsweise Partikellänge und Partikeloberfläche. Beide Parameter werden auf zwei verschiedenen Arten erfasst: Zum einen werden sie direkt gemessen, indem die Partikel mit Ionen positiv geladen werden. Aus der Ladung kann der jeweilige Durchmesser des Partikels geschätzt werden. Mithilfe des Durchmessers und der Anzahl lassen sich dann Rückschlüsse auf Partikellänge und -oberfläche ziehen. Die Partikellänge kann man sich wie eine imaginäre Kette aller Partikel in einem bestimmten Volumen vorstellen. Die Messgeräte, die diese beiden Parameter feststellen, haben den Vorteil, dass sie mit geringem Aufwand und wenig Wartung und Betreuung sehr zuverlässig laufen.
Ähnliche Parameter lassen sich zum anderen und beispielsweise für Vergleichszwecke auch aus den Anzahlkonzentrationen in den verschiedenen gemessenen Partikelgrößenklassen berechnen, wobei eine Kugelform der Partikel angenommen wird. Die Partikellänge errechnet sich auf diesem Weg als die Anzahlkonzentration in einer bestimmten Größenklasse multipliziert mit dem Partikeldurchmesser, die Partikeloberfläche als Anzahlkonzentration in einer bestimmten Größenklasse multipliziert mit dem quadrierten Partikeldurchmesser.
Als weiterer neuartiger Luftschadstoffparameter wird die

Partikeldichte erfasst. Sie errechnet sich für PM2.5 bzw. PM10 jeweils aus dem Verhältnis zwischen der Masse und dem entsprechenden Volumen, wobei ebenfalls eine Kugelform der Partikel angenommen wird. Diese Information ist interessant, weil die Gesundheitseffekte von Luftschadstoffen auch von der chemischen Partikelzusammensetzung abhängen. Detaillierte Informationen über die chemische Zusammensetzung zu erhalten, ist sehr aufwändig, da die Luftschadstoffe auf Filtern gesammelt und im Labor analysiert werden müssen. Aus diesem Grund stehen Informationen zur chemischen Zusammensetzung üblicherweise nur auf Tages- oder Wochenbasis zur Verfügung. Die Partikeldichte kann als grober Marker für die chemische Zusammensetzung betrachtet werden. So haben frisch emittierte Dieselpartikel aufgrund ihrer Agglomerat-Struktur eine Dichte von unter 1.0 g/cm³ bis etwa 2.0 g/cm³ (Ntziachristos & Samaras 2006, Pitz et al. 2008). Partikel, die aus natürlichen Prozessen stammen und weniger gesundheitsschädlich sind, wie beispielsweise Erdkrustenmaterial, haben eine Dichte von etwa 2.9 g/cm³ (Hänel 1977). Für epidemiologische Studien kann dieser Luftschadstoffparameter daher wertvolle Informationen zusätzlich zur Größenverteilung liefern.

Zusammenhang zwischen neuartigen Luftschadstoffparametern und Blutbiomarkern

Im ersten Teil unseres Projekts fanden wir in der Gruppe der Personen mit genetischer Prädisposition einen deutlichen Anstieg bei CRP und MPO vor allem bei einer Erhöhung der PM2.5- und PM10-Werte in der Luft. Für Personen mit T2D oder bereits gestörter Glukosetoleranz fanden sich weniger klare Zusammenhänge. Fibrinogen zeigte einen leichten Anstieg in der Gruppe mit gestörtem Glukosestoffwechsel bei erhöhten Luftschadstoffwerten, IL-6 zeigte einen negativen Zusammenhang (Rückerl et al. 2014). Die deutlichsten Assoziationen wurden gefunden, wenn man die durchschnittliche Luftschadstoffkonzentration der vorangegangenen fünf Tage betrachtete.

Die Ergebnisse bezüglich der neuartigen Luftschadstoffparameter, die im zweiten Teil unseres Projekts untersucht wurden, waren im Großen und Ganzen vergleichbar mit den Ergebnissen der traditionell gemessenen Luftschadstoffe. Allerdings waren die Zusammenhänge zwischen CRP und MPO und der Partikellänge besonders ausgeprägt und teilweise höher als die Effekte der traditionell gemessenen Luftschadstoffe. Die Partikeloberfläche zeigte ähnlich starke Effekte wie PM2.5 und PM10 (Abbildung 1). Auch die Abnahme von IL-6 fand sich im Zusammenhang mit einer Zunahme der neuartigen Luftschadstoffparameter wieder. Die Ergebnisse für Fibrinogen waren in etwa vergleichbar zwischen traditionellen und neuartigen Luftschadstoffen.

Hinsichtlich der Partikeldichte fanden wir deutlichere Assoziationen mit MPO als mit CRP, sie gingen aber bei

beiden generell in die erwartete negative Richtung, d.h. dichtere Partikel waren mit weniger starken Blutmarkereffekten assoziiert.
Unsere Analysen zeigten einen klaren Zusammenhang zwischen Partikellänge und Partikeloberfläche und Blutbiomarkern, die ein Maß für eine Entzündung im Körper darstellen. Diese Zunahme an Entzündungsmarkern im Zusammenhang mit Luftschadstoffen untermauert die Hypothese, dass Luftschadstoffe oxidativen Stress auslösen können. Die von uns gemessenen neuartigen Luftschadstoffparameter können unter Umständen Luftschadstoffquellen besser abbilden und könnten daher von Vorteil für epidemiologische Studien sein. Ein Fehlen solcher Daten für eine Vielzahl von Messstationen stellt somit nicht nur eine Einschränkung der Forschung dar, sondern könnte auch für den Gesundheitsschutz der Bevölkerung von Bedeutung sein. Wir schlagen daher vor, dass zusätzliche Luftschadstoffparameter in die routinemäßigen Messnetze aufgenommen werden bzw. dass, im Einklang mit den Empfehlungen der Projekte UFIREG *(Ultrafine Particles – an evidence based contribution to the development of regional and European environmental and health policy;* http://www.ufireg-central.eu/index.php/results) und AirMonTech *(Air Pollution Monitoring Technologies for Urban Areas;* http://www.airmontech.eu/), ein umfassendes Luftschadstoffnetzwerk aufgebaut wird. Diese Messstationen sollten in der Lage sein, die Einhaltung von EU-Standards zu überwachen, sowohl im städtischen Hintergrund, als auch an sogenannten *Hotspot*-Standorten. Gleichzeitig sollten einige dieser Stationen an ausgewählten Standorten zu Forschungszwecken eine große Anzahl von zusätzlichen Luftschadstoffparametern erfassen, da die staatlichen Messstationen über die Überwachung der vorgegebenen Schadstoffe hinaus auch die Aufgaben haben, Gesundheitseffekte zu untersuchen, Quellenzuordnung zu ermöglichen und zu überprüfen, ob Maßnahmen zur Verringerung der Luftschadstoffe greifen.
Viele dieser neuen Parameter wurden in diesem Projekt zum ersten Mal im Zusammenhang mit der menschlichen Gesundheit untersucht. Ob dieser Zusammenhang auch mit anderen Gesundheitsmarkern besteht, muss daher noch in weiteren Studien bestätigt werden. Zudem wäre es auch sinnvoll, eine ähnliche Studie an einem anderen Ort, mit z.B. anders verteilten Luftschadstoffquellen, durchzuführen.

Literatur

- Rückerl, R./Hampel, R./Breitner, S./Cyrys, J./Kraus, U./Carter, J./Dailey, L./Devlin, R./Diaz-Sanchez, D./Koenig, W./Phipps, R./Silbajoris, R./Soentgen, J./Soukup, J./Peters, A./Schneider, A. (2014) Associations between ambient air pollution and blood markers of inflammation and coagulation/fibrinolysis in susceptible populations, *Environment International* 70, S. 32-49.
- Gu, J./Pitz, M./Breitner, S./ Birmili, W./von Klot, S./Schneider, A./Soentgen, J./Reller, A./Peters, A./ Cyrys, J. (2012) Selection of key ambient particulate variables for epidemiological studies - Applying cluster and heatmap analyses as tools for data reduction, *Science of the Total Environment* 435-436, S. 541-550.
- Hänel, G. T. J. (1977) Mean Bulk Densities of Samples of Dry Atmospheric Aerosol Particles: A Summary of Measured Data, *Pageoph*. 115, S. 5.
- Ntziachristos, L./Samaras. Z. (2006) Combination of aerosol instrument data into reduced variables to study the consistency of vehicle exhaust particle measurements, *Atmospheric Environment* 40, S. 6032-6042.
- Pitz, M./Schmid, O./Heinrich, J./ Birmili, W./Maguhn, J./ Zimmermann, R./Wichmann, H.-E./Peters, A./Cyrys, J. (2008) Seasonal and Diurnal Variation of PM2.5 Apparent Particle Density in Urban Air in Augsburg, Germany, *Environ. Sci. Technol.* 42, S. 5087–5093.
- Rückerl, R./Hampel, R./Breitner, S./Cyrys, J./Kraus, U./Carter, J./Dailey, L./Devlin, R.B./Diaz-Sanchez, D./Koenig, W./Phipps, R./Silbajoris, R./Soentgen, J./Soukup, J./Peters, A./Schneider A. (2014) Associations between ambient air pollution and blood markers of inflammation and coagulation/fibrinolysis in susceptible populations, *Environ. Int.* 70, S. 32-49.

Klimawandel und Feinstaub in Bayern

PROJEKTTEAM

- PD Dr. Christoph Beck
  christoph.beck@geo.uni-augsburg.de
  Tel.: 0821 598 2129
- M. Sc. Cornelius Hald
  cornelius.hald@student.uni-augsburg.de
  Tel.: 0821 598 2293
- Prof. Dr. Jucundus Jacobeit
  jucundus.jacobeit@geo.uni-ausgburg.de
  Tel.: 0821 598 2662
- M. Sc. Kai Lochbihler
  kai.uwe.lochbihler@student.uni-augsburg.de
  Tel.: 0821 598 2293
- Stefan Siegmund
  stefan.siegmund@student.uni-augsburg.de
  Tel.: 0821 598 2293
- Dipl. Geogr. Claudia Weitnauer
  claudia.weitnauer@geo.uni-augsburg.de
  Tel.: 0821 598 2765

PROJEKTPARTNER

- Bayerisches Landesamt für Umwelt
- Deutscher Wetterdienst
- Wissenschaftszentrum Umwelt
- Projektgruppe Aerosole-Klima-Gesundheit

FÖRDERUNG

- Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) unter dem Geschäftszeichen BE 2406/2-1

LAUFZEIT

- Oktober 2012 – September 2015

Worum geht es?

Räumliche und zeitliche Unterschiede der Feinstaubbelastung sind zum einen auf entsprechende Variationen der natürlichen und anthropogenen Feinstaubemissionen, aber auch auf den modifizierenden Einfluss der lokalen meteorologischen und witterungsklimatologischen Rahmenbedingungen zurückzuführen. Geringe lokale Windgeschwindigkeiten können etwa die Anreicherung lokal emittierter Feinstäube in der bodennahen Atmosphäre begünstigen, während hohe Windgeschwindigkeiten eine Durchmischung belasteter und unbelasteter Luft und damit eine Reduzierung der Feinstaubkonzentration bewirken. In Abhängigkeit von der großräumigen Wetterlage können beispielsweise feinstaubbelastete Luftmassen aus entfernten Entstehungsgebieten herantransportiert werden, die zu einer zusätzlichen Feinstaubbelastung vor Ort führen; umgekehrt können niederschlagsbringende Wetterlagen eine Auswaschung von Feinstäuben aus der Atmosphäre und damit eine Entlastung der lokalen lufthygienischen Situation bewirken.
Im Zuge des möglichen zukünftigen Klimawandels des 21. Jahrhunderts werden Modifikationen der oben genannten meteorologischen-witterungsklimatalogischen Einflussgrößen des Feinstaubs erwartet, die mit entsprechenden Veränderungen der lokalen Feinstaubkonzentrationen in Bayern korrespondieren.
Vor diesem Hintergrund wurden im DFG-geförderten Forschungsprojekt „Klimawandel und Feinstaub-

belastung in Bayern“ (PACLIMBA – *Particulate Matter and Climate Change in Bavaria*) innerhalb der dreijährigen Projektlaufzeit zunächst verschiedene Vorgehensweisen zur Abschätzung lokaler Feinstaubkonzentrationen an 16 bayerischen Stationen aus großräumigen witterungsklimatologischen und lokalmeteorologischen Einflussgrößen entwickelt. Die geeignetsten Verfahren wurden auf Zukunftsprojektionen zweier globaler Klimamodelle angewendet, um Abschätzungen möglicher zukünftiger klimawandelbedingter Änderungen der Feinstaubkonzentrationen in Bayern zu erhalten.

Zielsetzung & Methoden

Die zentralen Zielsetzungen des Forschungsprojektes waren erstens die Quantifizierung der Zusammenhänge zwischen meteorologisch-witterungsklimatologischen Einflussgrößen und Feinstaubkonzentrationen in Bayern auf der Grundlage von Beobachtungsdaten und zweitens, darauf aufbauend, die Abschätzung möglicher zukünftiger klimawandelbedingter Veränderungen der Feinstaubkonzentrationen in Bayern im 21. Jahrhundert.

Unterschiedliche Methoden und Methodenkombinationen des sogenannten empirisch-statistischen *Downscalings* wurden eingesetzt, um das mit globalen Klimamodellen abgeschätzte zukünftige Veränderungssignal der großskaligen Rahmenbedingungen auf die lokale Ebene (Feinstaub-Stationen in Bayern) herunterzuskalieren. Diese Vorgehensweisen wurden zunächst für den Zeitraum 1980-2011, unter Verwendung täglicher Feinstaubkonzentrationsdaten für 16 ausgewählte Stationen des Lufthygienischen Landesüberwachungssystems Bayern (LÜB) des Bayerischen Landesamtes für Umwelt (LfU) entwickelt und bezüglich ihrer Leistungsfähigkeit überprüft und verglichen. Auf diese Weise wurden die geeignetsten Ansätze zur Übertragung auf Kontroll- und Szenarienläufe verschiedener globaler Klimamodelle ermittelt. Für die Charakterisierung der meteorologisch-witterungsklimatologischen Einflussgrößen, der im Rahmen dieser Verfahren zentrale Bedeutung zukommt, wurden verschiedene Datensätze verwendet. Tägliche Messwerte potenziell feinstaubrelevanter lokaler meteorologischer Größen sowie vertikale Temperaturprofile aus Radiosondenaufstiegen lagen für den Zeitraum 1980-2001 aus den Messnetzen des Deutschen Wetterdienstes vor. Zur Erfassung der großskaligen atmosphärischen Rahmenbedingungen im rezenten Untersuchungszeitraum 1980-2011 wurden gegitterte (2.5° x 2.5° horizontale Auflösung) atmosphärische Felder des NCEP/NCAR *(National Center for Environmental Prediction/ National Center for Atmospheric Research*) Reanalysedatensatzes für verschiedene Variablen (unter anderem Bodenluftdruck, Lufttemperatur in 1000 hPa, geopotentielle Höhe der 500 hPa-Druckfläche, zonaler und meridionaler Wind in 500 hPa, relative Feuchte in 1000 und 850 hPa, Vertikalwind in 1000 hPa) herangezogen. Die entsprechenden gegitterten Variablen standen zudem für historische Referenzläufe (für den Zeitraum 1980-2005) und ebenso für Zukunftsprojektionen für zwei Szenarien des aktuellen Sachstandberichtes des Internationalen Weltklimarates (RCP 4.5 und RCP 8.5 in den Zeiträumen 2021-2050 sowie 2071-2100) zweier aktueller globaler Klimamodelle (ECHAM6, EC Earth) zur Verfügung. Die Verknüpfung der großskaligen und lokalen witterungsklimatologischen und meteorologischen Ein-

flussgrößen mit den lokalen Feinstaubkonzentrationen erfolgte auf drei unterschiedlichen Wegen:
In einem ersten Ansatz werden großräumige Wetterlagenklassifikationen entwickelt, die bezüglich ihrer Aussagekraft für lokale Feinstaubkonzentrationen optimiert wurden. Die resultierenden Wetterlagen zeichnen sich durch jeweils spezifische Feinstaubkonzentrationen an den 16 Bayerischen Stationen aus, so dass Abschätzungen zu möglichen zukünftigen Veränderungen der Feinstaubbelastung auf der Grundlage veränderter Auftrittshäufigkeiten der Wetterlagen ermittelt werden können.
Eine alternative Vorgehensweise beinhaltet als ersten Schritt die statistische Modellierung lokaler meteorologischer Einflussgrößen aus großskaligen atmosphärischen

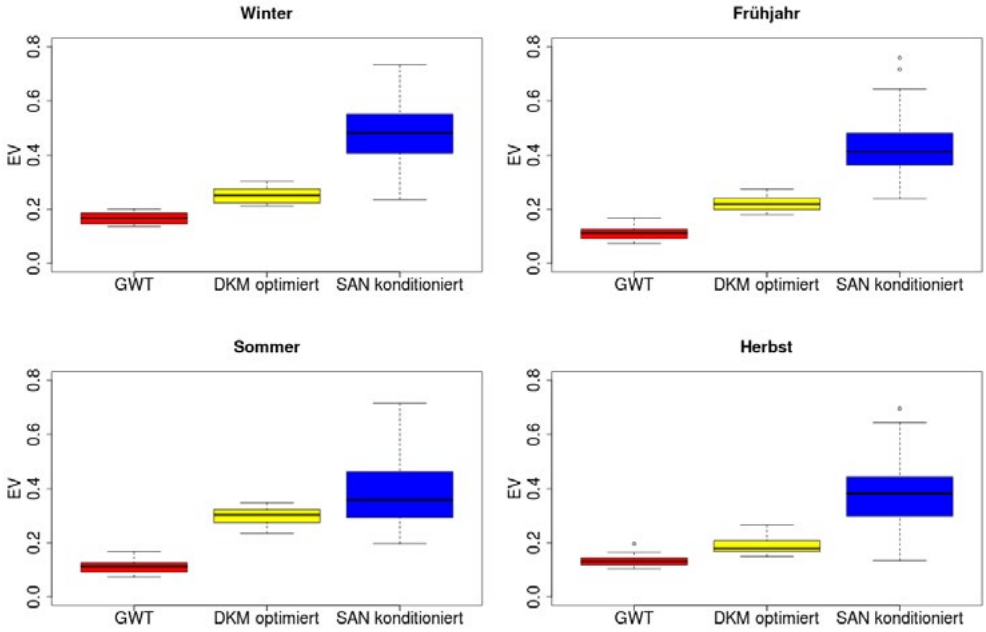


Abb. 1: Trennschärfe (Erklärte Varianz, EV) verschiedener Wetterlagenklassifikationen für lokale Feinstaubkonzentrationen in Bayern in den Jahreszeiten Winter, Frühjahr, Sommer und Herbst. Die Boxplots beinhalten jeweils die ermittelten Erklärten Varianzen an allen 16 betrachteten Bayerischen Stationen.

Feldern. Die modellierten lokalen meteorologischen Größen werden anschliessend zur Abschätzung der lokalen Feinstaubkonzentrationen herangezogen. Hierbei kommen verschiedene multivariate statistische Methoden zum Einsatz. Diese berücksichtigen im Rahmen eines dritten Ansatzes, zusätzlich zu den lokalen meteorologischen Einflussgrößen, auch die großräumige Wetterlage zur Modellierung lokaler Feinstaubkonzentrationen.

Durchführung und Ergebnisse

Im Rahmen des Projekts wurden umfangreiche Analysen zur Optimierung von Wetterlagenklassifikationen bezüglich ihrer Aussagekraft für lokale Feinstaubkonzentrationen durchgeführt. Die hierbei erreichte Verbesserung der sogenannten „Trennschärfe" von Klassifikationsverfahren für die Zielgröße Feinstaub ist Abbildung 1 zu entnehmen. Dargestellt sind hier die erklärten Varianzen (als Maß für die Trennschärfe) verschiedener Wetterlagenklassifikationen. Deutlich wird eine markante Steigerung der Trennschärfe von einfachen Klassifikationsverfahren (GWT) über optimierte clusteranalytische Verfahren (DKM optimiert) bis hin zu komplexen, feinstaubspezifisch entwickelten Klassifikationsansätzen (SANDRA konditioniert).

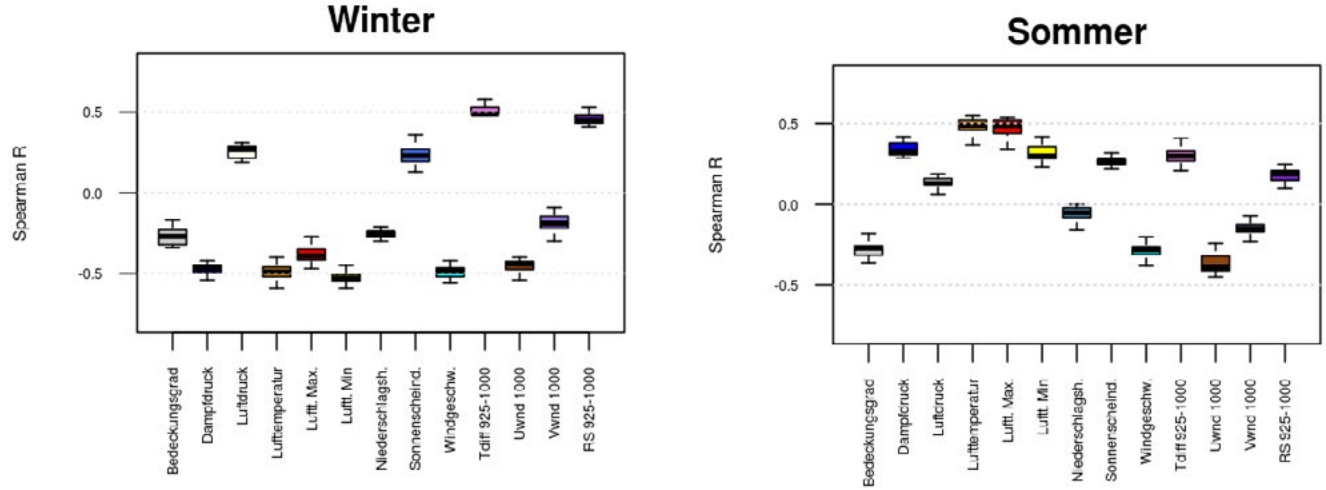


Abb. 2: Spearman Korrelationskoeffizienten zwischen Tageswerten der Feinstaubkonzentration und Tageswerten verschiedener lokaler meteorologischer Variablen (Tdiff 925-1000 = Temperaturdifferenz zwischen dem 1000 und 925 hPa-Niveau; Uwnd 1000 bzw. Vwnd 100 = zonale- bzw. meridionale Windkomponente in 1000 hPa; RS 925-1000 = Temperaturdifferenz zwischen 925 und 1000 hPa, ermittelt für die jeweils nächstgelegene Radiosondenstation). Die Boxplots beinhalten jeweils die ermittelten Korrelationen an allen 16 betrachteten Bayerischen Stationen.

Für die Erstellung statistischer Modelle zur Abschätzung von Feinstaubkonzentrationen aus lokalen meteorologischen Einflussgrößen, wurden verschiedene meteorologische Parameter berücksichtigt, die in variierendem Ausmaß und mit unterschiedlicher Wirkungsrichtung mit der Zielgröße Feinstaub verknüpft sind. Abbildung 2 illustriert anhand der *Spearman* Korrelationskoeffizienten zwischen Tageswerten der Feinstaubkonzentration und Tageswerten verschiedener lokaler meteorologischer Variablen wesentliche Zusammenhangsausprägungen im Winter und Sommer. Von zentraler Bedeutung für die Feinstaubkonzentrationen ist beispielsweise in beiden Jahreszeiten die Lufttemperatur, bei allerdings – im Winter und Sommer – entgegengesetztem Vorzeichen des Zusammenhangs.
Die verschiedenen Modellierungsansätze wurden zunächst für den Beobachtungszeitraum 1980-2011 entwickelt, auf ihre Zuverlässigkeit überprüft und bezüglich ihrer Qualität verglichen.
Abschließend wurden die jeweils geeignetsten Vorgehensweisen auf Klimamodelldaten zweier globaler Klimamodelle (ECHAM6, EC Earth) übertragen und Feinstaubwerte für einen Referenzzeitraum (1980-2005) sowie für zwei Zukunftszeiträume (2021-2050, 2071-2100) modelliert. Für die beiden Zukunftszeiträume wurden zudem jeweils zwei Szenarien (RCP 4.5, RCP 8.5) berücksichtigt, die einen unterschiedlich stark ausgeprägten anthropogenen Einfluss auf die zukünftige Klimaentwicklung annehmen.
Beispielhaft für die Station Nürnberg/Ziegelsteinstraße zeigt Abbildung 3 modellierte Feinstaubkonzentrationswerte für Winter und Sommer, für die Zeiträume 1980-2005, 2021-2050 und 2071-2100, für zwei Szenarien (RCP 4.5, RCP 8.5), auf der Grundlage zweier globaler Klimamodelle (ECHAM6, EC Earth) und unter Verwendung zweier unterschiedlicher Vorgehensweisen zur Abschätzung der Feinstaubwerte aus den Häufigkeitsänderungen von Wetterlagen (SD-PMT) bzw. aus Veränderungen lokaler meteorologischer Einflussgrößen (RF-RFCT).

Als markanteste Änderungen lassen sich Konzentrationszunahmen in den Sommermonaten feststellen, die in drei der vier Abschätzungsvarianten statistische Signifikanz – insbesondere für den späteren Projektionszeitraum (2071-2100) erreichen. Gegenteilige Änderungstendenzen mit langfristigen Konzentrationsabnahmen, sind im Winter festzustellen. Hier nicht gezeigte Änderungen in den Übergangsjahreszeiten sind deutlich geringer ausgeprägt und bleiben in den meisten Fällen insignifikant. Zwar ergeben sich für die 16 untersuchten Stationen durchaus variierende Zukunftsabschätzungen, die in Abbildung 3 illustrierte Erhöhung der Feinstaubkonzentrationen im Sommer und die Abnahme im Winter lassen sich aber als stationsübergreifend ausgeprägte, klimawandelbedingte Änderungstendenzen festhalten.

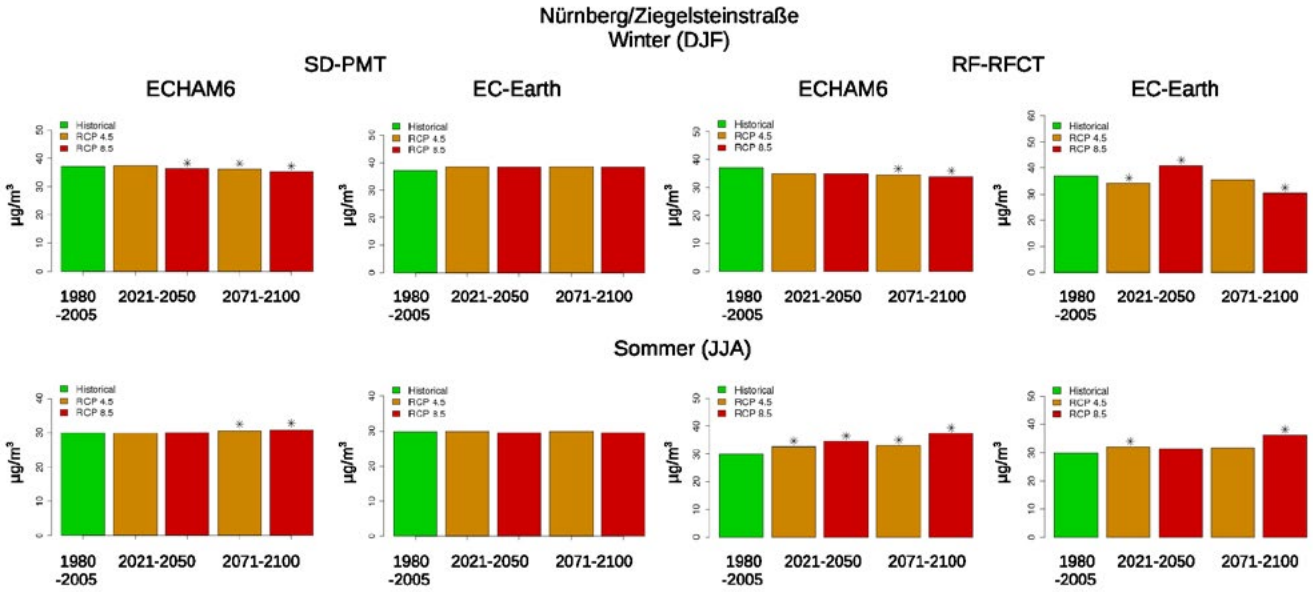


Abb. 3: Modellierte Feinstaubwerte für Winter und Sommer an der Station Nürnberg/Ziegelsteinstraße. Abschätzungen auf der Grundlage von ECHAM6- bzw. EC Earth-Modelldaten, für die Szenarien RCP 4.5 und RCP 8.5, unter Verwendung zweier unterschiedlicher Vorgehensweisen zur Modellierung der Feinstaubkonzentrationen aus meteorologisch-witterungsklimatologischen Einflussgrößen (SDPMT bzw. RF-RFCT). Sternsymbole indizieren die statistische Signifikanz (Sicherheitswahrscheinlichkeit = 95 %) der Unterschiede zwischen jeweiligem Projektionszeitraum und dem Referenzzeitraum 1980-2005.

