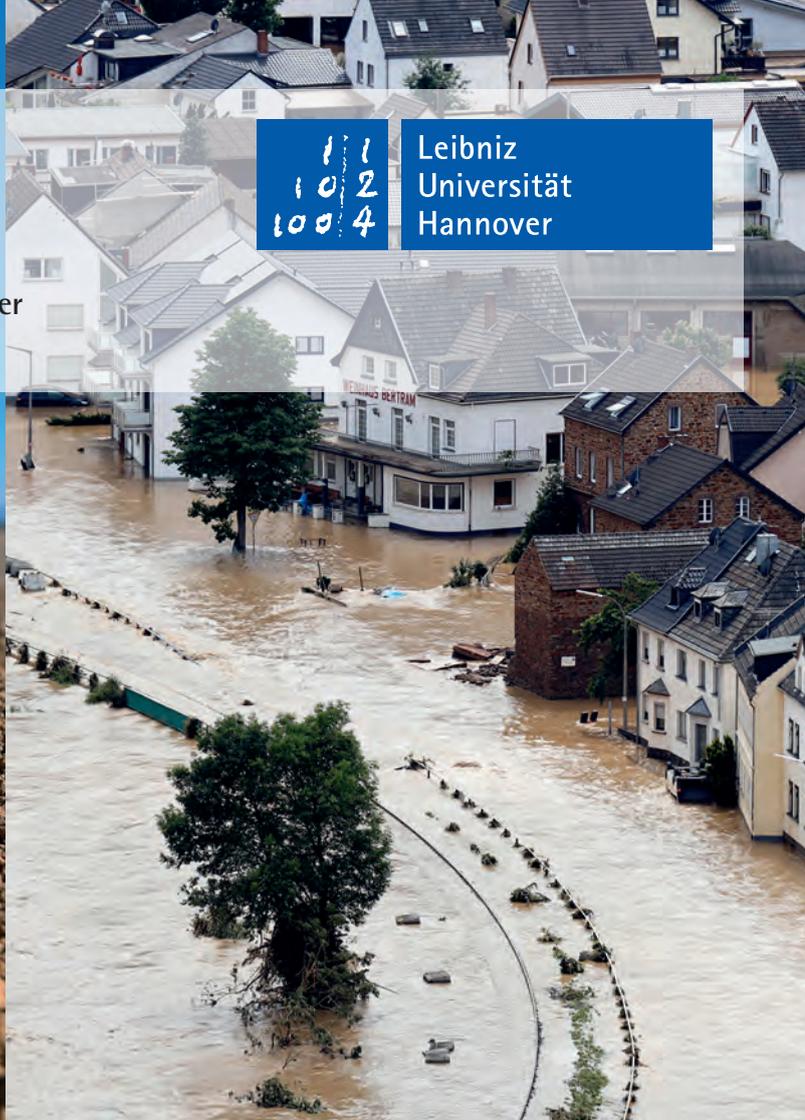


Unimagazin

Forschungsmagazin der Leibniz Universität Hannover
Ausgabe 01|02 • 2022

11
102
1004

Leibniz
Universität
Hannover



Die Erde im Wandel

Das Leibniz Forschungszentrum FZ:GEO

HEIDENHAIN

newtalents

Technologie, die begeistert.

Stetiger Fortschritt.

Zukunft gestalten.

Hightech made in Germany. Dafür steht der Name HEIDENHAIN. Technologie ist der Schlüssel, um neue Wege zu gehen und Zukunft zu gestalten. Die Basis dafür schaffen zum einen unsere hochpräzisen Produkte, vom Messgerät über die Antriebstechnik bis hin zur CNC-Steuerung. Und zum anderen unsere Mitarbeiter. Möchten Sie Wert schaffen? Den Fortschritt selbst entwickeln? Und sich individuell entfalten? Dann sind Sie hier richtig.

Werden Sie Teil des Fortschritts! Bewerben Sie sich noch heute.
www.heidenhain.de/karriere

Ihre Einstiegsmöglichkeiten:

- Duale Studiengänge
- Stipendien
- Praktika
- Bachelor- und Masterarbeiten
- Direkteinstieg



Wir sind online!
[heidenhain_newtalents](https://www.instagram.com/heidenhain_newtalents)

Editorial

Liebe Leserin, lieber Leser,

die Erde befindet sich im Wandel – das ist seit einiger Zeit auch für Laien immer öfter zu beobachten: lange Trockenzeiten schon im April, heftige Stürme in Herbst und Winter, Starkregen sowie weniger Insekten und Vögel in den Gärten.

Fakt ist, dass die Menschheit seit Beginn der Industrialisierung ihre Umwelt massiv verändert. Auf die intensive Nutzung der Ressourcen der Erde, wie etwa der fossilen Energierohstoffe oder der Böden für die Produktion von Lebensmitteln, reagiert das Erdsystem viel dynamischer als die Wissenschaft noch am Ende des vergangenen Jahrhunderts prognostiziert hatte. Der Klimawandel, verursacht durch die Erhöhungen von Treibhausgasen in der Atmosphäre, führt zu massiven Änderungen unseres Lebensraums. Diese Wechselwirkungen der Atmosphäre mit den Ozeanen, den Eisschilden, der Erdoberfläche und dem Erdinneren sind extrem komplex, sie können nur über ein Verständnis des gesamten Erdsystems erfasst werden.

Durch die Komplexität der Problemstellungen sind keine einfachen Lösungsstrategien durch einzelne wissenschaftliche Disziplinen zu erwarten. Der Forschungsgegenstand Erde muss aus unterschiedlichen Perspektiven betrachtet und durch die Kombination verschiedener Disziplinen und Methoden angegangen werden. Im Forschungsverbund FZ:GEO haben sich aus diesem Grund Wissenschaftler*innen aus vier Fakultäten

und 16 Instituten zusammengeschlossen – darunter die Naturwissenschaftliche Fakultät, die Fakultät für Bauingenieurwesen und Geodäsie, die Fakultät für Elektrotechnik und Informatik sowie die Fakultät für Mathematik und Physik. Beteiligt sind außerdem das GEOZENTRUM Hannover und das Landesamt für Geoinformation und Landesvermessung.

Ziel des Forschungszentrums ist es, zu den Lösungen auf die drängendsten Fragen der Menschheit, den Grand Challenges, beizutragen. Dabei haben sich im FZ:GEO drei Forschungsschwerpunkte etabliert: Digitalisierung, Erdoberflächenprozesse und Georessourcen.

Das aktuelle Unimagazin gibt einen Einblick in die Themen des Leibniz Forschungszentrums GEO und zeigt an diversen Beispielen, welche Themen im Fokus der Wissenschaftler*innen stehen. Dabei geht es zum Beispiel um Bodenforschung und die Bedeutung der Bodenerosion durch Wasser, um Meeresspiegelschwankungen, die Folgen abschmelzender Gletscher sowie die gravimetrische Erfassung von Klimawandelprozessen und vulkanische Aktivitäten. Gezeigt werden auch Möglichkeiten und Herausforderungen, die die Warnung vor urbanen Sturzfluten betrifft sowie die Analyse von Georisiken, die es zu erkennen, zu verstehen und zu prognostizieren gilt.



Viel Freude beim Lesen wünscht

Prof. Dr. Volker Epping
Präsident der
Leibniz Universität Hannover

Die Erde im Wandel

Das Forschungszentrum FZ:GEO

Unimagazin

Forschungsmagazin der Leibniz
Universität Hannover • ISSN 1616-4075

Herausgeber

Das Präsidium der Leibniz Universität
Hannover

Redaktion

Monika Wegener (Leitung),
Dr. Anette Schröder

Anschrift der Redaktion

Leibniz Universität Hannover
Alumnibüro
Welfengarten 1
D-30167 Hannover

Anzeigenverwaltung/Herstellung

ALPHA Informationsgesellschaft mbH
Finkenstr. 10
D-68623 Lampertheim
Telefon: 06206 939-0
Telefax: 06206 939-232
Internet: www.alphapublic.de

Titelabbildungen

(von links oben nach rechts unten)
Picture alliance/Helmut Fohringer/APA,
Picture alliance/Geisler Fotopress,
Bastian Steinhoff-Knopp,
Kristian Förster

Das Forschungsmagazin Unimagazin
erscheint zweimal im Jahr. Nachdruck
einzelner Artikel, auch auszugsweise,
nur mit Genehmigung der Redaktion.
Für den Inhalt der Beiträge sind die
jeweiligen Autoren verantwortlich.

Monika Sester | Francois Holtz |
Lilian Beckmann

Institut für Kartographie, Institut für
Mineralogie

4 Das Leibniz Forschungszentrum FZ:GEO

Den Forschungsgegenstand Erde aus
verschiedenen Perspektiven betrachten

Ulrich Heimhofer | André Bornemann |
Jochen Erbacher

Institut für Geologie, Bundesanstalt für
Geowissenschaften und Rohstoffe

10 Wo war die Küste?

Rekonstruktion von kreidezeitlichen
Meeresspiegelschwankungen

Kristian Förster | Larissa van der Laan

Institut für Hydrologie und Wasserwirtschaft

16 Das Schmelzen der Wassertürme

Was der Verlust von Gletschern
für Folgen hat

Insa Neuweiler et.al.

Institut für Strömungsmechanik und
Umweltphysik

20 Frühwarnsysteme für urbane Sturzfluten

Zu den Möglichkeiten und
Herausforderungen

Andrea Hampel

Institut für Geologie

24 Klimawandel und Seismizität

Warum das Abschmelzen von Eis
Erdbeben begünstigt

Steffen Schön et.al.

Institut für Erdmessung

30 Georisiken

...erkennen, verstehen und prognostizieren

Stefan Weyer | Francois Holtz |
Sumit Chakraborty

Institut für Mineralogie, Institut für
Mineralogie und Geophysik Ruhr-Universität
Bochum

38 Magmatische Kristalle

Mikrospeicher vulkanischer Aktivität

Franz Rottensteiner et.al.

Institut für Photogrammetrie und
GeoInformation

42 Wie schnell steigt Magma auf?

Maschinelles Lernen (ML) hilft
bei der Antwort

Monika Sester | Florian Politz

Institut für Kartographie und Geoinformatik

46 Zur automatischen Klassifikation von 3D-Punktwolken

Landvermessung mittels Laserscanning
und digitaler Bildanalyse

Jürgen Müller | Manuel Schilling

Institut für Erdmessung, Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)

50 Gravimetrische Erfassung von Klimawandelprozessen

Geodäsie nutzt technologische Entwick-
lungen der Quantenphysik

Jetzt
auch mobil
und online lesen.

<https://online-magazine.uni-hannover.de/>



Benjamin Burkhard et.al.

*Institut für physische Geographie und
Landschaftsökologie*

**56 Bodenerosion als Risiko für die
Landwirtschaft**

Neue Methoden quantifizieren den
Bodenverlust durch Wasser auf Äckern

Mike Müller-Petke et.al.

Institut für Geologie

60 Der Boden als Wasserspeicher

Nuklear Magnetische Resonanz zur
Bodenfeuchtebestimmung

Georg Guggenberger et.al.

Institut für Bodenkunde

64 Unsichtbar wirksam

Bodenmikroaggregate: kleine Strukturen
mit großer Bedeutung

70 Personalia und Preise

LIAG Leibniz-Institut für
Angewandte Geophysik

Das
**Unsichtbare
sichtbar**
machen

Mit
geophysikalischen Methoden
den Untergrund
erforschen

Join the
LIAG
family

www.leibniz-liag.de

Das Leibniz Forschungszentrum **FZ:GEO**

Den Forschungsgegenstand Erde aus verschiedenen Perspektiven betrachten

Die Erde befindet sich im Wandel. Umso wichtiger ist es, drängende geo- und umweltwissenschaftliche Fragestellungen in den Blick zu nehmen und interdisziplinär zu erforschen.

Im Forschungsverbund FZ:GEO haben sich aus diesem Grund Wissenschaftler*innen aus vier Fakultäten und 16 Instituten zusammengeschlossen, beteiligt sind außerdem das GEOZENTRUM Hannover und das Landesamt für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen.
Eine Einleitung.



Die Erde – unser Lebensraum – ist ein faszinierender Forschungsgegenstand und kann aus den verschiedensten Perspektiven betrachtet werden: Unsere Vorfahren interessierten sich für die Form und Gestalt der Erde – und haben in aufwändigen Messexpeditionen zum Polarkreis und zum Äquator schließlich festgestellt, dass die Erde keine perfekte Kugel ist, sondern die

Form eines an den Polen abgeplatteten Ellipsoids besitzt. Die Erde ist dynamisch und ständig in Bewegung – sei es die Kontinentaldrift auf großer Skala, die täglichen Hebung und Senkung aufgrund der Anziehungskraft des Mondes, die lokalen Erdbewegungen durch vulkanische Aktivitäten oder die Erosion der Oberfläche eines Ackers durch Wind und Wasser. Die-

se Dynamik, die auf der frühen Erde besonders hoch war, hat die Erdgeschichte geprägt und zur Bildung von vielfältigen Gesteinen und Rohstoffen geführt, aber auch zu diversen Ökosystemen und letztendlich zu der Biodiversität, die wir heute kennen.

Lange glaubte man, dass die Erdgeschichte durch sehr langsame Veränderungen ge-

prägt war, die über Millionen von Jahren allmählich abließen. Die Forschung in den vergangenen Jahrzehnten zeigte jedoch, dass plötzliche Ereignisse eine entscheidende Rolle in der Vergangenheit unseres Planeten gespielt haben. Zum Beispiel sind gewaltige Flut-Basalt Eruptionen, die Tausende von Kubikkilometer Magma pro Woche freigesetzt haben und die Atmosphäre über CO₂-Freisetzung verändert haben, die Ursache für vielfaches Artensterben in der Erdgeschichte gewesen. Verursacht durch die Nebenwirkungen unserer industrialisierten Gesellschaft befinden wir uns im Moment genau in einer solchen Phase der CO₂-Freisetzung. In einer geochronologischen Epoche, in der der Mensch zu einem der wichtigsten Einflussfaktoren auf biologische, geologische und atmosphärische Prozesse geworden ist. Dieses Zeitalter wird auch „Anthropozän“ genannt.

Die drastische Verarmung der Biodiversität, die jeder von uns feststellen kann – zum Beispiel über das Verschwinden von vielen Insektenarten, wie Schmetterlingen oder Wildbienen –, zeigt, dass die Menschheit gegenwärtig ihre Umwelt massiv verändert. Durch die intensive Nutzung der Ressourcen der Erde (Böden für Lebensmittel, fossile Energierohstoffe) müssen wir feststellen, dass das Erdsystem viel dynamischer reagiert als wir noch am Ende des vergangenen Jahrhunderts vermutet hätten. Der Klimawandel, verursacht durch Erhöhungen von Treibhausgasen in der Atmosphäre, führt zu massiven Änderungen unseres Lebensraums. Diese Wechselwirkungen der Atmosphäre mit den Ozeanen, den Eisschilden, der Erdoberfläche und dem Erdinneren sind extrem komplex, sie können nur über ein Verständnis des gesamten Erdsystems erfasst

werden. Diese Aufgabe wäre vielleicht selbst für ein Genie wie Gottfried Wilhelm Leibniz nicht zu bewältigen und erfordert eine Zusammenarbeit von verschiedenen Disziplinen, die die unterschiedlichen Kompartimente des Erdsystems untersuchen – und damit als „Geo-Disziplinen“ im weiteren Sinne betrachtet werden können.

Synergien nutzen

Interdisziplinäre Forschung ist auch die Motivation von Geoforscherinnen und -forschern an der Leibniz Universität Hannover: Über die eigene Expertise hinaus bieten

ihren Methoden der Datenanalyse eine systematische Erfassung, Sichtung und Interpretation der Daten ermöglichen.

Über die Institute der LUH hinaus sind zentrale Forschungs- und Dienstleistungsinstitutionen auf Bundes- und Landesebene im Geobereich beteiligt: Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), das Leibniz Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), das Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) und das Landesamt für Geoinformationen und Landesvermessung (LGLN). Sie tragen zur besonderen Position

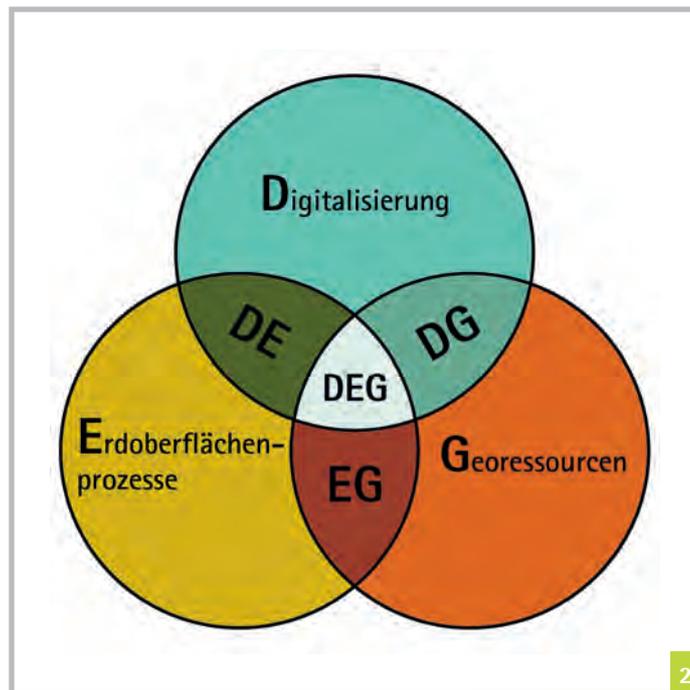


Abbildung 1
Die Erdkugel aus dem Weltraum betrachtet.
Quelle: pixabay

Abbildung 2
Die Forschungsschwerpunkte des Forschungszentrums FZ:GEO (D, E und G) und die sich daraus ergebende Synergiefelder (DE, DG, EG und DEG).
Quelle: FZ:GEO

sich in Interaktion mit anderen Möglichkeiten, größere Probleme umfassender anzugehen. Im Verbund FZ:GEO sind neben den geowissenschaftlichen Disziplinen auch Experten aus dem Ingenieurbereich vertreten, die mit ihrer Messtechnik ganz neue Möglichkeiten der Erdbeobachtung erforschen. Weiterhin sind (Geo-)Informatiker beteiligt, die mit ihrem Wissen und

Hannovers, als einen der führenden Standorte für Geo-Forschung in Deutschland bei.

Das Ziel

Ziel des Forschungszentrums ist es, eine Plattform für interdisziplinäre Forschung und Lehre in den Fächern mit erdwissenschaftlichem Bezug zu bilden und dabei relevante

Beiträge zu den Grand Challenges, den drängenden Fragen der Menschheit zu leisten. Viele dieser Grand Challenges haben einen Geo-Bezug, wie etwa nachhaltige Ressourcennutzung oder Naturgefahren.

Durch die Expertise der beteiligten Partner und der Relevanz der Themen für den Forschungsverbund haben sich die drei Forschungsschwerpunkte Digitalisierung, Erdoberflächenprozesse und Georessourcen etabliert.

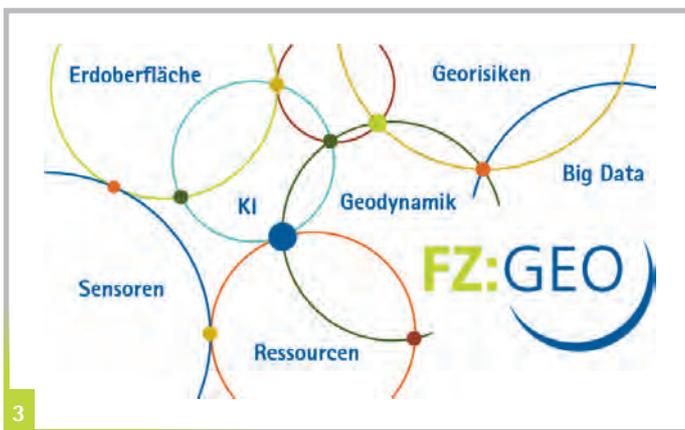


Abbildung 3
Quelle: FZ:GEO

Digitalisierung

Digitalisierung ist natürlich auch in den Geowissenschaften nicht wegzudenken und wird dort auch intensiv eingesetzt. Neue Möglichkeiten der Datenerfassung führen allerdings zu immer größeren Verfügbarkeiten von immer reichhaltigeren Datensätzen, die kaum mit traditionellen Mitteln ausgewertet werden können. Gerade KI-Methoden des Maschinellen Lernens haben hier ein enormes Potenzial, da sie helfen, die enorme Datenflut zu erschließen und zu systematisieren. Weiterhin können die ermittelten Daten über verschiedene Portale der Wissenschaftlichen Gemeinschaft zur Verfügung gestellt werden. Somit bieten sich Wissenschaftler*innen die große Chance, auch Daten zu entdecken, sie zu nutzen und integrieren zu können, welche

zunächst keinen direkten Zusammenhang zum augenblicklichen Untersuchungsgegenstand aufzuweisen scheinen.

Digitalisierung bietet somit hervorragende Möglichkeiten für die Erdsystemwissenschaften. Umgekehrt stellen diese die Datenwissenschaften auch vor enorme Herausforderungen: Daten die die Erde, ihre Komponenten und Prozesse beschreiben, sind äußerst vielfältig, heterogen, multiskalig und rangieren von physischen Artefakten über vielfältigste Sensordaten bis hin zu textuellen Beschreibungen. Konventionelle Auswerteverfahren müssen für diese speziellen Daten angepasst und erweitert werden.

Erdoberflächenprozesse

Ein weiterer Schwerpunkt ist die Untersuchung von Erdoberflächenprozessen, wie zum Beispiel Hangrutschungen, Plattentektonik oder Erosion. Dies ist essenziell, um natürliche Prozesse des Systems Erde und ihre gegenseitige Wechselwirkung und Beeinflussung besser zu verstehen. Die Oberfläche der Erde ändert sich ständig. Natürliche kontinuierliche Verformungen der Landschaften und Topographie sind beispielsweise Verwitterung und tektonische Hebungen von Gebirgen, Einschneidung von Flüssen und der Materialtransport in die Ozeane. Aber auch plötzliche Ereignisse wie Erdbeben, Überschwemmungen, Bergstürze und Hangrutschungen verändern die Erdoberfläche. Zugleich bildet die Erdoberfläche die Schnittstelle, an der Lithosphäre, Biosphäre und Atmosphäre wechselseitig aufeinander einwirken. Die Prozesse an dieser Schnittstelle sind von immenser Bedeutung, um die Stoffkreisläufe im System Erde zu verstehen sowie den

Einfluss von Klimaschwankungen und von menschlichen Eingriffen auf die Dynamik von Landschaften zu untersuchen.

Ziel ist es, die Interaktion von tektonischen Prozessen im Erdinnern und Oberflächenprozessen zu erforschen. Dadurch lassen sich natürliche landschaftsformende Prozesse identifizieren und von anthropogenen Einflüssen auf das System Erde trennen. So können Fragen zur Gefährdung menschlicher Siedlungsräume durch tektonisch, klimatisch und anthropogen induzierte Landschaftsveränderungen beantwortet werden.

Georessourcen

Der dritte Schwerpunkt umfasst den Themenbereich Georessourcen. Um den nachhaltigen Umgang mit den drei natürlichen Georessourcen Lagerstätten, Boden und Wasser zu gewährleisten, ist es absolut notwendig, die Austauschprozesse innerhalb und zwischen den Reservoirs der oberen kontinentalen Kruste zu untersuchen und zu verstehen. Alle drei Georessourcen sind von großer Bedeutung, um die fundamentalen Bedürfnisse des Menschen zu befriedigen. Das Verständnis der Prozesse, die einerseits zur Bildung und andererseits zu einer Gefährdung der drei Georessourcen führen, ist von entscheidender Bedeutung für die Menschheit mit Blick auf einen nachhaltigen Umgang mit dem System Erde.

Ziel der Zusammenarbeit innerhalb des Forschungsschwerpunktes ist es, die traditionellen Disziplinen der Geowissenschaften zusammenzuführen, um beispielsweise abiotische Prozesse in der Tiefe (Metallablagerungen, Transport in hydrothermalen Systemen, Isotopenverteilung) und biogeochemische Pro-

zesse in den oberen Krustenstockwerken (zum Beispiel die Rolle von Organismen und toter organischer Substanz, Metalltransport in Böden und Sedimenten, Schadstoffeintrag ins Grundwasser und Schadstoffabbau) zu verstehen.

Neben der Erforschung dieser drei Themenwelten passiert das Spannende aber an den Schnittstellen der Bereiche. Gerade dort kann das komplexe Wechselspiel im System Erde beobachtet, untersucht und verstanden werden.

Wissenschaftlicher Nachwuchs

Ein weiteres Ziel des Forschungszentrums ist die aktive Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses, für den ein attraktives und inspirierendes Umfeld geschaffen wird. Durch die starke Vernetzung der Lehre kommt es zu Interaktionen zwischen Studierenden aus den verschiedenen Studiengängen und dies unterstützt die Aneignung verschiedenster fächerübergreifender Methoden. Studierende

können so frühzeitig in Forschungsprojekte eingebunden werden. Spezielle Vernetzungsaktivitäten für Nachwuchswissenschaftler fördern die interdisziplinäre Zusammenarbeit.

In diesem Themenheft werden Sie einige spannende Forschungsbereiche, Themenstellungen und Ansätze des Leibniz Forschungszentrums FZ:GEO kennen lernen.



Prof. Dr. rer. nat. Francois Holtz

Jahrgang 1960, ist seit 1996 Professor für Petrologie am Institut für Mineralogie der naturwissenschaftlichen Fakultät der LUH. Zudem ist er Ko-Sprecher des Leibniz Forschungszentrums FZ:GEO. Der Schwerpunkt seiner Forschung liegt auf Simulationen von geologischen Hochtemperatur - Prozessen im experimentellen Labor. Kontakt: f.holtz@mineralogie.uni-hannover.de



Prof. Dr.-Ing. habil. Monika Sester

Jahrgang 1961, ist Professorin und Leiterin des Instituts für Kartographie und Geoinformatik. In der Forschung beschäftigt sie sich mit ihrem Team mit Fragen zur Automation in der räumlichen Datenverarbeitung, etwa die Dateninterpretation, die Ableitung von Karten unterschiedlicher Maßstäbe oder die Visualisierung. Sie ist Ko-Sprecherin des FZ:GEO. Kontakt: monika.sester@ikg.uni-hannover.de



M.Sc. Lilian Beckmann

Jahrgang 1991, ist seit 2021 wissenschaftliche Koordinatorin des Leibniz Forschungszentrums FZ:GEO. Ihren Masterabschluss absolvierte sie im Bereich der Geowissenschaften am Institut für Mineralogie an der naturwissenschaftlichen Fakultät der LUH. Kontakt: beckmann@geo.uni-hannover.de

Wenn deine tägliche Arbeit das Banking der Zukunft mitgestaltet.

Starte deine Karriere im Traineeprogramm.
Jetzt bewerben auf karriere.f-i.de/jobs

→ | Mach es möglich.
Mit Finanz Informatik.



Die Karriere, die zum Leben passt

Jetzt bewerben unter
www.sparkasse-hannover.de/trainee

Die Sparkasse Hannover hat zielstrebigen Masterabsolventen eine Menge zu bieten

Als sechstgrößte Sparkasse in Deutschland bietet die Sparkasse Hannover engagierten Berufseinsteigern vielseitige Entwicklungschancen. Für Masterabsolventen gibt es ein attraktives Trainee-Programm. Einsatzgebiete können beispielsweise das Controlling, das Datenmanagement,

der Bereich Compliance, Recht, die Unternehmenskommunikation oder das Treasury sein. Die Sparkasse begleitet jeden Trainee mit seinen Talenten und Karrierevorstellungen individuell. Die Absolventen gestalten hier als Teil ihrer Abteilung, aber auch in disziplinübergreifenden Teams mit.

Junge Leute erwartet bei der Sparkasse Hannover ein Arbeitsumfeld, in dem der Mensch im Mittelpunkt steht. Flexible Arbeitszeitmodelle, mobiles Arbeiten, eine offene Dialogkultur und verlässliche Ausgleichsmöglichkeiten nach einer stressigeren Phase sind hier selbstverständlich.

Tarik Hussein,
ehemaliger Trainee,
heute Referent im Team „Fokus Kunde“



Teamgefühl hat hohen Stellenwert

Tarik, wie bist du Teil des Trainee-Programms der Sparkasse Hannover geworden?

Nach meinem Studium war das Trainee-Programm für mich besonders interessant. Es hat mir geholfen, ein Gefühl

dafür zu bekommen, wie meine Schwerpunkthemen Finance, Statistik und Wirtschaftsinformatik in der Praxis funktionieren, und meine Interessen zu schärfen.

Wie profitierst du heute von dem Programm?

Durch die vielen Stationen im Trainee-Programm bin ich gut vernetzt. Auch

fällt es mir leichter, bei übergeordneten Aufgaben einzuschätzen, welche Fachabteilungen eingebunden werden können.

Wie würdest du das Teamgefühl beschreiben?

Das Teamgefühl ist immer sehr positiv und hat neben der fachlichen Kompetenz einen hohen Stellenwert. Auch der Zusammenhalt und Austausch unter den Trainees ist wirklich super.

An der Sparkasse Hannover schätze ich...

... das gute Arbeitsumfeld, die abwechslungsreichen Aufgaben und das sehr flexible Arbeitszeitmodell.

Magdalena, du hast Betriebswirtschaftslehre studiert und dich dann für das Trainee-Programm der Sparkasse Hannover entschieden. Was hat dich überzeugt?

Die Sparkasse Hannover schneidet das Programm speziell auf meine Interessen und Wünsche zu. Ich kann in verschiedenen Abteilungen hospitieren. Das hilft mir, Kontakte zu knüpfen und die Sparkasse Hannover als Ganzes zu verstehen.

Was schätzt du an der Sparkasse Hannover als Arbeitgeberin?

Wir haben zum Beispiel die Möglichkeit, einen Teil unseres Gehalts in zusätzliche Urlaubstage umzuwandeln. Außerdem können wir unsere wöchentliche Arbeitszeit jährlich flexibel anpassen. So kann ich Beruf und Privatleben immer gut vereinbaren.

Dein Trainee-Programm in 3 Worten:

Die richtige Entscheidung.

Die richtige Entscheidung

Magdalena Müller-Flotho,
Trainee



Darauf kannst du dich freuen

- ✓ Attraktive Vergütung
- ✓ 32 Tage Urlaub
- ✓ Flexible Arbeitszeitmodelle
- ✓ Mobiles Arbeiten
- ✓ Umwandlung von Gehalt in Freizeit
- ✓ Moderner Arbeitsplatz inklusive iPad (auch für die private Nutzung)
- ✓ Vielfältige Entwicklungsmöglichkeiten
- ✓ Begleitung durch einen Vertreter des Top-Managements
- ✓ Vergünstigtes Jobticket für den öffentlichen Nahverkehr
- ✓ Mitarbeiterkonditionen
- ✓ Betriebliche Altersvorsorge
- ✓ Und noch vieles mehr

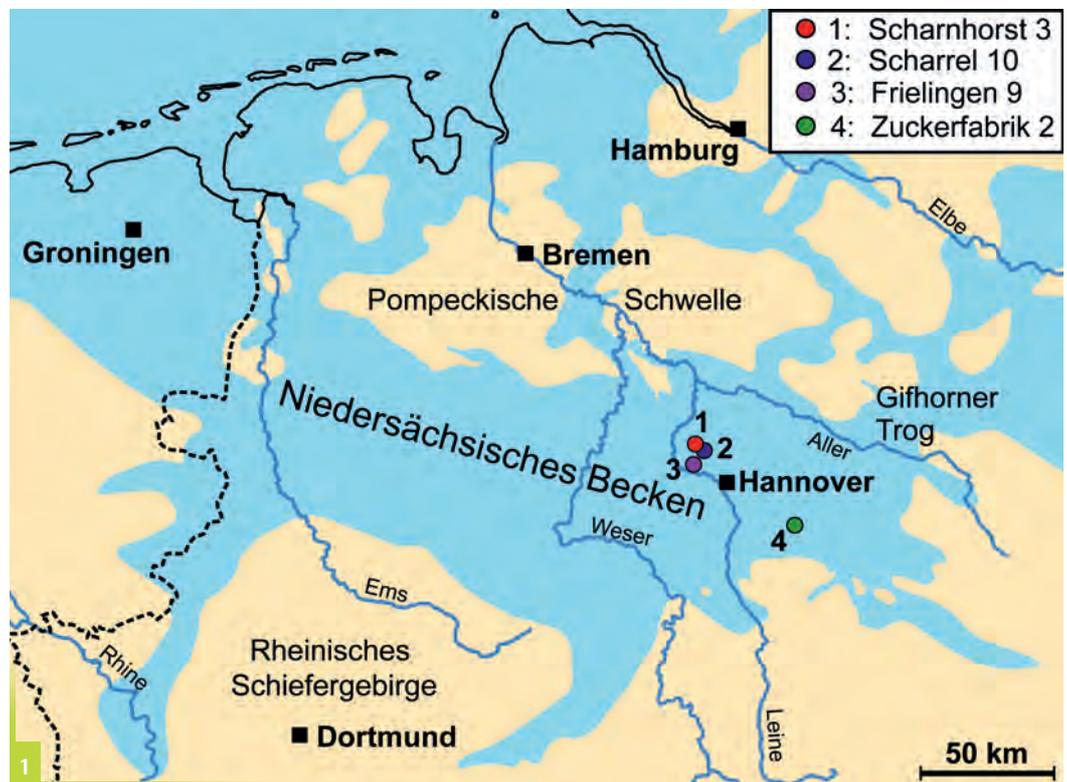
 **Sparkasse
Hannover**

Wo war die Küste?

Rekonstruktion von kreidezeitlichen Meeresspiegel-Schwankungen

Wo sich während der verschiedenen Erdzeitalter die Küste befand, beeinflusst bis heute die Beschaffenheit des geologischen Untergrundes.

Mit Hilfe von geochemischen Analysen an Bohrkernen untersuchen Wissenschaftler des Instituts für Geologie in Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe die Zusammensetzung der Sedimentgesteine im Untergrund, um damit der Küstenlinie auf die Spur zu kommen. Für die Energiegewinnung oder Endlagerung von hochradioaktiven Abfällen kann dies von großer Bedeutung sein.



Änderungen des Meeresspiegels haben großen Einfluss auf die Architektur und Verbreitung von sedimentären Ablagerungssystemen – heute wie in der geologischen Vergangenheit. Meeresspiegel-Schwankungen steuerten beispielsweise die Mächtigkeit und geographische Verbreitung von permeablen Sandsteinkörpern im tiefen geologischen Untergrund, die als potenzielle Speichergesteine für die geothermische Energiegewinnung zunehmend an Bedeutung gewinnen. Das gleiche gilt für die Ver-

breitung von dichten Tonstein-Formationen, die als Barriere- beziehungsweise Wirtsgesteine für die Endlagerung von hochradioaktiven Abfällen in Betracht gezogen werden.

Die Lage des Meeresspiegels markiert die Position der Küstenlinie, ein Anstieg oder Abfall führt entsprechend zu einer Verlagerung der Küste sowie der dort gebildeten Sedimentablagerungen (zum Beispiel Strandsande) in Richtung Land oder Ozean. Anhand von sedimentologischen

und paläontologischen Beobachtungen lassen sich im geologischen Aufschluss oder an Bohrkernen Veränderungen in der Wassertiefe identifizieren, die eine Rekonstruktion von relativen Meeresspiegel-Schwankungen in der geologischen Vergangenheit zulassen. Die so konstruierten Meeresspiegel-Kurven liefern heute ein wichtiges Instrument für die stratigraphische Einordnung von sedimentären Ablagerungssequenzen sowie für deren Korrelation über große Distanzen hinweg (Haq 2014).

Abbildung 1
Paläogeographische Rekonstruktion des Niedersächsischen Beckens für den Zeitabschnitt der mittleren Unterkreide (ca. 132 Millionen Jahre vor heute) und die Lage der vier untersuchten Kernbohrungen. Große Teile Norddeutschlands waren von einem flachen Epikontinentalmeer bedeckt.
Quelle: Schott et al. (1967/1969)

Während sedimentologische Indikatoren (wie zum Beispiel Änderungen in der Korngröße oder die Ausbildung von Diskontinuitätsflächen) in küstennahen Ablagerungen meist gut erkennbar ausgebildet sind, fehlen makroskopisch identifizierbare sedimentäre Strukturen in den meist feinkörnigen und homogenen Sedimentablagerungen des Beckens, die weit entfernt von der Küstenlinie abgelagert wurden. Dieser Umstand erschwert die Identifikation von Meeresspiegel-Schwankungen in feinkörnigen Tonsteinabfolgen (so genannte „Mudrocks“) im Beckenzentrum und somit auch die Korrelation der entsprechenden Gesteinsformationen. Im Rahmen des von der BGR koordinierten Projekts TUNB (Tieferer Untergrund Norddeutsches Becken) wurde gemeinsam mit Wissenschaftlern der LUH untersucht, ob und in welcher Form geochemische und palynologische Signale genutzt werden können, um Meeresspiegelschwankungen auch in homogenen Tonsteinabfolgen zu identifizieren.

Bohrkerne aus dem Niedersächsischen Becken als Meeresspiegel-Archiv

Vor 145 bis 100 Millionen Jahren, während der so genannten Unterkreide, waren große Teile Norddeutschlands von einem flachen Epikontinentalmeer bedeckt, dessen Südrand das Rheinische Schiefergebirge sowie das Böhmisches Massiv bildeten (Abb. 1). Die etwa Ost-West verlaufende Küstenlinie lag zu dieser Zeit ungefähr auf der Höhe von Hildesheim. Nördlich davon erstreckte sich der Ablagerungsraum des sogenannten Niedersächsischen Beckens, welches im Norden durch einen Archipel bestehend aus mehreren Inselgruppen begrenzt wurde. Entlang der ehemaligen Küste kamen

überwiegend Sande zur Ablagerung, während sich im küstenfernen Bereich des Beckenzentrums feinkörnige Silt- und Tone absetzen konnten.

Im Rahmen des TUNB Projekts wurden vier Forschungsbohrungen niedergebracht, welche die Schichtenfolge der Unterkreide im Niedersächsischen Becken erschließen. Die Alterseinstufung der unterschiedlichen erbohrten Gesteinsformationen erfolgte anhand von Mikrofossilien sowie mittels Kohlenstoff-Isotopen-Stratigraphie und liefert ein präzises zeitliches Gerüst, welches die Grundlage für die weiteren Arbeiten legt.

Um die Entfernung zur Paläoküstenlinie abschätzen zu können, wurde der Eintrag von kontinentalen Verwitterungsprodukten in das Niedersächsische Becken untersucht. Hierzu wurden die Bohrkernkerne zunächst in zwei Hälften gesägt und anschließend mittels zerstörungsfreier Röntgenfluoreszenz Analytik (XRF Bohrkernscanner) chemisch analysiert. Die insgesamt 430 Meter umfassende Sedimentabfolge wurde hierbei mit einer stratigraphischen Auflösung von 100 Messpunkten pro Meter analysiert. Schwankungen in den Elementgehalten (zum Beispiel Silizium und Aluminium) zeigen Änderungen im Eintrag spezifischer Mineralvergesellschaftung an, die wiederum durch die Entfernung zur Paläoküstenlinie kontrolliert werden (Abb. 2). Somit lässt sich anhand der chemischen Signaturen in den ansonsten homogenen Tonsteinen der Eintrag von kontinentalen Verwitterungsprodukten ablesen, der wiederum durch die Entfernung zur Küstenlinie abhängig von wird.

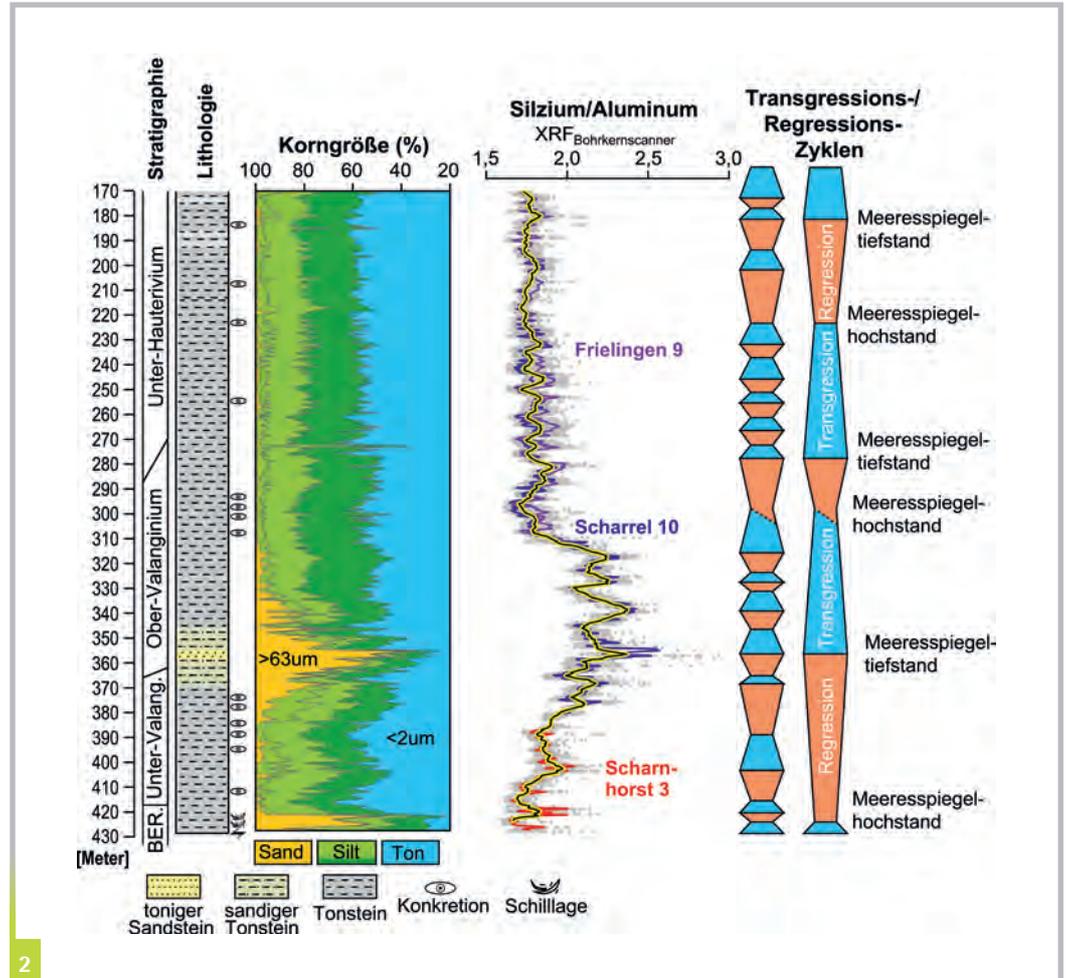
Parallel zur Analyse der chemischen Elementzusammensetzung wurde an ausgewählten Proben die Zusammensetzung

der im Sedimentgestein enthaltenen fossilen organischen Reste untersucht. Hierzu werden die mineralischen Bestandteile einer Gesteinsprobe mit Hilfe unterschiedlicher Säuren gelöst und entfernt. Das fossile organische Material bleibt hingegen erhalten und kann anschließend unter dem Mikroskop analysiert und quantifiziert werden. Als Indikator für die Entfernung zur Paläoküstenlinie wird hierbei der Eintrag von Landpflanzen-Resten gewählt, der organische Partikel wie Pollen und Sporen, Holzfragmente und Blattreste umfasst. Während Phasen eines steigenden Meeresspiegels (Transgression) nimmt die Entfernung zur Paläoküstenlinie kontinuierlich zu; der kontinentale Eintrag von Verwitterungsprodukten und Landpflanzenresten wird entsprechend kleiner. Umgekehrt steigt der Anteil an kontinentalem Eintrag in Zeiten eines fallenden Meeresspiegels (Regression), da sich die Distanz zur Küstenlinie verringert. Somit lassen sich anhand der gewählten Parameter relative Änderungen des Meeresspiegels für den Zeitabschnitt Unterkreide identifizieren.

Rekonstruktion der Meeresspiegel-Schwankungen für die kreidezeitliche Treibhauswelt

Zunächst wurden Änderungen der Korngröße genutzt um Meeresspiegel-Änderungen in den feinkörnigen Gesteinen zu identifizieren (Abb. 2). Diese Ergebnisse wurden mit der XRF Bohrkernscanner Analytik abgeglichen, die als neue und zeitsparende Methode für die Erstellung hochauflösender Datensets Verwendung findet. Als Indikator für Änderungen in der Korngröße wurde das Silizium/Aluminium Verhältnis herangezogen. Die Kombination aus geochemischen XRF Bohrkernscanner

Abbildung 2
 Änderungen in der Korngröße
 sowie im Silizium/Aluminium
 Verhältnis (basierend auf XRF
 Bohrkernscanner Daten) für
 den ältesten Abschnitt der unter-
 suchten Zeitscheibe. Schwankun-
 gen des Meeresspiegels sind als
 Transgressions- und Regressions-
 zyklen dargestellt.
 Quelle: verändert nach Thöle et al.,
 2020



Daten und palynologischen Beobachtungen liefert ein hervorragendes Instrument für die Rekonstruktion von Meeresspiegel-Schwankungen in feinkörnigen Tonsteinablagerungen in einer bislang nicht gekannten stratigraphischen Auflösung. Der Abgleich mit existierenden Meeresspiegel-Kurven aus dem Niedersächsischen Becken zeigt darüber hinaus eine hervorragende Übereinstimmung zwischen den geochemischen Signaturen aus dem Beckenzentrum und den küstennahen Sedimentabfolgen und unterstreicht die Qualität des hier gewählten Ansatzes (Thöle et al. 2020).

Schwankungen des globalen Meeresspiegels sind über die gesamte Erdgeschichte hinweg bekannt und unterschei-

den sich hinsichtlich der Raten, der Amplituden sowie der zugrunde liegenden Mechanismen. Auf sehr langen Zeitskalen (10 bis 100 Millionen Jahre) spielen tektonische Prozesse eine wichtige Rolle, während kurzzeitige Meeresspiegel-Schwankungen (10 bis 100 Tausend Jahre) durch Änderungen im globalen Eisvolumen hervorgerufen werden können (Miller et al. 2011). Dies ist beispielsweise für die jüngste Erdgeschichte gut belegt, als durch das Anwachsen der polaren Eisschilde im Verlauf der letzten Eiszeit der globale Meeresspiegel um etwa 120 Meter absank.

Die Kreidezeit gilt allgemein als ein Zeitabschnitt der Erdgeschichte, der durch ein ausgeprägtes Treibhausklima gekennzeichnet war. Dies äußert

sich in deutlich erhöhten Durchschnittstemperaturen, einem geringen Temperaturgradienten zwischen Äquator und Pol sowie dem Fehlen ausgedehnter Eiskappen an den Polen. Entsprechend lag der globale Meeresspiegel in der Kreidezeit im Vergleich zu heute deutlich höher, wobei die Schätzungen hier große Differenzen aufweisen und zwischen 100 und 250 m über NN schwanken (Miller et al. 2011; Haq 2014). Die genauen Mechanismen, welche die kleiner-skaligen Meeresspiegel-Schwankungen in der kreidezeitlichen Treibhauswelt steuerten, sind noch immer Gegenstand lebhafter Diskussionen. So wird neben der Existenz von kleinen, kurzlebigen kontinentalen Eisschilden auch der Transfer von Wasser aus dem Ozean in

ausgedehnte kontinentale Süßwasser-Seen sowie die Speicherung in Grundwasser Reservoiren erwogen. Hochauflösende und zeitlich gute kalibrierte Datensets aus unterschiedlichsten Regionen der Erde sind für die Klärung dieser Fragen von zentraler Bedeutung.



Literatur

Haq, B. (2014) Cretaceous eustasy revisited. *Global and Planetary Change*, 113, 44-58.

Miller, K.G., Mountain, G.S., Wright, J. D. and Browning, J.V. (2011) A 180-million-year record of sea level and ice volume variations from continental margin and deep-sea isotopic records. *Oceanography* 24, 40-53.

Thöle, H., Bornemann, A., Heimhofer, U., Luppold, F. W., Blumenberg, M., Dohrmann, R. and Erbacher, J. (2020) Using high-resolution XRF analyses as a sequence stratigraphic tool in a mudstone-dominated succession (Early Cretaceous, Lower Saxony Basin, Northern Germany). *Depositional Record*, 6, 236-258.

Prof. Dr. Ulrich Heimhofer

Jahrgang 1971, ist seit 2011 Professor am Institut für Geologie der Naturwissenschaftlichen Fakultät. Seine Arbeitsschwerpunkte umfassen stratigraphische Palynologie und Pflanzenentwicklung, die Ablagerung und Erhaltung von sedimentärem organischem Material sowie den Einsatz von stabilen Isotopen für die Paläoklima-Rekonstruktion. Kontakt: heimhofer@geowi.uni-hannover.de

PD Dr. André Bornemann

Jahrgang 1972, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe sowie Privatdozent an der LUH. Er beschäftigt sich vorwiegend mit der Stratigraphie der Kreide und des Paläogens sowie mit der Charakterisierung von Tonsteinen im geologischen Untergrund. Aktuell ist er Sprecher des DFG Infrastruktur-Schwerpunktprogramms „International Ocean Discovery Program“. Kontakt: andre.bornemann@bgr.de

Prof. Dr. Jochen Erbacher

Jahrgang 1966, ist Leiter des Arbeitsbereichs/Referates Stratigraphie, Sammlungen an der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und am Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen. 2018 wurde er von der Universität Heidelberg zum Honorarprofessor bestellt. Seine Arbeitsschwerpunkte umfassen stratigraphische, sedimentologische und mikropaläontologische Fragestellungen des Juras und der Kreide. Kontakt: jochen.erbacher@bgr.de



Geo++[®]
geopp.de/jobs



Geo++ ist ein weltweit führender Entwickler von Software für hochgenaue GNSS-Positionierung. Unsere Technologie wird u.a. im Vermessungswesen, in der Positionierung von Fahrzeugen und Schiffen, sowie der Antennen-Kalibrierung genutzt. Wir forschen und entwickeln kontinuierlich und verknüpfen GNSS jetzt auch mit Quantensensoren. Für all diese Aufgaben brauchen wir Unterstützung. Voll- und Teilzeit in Garbsen und auch Remote!