Literatur

- Beck, C./Weitnauer, C./Jacobeit, J. (2014) Downscaling of monthly PM10 indices at different sites in Bavaria (Germany) based on circulation type classifications, *Atmospheric Pollution* Research 5, 741752, doi: 10.5094/APR.2014.083.
- Beck, C./Weitnauer, C./Brosy, C./Siegmund, S./Jacobeit, J. (2015) Atmosphärische Zirkulationsdynamik und lokale Feinstaubkonzentrationen in Bayern - Quantifizierung rezenter Zusammenhänge und Abschätzungen klimawandelbedingter Entwicklungen, *DKT Abstracts*, DKT 10143, 10. Deutsche Klimatagung.
- Beck, C./Weitnauer, C./Jacobeit, J. (2014) Downscaling of monthly PM10 concentrations in Bavaria based on circulation type classifications, *9th International Conference on Air Quality - Science and Application*, GarmischPartenkirchen.
- Beck, C./Weitnauer, C./Jacobeit, J. (2013) A comparison of two classification based approaches for downscaling of monthly PM10 concentrations, *Geophysical Research Abstracts* 15, EGU201310642, Wien.
- Beck, C./Weitnauer, C./Brosy, C./Jacobeit, J. (2013) Klimawandel und Feinstaub in Bayern - Optimierung von Zirkulationsklassifikationen zur Abschätzung lokaler Feinstaubkonzentrationen, *Tagungsband der 32. Jahrestagung des AK Klima der DGfG*, Augsburg.
- Beck, C./Weitnauer, C./Jacobeit, J. (2012) Interannual variations in local PM10 concentrations at different sites in Bavaria and their relation to largescale circulation types, *Abstracts,12th Annual Meeting of the European Meteorological Society and 9th European Conference on Applied Climatology ECAC*, Lodz.
- Weitnauer, C./Beck, C./Jacobeit, J. (2015) Impact of seasonal synoptic weather types on local PM10 concentrations in Bavaria/Germany: recent conditions and future projections, *Geophysical Research Abstracts 17*, EGU20152114, Wien.
- Weitnauer, C./Beck, C./Jacobeit, J. (2014) Influences of seasonal synoptic weather types on local PM10 concentrations from 1980 to 2011 in Bavaria (Germany), *Abstracts, 14th Annual Meeting of the European Meteorological Society and 10th European Conference on Applications of Climatology ECAC*, Prague.
- Weitnauer, C./Beck, C./Jacobeit, J. (2013) Characterizing the connection between largescale atmospheric conditions and local PM10 concentrations in Bavaria by means of circulation and weather type classification, *Abstracts, 13th Annual Meeting of the European Meteorological Society and 11th European Conference on Applications of Meteorology ECAM*, Reading.

RESSOURCENSTRATEGIE UND STOFFGESCHICHTEN

27 Lehrstuhl für Ressourcenstrategie
35 Ressourcengeographie des Phosphors
40 Auf der Suche nach den Seltenen Erden
46 ForCycle – Zukunftssichernde Nutzung von Wertstoffen
51 Grüner Klee und Dynamit

Lehrstuhl für Ressourcenstrategie

PROJEKTTEAM

- Prof. Dr. Armin Reller
  armin.reller@wzu.uni-augsburg.de
  Tel.: 0821 598 3000
- Prof. Dr. Richard Weihrich
  Richard.weihrich@chemie.uni-regensburg.de
- Renate Diessenbacher
  renate.diessenbacher@wzu.uni-augsburg.de
  Tel.: 0821 598 3001
- Joshena Dießenbacher
  joshena.diessenbacher@wzu.uni-augsburg.de
  Tel.: 0821 598 3034
- Oliver Gantner
  oliver.gantner@wzu.uni-augsburg.de
  Tel.: 0821 598 3566
- Thomas Kippes
  thomas.kippes@wzu.uni-augsburg.de
  Tel.: 0821 598 3562
- Oscar Klier
  oscar.klier@wzu.uni-augsburg.de
  Tel.: 0821 589 3566
- Ariane Lubberger
  ariane.lubberger@wzu.uni-augsburg.de
  Tel.: 0821 598 3575
- Dr. Simon Meißner
  simon.meissner@wzu.uni-augsburg.de
  Tel.: 0821 598 3562
- Johannes Riese
  johannes.riese@wzu.uni-augsburg.de
  Tel.: 0821 598 3026
- Stefan Rommel
  stefan.rommel@mrm.uni-augsburg.de
- Dr. habil Claudia Schmidt
  claudia.schmidt@wzu.uni-augsburg.de
  Tel.: 0821 598 3575
- Dr. Andrea Thorenz
  andrea.thorenz@wzu.uni-augsburg.de
  Tel.: 0821 598 3948
- Dr. Volker Zepf
  volker.zepf@wzu.uni-augsburg.de
  Tel.: 0821 598 3526

Abb. 1: Lehrstuhl für Ressourcenstrategie, (v.l.n.r.: S. Meißner, J. Dießenbacher, C. Schmidt, V. Zepf, A. Thorenz, Prof. A. Reller, R. Diessenbacher, O. Klier, O. Gantner, J. Fendt, A. Lubberger; nicht im Bild: Prof. R. Weihrich, S. Rommel)

Lehrstuhl für Ressourcenstrategie

Zusammenfassung

Ein paar Mikrogramm Indium im Smartphone, eine dünne Schicht Tellur auf der Photovoltaikzelle, knapp ein halbes Kilo Neodym in den Magneten moderner Elektroautos – unser Lebensstil ist geprägt von Gütern und Technologien, die auf metallischen Rohstoffen basieren. Informations-, Kommunikations-, Mobilitäts- und Energietechnologien beinhalten eine immer größer werdende Vielfalt an verschiedensten Elementen des Periodensystems. Auch die bundesdeutsche Energiewende samt ihrer innovativen Energiesysteme benötigt spezifische Funktionsmaterialien – und damit seltene metallische Rohstoffe.
Metalle können geochemisch oder versorgungstechnisch selten, oder aber beides gleichzeitig sein. Unter geochemisch seltenen Metallen versteht man solche, die in der Erdkruste in einer Konzentration von weniger als 0,01 Gewichtsprozenten vorkommen. Die 12 häufigsten Elemente des Periodensystems – Sauerstoff, Silizium, Aluminium, Eisen, Kalzium, Magnesium, Natrium, Kalium, Titan, Wasserstoff, Mangan und Phosphor – summieren sich dort auf rund 99 Prozent. Die restlichen 76 Elemente, darunter die gefragten Metalle, teilen sich also zusammen nur 0,8 Prozent Gewichtsanteil an der Erdkruste. Für Hochtechnologien sind Seltene Metalle wie Platin, Gallium, Hafnium, Indium oder Neodym insbesondere wegen ihrer spezifischen Eigenschaften unentbehrlich. Da die globale Nachfrage kontinuierlich steigt, kann es immer wieder zu kritischen Rohstoffversorgungssituationen kommen. Dabei können geologische, geopolitische, technologische, ökonomische, soziale oder ökologische Faktoren alleine oder in Kombination zu einer kurz-, mittel- oder langfristigen Verknappung von strategischen Ressourcen führen. Die Frage nach der Verfügbarkeit von seltenen Ressourcen sowie deren Bereitstellung jedoch ist wesentlich für unsere technisierte Gesellschaft. Aufgrund dessen ist es unabdingbar, Ansätze für einen nachhaltigeren Umgang mit seltenen und wichtigen Rohstoffen zu entwickeln.
Einen Beitrag zu diesem gewichtigen und international kontrovers diskutierten Thema leistet der Lehrstuhl für Ressourcenstrategie. Unter der Leitung von Prof. Dr. Armin Reller werden Bestandsaufnahmen und Strategien für einen zukunftsfähigen Umgang mit Ressourcen aller Art, insbesondere für Metalle und Werkstoffe etablierter und zukünftiger (Hoch-)Technologien erarbeitet. Dabei werden unter anderem die bei der Entwicklung und Bereitstellung von Technologien und Funktionswerkstoffen entstehenden ressourcenspezifischen Risiken (im Sinne von Rohstoffabhängigkeiten) sowie Potentiale (in Form von Substitutionsalternativen) auf der Grundlage von interdisziplinären Kritikalitätskonzepten analysiert und bewertet. Dies geschieht sowohl für die technologische Anwendung selbst als auch entlang der Wertschöpfungs- und Produktionskette spezifischer Technologiepfade (von der Primärförderung von Rohstoffen bis hin zur Nachnutzungsphase).

Ziel ist es, durch die Analyse der raum-zeitlichen Verflechtungen von Ressourcenströmen – unter Berücksichtigung von Ökologie, Ökonomie, Politik und Sozialem – Entscheidungs- und Handlungsgrundlagen für eine nachhaltige Gestaltung neuer Produkte, Fertigungsprozesse oder Technologien zu schaffen. Stoffe werden hier also nicht nur monothematisch, sondern ganzheitlich, also in Bezug auf ihre Funktionen, Eigenschaften, Prozes-

se und vor allem eingebettet in ihr Wirkumfeld, betrachtet. Metallische Rohstoffe sind jedoch nur ein Gebiet aus der breiten Palette der Forschungsthemen des Lehrstuhls für Ressourcenstrategie. Sämtliche natürliche Ressourcen, sowohl erneuerbare als auch nicht-erneuerbare, stehen im Fokus der Forschung und Lehre, um u.a. ressourcenstrategische Konzepte und Handlungsoptionen zu entwickeln. Dies betrifft beispielsweise den Umgang mit Wasser, Boden oder Agrarprodukten wie Holz, Getreide und Fleisch bis hin zu Phosphor oder verschiedenste Energieformen, deren Wirk- und Einflusssphären auf unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Bezugsebenen multiperspektivisch betrachtet werden (siehe Abb. 2).

Forschung

Die Forschungstätigkeiten des Lehrstuhls erstrecken sich über die Bereiche der Kritikalitätsforschung, des Ressourcenmanagements (Ressourcenströme und Produktionsketten), der interdisziplinären Umweltforschung und des Umweltmanagements. Weiterhin werden Vermittlungskonzepte im Bereich der nachhaltigen Entwicklung und Ressourcennutzung (Bildung für Nachhaltige Entwicklung) erarbeitet. Hierbei spielt unter anderem das am WZU entwickelte Konzept der Stoffgeschichten eine wichtige Rolle.

Im Rahmen der Forschungsaktivitäten stehen Grundlagen und Methoden zur Erkennung und Analyse der raum-zeitlichen Verflechtungen von Ressourcenströmen und der damit verbundenen Auswirkungen im Vordergrund. Der Fokus richtet sich dabei auf den Rohstoffabbau, die Weiterverarbeitung bis zum fertigen Produkt sowie die anschließende Rückführung oder Verwertung

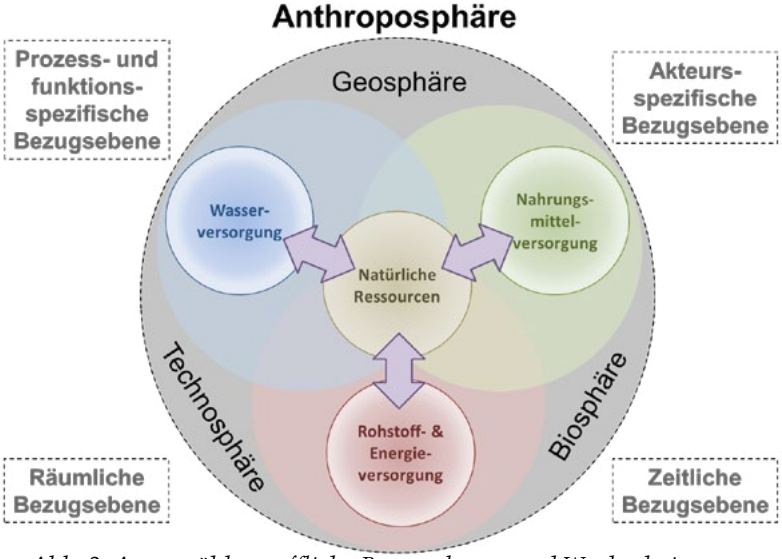


Abb. 2: Ausgewählte stoffliche Bezugsebenen und Wechselwirkungsgefüge einer ressourcenstrategischen Betrachtungsperspektive, Quelle: Ressourcenstrategie Augsburg.

von bereits genutzten Ressourcen. Mittels der Analyse von Wertschöpfungsketten soll versucht werden, deren Stoffgeschichten nachvollziehbar und transparent zu machen. Dabei werden nicht nur die wirtschaftliche und technische Planung entlang von Wertschöpfungsketten sowie die Einsatzbereiche von verschiedensten Rohstoffen und Funktionsmaterialien betrachtet, sondern auch die Risiken und Abhängigkeiten in Form von nicht „planbaren“ Rückkopplungen innerhalb des Mensch-Umwelt-Systems.

Dies betrifft beispielsweise den zunehmenden Verlust von seltenen Metallen und Funktionsmaterialien durch dissipative Prozesse im Bereich von High-Tech-Anwendungen. Da viele Metalle oftmals nur in äußerst geringen

Mengen pro Geräteeinheit wie etwa eines Flachbildschirms oder Mikroprozessors zum Einsatz kommen, ist deren Recycling in vielen Fällen bislang kaum realisierbar. Vor diesem Hintergrund wird nicht nur die Knappheit vieler strategischer Metalle weiter zunehmen, sondern, sobald diese als Elektroschrott unsachgemäß „entsorgt" werden, auch deren bisher weitgehend unbekannte Wirkungsspektren und Risiken im Schnittfeld zwischen Technosphäre und Ökosphäre. Angesichts dessen sind zukünftig große Anstrengungen hinsichtlich einer effizienteren Rückführung, aber auch umfassende Strategien der Effizienzsteigerung notwendig. Eine Möglichkeit stellt die Suche nach potentiellen Substituten sowie nach Konzepten einer suffizienten und konsistenten Produktentwicklung dar. Stoffkarten helfen dabei, die Herkunft von Ressourcen und deren Weiterverarbeitung darzustellen, um damit sowohl eventuelle Abhängigkeiten aufzuzeigen als auch ökonomisch, ökologisch und soziopolitisch wichtige Hinweise zur Kritikalität eines Stoffes zu geben. Ein besonderes Augenmerk der Kritikalitätsbetrachtung am Lehrstuhl liegt bei der Anwendung mineralischer Rohstoffe (insbesondere Metalle).
Auf der Grundlage derartiger Bestandsaufnahmen werden Elemente einer nachhaltigen Ressourcenpolitik sowie geeignete Strategien für einen zukunftsfähigen und verantwortungsvollen Umgang mit Rohstoffen unterschiedlichster Art entwickelt. Dabei spielen neben den komplexen wirtschaftspolitischen Rahmenbedingungen zunehmend auch kulturelle Gegebenheiten sowie die Frage nach umwelt- und sozialgerechten Lebensstilen eine bedeutende Rolle. Die Forschungsarbeiten werden in interdisziplinäre (Weiter-)Bildungskonzepte für Multiplikatoren und Entscheidungsträgern aus Wirtschaft, Politik und Bildung implementiert und dabei kontinuierlich durch Qualifizierungsarbeiten (Diplomarbeiten, Doktorarbeiten) und Gutachten für Wirtschaft und Politik ergänzt. Der Lehrstuhl nimmt somit eine Schnittstelle zwischen vielen Disziplinen wie Physik, Materialwissenschaften, Geographie, Sozial- und Wirtschaftswissenschaften ein und kooperiert mit zahlreichen inner- und außeruniversitären Einrichtungen.
Die Forschungsaktivitäten erfolgen in enger Zusammenarbeit mit dem WZU, sowie mit den Instituten für Physik und *Materials Resource Management* (MRM) der Universität Augsburg. Zudem wird unter der Leitung von Prof. Dr. Armin Reller gemeinsam mit der Fraunhofer-Gesellschaft in Alzenau ein neues Institut für Wertstoff-Kreisläufe und Wertstoff-Substitution (IWKS) aufgebaut. Im Rahmen der Zusammenarbeit werden im Bereich der angewandten Forschung die Arbeitsschwerpunkte Ressourceneffizienz, Recyclingtechnologien, Aufbereitungstechniken und Substitutionswerkstoffe unter besonderer Berücksichtigung der Ressourcenstrategie und -kritikalität behandelt. Die Forschungsaktivitäten finden dabei an der Schnittstelle zwischen Materialwissenschaften, Wirtschaftswissenschaften und Ressourcenstrategie statt und zeichnen sich durch einen hohen Grad an Interdisziplinarität aus.

Forschungs- und Projektaktivitäten

Die Aktivitäten des Lehrstuhls umfassen neben der Forschung und Lehre auch die Zusammenarbeit mit verschiedenen Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Kritikalitätsbewertung unterschiedlichster technologischer Anwendungen (insb. Metalle für Funktionsmaterialien). Zudem werden

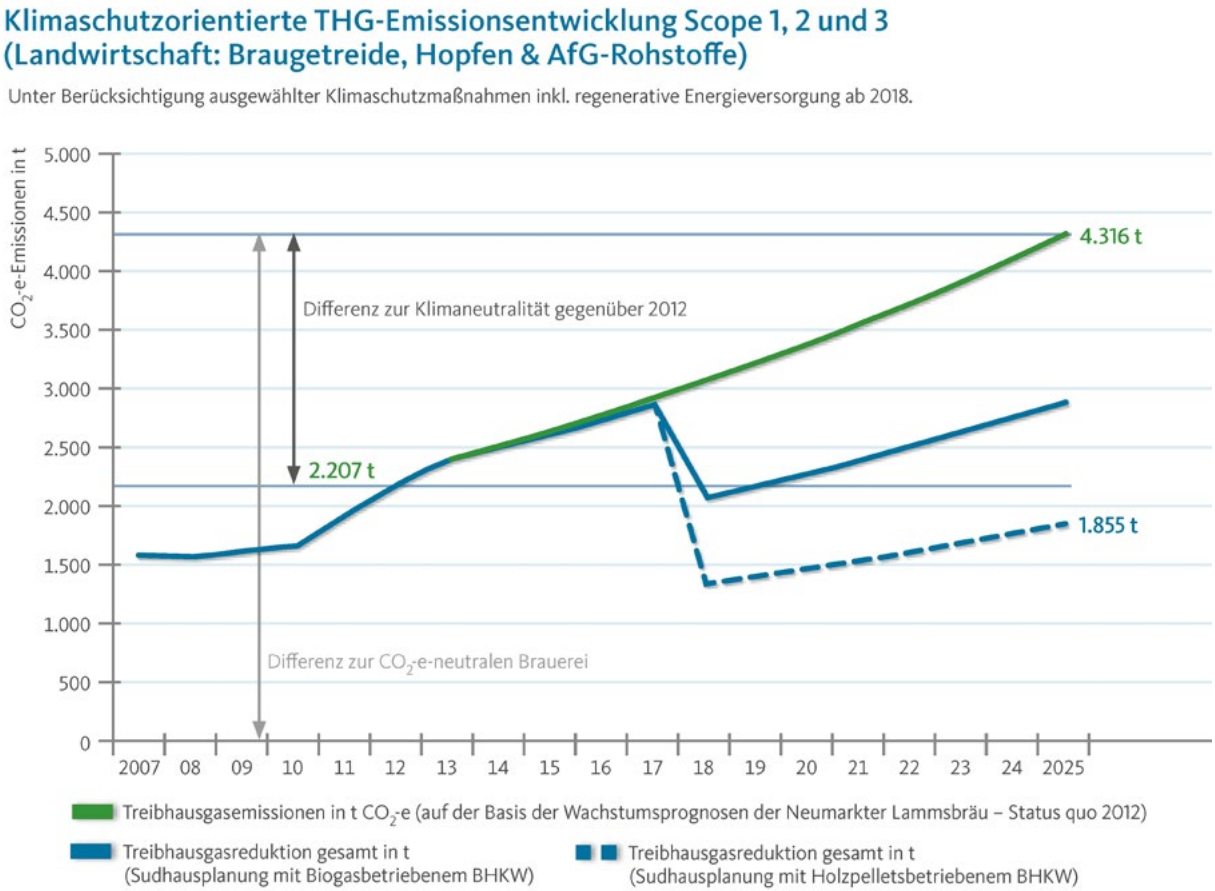


Abb. 3: Optionen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen der Neumarkter Lammsbräu bis 2025 bei Umsetzung ausgewählter Maßnahmen (Bezugsjahr 2012), Quelle: Neumarkter Lammsbräu, 2015.

Konzepte eines nachhaltigen Umgangs mit Ressourcen aller Art (mineralische und agrarische Rohstoffe sowie Wasser und Energie) entwickelt. Im Jahr 2015 wurden u.a. folgende Aktivitäten durchgeführt, die zum Teil über Drittmittel finanziert wurden:

- Mitwirkung in der Fraunhofer-Projektgruppe für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie (IWKS), seit 2011
- Mitgliedschaft in der Deutschen Phosphorplattform (DPP), seit 2015 (s. auch Beitrag auf S.35 ff.)
- Ressourcenstrategie für die Rohstoffwende Bayern – unter besonderer Berücksichtigung von Sekundärrohstoffen (Projektverbund ForCycle - Rohstoffwende Bayern des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Verbraucherschutz), Projektlaufzeit 2014 - 2016 (s. auch Beitrag auf S.46 ff.)
- Forschungsschwerpunkt und Projektseminar „Ressourcengeographie von Innovationstechnologien“ unter besonderer Berücksichtigung Seltener Erden unter Mitwirkung von Studierenden der Bachelorstudiengänge Wirtschaftsingenieurswesen (WING) und Geographie sowie der Technikerschule Augsburg; gefördert durch das Graduiertenkolleg „Ressourcenstrategische Konzepte für zukunftsfähige Energiesysteme“ und das Bayerische Staatsministerium für Bildung und Kultus, Wissenschaft und Kunst (s. auch Beitrag auf S.40 ff.)
- Erstellung von Klimaschutzszenarien auf der Basis des Corporate Carbon Footprint (CCF) für die Neumarkter Lammsbräu, Projektlaufzeit 2014 - 2015 (s. Abb. 3)
- ferner beteiligen sich zahlreiche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Lehrstuhls an den Aktivitäten des Arbeitskreises für Nachhaltigkeit der Universität Augsburg

Graduiertenkolleg „Ressourcenstrategische Konzepte für zukunftsfähige Energiesysteme“

Die Vernetzung zwischen Ausbildung und Forschung spiegelt sich im Besonderen im Graduiertenkolleg „Ressourcenstrategische Konzepte für zukunftsfähige Energiesysteme“ wider, welches am Institut für Materials Resource Management (MRM) angesiedelt ist und durch das Bayerische Staatsministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst gefördert wird. Ziel des Kollegs ist es, interdisziplinär qualifizierte Fachkräfte auszubilden, die in der Lage sind, die dringlichen und komplexen Herausforderungen und Probleme hinsichtlich zukünftiger Ressourcen- und Energiefragen zu bewältigen und zu lösen. Im Rahmen des Graduiertenkollegs wird eine interdisziplinäre Gruppe von Nachwuchswissenschaftlerinnen und Nachwuchswissenschaftlern aufgebaut, die sich vor allem der Entwicklung ressourcenstrategischer Konzepte für innovative, energietechnisch relevante Stoffsysteme widmet. Aus den bewilligten Mitteln in Höhe von 3,65 Millionen Euro, die über eine Laufzeit von insgesamt fünf Jahren angelegt sind, werden insgesamt 12 Doktorandinnen und Doktoranden finanziert. Die Koordination und wissenschaftliche Ausgestaltung des Graduiertenkollegs erfolgt unter der Leitung von Prof. Dr. Armin Reller am Lehrstuhl für Ressourcenstrategie in enger Kooperation mit dem Lehrstuhl für Experimentalphysik II (Prof. Dr. S. Horn), dem Lehrstuhl für Experimentalphysik V (Prof. Dr. A. Loidl) und dem Lehrstuhl für *Production & Supply Chain Management* (Prof. Dr. A. Tuma). Seitens des Lehrstuhls für Ressourcenstrategie werden derzeit folgende Dissertationsprojekte durchgeführt:

- Ressourcenstrategische Betrachtung der Kritikalität von Phosphor (O. Gantner; Fachbereich Geographie)
- Materialwissenschaftliche Betrachtung der Wertschöpfungskette des synthetischen Lichts (O. Klier; Fachbereich Materialwissenschaften)
- Rohstoffverantwortung übernehmen durch informiertes Entscheiden (J. Dießenbacher; Fachbereich Soziologie)
- Ansatzpunkte der Ethik beim Umgang mit natürlichen Ressourcen und ihre Konkretisierung im Fallbeispiel Kosmetik (A. Lubberger; Fachbereich Umweltethik)

Lehraktivitäten

Der Lehrstuhl für Ressourcenstrategie beteiligt sich mit einem umfangreichen Angebot an (interdisziplinären) Lehrveranstaltungen an folgenden Studiengängen der Universität Augsburg:

- Wirtschaftsingenieurwesen (WING) (B.Sc. und M.Sc.)
- Geographie (B.Sc. und M.Sc.)
- Klima- und Umweltwissenschaften (M.Sc.)
- Erziehungswissenschaften (B.Sc.)
- Physik (M.Sc.)
- Materialwissenschaften (M.Sc.)

Zudem werden einzelne Lehrveranstaltungen für die Masterstudiengänge Umweltethik und Sozialwissenschaftliche Konfliktforschung sowie für den Bachelorstudiengang Rechts- und Wirtschaftswissenschaften geöffnet. Aktuell angeboten werden im Semesterturnus Vorlesungen und Seminare mit inhaltlichen Schwerpunkten zu Ressourceneffizienz und -strategien insbesondere im Zusammenhang mit i) Bildung für nachhaltige Entwicklung, ii) (Funktions-)Materialien, Produktionsketten und Zukunftstechnologien, iii) der Energiewende und zukunftsfähigen Energiesystemen sowie zu den Themengebieten „Humanökologie“, „Ressourcengeographie“, „Stoffgeschichten“ und „Kritikalitätsbewertungen“. Ergänzt wird dieses Angebot durch Exkursionen, beispielsweise zu Bergbaustandorten in Deutschland.
Sämtliche Lehrveranstaltungen thematisieren sowohl fachliche wie inter- und transdisziplinäre als auch theoretische und praktische Fragestellungen mit ressourcenstrategischem Hintergrund. Weitere Informationen zu disziplinübergreifenden Lehrveranstaltungen im Ressourcenkontext, an denen sich der Lehrstuhl für Ressourcenstrategie beteiligt, finden Sie im Beitrag auf Seite 78.