C/C++ Developer (m/w/d)

GNSS Scientist (m/w/d)

IT – Manager (m/w/d)

Java – Developer (m/w/d)

GNSS Specialist (m/w/d)



Unterstützen
Sie junge Talente!
Geben Sie Ihre
Erfahrungen weiter!
Stiften Sie
Bildungserfolge!

Das Deutschlandstipendium

- Zeigen Sie Ihre Anerkennung studentischer Leistungen mit einer Förderung
- Wählen Sie selbst den Studienschwerpunkt, den Sie fördern wollen
- Lernen Sie leistungsstarke Studierende kennen
- Nutzen Sie Austausch und Netzwerk
- Nehmen Sie an der Stipendienvergabe teil, und lernen Sie die Stipendiaten kennen
- Gestalten Sie das Begleitprogramm mit
- Setzen Sie die Förderung als Spende steuerlich ab



Haben Sie Interesse? Wir beraten Sie gern.

Dr. Stefanie Beier, Referentin für Fundraising | Tel. 0511-762 5597 | E-Mail beier@zuv.uni-hannover.de



magrathea

Studentenjobs Praktika Blöde Ideen

www.magrathea.eu

BRANDI
RECHTSANWÄLTE

WIR FREUEN UNS AUF SIE

www.brandi.net

Das Schmelzen der Wassertürme

Was der Verlust von Gletschereis für Folgen hat

Schwindendes Gletscher- und Meereis ist schon länger bekannt als ein klarer und besorgniserregender Effekt des Klimawandels.

Larissa van der Laan und Prof. Dr.-Ing. Kristian Förster vom Institut für Hydrologie und Wasserwirtschaft zeigen anhand von Klima- und hydrologischen Daten, wie der Verlust messbar ist und welche Folgen er für die Wasserversorgung in den Alpen haben kann.



Abbildung 1
Der Hintereisferner an einem warmen Sommertag (31.8.2015). Erkennbar ist der sehr große Anteil blanken Eises („dunklerer Teil des Gletschers“), das normalerweise gegen Ende des recht kurzen Sommers im Hochgebirge noch von Firn bzw. schon vom ersten Neuschnee bedeckt ist.
Foto: Kristian Förster

Eine bekannte Metapher für Klimawandelfolgen ist der Eisbär oder der Pinguin auf einer schmelzenden Eisscholle, um die schwerwiegenden Auswirkungen zu verdeutlichen. Aber auch näher als in den Polarregionen sehen wir die Effekte auf Eis und Schnee sehr klar. Wenn man auf die Alpen blickt, sieht man Gletscher nicht mehr als imposante ‚Weiße Riesen‘ wie einst, sondern als kleine Eisfelder,

leere Flächen zurücklassend. Der ‚Ewige Schnee‘ auf den Berggipfeln besteht im Sommer meist nur noch aus kleinen Flecken (Abbildung 1). Dies hat nicht nur einen Einfluss auf das Aussehen von Gebirgsregionen, sondern auch auf die Menschen dieser Regionen. Historisch haben Menschen, die stromabwärts von Gletschern und schneereichen Gipfeln leben, das Wasser von Schnee und Gletschern für

landwirtschaftliche Bewässerung, Trinkwasser, Wasserkraft und andere Wasserbedarfe verwendet. Etwa 22 Prozent der Weltbevölkerung, über 1,6 Milliarden Menschen, leben in oder stromabwärts von diesen Berggebieten, die wir die Wassertürme der Welt nennen. Sie haben diesen Namen bekommen, weil sie genau die Funktion eines Wasserturmes, nur auf großem Maßstab, haben: lebenswichtiges Wasser speichern und bereitstellen.

Aus diesem Grund ist es sehr wichtig, genau zu verstehen, was die Menge an Schnee und Eis auf der Erde beeinflusst, und wie man diese Prozesse vorhersagen kann. Dies wird unter anderem erforscht, indem man mit Satelliten-, Feld- und hydrologischen Daten die Schnee- und Eismassen bestimmt und mit meteorologischen Beobachtungen, etwa Temperatur und Niederschlag, lokale und globale Klimatrends erörtert. Diese Daten fließen dann in hydrologische Gletschermodelle ein, um Vorhersagen zu Schmelze, Abfluss und somit für die Wasserwirtschaft treffen zu können.

Die wichtigsten Prozesse für die Speicherung und Abfluss von Wasser aus Gletscher- und Schneeflächen sind die Akkumulation (die Zufuhr von Schnee, Lawinen und Wind) und die Ablation (das Schwinden der Gletscher- und

Schneemasse durch Schmelze). Diese Prozesse fassen wir zusammen in dem Begriff Massenbilanz, auch die ‚Gesundheit‘ eines Gletschers genannt. Ist der Gletscher ‚gesund‘, bleibt die Nettomasse über das Jahr verteilt gleich, also wird so viel Masse hinzugefügt wie abschmilzt, oder der Gletscher wächst sogar. Ist die Massenbilanz hingegen negativ, heißt dies, dass der Gletscher mehr Masse verliert als gewinnt, und somit schrumpft. Der Zeitpunkt und das Ausmaß der Akkumulation und Ablation hängen weitgehend von Niederschlag und Temperatur ab. Sie bestimmen, wie viel Schnee auf den Gletscher fällt und wie viel Schnee und Eis schmelzen. Das durch die Gletscherschmelze freigesetzte Wasser bewegt sich stromabwärts und erreicht entlang der Flüsse Städte und Ökosysteme.

Wie seit längerem bekannt ist, verlieren Gletscher weltweit an Masse: Zwischen 2002 und 2016 wurde von der GRACE-Satellitenmission ein Massenverlust von 8 Millimeter Meeresspiegelanstiegsäquivalent beobachtet. Weitere Beobachtungen, basierend auf verschiedenen Messmethoden, legen einen Massenverlust von 27 ± 22 Millimeter für die Zeitspanne von 1961 bis 2016 nahe. Der jährliche Verlust zwischen 2006 und 2016 liegt bei circa 0,9 mm Meeresspiegelanstiegsäquivalent, mit einer steigenden Tendenz. Weil sich mit diesen Veränderungen in den Massenbilanzen auch die Abflussmengen verändern, müssen sich flussabwärts gelegene Städte und Gemeinden in den nächsten Jahren auf Veränderungen einstellen, die sich grob in zwei Kategorien einteilen lassen: Überschwemmungen und Wassermangel.

Mit zunehmender Schmelze gibt es mehr Wasser als üblich, was die Wasserführung

der Flüsse erhöht und proglaziale Seen entstehen lässt – Seen zwischen Gletscherzunge und Moränenrücken, wo das Eis verschwunden ist. Dies führt zu einem erhöhten Hochwasserrisiko durch die höhere Wasserführung in den Flüssen und zum Aufbrechen dieser proglazialen Seen, was zu sogenannten Gletscherseeausbruchsfluten führt. Diese können katastrophale Folgen haben.

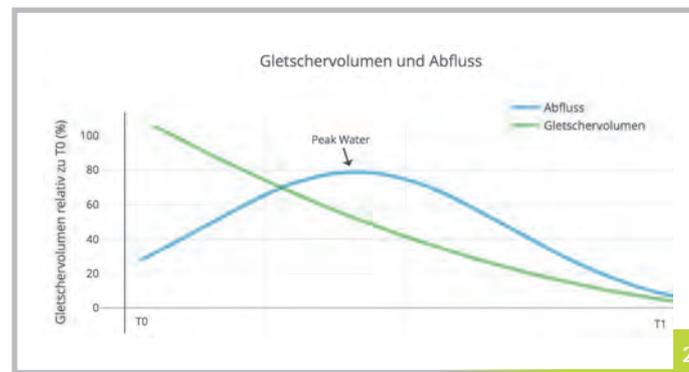


Abbildung 2
Schematische Darstellung von Gletschervolumen und Abfluss bei einem Gletscher mit negativer Massenbilanz. ‚Peak Water‘ wird mit dem Pfeil angedeutet.
Quelle: eigene Darstellung

Eine Studie aus dem Jahr 2016 analysierte 1348 Überschwemmungen von 332 Gletscherseen. 36 Prozent dieser Überschwemmungen hatten gesellschaftliche Auswirkungen, darunter Todesfälle, Zerstörung von Infrastruktur und Ökologie. Insgesamt wurden bis 2016 weltweit mehr als 12.000 Todesfälle als direkt durch Gletscherfluten verursacht gemeldet.

Diese Zunahme der Wasserfreisetzung von Gletschern kann jedoch nicht unbegrenzt fortgesetzt werden. Irgendwann erreicht ein Gletscher seine maximale Wasserabgabe, das sogenannte ‚Peak Water‘ (Spitzenwasser) eines Gletschers, siehe *Abbildung 2*. Ab diesem Zeitpunkt hat die Gletschergröße und damit die Speicherkapazität so weit abgenommen, dass seine saisonale Freisetzung von Schmelzwasser abnimmt, was zu Trockenzeiten und Dürren stromabwärts führt. Bei vielen Gletschern auf der ganzen

Welt ist ihr ‚Peak Water‘ Punkt bereits überschritten oder wird voraussichtlich in den kommenden 20-30 Jahren erreicht. Eine globale Studie über die hydrologische Reaktion auf den Gletschermassenverlust kommt zu dem Schluss, dass von 56 großen vergletscherten Flussgebieten mehr als ein Drittel bis zum Jahr 2100 einen Rückgang des Abflusses von mehr als 10 Prozent erfahren könnte.

Diese Menge ist hoch genug, um Wasserknappheit in den betroffenen stromabwärts gelegenen Regionen zu verursachen, was enorme Herausforderungen beim Management der Wasserressourcen darstellt. Auch die saisonale Schneebedeckung wird verschiedenen Klimaszenarien zu Folge zurückgehen. Dies betrifft sowohl die Menge an Schnee – also die Akkumulation festen Niederschlags – als auch die Dauer der Schneebedeckung. Verringern sich sowohl die Schneemenge als auch die Dauer der Schneebedeckung, steht weniger Schmelzwasser zur Überbrückung des Wasserbedarfs in der warmen Jahreszeit bereit. Studien deuten darauf hin, dass bis zum Jahr 2100 bis zu 50 Prozent der Bevölkerung von Wasserknappheit betroffen sein könnten, was zu einem großen Teil auf die geringeren Schneemengen und das Schrumpfen der Gletscher zurückzuführen ist.

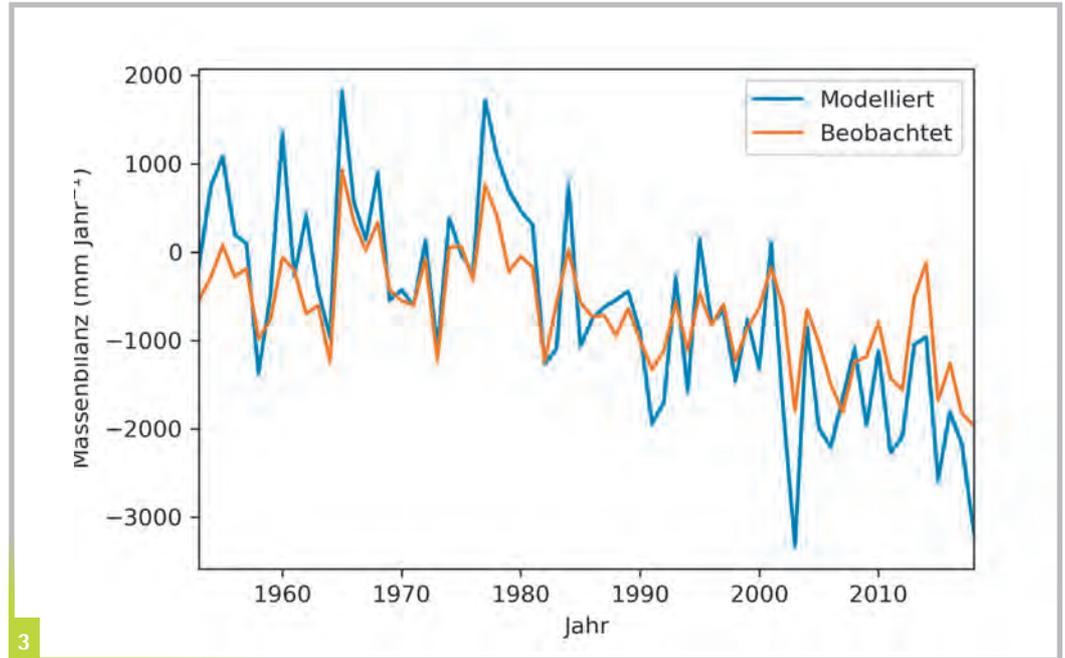


Abbildung 3
 Modellierte und beobachtete Massenbilanz des Hintereisferners von 1950 bis Gegenwart.
 Quelle: eigene Darstellung

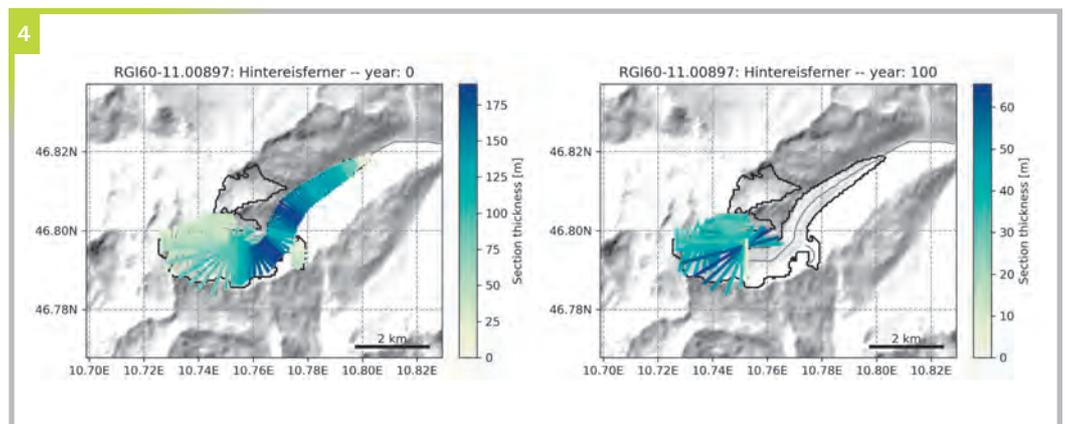
Um den Einfluss der Gletscher zeitlich und räumlich genauer vorhersagen zu können, ist die wissenschaftliche Untersuchung von Gletschermassenbilanzen für das 20. und 21. Jahrhundert ein wichtiges Forschungsthema am Institut für Hydrologie und Wasserwirtschaft der Leibniz Universität Hannover. In der Arbeitsgruppe ‚Gebirgshydrologie‘ wird im Rahmen des DFG Projektes ‚GLISSADE‘ unter anderem auf dekadischer (circa 10 Jahre) und saisonaler (circa 6 Monate) Skala an der Vorhersage von Gletschermassenbilanzen geforscht. Dafür kommt das Gletschermodell OGGM (Open Global Glacier

Model) zum Einsatz, mit welchem diese Vorhersagen für einzelne Gletscher sowie für komplette Regionen, wie zum Beispiel die Alpen, oder für alle Gletscher weltweit – etwa 200.000 insgesamt – durchgeführt werden können.

Um die Genauigkeit des Modells zu testen, wird es anhand beobachteter Gletscherdaten angepasst, um realistischere Ergebnisse zu liefern. Einige Gletscher, insbesondere in den Alpen, verfügen über umfangreiche Datensätze zu Änderungen der Gletscherlänge und -massenbilanz. 274 Gletscher, die eine Aufzeichnung von mehr als fünf Jahren

aufweisen, werden als Referenzgletscher bezeichnet und verwendet, um neue Modelle zu testen. Einer der bekanntesten dieser Referenzgletscher ist der Hintereisferner, ein Gletscher in den Ötztaler Alpen in Österreich (Abbildung 1). Die Abbildung 3 zeigt einen Beispiellauf mit OGGM mit Gletschermassenbilanzveränderungen im Laufe der Zeit im Vergleich mit beobachteten Daten. Die korrekte modelltechnische Abbildung vergangener Gletscheränderungen ist eine wichtige Voraussetzung für die Simulation von zukünftigen Gletscheränderungen auf Basis von Klimaszenarien (Abbildung 4).

Abbildung 4
 Beispiel eines Modelllaufs für den Hintereisferner. Gezeigt wird die Eisdicke vor und nach 100 Jahren unter Annahme konstanter Klimabedingungen der Periode 1985-2015. Dieses Experiment zeigt die Entwicklung des Gletschers trotz hypothetischem ‚gestoppten Klimawandel‘ und damit die gravierenden Langzeitfolgen der Erwärmung seit 1850.
 Quelle: eigene Darstellung



Wie die Nutzung von Klimadaten und hydrologischen Daten deutlich macht, ist das Gebiet der Gletscher- und Schneewissenschaft interdisziplinär. Nur mit wissenschaftlicher Zusammenarbeit sowie lokalem Wissen aus betroffenen Regionen haben Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel eine Chance, die Schäden für die Gesellschaft zu minimieren. Dies bedarf genauer Planung, sowohl im Bereich des Hochwasserschutzes als auch des Wasserressourcenmanagements. Ziel ist es, die betroffene Bevölkerung zu schützen, damit sie dort weiterhin leben kann ohne von Überschwemmungen und Dürren betroffen zu sein. Wir hoffen, mit unserer Forschung einen kleinen Baustein zu dieser wichtigen Arbeit beitragen zu können.



Larissa van der Laan

Jahrgang 1992, ist Doktorandin am Institut für Hydrologie und Wasserwirtschaft. Ihre Arbeitsschwerpunkte sind Gletschermodellierung auf verschiedenen temporalen und geografischen Skalen, Klimadatenaufbereitung und Analyse sowie Unsicherheitsanalyse. Kontakt: vdlaan@iww.uni-hannover.de



Prof. Dr. Kristian Förster

Jahrgang 1981, ist Juniorprofessor für Urbane Hydrologie am Institut für Hydrologie und Wasserwirtschaft der Fakultät für Bauingenieurwesen und Geodäsie. Gemeinsam mit seinem Team und Wissenschaftler*innen angrenzender Disziplinen forscht er in den Bereichen urbane und alpine Hydrologie sowie Hydroklimatologie. Kontakt: foerster@iww.uni-hannover.de

**starting
BUSINESS**
GRÜNDUNGSSERVICE DER
LEIBNIZ UNIVERSITÄT HANNOVER



WWW.STARTING-BUSINESS.DE

**TRÄUMEN ODER
MACHEN?**

JETZT EIGENES **STARTUP** GRÜNDEN
UND FÖRDERUNG SICHERN!

Frühwarnsysteme für urbane Sturzfluten

Zu den Möglichkeiten und Herausforderungen

Starkregen und Überflutungen führen insbesondere in urbanen Gebieten (in Städten) zu massiven Schäden. Da bauliche und landschaftsplanerische Möglichkeiten, urbane Hochwasserereignisse zu vermeiden oder zu mindern, oft begrenzt sind, können Frühwarnsysteme geeignet sein, um urbane Überflutungen vorher zu sagen. Prognosen zu den Auswirkungen des Klimawandels lassen erwarten, dass extreme Niederschläge in Zukunft verstärkt auftreten werden. Daher ist eine Vorbereitung auf den Umgang mit stärkeren Wetterextremen notwendig.



Insbesondere in urbanen Gebieten sind es nicht nur die übertretenden Flüsse, sondern auch sogenannte pluviale Überflutungsereignisse, die ein großes Schadenspotenzial haben und in extremen Fällen Gefährdung von Menschenleben zur Folge haben. Solche Ereignisse treten auf, wenn Regenereignisse mit starker Intensität lokal eintreffen und die Regenkanalisation überlasten. Wasser staut dann, oft in kurzer Zeit, auf Straßen und Plätzen, und dessen Wassertiefe kann mit der Zeit schnell zunehmen. Neben den hohen Wasserstiefen kann die Fließgeschwindigkeit des Wassers sehr hoch sein. In der jüngeren Vergangenheit gab es auch in Hannover Schäden durch Starkregenereignisse (Abbildung 1). Im Juni 2017 wurde der Hauptbahnhof überflutet und einige Ge-

schäfte waren wochenlang außer Betrieb.

Existierende Infrastrukturen sind meist nicht mit Größen aus Klimaszenarien bemessen, sondern mit statistischen Größen aus der Vergangenheit. Die Entwicklung von zusätzlichen Strategien, diesen Auswirkungen entgegenzuwirken, ist also notwendig. Eine mögliche Strategie ist die Frühwarnung. Werden die Frühwarnungen für einen gezielten Objektschutz und die verbesserte Einsatzplanung von Hilfskräften genutzt, könnten Schäden verringert werden.

Seit einigen Jahren wird auf unterschiedlichen Ebenen die Entwicklung von Hochwasservorhersagesystemen vorangetrieben, die mit möglichst viel Vorwarnzeit vor pluvialen

Hochwassergefahren warnen sollen. Diese Systeme basieren auf Modellketten, die die Entstehung und Bewegung der Regenereignisse und die daran gekoppelten Strömungsprozesse und Wasserstände in der Stadt abbilden. Bei Überschreitung von Schwellenwerten kann eine Warnung entweder an die Bevölkerung oder an Feuerwehren abgegeben werden.

Ein Kernproblem bei der Entwicklung der Modellketten ist die Vorhersagezeit. Das betrifft insbesondere die Vorhersage des Regens selbst. Im Gegensatz zu langen Regenfällen, die zu Flusshochwassern führen können, entstehen gerade die extremen Starkregen oft in sehr dynamischen Wetterlagen und sehr schnell. Pluviale Überflutungen durch plötzliche Gewitter können

Abbildung 1
Überflutete Straßen nach einem Starkregenereignis in Hannover.
Fotos: Robert Sämman, mit Erlaubnis

sehr kurzfristig entstehen. Die Vorhersage eines solchen Niederschlagsereignisses hat also eine sehr kurze Vorlaufzeit und ist noch dazu meist sehr unsicher. Doch auch die aus dem Niederschlag entstehende Überflutung lässt sich nicht einfach schnell berechnen. Vereinfachte Ansätze wie zum Beispiel das simple Verteilen des Regenwassers auf der Oberfläche bieten keine gute Näherung. Denn je nach Füllstand der Kanalisation kann Wasser in die Straßenabläufe ein- oder ausfließen. Um die komplexen Fließprozesse abbilden zu können, gibt es hochaufgelöste physikalisch basierte (sehr realistische) Modelle. Diese erreichen jedoch nicht die notwendige kurze Rechenzeit für eine Frühwarnung. Datengetriebene Ersatzmodelle bieten hier eine Möglichkeit zur Rechenzeitverkürzung. Angesichts der Unsicherheit der Vorhersagen stellt sich die Frage, wie man Vorhersagen kontinuierlich, zum Beispiel durch die Einbeziehung von Informationen aus sozialen Medien (Handy-Fotos) verbessern kann.

Es existieren bereits einige operative Systeme zur Frühwarnung. Diese basieren oftmals auf vorab berechneten Überflutungsszenarien für ausgewählte Regenereignisse. Bisherige Frühwarnsysteme operieren häufig mit vereinfachten Ansätzen, die für komplexe Entwässerungssysteme einer Stadt wie Hannover nicht ausreichend sind. An der LUH wurde in einem Forschungskonsortium eine Modellkette entwickelt, die zur Echtzeitvorhersage von pluvialen Sturzfluten in der Stadt geeignet ist.

Startpunkt der Modellkette ist die Kürzestfrist-Regenvorhersage (Nowcasting). Dazu werden Daten des Wetterradars von Hannover zusammen mit Niederschlagsmessgeräten

verwendet. Die Radardaten werden zunächst mit den Bodenmessungen optimal kombiniert. Die Vorhersage erfolgt dann durch Extrapolation beobachteter Niederschlagszellen in die Zukunft. Dies wird bereits von Wetter-

Hochwassermodell verwendet. Dieses Modell nutzt eine Methode des maschinellen Lernens, um die Rechenzeit zu verkürzen und wurde vorab mit zeitaufwändigen physikalisch basierten Überflutungsszenarien antrainiert.