Studien- und Qualifizierungsarbeiten

Die Ausbildungs- und Forschungstätigkeiten werden durch Studien- und Qualifizierungsarbeiten zu einem nachhaltigen und zukunftsfähigen Umgang mit Ressourcen unterstützt. Im Folgenden soll eine Auswahl an Qualifizierungsarbeiten, die in 2015 angefertigt beziehungsweise abgeschlossen wurden, die Bandbreite an Forschungsthemen veranschaulichen:

- Kommunales Klimaschutz- und Energiemanagement am Beispiel der großen Kreisstadt Germering (Masterarbeit von S. Killer)
- Life Cycle Assessment and Added-Value Approach – Methodological comparison - Exemplified by investigating the water use in the supply chain of the technological progressively changing lighting industry

(Masterarbeit von T. Thunitgut)
- Motive für die Initiierung und die Nutzung von urbanen Gärten im Stadtgebiet Augsburg (Bachelorarbeit von D. Sahm)
- Analyse und Bewertung des Recyclingpotentials von ausgewählten Elektroaltgeräten (Bachelorarbeit von D. Krauth)
- Umweltbilanzielle Betrachtung des Baustoffs Beton entlang seiner Prozesskette am Standort Deutschland (Bachelorarbeit von M. Arvaneh)
- Methodische Praktikabilität der Analyse von CdTe- und Perowskit-basierter Photovoltaik mittels LCA und gängiger Verfahren der Ressourcenkritikalitätsbewertung (Bachelorarbeit von A. Kantreiter)
- Die Zukunft von Wirtschaftswachstum und Hochtechnologie in Zeiten der Ressourcenknappheit (Bachelorarbeit von M. Klemm)
- Recyclingpotential von Windkraftanlagen in Deutschland am Beispiel von Rotorblättern (Bachelorarbeit von M. Stöger)
- Betrachtung des Ressourceneinsatzes im Gesundheitswesen am Beispiel von bildgebenden Diagnoseverfahren und platinhaltiger Zytostatika (Bachelorarbeit von K. Schratt)

Publikationen

- Dießenbacher, J./Reller, A. (2015) Das „Fairphone“ – ein Impuls in Richtung nachhaltige Elektronik?, in: Exner, A./Held, M./Kümmerer, K. (Hg.) *Kritische Rohstoffe in der Großen Transformation: Metalle, Stoffstrompolitik und Postwachstum* Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag (in Druck).
- Gemechu, E./Helbig, H./Sonnemann, G./Thorenz, A./Tuma, A. (2015) Geopolitical Supply Risk of Raw Materials in Life Cycle Sustainability Assessments, *Journal of Industrial Ecology*, DOI:10.1111/jiec.12279.
- Schmidt, C. (2015) *Ressource Bildung - ein didaktisches Konzept für Entscheidungen unter Nachhaltigkeit*, Würzburg: Ergon-Verlag.
- Tuma, A./Reller, A./Thorenz, A./Kolotzek, C./Helbig, C. (2015) *Nachhaltige Ressourcenstrategien in Unternehmen: Identifikation kritischer Rohstoffe und Erarbeitung von Handlungsempfehlungen zur Umsetzung einer ressourceneffizienten Produktion*, Endbericht der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU).
- Zepf, V. (2015) Das verkannte Recyclingpotential der Seltenen Erden – Quantitative Ergebnisse für Neodym in Deutschand, in: Thomé-Kozmiensky, K. J./Goldmann, D. (Hg.) *Recycling und Rohstoffe*, Band 8, Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, S. 463-476.
- Zepf, V./Achzet, B./Reller, A. (2015) Strategic Resources for Emerging Technologies, in: Hartard, S./Liebert, W. (Hg.) *Competition and Conflicts on Resource Use*, Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag.

Ressourcengeographie des Phosphors

PROJEKTTEAM

- Oliver Gantner
  oliver.gantner@wzu.uni-augsburg.de
  Tel.: 0821 598 3569
- Prof. Dr. Armin Reller
  armin.reller@wzu.uni-augsburg.de
  Tel.: 0821 598 3000

PROJEKTPARTNER

- Deutsche Phosphor Plattform
- European Sustainable Phosphorus Plattform

Der Stein der Weisen

Auf der Suche nach dem Stein der Weisen entdeckte der deutsche Apotheker und Alchemist Henning Brand im 17. Jahrhundert durch die Eindampfung von Urin einen Baustein des Lebens, den Phosphor. Heute, im 21. Jahrhundert, findet Phosphor in der öffentlichen Wahrnehmung wenig Beachtung. Phosphor ist eine fossile und somit endliche Ressource, die in ihrer Funktion nicht substituierbar ist. Der natürliche Phosphorkreislauf wurde durch die industrialisierte und globalisierte Landwirtschaft, deren Produktionsraten durch den Einsatz mineralischer Dünger deutlich gewachsen sind, aufgebrochen. Heute sind sowohl der Zugang zu mineralischen Düngemitteln als auch deren Verteilung ein ernstzunehmendes Problem. Phosphor als lebensnotwendige Ressource zeigt beispielhaft die Fragestellungen und komplexen Problemfelder auf, die im Umgang mit Rohstoffen und deren Verfügbarkeit bzw. Verknappung unsere Zukunft prägen.

Worum geht es?

Die Anwendungsbereiche von Phosphor sind mit ca. 90% die Herstellung von Düngemitteln, mit 5% Futterphosphate sowie weiteren 5% industrielle Anwendungen. Futter- und auch Industriephosphate haben dabei höhere Reinheitsanforderungen als Phosphatdünger.
Die Anwendungsbereiche industriell genutzter Phosphate sind vielfältig und finden z.B. als Nahrungsmittelzusätze (Wasserbinder in Fleischwaren, Treibmittel in Backwaren, Säuerungsmittel in Cola), in Feinchemikalien, bei der Wasserbehandlung (Wasserenthärter) und in der Elektronik als additive Funktionsstoffe ihren Einsatz. Es ist davon auszugehen, dass die technischen Anwendungsbereiche von Phosphaten und Phosphorverbindungen zunehmen werden.

In den marokkanischen Phosphorminen werden zahlreiche fossile Fischzähne gefunden.

Viel stärker hingegen fällt das prognostizierte Wachstum für Düngemittel aus. Insgesamt soll der Bedarf bis zum Jahr 2017 auf 260 Mio. Tonnen Phosphatgestein um rund 14% ansteigen. Wie in Abbildung 1 dargestellt, setzt sich der Trend eines weltweit zunehmenden Düngemittelverbrauchs nicht nur für Stickstoff und Kalium, sondern auch für Phosphor weiter fort. Das Nachfragewachstum entstammt dabei den „Entwicklungszentren" Asien und Südamerika.

Auf dem Weg von der Lagerstätte bis zum Endprodukt sind teilweise hohe Verluste zu verzeichnen. „Von der Mine bis zum Teller" können es bis zu 95% sein. Phosphor, der in der Natur ausschließlich als Phosphat vorkommt, wird hauptsächlich aus Apatiten gewonnen und in mehreren nachgeschalteten Schritten zu Phosphorsäure, Phosphatdüngern oder chemischen Derivaten verarbeitet. Die Reserven, die nach aktuell verfügbaren Daten noch ca. 350 Jahre reichen sollen, sind dabei ungleich verteilt. So liegen 50 von 70 Millionen Gigatonnen an Reserven allein in Marokko und der Westsahara. Die Hauptabbauländer sind Marokko, China, USA, Tunesien und Russland.

Die Nutzung der Ressource Phosphor ist aus ökologischer Sicht nicht unproblematisch. Phosphate sind je nach Lagerstätte unterschiedlich stark mit Schwermetallen behaftet, insbesondere mit Cadmium und Uran. Aufgrund fehlender oder ungenügender gesetzlicher Regulierung finden diese über Düngemittelausbringung auf Agrarflächen ihren Weg, in denen sie dann in wasserlöslicher Form vorliegen. In der Regel erfolgt der Aufschluss

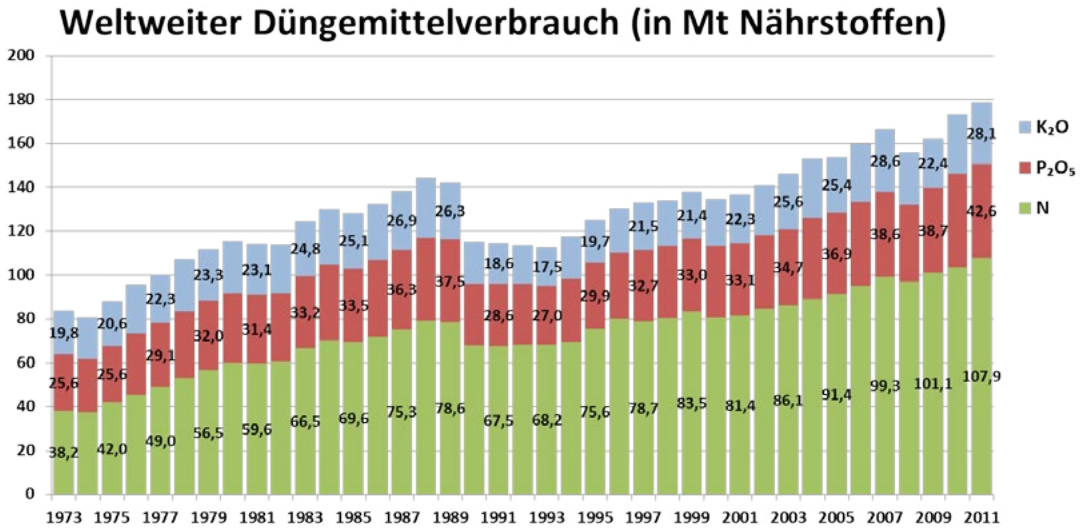


Abb. 1: Weltweiter Düngemittelverbrauch in Megatonnen, aus: International Fertilizer Industry Association (2014)

der Rohphosphate nasschemisch mittels Schwefelsäure. Als Beiprodukt fällt dabei Phosphatgips an, mit – je nach Vorkommen unterschiedlichen – Schwermetallanteilen. Unbedenkliche Nutzungsformen von Phosphatgips, der meist in großen, der Witterung ausgesetzten Halden zwischengelagert wird, sind bisher nicht bekannt. Ein weiteres großes Umweltproblem ist die aus Überdüngung resultierende Eutrophierung der Gewässer.
Europa, das lediglich über eine Phosphatlagerstätte verfügt, setzt auf eine Phosphorkreislaufwirtschaft durch technische Verfahren, allen voran das Recycling aus Abwässern, Klärschlamm und Klärschlammasche. Jedoch stehen der Umsetzung der innovativen Recycling-Ansätze noch eine Reihe von ökonomischen, gesetzlichen wie auch gesellschaftlichen Hindernissen im Wege. Diese wurden in dem praxisorientierten EU-Projekt „P-REX" identifiziert, an dem sich 15 *Stakeholder* beteiligten und das im Jahr 2015 seinen Abschlussbericht vorgestellt hat. Die zentralen Probleme sind dabei die Kompetenzerweiterungen öffentlicher Einrichtungen, Größeneffekte, gesetzlicher Status, gesetzliche Herausforderungen sowie Akzeptanz. Kläranlagen beispielsweise erfüllen, gemäß

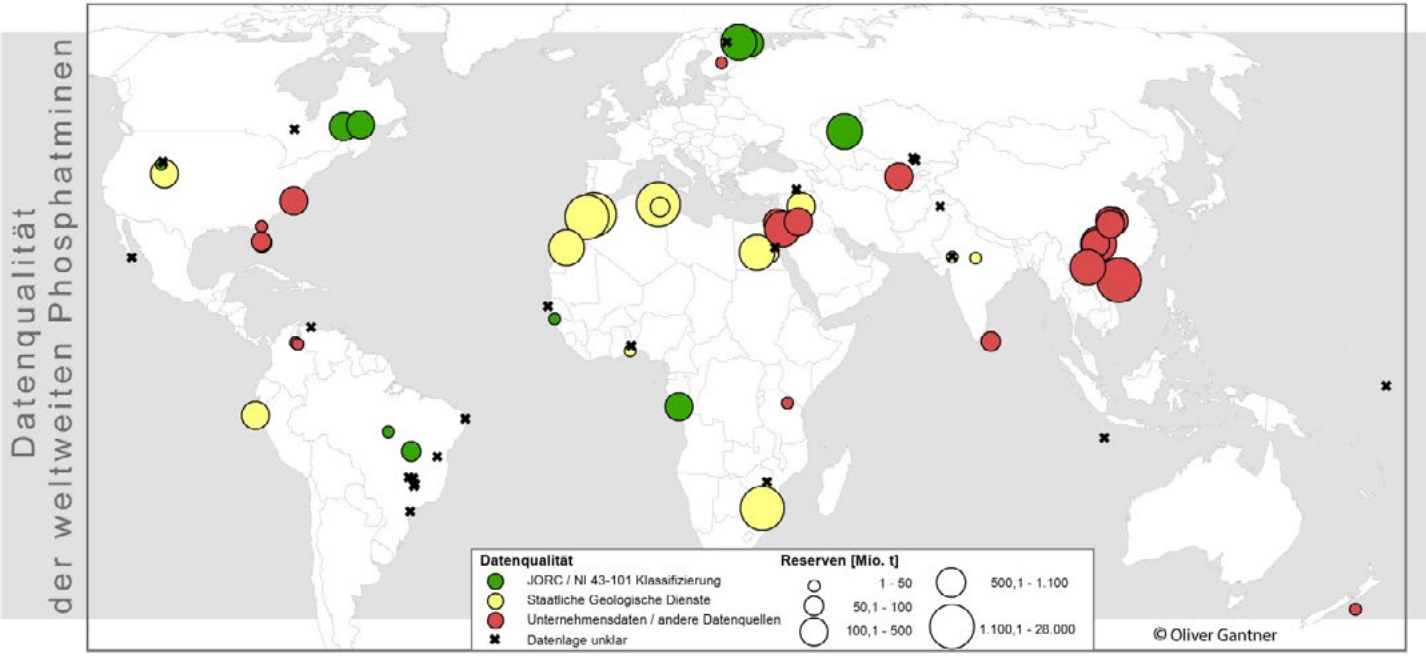


Abb. 2: Datenqualität der weltweiten Phosphatminen

der europäischen Wasserrahmenrichtlinie, die Aufgabe der Abwasserreinigung. Deshalb dürfen Kosten für Modifizierungen der Anlagen zum Phosphor-Recycling nicht auf die Bürger umgelegt werden. Das wiederum steht den notwendigen Investitionen im Wege.
Aufgrund der Neuausschreibungspflicht ist es Kläranlagen, die sich in öffentlicher Hand befinden, nicht möglich, langfristige Verträge abzuschließen. Insbesondere für Recyclinganlagen, die nicht selbst von den Kläranlagenbetreibern betrieben werden, ist die Versorgungssicherheit maßgeblich für die Planungssicherheit aufgrund der hohen Anfangsinvestitionen. Im Gegensatz zu Rohphosphat und mineralischen Düngemitteln gilt für rezyklierte Phosphatdüngemittel die Abfallrahmenrichtlinie. Des Weiteren unterliegen diese mehr als 20 teils widersprüchlichen Verordnungen wie REACH (*Registration Evaluation Authorisation and Restriction of Chemicals*) der Klärschlammverordnung, der Düngemittelverordnung sowie verschiedenen Schwermetallrichtlinien. Auf der Anwenderseite gilt es, die Akzeptanz rückgewonnener Phosphate, vor allem bei Landwirten wie auch Konsumenten, zu stärken.
Mit der Novellierung der Studie *Critical Raw Materials for the EU* im Frühjahr 2014 wurde Phosphatgestein mit auf die Liste kritischer Rohstoffe der EU gesetzt. Diese ist u.a. das Ergebnis der genannten Importabhängigkeit, schlechter geopolitscher Bewertung der Lieferländer und mangelnder Substitutionsmöglichkeiten, wenngleich der Einsatz von sekundären Phosphatquellen wie Abwasser, Klärschlamm, Klärschlammasche, Tiermehl etc. als tatsächlich verfügbare Ersatzstoffe nicht berücksichtigt wurde. Diese Bewertung wird durch weitere Faktoren verzerrt und stark verallgemeinert.

Um diesbezüglich zukünftig detailliertere Informationen nutzen zu können, wurde von der Arbeitsgruppe Phosphor u.a. eine Erfassung, Bewertung und Visualisierung der jetzigen und künftigen Phosphatminen durchgeführt. Ein Beispiel dafür stellt die Karte über die Datenqualität der weltweiten Phosphatminen in Abbildung 2 dar. Im Gegensatz zu herkömmlichen Darstellungsweisen von aggregierten Rohstoffinformationen auf Länderebene, spiegelt diese standortspezifische Informationen auf Minenebene wider. Je kleiner die aktiven Minen und Minenprojekte sind, desto besser ist es um die Transparenz und Datenverfügbarkeit und -belastbarkeit bestellt. Die sich in Entwicklung befindlichen Projekte müssen ihre Investoren u.a. mit technischen Berichten wie JORC *(Joint Ore Reserves Committee)* oder NI 43-101 *(National Instrument 43-101)* davon überzeugen, dass diese weitere Investitionen tätigen. Allerdings geben diese Informationen keinen Aufschluss über das tatsächliche Ressourcenpotential der jeweiligen Lagerstätte, da lediglich soweit exploriert wird, wie es der Realisation des jeweiligen Projektes dient.

Zielsetzung und Durchführung

Die zentrale Herausforderung ist die Beschaffung und Bewertung von belastbaren und aussagekräftigen Informationen zur Phosphorthematik. Damit sollen Handlungsfelder, Potentiale und Problemfelder identifiziert werden, die es einerseits ermöglichen, den Phosphorkreislauf durch intelligente Lösungen wieder zu schließen und andererseits die Phosphate effektiv, effizient und ökologisch sinnvoll zu nutzen. Die am Lehrstuhl für Ressourcenstrategie angesiedelte Phosphor-Studie war am *Global*

TraPs-Projekt beteiligt und ist Mitglied der Deutschen Phosphor-Plattform DPP e.V. Die Resultate der Phosphorforschung sollen Entscheidungsträgern aus Industrie, Wirtschaft, Politik und Sozialwesen brauchbare Kennzahlen und Bewertungen liefern, anhand derer vor dem Hintergrund eines wachsenden Bedarfs zukunftsfähige Strategien entwickelt werden können.

Literatur

- Gantner, O./Schipper, W./Weigand, J.J. (2014) Technological use of phosphorus: the non-fertilizer, non-feed and non-dertergent domain, in: Scholz, R.W./Roy, A.H./Brand, F.S./Hellums, D.T./Ulrich, A.E. (Hg.) *Sustainable Phosphorus Management: A Global Transdisciplinary Roadmap*, Dordrecht [u.a.]: Springer, S. 237-242.
- Gantner, O. (2015) Criticality Assessment of Phosphorus regarding Specificity and Functionality, Posterpräsentation, in: *2nd European Sustainable Phosphorus Conference (ESPC2): Taking P to the next level*, Berlin.
- P-REX (2015) *Phosphorus Recycling-Now! Building on full-scale practical experiences to tap the potential in European municipal wastewater*, http://p-rex.eu/uploads/media/P-REX_Policy_Brief_final.pdf.

Auf der Suche nach den Seltenen Erden

PROJEKTTEAM

- Dr. Volker Zepf
  volker.zepf@wzu.uni-augsburg.de
  Tel.: 0821 598 3026

PROJEKTPARTNER

- Technikerschule Augsburg

FÖRDERUNG

- Bayerisches Staatsministerium für Bildung und Kultus, Wissenschaft und Kunst

LAUFZEIT

- April 2012 - Dezember 2016

Idee und Motivation

Das hier vorgestellte Projekt stellt eine Fortführung der Studie „Rare Earth Elements. A New Approach to the Nexus of Supply, Demand and Use. Exemplified along the Use of Neodymium in Permanent Magnets.“ dar. Aufgrund der um das Jahr 2009 häufig publizierten Schlagzeilen zum Thema „Seltene Erden“ wurde folgende Arbeitshypothese für diese Dissertation aufgestellt: Die vier Anwendungsbereiche Computerfestplatten, Mobiltelefone, Windräder und Antriebsmotoren für die Elektromobilität beanspruchen 80% der globalen Fördermenge von Neodym. Neodym ist ein essentieller, funktionaler Bestandteil der leistungsstarken Permanentmagnete vom Typ Neodym-Eisen-Bor (abgekürzt NdFeB), die in all diesen Anwendungen benötigt werden. Die Falsifikation der Hypothese schien unwahrscheinlich, sodass der Schwerpunkt auf der Erarbeitung einer wissenschaftlich belastbaren Datensammlung lag. Hierzu wurden über 100 Computerfestplatten und Mobiltelefone zerlegt und auf deren Gehalt am Seltenerdelement Neodym im Labor untersucht. Bei den Windrädern und der Elektromobilität wurde auf eine Literaturrecherche zurückgegriffen. Das im Jahre 2012 vorliegende Ergebnis dieser Analysen war überraschend, da es – wider Erwarten – die Falsifikation der Arbeitshypothese ergab: nicht 80% sondern nur etwa 20% der globalen Fördermenge konnten diesen Anwendungsbereichen zugeordnet werden. 2014 wurden die Analysen um den Anwendungsbereich Elektrofahrräder erweitert: damit konnte ein etwa 35%-iger Anteil an der globalen Fördermenge diesen fünf Bereichen zugeordnet werden.
Diese Ergebnisse lassen sicherlich mehrere mögliche Schlüsse zu, wobei für die am Lehrstuhl durchgeführ-

ten Projektarbeiten die Frage im Vordergrund stand, wo die verbleibenden 65% Neodym sind bzw. in welchen Produkten und Anwendungsbereichen diese eingesetzt werden. Bei einer gegenwärtigen Jahresfördermenge von etwa 18.000 Tonnen Neodym-Oxid (Nd_2O_3) heißt dies im Umkehrschluss, dass der Verbleib von über 11.500 Tonnen Neodym-Oxid unbekannt ist. Es ist wahrscheinlich, dass der überwiegende Teil davon in Magneten von Elektromotoren verbaut ist. Nicht bekannt ist hingegen, in welchen Elektromotoren NdFeB-Magnete enthalten sind, geschweige denn, in welchen Mengen. Diese Kenntnis ist sowohl essentiell für die Einschätzung der Auswirkungen möglicher Lieferengpässe als auch für die Bewertung eines möglichen Recyclings von Seltenen Erden.

Durchführung

Ziel war nun, die restlichen 65% Neodym „zu suchen". Hierzu wurde ein Seminar „Ressourcengeographie von Innovationstechnologien" für die Bachelorstudiengänge Wirtschaftsingenieur und Geographie etabliert, in dem die Studenten den fiktiven Kurzstudienauftrag erhalten, das Recyclingpotential von Seltenen Erden, insbesondere von Neodym, für Deutschland zu bewerten. Meist werden ein bis zwei Produktgruppen als Mindestuntersuchungsanforderung vorgegeben. Die Seminararbeit besteht nun darin, einen Untersuchungsplan aufzustellen und die nötigen Arbeitsschritte zu definieren und zu organisieren. In der Regel steht zu Beginn eine Literaturrecherche an, um einen Überblick über den Stand der Forschung zu erhalten und Wissenslücken zu identifizieren. Da nur für wenige Produkte valide qualitative und quantitative Daten über den Gehalt an Seltenen Erden verfügbar sind, ist der nächste Schritt die Sammlung und Zerlegung von Produkten. Nachdem die wahrscheinlich Neodym-haltigen Bauteile extrahiert wurden, werden diese mittels einer energie-dispersiven Röntgenfluoreszenzanalyse (EDX) auf qualitative und quantitative Zusammensetzungen hin untersucht. Es geht bei dieser EDX-Untersuchung nicht um eine umfassende Bestimmung der Zusammensetzung, sondern darum, den Anfangsverdacht des Vorhandenseins eines NdFeB-Magneten zu bestätigen. Wenn nun solche Magnete identifiziert wurden, erfolgt eine Berechnung des quantitativen Recyclingpotentials anhand der in der Nutzung befindlichen Produkte und deren Lebenszyklen. Das Resultat ist im Idealfall eine Zeitachse mit den jeweils verfügbaren Altgeräten, sofern ausreichend Daten vorhanden sind. Der Abschluss des Seminars bildet die Darstellung der Forschungsergebnisse.

Die Kooperation mit der Technikerschule verfolgt einen ähnlichen Ansatz: hier wählen die Schüler der Technikerschule, vor allem im Fach Umwelttechnik, für ihre Abschlussarbeit eine potentielle Produktgruppe aus, die sie auf den Gehalt von Seltenen Erden hin untersuchen. Die Vorgehensweise erfolgt analog zu den Vorgaben im Seminar, wobei die formale Betreuung bei der Technikerschule liegt. Die ersten Projektarbeiten sind gegenwärtig in Bearbeitung und konzentrieren sich auf Industriemotoren und Waschmaschinen.

Ergebnisse - Mobiltelefone

Die Zerlegung von Mobiltelefonen ist ein fester Bestandteil des Seminars. Fast jede Studentin und jeder Student besitzt ein altes Mobiltelefon, das für die Zerlegung bereitgestellt wird. Die Zerlegung selbst ist schon ein erster Erkenntnisgewinn, denn manche Mobiltelefone lassen sich recht einfach mit Feinmechanikerwerkzeug zerlegen, andere wiederum sind vernietet oder metallische Bestandteile und Plastikteile sind so miteinander verklebt, dass eine Trennung der einzelnen Bauteile nur mit Gewalt möglich wird. Nach der kompletten Zerlegung der Telefone zeigen sich die nachweisbaren Seltenen Erden in Form von Magnetringen mit einem Durchmesser von etwa einen Zentimeter und in winzigen Magnetröhrchen, die in den kleinen Vibrationsmotoren verbaut sind (s. Abb. 1). In den Kopfhörern sind ebenfalls 2 Magnetringe in den Lautsprechern enthalten, so dass das Gesamtgewicht der Magnete eines Mobiltelefonsets (Telefon und Kopfhörer) bei etwa 1,7g liegt. Nach der Molmassenformel liegt der Anteil der Seltenen Erden bei ca. 30%, also etwa 0,5g an Seltenen Erden, vor allem Neodym. Die Seltenen Erdelemente in den Leuchtpulvern der LEDs und Displays sind mit der vorhandenen Analytik nicht nachweisbar, da die Konzentrationen zu gering sind.
Im Jahr 2013 wurden weltweit etwa 1,8 Mrd. Mobiltelefone verkauft, für die unter der Annahme der Verbauung von 0,5g Nd je Set, insgesamt ca. 900t Neodym benötigt wurden.

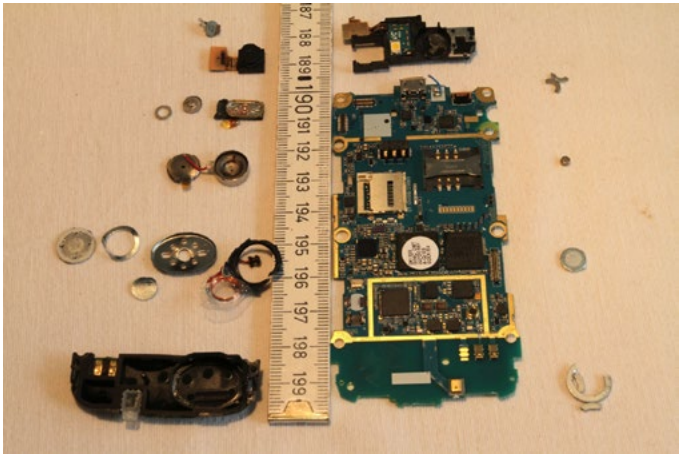


Abb. 1: Mobiltelefon zerlegt mit NdFeB-Magneten (rechts angeordnet)

Ergebnisse der Analyse von Elektrofahrrad-Motoren

Es konnten bislang nur drei unterschiedliche Elektromotoren von eBikes untersucht werden (s. Abb. 2). Der Hinterradantrieb der Fa. Heinzmann enthielt 16 Magnetscheiben mit einem Gesamtgewicht von 240g bei einem Anteil von 34% Nd oder ca. 80g Nd. Der Motor von BionX enthielt 22 Magnetplättchen mit einem Gesamtgewicht von 275g mit einem Anteil von 26% Nd und 6% Praseodym; das entspricht ca. 63g Neodym und 16g Praseodym (Pr). Der dritte Motor, ein Mittelmotor-Prototyp der Fa. TranzX, bestand aus 20 Magnetplättchen mit einem Gesamtgewicht von 160g bei einem Anteil von 25% Nd und 3% Pr, also ca. 40g Nd und 5g Praseodym. Aufgrund der verschiedenen Mengenbedarfe von Neodym

und Praseodym ist die Bildung eines Mittelwertes unzuverlässig. Bei einer Jahresproduktion von etwa 30 Mio. Elektrofahrrädern weltweit (2013), und der Annahme eines Mittelwertes von 70g Nd je eBike, bestand ein Bedarf von ca. 2.100t an Seltenen Erden für diese Motoren.

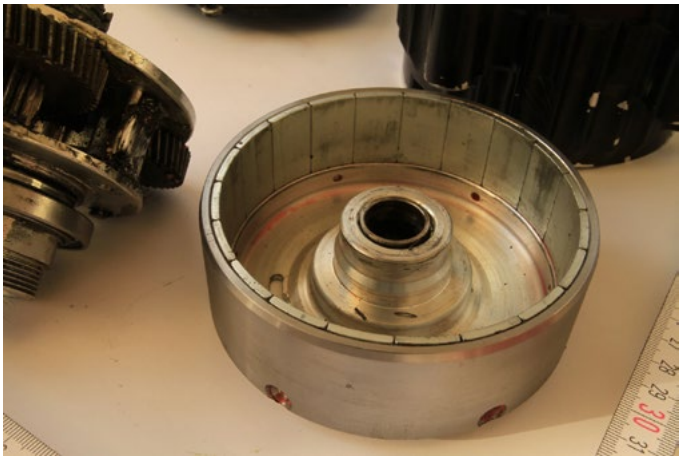


Abb. 2: eBike Motor zerlegt mit NdFeB-Magnetplättchen

Ergebnisse von Analysen weiterer untersuchter Produkte

Es wurden diverse Elektrogeräte zerlegt, darunter Bartschneider (s. Abb. 3), Staubsauger, Waschmaschinen, Drucker, Lüfter, Elektrospielzeug, Gartengeräte. Alle dieser Geräte enthielten Elektromotoren, allerdings mit unterschiedlichen Magneten. Neben einigen NdFeB-Dauermagneten waren auch oft Ferrit-Magnete verbaut, so dass der Schluss unzulässig ist, dass alle Geräte mit einem Elektromotor auch auf NdFeB-Magneten basieren. Die detaillierten Ergebnisse sind in den unten erwähnten Publikationen ausgeführt.
Für ein mögliches Recycling von Seltenen Erden ist es also notwendig, weitere Untersuchungen zu den Materialbestandteilen von Elektrogeräten durchzuführen, um die tatsächlichen Input-Produkte und Mengen identifizieren zu können. Ob sich ein Recycling in der nächsten Zeit umsetzen lässt, hängt jedoch stark von der Gesamtsituation der Seltenen Erden ab, die sich anders entwickelt hat, als vor wenigen Jahren und Monaten noch prognostiziert.

Schwankungen in den Bewertungen der Bedeutung von Seltenen Erden

Die Seltenen Erdelemente (SEE) wurden in mehreren Studien um 2009 als äußerst kritische Rohstoffe eingestuft. Bei den Studien aus den USA, Europa und Deutschland wurde die Kritikalität überwiegend als Funktion der wirtschaftlichen Bedeutung und des Versorgungsrisikos behandelt. Die Tatsache, dass die statische Reichweite, also die bekannte Menge an bauwürdigen Reserven im Verhältnis zur gegenwärtigen Jahresproduktion, über 1000 Jahre beträgt, ist in den Kritikalitätsbetrachtungen nicht berücksichtigt worden.
Während das Versorgungsrisiko mit dem faktischen Produktionsmonopol Chinas korrespondiert, wurde die wirtschaftliche Bedeutung vor allem mit der scheinbar unabdingbaren Notwendigkeit von SEE für grüne Energietechniken und die Elektromobilität begründet. Tatsächlich existiert diese jedoch nicht oder nur äußerst begrenzt. Der Bedarf von SEE in Mobiltelefonen ist gering

Abb. 3: Rasierapparat mit Ferritmagneten

und für Windräder gibt es eine ganze Reihe von Antriebssystemen, die keine SEE benötigen. Diese Fakten waren um 2010 entweder nicht bekannt oder sie wurden ignoriert und mit überzogenen Prognosen flankiert. Also traf diese scheinbare Abhängigkeit im Jahr 2010 mit der Ankündigung Chinas zusammen, die Exportquoten für Seltenerdkonzentrate um etwa 50% zu reduzieren. In der Folge schossen Anfang 2011 die Preise für die SEE bis zu 700% in die Höhe, was aktuelle Studien bestätigten. Allerdings: Die Exportquoten wurden scheinbar niemals ausgeschöpft, denn es handelte sich um Quoten für Oxide, aber nicht für Seltenerd-Halbzeuge oder -Produkte; es waren also immer SEE in diversen Fertigungsstufen erhältlich – von wenigen Wochen Lieferstopp Anfang 2011 aufgrund politischer Unstimmigkeiten zwischen China und Japan einmal abgesehen. Die Industrie und Forschung haben sich also in Sorge um Versorgungsstopps und der beschriebenen wirtschaftlichen Bedeutung der SEE mit Effizienzsteigerungen und gar Substitutionen für SEE beschäftigt. Doch schon Mitte 2011 setzte eine Preis-Trendwende ein, die bis heute anhält: die Preise für SEE haben Mitte 2015 ein 5-Jahres-Tief erreicht. Mehrere junge, nicht-chinesische Bergbauprojekte haben Insolvenz angemeldet und selbst chinesische Bergwerke haben begonnen, die Produktion zu drosseln, da bei diesen Preisen eine wirtschaftliche Förderung nicht mehr möglich ist.

Es wird zunehmend davon gesprochen, dass eine bedeutende Menge von SEE illegal abgebaut wird, zusätzlich zur legalen Produktion. Dies wird abgeleitet aus der Überlegung, dass die veröffentlichten Produktionsmengen von SEE-basierten Magneten mehr Neodym benötigen, als legal abgebaut wird. Diesem illegalen Bergbau werden zudem unsachgemäße und besonders umweltschädliche Abbaumethoden zugeschrieben und er wird als Mitursache für die stark gesunkenen Preise gesehen. Die Größenordnung des illegalen Bergbaus wird auf etwa 30.000 bis 50.000t geschätzt – zusätzlich zur legalen Produktionsquote von ca. 100.000t (2014). Diesem illegalen Abbau sagte China den Kampf an und es bleibt abzuwarten, wie sich die Lage entwickelt.

Publikationen

- Zepf V. (2015) An Overview of the Usefulness and Strategic Value of Rare Earth Metals, in: Borges de Lima, I./Leal Filho, W. (Hg.) *Rare Earth Industry: Technological, Economic, and Environmental Implications*, Amsterdam: Elsevier, S. 3-17.
- Zepf V. (2015) Neodymium Use and Recycling Potential, in: Borges de Lima, I./Leal Filho, W. (Hg.): *Rare Earth Industry: Technological, Economic, and Environmental Implications*, Amsterdam: Elsevier, S. 305-318.
- Zepf V. (2015) Das verkannte Recyclingpotential der Seltenen Erden - Quantitative Ergebnisse für Neodym in Deutschland, in: Thomé-Kozminensky, K. J./Goldmann, D. (2015) *Recycling und Rohstoffe*, Band 8, S. 463-476.
- Zepf V. (2015) Pinpointing input materials for rare earth recycling, in: Recycling International, *Recycling Technology* 2016 (special issue), S. 18-20.
- Zepf V. (2015) Die Seltenen Erden – umkämpfte Rohstoffe für Gegenwart und Zukunft, in: Technisches Museum Wien (Hg.) *Blätter für Technikgeschichte – Materialien*, Band 77, Wien (im Druck).

ForCycle – Zukunftssichernde Nutzung von Wertstoffen

PROJEKTTEAM

- Prof. Dr. Armin Reller
  armin.reller@wzu.uni-augsburg.de
  Tel.: 0821 598 3000
- Dr. Julia Fendt
  julia.fendt@wzu.uni-augsburg.de
  Tel.: 0821 598 3558
- Christian Böckenholt
  christian.boeckenholt@wzu.uni-augsburg.de
  Tel.: 0821 598 3563

PROJEKTPARTNER

- Prof. Dr. Soraya Heuss-Aßbichler, LMU München
- Prof. Dr. Siegfried Horn, Universität Augsburg in Kooperation mit Prof. Dr. Klaus Drechsler, Fraunhofer Projektgruppe FIL, Augsburg
- Prof. Dr. Burkhard König, Universität Regensburg
- Prof. Dr. Werner Kunz, Universität Regensburg in Kooperation mit Prof. Dr. Cordt Zollfrank, TUM und Wissenschaftszentrum Straubing für Nachwachsende Rohstoffe
- Dr. Martin Schlummer, Fraunhofer IVV, Freising
- Prof. Dr. Ulrich Teipel, TH Nürnberg in Kooperation mit dem Fraunhofer ICT, Pfinztal
- Prof. Dr. Monika Willert-Porada, Universität Bayreuth
- Prof. Dr. Rainer Buchholz, FAU Erlangen-Nürnberg in Kooperation mit Prof. Dr. Thomas Brück, TU München

FÖRDERUNG

- Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV)

PROJEKTLAUFZEIT

- Januar 2014 bis voraussichtlich November 2016

Worum geht es?

Unser gegenwärtiger Lebensstil ist durch die nahezu uneingeschränkte Verfügbarkeit von Konsumgütern aller Art geprägt. Dass in diesen Gütern Rohstoffe und Ressourcen stecken, die in globale, vernetzte Wertschöpfungsketten eingebunden sind, ist den meisten von uns nicht bewusst. Ebenso wenig machen wir uns kaum Gedanken darüber, was nach der Nutzung des Konsumgutes mit den verwendeten Stoffen geschieht. Diese sind nicht – wie die landläufige Meinung suggeriert – Abfall, sondern beinhalten komplexe Wertstoffe, deren Rückgewinnung ein lohnender Vorgang ist, um die Ressourcen der Erde für die weitere Nutzung zu erhalten. Wertstoffe sind dabei diejenigen Materialien, die in spezifischen Wertschöpfungsketten bzw. Technologien bestimmte Funktionen haben.

Im Projektverbund ForCycle werden deshalb im Rahmen von insgesamt zehn Projekten effiziente Recyclingverfahren von Sekundärrohstoffen untersucht. Ziel der Projekte ist es, auf neuen Wegen eine effiziente Nutzung essentieller Rohstoffe zu erreichen und sie als Sekundärrohstoffe im Stoffkreislauf zu erhalten. Thematisch fokussieren die Einzelprojekte auf die Rückgewinnung von Metallen aus

Abwässern mit umweltschonenden, ungiftigen Verfahren, die Herauslösung von Schwermetallen aus Altglas, das Recycling von bspw. im Flugzeugbau oder bei Windkraftanlagen eingesetzten Carbonfasern, die Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen wie Cellulose oder Chitin zur Herstellung von Gütern sowie die Wiederverwertung von Baustoffen. Jedes Projekt lässt sich einem von insgesamt vier Clustern (s. Abb. 1) zuordnen, wobei jeder Cluster einer der folgenden Stoffklassen gewidmet ist:

- Metalle
- biogene Polymere und Wertstoffe
- Komposite
- Baustoffe

Letztlich spiegeln diese vier Stoffklassen die Tatsache wider, dass unsere Alltagsgegenstände bzw. Konsumgüter stofflich kompliziert zusammengesetzt sind und deshalb spezifische Recyclingverfahren notwendig sind, um die beinhalteten Wertstoffe separieren bzw. wiedergewinnen zu können. Insgesamt soll ein Spektrum an Verfahren entwickelt werden, das erlaubt, die stoffliche Vielfalt der industriell-technischen Konsumgüterwelt zu bearbeiten und Sekundärrohstoffe bereitzustellen. Auf die Etablierung einer Stoffkreislaufwirtschaft in Bayern zielt der ForCycle-Forschungsverbund, gefördert durch das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV), übergreifend ab.

Stoffgeschichten und Kritikalität

Eine sehr wichtige Rolle bei der Durchführung der Projekte spielt das interdisziplinäre Konzept der Stoffgeschichten (siehe Abb. 2).

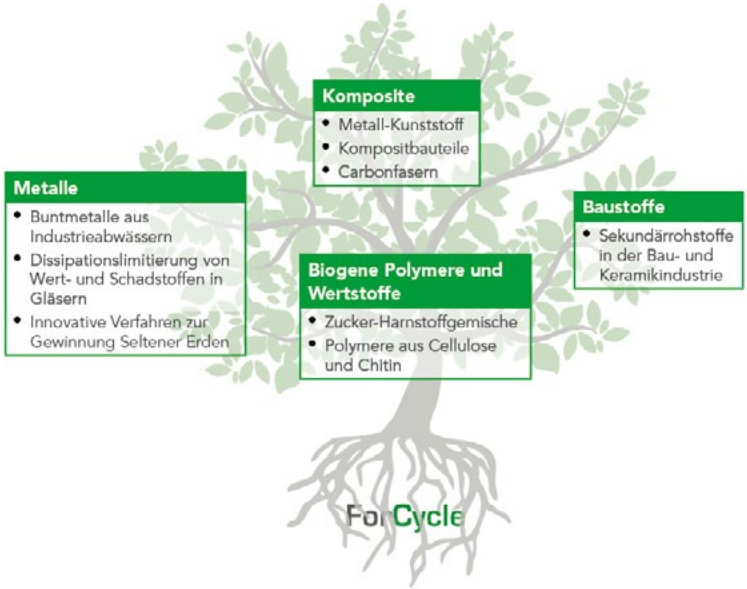


Abb. 1. Clusterbaum des ForCycle-Projektverbunds

Bei diesem disziplinübergreifenden Ansatz erscheinen Stoffe nicht erst in unseren mannigfaltigen Alltagsgegenständen oder Konsumgütern, sondern ihre Geschichte beginnt viel früher, in der Erde, beim Abbau im Ursprungsland. Stoffgeschichten verfolgen den Weg des Stoffes von seinem Ursprung bis zum Ende seiner Nutzung und der Frage nach seiner Dissipation in der Umwelt. Sie sind in einen explorativen, narrativen Ansatz eingebettet, der auch politische und kulturelle Fragen einbezieht. Das Konzept der Stoffgeschichten dient als ein Element für die Entwicklung einer Ressourcenstrategie für Bayern. Ein zweites zentrales Hilfsmittel bei der Analyse von

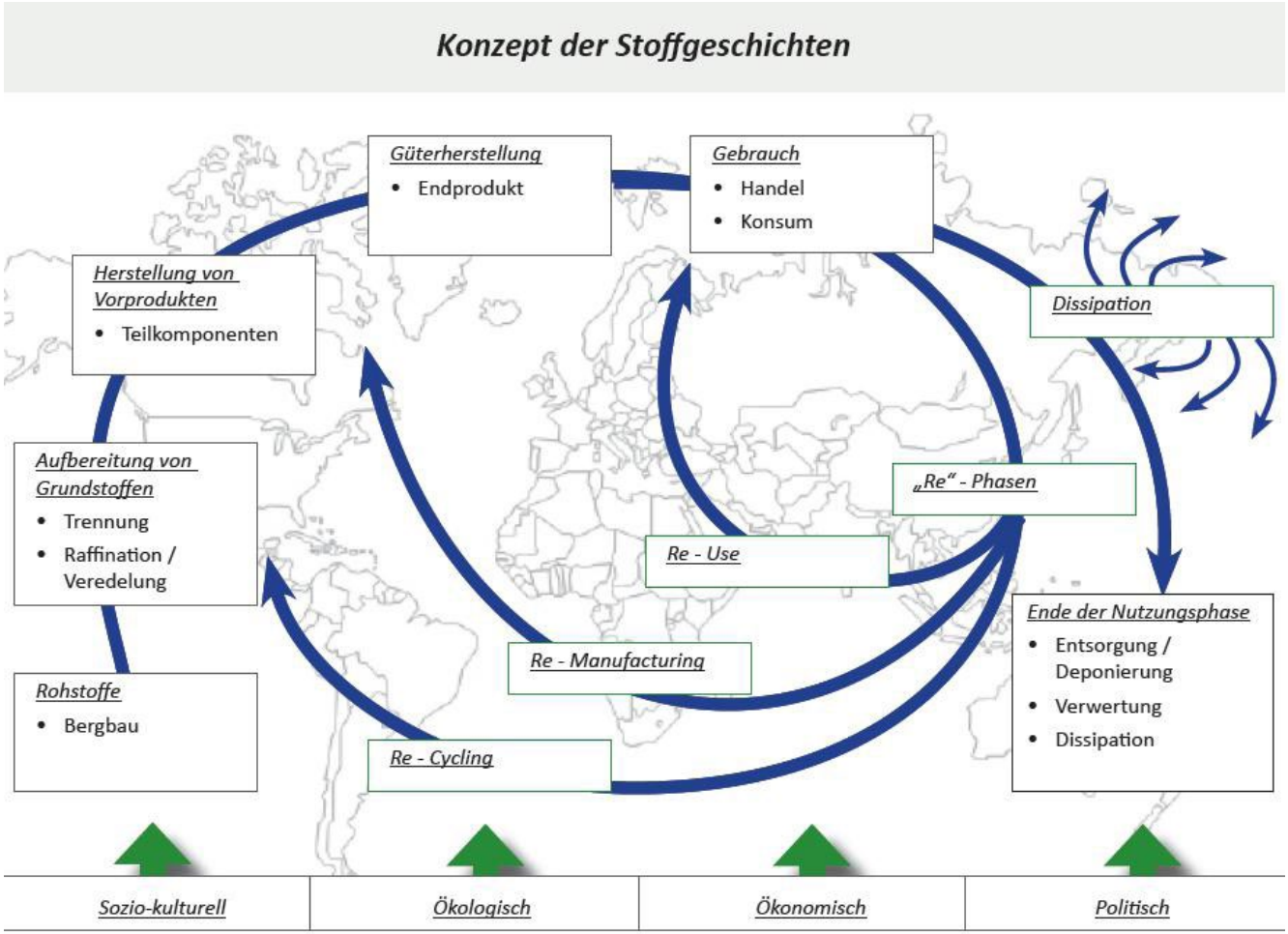


Abb. 2. Konzept der Stoffgeschichten, aus: Reller A. (2013): Ressourcenstrategien.

Stoffen ist die Bestimmung ihrer Kritikalität. Bewertungsverfahren zur Kritikalität werden am Lehrstuhl für Ressourcenstrategie der Universität Augsburg weiterentwickelt und können als Präzisierung des Konzepts der Stoffgeschichten dienen.

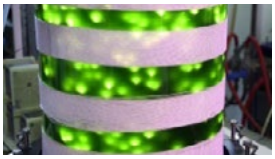
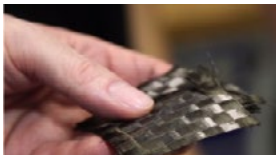
Durchführung und Ergebnisse

Neben einem Cluster-Bilanz-Workshop im Frühjahr 2015 fand am 18.11.2015 die Zwischenbilanz und Fachtagung zum Projektverbund ForCycle in der Bayerischen Akademie der Wissenschaften in München statt, zusammen mit der Präsentation des Leitfadens für kommunale Abfallvermeidung. Dort wurden die einzelnen Projekte des Verbundes mit Kurzfilmen den geladenen Gästen aus Wissenschaft, Politik, Wirtschaft und Verbänden präsentiert. Die Forschungsergebnisse der einzelnen Projektgruppen wurden im Rahmen einer Posterpräsentation ausgestellt. Am Nachmittag fanden Fachdiskussionen statt, etwa über die die Entwicklung von Pfeilern einer Ressourcenstrategie für Bayern. Unter anderem trugen vor: der Clustersprecher des Umweltcluster Bayerns, Herrn Reinhard Büchl über „Innovative Industrieentsorgung“, Herr Dr. Volker Zepf vom Lehrstuhl für Ressourcenstrategie über das Recyclingpotential von Seltenen Erden und Herr Prof. Michael von Hauff über die Beziehung von Umwelt und Wachstum.

Für die Doktoranden im Verbund fand im Dezember 2015 ein gemeinsamer Doktorandenworkshop im interdisziplinären Austausch mit dem Augsburger Graduiertenkolleg „Ressourcenstrategische Konzepte für zukunftsfähige Energiesysteme“ statt.

Perspektiven

Neben der Erforschung der in den Clustern benannten Stoffklassen ist es Ziel des Projektverbunds, die Endlichkeit von Rohstoffen bewusst zu machen und die Notwendigkeit eines Umdenkens im Unternehmensbereich sowie in der breiten Gesellschaft zu bewirken. Aus diesem Grund wurde die Öffentlichkeitsarbeit schon im Jahr 2015 ausgebaut (Projektpräsentation auf dem Bayerischen Werkstofftreff an der TH Nürnberg, Berliner Rohstoff- und Recycling-Konferenz) und soll noch erweitert werden, zum Beispiel durch die Teilnahme an der Tagung Rohstoffeffizienz und Rohstoffinnovationen in Tutzing, IFAT 2016 etc. Auch der Praxisbezug zu Unternehmen wird weiter gestärkt werden.

v.l.n.r.: Photobioreaktor, Carbonfasern, Holzschnitt, Glasschmelze, Blähmittel f. Baustoffe,
Bildquellen: Projektverbund ForCycle, Universität Augsburg

Literatur

- Achzet, B./Reller, A./Zepf, V. (2015) Strategic Resources for Emerging Technologies, in: Hartard, S./Liebert, W. (Hg.) *Competition and Conflicts on Resource Use*, Cham: Springer, S. 259–272.
- Reller, A./Marschall, L./Meißner, S./Schmidt, C. (Hg.) (2013) *Ressourcenstrategien. Eine Einführung in den nachhaltigen Umgang mit Ressourcen*, Darmstadt: WBG.
- Reller, A./Zepf, V./Achzet, B. (2013) The Importance of Rare Metals for Emerging Technologies, in: Angrick, M./Burger, A./Lehmann, H. (Hg.) *Factor X. Re-source – Designing the Recycling Society*, Berlin, Heidelberg: Springer, S. 203-219.
- Reller, A./Dießenbacher, J. (2014) Reichen die Ressourcen für unseren Lebensstil? Wie Ressourcenstrategie vom Stoffverbrauch zum Stoffgebrauch führt, in: von Hauff, M. (Hg.) *Nachhaltige Entwicklung. Aus der Perspektive verschiedener Disziplinen*. Baden-Baden: Nomos Verlagsgesellschaft, S. 91-118.
- Zepf, V./Reller, A. (2012) Chances and risks of using rare earth metals, *Proceedings of the ICE-Waste and Resource Management* 165 (1), S. 3-11.
- Zepf, V. (2013) *Rare Earth Elements. A New Approach to the Nexus of Supply, Demand and Use; Exemplified along the Use of Neodymium in Permanent Magnets*, Springer Theses-Reihe, Berlin, Heidelberg: Springer.
- Zepf, V./Reller, A./Rennie, C./Ashfield, M./Simmons, J. (2014) *Materials critical to the energy industry. An introduction*, 2nd edition, University of Augsburg, BP.

Grüner Klee und Dynamit - Eine interaktive Wanderausstellung

PROJEKTTEAM

- Carl Bosch Museum Heidelberg
  kontakt@carl-bosch-museum.de
  Tel.: 06221 603616
  Jan Dübbers
  Bianca Flock
  Hajo Hauptmann
  Sabine König
  Gerda Tschira
- Knut Völzke (Leise Design),
  knut.voelzke@leise-leise.com
  Tel.: 069 2199801
- Dr. habil. Claudia Schmidt
  schmidt@wzu.uni-augsburg.de
  Tel.: 0821 598 3575
- Dr. Jens Soentgen
  soentgen@wzu.uni-ausgburg.de
  Tel.: 0821 598 3560

FÖRDERUNG

- High Tech Offensive Zukunft Bayern
- Klaus Tschira Stiftung gGmbH, Heidelberg

Grüner Klee und Dynamit - Eine interaktive Wanderausstellung

Worum geht es?

Die Haber-Bosch-Synthese, mit der seit nunmehr 100 Jahren Stickstoffdünger aus Luft und Erdgas hergestellt wird, aber auch Sprengstoff, wird oft als wichtigste Erfindung des 20. Jahrhunderts bezeichnet. Eine solche Sichtweise ist naheliegend, denn der vermeintlich banale Stickstoffdünger hat durch einen technischen *Bypass* eine fundamentale ökologische Grenze überwunden. Reaktiver Stickstoff, der Motor allen biologischen Wachstums, ist in der Natur knapp. Nachschub liefern nur bestimmte Bakterien sowie Gewitter (Blitze) durch die Umwandlung von elementaren, atmosphärischen in reaktive, pflanzenverfügbare Stickstoffverbindungen. Damit waren bislang – auch dem Menschen – unverrückbare Grenzen gesetzt, wird doch das Pflanzenwachstum und damit die Nahrungsmittelproduktion durch das natürliche reaktive Stickstoffvorkommen limitiert. Heute dagegen ist reaktiver Stickstoff durch die industrielle Stickstoffsynthese im Überfluss herstellbar und wird seit inzwischen über 100 Jahren in stetig steigender Menge produziert. Das trug auch dazu bei, dass der Erste Weltkrieg bis 1918 dauerte, denn ohne technisch erzeugten Stickstoff wäre dem deutschen Heer schon 1915 die Munition ausgegangen. Auch heute ist das Haber-Bosch-Verfahren von militärischer Bedeutung, weil weiterhin nahezu alle Treibladungen und Sprengstoffe aus reaktivem Stickstoff bestehen.
Ebenso wichtig ist die ökologische Dimension, denn mit dem aus dem Haber-Bosch-Verfahren gewonnenen, reaktiven Stickstoff konnten die landwirtschaftlichen Nutzflächen vervielfacht und die Ernten weltweit gesteigert werden. Das Bevölkerungswachstum auf derzeit 7 Milliarden Menschen wäre ohne die Haber-Bosch-Synthese nicht möglich gewesen. Vor 50 Jahren, zum damals 50. Jubiläum der Ammoniak-Synthese, schrieb der spätere BASF-Vorstandsvorsitzende Bernhard Timm stolz, dass dank Haber-Bosch „1962 in der Welt ein Mehraufkommen von 224 Mill. Tonnen Getreide erzeugt wurde, das ohne die Stickstoff-Industrie einfach zur Ernährung der Menschheit nicht zur Verfügung gestanden hätte“. Heute ist dieser Beitrag noch weitaus größer. Im Jahr 2011 wurden weltweit 136 Millionen Tonnen reaktiver Stickstoff in Form von Ammoniak synthetisiert, das ist ungefähr ebenso viel wie die durch biologische Prozesse an Land gebundene Stickstoffmenge. Die Anwendung des Haber-Bosch-Verfahrens hat die ökologischen Grenzen des Menschen gesprengt; heute sind wir gefordert, uns selbst Grenzen zu setzen. Darin liegt die welthistorische Bedeutung dieses Verfahrens.

Die neue Stickstofffrage

Bei nüchterner Betrachtung muss festgehalten werden, dass sich uns heute ein neues Problem stellt, nämlich die „umgekehrte Stickstofffrage“: Wie bekommen wir den überall diffundierenden, reaktiven Stickstoff wieder aus der Natur? Reaktiver Stickstoff in der Luft, in den Flüssen, im Brunnen, im Meer – wo früher zu wenig war, ist heute zu viel. Denn nur vier bis vierzehn Prozent des für Kunstdünger hergestellten reaktiven Stickstoffs werden tatsächlich zu Nahrung veredelt und dienen dazu, uns satt zu machen. Der größte Teil verdunstet und versickert auf dem langen Weg von der Anlage über den Acker, über den Viehstall bis zum Teller.
Im Golf von Mexiko breitet sich jedes Jahr im Frühjahr eine „tote Zone“ im Meer aus, ein Areal so groß wie Hes-

sen, völlig leblos, ohne Krabben, ohne Garnelen, ohne Fische. Und Resultat der hohen Stickstofffrachten des Mississippi, der durch alle großen Korn-Staaten Nordamerikas fließt und dabei die stickstoffreichen Abwässer der Äcker aufnimmt. Neben den enormen Produktionssteigerungen, die das Haber-Bosch-Verfahren ermöglicht, zieht seine Anwendung anderswo Totalverluste nach sich. Die Schäden, welche der Fischerei und dem Tourismus in den am Golf von Mexiko angrenzenden Staaten entstehen, belaufen sich auf Milliarden.
Die Europäische Union (EU) kam in einer auf Europa begrenzten Berechnung auf Kosten zwischen 70 und 320 Milliarden Euro, die durch Stickstoff-Verschmutzung jedes Jahr entstehen. Das wäre ein Mehrfaches des Wertes, den der Stickstoffdüngergebrauch der Landwirtschaft einbringt. Der Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) schreibt in seinem Sondergutachten zum Stickstoff: „Die Einträge reaktiver Stickstoffverbindungen sind inzwischen so hoch, dass globale Tragfähigkeitsgrenzen überschritten werden“ (SRU 2015, S. 32). Er empfiehlt die Entwicklung einer nationalen Stickstoffstrategie und geht davon aus, dass „in Deutschland mindestens eine Halbierung der Stickstoffeinträge notwendig ist, um bestehende nationale und europäische Qualitätsziele zu erreichen“ (SRU 2015, S. 24f.).
Der britische Chemiker William Crookes zeichnete am Ende des 19. Jahrhunderts das „Horrorszenario“, dass England und Europa hungern müssten, weil der Weizen nicht hinreichend gedüngt werden könne. Das Weizenproblem wurde gelöst. Die Problemlösung aber brachte Folgeprobleme. Welches Genie erfindet nun den „umgekehrten Haber-Bosch“? Dieser umgekehrte Haber-Bosch, der den reaktiven Stickstoff dort verschwinden lässt, wo er nicht hingehört, wird keine riesige Industrieanlage sein. Sondern ein Bündel von Maßnahmen, die sinnvoll ineinandergreifen. In den USA ist man uns voraus, vielleicht, weil dort die unerwünschten Nebenwirkungen der künstlichen Düngung im Golf von Mexiko jährlich geballt sichtbar sind. Dort gibt es eine nationale *Nutrient Task Force*, die jedes Jahr einen *Action Plan* verabschiedet. Eine der erfolgreichen Maßnahmen ist die Wiedervernässung von Feuchtgebieten. Denn in Feuchtgebieten wird durch Mikroorganismen reaktiver Stickstoff in Luftstickstoff rückverwandelt und so aus dem Boden entfernt. Eine andere Maßnahme ist die Einführung von *Best-Practice*-Maßnahmen in der Landwirtschaft, die auf einen weniger sorglosen Umgang mit Gülle und Kunstdünger abzielen. In der EU wurde 2011 ebenfalls ein Stickstoff-*Assessment* durchgeführt, in Deutschland hat die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) ein Stickstoffprogramm aufgelegt. Nicht zu vergessen ist der Beitrag der ökologischen Landwirtschaft, die ganz ohne Kunstdünger auskommt.