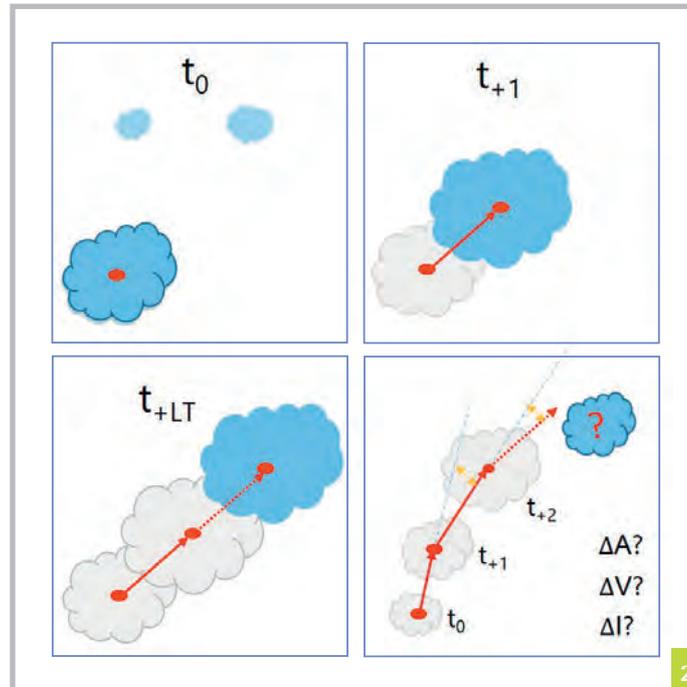


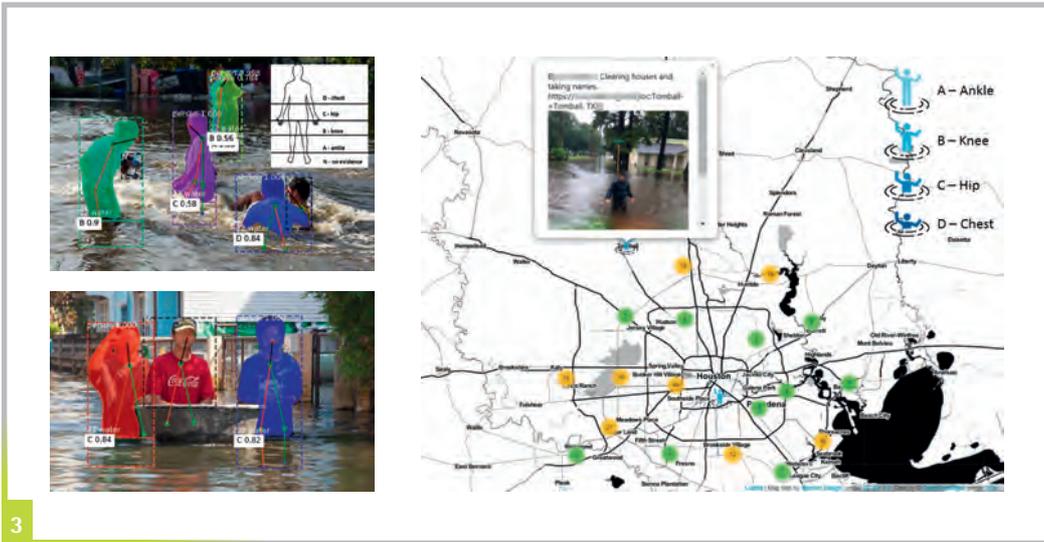
Abbildung 2
Radar Tracking Verfahren.
Quelle: Bora Shehu, mit Erlaubnis

Apps als Regenradar angeboten, wobei hier im Forschungsprojekt neue Vorhersageverfahren entwickelt wurden (Abbildung 2). Aufgrund der hohen Dynamik und kurzen Lebenszeit der Gewitterzellen ist der Vorhersagezeitvorsprung gering und auf maximal zwei Stunden beschränkt (deshalb Nowcasting). Der Unsicherheit der Vorhersage wird Rechnung getragen, indem ein ganzes Ensemble von Vorhersagen erstellt wird. Dies erlaubt am Ende der Vorhersagemodellkette Wahrscheinlichkeitsaussagen hinsichtlich des Überschreitens von Schwellenwerten von Wasserständen und damit objektive Entscheidungen hinsichtlich Warnungen für die Bevölkerung.

Die Regenvorhersage wird als Eingabe für ein Echtzeit-

Aus mehreren Stunden Rechenzeit mit dem physikalisch basierten Modell werden damit wenige Sekunden. Dabei wird der Informationsgehalt der Ausgabe auf das Wesentliche reduziert: den maximalen Wasserstand. Somit können Regenereignisse als Eingabe genutzt werden, die nicht vorberechnet waren, und die Rechenzeit ist kurz. Zur Prüfung wurden Bilder und Meldungen aus der Presse oder Einsatzmeldungen der Feuerwehr verwendet.

Wenn Starkregen und Hochwasser auftreten, erscheinen in den sozialen Medien viele Texte und Fotos. Anhand automatischer Interpretation mit Deep Learning können neben der Klassifizierung von Beiträgen als hochwasserrelevant oder nicht, auch Informationen über den Wasserstand



3

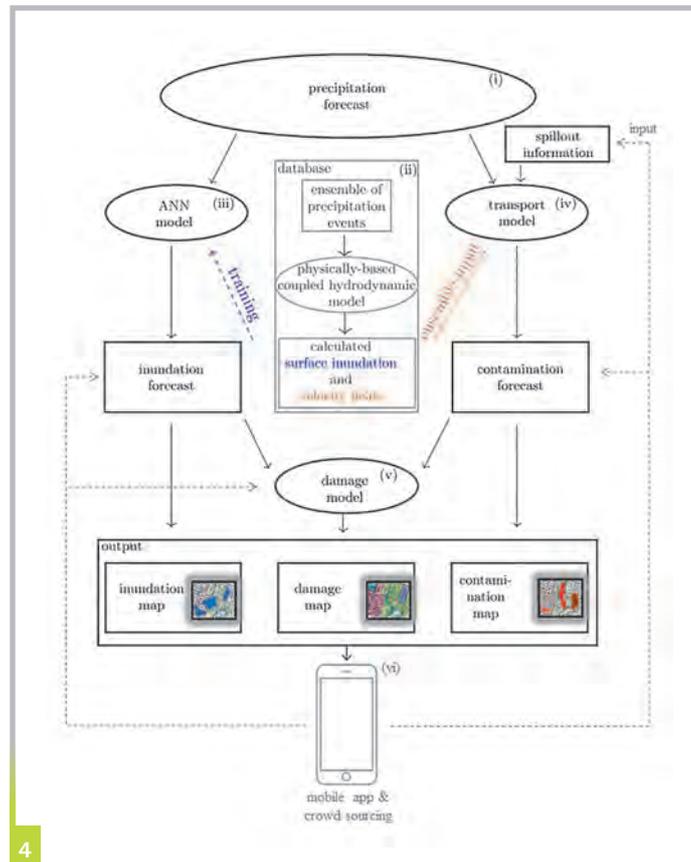
Abbildung 3
Klassifikationsergebnisse zur Wasserstandsschätzung (links) und ein Überblick über die Hochwasserstärke für Hurrikan Harvey in Houston, USA 2017. Quellen: rechts, Hintergrundkarte: OpenStreetMap; Grafik: ©ebvimages on Flickr unter CC BY-NC-SA 2.0 <https://www.flickr.com/photos/ebvimages/6356700649/in/album-72157628033411293/>

herausgelesen werden. Dafür werden zur weiteren Analyse die hochwasserrelevanten Bilder herangezogen, die Personen zeigen, die im Wasser stehen. Diese Bilder werden anhand des Wasserstands in Bezug auf verschiedene Körperteile –Knöchel, Knie, Hüfte, Brust – klassifiziert

und in vier Wasserstände eingestuft (Abbildung 3). Zusammen mit den Standortangaben der Bilder wird eine Karte der geschätzten Hochwasserstärke erstellt. Dies dient nicht nur als Validierung von Hochwasservorhersagen, sondern erhöht auch die Risikowahrnehmung der Bewohner.

Auf das Echtzeit-Hochwassermodell baut ein Schadensmodell auf, das aus den Überflutungsvorhersagen die resultierenden Schäden ableitet. Das Strömungsmodell ist an ein Grundwassermodell gekoppelt. Des Weiteren wurde ein Transportmodell zur Vorhersage von Transportwegen und -zeiten von Schadstoffen nach einem Schadensfall entwickelt und eingebunden. Diese Modellumgebung wurde an einem Teilgebiet von Hannover erfolgreich getestet (Abbildung 4, Rözer et al., 2021).

Es bleiben Fragen, für die Lösungskonzepte gefunden werden müssen. Eine der wichtigsten ist, wie man mit großen Unsicherheiten der Modellvorhersagen umgeht. Das involviert: Evaluierung der Unsicherheiten, oder Aussagen dazu mit welchen Zusatzinformationen man sie verringern könnte. Wie kommuniziert man unsichere Informationen und welche Handlungsempfehlungen leitet man daraus ab, oder wie kommuniziert man, dass keine Prognose alle Möglichkeiten abdecken kann und daher eine komplette Vorhersehbarkeit nicht möglich ist? Es bleibt ein spannendes Forschungsfeld mit vielen offenen Fragen.



4

Abbildung 4
Ablaufkette des Überflutungsvorhersagemodells. Quelle: Rözer et al., 2021

Literatur

Rözer V., A. Peche, S. Berkahn, Y. Feng, L. Fuchs, T. Graf, U. Haberlandt, H. Kreibich, R. Sämann, M. Sester, B. Shehu, J. Wahl, I. Neuweiler (2021): Impact-Based Forecasting for Pluvial Floods, Earth's Future 9(2)



Simon Berkhahn M.Sc.

Jahrgang 1990, ist seit 2017 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Strömungsmechanik und Umweltphysik im Bauwesen. Sein Forschungsschwerpunkt liegt in der Echtzeitvorhersage urbaner Hochwasser. Kontakt: berkhahn@hydromech.uni-hannover.de

Dr.-Ing. Yu Feng

Jahrgang 1989, ist seit 2015 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Kartographie und Geoinformatik. Seine Forschungsschwerpunkte sind die Extraktion von Hochwasserbeobachtungen aus Social-Media-Daten und die Identifizierung von hochwasserbezogenen Objekten aus Laserscan-Daten. Kontakt: yu.feng@ikg.uni-hannover.de

Prof. Dr.-Ing. Uwe Haberlandt

Jahrgang 1964, ist Leiter des Instituts für Hydrologie und Wasserwirtschaft der Fakultät für Bauingenieurwesen und Geodäsie. Seine Arbeitsschwerpunkte sind Modellierung und Prognosen von Hochwasser, Niedrigwasser und Niederschlag. Kontakt: haberlandt@iww.uni-hannover.de

Prof. Dr. Insa Neuweiler

Jahrgang 1969, ist seit 2008 Leiterin des Instituts für Strömungsmechanik und Umweltphysik im Bauwesen der Fakultät für Bauingenieurwesen und Geodäsie. Sie arbeitet zu Modellierung von Strömungs- und Transportprozessen mit Schwerpunkt auf porösen Medien. Kontakt: neuweiler@hydromech.uni-hannover.de

apl.-Prof. Dr. Thomas Graf

Jahrgang 1974, ist seit 2009 in den Funktionen als Juniorprofessor, Emmy-Noether-Nachwuchsgruppenleiter und apl. Professor am Institut für Strömungsmechanik und Umweltphysik im Bauwesen der Fakultät für Bauingenieurwesen und Geodäsie. Er beschäftigt sich mit der numerischen Modellierung nicht-linearer Strömungs- und Transportprozesse. Kontakt: graf@hydromech.uni-hannover.de

Klimawandel und Seismizität

Warum das Abschmelzen von Eis Erdbeben begünstigt

Durch den Klimawandel und die dadurch erfolgende Eisschmelze kann es in bisher stabilen Gebieten zu Erdbeben kommen. Prof. Dr. Andrea Hampel vom Institut für Geologie zeigt anhand von Modellierungen und Beispielen aus der geologischen Vergangenheit der Erde, wie Massenänderungen auf der Erdoberfläche die Spannungsverteilung beeinflussen können.

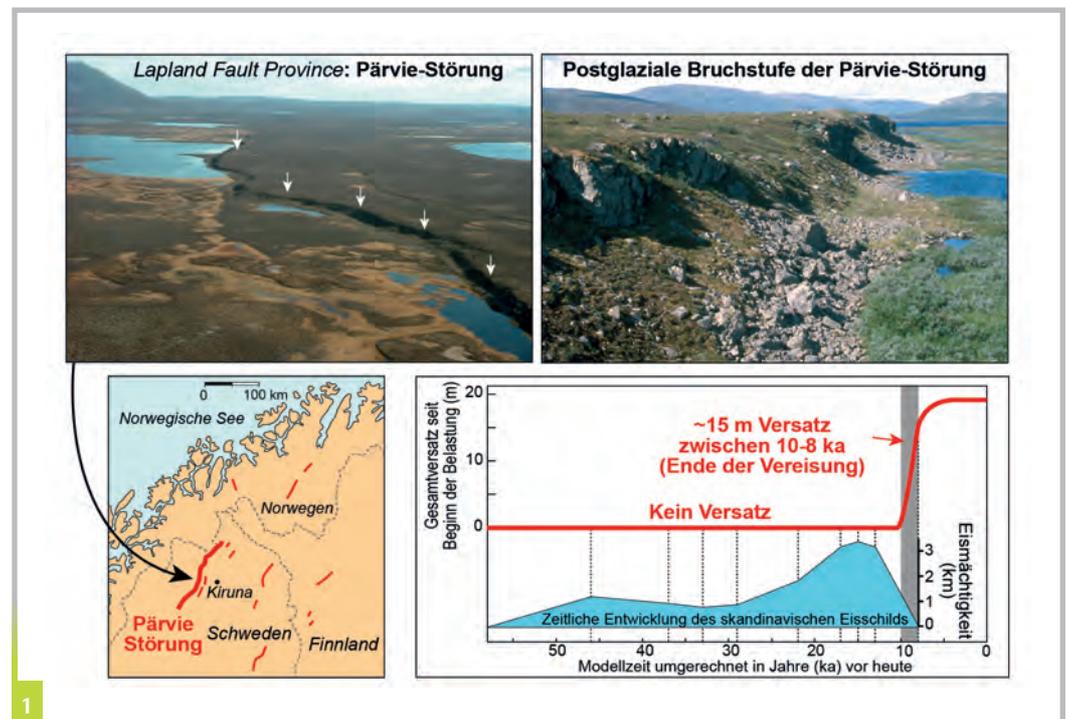


Abbildung 1
Die Pärvie-Störung in Nordskandinavien. Die etwa 10 bis 15 Meter hohe Bruchstufe ist bei Erdbeben nach der letzten Eiszeit entstanden.
Quellen: Hampel et al.: Response of faults to climate-driven changes in ice and water volumes on Earth's surface. In: W. McGuire (ed.), *Climate forcing of geological and geomorphological hazards*, Philosophical Transactions (A) of the Royal Society 2010, 368, 2501-2517

Erdbeben entstehen, wenn der Aufbau von Spannungen in der Erdkruste zu einem Bruch entlang tektonischer Störungsflächen führt. Der Bruchprozess geht einher mit plötzlichem Versatz auf der Störung, wobei sich angrenzende Krustenblöcke relativ zueinander bewegen. In der Regel werden Erdbeben durch tektonische Spannungen ausgelöst, die durch die großskaligen Bewegungen der Erdplatten relativ zueinander entstehen. Da die Erdkruste in vielen Regionen der Erde bereits ein hohes Grundniveau an Spannungen aufweist, können schon geringe Span-

nungsänderungen Erdbeben auslösen. Dies zeigte sich in der jüngsten Vergangenheit unter anderem auch daran, dass menschliche Aktivitäten wie Geothermie-Projekte oder Erdgasförderung seismische Ereignisse auslösen können.

Auch der anthropogen induzierte Klimawandel kann durch Massenänderungen auf der Erdoberfläche (wie zum Beispiel durch den Meeresspiegelanstieg oder das Abschmelzen von Gletschern) die Spannungsverteilung in der Erdkruste beeinflussen und dadurch Erdbeben auf tektonischen Störungsflächen

triggern. Wie aus der geologischen Vergangenheit bekannt ist, sind solche Erdbeben nach der letzten Eiszeit auch in ansonsten seismisch wenig aktiven Gebieten wie Skandinavien aufgetreten und haben Magnituden von 8 bis 9 erreicht. Ein bekanntes Beispiel hierfür ist die Pärvie-Störung in Skandinavien (Abb. 1). Mit dem Abschmelzen des skandinavischen Eisschildes vor ungefähr 10.000 Jahren wurde die etwa 150 Kilometer lange Störung seismisch aktiv. Dabei bildete sich eine 10 bis 15 Meter hohe Bruchstufe, die noch heute in der Landschaft zu sehen ist (Abb. 1).

Die Zusammenhänge zwischen klima-induzierten Auflaständerungen, Spannungsänderungen in der Erdkruste und der Seismizität von Störungen lassen sich mit Hilfe numerischer Modellierungen untersuchen. Hierbei hat sich gezeigt, dass die Reaktion von Störungen auf Massenänderungen an der Erdoberfläche nicht nur durch die zeitlich-räumlichen Änderungen der Auflast selbst bestimmt wird, wie lange angenommen wurde. Weitere maßgebliche Faktoren sind die durch die Auflast induzierte Deformation der festen Erde und das vorherrschende tektonische Regime (Dehnung oder Verkürzung). Auch die Position der Störung relativ zur Auflast spielt eine wichtige Rolle. Abhängig vom daraus resultierenden Gesamtspannungszustand können Erdbeben auf Störungen ausgelöst oder auch verhindert werden. Wichtig ist, dass das Verhalten der Störungen durch die Entwicklung der Spannungsdifferenz zwischen vertikaler und horizontaler Spannung, nicht durch die absolute Größe der vertikalen und horizontalen Spannungen kontrolliert wird.

Die Blockbilder in *Abbildung 2* fassen schematisch die Ergebnisse der Modellierungen zusammen. In den Modellen wurden zwei unterschiedliche tektonische Regime und damit assoziierten Störungsarten berücksichtigt. Bei Dehnung der Erdkruste wird die Verformung an Abschiebungen aufgenommen, bei Verkürzung an Überschiebungen. Während der Belastung führt die Auflast zu einer Erhöhung der vertikalen Spannung. Gleichzeitig biegt sich die Erdkruste jedoch unter dem Eis- oder Wasserkörper durch (Flexur), was zu einer Erhöhung der horizontalen Spannungen führt. In der Summe ändern sich unter der Auflast (Bereich A) die Spannungen so, dass der Versatz auf Ab- und Überschie-

bungen reduziert wird. Dies bedeutet, dass Erdbeben seltener stattfinden oder ganz unterdrückt werden. Dieser Fall trifft zum Beispiel auf die heutige Antarktis zu, die durch die Anwesenheit des antarktischen Eisschildes eine geringe Seismizität zeigt. Wie das obere Blockbild weiter zeigt, erfährt die Erdkruste als Gegenbewegung zur Flexur eine Aufwölbung um die Auflast herum (Bereich B). Störungen, die im Bereich B liegen, ten-

unter der ehemals vorhandenen Auflast liegen eine Beschleunigung im Versatz und erhöhte Seismizität. Der Grund hierfür ist, dass zwar die vertikalen und horizontalen Spannungen abnehmen, die Spannungsdifferenz jedoch größer wird im Vergleich zur Phase der Belastung. Diese Erhöhung der Spannungsdifferenz führt zu einer verstärkten seismischen Aktivität auf Störungen im Bereich unter dem ehemaligen Eis- oder

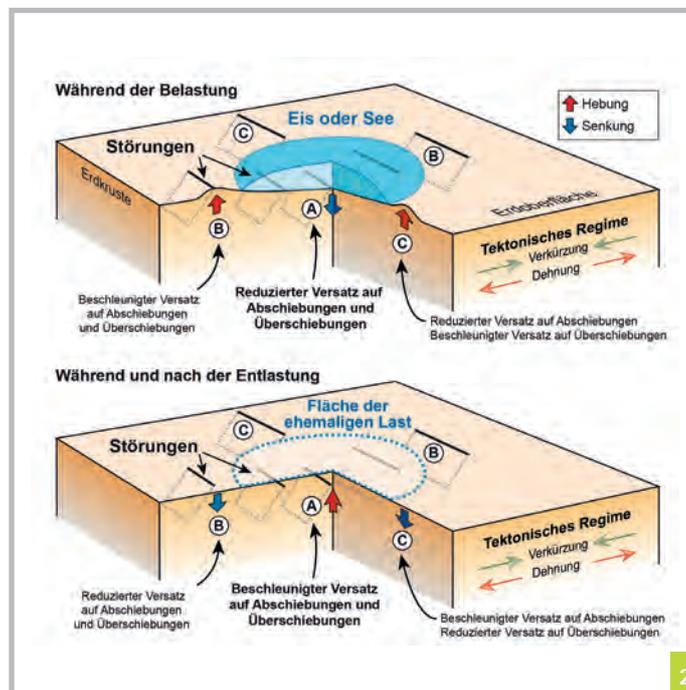


Abbildung 2
Blockdiagramme der Erdkruste zum Verhalten von Störungen bei glazial-interglazialen Massenänderungen an der Erdoberfläche.
Quelle: Hampel, Response of faults to climate-induced changes of ice sheets, glaciers and lakes. *Geology Today* 2017, 33, 12-18

dieren zu einem beschleunigten Versatz und damit zu einer erhöhten seismischen Aktivität während der Belastung. Interessant ist der Fall C: Hier zeigen Abschiebungen einem verlangsamten Versatz, während Überschiebungen beschleunigten Versatz erfahren.

Während der Entlastung, das heißt bei Abschmelzen des Eises oder Verschwinden des Sees, nimmt die vertikale Spannung ab. Auch die Flexur der Erdkruste wird rückgängig gemacht, wodurch sich die horizontalen Spannungen reduzieren. Dennoch zeigen die Störungen, die im Bereich A

Wasserkörper. Im Bereich B, das heißt in der Zone der ehemaligen Aufwölbung, hingegen nimmt die seismische Aktivität ab. Im Bereich C ist beschleunigter Versatz auf Abschiebungen und reduzierter Versatz auf Überschiebungen zu beobachten.

In weiterführenden Untersuchungen hat sich gezeigt, dass die Größe der Spannungsdifferenz, die für eine erhöhte oder verringerte Störungsaktivität verantwortlich ist, hauptsächlich von der Größe der Auflast sowie von der Viskositätsstruktur der Erdkruste und des darunterliegenden

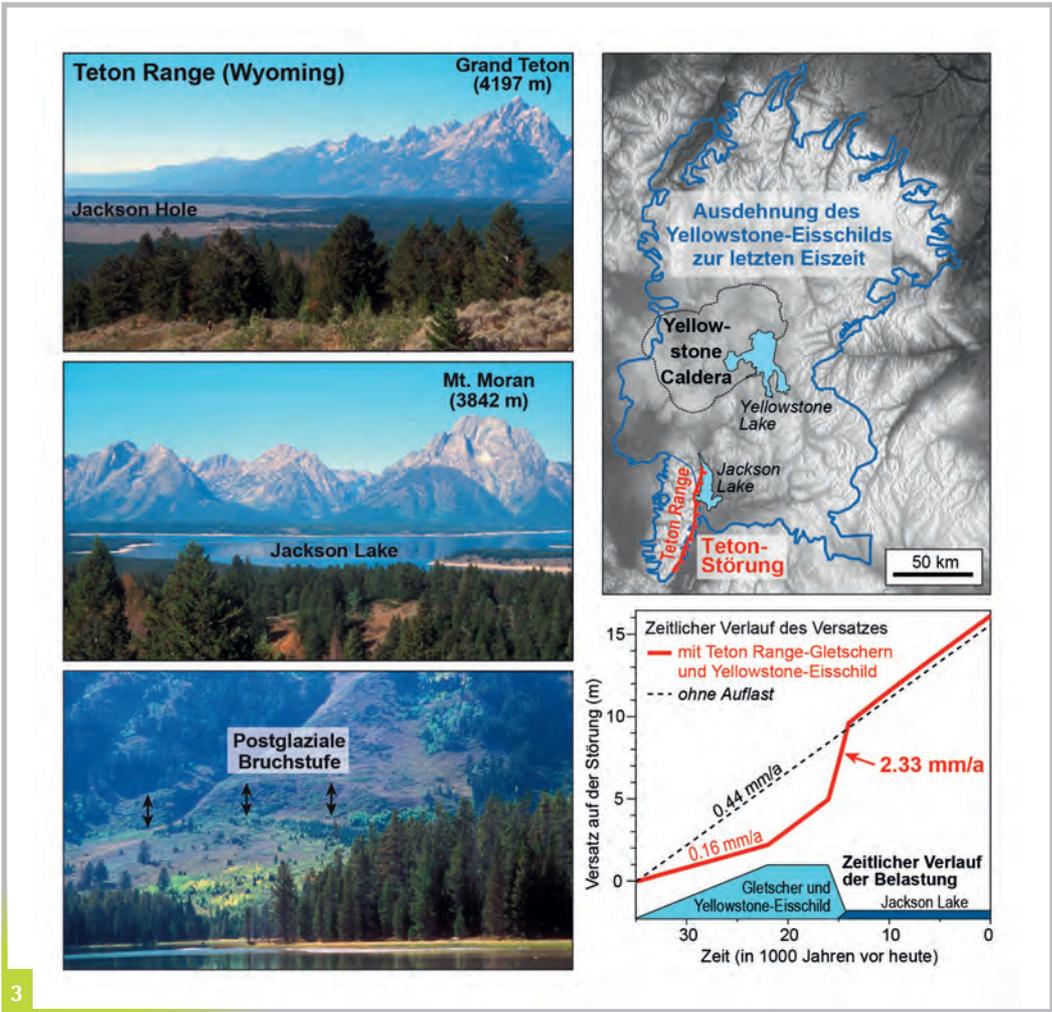


Abbildung 3 Die Teton Range in den westlichen USA, die sich an der aktiven Teton-Abschiebung gebildet hat. Aufgrund des Abschmelzens des Yellowstone-Eisschildes kam es nach der letzten Eiszeit vermehrt zu Erdbeben und der Bildung von postglazialen Bruchstufen.