Die Ausstellung

Unsere Ausstellung „Grüner Klee und Dynamit – Der Stickstoff und das Leben“ erzählt die oben skizzierte Geschichte des Stickstoffs mit vielen einzigartigen Exponaten. Wir erläutern die biologische Bedeutung des Stickstoffs, seine ökologische Problematik, aber auch seine politische Relevanz. Mittelalterliche Ateliers des Alchemisten und des Salpeterers werden reizvoll kontrastiert durch moderne Hochtechnologie. Viele *Hands-on*-Exponate machen den Stoff und seine Geschichte begreifbar.

Grüner Klee und Dynamit - Eine interaktive Wanderausstellung

Die Ausstellung ist für Besucher aller Altersstufen ab 8 Jahren geeignet. Ein Buch über die Geschichte des Stickstoffs ergänzt die Ausstellung.
Die Ausstellung wurde zunächst 2013 im Naturmuseum der Stadt Augsburg eröffnet und dann im Carl Bosch Museum in Heidelberg gezeigt. Sie wanderte anschließend ins Umweltbundesamt nach Dessau und wurde vom Stadtmuseum Ingolstadt, vom Naturkundlichen Bildungszentrum in Ulm sowie vom Museumsdorf Baruth (bei Berlin) vorgestellt. Weitere Stationen, darunter Solothurn (Schweiz), sind geplant. Ein Buch über die Geschichte des Stickstoffs, herausgegeben von Prof. Dr. Gerhard Ertl und Dr. Jens Soentgen, erschien als Band 9 in der WZU-Reihe „Stoffgeschichten" im Herbst 2015. Die Habilitationsschrift von Dr. habil. Claudia Schmidt, in der die Stickstoffausstellung untersucht wird, wurde im WS 2014/2015 von der Philosophisch-Sozialwissenschaftlichen Fakultät angenommen.

Literatur:

- Ertl, G./Soentgen, J. (Hg.) (2015) *N. Stickstoff – ein Element schreibt Weltgeschichte.* Reihe Stoffgeschichten, Bd. 9., München: oekom -Verlag.
- Soentgen, J. (2014) 100 Jahre industrielle Ammoniaksynthese: Vom ‚Weizenproblem' zur ‚neuen Stickstofffrage' *Chemie in unserer Zeit* 48(1), S. 72–75.
- Soentgen, J. (2013) Vom wheat problem zur neuen Stickstofffrage, Editorial, *Gaia* 22 (4), S. 217.
- Schmidt, C. (2015) *Ressource Bildung - ein didaktisches Konzept für Entscheidungen unter Nachhaltigkeit* Würzburg: Ergon-Verlag.
- SRU (Sachverständigenrat für Umweltfragen) (2015) *Stickstoff: Lösungsstrategien für ein drängendes Umweltproblem,* Sondergutachten: Hausdruck, Berlin.

LOKALE UMWELTEN

56 Lech-Magerrasen
60 Die Terras Pretas im Amazonas-Gebiet
64 Virtuelles Alpenobservatorium

Lech-Magerrasen

PROJEKTTEAM

- Dr. Maria Erhart
  maria.erhart@physik.uni-augsburg.de
  Tel.: 0821 598 2915
- Kathrin Goller (Lehrerin)
  kathrin.goller@physik.uni-augsburg.de
  Tel.: 0821 598 3283
- Dr. Jens Soentgen
  jens.soentgen@wzu.uni-augsburg.de
  Tel.: 0821 598 3560

PROJEKTPARTNER

- Nicolas Liebig
  n.liebig@lpv-augsburg.de
  Tel.: 0821 324 6054

Küchenschelle vor dem WZU

Grüne Lern- und Arbeitsinseln: Lech-Magerrasen rund ums WZU

Worum geht es?

Mit Naturschutz verbinden nicht nur viele Bürgerinnen und Bürger, sondern auch viele Biologielehrerinnen und Biologielehrer vor allem Schutzmaßnahmen: Bestimmte Landschaften werden mit Schildern versehen und dürfen nicht mehr betreten werden, um den dort lebenden Tieren und Pflanzen „wieder eine Chance zu geben“. Tatsächlich ist aber Naturschutzarbeit wesentlich kreativer: Sie konserviert nicht nur, sondern schafft mit Hilfe geeigneter technischer Maßnahmen auch neue Lebensräume für bedrohte Tiere und Pflanzen. Dies für Lehramtsstudierende erlebbar zu machen, ist der eigentlich innovative Kern und das Alleinstellungsmerkmal des Projektes. Den Kooperationspartnern geht es darum, angehenden Lehrerinnen und Lehrern die Chance zu bieten, sich an einem, sich entwickelnden Naturschutzprojekt beteiligen zu können und damit zu zeigen, dass Naturschutz auch eine kreative Tätigkeit ist, bei der es auf gute Allianzen, *KnowHow* und Innovationsbereitschaft ankommt – und auf Geduld.

Durchführung und Ergebnisse in 2015

Das Projekt steht in einem größeren Kontext: Im Frühjahr 2013 initiierte die Didaktik der Biologie auf dem Campus der Universität Augsburg das Projekt „Grüne Lern- und Arbeitsinseln“ mit dem Ziel und gemäß der UN-Dekade „Bildung für nachhaltige Entwicklung“,

bei Lehramtsstudierenden fachliche und didaktisch-methodische Kompetenzen zur Wahrnehmung und zum Erhalt von Biodiversität aufzubauen. Durch die eigenhändige Schaffung und Pflege von Lebensräumen für Pflanzen und Tiere sollen angehende Lehrkräfte auf eine ihrer späteren beruflichen Aufgaben, nämlich Kinder und Jugendliche für eine schützende Haltung gegenüber Natur und Umwelt zu sensibilisieren, vorbereitet werden. Dabei spielen regional typische, jedoch selten gewordene Arten eine wichtige Rolle. So entstand dank vielseitiger Unterstützung auf einem etwa 400 Quadratmeter großen Gelände südlich des WZU-Gebäudes der Projektbaustein „Uni-Schulgarten“, der Studierenden geeignete Bedingungen für das Planen und Erproben schulgärtnerischer Arbeit bietet: Sie übernehmen Verantwortung für einen selbst gestalteten Gartenteil, bauen themenbezogen selbstständig Pflanzen an, pflegen und ernten sie und erproben schließlich Möglichkeiten der Verarbeitung. Auch Tierbehausungen für Vertreter verschiedener Tierklassen wurden im Schulgarten geschaffen. Eine ursprünglich artenarme Freifläche wurde so zu einem struktur- und artenreichen Garten umgestaltet, der auch im dritten Jahr wieder reiche Früchte trägt.
Als weiterer Baustein des Projekts „Grüne Lern- und Arbeitsinseln“ an der Universität Augsburg wurde die Anlage eines Lechmagerrasens auf den Flächen rund um das WZU-Gebäude (im Umfang von ca. 500 Quadratmetern) realisiert und die damit verbundenen Schutz- und Gestaltungsmaßnahmen in die universitäre Lehre integriert.

Die Besonderheit der Lechheiden

Flussschotterheiden bildeten viele Jahrhunderte lang die natürlichen Ökosysteme an Lech und Wertach und waren darüber hinaus im ganzen südbayerischen Raum verbreitet. Sie zählen zu den artenreichsten Lebensräumen Mitteleuropas und gleichen einem Mosaik vielfältiger Standortbedingungen auf engem Raum. Gründe hierfür sind die flussmorphologisch bedingte Unterschiedlichkeit der Bodensubstrate (fließender Wechsel grobschottriger und feinschluffiger Standorte) sowie das stark bewegte Mikrorelief (hohe mikroklimatische Diversität, ausgeprägte Feuchtegradienten). Heute sind derartige Flächen bis auf wenige Relikte, wie in etwa die Königsbrunner Heide oder Schießplatzheide, verschwunden. Doch lassen sich solche Magerrasen mit ihrer vielfältigen Blütenpracht durch gezielte Maßnahmen wieder zum Leben erwecken, wie der Magerrasen am Bayerischen Landesamt für Umwelt direkt hinter den neuen Gebäuden des Studentenwerks zeigt. Auf der als Ausgleichsmaßnahme und in Kooperation mit dem Landschaftspflegeverband im Jahr 2012 angelegten Fläche wachsen ca. 80 sehr seltene Arten, z.B. die Siegwurz.
Auch auf den Flächen rund um das WZU wurden im Sommersemester 2013 die Grundlagen für die Entstehung einer neuen Lechheide geschaffen. Unter fachlicher Leitung von Herrn Liebig, Geschäftsführer des Landschaftspflegeverbandes der Stadt Augsburg und Spezialist für die Anlage und Pflege von Magerrasenflächen, ging man dabei vor wie einst am LfU: Zehn Zentimeter des vorhandenen Oberbodens wurden abgetragen und durch eine Kiesschicht ersetzt. Studierende der Didaktik der Biologie brachten darauf dann die Mahd einer Lechheidefläche aus. Mehr als 100 für Südbayern typische Pflanzenarten können so auf dem Campus heimisch werden und hier eine vielfältigere natürliche Umgebung schaffen.

Lech-Magerrasen

Auch das lernen Studierende: Mahd auf einer Lechheide

Bereits im dritten Jahr seit der Entstehung der „Uni-Heide“ zeigt sich die ehemals monotone Grünfläche als artenreicher Lebensraum.
Die Entwicklung dieser mit eigenen Händen auf den Campus getragenen Vegetation wird fortlaufend durch Masterstudierende dokumentiert, die im Rahmen von Seminarveranstaltungen die Heide-Pflanzen bestimmen und herbarisieren. Außerdem begleiten sie Schulklassen, die mittlerweile zur Erkundung des universitären Lechmagerrasens anreisen. Botanische und zoologische Arten- und Formenkenntnisse können nun also künftig auf dem Universitätsgelände „vor Ort“ und in originaler Begegnung erworben werden. Auch das Prinzip der Flächen-Renaturierung ist so unmittelbar zur erleben und zu verstehen. Sowohl die Anlage wie auch die fortwährende Pflege der Uni-Heide nach dem praktizierten Kooperationsmodell bieten exzellente Bedingungen, ein breites Feld an Studierenden für zerstörte Naturräume zu sensibilisieren und für den Erhalt der Pflanzen- und Tierwelt zu begeistern. Die Übernahme von Verantwortung für einen mit eigenen Händen selbstangelegten Lebensraum schafft Nähe zu den Pflanzen und Tieren und führt nachhaltig zu einem achtsamen Umgang mit der sie umgebenden Natur. Damit leistet dieser Projektbaustein einen wertvollen Beitrag zur Biodiversitätsstrategie der bayerischen Staatsregierung und zugleich zum praktischen Naturschutz, aber auch in ganz besonderer Weise zur Innovation der Hochschullehre.
Augsburg begreift sich als Umweltstadt und hat für umweltfreundliche Technologien beträchtliche Investitionen getätigt, gerade auch im Süden des Universitätscampus. Der Naturschutz wurde bei den bisherigen Baumaßnahmen aber kaum über das vorgeschriebene Maß hinaus mitberücksichtigt. Dieses – unseres Wissens nach deutschlandweit einmalige Projekt, das nur dank der Kooperation zwischen Universität und Landschaftspflegeverband möglich geworden ist – zeigt, wie vorhandene Flächen durch kreative Maßnahmen aufgewertet werden können. Diese Flächen sind zudem energiesparend, weil sie wesentlich seltener gemäht werden müssen. Das Projekt ist, wie nochmals hervorgehoben werden soll, insbesondere sozial innovativ, weil durch neue Kooperationen erst der Erfolg ermöglicht wird und sichtbare Fortschritte im Naturschutz erzielt werden können: Außeruniversitäre Experten bringen ihre Expertise über Pflanzen und Tiere aus bedrohten Lebensräumen in die universitäre Lehre ein und bauen bei den Studierenden

wichtige Umweltkompetenzen zu deren Erhalt auf. Die erworbenen Kompetenzen machen es wiederum möglich, sich aktiv an Renaturierungsmaßnahmen zu beteiligen, und durch die weitere Pflege der neu geschaffenen Lebensräume leisten die Studierenden Hilfe darin, biologische Vielfalt zu erhalten. Die Erfahrung und das Wissen darüber, wie in der Gemeinschaft eine gewünschte Natur vor Ort aktiv geschaffen und erhalten werden kann, tragen die angehenden Lehrkräfte an künftige Schülergenerationen weiter und können diese nachhaltig prägen. So kann durchaus eine langsame, aber stetige Zunahme der Umwelt- und damit Lebensqualität in der näheren und weiteren Umgebung bewirkt werden. Gerade durch die Vernetzung verschiedener Expertisen in fachlicher, natur- und umweltbezogener und in didaktisch-methodischer Hinsicht verwirklicht dieser Projektbaustein in einzigartiger Ressourceneffizienz den Auftrag zur nachhaltigen Umweltbildung – und das ist in ganz besonderer Weise die förderliche Auswirkung für die Region Augsburg und Schwaben.

Literatur

- Liebig, N. (2011) Management von Flussschotterheiden in Augsburg, *BfN-Skripten*.
- Soentgen, J. (2016) Ökologie und Philoxenie, Merkur. *Deutsche Zeitschrift für europäisches Denken* (im Druck).

Die Terras Pretas im Amazonas-Gebiet

PROJEKTTEAM

- Prof. Dr. Sabine Timpf (Projektleitung)
  sabine.timpf@geo.uni-augsburg.de
  Tel.: 0821 598 2313
- Dipl.-Geogr. Carolin von Groote-Bidlingmaier
  Carolin.vonGroote-Bidlingmaier
  @geo.uni-augsburg.de
- Prof. Dr. Klaus Hilbert
  hilbert@pucrs.br
  Tel.: + 55 51 3320 3534
- Prof. Dr. Regis Alexandre Lahm
  lahm@pucrs.br
- Dr. Jens Soentgen
  jens.soentgen@wzu.uni-augsburg.de
  Tel.: 0821 598 3560
- Prof. Dr. Gabriele Herzog-Schröder
  gabriele.herzog-schroeder@ethnologie.lmu.de
  Tel.: 089 2180 9612

FÖRDERUNG

- Deutscher Akademischer Austauschdienst, DAAD (ProBral 2014-2015), Capes (Brasília, Brasilien)

Terras pretas im Amazonasgebiet: Analyse der räumlichen Verteilung zur Rekonstruktion von Wanderungsbewegungen präkolumbischer Kulturen

Worum geht es?

Die archäologischen Funde von „Terra Preta“ – anthropogener, fruchtbarer Schwarzerde – in Amazonien erfordern, die Geschichte der Besiedlung Amazoniens sowie die der Ökologie und Nutzung dieses riesigen tropischen Gebiets neu zu bewerten. Nicht nur die Frage nach der ökologischen Tragfähigkeit des tropischen Waldlands Amazoniens hinsichtlich möglicher Bevölkerungszahlen in vorkolumbischer Zeit wird neu gestellt. Sondern auch die Rolle des menschlichen Einflusses zwingt zu neuen Annahmen über die Besiedlungsgeschichte (Denevan 1992). Offensichtlich verfügten frühere Amazonienbewohner über kulturelles Wissen (Soentgen & Hilbert 2012), das ihnen erlaubte, die Bodenbeschaffenheit mit gezielten Eingriffen kleinräumig derart positiv zu verändern, dass weit höhere Gartenerträge erzielt werden konnten, als der Tropenboden dies entsprechend der klassischen Tropenökologie erwarten ließ. Im Umkehrschluss muss aber auch bestimmt werden, wie umfangreich die ansässigen Bevölkerungen gewesen sein müssen, um Areale von bis zu 80 ha (Hilbert 1955) Terra Preta produzieren zu können und inwiefern Wanderungsbewegungen der Völker zu den rezenten Terras Pretas-Vorkommen beitrugen.

Durchführung und Ergebnisse

Ziel des Projekts ist es zunächst, ein Modell für die Migrationen von Völkern auf Basis von geographischen, archäologischen sowie ethnohistorischen Daten mittels eines Geographischen Informationssystems zu entwickeln. Dazu wurden die archäologischen und ethnohistorischen Datengrundlagen gesichert: Daten finden sich

sowohl in historischen Quellen, in moderner Literatur als auch im Internet. Zwischen März und September 2014 wurden hunderte von Ausgrabungsstätten mit ihren Eigenschaften erfasst und in digitaler Form in einer eigens dafür entworfenen Datenbank integriert. Besonders die digitale Erfassung der historischen Quellen, die überwiegend auf alt-portugiesisch, spanisch oder deutsch vorliegen und zusätzlich neu interpretiert werden mussten, war um einiges aufwändiger als erwartet. Erst während unseres Aufenthalts in Porto Alegre im August und September 2014 konnten wir die Sammlung von derzeit über 650 Ausgrabungsorten mit einer hohen Datenqualität vorläufig abschließen. Es fehlen allerdings noch Datenquellen, die sich im Museum (Museu Goeldi) in Belem befinden.

Neben der Erfassung der sachlichen Informationen zu den Ausgrabungsorten selbst (Kultur, Tradition, Artefakte, Tiefe der Ausgrabung, verantwortliche Archäologen etc.) und deren Digitalisierung musste jeder Ausgrabungsort geographisch verortet (d.h. georeferenziert) werden. Hier ist die Qualität der vorhandenen Unterlagen sehr unterschiedlich – die Lage mancher Ausgrabungsorte ist nur schriftlich in einer kurzen (analogen) Beschreibung festgelegt, sodass eine hohe Unsicherheit der Positionierung besteht. Die einheitliche Georeferenzierung aller Ausgrabungsorte stellt im Vergleich zu den bisherigen Datensammlungen eine Innovation dar. Um die Daten in einem einheitlichen Rahmen visualisieren zu können, wurde eine Internet-Plattform (derzeit in der alpha-Version) zur Bereitstellung und Analyse der vorhandenen Daten konzipiert und technisch umgesetzt, die unter terrapreta.geo.uni-augsburg.de abgerufen werden kann. Damit steht erstmals eine (fast) vollständige Sammlung aller bekannten prä-kolonialen Siedlungsorte in digitaler Form zur Verfügung.

Die Unterfütterung dieser Plattform mit Analyse-Kapazitäten ist Gegenstand der laufenden Arbeit. Es kann vermutet werden, dass die Wahl des Siedlungsortes an bestimmte Umwelteigenschaften geknüpft ist. Beispielsweise waren Standorte in zu großer Distanz zu Wasser- und Nahrungsquellen unattraktiv. Basierend auf den in der Literatur genannten Eigenschaften wurden die Einflüsse der jeweiligen Umweltfaktoren genauer spezifiziert und unterteilt. Da manche Ressourcen nur in bestimmten Regionen verfügbar waren, kann angenommen werden, dass Siedlungsorte Netzwerke bildeten, innerhalb derer einzelne Siedlungsorte bestimmte Funktionen eingenommen haben. Durch den Einsatz multivariater statistischer Methoden wurden die unterschiedlichen Funktionen abgleitet und anschließend beurteilt.

Wie kann ein sich veränderndes Einzugsgebiet bestimmter Kulturen bestimmt werden, wenn lediglich wenige archäologische Ausgrabungsorte im Amazonasgebiet als Datengrundlage vorhanden sind? Die Vorgehensweise zur Berechnung dieser Flächen für unterschiedliche Zeitpunkte ist von den verfügbaren Eingabedaten und den bekannten (bspw. natur-räumlichen) Gegebenheiten abhängig. Die Basis für die Berechnung ist eine Kostenoberfläche, die den Bedarf und die Möglichkeiten der betrachteten präkolonialen Kulturen berücksichtigt. Das Einzugsgebiet einer Kultur wird dann unter Berücksichtigung der räumlichen Unsicherheit bestimmt. Bedingt durch die Datenqualität archäologischer Daten ist das Datenbankschema so konzipiert, dass räumliche Unsicherheiten durch variable maximale Distanzwerte berücksichtigt werden können. Basierend auf dem Kostenraster und der maximalen Distanz wird ein maximaler Kostenwert für jeden Ausgrabungsort berechnet, der als Basis für die Erstellung des Einflussgebiets dient.

Mögliche Entstehungsweisen von Terra Preta

An allen Ausgrabungsorten findet sich mindestens eine Schicht eines anthropogenen Bodens – der *Amazonian Dark Earth* oder auch Terra Preta. Es ist bisher nicht eindeutig geklärt, ob Terra Preta als Nebenprodukt einer Kultur („Küchenabfall-Theorie") oder als eine bewusste „Herstellung" von nährstoffreichen Böden in einer ansonsten nährstoffarmen Bodenlandschaft betrachtet werden kann („Kulturwissen-Theorie"). Möglicherweise können unsere Ergebnisse über vorhandene Umwelteigenschaften sowie unterschiedliche Funktionen der

In Schwarzerden werden stets Keramikscherben gefunden: Diskussion im Museu Goeldi, Belem.

Siedlungen einen weiteren Beitrag zur Frage nach der Genese von Terra Preta leisten. Derzeit untersuchen wir Kreislaufprozesse von giftigen und ungiftigen Stoffen, die nachweislich von Indianervölkern transformiert werden. Die bewusste Transformation des „Stoffes" Boden würde sich gut in diese Systemansicht eingliedern.

Ausblick

Auf Basis ethnologischer und ethnoarchäologischer Überlegungen sowie auf der Grundlage der Kartierung von Terra Preta-Fundorten (von Groote 2015) soll in einem Nachfolgeprojekt ein theoretisches Konzept zur Entwicklung und Besiedlung Amazoniens entwickelt werden. Aufbauend auf den Resultaten des aktuell bearbeiteten

Projekts soll dann stärker auf Terras Pretas fokussiert werden. Zugleich wird der symbolische Stellenwert von Terra Preta für die heute in Amazonien lebende Bevölkerung, bezüglich des Wissens um präkolumbische Kulturen und unter dem Eindruck der international geführten Debatte um Terra Preta, erforscht. Ziel des Projekts ist es, eine synoptische Plattform zu Terras Pretas aufzubauen und in der wissenschaftlichen *Community* zu etablieren. Die Plattform soll eine Basis für den wissenschaftlichen Diskurs zur Verfügung stellen und mit Hilfe von Analyse*tools* und Visualisierungen aus der Geographischen Informationswissenschaft die Exploration des Datenschatzes in einem WebGIS ermöglichen.

Publikationen

- Soentgen, J./Hilbert, K. (2013) Präkolumbianische Chemie, Chemie in unserer Zeit 46, S. 322-334 (Wiederabdruck in gekürzter Fassung in: *Tópicos, Deutsch-Brasilianische Hefte* 52(3).
- Soentgen, J./Hilbert, K. (2015) Terra preta als moderner Mythos, in: *Scheidewege* 45, S. 265 ff.
- Von Groote-Bidlingmaier, C./Hilbert, K./Timpf, S./Schwer, J. (2015) Interactive WebGIS for Archaeological Settlement Pattern Analysis – A Requirement Analysis, *International Cartographic Conference* 2015, full paper.
- Von Groote-Bidlingmaier, C./Timpf, S./Hilbert, K. (2014a) Estimating Moving Regions out of Point Data – from Excavation Sites in the Amazon region to Areas of Influence of Prehistoric Cultures, in: Huerta J./Schade, S./Granell, C. (Hg.) *Connecting a Digital Europe through Location and Place. Proceedings of the AGILE'2014 International Conference on Geographic Information Science,* June 3-6, Castellón, 2014.
- von Groote-Bidlingmaier, C./Timpf, S./Hilbert, K. (2014b) Erstellung von potenziellen Einflussgebieten auf der Basis von archäologischen Ausgrabungsorten – am Beispiel prähistorischer Kulturen im Amazonasgebiet, in: Strobl, J./Blaschke, J./Griesebner, G./Zagel, B. (Hg.) *Angewandte Geoinformatik* 2014 - Beiträge zum 26. AGIT-Symposium Salzburg, Berlin und Offenbach, S.77 - 86.
- Denevan, W. M. (1992) The pristine myth: the landscape of the Americas in 1492, *Annals of the Association of American Geographers* 82 (3), S. 369-385.
- Hilbert, P. P. (1955) *A cerâmica arqueológica da região de Oriximiná*, Belém: Instituto de Antropologia e etnologiea do Pará.
- Hilbert, P. P. (1968) *Archäologische Untersuchungen am mittleren Amazonas. Beiträge zur Vorgeschichte des südamerikanischen Tieflandes*, Berlin: Dietrich Reimer.
- Myers, T. P. (2004) Dark Earth in the Upper Amazon, in: Glaser, B. (Hg.) *Amazonian Dark Earths: Explorations in Space and Time*, Berlin: Springer, S.67.
- Petersen, J./Neves, E.G./Heckenberger, M.J. (2001) Gift from the past: terra preta and prehistoric Amerindian occupation in Amazonia, in: McEwan, C./Barreto, C./Neves, E. (Hg.) *Unknown Amazon*, London: British Museum, S. 86-105.
- Lefebvre, H. (1991) *The Production of Space*. New York: Blackwell, originally published as La Production de l'espace, Paris: Anthropos.

Virtuelles Alpenobservatorium

PROJEKTTEAM

- Prof. Dr. Jucundus Jacobeit
  jucundus.jacobeit@geo.uni-augsburg.de
  Tel.: 0821 598 2662
- Prof. Dr. Karl-Friedrich Wetzel
  karl-friedrich.wetzel@geo.uni-augsburg.de
  Tel.: 0821 598 2277
- PD Dr. Christoph Beck
  christoph.beck@geo.uni-augsburg.de
  Tel.: 0821 598 2129
- PD Dr. Matthias Bernhardt
  matthias.bernhardt@boku.ac.at
  Tel.: +43 147654 5508
- PD Dr. Andreas Philipp
  a.philipp@geo.uni-augsburg.de
  Tel.: 0821 598 2266
- Severin Kaspar
  severin.kaspar@geo.uni-augsburg.de
  Tel.: 0821 598 3564
- Georg Strobl
  georg.strobl@geo.uni-augsburg.de
  Tel.: 0821 598 3565
- Michael Weber
  m.weber@iggf.uni-muenchen.de
  Tel.: 089 3187 2582

PROJEKTPARTNER

- Bayerische Akademie der Wissenschaften, Abteilung Glaziologie der Kommission für Erdmessung und Glaziologie, Dr. L. Braun
- Bayerischer Lawinenwarndienst, B. Zenke
- BOKU Wien (Institute of Water Management, Hydrology and Hydraulic Engineering), Prof. Dr. K. Schulz
- Deutscher Wetterdienst (Station Zugspitze und Meteorologisches Observatorium Hohenpeißenberg), Dr. W. Thomas, Dr. J. Seltmann
- Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (Standort Davos), Dr. M. Lehning, Dr. C. Fierz
- Helmholtz Zentrum München (Institut für Strahlenschutz), Dr. K. Hürkamp, Dr. J. Tschiersch
- KIT (IMK-IFU Garmisch-Partenkirchen), Prof. Dr. H. Kunstmann
- Pyrenean Institute of Ecology (Zaragoza), Dr. N. Lopez-Moreno
- University of Saskatchewan (Global Institute for Water Security), Prof. Dr. J. Pomeroy
- Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik Wien, Dr. W. Schöner

FÖRDERUNG

- Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz

PROJEKTLAUFZEIT

- 2014-2017

Projekt Virtuelles Alpenobservatorium (VAO): Klimawandel und Wasserbilanz in Hochgebirgsregionen

Worum geht es?

Der Einfluss des Klimawandels auf den alpinen Raum war in den letzten Jahrzehnten im Vergleich zum globalen Durchschnitt überproportional stark ausgeprägt, was sich zum Beispiel in einem höheren Anstieg der Temperaturen widerspiegelt. Neben thermischen Auswirkungen werden auch Änderungen im Wasserhaushalt beobachtet. Schon heute stellt man Modifikationen in der jahreszeitlichen Verteilung des Niederschlags und des darin enthaltenen Schneeanteils, aber auch in den anderen Komponenten des Wasserkreislaufes wie zum Beispiel dem Speicherterm, also Schneerücklagen, Schneefallgrenze und Akkumulation/Ablation von Gletschereis, fest. Änderungen im Wasserhaushalt können nicht nur gravierende Auswirkungen auf das betroffene Ökosystem haben, sondern auch die Infrastruktur und Wirtschaft beeinflussen. Hochgebirgsregionen spielen aufgrund der dort verzeichneten hohen Niederschlagsraten, aber auch durch die Speicherfunktion von Schnee und Eis eine wichtige Rolle in der Wasserversorgung des Umlandes. Zudem machen diese Regionen attraktive Tourismusangebote, die vom Wasserkreislauf abhängig sind, wie beispielsweise der Wintertourismus von der Schneesicherheit.
Um rechtzeitig Gegenmaßnahmen gegen die potentiell negativen Auswirkungen des Klimawandels einleiten zu können, ist es nötig, die hydrologischen Komponenten des Wasserhaushaltes zu verstehen. Gerade hier besteht bisher aber ein großes Forschungsdefizit.
Eine besondere Herausforderung stellt die Beschreibung kleinskaliger atmosphärischer Prozesse dar, welche für den Wasserkreislauf von entscheidender Bedeutung sind. In diesem Projekt werden deshalb statistische *Downscaling*-Modelle (erläutert im Unterkapitel „Methoden“) entwickelt, welche die Variabilität der alpinen Klimaelemente Temperatur, Niederschlag, Wind, Feuchtemaße oder Strahlung simulieren können. Die statistischen Modelle sollen zudem in der Lage sein, verlässliche Zukunftsprojektionen des Klimas zu liefern, um mögliche zukünftige Änderungen im Wasserhaushalt aufzuzeigen.

Durchführung und Ergebnisse

Klimaprojektionen werden mit Hilfe globaler Klimamodelle, sogenannten *„General Circulation Models“* (GCMs) oder *„Earth System Models“* (ESMs), erstellt. Klimamodelle besitzen typischerweise diverse Einschränkungen, wie zum Beispiel eine zu niedrige räumliche Auflösung. Der „Flaschenhals“ ist dabei die aktuell unzureichende Computerleistung selbst großer Rechenzentren. Die übliche horizontale räumliche Auflösung der Atmosphäre globaler Klimamodelle im aktuellen fünften Sachstandsbericht des IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), einem der umfangreichsten Sammlungen aktueller Klimaforschung, liegt derzeit bei 0.5° - 4° Länge und Breite (Taylor et al. 2012), wobei eine Auflösung von 2° im europäischen Raum in etwa einer Kantenlänge von 180 km entspricht. Verlässliche Aussagen über die zukünftige Entwicklung von Klimaelementen europäischer Regionen mit komplexem

Relief, wie dem der Alpen, sind damit nicht zu treffen, da die für das lokale Klima wichtigen mikro- und mesoklimatischen Strukturen und Prozesse im groben Raster globaler Klimamodelle nicht dargestellt werden können. Um dennoch eine Aussage für den heterogenen Raum der Alpen treffen zu können, benötigt man sogenannte *Downscaling*-Verfahren, die aus dem großskaligen Klimamodell-*Output* (Prädiktoren) kleinskalige Informationen (Prädiktanden) generieren können. Die Modellbildung basiert auf Beobachtungsdaten, die im Hinblick auf das Lokalklima (Prädiktanden) an Klimamessstationen in den höheren Lagen der Alpen aufgezeichnet werden. Das hat den Vorteil, sich im direkten Einflussbereich der freien Atmosphäre zu befinden und damit den Zusammenhang zwischen Atmosphäre und lokalem *Feedback* ungestörter erfassen zu können. Allerdings liegen die untersuchten Stationen in stark reliefiertem Terrain, was eine hohe Beeinflussung des Mikro- und Mesoklimas vermuten lässt und somit das *Downscaling* womöglich erschwert.

Daten

Neben den Klimadaten globaler Modelle für die Projektion der Szenarien werden Referenzdaten benötigt, um die *Downscaling*-Modelle zu kalibrieren. Die Variablen zur Beschreibung der großskaligen Atmosphärenvariabilität werden aus einem Reanalysedatensatz entnommen, konkret dem *20th Century Reanalysis*-Datensatz der US-amerikanischen *National Oceanic and Atmospheric Administration* (Compo et al. 2011). Reanalysedaten werden mit speziellen Vorhersagemodellen erstellt und gelten als beobachtungsnahe Datensätze. Das besondere an diesem Datensatz ist die weit zurückreichende zeitliche Verfügbarkeit von 2014 bis in das Jahr 1871. Die räumliche Auflösung von 2° ist ähnlich wie die der meisten globalen Klimamodelle, die Klimadaten werden dabei unter anderem auf täglicher Basis zur Verfügung gestellt. Typische aus den Reanalysen entnommene Prädiktoren sind der mittlere Luftdruck auf Meereshöhe sowie die Höhe unterschiedlicher Luftdruckniveaus der Atmosphäre (Geopotentielle Höhen), die Stärke horizontaler und vertikaler Luftströmungen, Feuchtemaße oder die Lufttemperatur.

Die Zielgrößen des *Downscaling*-Ansatzes sind tägliche Temperatur- und Niederschlagswerte der hochalpinen Messstationen Zugspitze und Sonnblick. Beide Zeitreihen reichen weit in die Vergangenheit zurück, an der Zugspitze stehen Messdaten seit 1900 und am Sonnblick seit 1886 zur Verfügung.

Die Daten globaler Klimamodelle, welche für die Zukunftsprojektionen benötigt werden, können aus dem frei-zugänglichen CMIP5- (*Coupled Model Intercomparison Project Phase 5*) Ensemble entnommen werden. Das CMIP5-Ensemble stellt ein Sammelsurium von Klimamodellen dar, welche von unterschiedlichen Institutionen weltweit entwickelt worden sind. Beispiele sind das *Max-Planck-Institute Earth System Model* (MPI-ESM) des Max-Planck-Institutes, das *Hadley Centre Global Environment Model* (HadGEM) des britischen *Hadley Centers* oder das Modell eines Europäischen Gemeinschaftsprojektes: *EC-EARTH*.

Methoden

Der *Downscaling*-Ansatz, der in diesem Projekt verfolgt wird, nennt sich *„Perfect Prognosis“* oder *„Perfect Prog“* (Rummukainen 1997). Zunächst wird das statistische Modell anhand von Messdaten kalibriert. Nach ausreichender Validierung der Modellgüte kann das kalibrierte Modell anschließend mittels globaler Klimamodelle angetrieben werden. In der Praxis finden in *Perfect Prog* sehr unterschiedliche *Downscaling*-Modelle Verwendung, von denen im Folgenden zwei nichtlineare statistische Methoden vorgestellt werden.

Reference Class Forecast-Modelle

Das Prinzip dieses Verfahrens beruht auf der Erstellung von Wetterlagenklassifikationen, also der Gruppierung ähnlicher beobachteter atmosphärischer Zirkulationstypen zu Klassen und der Ermittlung des typischen Temperatur- bzw. Niederschlagswertes am Zielstandort für jede dieser Klassen. Zur Modellierung können anschließend neue Zirkulationsdaten den Klassen zugeordnet und der typische Wert der entsprechenden Klasse als Modellwert verwendet werden. Die Modellgüte lässt sich im Falle der Validierung dann unter anderem durch den quadrierten Korrelationskoeffizienten zwischen Modellwertreihe und beobachteten Temperaturen und Niederschlagssummen ermitteln. Im Rahmen des VAOII-Programms wurden zunächst die geeignetsten Klassifikationen aus der schon bestehenden COST733-Datenbank (Philipp et al. 2014) ermittelt. Weiterhin wurden spezielle Klassifikationen entwickelt, die individuell für Temperatur und Niederschlag an den genannten Stationen optimiert sind, insbesondere durch die Integration der optimal gewichteten Zielvariablen selbst. Abbildung 1 zeigt, dass für die Temperatur der Stationen Zugspitze und Sonnblick bereits recht hohe Modellgüten erreicht werden. Die Entwicklung unterschiedlicher Klassifikationsansätze in diesem Projekt ist, bis auf einige ausstehende Anpassungen, weitestgehend abgeschlossen. Eine dieser Anpassungen bezieht sich auf die Aufbereitung der Daten: es hat sich interessanterweise herausgestellt, dass nicht immer die individuell optimierten VAOII-Klassifikationen sondern häufig COST733-Klassifikationen mit einer vorgeschalte-

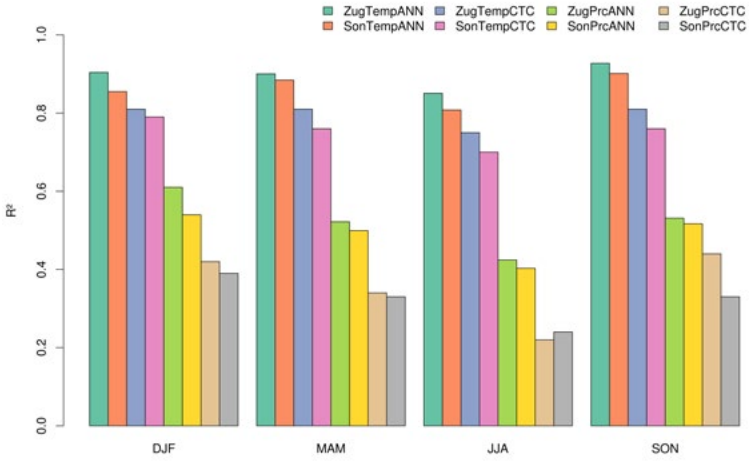


Abb. 1: Mittlere erklärte Varianzen R^2 für die Zielgrößen Temperatur (Temp) und Niederschlag (Prc), welche im Rahmen der Validierung der künstlichen Neuronalen Netze (ANN) und Wetterlagenklassifikationen (CTC) für die Zugspitze (Zug) und den Sonnblick (Son) saisonal (Winter: DJF, Frühling: MAM, Sommer: JJA, Herbst: SON) ermittelt wurden.

ten Hauptkomponentenanalyse am besten abschneiden. Dies ist ein Hinweis auf weiteres Steigerungspotential der Modellgüte, da vorgeschaltete Hauptkomponentenanalysen für die VAOII-Klassifikation bislang noch nicht durchgeführt wurden.

Künstliche Neuronale Netze (KNN)

Künstliche Neuronale Netze stellen ein Verfahren dar, um nichtlineare Zusammenhänge zwischen zwei Variablen, hier Prädiktor (Zirkulation) und Prädiktand (Temperatur oder Niederschlag an der Messstation) zu approximieren. Die Optimierung von KNNs stellt den momentanen Arbeitsschwerpunkt dar. Abbildung 2 zeigt den schematischen Aufbau eines typischen KNNs. Die Information, enthalten in den Prädiktorvariablen, wird von der Eingabeschicht (*Input Layer*) über gewichte Verbindungen hin zu Schnittstellen (Neuronen im *Hidden Layer*, in Abb. 2 dargestellt als Kreise) und schließlich zur Ausgabeschicht (*Output Layer*), welche den Prädiktanden repräsentiert, weitergegeben. Die Schwierigkeit besteht darin, gute Werte für die Gewichte zu finden, was in der Kalibrierungsphase durch iterative Optimierung mittels Lernalgorithmen bewerkstelligt wird. Außerdem müssen, um eine gute Netzkonfiguration zu finden, diverse Einstellungen, sogenannte Hyperparameter, getestet werden. Beispiele für Hyperparameter sind Schritte im Präprozessing, z.B. die Standardisierung oder Skalierung der Prädiktoren, die gewählte Anzahl an Versteckten Neuronen (*Hidden Neurons*), die Anzahl an *Hidden Layer* oder diverse Parameter, welche den Lernalgorithmus konfigurieren (Lernrate u.a.). KNNs reagieren meist sehr sensibel auf Fehleinstellungen. Typische Probleme sind einerseits das *Underfitting*: hierbei wird kein

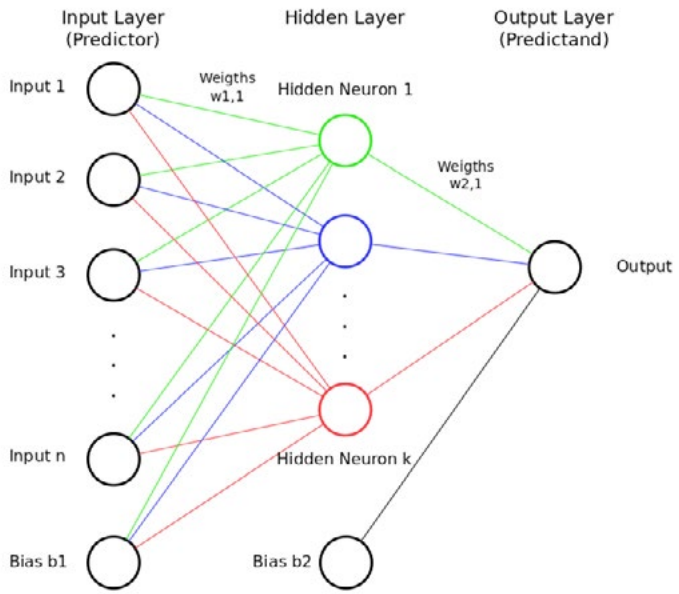


Abb. 2: Schematischer Aufbau eines Neuronalen Netzes. Eingabeschichten werden als Input Layer, die Ausgabe des Netzes als Output Layer bezeichnet. Dazwischen kann eine beliebige Anzahl an verdeckten Schichten, den sogenannten Hidden Layern, mit einer beliebigen Anzahl an Versteckten Neuronen (Hidden Neurons) platziert werden, welche über gewichtete Verbindungen mit den umliegenden Schichten verknüpft sind. Der Input Layer wird durch die Eingabedaten (Prädiktoren) definiert, während der Prädiktand den Output Layer darstellt.

Zusammenhang zwischen Prädiktoren und Prädiktand gefunden. Andererseits bereitet *Overfitting* Schwierigkeiten, da der Zusammenhang zwischen Prädiktoren und Prädiktand sozusagen „auswendig gelernt“ wird, was zur

Folge hat, dass das Modell neue, unbekannte Daten nicht sinnvoll verarbeiten kann. Abbildung 3 zeigt exemplarisch eine Sensitivitätsstudie bezüglich der Anzahl an verwendeten Versteckten Neuronen. Beobachtet wird hierbei ein erneutes Ansteigen des Fehlers (dargestellt durch den *Mean Square Error*, MSE) bei zu großer Anzahl an Versteckten Neuronen, was als Zeichen für *Overfitting* des KNN zu werten ist.

Ergebnisse

Aktuelle Ergebnisse kalibrierter KNNs für das Beispiel der Zugspitze werden in Abbildung 4 für Temperatur und Abbildung 5 für Niederschlag dargestellt. Es wurden dafür mehrere Konfigurationen (12 für die Temperatur und 16 für den Niederschlag) auf saisonaler Basis entwickelt. Berücksichtigt wurden dabei unterschiedliche Prädiktor-Kombinationen und Einstellungen bezüglich der KNNs, wie zum Beispiel eine variierende Anzahl an verdeckten Neuronen. Während die Temperatur gut auf die dazugehörigen beobachteten Messwerte (Obs in Abb. 4 und 5) abgebildet wird, zeigen sich beim Niederschlag kleinere Abweichungen. Der Niederschlag erweist sich aber generell und unabhängig von der gewählten Methode als schwer fassbare Größe beim *Downscaling*. Verglichen mit den Wetterlagenklassifikationen konnte in allen Bereichen die Güte der Modelle mittels Neuronaler Netze verbessert werden (siehe Abb. 1).

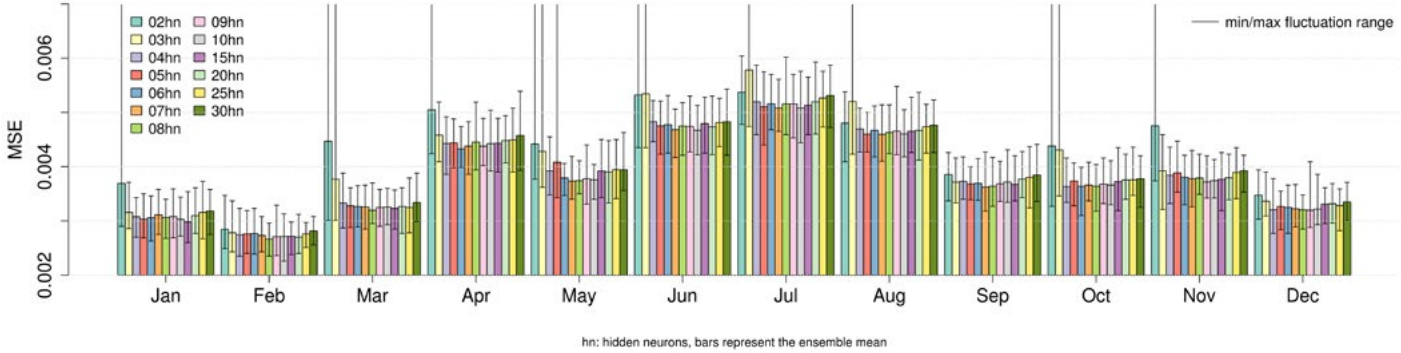
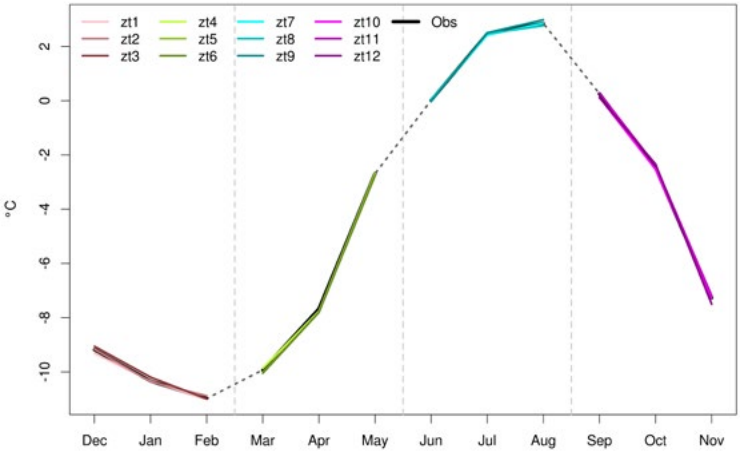


Abb. 3: Bei zunehmender Anzahl an Neuronen nimmt die Güte im Validierungszeitraum zu, bis ein kritischer Punkt überschritten wird. Ab dann wird das Netz zu komplex und tendiert zum Overfitting, d.h. die Generalisierungsfähigkeit des Modells nimmt ab, was sich in einer erneuten Zunahme des Fehlers (hier MSE: Mean Square Error) widerspiegelt. Die Modelle wurden im Zeitraum 1900-2000 kalibriert, wobei 20% der Daten zufällig zur Validierung separiert wurden.

Zusammenfassung und Ausblick

In den letzten zwei Jahren wurden für die Zugspitze und den Sonnblick *Downscaling*-Ansätze entwickelt, mit dem Ziel, wasserhaushaltsrelevante Größen abzuschätzen. Zwei nichtlineare statistische Verfahren, die Wetterlagenklassifikation und Künstliche Neuronale Netze wurden dafür verwendet. Es zeigte sich, dass beide Verfahren und insbesondere die Neuronalen Netze in der Lage sind, Temperaturen und Niederschläge in den untersuchten hochalpinen Regionen zu simulieren. Die kalibrierten statistischen Modelle können im weiteren Projektverlauf dazu genutzt werden, die zukünftigen klimatologischen Veränderungen in den Alpen zu projizieren. Diese Szenariorechnungen wiederum können verwendet werden, um dynamische Klima-Impaktmodelle, etwa zur Schneehydrologie oder Gletscherdynamik anzutreiben. Dies wird in einem weiteren Teilprojekt des VAOII umgesetzt werden.



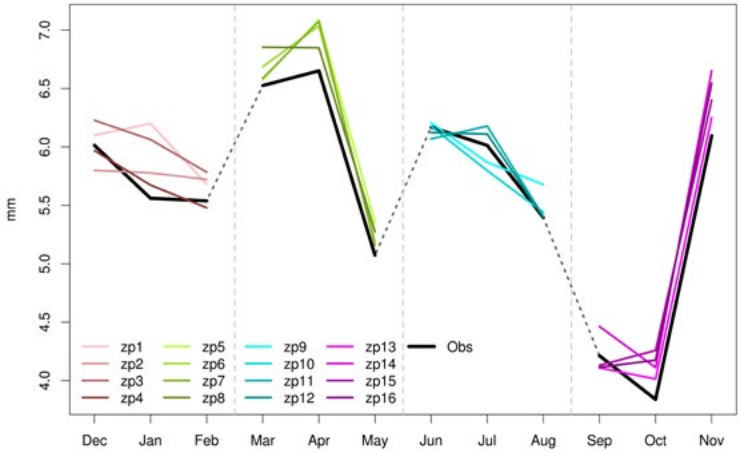


Abb. 4 und 5: Validierung der mittleren Monatstemperaturen und Monatsniederschläge, errechnet mittels KNNs. Die Modelle wurden im Zeitraum 1970-2000 kalibriert, wobei 20% der Daten zufällig zur Validierung separiert wurden. Die Abkürzungen in der Legende bedeuten: Obs=Beobachtung, z=Zugspitze, t=Temperatur, p=Niederschlag, während die Ziffer die unterschiedlichen Setups nummeriert (12 für Temperatur und 16 für Niederschlag). Jedes Setup ist für eine Saison und einen Prädiktanden gültig.

Literatur

- Compo, G. P./Whitaker, J. S./Sardeshmukh, P. D./Matsui, N./Allan, R. J./Yin, X./Crouthamel, R. I./Grant, A. N./Groisman, P. Y./Jones, P. D./Kruk, M. C./Kruger, A. C./Marshall, G. J./Maugeri, M./Mok, H. Y./Nordli, Ø./Ross, T. F./Trigo, R. M./Wang, X. L./Woodruff, S. D./Worleyu, S. J. (2011) The Twentieth Century Reanalysis Project, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 137, S. 1-28.
- Philipp, A./Beck, C./Huth, R./Jacobeit, J. (2014) Development and comparison of circulation type classifications using the COST 733 dataset and software, *International Journal of Climatology*, DOI: 10.1002/joc.3920.
- Rummukainen, M. (1997) Methods of statistical downscaling of GCM simulations, *SMHI Rapporter. Meteorologi och Klimatologi* 80.
- Taylor, K. E./Stouffer, R. J./Meehl, G.A. (2012) An Overview of CMIP5 and the Experiment Design, *Bulletin of the American Meteorological Society* 93, S. 485-489.

WISSENSVERMITTLUNG UND ANWENDUNG

73 Arbeitskreis Nachhaltigkeit
78 Disziplinübergreifende Lehrveranstaltungen
81 Stoffgeschichten

Arbeitskreis Nachhaltigkeit

PROJEKTTEAM

- Thomas Cyris
  thomas.cyris@zv.uni-augsburg.de
  Tel.: 0821 598 4963
- Dr. Simon Meißner
  meissner@wzu.uni-augsburg.de
  Tel.: 0821 598 3562
- Dr. habil. Claudia Schmidt
  schmidt@wzu.uni-augsburg.de
  Tel.: 0821 598 3575
- Dr. Jens Soentgen
  soentgen@wzu.uni-ausgburg.de
  Tel.: 0821 598 3560

PROJEKTBETEILIGTE/WEITERE MITGLIEDER DES ARBEITSKREISES

- Franziska Bauer
  Franziska.bauer@phil.uni-augsburg.de
  Tel.: 0821 598 5605
- Ariane Lubberger
  ariane.lubberger@wzu.uni-augsburg.de
  Tel.: 0821 598 3575

FREIE MITARBEIT DES ALLGEMEINEN STUDIERENDENAUSSCHUSSES (ASTA)

- Seraja Bock
  umwelt@asta.uni-ausgburg.de
  Tel.: 0821 598 5168
- Ann-Kathrin Rau
  umwelt@asta.uni-augsburg.de
  Tel.: 0821 598 5168

BETEILIGTE STUDIERENDENVERTRETUNGEN

- Fachschaft Geographie
- Fachschaft Umweltethik

HOMEPAGE

- www.uni-augsburg.de/ak/nachhaltigkeit

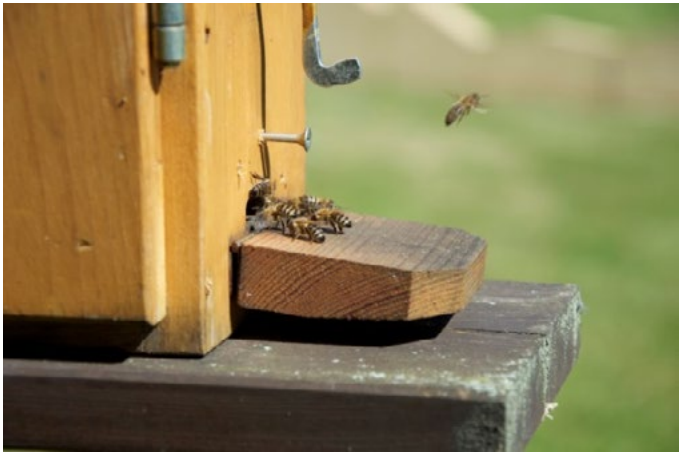
Worum geht es?

Der 2012 gegründete Arbeitskreis „Nachhaltigkeit“ hat zum Ziel, nachhaltige Inhalte und Prozesse an der Universität Augsburg voranzutreiben, zu vermitteln und durch Projekte zu fördern. Dies bezieht sich insbesondere auf Abläufe und Strukturen in der Administration, jedoch auch auf die Motivation der Beschäftigten und Studierenden.
Um Nachhaltigkeit in Forschung und Lehre authentisch vermitteln zu können, bedarf es der Implementierung zukunftsfähigen Denkens und Handelns auf dem eigenen Campus. Dies möchte der Arbeitskreis unterstützen.

Zielsetzung & Methoden

Eine geeignete Möglichkeit für den Arbeitskreis, Nachhaltigkeit langfristig umzusetzen, ist es, sich anhand von Schwerpunktthemen durch Projekte zu engagieren. Diese beziehen sich auf umfassende Bereiche wie Optimierungen im Bereich des Energie- und Stoffstrommanagements sowie auf Umsetzung einer nachhaltigen Entwicklung im „Campusleben“. Die Mitglieder des Arbeitskreises haben verschiedene Projektansätze als Schwerpunkte

festgesetzt und eine personelle Zuordnung vorgenommen, welche das Durchführen mehrerer Projekte parallel ermöglicht. Mit dieser Vorgehensweise können Aktivitäten für unterschiedliche Zielgruppen und verschiedene Prozesse kontinuierlich weiter ausgebaut werden.



Bienentag 2015 an der Universität Augsburg

Durchführung und Ergebnisse

Der Arbeitskreis engagiert sich auf mehreren Ebenen: zum einen uni-intern mit Projekten, welche nachhaltige Prozesse in Administration, Gebäuden und auf Beschäftigtenebene anstoßen sollen, zum anderen mit Aktivitäten, welche in Zusammenarbeit mit Studierenden (Seminar „Nachhaltiges Handeln") durchgeführt werden. In folgenden Projekten konkretisiert sich das Engagement des Arbeitskreises:

Durchführung des „ÖKOPROFIT – Wirtschaftsraum A3" am Rechenzentrum

Zur Verbesserung des betrieblichen Umweltschutzes von Firmen und Behörden wird seit einigen Jahren das Umweltschutzmanagementsystem „ÖKOPROFIT" durch die Stadt Augsburg und weitere Kooperationspartner (u.a. Bayerisches Landesamt für Umwelt, IHK Schwaben) angeboten. Dabei sollen für Teilnehmer unter fachkundiger Beratung praxisnahe Maßnahmen zur ökologischen und ökonomischen Verbesserung erarbeitet und umgesetzt werden.

Die Universität Augsburg führte bereits 2004 auf Initiative des Wissenschaftszentrums Umwelt sowohl für den „Innocube" (Gebäude U) als auch für das Sportzentrum das Umweltschutzmanagementsystem mit Optimierungsmaßnahmen durch. Die Zentralbibliothek und die Teilbibliothek Geisteswissenschaften konnten im Jahr 2007 im Rahmen des „ÖKOPROFIT" ebenfalls analysiert und bewertet werden.