Quellen: Hampel, Response of faults to climate-induced changes of ice sheets, glaciers and lakes. *Geology Today* 2017, 33, 12-18; Hampel et al.: Postglacial slip distribution along the Teton normal fault (Wyoming, USA), derived from tectonically offset geomorphological features, *Geosphere* 2021, 17,1517-1533

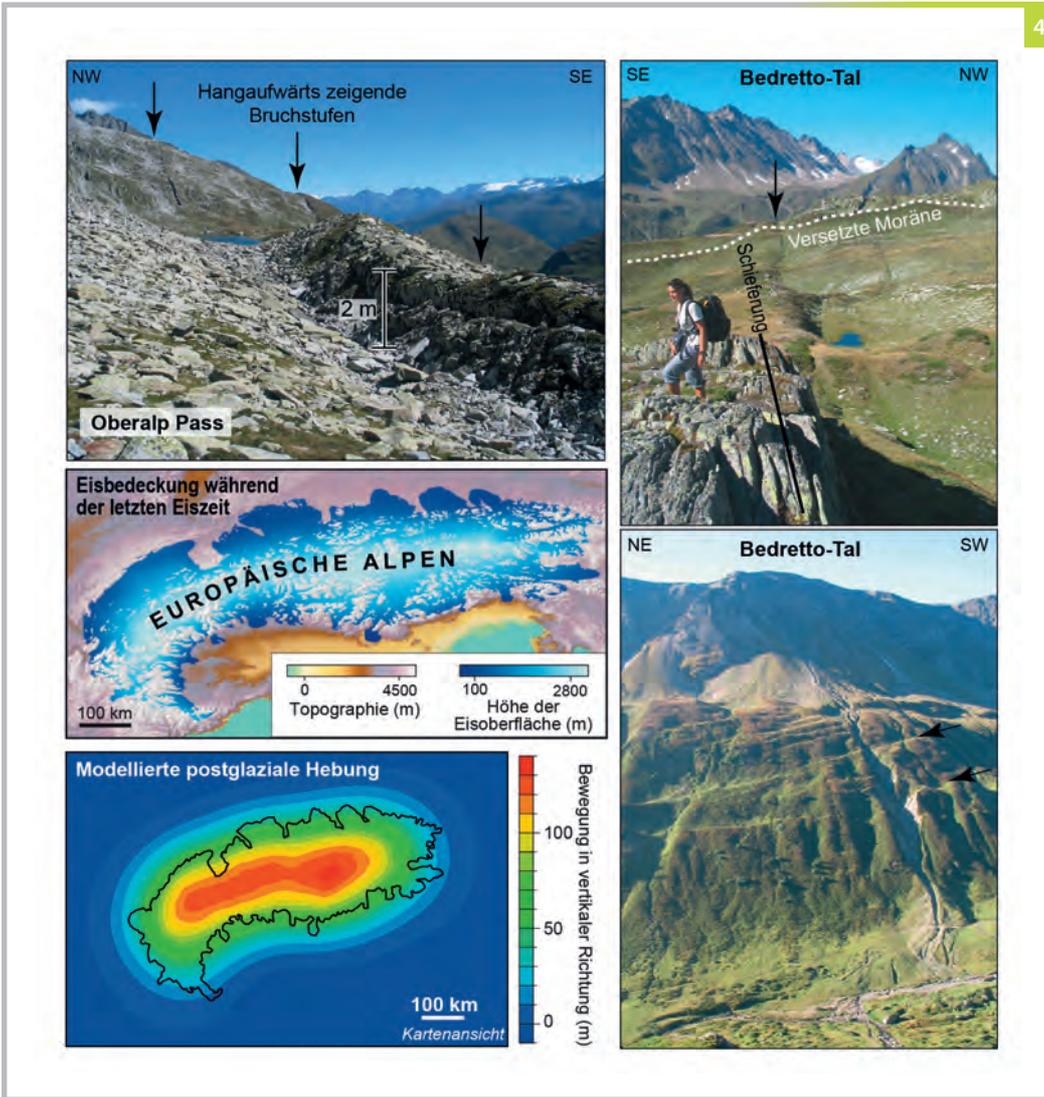
Erdmantels abhängt. Hingegen spielen die Rate der Massenänderungen auf der Erdoberfläche, der Reibungskoeffizient der Störung sowie die Mächtigkeit der Erdkruste eine untergeordnete Rolle.

Die Ergebnisse der numerischen Modelle erklären, warum es am Ende der letzten Eiszeit weltweit in Regionen mit unterschiedlichen tektonischen Regimen zu einer verstärkten Erdbebenaktivität gekommen ist. Ein prominentes Beispiel hierfür ist die 70 km lange Teton-Abschiebung, die südlich des Yellowstone-Nationalparks in den westlichen USA gelegen ist (Abb. 3). Über Millionen von Jahren hat sich durch den Versatz auf der Teton-Störung die über 4.000 m hohe Bergkette der Teton Ran-

ge gebildet, die durch eine spektakuläre, glazial geprägte Geomorphologie mit tiefen, U-förmigen Tälern charakterisiert ist. Während der letzten Eiszeit hat die Teton-Abschiebung – zusätzlich zu den Gletschern in der Teton Range – eine Belastung durch das bis zu einen Kilometer mächtige Yellowstone-Eisschild erfahren. Die Position der Teton-Störung relativ zur Auflast entsprach daher Bereich C im Blockbild aus Abbildung 2. Nach dem Ende der letzten Eiszeit in dieser Region vor etwa 15.000 Jahren hat die Teton-Störung eine Phase mit verstärkter Seismizität erfahren. Durch die Erdbeben haben sich entlang der gesamten Länge der Störung Bruchstufen gebildet, die hervorragend erhalten sind und postglaziale

Versätze von bis zu 27 Metern anzeigen. Wie aus geologischen Geländeuntersuchungen bekannt ist, sind dabei etwa 20 Meter dieses Gesamtversatzes auf mehrere Erdbeben im Zeitraum von 15.000 bis 8.000 Jahren vor heute zurückzuführen. Die Bewegungsrate der Teton-Abschiebung nach der letzten Eiszeit war damit ungefähr dreimal höher als von 8.000 Jahren bis heute. Wie numerische Modellierungen zeigen konnten, lässt sich die erhöhte seismische Aktivität der Teton-Abschiebung auf das Abschmelzen des Yellowstone-Eisschildes und der Gletscher in der Teton Range zurückführen.

Das Auftreten von postglazialen Versätzen entlang tektonischer Schwächezonen ist auch aus den europäischen Alpen bekannt. Während der letzten Eiszeit waren die Alpen von Eisdomen und bis zu zwei Kilometern mächtigen Talgletschern bedeckt (Abb. 4). Heute findet man in der Schweiz entlang der Flanken mancher Alpentäler Bruchstufen mit einer Länge von bis zu mehreren Kilometern. Diese Bruchstufen sind parallel zum Talverlauf orientiert und zeigen hangaufwärts und zeigen hangaufwärts (Abb. 4). Stellenweise versetzen die Bruchstufen glaziale Ablagerungen wie Moränen, was auf ein postglaziales Entstehungsalter hinweist. Die Entstehung dieser hangaufwärts gerichteten Bruchstufen wurde lange Zeit allein auf Hanginstabilitäten („Sackungen“) zurückgeführt. Eine kombinierte Studie aus Geländeuntersuchungen und numerischen Modellierungen konnte jedoch zeigen, dass die Bruchstufen dadurch entstanden sind, dass die Talböden durch das Abschmelzen der Gletscher entlastet wurden und sich relativ zu den Bergkämmen gehoben haben. Lokal wurde der Versatz später durch Sackungserscheinungen vergrößert. Die Modellierungen konnten auch erklä-



4

Abbildung 4
 In den europäischen Alpen hat das Abschmelzen der Gletscher nach Ende der letzten Eiszeit zur Hebung der Talböden relativ zu den Berggipfeln geführt. Hierdurch sind hangaufwärts gerichtete Bruchstufen entstanden. Durch numerische Modellierungen wurde die räumlich-zeitliche Verteilung der postglazialen Bewegungen im Alpenraum ermittelt.
 Quellen: Ustaszewski et al.: Composite faults in the Swiss Alps formed by the interplay of tectonics, gravitation and postglacial rebound: an integrated field and modelling study. *Swiss Journal of Geosciences* 2008, 101, 223-235; Norton & Hampel: Postglacial rebound promotes glacial re-advances – a case study from the European Alps. *Terra Nova* 2010, 22, 297-302



ren, warum man nicht in allen Alpentälern solche hangaufwärts gerichteten Bruchstufen findet: Die Voraussetzung für ihre Bildung ist, dass an den Flanken der Täler steil einfallende Schwäche zonen wie Schichtgrenzen oder Schieferungsflächen vorhanden sein müssen. Bei flach einfallenden Flächen reichen die Spannungen für eine Aktivierung und Versatzakkumulation nicht aus.

Insgesamt zeigen die obigen Beispiele, dass die Erdkruste auf klimainduzierte Massenänderungen an der Erdoberfläche reagiert und insbesondere die postglaziale Entlastung der Erdoberfläche und die damit einhergehenden Spannungsänderungen Erdbeben auslösen können. Numerische Modellierungen tragen dazu bei, die Zusammenhänge zwischen klimain-

duzierten Massenänderungen auf der Erdoberfläche und der Seismizität der Erdkruste besser zu verstehen. Die erzielten Ergebnisse besitzen nicht nur vor dem Hintergrund des voranschreitenden Klimawandels eine hohe Relevanz, sondern auch im Hinblick auf die Evaluierung der Langzeitsicherheit von Endlagern für radioaktive Abfälle.

Prof. Dr. Andrea Hampel
 Jahrgang 1975, ist seit 2009 Professorin für Geologie. Sie leitet das Institut für Geologie und eine Arbeitsgruppe für Tektonik, Strukturgeologie, tektonische Geomorphologie und numerische Modellierung geologischer Prozesse. Ihre Forschungsschwerpunkte sind die numerische Modellierung des Erdbebenzyklus und der Interaktion zwischen Tektonik und Erdoberflächenprozessen sowie die Anwendung kosmogener Nuklide und Thermochronologie auf tektono-geomorphologische Fragestellungen. Kontakt: hampel@geowi.uni-hannover.de

Meine Mecklenburgische

So gut.
So sicher,
weil ...



Wir bieten interessante **Perspektiven** und **Karrieremöglichkeiten** für Absolventen betriebswirtschaftlicher und juristischer Fachrichtungen sowie Absolventen der MINT-Fächer.

Individuell zugeschnitten auf Ihre Fähigkeiten und Kenntnisse kann der Einstieg direkt in einen Fachbereich oder durch ein Traineeprogramm erfolgen. Zudem unterstützen wir Ihre Ausbildung durch unser praktisches Know-How im Rahmen von Praktika oder der Betreuung Ihrer Bachelor- und Masterarbeit.

Als Arbeitgeber bieten wir Ihnen großzügige Sozialleistungen, attraktive Arbeitsbedingungen und ein gutes Betriebsklima.

Wir freuen uns auf den Kontakt mit Ihnen:
Mecklenburgische Versicherungsgruppe
Direktion Hannover
Platz der Mecklenburgischen 1 · 30625 Hannover
personal@mecklenburgische.de



Deutschkurse für Studium und Beruf- Online und Präsenz

25 Jahre
ISK

ISK

Institut für Sprachen und Kommunikation
Lützowstraße 7 | 30159 Hannover
0511-12 35 63 60 | www.isk-hannover.de



H HAHNE
HOLDING

hahneholdingjobs

Teamplayer?



Aufgepasst!

Unsere Angebote für Werkstudenten,
Praktikanten und Minijobber!

Wir freuen uns auf deine Bewerbung unter

www.hahne-holding.de/jobs/aushilfe/

FAIR UND ÜBERTÄFELICH
MINDESTEINSTIEGSLohn
12,50 €/Std.*

Lidl lohnt sich

ENDLICH VERDIENEN, WAS DU VERDIENST.

Studentenjob (m/w/d) im Verkauf

*Mindesteinstiegslohn für tarifl. Mitarbeiter 12,50 €/Std. (auch ohne abgeschlossene Berufsausbildung), je nach Erfahrung und Tarifgebiet deutlich mehr. Gilt nicht für Praktikum, Ausbildung, Abiprogramm sowie Duales Studium. Azubis starten mit 1.100 €, Teilnehmer im Abiprogramm mit 1.200 €, Duale Studenten mit 1.500 €/Monat (bei Vollzeit). Praktikanten erhalten 1.000 €/Monat (Pflichtpraktikum Studenten).

#teamlidl

LIDL MUSS MAN KÖNNEN

Bewirb dich auf jobs.lidl.de

Aus Gründen der leichteren Lesbarkeit verwenden wir im Textverlauf sowie bei Jobtiteln die männliche Form der Anrede, womit stets alle Geschlechter (m/w/d) gemeint sind. Selbstverständlich sind bei Lidl Menschen jeder Geschlechtsidentität willkommen.

Heimat ist da, wo man gerne hinfährt

Finden Sie Ihre berufliche Heimat bei der VGH. Sie haben den Abschluss in der Tasche und brennen darauf, Ihr Wissen anzuwenden? Dann packen Sie es an – bei uns!

fair versichert
VGH 

Finden Sie bei uns Ihre berufliche Heimat. Die VGH ist mit über 1,9 Millionen Privat- und Firmenkunden der größte regionale Versicherer in Niedersachsen. Mehrfach ausgezeichnet als Top-Arbeitgeber bieten wir Ihnen spannende Aufgaben, tolle Entwicklungsmöglichkeiten und einen sicheren Arbeitsplatz.

Gemeinsam mit Ihnen realisieren wir für Ihre künftigen Aufgaben einen maßgeschneiderten Karriereestieg. In unserem 18 Monate dauernden Traineeprogramm werden Sie ressortübergreifend eingesetzt und durch individuelle Fördermaßnahmen gezielt und professionell auf Ihren beruflichen Weg in unserem Unternehmen vorbereitet. Hierbei bieten wir Ihnen einen verantwortungsvollen Freiraum, Ihr Können zu entfalten und sich fachlich und persönlich weiterzuentwickeln.

Die VGH Versicherungen suchen zum 01.10.2022 oder später engagierte und qualifizierte

Trainees (m/w/d)

Ihr Profil:

- ✓ abgeschlossenes Masterstudium mit sehr gutem Leistungs- bild in rechtlichen, wirtschaftlichen, mathematischen, Ingenieur- oder IT- Studiengängen
- ✓ gerne (versicherungsnah) Praxiserfahrung durch Praktika
- ✓ eine selbständige, strukturierte und eigenverantwortliche Arbeitsweise
- ✓ Bereitschaft zu partnerschaftlicher Zusammenarbeit

Ihre Aufgaben:

- ✓ praktische Mitarbeit in verschiedenen, zu Ihnen passenden, Bereichen unseres Hauses
- ✓ Kennenlernen der wesentlichen Prozesse, Methoden und Verfahren des Unternehmens

Wir bieten Ihnen:

- ✓ individuell auf Sie angepasste spannende Praxisphasen und begleitende Schulungen
- ✓ ein unbefristetes Arbeitsverhältnis
- ✓ ein gutes Betriebsklima und flexible Arbeitszeiten
- ✓ gute Karriere- und Entwicklungsmöglichkeiten
- ✓ ein attraktives Gehalt nach Tarifgruppe VI PVT
- ✓ einen attraktiven Standort im Herzen von Hannover

Ihre Bewerbung

Haben wir Ihr Interesse geweckt? Wir freuen uns auf Ihre Bewerbung! Geben Sie Ihre persönlichen Daten im Online-Bewerbungsformular an und laden Sie Anschreiben, Lebenslauf und Zeugnisse in wenigen Minuten hoch.

Für Vorabinformationen:

VGH Versicherungen
Christiane Besa-Schmidt
Telefon 0511 362-2152
www.karriere.vgh.de

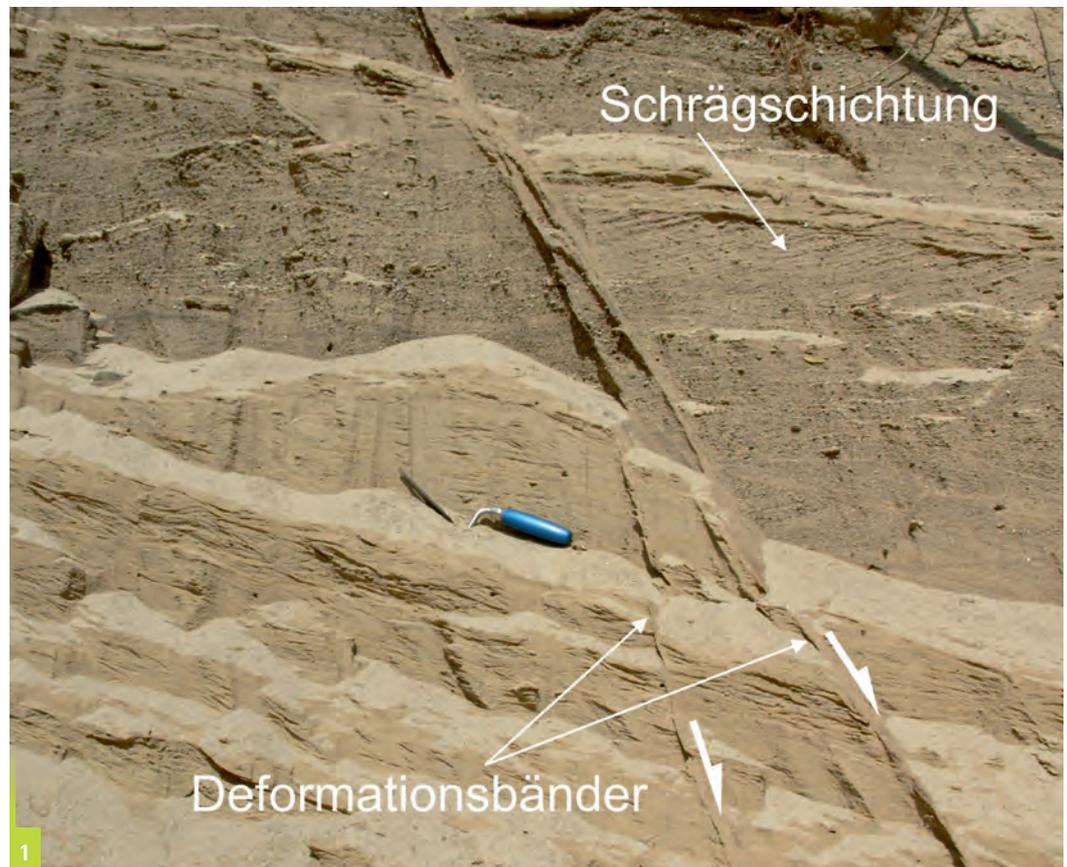


Georisiken

...erkennen, verstehen und prognostizieren

Erdbeben, Tsunamis, Massenbewegungen: Phänomene wie diese bezeichnet die geowissenschaftliche Forschung als Georisiken. Sie sind eine große Gefahr für Menschen und Infrastruktur. Die Kontrollfaktoren dieser Prozesse zu quantifizieren und, soweit möglich, Strategien zur Vorhersage oder zumindest zur Schadensbegrenzung zu erarbeiten, ist daher wichtig.

Das Institut für Geologie und das Institut für Erdmessung kooperieren mit dem Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG) in den Bereichen „Neotektonik und Verwerfungsprozesse“ sowie „Subrosion und Erdfälle“, sie geben hier Einblicke in ihre Forschung.



Neotektonik und Verwerfungsprozesse (C. Brandes & D. Tanner)

Erdbeben gehören global gesehen zu den wichtigsten Georisiken. Neben den häufiger von Erdbeben betroffenen Gebieten an den Rändern der Lithosphärenplatten (zum Beispiel Kalifornien, Neuseeland, Japan), treten Erdbeben auch im Zentrum der Platten auf. Diese sogenannten Intraplattenbeben stellen aufgrund der

größeren Abstände zwischen den Beben und der Schwierigkeit, die zugrundeliegenden Verwerfungen zu finden (da sie oft unter jungen Sedimenten verborgen sind), eine besondere Herausforderung dar. Um Erdbeben besser zu verstehen, konzentrieren sich unsere Arbeiten auf die Untersuchung von Verwerfungen, die die Quelle der Erdbeben sind. Verwerfungen sind Brüche in der Lithosphäre, deren Bewegungen seismische Wellen

aussenden. Die Effekte dieser Wellen werden als Erdbeben bezeichnet. Im Rahmen von verschiedenen Forschungsprojekten untersuchen wir die Verteilung von Erdbeben in Intraplattengebieten sowie den Aufbau von Verwerfungen und ihre mechanischen Prozesse auf verschiedenen räumlichen und zeitlichen Skalen. Ziel der Arbeiten ist es, die Verteilung und die Wiederholraten von Erdbeben in Intraplattengebieten besser

zu verstehen, strukturelle und kinematische Modelle von Verwerfungen zu erstellen, und Methoden zu entwickeln, die eine effiziente Detektion von unbekanntem Verwerfungen erlauben. Dies soll eine bessere seismische Gefährdungsanalyse von Gebieten wie Norddeutschland gewährleisten und so auch eine Abmilderung von den Gefahren, die von Verwerfungen ausgehen, ermöglichen. Wir verwenden dazu ein breites Spektrum von Methoden, die Geländearbeiten, oberflächen-nahe geophysikalische Messverfahren wie Georadar und Reflexionsseismik, experimentelle Ansätze und numerische Simulationen umfassen.

Unsere Arbeiten der vergangenen Jahre, die im Rahmen des Forschungszentrums FZ:GEO in Kooperationen zwischen LUH, LIAG und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) stattfanden, haben gezeigt, dass es in Norddeutschland und Dänemark prähistorische Erdbeben gegeben hat und dass viele große Verwerfungen sehr wahrscheinlich durch mechanische Spannungsveränderungen reaktiviert wurden, die in Zusammenhang mit der Entlastung der Lithosphäre durch das Abschmelzen des skandinavischen Eisschildes stehen (Brandes et al., 2015). Diese Verwerfungsreaktivierung ging mit signifikanten Erdbeben einher, die in Norddänemark möglicherweise Magnituden von bis zu $M=7$ erreicht haben (Brandes et al., 2018). Als Indikator für diese Paläoerdbeben dienen so genannte „soft-sediment deformation structures“. Das sind Entwässerungsstrukturen, die bei Erdbeben durch die Verformung in jungen, noch unverfestigten, oberflächennahen Sedimenten entstehen. Der Vergleich von solchen Strukturen, die man in Sedimenten findet, mit Strukturen, die heute bei Erdbeben entstehen, erlaubt

es, die Magnitude der Erdbeben der Vergangenheit abzuleiten. Die Analyse von Erdbeben aus der jüngeren geologischen Vergangenheit erweitert die Datenlage zur Seismizität eines Gebiets. Das ist wichtig für Intraplattenbereiche, wo zwischen den einzelnen Erdbeben mehrere Tausend Jahren liegen können und wo daher die seismische Gefährdung systematisch unterschätzt wird.

In Norddeutschland gab es neben den prähistorischen und historischen Erdbeben in den letzten 20 Jahren zudem sieben Erdbeben, die in überraschend großen Tiefen von 17 bis 31,4 km stattgefunden haben. Diese tiefliegenden seismischen Ereignisse, zusammen mit den prähistorischen Erdbeben, zeigen, dass die Verteilung der Erdbeben in Norddeutschland stark vom strukturellen Aufbau der Lithosphäre kontrolliert wird. Die erzielten Ergebnisse erlauben ein besseres Verständnis der Verteilung und Häufigkeit von Erdbeben und sind ein wichtiger Baustein für die Abschätzung und Neubewertung des seismischen Gefährdungspotenzials von Mitteleuropa. Die prähistorische und die aktuelle Seismizität stellt die Einschätzung, dass Norddeutschland aseismisch ist oder nur selten kleine Erdbeben auftreten, klar in Frage.

Neben den Arbeiten auf regionalem Maßstab führen wir auch kleinräumige Arbeiten durch, um den Aufbau und die Struktur von Verwerfungen zu analysieren. Traditionell werden Verwerfungen als diskrete Brüche in der Lithosphäre betrachtet. Diese Sichtweise hat sich in den vergangenen Jahren stark gewandelt. Größere Verwerfungen sind häufig komplexer aufgebaut und bestehen aus einer mehrere Meter bis Zehnermeter breiten Zone. Diese Komplexität hat einen Einfluss auf das

mechanische Verhalten und somit auch auf die Erdbeben, die von den Verwerfungen ausgehen. Wir untersuchen dabei speziell die Umgebung von Verwerfungen und versuchen, aus Strukturelementen wie Deformationsbändern, die sich im Vorfeld von Verwerfungen bilden, die Position von unbekanntem Verwerfungen zu bestimmen. Bei den Deformationsbändern handelt es sich um 1 bis 3 cm dicke und lateral mehrere Meter bis 10er Meter aushaltende Bänder in sandigen Sedimenten (Abbildung 1). Sie sind oft durch einen geringeren Porenraum gekennzeichnet als das Umgebungsmaterial. Diese Bänder konnten wir entlang vieler bekannter Verwerfungen in Norddeutschland und Norddänemark finden und es zeigt sich, dass sie sehr wahrscheinlich ein charakteristisches Merkmal von Verwerfungen darstellen und daher als Indikator für bislang noch unbekannt aktive Verwerfungen dienen können. Ein weiterer Fokus der Arbeiten liegt auf experimentellen Untersuchungen der Verformung von granularem Material, wie es in den Kernen von Verwerfungen, aber auch in den die Verwerfungen begleitenden Deformationsbändern auftritt. Perspektivisch sollen diese Arbeiten zu der Konstruktion von realitätsnahen digitalen Verwerfungsmodellen führen, die eine bessere Simulation von Verwerfungsprozessen erlauben.

Eine weitere Möglichkeit, um unbekannt Verwerfungen zu finden, die nicht direkt an der Erdoberfläche sichtbar sind, ist die Verwendung geophysikalische Methoden wie zum Beispiel die Reflexionsseismik. Bei seismischen Messungen werden sehr empfindliche Mikrophone (sogenannte Geophone) ausgelegt. Mit einer vibrierenden Quelle werden dann schwache seismische Wellen in den Untergrund

Abbildung 1
Deformationsbänder in saalezeitlichen Ablagerungen im Leinebergland. Die Deformationsbänder sind tabulare Strukturelemente, die sich im Vorfeld von Verwerfungen bilden können und so einen Hinweis auf verborgene, möglicherweise seismogene Verwerfungen geben.
Foto: C. Brandes

ausgesendet, die an Materialwechseln im Untergrund reflektiert und dann von den Geophonen aufgezeichnet werden. Daraus lässt sich ein Abbild des Untergrunds berechnen und so können unter anderem verborgene Verwerfungen erkannt werden. Das LIAG nutzt je nach Fragestellung für die seismischen Messungen unterschiedliche Wellentypen. Kompressionswellen (P-Wellen) eignen sich bes-

sondere dann, wenn diese sogenannten Erdfälle in bewohnten Gebieten auftreten und somit ein erhebliches Risiko für Menschen und Infrastruktur darstellen. Gerade in Norddeutschland ist dieses Phänomen bekannt, da die geologische Situation das Entstehen von Erdfällen begünstigt. Zum Glück kommt es jedoch nicht immer zu einem abrupten Kollapsereignis, häufig senkt sich die Erdober-

für Angewandte Geophysik (LIAG) im Rahmen von FZ:GEO mit gemeinsamen Forschungsaktivitäten an. Diese werden teilweise durch institutionelle Förderung realisiert, zudem haben sich beide Einrichtungen an dem BMBF-Verbundvorhaben SIMULTAN (Sinkhole instability: integrated **multi**-scale monitoring and **analysis**) beteiligt. Dieses Projekt wurde im Rahmen einer Ausschrei-



Abbildung 2
Erdfall auf einer landwirtschaftlich genutzten Fläche im Raum Dassel, März 2014.
Foto: C. Brandes

ser zur Visualisierung des tieferen Untergrunds, Scherwellen (S-Wellen) dringen nicht tief ein und sind daher besser geeignet oberflächennahe Strukturen abzubilden. Speziell die Scherwellenreflexionsseismik wurde in den vergangenen Jahren erfolgreich bei der Analyse von Geogefahren eingesetzt.

Subrosion und Erdfälle (G. Gabriel & S. Schön)

„Und plötzlich ist da ein Krater im Boden“ – über solche Ereignisse wird immer wieder in den Medien berichtet, ins-

fläche über lange Zeiträume langsam ab. Im Hinblick auf eine Früherkennung fehlt es in beiden Fällen bislang jedoch an integrierten Konzepten, die übergreifende räumliche und zeitliche Skalen einbeziehen. Besonders anspruchsvoll ist die Forschung dabei in urbanen Gebieten. Dort stellen Überbauung sowie gesellschaftliche Aktivitäten und damit verbundene Unruhe limitierende Faktoren für geophysikalische und geodätische Erkundungs- sowie Überwachungsmethoden dar. An dieser Stelle setzen das Institut für Erdmessung (IfE) und das Leibniz-Institut

zur Weiterentwicklung von Methoden zur Früherkennung von Naturgefahren in Deutschland gefördert und hat speziell Erdfälle adressiert.

Erdfälle sind zirkulare/elliptische Einsenkungen oder Kollapsstrukturen in der Erdoberfläche, die durch Subrosion im Untergrund verursacht werden (Abbildung 2). Ihr Durchmesser variiert von wenigen Metern bis zu einigen 100 Metern für große Erdfälle. Subrosion beschreibt die unterirdische Auslaugung leicht wasserlöslicher Gesteine und deren Abtransport; in

Deutschland sind vor allem Regionen mit Hochlagen von Salz (Norddeutschland) beziehungsweise mit Vorkommen von Sulfat- und Karbonatgesteinen (Mittel- und Süddeutschland) betroffen.

Eine umfassende Beschäftigung mit Erdfällen sowie die Überwachung der zugrundeliegenden Prozesse muss aufgrund der je nach Subrosionstyp unterschiedlich ablaufenden Prozesse verschiedene räumliche und zeitliche Skalen umfassen: (I) initiale Lösungsprozesse im betroffenen Gestein können in größeren Tiefen ablaufen, dies weit bevor sichtbare Veränderungen an der Erdoberfläche auftreten; (II) gravitative Massenverlagerung führt zu einer Beeinflussung des überlagernden Gesteins und verändert zunächst das hydrogeologische System sowie das oberflächennahe Bodensystem; (III) schließlich kommt es zu anhaltenden Absenkungen der Erdoberfläche oder auch zu abrupten Kollapsereignissen. Zur Prävention von Schäden muss somit die frühzeitige Identifizierung von Verdachtsflächen Forschungsgegenstand sein – dabei ist neben der Erfassung der strukturgeologischen Situation (Gesteinsart, Störungen, Wasserwegsamkeiten) die Identifizierung und Überwachung von Bereichen wichtig, die bereits erhöhte Porositäten oder Hohlräume aufweisen.

Zur Identifizierung von Verdachtsflächen werden nicht-invasive, also geophysikalisch-geodätische Verfahren benötigt. Geologische Bohrungen würden ggfls. nachteilig in das hydrologische Regime eingreifen und Subrosionsprozesse verstärken; zudem liefern sie nur punktuelle Informationen. Das LIAG hat daher an verschiedenen Orten, unter anderem in Hamburg-Flottbek und Bad Frankenhausen (Thüringen) (Abbildung 3), innovati-

ve reflexionsseismische Methoden erprobt und kombiniert, um anomale Bereiche im Untergrund, die Hinweise auf Subrosion liefern, zu erfassen. Als ein wichtiger Indikator kristallisieren sich seismische Geschwindigkeiten heraus, welche die Ausbreitungsgeschwindigkeiten elastischer Wellen im Untergrund beschreiben. In durch Subrosion beeinflussten Gebieten scheinen diese aufgrund der redu-

Darüber hinaus liefern reflexionsseismische Untersuchungen Einblicke in das geologische Inventar der jeweiligen Region. Sie geben Hinweise auf Störungen, die ein kontrollierender Faktor für die im Hinblick auf Subrosion wichtige Wasserzirkulation sind und bilden strukturelle Besonderheiten im Untergrund ab, die durch die initialen Subrosionsprozesse entstanden sind. Aktuell liegt der Schwer-



Abbildung 3
Folgen der Subrosionsprozesse in Bad Frankenhausen: Der Turm der Oberkirche, das Wahrzeichen der Stadt, weist aufgrund der Auslaugung des Untergrundes heute eine Neigung auf, die größer ist als die des Schiefen Turms in Pisa.
Foto: LIAG

zierten Festigkeit des Untergrundes verringert zu sein. Die gemeinsame Erfassung von Kompressionswellen- und Scherwellengeschwindigkeiten gibt Einblicke in die elastischen Eigenschaften des Untergrundes und zeigt zum Beispiel für Bad Frankenhausen lokal deutlich reduzierte Elastizitätsmodule. Diese Ansätze werden durch am LIAG weiterentwickelte Messtechnik ermöglicht. Um die räumliche Auflösung der seismischen Geschwindigkeiten zu verbessern, werden moderne Auswerteverfahren wie die Wellenforminversion getestet und in die Workflows integriert.

punkt der Arbeiten in den Regionen Quickborn und Elmshorn in Schleswig-Holstein. Insbesondere hochauflösende Scherwellenseismik gibt hier einen detaillierten Einblick in die strukturellen Verhältnisse an und über den Salzstöcken. Sofern das Huttgestein lösungsanfällig ist, zeigen sich diskontinuierliche seismische Reflektoren.

Für die Überwachung gegenwärtig ablaufender Prozesse bieten sich vor allem geodätisch-gravimetrische Methodenkombinationen an, die räumlich wie zeitlich variable Oberflächendeformationen

und unterirdische Massenumlagerungen erfassen. Im Rahmen von SIMULTAN wurden gemeinsam durch LIAG und IfE entsprechende Überwachungsnetze in Hamburg-Flottbek und Bad Frankenhausen eingerichtet; diese sollen zum Teil auch in den nächsten Jahren weiter genutzt werden. Bezüglich der im Untergrund ablaufenden Massenbewegungen bietet einzig die Gravimetrie eine Möglichkeit, diese von der Erdoberfläche aus auch räumlich zu erfassen. Massenveränderungen führen zu kleinsten zeitlichen Veränderungen im lokalen Gravitationsfeld (Schwerebeschleunigungen) der Erde, die mit sogenannten Gravimetern überwacht werden können. Die Herausforderungen bei der Erforschung von Subrosionsprozessen sind die selbst bei langen Beobachtungszeiträumen geringe Veränderung der Schwerebeschleunigung und die gleichzeitige Beeinflussung der Messergebnisse durch Massenveränderungen, die nicht auf Subrosion zurückgehen. Hier sind vor allem hydrogeologische Einflüsse wie Bodenfeuchtevariationen und Veränderungen im Grundwasserspiegel zu nennen. Diese müssen auf Basis großräumiger Modelle und lokaler Beobachtungen abgeschätzt und in den Messungen korrigiert werden. Sowohl für Hamburg als auch Bad Frankenhausen wurden letztlich über drei beziehungsweise vier Jahre relevante Schwereabnahmen beobachtet, die maximal in der Größenordnung von $10 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}^2$ liegen (zur Einordnung: die in erster Näherung konstante Schwerebeschleunigung liegt in unseren Breiten bei $9,81 \text{ m/s}^2$). Erste Modellabschätzungen unter Hinzunahme von Informationen aus Forschungsbohrungen lassen allerdings abschätzen, dass für die Erklärung dieser sehr kleinen Beträge in Bad Frankenhausen beispielsweise die Lösung einer im-

merhin einen Meter mächtigen Schicht von zehn mal zehn Meter Grundfläche in 15 Metern Tiefe infrage kommt. Tatsächlich werden die Beobachtungen aber eher auf die Überlagerung von lokalen Massenveränderungen in unterschiedlichen Tiefen zurückzuführen sein, zwischen denen bislang jedoch nicht unterschieden werden kann. Eine Schwierigkeit ist dabei der große Aufwand bei den Messungen, um die nötigen Genauigkeiten zu erreichen. Dadurch ist das Überwachungsnetz auf wenige Beobachtungspunkte beschränkt. Abhilfe könnte hier in Zukunft die Nutzung neuartiger Messtechnik, sogenannter Quantengravimeter, liefern.

Im Hinblick auf die hochgenaue und flächenhafte Überwachung von Oberflächen- und satellitenbasierte GNSS-Messungen (Global Navigation Satellite System) an (Kersten et al. 2017). Während erstere routinemäßig durchgeführt werden, sind GNSS-Beobachtungen im urbanen Raum herausfordernd. Um Genauigkeiten von besser 2 Millimeter zu erreichen, die für die Überwachung von Subrosionsprozessen in Hamburg und Bad Frankenhausen zwingend sind, ist eine sehr zeitaufwändige Datenbearbeitung notwendig. Ein Grund sind eingeschränkte Satellitensichtbarkeiten aufgrund von Bebauung und Vegetation, hinzu kommen sogenannte Mehrwegeeffekte, also überlagernde Reflektionen der Satellitensignale an Bauwerken in der Nähe einer GNSS-Station. Methodische Entwicklungen bei der Nutzung von GNSS-Techniken stellen einen Schwerpunkt der Forschung am IfE dar. So konnte gezeigt werden, dass die Datenqualität im urbanen Raum vor allem durch längere Messzeiten ver-

bessert werden kann. Ebenso führte die Kombination von unterschiedlichen Satellitensystemen, US-amerikanischem GPS und russischem GLONASS oder europäischem Galileo System, zu einer geometrischen Verbesserung der Positionslösung. Insbesondere durch die höheren GLONASS-Satellitenbahnen konnten die Positionslösungen für Punkte mit schlechter Satellitenabdeckung stabilisiert werden. Diese Erkenntnisse motivierten die Entwicklung von sogenannten low-cost GNSS-Empfängern, die aufgrund des geringen Investitionsaufwandes an vielen Stellen, wie beispielsweise auf Straßenlaternen, installiert werden können. Die Datenqualität wird hier über die Erfassung langer Zeitreihen gesichert, zugleich kann eine viel bessere räumliche Auflösung erreicht werden, als bei Wiederholungsmessungen an definierten Punkten eines Messnetzes. Zukünftige Forschung zum Thema Subrosion wird sich neben der Weiterentwicklung methodischer Ansätze für die Detektion von Verdachtsflächen und die Überwachung vor allem mit der gekoppelten Modellierung der komplexen Prozesse befassen müssen. Letzteres ist entscheidend, um Szenarien berechnen zu können, die beispielsweise auch die Auswirkungen von Klimaänderungen berücksichtigen. Diese werden ggfls. das lokale hydrologische Regime verändern, das die Subrosionsprozesse steuert.

Schlussbemerkung

Ein wichtiger Punkt wird zukünftig sein, dass der konkrete Umgang mit Geogefahren – sowohl Neotektonik als auch Subrosion – letztlich die Transformation der wissenschaftlichen Erkenntnisse in Handlungsempfehlungen für Entscheidungsträger wie geologische Dienste, Kommunen

oder Sachverständige erfordert. Dafür ist eine Quantifizierung von Unsicherheiten in den entwickelten Modellen und Prognosen unerlässlich. Speziell eine Integration sozial-ökologischer Forschung ermöglicht nachhaltige Lösungsansätzen, um den urbanen Lebensraum zu sichern und Anpassungsstrategien zu entwickeln.

Literatur

- Brandes, C., Steffen, H., Sandersen, P.B.E., Wu, P. and Winsemann, J. (2018) Glacially induced faulting along the NW segment of the Sorgenfrei-Tornquist Zone, northern Denmark: implications for neotectonics and Lateglacial fault-bound basin formation. *Quaternary Science Reviews*, 189, 149-168
- Brandes, C., Steffen, H., Steffen R. and Wu, P. (2015) Intraplate seismicity in northern Central Europe is induced by the last glaciation. *Geology*, 43, 611-614
- Kersten, T., Kobe, M., Gabriel, G., Timmen, L., Schön, S. and Vogel, D. (2017) Geodetic monitoring of subsidence-induced subsidence processes in urban areas: Concept and status report. *Journal of Applied Geodesy*, 11(1). 21-29.



Dr. Christian Brandes

Jahrgang 1975 ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Geologie mit Forschungsschwerpunkten im Bereich Strukturgeologie, Neotektonik, numerische Beckensimulation und Polarforschung. Kontakt: brandes@geowi.uni-hannover.de



Dr. David Colin Tanner

Jahrgang 1966 ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Sektion „Seismik und Potenzialverfahren“ am LIAG mit Forschungsschwerpunkten im Bereich seismische Interpretation in 2 und 3-D, Strukturgeologie und Tektonik. Kontakt: DavidColin.Tanner@leibniz-liag.de



Prof. Dr. Steffen Schön

Jahrgang 1974 hat die Professur für Positionierung und Navigation am Institut für Erdmessung inne. Mit seiner Arbeitsgruppe beschäftigt er sich mit der Entwicklung von Verfahren zur verbesserten Positionierung mit GNSS Systemen beispielsweise für das Geomonitoring in herausfordernder Umgebung, der kollaborativen Navigation im urbanen Bereich und der Nutzung von Quantensensoren für die Trägheitsnavigation. Kontakt: schoen@ife.uni-hannover.de



Prof. Dr. Gerald Gabriel

Jahrgang 1968 ist S-Professor für „Seismik und Potenzialverfahren“ am Institut für Geologie, dies verbunden mit der Leitung der gleichnamigen Sektion am Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (Hannover). Dort ist er derzeit auch stellvertretender Direktor. Die Forschungsschwerpunkte seiner Arbeitsgruppe liegen auf der Entwicklung geophysikalischer Methoden im Bereich der Seismik und Gravimetrie und deren Anwendung auf themenorientierte Fragestellungen, beispielsweise Geofahren oder Grundwasserressourcen. Kontakt: gerald.gabriel@leibniz-liag.de



Kluge Köpfe

für Ihr Unternehmen!

Ihr Kontakt
Kerstin Grönemeyer
+49 511 762 14655
groenemeyer@
zqs.uni-hannover.de

Zentrales Stellenportal
der Leibniz Universität Hannover
stellenticket.uni-hannover.de





Beraten, Organisieren und Steuern mit hohem Anspruch an Qualität – das ist unsere Passion.

Wir sind Fachleute für hochkarätiges Projektmanagement und bieten dir die Chance, mit uns und unseren Projekten zu wachsen: an kleinen und großen Herausforderungen, am fachlichen Austausch im Team und durch individuell auf dich zugeschnittene Fortbildungen.

Wenn du auf der Suche nach einem Unternehmen mit flachen Organisationsstrukturen sowie einer offenen und modernen Unternehmenskultur bist und eine berufliche Herausforderung als **Projektingenieur*in** suchst, dann schaue dir doch unsere aktuellen Stellenangebote (<https://bos-pm.de/karriere/>) an!

Wir freuen uns auf deine Bewerbung an bewerbung@bos-pm.de.



Standorte:
 Neudorfer Straße 4
 47057 Duisburg
 Bockenheimer Landstraße 92
 60323 Frankfurt a. M.
 Berliner Allee 7
 30175 Hannover
www.bos-pm.de

25 Jahre TransTecBau
 Wir bewegen Menschen

Du? Wir? Passt!

Besuch uns auf den Career Dates am 22.6.2022

Komm zu uns: www.transtecbau.de/bewerbung

www.ilf.com



ILF BERATENDE INGENIEURE GMBH SUCHT:

Gestalten Sie die Energiewende mit! Für Projekte im Energiesektor und Infrastrukturbereich suchen wir Sie als:

- Senior Umweltplaner (m/w/d)
- Senior Genehmigungsplaner (m/w/d)
- GIS Spezialist (m/w/d)
- Junior Genehmigungsplaner (m/w/d)
- Bauingenieur (m/w/d)
- Projektingenieur Trassenbau (m/w/d)

Unsere Standorte sind in München, Bremen, Hamburg, Berlin. Wir verkaufen keine Produkte, die spontan glücklich machen. Unsere Planungs- und Engineering Dienstleistungen tragen seit mehr als 50 Jahren zu einer besseren Lebensqualität bei. Bewerbungen bitte an jobs.ger@ilf.com – <https://www.ilf.com/de/karriere/jobs/>



gasunie
 crossing borders in energy

Zukunft mitgestalten? Gerne mit uns!

Sie möchten die Energiewende mit Zukunftsvisionen rund um das Thema Wasserstoff vorantreiben? Dann werden Sie Teil unseres Teams!

Seit der Etablierung im deutschen Gastransportmarkt baut Gasunie ihre starke Position als zentraler Pfeiler der nordwest-europäischen Gasdrehzscheibe zukunftsorientiert weiter aus.

- ▶ Sie haben Ihr wirtschaftswissenschaftliches, technisches oder naturwissenschaftliches Hochschulstudium erfolgreich abgeschlossen und möchten jetzt mit viel Einsatzwillen den Grundstein für Ihren beruflichen Erfolg in der Energiebranche legen?
- ▶ Wir bieten Ihnen ein anspruchsvolles Aufgabengebiet mit hoher Eigenverantwortung in einem engagierten Team, eingebettet in ein attraktives Vergütungssystem mit umfangreichen betrieblichen Sozialleistungen.

Neugierig? Dann besuchen Sie unsere Website www.gasunie.de und bewerben Sie sich bei uns!

Haben Sie Fragen? Wir helfen gerne:
Esther.Wigger-Martens@gasunie.de

www.gasunie.de

Magmatische Kristalle

Mikroarchive vulkanischer Aktivität

Geowissenschaftler*Innen aus Hannover und Bochum gehen den Prozessen, die kurz vor einem Vulkanausbruch in Magmakammern ablaufen, auf den Grund. Basierend auf der Untersuchung magmatischer Minerale versuchen sie, die Dauer des Magmaaufstiegs zu bestimmen. Ziel ist es, den Zeitpunkt sowie Art und Stärke bevorstehender Eruptionen besser vorhersagen zu können.

Abbildung 1
Vulkanausbruch auf La Palma vom November 2021.
Foto: Edgar Zorn, GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam



Vulkane sind Naturphänomene, die die Menschheit seit jeher faszinieren und auch die Entwicklung der menschlichen Zivilisation maßgeblich beeinflusst haben. Neben Erdbeben, Tsunamis, Wirbelstürmen und Überflutungen zählen auch Vulkanausbrüche zu den großen Naturkatastrophen, die viele Menschenleben kosten und große Schäden verursachen können. So haben im vergangenen Jahr die Eruptionen auf La Palma (kanarische Inseln, siehe *Abb. 1*) und der indonesischen Insel

Java, und Anfang dieses Jahres die Explosion des Unterwasservulkans bei Tonga, für großes Aufsehen gesorgt. Blicken wir etwas weiter zurück, so haben der Ausbruch des Mount Pelée auf Martinique (1902) oder der des Vulkans Krakatau in Indonesien (1883 durch einen Tsunami) mehreren zehntausend Menschen das Leben gekostet. Der Ausbruch des Vulkans Tambora 1815 beeinflusste sogar das globale Klima der Folgejahre, so ging das Jahr 1816 in Europa und den USA als das „Jahr

ohne Sommer“ in die Geschichte ein. Sogenannte „schlafende Vulkane“ können viele tausende oder gar zehntausende Jahre ruhen, um dann in Form von gewaltigen Explosionen wieder zu erwachen und viele Kubikkilometer Lava, Gestein und Asche auszuspucken. Hierzu zählen zum Beispiel der Yellowstone Nationalpark in den USA, der jährlich Millionen von Touristen anzieht oder auch der Laacher See in der Eifel, der zuletzt vor etwa 13.000 Jahren ausbrach.