Aufbauend auf diesen Erfahrungen wurde vom Arbeitskreis Nachhaltigkeit in 2014 das Rechenzentrum als zentrale Einrichtung mit vielfältigen spezifischen Material- und Energieverbräuchen als besonders wichtiger und interessanter Dreh- und Angelpunkt benannt, um Einsparpotentiale im Bereich der Ressourcenschonung und Optimierung der Betriebsabläufe zu ermitteln. Vorteil ist, dass der besondere Fokus der energetischen Betrachtung von Betriebsabläufen auch für weitere Bereiche der Universität wichtige Ansatzpunkte zur Optimierung und für Einsparungen liefern wird. Die Projektgruppe aus Mitgliedern des Rechenzentrums, des Arbeitskreises „Nachhaltigkeit" sowie der Abteilung „Bau und Technik" wurde daraufhin gebildet und im März 2015 konnte

der erste Workshop mit dem externen Auditor abgehalten werden. Zwei weitere Vor-Ort-Termine wurden anschließend mit folgenden Schwerpunkten durchgeführt:

- Sammlung und Auswertung der vorhandenen Datenbasis
- Erfassung der Hauptenergieverbräuche
- Besichtigung des Rechenzentrums mit Schwerpunkt Maschinensaal sowie CIP-Räume
- Unterlagenbewertung zur Vorbereitung der Kommissionsprüfung

Die im Rahmen der Workshops erarbeiteten Ergebnisse und resultierenden Maßnahmen werden vom externen Auditor in Abstimmung mit dem Projektteam dargelegt und anschließend nach den vorhandenen Möglichkeiten umgesetzt.
Für das Frühjahr 2016 ist die Kommissionsprüfung (mit anschließender Zertifizierung als ÖKOPROFIT-Betrieb) durch das Umweltamt der Stadt Augsburg geplant.

Weiterhin ist es der Universität Augsburg möglich, parallel zur Projektdurchführung am „ÖKOPROFIT – CLUB 2015/2016“ teilzunehmen. Es handelt sich dabei um eine Initiative der Stadt Augsburg, bei der bereits zertifizierte Betriebe im Rahmen von mehreren gemeinsamen Workshops separat betreut werden. Hier werden bisherige Umweltleistungen der Teilnehmer weiterentwickelt, Informationen über umweltfreundliche Technologien vermittelt und ein Erfahrungsaustausch zwischen den Betrieben gefördert.

Sammlung leerer Tinten- und Tonerkartuschen an der Universität Augsburg
„Qualitätsverlust beim Drucken durch wieder befüllte Patronen und Kartuschen“ – von diesem Problem hat jeder schon einmal gehört. Warum engagiert sich die Universität Augsburg trotzdem für die Sammlung und Rückführung gebrauchter Patronen an die Hersteller? Weil die an der Uni genutzten Marken ihre Produkte eben nicht aufbereiten und erneut verkaufen, sondern einem tatsächlichen Recycling zuführen. Dabei kommt vor allem der Kunststoff zurück in den Produktionskreislauf, dies trifft aber auch auf die Toner bzw. Tintenreste zu. HP beispielsweise nutzte in den letzten 15 Jahren mehr als 53.000 Tonnen eigenes, recyceltes Plastik für die Herstellung neuer Produkte. Bei Lexmark enthalten neue Druckerpatronen und Kartuschen mittlerweile knapp 30% wiedergewonnen Kunststoff. Im Sinne der Reduzierung von Abfallmengen insgesamt aber auch als Beitrag zur Schonung von Primärressourcen und -rohstoffen sind geschlossene Produktionskreisläufe auf jeden Fall ein Ziel für die zukunftsfähige Industrie und Wirtschaft.
Auch die Universität Augsburg hat einen hohen Verbrauch an Tintenpatronen und Kartuschen und steht ebenfalls vor der Aufgabe, für eine effiziente und nachhaltige Entsorgung zu sorgen.
Zur Vereinheitlichung von Verwaltungsabläufen wurde die Beschaffung von Tonerkartuschen über die entsprechende Abteilung in der Zentralverwaltung neu organisiert. Damit entfällt die Möglichkeit, die bisherige dezentrale Rückgabe bzw. einen „vor Ort-Austausch“ bei den wissenschaftlichen Einrichtungen durchführen zu können. Dies bedeutet resultierend einen nicht unbedeutenden Sammel- und Transportaufwand für die Mitarbei-

Grow-Bags an der Universität Augsburg

ter des Referats Gebäudemanagement.
Durch die vorgegebenen neuen Rahmenbedingungen entstand die Idee, eine allgemeine und zentrale Entsorgung von Tonerkartuschen aufzubauen und langfristig zu institutionalisieren.
Daraufhin wurden an der Universität Augsburg in einem Modellversuch im Frühjahr 2015 zunächst an vier Aufstellungsorten Tonersammelboxen positioniert (u.a. Präsidiumsgebäude, Gebäude D sowie in der Fakultät für Informatik und der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät). Hier können Tonerkartuschen verschiedener Hersteller einerseits in die „ÖkoBox" eingeworfen werden, weiterhin werden Lexmark - Kartuschen in einem zusätzlichen Behältnis erfasst. Den Transport zur Poststelle sowie den Austausch leerer Boxen unterstützt das Referat „Gebäudemanagement". Die Abholung der vollen Behälter erfolgt über externe Lieferanten. Wird dieses Erfassungssystem im Rahmen der Testphase gut angenommen, ist eine Erweiterung der Sammelstellen auf weitere Gebäude angedacht.

Folgende Projekte wurde im Rahmen des Seminars „Nachhaltiges Handeln" realisiert:

- Am 30. Juni konnten sich die Besucher des Universitätscampus eingehend mit den Themen der Nachhaltigkeit auseinandersetzen. Auf dem Aktionstag „Nachhaltigkeit" gab es, neben einem zentralen Stand mit zahlreichen Informationsmaterialien und kundigen Ansprechpartnerinnen, die Möglichkeit, regionale, saisonale, biologische und vegane Kost zu probieren. Außerdem konnten sich die Besucher für das „Stadtradeln"-Team der Universität Augsburg anmelden, am Stand der Hochschulgruppe „Offene Käfige e.V." etwas über das Leben von Nutz- und Haustieren lernen und nicht zuletzt den vielfältigen Aktivitäten der Fachschaft Geographie begegnen. Höhepunkt des Aktionstages war für viele Besucher das Nachhaltigkeitsquiz, bei dem es für jede richtige Antwort wertvolle – nachhaltige – Sachpreise zu gewinnen gab.
- Bereits zwei Tage später fand gemeinsam mit dem AStA der Universität Augsburg ein „Bienentag" auf dem Campus statt. Auslöser dieses Aktionstages war die Rückkehr der Bienen in ihr Sommerdomizil am Unisee. Dank der fachkundigen Unterstützung durch den Imkerverein Gessertshausen e.V. gab es neben dem bunten und detailreichen Informationsprogramm

der Studierenden auch in diesem Jahr wieder Honigverkostungen und einen Verkaufsstand vor der Alten Cafeteria. Luftballons wiesen den Weg zu den Bienenstöcken, an welchen neben mehreren Rätseln, Infotafeln und Schaukästen auch ein Wildblumenfeld gesät werden konnte. Der Besuch einer vierten Klasse der Bleriot-Grundschule brachte den Aktionstag richtig „in Schwung“ und zog umso mehr Studierende an. Die Bienen am Unisee leisten einen wichtigen Beitrag zur Biodiversität auf dem Campus und führen zudem direkt vor Augen, welche Bedeutung allein diesen Insekten beim Erhalt der Pflanzenvielfalt zukommt.

- Die Pflanzenvielfalt auf dem Universitätscampus steigerte noch eine weitere Aktion im vergangenen Sommer: seit Juni 2015 befinden sich zwischen dem Institut für Geographie und dem Studierendenhaus zwei sogenannte *Grow-Bags*. In diesen großen braunen Filzsäcken finden sich jeweils kleine Nutzgärten mit Zwiebelgewächsen, Kartoffeln, Kräutern, Karotten und vielem mehr. Sie werden von der Stadt Augsburg kostenlos zur Verfügung gestellt und stehen anschließend für alle Bürger zur Nutzung bereit. So kann an der Universität Augsburg also gesät, gejätet, gewässert und nicht zuletzt „regionalstes“ Biogemüse geerntet werden. Die *Grow-Bags* konnten in Zusammenarbeit mit den Fachschaften Umweltethik und Geographie initiiert und dank der freundlichen Unterstützung der Mitarbeiter des Referats „Gebäudemanagement“ aufgestellt werden. Die Schirmherrschaft sowie die alltägliche Pflege der Säcke übernimmt dankenswerterweise die Fachschaft Geographie.

Bienentag 2015 an der Universität Augsburg

Zur Durchführung der Projekte war wieder die Zusammenarbeit mit der Zentralverwaltung der Universität Augsburg sehr hilfreich. Der Arbeitskreis möchte sich bei allen unterstützenden Kontaktpersonen, aber besondere bei den Mitarbeitern des Referats „Gebäudemanagement“ und bei Frau Reiser, Referat III/4 der Abteilung „Haushalt- und Beschaffungswesen“, für die Kooperation und Projektidee bedanken.

Disziplinübergreifende Lehrveranstaltungen

PROJEKTTEAM

- Thomas Cyris
  thomas.cyris@zv.uni-augsburg.de
  Tel.: 0821 598 4963
- Ariane Lubberger
  ariane.lubberger@wzu.uni-augsburg.de
  Tel.: 0821 598 3575
- Dr. Simon Meißner
  meissner@wzu.uni-augsburg.de
  Tel.: 0821 598 3562
- Prof. Dr. Armin Reller
  armin.reller@wzu.uni-augsburg.de
  Tel.: 0821 598 3000
- Dr. habil. Claudia Schmidt
  schmidt@wzu.uni-augsburg.de
  Tel.: 0821 598 3575
- Dr. Jens Soentgen
  soentgen@wzu.uni-ausgburg.de
  Tel.: 0821 598 3560

PROJEKTPARTNER

- AStA Universität Augsburg, Ann-Kathrin Rau
- Bayerisches Landesamt für Umwelt,
  Dr. Katharina Stroh und Christian Tausch
- Institut für Geographie, Prof. Dr. Jucundus Jacobeit
- Offene Käfige e.V. (ehemals Vegane Hochschulgruppe), Ramesh Glückler
- Stadt Augsburg, Agendabüro, Dr. Norbert Stamm
- Werkraum Augsburg gUG, Bianka Groenewolt
- Zentralverwaltung der Universität Augsburg, Thomas Stempfle, Henry Plandowski, Nikolaus Krauß (Sportzentrum) sowie die Mitarbeiter des Beschaffungswesens (Abteilung III)

Stille und Lärm als Umweltfaktoren: im schalltoten Raum des Landesamts für Umwelt.

Disziplinübergreifende Lehrveranstaltungen

Worum geht es?

Zukunftsfähiges Denken und Handeln zu lehren und zu vermitteln ist die Aufgabe der universitären Lehre des Lehrstuhls für Ressourcenstrategie und des Wissenschaftszentrums Umwelt. Dies geschieht – wie es Themen der Ressourcenstrategie und der Bildung für eine nachhaltige Entwicklung erfordern – in disziplinübergreifenden Lehrveranstaltungen.

Universitäre Lehre

Das Verständnis komplexer globaler Zusammenhänge, die Kommunikation zwischen Fachdisziplinen und das Nachdenken über theoretische, aber vor allem praktische Lösungswege sowie Strategien für aktuelle Problemfelder sind zentrale Inhalte in den Vorlesungen und Seminaren, die im vergangenen Jahr angeboten wurden. Als Grundlage hat sich hierbei das im Jahr 2013 erschienene Lehrbuch „Ressourcenstrategien" etabliert.
Auch das inneruniversitäre Netzwerk zur Durchführung der Veranstaltungen hat sich gefestigt und erweitert. Die Qualität der Lehre wird so kontinuierlich verbessert. Fortgesetzt wurde die in Kooperation mit dem LfU ausgerichtete Vortragsreihe „Umweltschutz heute". Gegenstand der Vorträge waren im Wintersemester 2014/2015 Fragen rund um den Klimawandel. Die Vorträge im Sommersemester 2015 beschäftigten sich mit „Energie und Ökologie" und boten Einblicke in politische Aspekte zu diesem Themenkomplex. Darüber hinaus konnten weitere externe Kooperationspartner gewonnen werden, welche die Arbeit mit ihrer Expertise unterstützen und den Studierenden eine praktische Plattform bieten, um theoretische Grundlagen testen zu können.

In jenen Seminaren, in denen ein direktes praktisches Tätigwerden nicht möglich ist, ist der disziplinübergreifende Austausch eine Herausforderung. Es werden Themen bearbeitet, für die sowohl der natur- als auch der geistes- bzw. sozialwissenschaftliche Blick notwendig ist. Dabei setzen sich die Studierenden im Rahmen der Humanökologie beispielsweise mit der Frage nach dem Verhältnis des Menschen zu seinem Körper oder der Frage nach Auswirkungen von Bauen und Wohnen auseinander und lernen, auf einer komplexen Erkenntnisgrundlage Blicke in die Zukunft zu wagen und eigene Beurteilungen zu erarbeiten.

Qualifizierungsarbeiten

Im Rahmen der Lehrveranstaltungen wurde eine Vielzahl von Qualifizierungsarbeiten mit interdisziplinären Herangehensweisen und Themen erarbeitet. Zu nennen sind unter anderem:

Masterarbeiten:

- Morgenstern, Paula (2015): Umweltbewusstsein von Kindern in der Stadt. Eine vergleichende Untersuchung von Kindern auf Kinderbauernhöfen und in Kinder- und Jugendzentren (Master Umweltethik)
- Schiebel, Andrea (2015): Umwelt-fair-träglich? Ethische Überlegungen sowie Hintergründe zum nachhaltigen Konsum von Kleidung und die Erprobung eines Bildungskonzeptes für das Naturerlebniszentrum Allgäu (Master Umweltethik)
- Herr, Eva-Maria (2015): Einflussgrößen für die Bereitschaft zu umweltverantwortlichem Handeln Erwachsener im urbanen Kontext – eine Studie am Beispiel der

Nutzer der Fahrradselbsthilfewerkstatt „Bikekitchen Augsburg“ (Master Umweltethik)
- Grimm, Julia (2014): Kosmetik und Ethik – Kontextuale Kommunikation am Beispiel nanofunktionaler Kosmetik (Master Umweltethik)
- Ballert, Cassandra (2014): An Exploration Of Sustainable Development In Engineering Education: Effective Implementations Of Alternative Pedagogies To Teach Key Competencies (Master Umweltethik)

Bachelorarbeiten:

- Brehm, Johanna (2015): Nachhaltigkeitsorientierte Kompetenzen in der Personalentwicklung in Unternehmen (BA Erziehungswissenschaft)
- Gonda, Robert (2015): Analyse von Marketingstrategien für Social Entrepreneurships am Beispiel des Projekts „Augsburg isst besser“ (BA Geographie)
- Höfler, Oliver (2015): Art of Hosting. Eine Moderationspraxis unter der Lupe am Beispiel Nachhaltigkeit an der Uni Augsburg (BA Erziehungswissenschaft)
- Sahm, Doris, Christine (2015): Motive für die Initiierung und die Nutzung von urbanen Gärten im Stadtgebiet Augsburg (BA Geographie)
- Stenner, Katrin (2014): Ich und Natur. Über die Bedeutung der natürlichen Umwelt für die Identitätsentwicklung und die sich daraus ergebenden pädagogischen Konsequenzen (BA Erziehungswissenschaft)
- Stürzl, Marina (2015): Bildung für nachhaltige Entwicklung im Kindergarten. Eine Konzeptentwicklung des Projekts „Leute machen Kleider“ als Möglichkeit zur Vermittlung der BNE im Elementarbereich (BA Erziehungswissenschaft)
- Stubbe, Tim (2015): Das Konzept „Lernreise“ im Kontext der Bildung für nachhaltige Entwicklung (BA Erziehungswissenschaft)
- Vollmuth, Tanja (2015): Vermittlung von Nachhaltigkeit in Unternehmen am Beispiel von Mitarbeiterfortbildungen (BA Erziehungswissenschaft)
- Weichwald, Simon (2015): Land Grabbing, eine Form des Neokolonialismus oder das Potenzial zur ökonomischen Weiterentwicklung? (BA Geographie)

Publikationen

- Reller, A./Marschall, L./Meissner, S./Schmidt, C. (Hg.) (2013) *Ressourcenstrategien: Eine Einführung in den nachhaltigen Umgang mit Rohstoffen*, Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Schmidt, C./Marschall, L./Reller, A. (2014) Mit Stoffgeschichten Kreisläufen und Zusammenhängen auf der Spur, *Praxis Geographie* 4, S. 24–28.
- Schmidt, C. (2015) *Ressource Bildung - ein didaktisches Konzept für Entscheidungen unter Nachhaltigkeit*. Würzburg: Ergon-Verlag.

Stoffgeschichten

PROJEKTTEAM

- PD Dr. Stefan Böschen
  stefan.boeschen@kit.edu
  Tel.: 0721 608 26280
- Dr. Luitgard Marschall
  Luitgard.marschall@wzu.uni-augsburg.de
  Tel.: 0821 598 3566
- Dr. Simon Meißner
  meissner@wzu.uni-augsburg.de
  Tel.: 0821 598 3562
- Prof. Dr. Armin Reller
  reller@physik.uni-augsburg.de
  Tel.: 0821 598 3000
- Dr. habil. Claudia Schmidt
  claudia.schmidt@wzu.uni-augsburg.de
  Tel.: 0821 598 3575
- Dr. Jens Soentgen
  soentgen@wzu.uni-augsburg.de
  Tel.: 0821 598 3560
- Dr. Katrin Vogel
  katrin.vogel@wzu.uni-augsburg.de

PROJEKTPARTNER

- Jacob Radloff, Dr. Manuel Schneider,
  Dr. Christoph Hirsch, oekom e.V.

LAUFZEIT

- Seit 04/2004

Worum geht es?

Unübersichtliche Stoffströme, verschlungene Produktionswege und eine internationale Arbeitsteilung bei der Güterherstellung machen es selbst Experten schwer, verbindliche Aussagen über den Lebensweg eines Produktes zu treffen. Für den Verbraucher erscheinen die Produktionszusammenhänge erst recht verwirrend und viel zu komplex, um zielgerichtete Entscheidungen im Sinne eines nachhaltigen Konsumverhaltens zu treffen.

An diesem Punkt setzt das Konzept der „Stoffgeschichten“ an. Stoffgeschichten sind ursprünglich ein methodisches Instrument chemie-historischer Forschung, das am Wissenschaftszentrum Umwelt weiterentwickelt und mit zahlreichen Fallstudien konkretisiert wurde.

Stoffgeschichten

Waren die traditionellen Stoffgeschichten vor allem Laborgeschichten, welche die verschiedenen Deutungen bestimmter Substanzen sowie die Geschichte der Herstellungsverfahren thematisierten, so untersuchen unsere globalen Stoffgeschichten die Wege der Stoffe jenseits der Labore und Werktore. Damit rücken politische und ökologische Aspekte stärker in den Fokus. Unsere Stoffgeschichten befassen sich bevorzugt mit politisch relevanten Stoffen. Auch international lässt sich beobachten, dass Konfliktstoffe wie DDT (Dichlordiphenyltrichlorethan), Cocain, Napalm oder Quecksilber vermehrt Gegenstand disziplinübergreifender Forschungsprojekte werden. In Ausstellungen (Staub 2005, CO_2 2007, Stickstoff 2012) einer Buchreihe (Stoffgeschichten, oekom Verlag, München seit 2004) und der universitären Lehre haben wir unser Konzept erprobt sowie hochschul- und schulpädagogisch umgesetzt.

Das Konzept der Stoffgeschichten erzählt den Weg einzelner Stoffe und Materialien in der globalisierten Wirtschaft, die politischen Konflikte rund um diese Stoffe und ihre geplanten und ungeplanten Wege. Stoffgeschichten zeichnen dazu die großen Entwicklungslinien des Werdegangs von Stoffen nach und ermitteln die weltweiten Netzwerke menschlicher Interaktion, in die Stoffe eingebettet sind. In Form von Erzählungen sollen sie Anregungen für einen ökologisch nachhaltigeren Umgang mit Ressourcen liefern. Darüber hinaus vertiefen sie die Kenntnisse über unsere materielle Kultur und sensibilisieren für ökologische, politische und soziale Fragen. Das macht sie zu einem wertvollen Instrument der politischen Bildung und der Bildung für Nachhaltigkeit.

„Stoffgeschichte – Stand und Perspektiven“, Tagung im Deutschen Bergbau-Museum Bochum

Im Berichtsjahr wurden zum einen in mehreren, noch unveröffentlichten Arbeiten von Dr. habil. Claudia Schmidt, Prof. Dr. Armin Reller und Walter Schindler sowie Dr. Jens Soentgen die Grundlagen des Konzeptes der Stoffgeschichten vertieft, zum anderen wurden mit Studien zu Lithium, Stickstoff, Salpeter, Seltenen Erden, CO_2, Heroin u.a. aktuelle Fallstudien erarbeitet und in der Lehre eingesetzt. Darüber hinaus nahm das WZU an der Tagung „Stoffgeschichte – Stand und Perspektiven“ am Deutschen Bergbaumuseum in Bochum teil. Mit dem von Prof. Dr. Gerhard Ertl und Dr. Jens Soentgen mit herausgegebenen Band „N. Stickstoff – ein Element schreibt Weltgeschichte“ wurde die Buchreihe fortgesetzt.

Publikationen

- Dießenbacher, J./Reller, A. (2014) Reichen die Ressourcen für unseren Lebensstil? Wie Ressourcenstrategie vom Stoffverbrauch zum Stoffgebrauch führt, in: Von Hauff, M. (Hg.) *Nachhaltige Entwicklung. Aus der Perspektive verschiedener Disziplinen*, Baden-Baden: Nomos, S. 91-118.
- Ertl, G./Soentgen, J. (Hg.) (2015) N. *Stickstoff – Ein Element schreibt Weltgeschichte*, Stoffgeschichten Bd. 9, München: oekom Verlag.
- Reller, A./Marschall, L./Meißner, S./Schmidt, C. (Hg.) (2013) *Ressourcenstrategien. Eine Einführung in den nachhaltigen Umgang mit Rohstoffen*, Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Reller, A./Holdinghausen, H. (2014) *Der geschenkte Planet. Nach dem Öl beginnt die Zukunft*, Frankfurt am Main: Westend.
- Schmidt, C./Marschall, L./Reller, A. (2014) Mit Stoffgeschichten Kreisläufen und Zusammenhängen auf der Spur, in: *Praxis Geographie* (4), S. 24-28.
- Schmidt, C. (2015) *Ressource Bildung - ein didaktisches Konzept für Entscheidungen unter Nachhaltigkeit*, Würzburg: Ergon-Verlag.
- Soentgen, J. (2014) Hot air: The science and politics of CO_2, in: *Global Environment*, Bd. 7, S. 134-171.
- Soentgen, J. (2015) Heroin: Taming the drug and loosing control, in: Bensaude-Vincent, B./Nordmann, A./Loeve, S./Schwarz, A. (Hg.) *Attractive Objects: The furniture of the Technoscientific World*, Pittsburgh: Pittsburgh University Press (im Druck).
- Soentgen, J. (2015) Gummi und Blut, in: Hahn, H.P./Stockhammer, P. (Hg.) *Lost in Things – Fragen an die Welt des Materiellen, ihre Funktionen und Bedeutungen*, in: Tübinger Archäologische Taschenbücher, Münster: Waxmann Verlag, S.41-64.
- Soentgen, J. (2015) Der Geist im Brunnen, in: Fischer-Lichte, E./Hahn, D. (Hg.) *Ökologie und die Künste*, Paderborn: Wilhelm Fink Verlag, S. 193-213.
- Vogel, K. (2015) Ein Stoff macht Zukunft: Zum sozialen Leben von Lithium am Salar de Uyuni, Bolivien, in: Exner, A./Held, M./Kümmerer, K. (Hg.) *Kritische Rohstoffe in der Großen Transformation: Metalle, Stoffstrompolitik und Postwachstum*, Berlin, Heidelberg, New York: Springer (im Druck).
- Zepf, V./Reller, A./Rennie, C./Ashfield, M./Simmons, J. (2014) *Materials critical to the energy industry. An introduction*, 2nd edition, London: BP.

Informationen zu der von Dr. Jens Soentgen und Prof. Dr. Armin Reller herausgegebenen Buchreihe Stoffgeschichten (oekom Verlag) finden sich unter: www.oekom.de/nc/buecher/buchreihen/stoffgeschichten.html.

IM GESPRÄCH

mit Frau Prof. Dr. Annette Peters

Im Gespräch mit Frau Prof. Dr. Annette Peters

Prof. Dr. Annette Peters, *geboren 1966, leitet seit 2010 das Institut für Epidemiologie II des Helmholtz Zentrums München, an dem neun Forschungsgruppen die Auswirkungen des Lebensstils und der Umwelt auf die Entstehung und Verbreitung chronischer Erkrankungen erforschen. Als Gastprofessorin der Umweltepidemiologie unterrichtete sie zwischen 2008 und 2013 Studierende an der Harvard School of Public Health (Boston, USA), wo sie bereits mit zwei früheren Forschungsaufenthalten als Doktorandin (1993-1994) und Nachwuchswissenschaftlerin (1997-1998) die ersten Fäden ihres internationalen Netzwerks knüpfte. Die interdisziplinär breit aufgestellte Epidemiologin, die sich 2003 an der medizinischen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München habilitierte, arbeitet seit ihrem Biologie-Diplom (1992) an den Schnittstellen zwischen Medizin, Mathematik und Biologie. Ihre außerordentlichen Leistungen auf dem Gebiet der Environmental Health wurden in den USA mit dem David Bates Award (2000) und in Deutschland mit der Verleihung der Johann-Peter-Süßmilch Medaille (2005) gewürdigt.*

WZU: *Frau Peters, müssen durch den aktuellen Dieselskandal nicht eine ganze Reihe von Forschungsergebnissen, wie z.B. zur Wirksamkeit der Umweltzonen, neu bewertet werden?*

A. Peters: Die Forschungsergebnisse zu den Zusammenhängen zwischen Luftschadstoffen und Gesundheit müssen nicht neu bewertet werden. Die zur Wirksamkeit von Umweltzonen sollten wir, denke ich, allerdings noch einmal auf den Prüfstand stellen. Möglicherweise hätten die Maßnahmen schärfer ausfallen müssen, da die tatsächlichen Abgasemissionen nicht den geforderten entsprachen. Die Umweltzonen wurden allerdings primär für Feinstaub ausgelegt, potentielle Auswirkungen ebenfalls höher ausgefallener Stickoxidemissionen müsste man untersuchen.

WZU: *Hier in Augsburg wird vor allem die Wirkung von Aerosolen, also Feinstaub, auf die menschliche Gesundheit erforscht. Was sind die neuesten Erkenntnisse auf diesem Gebiet?*

A. Peters: Erstens zeigen neuere Forschungsergebnisse, dass das von Aerosolen ausgehende Gesundheitsrisiko, unter anderem für Herz-Kreislauferkrankungen, in den älteren zumeist US-amerikanischen Studien bislang unterschätzt wurde. Berücksichtigt man beispielsweise die räumliche Verteilung des Feinstaubs in urbanen Gebieten in den Risikoabschätzungen, fallen die Gesundheitsbeeinträchtigungen etwa doppelt so hoch aus wie bisher errechnet.
Zweitens konnten wir in einer 2015 publizierten Studie zeigen, dass nicht nur Feinstaub sondern auch Ultrafeinstaub direkt auf den Menschen wirkt und innerhalb von wenigen Minuten nach Exposition die Herzfunktion verändert. Der einzelne Mensch ist nicht nur einer relativ gleichmäßig verteilten urbanen Hintergrund-Belastung an Ultrafeinstaub ausgesetzt, sondern kann diese – wie wir herausgefunden haben – durch sein persönliches Aktivitätsprofil in der Stadt noch deutlich erhöhen.

WZU: *Gibt es in diesem Bereich Erfolge, die dafür sorgen, dass die Menschen in einer gesünderen Umwelt leben?*

A. Peters: Unsere Arbeiten haben entscheidend dazu beigetragen, dass die Feinstaubrichtlinien überarbeitet wurden und dass bei der Festlegung der Normen für Dieselfahrzeuge ein Kriterium über ultrafeine Partikel integriert wurde. Das geht auf die Forschung des Helmholtz Zentrums München und in der Region Augsburg zurück.