Im Unterschied zum menschengemachten Klimawandel können wir Vulkanausbrüche nicht verhindern. Jedoch nimmt, aufgrund der wachsenden Erdbevölkerung (bald acht Milliarden) und der damit einhergehenden zunehmenden Bevölkerungsdichte, auch die Vulnerabilität der menschlichen Zivilisation durch Vulkanausbrüche zu. Umso wichtiger werden präzise Prognosen bezüglich des

kanischer Gase, die man mit dem Aufstieg und der damit verbundenen Entgasung von Magmen in der Tiefe in Zusammenhang bringt. Die genauen Prozesse sowie der zeitliche Ablauf des Magmaaufstiegs über ein System von kleinen miteinander verbundenen Magmareservoirs in der Erdkruste (in ein bis 30 Kilometern Tiefe), sind jedoch noch unzureichend verstanden, sodass die Signale an der

stopps“ des Magmas in solchen Reservoiren, kommt es häufig zu einer Mischung mit dort bereits vorhandener Schmelze, sodass sich die Umgebung der magmatischen Kristalle auf dem Weg durch die Kruste bis zur Eruption des Magmas mehrmals ändert. Diese Änderungen von Druck, Temperatur und der Magmazusammensetzung werden von den magmatischen Kristallen „aufgezeich-

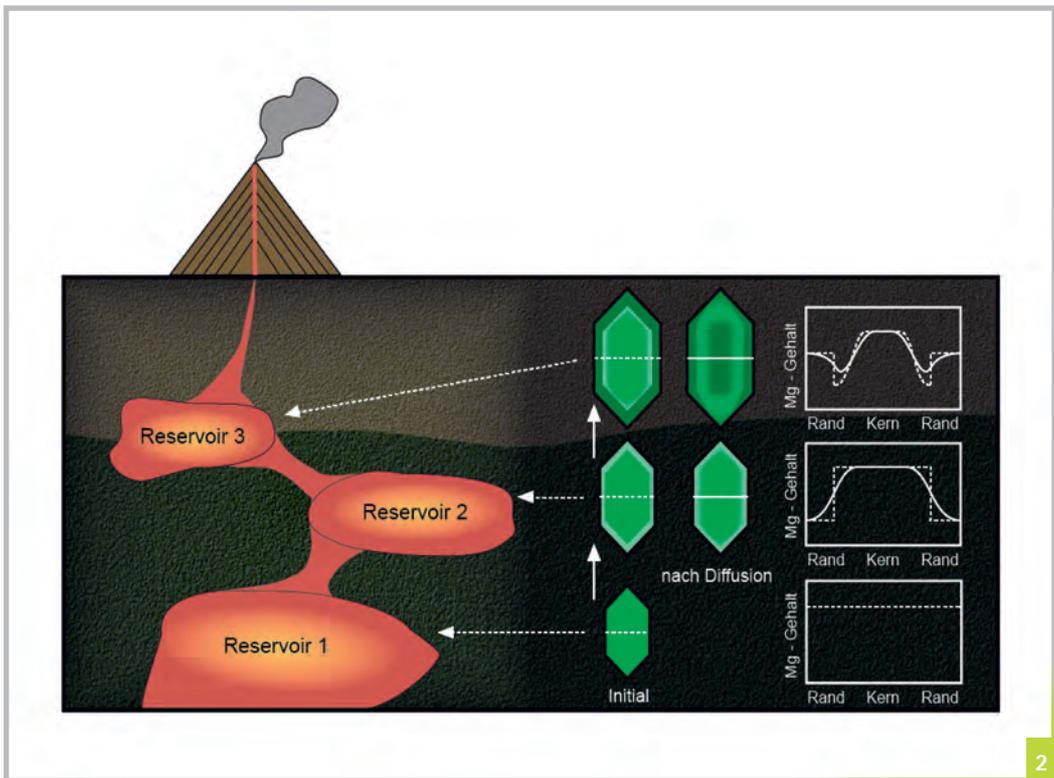


Abbildung 2
 Links: vereinfachter schematischer Aufbau eines vulkanischen Systems mit drei Magmareservoirs in unterschiedlicher Tiefe; rechts: Entwicklung eines magmatischen Olivin Kristalls mit drei Wachstumszonen und einem chemischen „Stufenprofil“ (gestrichelte Linie in den Diagrammen daneben). Durch Diffusion zwischen den Wachstumszonen kommt es zur „Abflachung“ des Stufenprofils (durchgezogene Linie in den Diagrammen). Je kürzer die Verweilzeit eines Kristalls in einem bestimmten Magmareservoir ist, desto steiler ist das Stufenprofil.
 Quelle: Thilo Bissbort (Doktorarbeit, Bochum, 2022)

Zeitpunkts sowie der Art und Stärke von Vulkaneruptionen. Hierzu werden die aktivsten Vulkane auf der Erde, vor allem solche mit dichter Besiedelung, wie zum Beispiel in Italien der Ätna oder der Vesuv, der sich in unmittelbarer Nachbarschaft zur Millionenstadt Neapel befindet, stetig überwacht. Die Überwachung basiert vor allem auf geophysikalischen Methoden (seismische Aktivität, Wärmefluss, über Satelliten gemessene Verformung der Erdoberfläche) sowie der Messung der Menge und Zusammensetzung vul-

Erdoberfläche schwierig zu interpretieren sind. Diese Prozesse werden von Forscher*Innen aus dem Institut für Mineralogie in Hannover zusammen mit Forscher*Innen der Ruhr Universität Bochum in einer von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Forschungsgruppe (FOR 2881) untersucht. Im Fokus ihrer Forschung stehen magmatische Kristalle, die sich in verschiedenen Magmareservoirs der Erdkruste bilden (Abb. 2). Während diverser „Zwischen-

net“. Passend zu den sich ändernden Bedingungen, bilden sich Wachstumszonen mit unterschiedlichen chemischen Zusammensetzungen. Solche Kristalle können somit als eine Art „Mikroarchiv“ benutzt werden, vergleichbar mit Baumringen, welche die sich verändernden klimatischen Bedingungen während des Baumwachstums aufzeichnen. Aus diesen Daten kann man zum Beispiel abschätzen, bei welchen Drucken und Temperaturen sich die Minerale gebildet haben. Aus den Drucken kann man dann die Tiefe

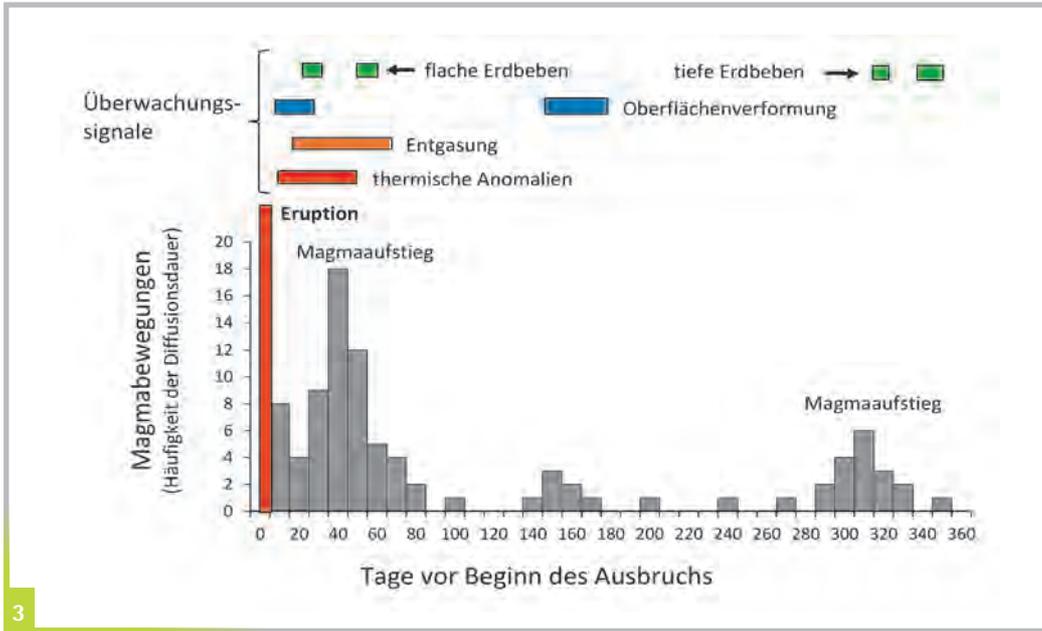


Abbildung 3 Exemplarisches (fiktives) Histogramm, das den Zusammenhang zwischen der Magmaabewegung durch die Erdkruste, rekonstruiert durch Diffusions-Chronometrie in magmatischen Mineralen, und an der Oberfläche gemessenen Überwachungssignalen aufzeigt. Quelle: ähnlich wie in Kahl et al. *Earth and Planetary Science Letters* 308 (2011) 11–22 und Costa et al., *Nature Reviews* (2020) doi.org/10.1038/s43017-020-0038

berechnen, in der sich die verschiedenen Zonen der Kristalle gebildet haben.

Des Weiteren können die Kristalle aber auch als eine Art „Stoppuhr“ verwendet werden, welche die Zeit, die ein Kristall in einer bestimmten Umgebung (Magmareservoir) verbringt, aufzeichnet. Dies hängt damit zusammen, dass die Kristalle immer danach streben ein chemisches Gleichgewicht mit der Umgebungsschmelze zu erreichen. Wenn sie nun in eine Magmakammer mit anderer Schmelzzusammensetzung transportiert werden, versuchen sie, dieses Gleichgewicht über chemische Diffusion im Kristall, die eine Funktion der Zeit ist, wieder zu erlangen. Die Ausdehnung des chemischen Diffusionsprofils kann somit zur Bestimmung der Diffusionszeit verwendet werden. Diese Methode wird auch „Diffusions-Chronometrie“ genannt. Der Vorteil dieser Methode ist zum einem, dass die Diffusionsgeschwindigkeit verschiedener Elemente in verschiedenen Mineralen sehr unterschiedlich ist, sodass sowohl lange Zeiträume von vielen hundert Jahren, als auch

sehr kurze Zeiträume von wenigen Stunden erfasst werden können. Zum anderen findet messbare Diffusion nur bei hohen Temperaturen statt und endet bei magmatischen Prozessen nach der Eruption des Magmas, wenn die Temperatur schlagartig mit der Erstarrung der Laven abnimmt. Somit hat die Methode den Vorteil, dass man mit ihr die Dauer von magmatischen Prozessen bestimmen kann, die bereits Millionen von Jahren zurückliegen. Die Geschichte der Kristalle bleibt in Form einer Diffusionszonierung als Aufzeichnung erhalten (Abb. 2), die mit moderner Analytik, wie Elektronenmikroskopie, Elektronenstrahl-Mikrosonden und Laser Ablation, gekoppelt mit Massenspektrometrie in Hannover und Bochum gemessen werden kann. Ein Schwerpunkt der oben genannten Forschungsgruppe ist es, mit gezielten Experimenten die Diffusionsgeschwindigkeit verschiedener Elemente in den häufigsten magmatischen Mineralen, Olivin, Pyroxen und Plagioklas sowie ihre Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren, wie zum Beispiel der Temperatur, zu bestimmen und damit die „Uhr“ der Kris-

talle zu kalibrieren. Außerdem sollen die kalibrierten Uhren in Form einer Software zur Anwendung von Diffusions-Chronometrie für andere nutzbar gemacht werden.

Ziel unserer Forschung ist es, die von uns bestimmten Verweilzeiten des Magmas in bestimmten Magmareservoirs mit den Daten aus der Überwachung von Vulkanen, wie zum Beispiel der seismischen Aktivität, zu korrelieren (siehe Abb. 3). Damit bekommen wir ein besseres Verständnis von der genauen Magmaabewegung im Untergrund, welches für die Interpretation der Überwachungssignale bei zukünftigen Ausbrüchen sehr hilfreich sein kann. Zum anderen können wir die Diffusions-Chronometrie auch bei Vulkanen anwenden, deren letzter Ausbruch schon sehr lange zurückliegt, um den Magmaaufstieg von bestimmten Eruptionen im Nachhinein zu rekonstruieren. Dies ist besonders für die explosivsten und gefährlichsten Vulkane der Erde interessant, wie zum Beispiel der Yellowstone (USA) oder der Laacher See Vulkan (Eifel), die sehr lange Ruhephasen haben, bevor sie wieder aktiv werden. Von solchen Vulkanen können wir mit einer Kombination von langsam- und schnell-diffundierenden Elementen die Produkte der letzten Eruptionen untersuchen und somit die Magmaabewegungen der letzten hundert Jahre, aber auch der letzten Monate oder sogar Tage vor dem Vulkanausbruch erfassen. Diese Erkenntnisse können dann in die Überwachung dieser Vulkane einbezogen werden und ermöglichen eine bessere Interpretation der Überwachungssignale. Damit kann im Falle eines möglichen Ausbruchs zeitnah und zielgerichtet reagiert werden, zum Beispiel mit Evakuierungsmaßnahmen, deren Umfang natürlich maßgeblich von der erwarteten Stärke des Vulkanausbruchs abhängt.



Prof. Dr. Stefan Weyer

Jahrgang 1967, ist seit 2010 Professor für Geochemie am Institut für Mineralogie der naturwissenschaftlichen Fakultät der LUH. Sein Forschungsschwerpunkt liegt in der Entwicklung isotopengeochemischer Methoden zur Charakterisierung von Stoffflüssen in der tiefen Erde und an der Oberfläche. Er ist seit 2018 im Vorstand von FZ:GEO. Kontakt: s.weyer@mineralogie.uni-hannover.de



Prof. Dr. rer. nat. Francois Holtz

Jahrgang 1960, ist seit 1996 Professor für Petrologie am Institut für Mineralogie der LUH. Zudem ist er Ko-Sprecher des FZ:GEO. Der Schwerpunkt seiner Forschung liegt auf Simulationen von geologischen Hochtemperatur – Prozessen im experimentellen Labor. Kontakt: f.holtz@mineralogie.uni-hannover.de



Prof. Dr. Sumit Chakraborty

Jahrgang 1959, ist seit 1999 Professor für Physikalisch-chemische Mineralogie am Institut für Geologie, Mineralogie und Geophysik an der Ruhr-Universität Bochum. Er entwickelt Methoden der Diffusionschronometrie um Zeitskalen von Prozessen in der tiefen Erde zu charakterisieren und quantifizieren. Er ist aktuell der Präsident der Geochemical Society. Kontakt: sumit.chakraborty@ruhr-uni-bochum.de



M.Sc. Linda Sobolewski

Jahrgang 1991, ist Doktorandin an der Ruhr-Universität Bochum und untersucht für ihre Promotion Vulkan-Eis-Interaktionen im Krater des Mount St. Helens. Seit Mai 2021 ist sie außerdem Projektkoordinatorin der von der DFG geförderten Forschungsgruppe „Diffusion Chronometry of Magmatic Systems“. Kontakt: linda.sobolewski@ruhr-uni-bochum.de

Als eines der führenden Unternehmen im Freileitungsbau, bieten wir Ihnen spannende Aufgaben sowie herausfordernde Projekte.




**Verstärken Sie unser Team als Ingenieur (m/w/d)
im Bereich Vermessung oder Bau!**

Unter www.hoch-spannend-frei.de erfahren Sie mehr über uns und Ihren neuen Job bei der LTB Leitungsbau GmbH

Bei Fragen wenden Sie sich bitte an **Frank Bochmann**
Tel.: 0351 845 - 1120 | E-Mail: meinjob@ltb-leitungsbau.de

Wie schnell steigt Magma auf?

Maschinelles Lernen (ML) hilft bei der Antwort

Wissenschaftler*innen der Geoinformatik und der Geowissenschaften bündeln ihre Expertisen, um Georisiken zu minimieren. In diesem Beitrag zeigen sie, dass maschinelles Lernen (ML) für die Auswertung von großen analytischen Datensätzen unumgänglich ist, um Prozesse in Magma-Reservoirs nachzuvollziehen. Der Einsatz von ML ermöglicht ein schnelles Reagieren bei laufenden vulkanischen Eruptionen, wie zum Beispiel La Palma.



Minerale sind Zeitzeugen der Erdgeschichte. Die Bestimmung des Alters der Erde, unser Wissen über die Entstehungsgeschichte von Gebirgen sowie Erosionsgeschwindigkeiten basieren auf Untersuchungen von Mineralen. Aus ihrer chemischen Zusammensetzung kann ermittelt werden, bei welcher Tiefe (oder Druck) und Temperatur sich die Minerale gebildet haben. Minerale sind somit „Thermometer“ und „Barometer“ und werden für die Rekonstruktion von Gebirgsbildung und von magmatischen Prozessen unter Vulkanen herangezogen.

So wie Menschen haben jedoch Minerale ihren ganz eigenen Charakter. Manche pas-

sen ihre chemische Zusammensetzung sehr schnell auf Änderungen in der Umgebung an; manche sind träge und können langzeitige geologische Veränderungen überleben. Aufgrund dieses Verhaltens können chemische Heterogenitäten in Mineralen genutzt werden, um dynamische Prozesse während Eruptionen zu untersuchen und um Georisiken nachzuvollziehen. Bei Eruptionen wie zum Beispiel La Palma 2021 (Dauer insgesamt 4 Monate), können die Lavaströme kontinuierlich beprobt werden, um die Aufstiegs geschwindigkeit der Magmen zu bestimmen. Wenn diese Information mit dem Monitoring der seismischen Aktivität gekoppelt wird, kön-

nen die Magmabewegungen sehr genau verfolgt und Prognosen über die Dauer der Eruptionen erstellt werden. Das Problem bei der praktischen Umsetzung dieses Ansatzes ist, dass für eine zuverlässige Auswertung die Analyse von Hunderten von Kristallen in einer Gesteinsprobe notwendig ist. Eine manuelle Auswertung ist daher in einem akzeptablen Zeitfenster unmöglich. Eine schnelle Auswertung ist essenziell für die Prognose des Ablaufs einer Eruption und ist nur mit dem Einsatz von ML möglich. Maschinelle Lernverfahren könnten die Beprobung prinzipiell auch automatisiert auswerten und bieten so potenziell Echtzeitfähigkeit.

Abbildung 1
Vulkanausbruch auf La Palma vom November 2021.
Foto: Edgar Zorn, GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam

Der Ansatz des maschinellen Lernens

Beim ML wird ein Modell zur automatischen Lösung spezifischer Aufgaben aus vorgegebenen Daten, so genannten Trainingsdaten, erlernt. Im vorliegenden Fall besteht diese Aufgabe in der Analyse von Bildern von Gesteinen, um Informationen über die chemischen Eigenschaften der abgebildeten Minerale abzuleiten,

Millionen von Parametern benötigen, die im Training bestimmt werden. Zu diesem Zweck ist eine Funktion zu minimieren, welche die Fehler der Ergebnisse des neuronalen Netzes bei Anwendung auf die Trainingsdaten beschreibt. Neben Hardware mit ausreichend hoher Rechenleistung sowie einer großen Anzahl an Trainingsbeispielen sind auch die Wahl der Netzwerkarchitektur und die Defi-

sich aus der Summe der Daten Informationen über Magmakammern und Aufstiegsprozesse der Magmen im Inneren des Vulkans ableiten. Dieser Ansatz ist sehr zeitaufwändig, da die Konzentration der Elemente Fe und Mg in Olivin mit einer Auflösung von 1 µm bestimmt werden muss. Folglich wäre die vulkanische Eruption bereits vorbei, wenn die Auswertung der Daten abgeschlossen ist.

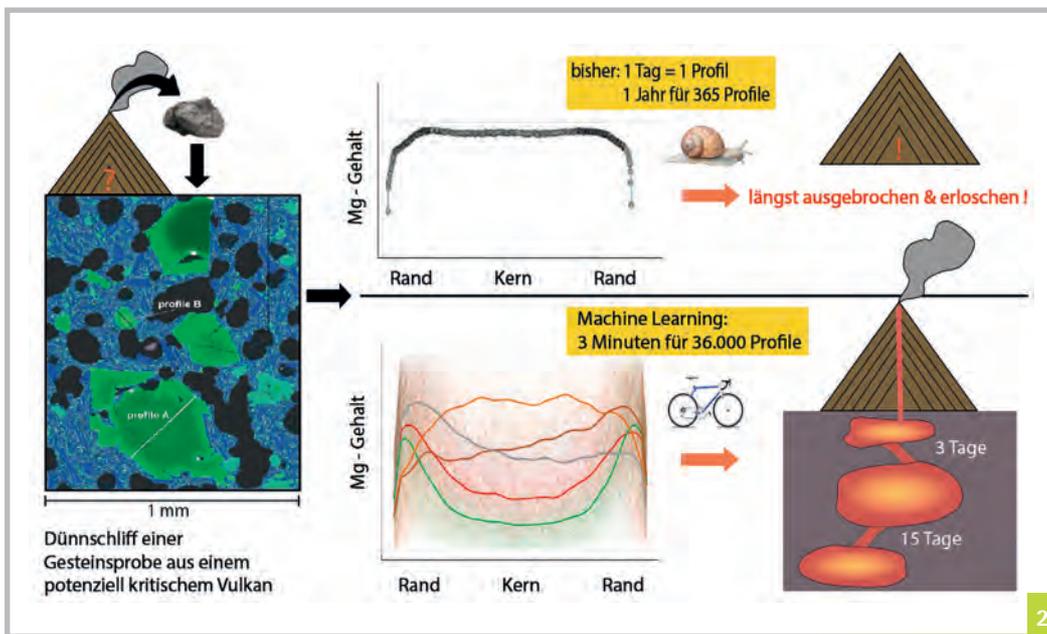


Abbildung 2 Die verschiedenen Etappen in der Untersuchung von vulkanischen Gesteinen. Von links nach rechts: Probenahme; Herstellung von Dünnschliffen und Identifizierung von einzelnen Kristallen (grüne Minerale sind hier Olivin) mit REM und EDX; Erstellung von Element-Konzentrationsprofilen (hier Magnesium (Mg)-Gehalt) mit der konventionellen Methode (ESM; oben) bzw. mit ML (unten); Anwendung zur Charakterisierung magmatischer Prozesse. Die Auswertung mit ML ermöglicht auch die Identifizierung von mehreren Populationen von Olivinen. Quelle: eigene Darstellung

zum Beispiel über den Mineraltyp oder das Verhältnis bestimmter Elemente. Die Trainingsdaten bestehen aus Beispielen, für welche die zu präzisierenden Ausgaben (Sollwerte) bereits bekannt sind. Im Training werden die Parameter des Modells so bestimmt, dass dessen Ausgaben für die Trainingsbilder möglichst gut zu den Sollwerten passen. Im Anschluss kann das Modell schnell und ohne menschliche Interaktion neue Bilder auswerten. Heutzutage kommen bei solchen Aufgaben häufig künstliche neuronale Netze zum Einsatz. Mit ihrer Hilfe können sehr komplexe Zusammenhänge modelliert werden, wozu sie mitunter mehrere

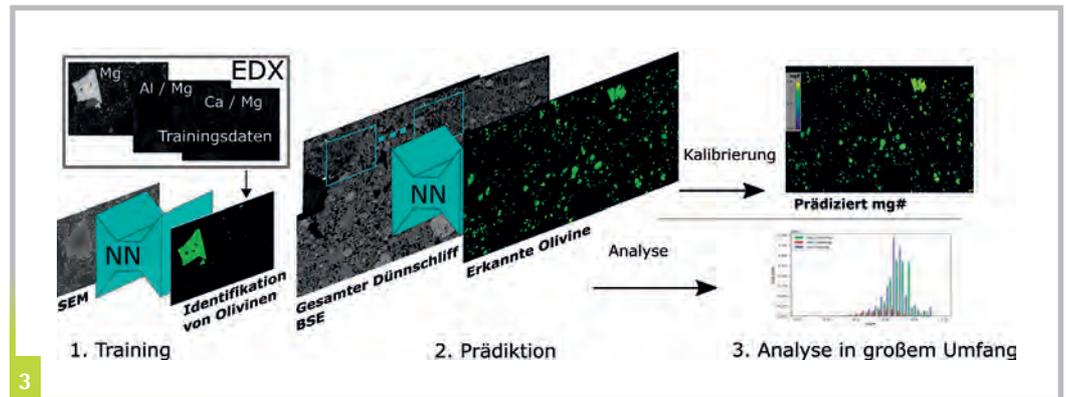
nition einer geeigneten Zielfunktion wichtige Faktoren.

Praktisches Beispiel: Untersuchung von Mineralen in vulkanischen Gesteinen

Der Einsatz von neuronalen Netzen zur automatischen Analyse eines vulkanischen Gesteins wurde im Rahmen einer Kooperation zwischen den Geowissenschaften und der Geoinformatik durchgeführt. In einem konventionellen manuellen Ansatz wird die chemische Zusammensetzung von Mineralen – hier Olivine – mit einer Elektronenstrahlmikrosonde (ESM) angefertigt. Werden genügend Kristalle analysiert, lassen

Aus diesem Grund wurde ein alternativer Ansatz entwickelt, der auf der Verwendung eines neuronalen Netzes basiert (vgl. Abbildung 2). Aus einer vulkanischen Gesteinsprobe wurde ein Dünnschliff mit einer Fläche von ca. 12 cm² vorbereitet. Die Probe wurde in einem Rasterelektronenmikroskop (REM) aufgenommen. Mit dem REM können in kürzester Zeit große Bereiche der Probe aufgenommen werden, wenn auch ohne explizite Informationen über die chemische Zusammensetzung der Kristalle. Mit dem Energiedispersive Röntgen Sensor (EDX), welcher vergleichsweise langsam ist, werden explizite Informationen über die chemische Zusammensetzung der Olivine

Abbildung 3
 Prozessierung mit Hilfe der
 Verfahren des ML.
 NN: Neuronales Netz.
 Quelle: eigene Darstellung



gewonnen. Um den manuellen Prozess der Analyse der Kristalle zu ersetzen, müssen zunächst automatisch die Olivin Kristalle (Abbildung 2 und 3) auf Basis der REM-Daten erkannt und für diese großflächig und schnell Profile bestimmt werden. Dies kann in eine Standardaufgabe des Deep Learning überführt werden, wenn entsprechende Trainingsdaten verfügbar sind. Die aufwändige Generierung dieser Daten konnte automatisiert werden, weil sowohl REM und EDX Aufnahmen vorhanden waren, wodurch aus den REM Daten die Zielwerte für das Training automatisch abgeleitet werden können, sodass das Modell lernen kann, anhand der EDX Aufnahmen zu prädiieren, wo sich Olivinkristalle befinden. Anhand von einigen wenigen manuell erstellten Profilen (mit ESM) kann der Zusammenhang zwischen REM Werten und chemischen Eigenschaften gelernt werden („Kalibrierung“ in Abbildung 3). Im Anschluss kann das Modell genutzt werden, um die chemischen Eigenschaften für das ausgewählte Mineral großflächig und in kürzester Zeit aus den REM-Daten zu prädiieren. Mit diesem automatisierten Ansatz können mehr als 10.000 chemische Profile durch alle Olivinkristalle des Dünnschliffes (mehr als 2000) in drei Minuten erfasst werden. Damit kann eine statistisch relevante Zahl von

Messungen generiert werden, die es ermöglicht unterschiedliche Populationen von Kristallen zu identifizieren (farbige Profile in Abb. 2) und die einzelne Geschichte der Kristalle nachzuvollziehen (zum Beispiel die Aufstiegsge- schwindigkeit).

Fazit

Die Verwendung von ML in den Geowissenschaften eröffnet ganz neue Möglichkeiten für die schnelle Analyse gro-

ßer Datenmengen. Dies gilt auch im Kontext der Geowissenschaften für die Analyse von Gesteinsproben. Eine Herausforderung bleibt das Erstellen geeigneter Trainingsdaten, jedoch bedeutet dies nicht zwangsläufig, dass Menschen diese mit großem manuellem Aufwand generieren müssen. Wie im Beispiel gezeigt, kann eine geschickte Kombination von vorhandenen Sensordaten genutzt werden, um mit geringem Aufwand Trainingsdaten zu erzeugen.