WZU: *Wir befinden uns hier in Augsburg in der Planung für eine medizinische Fakultät, über deren Neugründung in naher Zukunft entschieden wird. Wo sehen Sie das Potential, das sich zwischen den Standorten Augsburg und München entfalten kann?*

A. Peters: Ich sehe ein immenses Potential, das über unsere bisherigen Arbeitsschwerpunkte der Aerosolforschung und der Stadtklima-Modellierung noch hinausreicht. Die Vision, die ich habe, ist, den städtischen Lebensbereich des Menschen in seiner Gesamtheit zu erfassen. Das integriert zum Beispiel auch die Pollenbelastung oder ökologische Gesichtspunkte und gerade hier ermöglicht eine viel intensivere Zusammenarbeit mit der Geographie ganz neue Forschungsansätze. Außerdem kann die Vielfalt an Expositionen oder auch die körperliche Aktivität mittlerweile viel besser gemessen werden, wie etwa durch Messgeräte, die von Einzelpersonen mitgeführt werden. In diesem Zusammenhang dann zu zeitlich-räumlich aufgelösten Belastungsmustern zu kommen und wirklich gute und auf Forschungsergebnissen basierende Empfehlungen für die Politik zu geben, das ist die eigentliche Herausforderung der nächsten zehn bis zwanzig Jahre.
Mit der Neugründung einer medizinischen Fakultät in Augsburg könnten wir aber auch auf der Gesundheitsseite ganz neue Wege gehen und beispielsweise mit den neuen Lehrstühlen am UNIKA-T (Universitäres Zentrum für Gesundheitswissenschaften am Klinikum Augsburg) die Allergieforschung ins Visier nehmen, die bislang in KORA[1] wenig Beachtung fand. Auch eine größere Nähe zu Patienten können wir herstellen und nicht nur Kohorten aus gesunden sondern auch aus erkrankten Personen untersuchen. Gemeinsam mit den Radiologen der Ludwig-Maximilians Universität und des Klinikums Augsburg integrieren wir gegenwärtig erstmals die Bildgebung mit Magnetresonanztomographie. Davon erwarte ich mir wichtige Aussagen für die Früherkennung von Erkrankungen. Außerdem haben wir in Neuherberg biomedizinische Fortschritte im Hinblick auf die Genregulation und die Charakterisierung des Stoffwechsels und des Immunsystems machen können. Vor allem der letztgenannten Punkt ist für mich eine faszinierende neue Welt, weil die Immunologen heute ein ganz anderes Verständnis des Immunsystems haben als noch zu Zeiten meiner Doktorarbeit beispielsweise. Auf diesem völlig neu definierten Feld können wir, vielleicht auch in Zusammenarbeit mit den Münchener Universitäten, neue

[1] *KORA ist die Abkürzung für Kooperative Gesundheitsforschung in der Region Augsburg, die aus einer internationalen und auch in der Region Augsburg durchgeführten Gesundheitsstudie der World Health Organisation hervorging. Im Zentrum steht neben dem Herzinfarkt-Register und der Bioproben-Datenbank die KORA Kohorte, eine Langzeitstudie über den Gesundheitszustand von ca.18.000 Studienteilnehmern in der Region. Die KORA-Leitung untersteht Prof. Dr. Annette Peters.*

Messmethoden etablieren, das Immunsystem so besser charakterisieren und – auch im Rahmen der KORA-Studie – auf Umweltexpositionen hin anschauen.

WZU: *Eine Ihrer Forschungsgruppen beschäftigt sich unter anderem mit dem Einfluss von meteorologischen Parametern auf die menschliche Gesundheit. Zusammenhänge lassen sich dabei vor allem mit der Temperatur herstellen – nach dem letzten Sommer kann man sich das auch subjektiv gut vorstellen. Warum wirkt sich gerade die Temperatur so stark auf die menschliche Gesundheit aus?*

A. Peters: Unser Organismus ist so aufgebaut, dass unsere innere Kerntemperatur optimal reguliert ist. An Temperaturveränderungen versucht sich unser Körper anzupassen – an Kälte genau wie auch an Wärme, mit evolutionär bedingten und mit kulturellen Anpassungsmechanismen. Wenn nun aber die Außentemperatur von der für den menschlichen Körper optimalen Temperatur stark abweicht, z.B. bei extremer Hitze, dann wird die innere Kerntemperatur zu hoch und extremes Schwitzen kann beispielsweise zu einer Deregulierung sämtlicher Kreislauf-Funktionen führen. Das äußert sich dann auch in medizinischen Krankheitsbildern wie dem Hitzestress und Hitzeschlag. Dieser Zusammenhang ist auf der ganzen Welt zu beobachten, aber am Äquator nicht so stark ausgeprägt wie in Breitenlagen mit größeren Temperaturkontrasten. Das individuelle Temperatur-Optimum variiert also mit der Breitenlage und liegt am Äquator bei höheren Temperaturen als zum Beispiel in Skandinavien. Das finde ich persönlich sehr spannend.

WZU: *Welcher Bedeutung räumen Sie dem Klimawandel in diesem Kontext ein?*

A. Peters: Der Klimawandel ist in diesem Kontext dann bedeutend, wenn Situationen auftreten, für die man keine kulturellen oder physiologischen Anpassungsmechanismen hat. In den gemäßigten Breiten sind wir beispielsweise nicht an heiße Nächte angepasst, weder physiologisch noch kulturell. Deshalb werden solche Situationen nicht nur als sehr unangenehm empfunden, sondern es versterben regelmäßig während solcher Hitzewellen dann auch mehr Menschen. Darüber hinaus ist man in Gebieten, in denen die Wasserversorgung gefährdet ist, in denen Flutkatastrophen passieren oder die Krankheitserreger andere Verteilungen annehmen, noch mit ganz anderen Auswirkungen des Klimawandels konfrontiert als bei uns. Und zuletzt kann – auch unter dem Gesichtspunkt der "Public Health" – überhaupt nicht vernachlässigt werden, dass als Folge von Klimaveränderungen globale Unruhen entstehen, deren erste Auswirkungen wir im weitesten Sinne ja mittlerweile auch in Deutschland verspüren.

WZU: *Welche besonders dringlichen Fragen gibt es im Bereich der Umwelt- und Gesundheitsforschung, die Ihrer Meinung nach verstärkten Forschungsbedarf haben?*

A. Peters: Bisher haben wir immer einzelne Umweltparameter betrachtet. Wir haben uns beispielsweise entweder auf die Luftverschmutzung konzentriert oder die Auswirkungen des Lärms angeschaut oder das Mikroklima der Stadt modelliert. Wir sollten uns diese Umweltparameter aber gemeinsam ansehen und uns zum Beispiel fragen,

ob möglicherweise die Hitzeinseln in Städten dort sind, wo auch der meiste Verkehr vorherrscht, der Lärm am größten ist und die Luft am stärksten verschmutzt. Und dabei immer auch im Auge haben, was sich verändert. Wir überlegen uns heute schon, was die entscheidenden Veränderungen in den nächsten zehn oder zwanzig Jahren sein werden, auch wenn wir noch nicht in dieser Situation leben. Aus diesen Überlegungen können wir Forschung ableiten, die solche Veränderungen berücksichtigt, um dann in zehn oder zwanzig Jahren die entsprechenden Messungen und Studien dazu durchgeführt zu haben.
Weiterhin finde ich, dass wir nach wie vor viel strengere Grenzwerte für den Feinstaub brauchen. Zusätzlich zur Masse des Feinstaubs benötigen wir einen zweiten, partikelbasierten Parameter, der die Verkehrsbelastung der Luft in unseren Städten noch besser quantifiziert. Das könnten *Black Carbon* (Rußpartikel) oder auch die ultrafeinen Partikel sein.

WZU: *Frau Peters, was sehen Sie vor sich, wenn Sie an eine intakte Umwelt denken?*

A. Peters: Ich wohne mitten in München – in der Innenstadt. Im städtischen Umfeld ist eine intakte Umwelt für mich ein gemischtes, lebendiges Umfeld, dass – neben Grünflächen – die Bereiche Wohnen, Arbeiten und Einkaufen integriert. Außerdem dominieren Fahrradfahrer und Fußgänger das Bild und es herrscht möglichst wenig Autoverkehr vor. Hinsichtlich einer intakten Umwelt in der Natur denke ich, als Bergsteigerin, an ein schönes Bergtal irgendwo im Kaisergebirge, wo wir öfters unterwegs sind.

DAS WZU

90 Profil
91 Das Team am WZU
92 Die Mitglieder des WZU
96 Aktuelle Publikationen

Profil

Umwelt- und Nachhaltigkeitsfragen entstehen oft im Grenzgebiet wissenschaftlicher Disziplinen und an den Grenzen von Wissenschaft und Gesellschaft. Das Wissenschaftszentrum Umwelt der Universität Augsburg führt daher die umweltwissenschaftlichen Kompetenzen der Universität Augsburg zusammen und verbindet sie mit externen Forschungsinstitutionen sowie mit den im Umweltbereich tätigen Institutionen, NGOs und Unternehmen.

Die Initiative für die Gründung des WZU ging im Jahr 2000 von WissenschaftlerInnen aus natur- und sozialwissenschaftlichen sowie geisteswissenschaftlichen Disziplinen der Universität Augsburg aus, die durch fächerübergreifende Arbeit innovative, anwendungsorientierte Ergebnisse in der Nachhaltigkeitsforschung erzielen wollten. Mittlerweile gehören mehr als 60 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zum Kreis der WZU-Mitglieder. Durch die vielfältigen Erfahrungen und Kompetenzen der WZU-Mitglieder entfaltet sich in unseren Projekten, in Mitgliederversammlungen und Tagungen die Produktivkraft des interdisziplinären Dialogs.

Die offene und kreative Netzwerk-Atmosphäre ist die wesentliche Stärke unserer Einrichtung. In ihr entstehen neue Ideen, und, wenn alles glücklich läuft, aus diesen Ideen wegweisende Projekte. So zum Beispiel die Entwicklung von webbasierten Risikokartierungen, ressourcenstrategische Konzepte für Unternehmen, innovative Projekte im Bereich Umwelt & Gesundheit oder auch Energiekonzepte für Kommunen. Wir versuchen, solche Projekte zu ermöglichen, indem wir strukturelle und finanzielle Hürden aus dem Weg räumen. Das gelingt, indem wir Vertrauen über die Grenzen von Disziplinen, Fakultäten und Institutionen hinweg schaffen.
Davon profitieren Forschung und Lehre an der Universität Augsburg: Aus der Kooperation am WZU ist beispielsweise der von Prof. Armin Reller entwickelte Forschungsschwerpunkt Ressourcenstrategie hervorgegangen, der heute zum Profil der Universität Augsburg beiträgt. In der Lehre erproben wir neue Methoden – insbesondere rund um unser Konzept der Stoffgeschichten – und entwickeln disziplinübergreifende Seminare, Vorlesungen und Studiengänge. Das bereichert seit Jahren die Ausbildung von Studierenden nicht nur der Materialwissenschaften, sondern auch der Geographie, der Wirtschaftswissenschaften und der Medienwissenschaften.

Das Team am WZU

Vorstand

Prof. Dr. Armin Reller, Sprecher
Prof. Dr. Jucundus Jacobeit
Prof. Dr. Marita Krauss
Dr. Jens Soentgen

Sekretariat

Regina Rott

Wissenschaftliche Mitarbeiter

Christian Böckenholt
Dr. Josef Cyrys
Dr. Julia Fendt
Dr. Jianwei Gu
Severin Kaspar
Thomas Kusch (Messtechniker)
Dr. Regina Pickford
Dr. Sigrun Schmid
Dr. Stefanie Seubert
Dr. Jens Soentgen
Georg Strobl
Dr. Katrin Vogel
Prof. Dr. Dr. Bernd Wagner
(Scientific Director)
Stefan Weishaupt

Wissenschaftliche und studentische Hilfskräfte

Sandra Burger (ForCycle)
Stefan Fendt
Julia Gamradt (ForCycle)
Michael Schweiger
Vera Sens (ForCycle)

Lehrstuhl Ressourcenstrategie am WZU

Prof. Dr. Armin Reller, Lehrstuhlinhaber
Prof. Dr. Gesa Beck
Prof. Dr. Richard Weihrich
Renate Diessenbacher, Sekretariat
Joshena Dießenbacher
Oliver Gantner
Oscar Klier
Ariane Lubberger
Dr. Simon Meißner
Stefan Rommel
Dr. Claudia Schmidt
Dr. Andrea Thorenz
Dr. Volker Zepf

Die Mitglieder des WZU

Prof. em. Dr. Helmut Altenberger
Zentralinstitut für didaktische Forschung und Lehre, Institut für Sportwissenschaft, Universität Augsburg

Prof. Dr. Elisabeth André
Institut für Informatik, Universität Augsburg

PD Dr. Christoph Beck
Institut für Geographie, Universität Augsburg

Dr. Ulrike Beyer
Institut für Geographie, Universität Augsburg

Prof. Dr. Helena Bilandzic
Institut für Medien, Wissen und Kommunikation, Universität Augsburg

Prof. Dr. Michael Bittner
DLR, Earth Observation Center

PD Dr. Stefan Böschen
Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS)

Prof. Dr. Klaus Bredl
Institut für Medien, Wissen und Kommunikation, Universität Augsburg

Thomas Cyris
Sicherheitsingenieur, Universität Augsburg

Prof. Dr. Ulrich Eckern
Institut für Physik, Universität Augsburg

Prof. Dr. Stefan Emeis
Karlsruher Institut für Technologie (KIT), IMK-IFU

Dr. Martinus Fesq-Martin
Institut für Geographie, Universität Augsburg

Prof. Dr. Peter Fiener
Institut für Geographie, Universität Augsburg

Prof. Dr. Arne Friedmann
Institut für Geographie, Universität Augsburg

PD Dr. Sven Grashey-Jansen
Institut für Geographie, Universität Augsburg

RD Klaus Hager
Institut für Geographie, Universität Augsburg

Dr. Riyaz Haider
Firma BioSustain, Augsburg/Dar-es-Salaam

Prof. Dr. Thomas Hamacher
TU München, Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik

Dr. Eckhard Hartmann
Fachgruppe Biologie, Universität Augsburg

Die Mitglieder des WZU

Dr. Wolfgang Hatz
Institut für Geographie, Universität Augsburg

Prof. Dr. Thomas Hausmanninger
Katholisch-Theologische Fakultät, Universität Augsburg

Dr. Thomas Henschel
Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)

PD Dr. Elke Hertig
Institut für Geographie, Universität Augsburg

PD Dr. Markus Hilpert
Institut für Geographie, Universität Augsburg

Dr. Gabriele Höfner
Marketing/Fundraising, Präsidium, Universität Augsburg

Dr. Ulrich Hohoff
Direktor Universitätsbibliothek, Universität Augsburg

Prof. Dr. Ronald H.W. Hoppe
Institut für Mathematik, Universität Augsburg

Prof. Dr. Siegfried Horn
Institut für Physik, Universität Augsburg

Prof. Dr. Jucundus Jacobeit
Institut für Geographie, Universität Augsburg

Prof. Dr. Reiner Keller
Lehrstuhl für Soziologie, Universität Augsburg

Prof. Dr. Martin Kment
Juristische Fakultät, Universität Augsburg

Prof. Dr. Marita Krauss
Philologisch-Historische Fakultät, Universität Augsburg

Prof. Dr. Jukka M. Krisp
Institut für Geographie, Universität Augsburg

Prof. Dr. Harald Kunstmann
Institut für Geographie, Universität Augsburg
Institut für Meteorologie und Klima Forschung (IMK-IFU)
Karlsruhe Insitut für Technologie (KIT)

Prof. Dr. Christoph Lau (i. R.)
Institut für Soziologie, Universität Augsburg

Dr. Stefan Lindl
Philologisch-Historische Fakultät, Universität Augsburg

Prof. Dr. Alois Loidl
Institut für Physik, Universität Augsburg

Dr. Luitgard Marschall
Lehrstuhl für Ressourcenstrategie

Prof. Dr. Johannes Masing
Institut für Öffentliches Recht, Universität Freiburg

Prof. Dr. Eva Matthes
Lehrstuhl für Pädagogik, Universität Augsburg

Die Mitglieder des WZU

Dr. Simon Meißner
Lehrstuhl für Ressourcenstrategie, Universität Ausgburg

Prof. Dr. Peter Michaelis
Institut für Volkswirtschaftslehre, Universität Augsburg

Prof. Dr. Ulrike Ohl
Institut für Geographie, Universität Augsburg

Prof. em. Dr. Gerd Peyke
Institut für Geographie, Universität Augsburg

PD Dr. Andreas Philipp
Institut für Geographie, Universität Augsburg

Dr. Joachim Rathmann
Institut für Geographie, Universität Augsburg

Prof. Dr. Armin Reller
Institut für Physik, Universität Augsburg

Prof. Dr. Thomas Rist
Fakultät für Informatik, Hochschule Augsburg

Prof. em. Dr. Franz Schaffer
Institut für Geographie, Universität Augsburg

Prof. Dr. Lothar Schilling
Philologisch-Historische Fakultät, Universität Augsburg

Dr. Walter Schindler
München Alzenau

Dr. Christopher Schliephake
Philologisch-Historische Fakultät, Universität Augsburg

Dr. habil. Claudia Schmidt
Lehrstuhl für Ressourcenstrategie, Universität Augsburg

Prof. em. Dr. Reiner Schmidt
Juristische Fakultät, Universität Augsburg

Prof. Dr. Elke Seefried
Philologisch-Historische Fakultät, Universität Augsburg

Dr. Stefanie Seubert
Wissenschaftszentrum Umwelt, Universität Augsburg

Prof. em. Dr. Bernd Stritzker
Institut für Physik, Universität Augsburg

Dr. Markus Strobel
Institut für Management und Umwelt, Augsburg

Dr. Peter Suppan
Institut für Meteorologie und Klima Forschung (IMK-IFU)
Karlsruhe Insitut für Technologie (KIT)

Prof. Dr. Sabine Timpf
Institut für Geographie, Universität Augsburg

Prof. Dr. Axel Tuma
Institut für Betriebswirtschaftslehre,
Universität Augsburg

Die Mitglieder des WZU

Prof. Dr. Uwe Voigt
Lehrstuhl für Philosophie, Universität Augsburg

Prof. Dr. Bernd Wagner
Wissenschaftszentrum Umwelt, Universität Augsburg

Prof. Dr. Christoph Weller
Institut für Politikwissenschaft, Universität Augsburg

Frank Werner
Director Global Capacity Building, WEC, München

Prof. Dr. Karl-Friedrich Wetzel
Institut für Geographie, Universität Augsburg

Prof. Dr. Hubert Zapf
Philogisch-Historische Fakultät, Universität Augsburg

Dr. Thomas Ziesemer
Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät,
Universität Augsburg

Prof. Dr. Ralf Zimmermann
Institut für Chemie, Universität Rostock
Institut für ökologische Chemie,
Helmholtz Zentrum München

Aktuelle Publikationen

Gerhard Ertl
Jens Soentgen (Hg.)

N

Stickstoff - ein Element schreibt Weltgeschichte

Er ist allgegenwärtig und knapp zugleich: Es dauerte bis zum Vorabend des Ersten Weltkrieges, ehe sich die Menschheit aus der Stickstoff-Falle befreien konnte. Fritz Haber und Carl Bosch erfanden ein Verfahren, mit dessen Hilfe der Stickstoff der Luft gebunden werden konnte, und brachten damit den künstlichen Dünger in die Welt. Was als Siegeszug begann, führte Jahre später zu einer wahren Stickstoffflut, die bis heute Gewässer schädigt, den Klimawandel befeuert und in Form von Nitrat das Trinkwasser beeinträchtigt.

Claudia Schmidt

Ressource Bildung

Ein didaktisches Konzept für Entscheidungen unter Nachhaltigkeit

Das Leitbild Nachhaltigkeit erweitert im Entscheidungsprozess die einzubeziehenden Faktoren, denn zukunftsfähiges Verhalten hat nicht nur die subjektiv beste Entscheidung zum Ziel, sondern auch die Berücksichtigung ökologischer, ökonomischer und räumlich entfernter sowie intergenerationeller Folgen.

Die vorliegende Arbeit setzt an diesem Punkt an und gibt zunächst einen Einblick in die Entscheidungsforschung der unterschiedlichen Fachdisziplinen, welche Entscheidungen disziplinär erklären und Hinweise geben, wie die Wahl der „guten“ Entscheidungen getroffen werden kann. Diese Auseinandersetzung wird um die Komponente „Nachhaltigkeit“ erweitert, um auf dieser Grundlage ein didaktisches Konzept zu entwickeln, das Entscheiden im Horizont der Nachhaltigkeit unterstützen kann. Anhand einer Case Study zu Platin wird dieses Konzept angewendet und exemplifiziert.

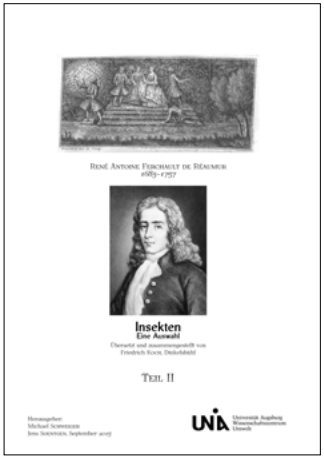
Aktuelle Publikationen

Julia Fendt

Wissenschaft und Imagination in der Literatur

Kulturökologische Analysen zeitgenössischer Romane

In welchem Verhältnis stehen natur- und geisteswissenschaftliche Wissensformen? In der Dissertation von Julia Fendt wird die Leistungs- und Repräsentationsfähigkeit der literarischen Imagination im Hinblick auf technisch-naturwissenschaftliche Formen des Wissens untersucht. Die Frage nach unterschiedlichen Wissensformen erschöpft sich keineswegs in den binär gegenübergestellten „zwei Kulturen" des literarisch-ästhetischen und des naturwissenschaftlichen Wissens. Sie impliziert vielmehr die Annahme verschiedener, komplementärer Formen von Wissen und Erkenntnis und deren vielfältige Wechselwirkungen mit der Lebenswelt des Menschen, die, wie die untersuchten Romane zeigen, durch physikalische, informationstechnologische, gentechnische oder medizinische Entwicklungen radikal geprägt und verändert wurde.



René Antoine Ferchault de Réaumur (1683-1757)

Übersetzt und ausgewählt von Friedrich Koch

Insekten

Eine Auswahl
Teil II

Michael Schweiger, Jens Soentgen (Hg.)

Die insektenkundlichen Essays des französischen Naturforschers René Antoine Ferchault de Réaumur aus dem 18. Jahrhundert sind nicht nur wissenschaftliche Spitzenleistungen, sondern sie sind zugleich auch brillant geschriebene Literatur. Das WZU legte nun den Zweiten Teil einer Auswahl aus dem umfangreichen insektenkundlichen Werk des Naturforschers vor, die über den OPUS-Server der Universitätsbibliothek Augsburg in einer digitalen Ausgabe als erste deutsche Übersetzung kostenlos verfügbar ist. Übersetzt und ausgewählt hat sie Friedrich Koch (Dinkelsbühl). Er übersetzte auch die bei Matthes und Seitz erscheinende Gesamtausgabe der berühmten *Souvenirs Entomologiques* von Jean-Henri Fabre. Herausgegeben wurde die Sammlung von Michael Schweiger und Jens Soentgen.
https://opus.bibliothek.uni-augsburg.de/opus4/frontdoor/index/index/docId/3328

Aktuelle Publikationen

Stefan Böschen
Bernhard Gill
Cordula Kropp
Katrin Vogel (Hg.)

Klima von Unten

Regionale Governance und gesellschaftlicher Wandel

Der Klimawandel ist kein rein naturwissenschaftliches Thema. Gerade in den Sozialwissenschaften setzt sich zunehmend die Erkenntnis durch, dass klimatische Veränderungen alle gesellschaftlichen Ebenen betreffen, wobei vor allem auf regionaler Ebene besondere Handlungspotenziale liegen. Der Band erkundet, welche Chancen und Hindernisse für den lokalen Klimaschutz und die Klimaanpassung bestehen. Zugleich wird nach der Bedeutung von lokalen Wahrnehmungsmustern, Werthaltungen und Partizipationsmöglichkeiten im Kontext des Klimawandels gefragt.

Marita Krauss
Stefan Lindl
Jens Soentgen (Hg.)

Der gezähmte Lech

Ein Fluss der Extreme

„Das Buch ist ein Appell für eine Lechbefreiung. Unter dem Schlagwort „Licca liber“ laufen die Planungen. Sie werden noch zu vielen Diskussionen führen. ‚Der gezähmte Lech‘ liefert Argumente – wissenschaftlich, aber nicht wissenschaftlich kompliziert.“
(*Augsburger Allgemeine*, 14.07.2014)

Aktuelle Publikationen

Armin Reller
Luitgard Marschall
Simon Meißner
Claudia Schmidt (Hg.)

Ressourcen-strategien

Eine Einführung in den nachhaltigen Umgang mit Rohstoffen

Das Thema „zukunftsfähiger Umgang mit Ressourcen“ ist zurzeit hochaktuell. Jedoch gestalten sich die Zusammenhänge immer unübersichtlicher. Um die bisherige Entwicklung nachvollziehen zu können und neue Strategien für einen nachhaltigen Umgang mit Rohstoffen zu entwickeln, müssen disziplinär begrenzte Sichtweisen überwunden werden. Die HerausgeberInnen unternehmen daher eine interdisziplinäre Betrachtung globaler Stoffkreisläufe und der weltweiten Verfügbarkeit wichtiger Rohstoffe.

Armin Reller
Heike Holdinghausen

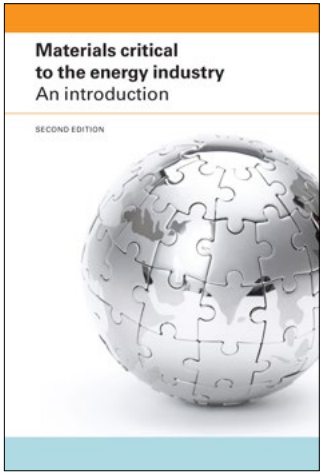
Der geschenkte Planet

Nach dem Öl beginnt die Zukunft

Öl wird teuer und knapp, das steht fest. Doch ist damit das Ende des Ölzeitalters bereits eingeläutet? Und wie kann der Übergang in eine postfossile Welt gelingen?

Ökoenergie: „In ihrem Buch zeigen Armin Reller und Heike Holdinghausen, welche Chancen wir nutzen sollten, damit nach dem Öl die Zukunft beginnen kann.“

Aktuelle Publikationen



Volker Zepf
John Simmons
Armin Reller
Morag Ashfield
Cameron Rennie

Materials critical to the energy industry

An introduction
Second Edition

Das Buch geht auf das weltweite Forschungsprogramm „Energy Sustainability Challenge“ zurück, das 2009 von BP gestartet wurde. Die überarbeitete, zweite Auflage wendet sich auch an Wissenschaft und Industrie. Die Kritikalitäten ausgewählter Materialien werden genau erläutert und begründet, indem Anwendungsgebiete, chemisch-physikalische Eigenschaften, Produktionszahlen, Akteure, Preisentwicklungen und Nachhaltigkeitsindikatoren aufgezeigt werden. Das Buch ist Teil einer Reihe, die in Großbritannien für den *Energy Institute Award 2014* nominiert wurde und sich in der Endauswahl befindet.

Jens Soentgen
Vitali Konstantinov
(Illustrationen)

Wie man mit dem Feuer philosophiert

Chemie und Alchemie für Furchtlose

Wenn wir an Chemie denken, sehen wir Wissenschaftler in weißen Kitteln, die im Labor mit Erlenmeyerkolben und reinen Chemikalien über Bunsenbrennern hantieren. Oder an komplizierte Formeln, die wir schon in der Schule nicht verstanden haben. Wer weiß schon, dass die heutige Weißkittel-Chemie eine wunderbare wildabenteuerliche Geschichte hat, die weit zurückreicht in die Wälder Amazoniens, in die Klöster und Schlösser Europas! Hier wurden schon vor Jahrhunderten über dem Feuer Stoffe verwandelt: die Rinde von Lianen in tödliches Gift, Salpeter in Schießpulver, (große Mengen) Kinderpippi in (winzige Mengen) Phosphor.

„Höchste Auszeichnung für ein Sachbuch, das fabuliert!“
HANS TEN DORNKAAT / NZZ

Universität Augsburg
Wissenschaftszentrum
Umwelt

Wissenschaftszentrum Umwelt
Environmental Science Center
Universität Augsburg
Universitätsstraße 1a
86159 Augsburg
Tel.: +49 821 598-3560
Fax: +49 821 598-3559
E-mail: info@wzu.uni-augsburg.de
www.wzu.uni-augsburg.de

Der Jahresbericht 2015 umfasst den Berichtszeitraum von Januar bis Dezember 2015.

HERAUSGEBER
Prof. Dr. Armin Reller
Prof. Dr. Jucundus Jacobeit
Prof. Dr. Marita Krauss
Dr. Jens Soentgen

REDAKTION
Dr. Jens Soentgen
Dr. Stefanie Seubert
Stefan Fendt

LAYOUT
Stefan Fendt
2bex Design+Konzept, Kaufbeuren