Prof. Dr. rer. nat. Francois Holtz
 Jahrgang 1960, ist seit 1996 Professor am Institut für Mineralogie. Er ist er Ko-Sprecher des Leibniz Forschungszentrums FZ:GEO. Der Schwerpunkt seiner Forschung liegt auf Simulationen von geologischen Hochtemperatur - Prozessen im experimentellen Labor. Kontakt: f.holtz@mineralogie.uni-hannover.de



Dr. Renat Almeev
 Jahrgang 1970, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Mineralogie. Seine Forschungsschwerpunkte liegen im Bereich der Experimentellen Petrologie und der thermodynamischen Modellierung von geologischen Hochtemperatur-Prozessen. Kontakt: r.almeev@mineralogie.uni-hannover.de



apl. Prof. Dr. techn. Franz Rottensteiner

Jahrgang 1967, ist außerplanmäßiger Professor am Institut für Photogrammetrie und Geo-Information, wo er seit 2008 die Gruppe „Photogrammetrische Bildanalyse“ leitet. Der Schwerpunkt seiner Forschung liegt auf der automatischen Bildanalyse mit Hilfe von Verfahren des maschinellen Lernens. Seit 2018 ist er Mitglied im FZ:GEO. Kontakt: rottensteiner@ipi.uni-hannover.de



M.Sc. Dennis Cyrill Wittich

Jahrgang 1990, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter und Doktorand am Institut für Photogrammetrie und Geo-Information. Seine Forschungsschwerpunkte liegen im Bereich Deep Learning und Domänenadaption. Kontakt: wittich@ipi.uni-hannover.de



Prof. Dr.-Ing. habil. Monika Sester

Jahrgang 1961, ist Professorin und Leiterin des Instituts für Kartographie und Geoinformatik. In der Forschung beschäftigt sie sich mit ihrem Team mit Fragen der Automation in der räumlichen Datenverarbeitung, u.a. mit Methoden der KI, speziell Lernverfahren. Sie ist Ko-Sprecherin des FZ:GEO. Kontakt: monika.sester@ikg.uni-hannover.de



M.Sc. Artem Leichter

Jahrgang 1986, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter und Doktorand am Institut für Kartographie und Geoinformatik. Sein Forschungsschwerpunkt liegt im Bereich ML mit räumlichen Daten. Kontakt: leichter@ikg.uni-hannover.de

MIT BLICK IN DIE ZUKUNFT

**ABBRUCH . ALTLASTENSANIERUNG . ENTSORGUNG .
 STOFFSTROMMANAGEMENT . TIEFBAU .
 INDUSTRIELLE AUSSENANLAGEN .
 REVITALISIERUNG UND NUTZUNGSKONZEPTE**
 Die Hagedorn-Gruppe ist ein deutschlandweit tätiger
 Spezialist, der diese Prozesskette komplett aus einer
 Hand anbietet. www.ug-hagedorn.de

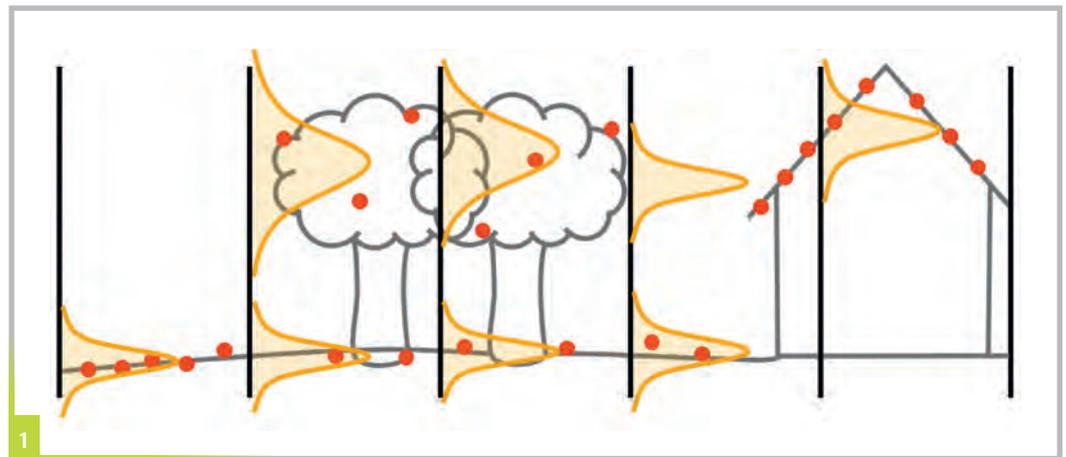
HAGEDORN

Zur automatischen Klassifikation von 3D-Punktwolken

Landvermessung mittels Laserscanning und digitaler Bildanalyse

Die Landesvermessung hat zum Ziel, ein sehr genaues Geländemodell von Landesflächen zu erstellen, da diese zum Beispiel für den Hochwasserschutz, die Trassenplanung oder ähnliches wichtig sind.

Am Institut für Kartographie und Geoinformatik werden in einem Projekt zusammen mit dem FZ:GEO-Partner LGLN (Landesvermessung und Geobasisdaten Niedersachsen) sowie den Landesvermessungen in Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern KI-Methoden und im Speziellen Deep Learning eingesetzt, um aus großen Datenmengen automatisiert und dennoch präzise Geländemodelle erstellen zu können.



Eine der Aufgaben der Landesvermessung ist es, ein hochgenaues Geländemodell der Landesfläche bereitzustellen und aktuell zu halten. Dies ist für viele Aufgaben relevant, unter anderem für Hochwasserschutz, Trassenplanungen oder Funknetzplanungen. Dafür lässt die Landesvermessung in regelmäßigen Abständen die Landesfläche befliegen und so die Topographie, also die Objekte der Erdoberfläche, aufnehmen. Dies kann in jüngerer Zeit mit zwei unterschiedlichen Technologien erfolgen: mittels Laserscanning oder mittels digitaler Bildanalyse. Die Landesvermessungen wenden beide Verfahren teilweise alternierend an. Beide Verfahren liefern hochgenaue 3D-Punktwolken, die im Wesentlichen ein sogenanntes Oberflächenmodell darstellen. Diese Punktwolken beinhalten alle Punkte, an denen der Laser-

strahl reflektiert wurde beziehungsweise die von zwei Kamerabildern gesehen wurden. Allerdings enthalten diese Punkte nur die reine Geometrie und gegebenenfalls sensorspezifische Eigenschaften. Sie enthalten jedoch noch keine Semantik, die Rückschlüsse darüber geben kann, ob nun der Boden, ein Baum, ein Dach oder ein Auto aufgenommen wurde. Um ein Geländemodell zu bestimmen, müssen also zunächst die Punkte identifiziert werden, die tatsächlich Bodenpunkte darstellen. Das bedeutet, um ein Geländemodell zu erhalten, muss das gemessene Oberflächenmodell um die Objekte bereinigt werden, die sich – wie zum Beispiel Gebäude oder Vegetation – auf dem Gelände befinden.

In einem Projekt zusammen mit dem FZ:GEO-Partner LGLN (Landesvermessung

und Geobasisdaten Niedersachsen) sowie den Landesvermessungen in Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern werden KI-Methoden und im Speziellen Deep Learning eingesetzt, um die Punkte in verschiedene, semantische Klassen einzuteilen.

Deep Learning für die Klassifikation von Punktwolken

Deep Learning Methoden, als Teil des Maschinellen Lernens, haben für komplexe Klassifikationsaufgaben in jüngerer Zeit einen enormen Aufschwung erlebt. Dies liegt unter anderem an den verfügbaren, äußerst leistungsfähigen Algorithmen und Entwicklungsumgebungen, an effizienter Hardware, aber auch an der Verfügbarkeit von sehr vielen, großen Datensätzen. Bei dem hier verwendeten Lernverfahren handelt es

sich um eine sogenannte überwachte Klassifikation. Bei dieser werden den Algorithmen Beispiele mit Referenzklassen in Form eines Trainingssets übergeben, anhand derer der Algorithmus „Regeln“ ableitet, um diese im Anschluss auf unbekannte Beispiele anwenden zu können. Eine elementare Voraussetzung für die überwachte Klassifikation ist das Vorhandensein umfangreicher, klassifizierter Beispieldaten, deren Beschaffung aber oft ein manueller und sehr zeitaufwendiger Prozess ist.

Unter dem Begriff „Deep Learning“ sammeln sich eine Vielzahl an verschiedenen Applikationen, die unterschiedlich komplexe Netzwerkstrukturen benötigen. Diese Netzwerkstrukturen sind in Grunde aneinander gekettete, lineare und nicht-lineare Funktionen. In mehreren Disziplinen der Bildanalyse und Fernerkundung haben sich Convolutional Neural Networks (CNNs) als State-of-the-Art-Methode etabliert. Sie arbeiten mit Filtermasken, die die regelmäßige Gitterstruktur von Bilddaten ausnutzen. Durch das Training eines Netzwerkes werden die verschiedenen Parameter der linearen- und nicht-linearen Funktionen bestimmt, die den Zusammenhang zwischen Eingangsdaten und zu bestimmender Klasse identifizieren.

Anders als Bilder weisen 3D-Punktwolken diese regelmäßige Gitterstruktur nicht auf. Für die Klassifikation von Punktwolken mittels CNNs werden in der Wissenschaft daher drei verschiedene Ansätze genutzt: punktweise, voxelweise oder rasterweise Klassifizierung. Bei der punktweisen Klassifizierung werden benachbarte Punkte als eine Einheit oder in Form eines Nachbarschaftsgraphen gemeinsam klassifiziert, wobei hier die Geometrie als auch die Eigenschaften der

einzelnen Punkte verwendet werden. Bei der Klassifikation mittels Voxeln werden die Punkte in räumliche 3D-Würfel geteilt, die ein regelmäßiges Gitternetz darstellen. Neben der Information, ob sich Punkte in dem Würfel befinden oder nicht, kann ein Voxel auch die statistischen Eigenschaften der Punkte als Information enthalten. Der dritte Ansatz der Punktwolkenklassifizierung mit CNNs sortiert die Punkte unabhängig von ihrer Höhe in regelmäßige 2D-Rasterzellen, die anschließend wie ein Bild behandelt werden können. Anders als Grauwerte bei einem Bild werden die Zellen über verschiedene Statistiken der Höhenverteilung wie zum Beispiel die minimale und maximale Höhe oder über punktwolkenspezifische Attribute repräsentiert. Sowohl bei den Voxeln als auch bei den Rastern werden anschließend die Ergebnisse wieder auf die Punkte übertragen.

Ansatz zur Klassifikation von 3D-Punktwolken

Im Projekt mit der Landesvermessung wird unter Berücksichtigung der potenziellen Abdeckungsfläche und der zum Teil sehr unterschiedlichen Punktdichte der Punktwolken eine Eingabestruktur in Form eines 2D-Rasters verwendet. Dazu wird die Punktwolke in Rasterzellen mit einer Kantenlänge von einem Meter zerlegt. Statt mit absoluten Höhen zu arbeiten, die prinzipiell eine Spanne zwischen 0 Meter (Meereshöhe) und 8.849 Metern (Mount Everest) annehmen können, werden stattdessen relative Höhen verwendet, sodass Bodenpunkte unabhängig vom Gelände eine Höhe nahe 0 aufweisen. In jeder Zelle wird anschließend die Punktverteilung analysiert und mittels Bayes-Informationskriterium geprüft, ob die Höhenverteilung der Punkte eher einer

oder zwei disjunkter Verteilungen ähnelt. Diese Verteilungen werden anschließend in Form von Normalverteilungen mittels ihres empirischen Mittelwertes \bar{x} und ihrer Standardabweichung s approximiert. Die Verteilungen von Objekten abhängig von ihrer Klasse können dabei sehr unterschiedlich ausfallen wie in *Abbildung 1* dargestellt. Bei einer Rasterzelle, die nur Bodenpunkte enthält, wird die Verteilung über einen relativ kleinen Mittelwert und einer schmalen Standardabweichung charakterisiert. Bei einer Rasterzelle, die sowohl einen Baum als auch Boden enthält, wird eine Verteilung idealerweise die Bodenpunkte abdecken, während die andere mit einer deutlich größeren Standardabweichung und einem höheren Mittelwert den Baum beschreibt. Schließlich haben Gebäude einen ähnlich hohen Mittelwert, aber eine deutlich kleinere Standardabweichung als Bäume. Folglich können diese Objekte rein geometrisch getrennt werden.

Beispiel

Die Evaluation der Methode erfolgt anhand zweier Laserscanning-Datensätze in Rostock und Braunschweig. Neben der generellen Klassifikationsgenauigkeit wurden auch die Transfereigenschaften des Netzwerkes auf ein anderes räumliches Gebiet untersucht, da ein ideales Netz auch in der Lage sein muss, zu generalisieren. Die Qualität der Ergebnisse wird als sogenanntes mean F1-Score angegeben, wobei ein ideales Ergebnis einem Wert von 100 Prozent entspricht. Das Netzwerk lernt mittels Trainingsdaten aus Rostock, Punktwolken zu klassifizieren. Anschließend wird das gelernte Modell genutzt, die Klassen für die Testdaten aus Rostock und Braunschweig zu präzisieren.

Abbildung 1
Schematische Visualisierung des vorgeschlagenen Algorithmus, der Höhenverteilungen als Eingabegrößen für die Klassifizierung verwendet. Grau: zugrundeliegende Objekte, schwarz: Rastergitter, rot: gemessene Punkte in der Punktwolke, gelb: berechnete Höhenverteilungen für jede Zelle.
Quelle: Politz et al., 2020

| Testgebiete | Gelände | Gebäude | Wasser | Brücke | Nicht-Gelände | Gesamtgenauigkeit |
|--------------|---------|---------|--------|--------|---------------|-------------------|
| Rostock | 96.3 | 91.3 | 92.3 | 86.3 | 83.0 | 93.4 |
| Braunschweig | 94.1 | 95.4 | -- | 38.7 | 88.9 | 92.7 |

Tabelle
Klassifikationsgenauigkeit ausgedrückt als F1-Score in Prozent für die beiden Testgebiete.
Quelle: Politz et al., 2020

In der *Tabelle* sind die Klassifikationsgenauigkeiten für Rostock und Braunschweig zu sehen.

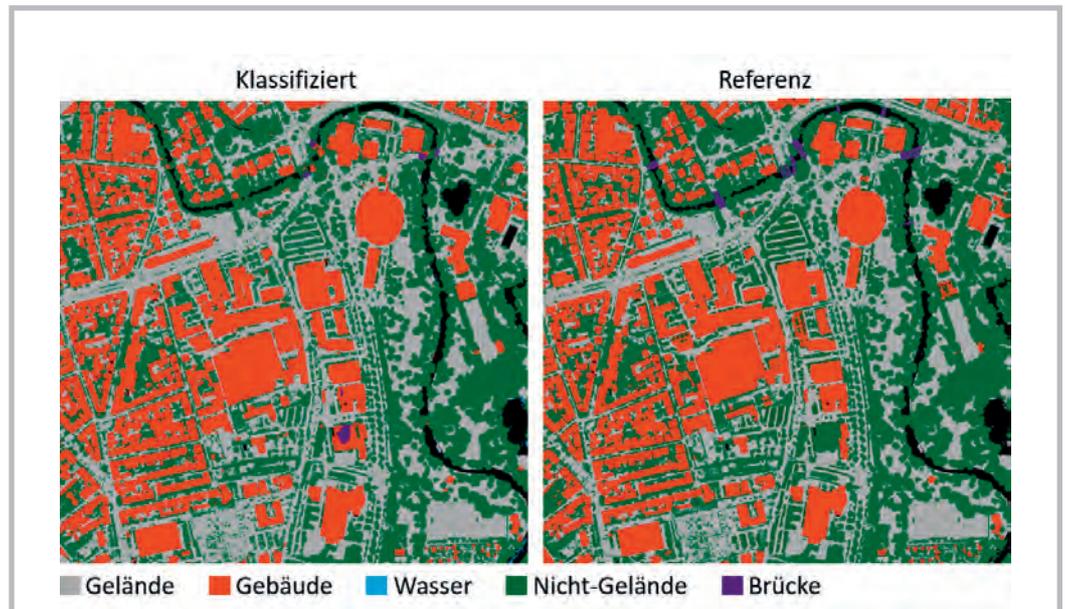
Die Gesamtgenauigkeit über alle Objektklassen ist mit über 92 Prozent sehr hoch. Da die Testdaten aus Rostock natürlich eine größere Ähnlichkeit bezüglich der Raumstruktur und Verteilung von Objekten aufweisen als die Innenstadt in Braunschweig, verwundert es nicht, dass die Gesamtgenauigkeit in Rostock mit 93.4 Prozent etwas höher liegt als in Braunschweig mit 92.7 Prozent. Geländepunkte lassen sich dabei am besten bestimmen, die Klasse der Nicht-Geländepunkte am schlechtesten – hierunter fallen allerdings auch verschiedene Objekte wie jegliche Art von Vegetati-

on, Freileitungen oder Autos. Diese Nicht-Geländepunkte sind in Braunschweig deutlich besser klassifiziert worden als in Rostock. Dies liegt vor allem an der begrenzten Überlagerung von Gebäuden mit Vegetation, wodurch die strikte Trennung dieser beiden Klassen in Braunschweig deutlich vereinfacht wird. Brücken wurden in Braunschweig deutlich schlechter klassifiziert als in Rostock, was daran liegt, dass der Trainingsdatensatz in Rostock nur eine sehr geringe Menge an Beispieldaten für diese Klasse besitzt. Während Braunschweig von innenstädtischen, breiten Kfz-Brücken geprägt ist, sind die Brücken in der Umgebung von Rostock deutlich kleiner, schmaler und vorwiegend außer-

halb des städtischen Gebietes an Landstraßen und Autobahnen zu finden. Am Beispiel der Brücken zeigt sich daher ein Defizit im Trainingsdatensatz.

Abbildung 2 zeigt die Ergebnisse qualitativ. Visuell lassen sich kaum Unterschiede wahrnehmen. An manchen Gebäuden sind die Dachränder teilweise unscharf klassifiziert, an anderer Stelle tauchen fehlerhafte Klassifikationen durch Gebäude oder Brücken auf. Generell bestätigt aber der visuelle Eindruck die hohe Klassifikationsgüte.

Ähnlich gute Ergebnisse wurden auch in Testdatensätzen in anderen Regionen Deutschlands sowie in den Niederlanden erzielt. Ebenso konnte das Netzwerk erfolgreich mit Punktwolken aus Rostock, die ursprünglich aus Bildern generiert wurden, trainiert und getestet werden und erzielte eine Gesamtgenauigkeit von 97.6 Prozent.



Vom Netzwerk klassifizierte Testdaten in Braunschweig und deren Referenzklassen. Objekte aus der Gelände-, Gebäude- oder Nicht-Gelände-Klasse sind nahezu identisch zwischen der Klassifizierung und der Referenz, was sich in hohen mean F1-Scores widerspiegelt. Lediglich die Klasse Brücke verursacht größere Probleme. Beispiele davon sind nahe des Flusses sichtbar, wo statt der Klasse Brücke die Klasse Nicht-Gelände prädiiziert wird, sowie im Süden der Kachel, wo statt eines Gebäudes fälschlicherweise eine Brücke klassifiziert wird.
Quelle: Politz et al., 2020

Fazit

Der Einsatz von Maschinellen Lernverfahren verspricht in vielen Fachgebieten ausgezeichnete Ergebnisse, die die bisherigen Methoden deutlich übertreffen. Herausforderungen beim Einsatz dieser Verfahren liegen im Design der Architektur der Netze und in der geeigneten Auswahl und Aufbereitung der Eingangsgrößen. Im vorliegenden Fall wurde die Geometrie der Punktwolken derart approximiert, dass ein einmal angelerntes Netzwerk ohne großen Qualitätsverlust und weiteres Training auf andere Gebiete und andere Punktwolkentypen angewendet werden kann.

Literatur

Politz, F., Sester, M., and Brenner, C.:
 GEOMETRY-BASED POINT CLOUD CLASSIFICATION USING HEIGHT DISTRIBUTIONS, ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., V-2-2020, 259–266, <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-V-2-2020-259-2020>, 2020.



Prof. Dr.-Ing. habil. Monika Sester

Jahrgang 1961, ist Professorin und Leiterin des Instituts für Kartographie und Geoinformatik. In der Forschung beschäftigt sie sich mit ihrem Team mit Fragen zur Automation in der räumlichen Datenverarbeitung, etwa die Dateninterpretation, die Ableitung von Karten unterschiedlicher Maßstäbe oder die Visualisierung. Sie ist Ko-Sprecherin des FZ:GEO.

Kontakt: monika.sester@ikg.uni-hannover.de



M.Sc. Florian Politz

Geboren 1991, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Institut für Kartographie und Geoinformatik. In der Forschung beschäftigt er sich mit der Klassifikation und Änderungsdetektion von luftgestützten Punktwolken mittels künstlicher Intelligenz. Dabei liegt der besondere Fokus seiner Arbeit auf der Integration verschiedener Punktwolkentypen aus Laserscanning und digitaler Bildanalyse. Kontakt:

florian.politz@ikg.uni-hannover.de



Weil Erfolg nur im Miteinander entstehen kann.
Werden Sie Teil unseres Teams!

Teamplayer gesucht.

In Deutschland ist die STRABAG AG Marktführerin im Verkehrswegebau und bietet hierfür sämtliche Leistungen an - von der digitalen Planung über die Baustoffgewinnung und -produktion, den Bau der Projekte bis hin zur Wartung und Unterhaltung durch eigene Straßenbetriebsdienste.

Bewirb dich jetzt direkt auf unserer Homepage www.strabag.de (Rubrik Karriere).




STRABAG AG, Direktion Niedersachsen/Sachsen-Anhalt, Bereich Hannover, Frau Mara Kirchhoff, Bauweg 34, 30453 Hannover

Gravimetrische Erfassung von Klimawandelprozessen

Geodäsie nutzt technologische Entwicklungen der Quantenphysik

Die enge interdisziplinäre Kooperation zwischen Physik und Geodäsie erlaubt die Entwicklung und Anwendung neuartiger gravimetrischer Messmethoden, um klimarelevante Massenvariationen auf der Erde zu erfassen.

Prof. Dr.-Ing. habil. Jürgen Müller vom Institut für Erdmessung der Leibniz Universität Hannover und Dr.-Ing. Manuel Schilling vom Institut für Satellitengeodäsie und Inertialsensorik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt geben einen Überblick über die Möglichkeiten, die die quanten-basierte Geodäsie für die Klimaforschung bietet.

Einführung

Klimawandelprozesse, wie das Abschmelzen der großen Eisschilde, übermäßiger Grundwasserverbrauch oder Meeresspiegeländerungen, zeigen sich oft in Massenvariationen, die man sehr gut gravimetrisch erfassen kann. Dazu gibt es ausgefeilte Satellitenmesstechniken, wie die GRACE-Mission, oder terrestrische Messverfahren. Das verfügbare Datenmaterial ist jedoch zeitlich und räumlich stark limitiert.

Hier ermöglichen aktuelle technologische Entwicklungen in der Quantenphysik neuartige Anwendungen und Messkonzepte in der Geodäsie und der gravimetrischen Erdbeobachtung (Müller und Schilling 2021). So können etwa mittels frei-fallender Atome (gravimetrische) Beschleunigungen oder – gemäß der Einstein'schen Relativitätstheorie – aus Frequenzvergleichen hochgenauer optischer Uhren Höhendifferenzen gemessen werden. Global eigenen sich spezielle Konstellationen von Satelliten und die präzise laser-interferometrische Abstandsmessung zwischen ihnen, um großräumige Massenvariationen und damit wesentliche Indikatoren für klimabedingte Veränderungen zu bestimmen.

Auswirkungen des Klimawandels

Die Klimaänderung hat dramatische Auswirkungen auf die Umwelt und unser tägliches Leben. Durch die globale Erwärmung treten häufigere und stärkere Hitzewellen auf. Durch zunehmende Trockenheit und Dürren sind die Menschen in vielen Gebieten, etwa in Nordindien und im Nahen Osten gezwungen, verstärkt tiefe Grundwasserspeicher zur Bewässerung zu nutzen, mit verheerenden langfristigen Folgen. Ozeanerwärmung und Meeresspiegelanstieg werden vermehrt zu Überflutungen und stärkeren Wirbelstürmen beitragen. Küstennahe Gewässer werden mehr und mehr versalzen. Die Gletscher der großen Eispanzer und in den alpinen Regionen schmelzen schnell. In Sibirien und Nordamerika werden durch Änderungen im Permafrost sehr große Mengen der schädlichen Treibhausgase Kohlendioxid (CO₂) und Methan (CH₄) freigesetzt. Schwindender Permafrost im Hochgebirge führt zu Hangrutschungen. Für Nord-, Mittel und Westeuropa wird ein Anstieg der Niederschlagsextremereignisse und damit verbundene Überflutungen vorhergesagt. Für den Mittelmeerraum zeigt sich ein gegenläufiger Trend mit einer weiteren Zunahme der Trockenheit in den kommenden Jahrzehnten. Diese Phänomene treten unabhängig vom

Einhalten des „1.5°C Ziels“ bereits heute auf und werden sich bei einem weiteren Temperaturanstieg verstärken.

Viele dieser Prozesse sind mit Massenänderungen verbunden, die man mit gravimetrischen Methoden sehr gut erfassen kann. Mit solchen geodätischen Daten kann man die klimabedingten Änderungsprozesse und die komplexen Wechselwirkungen nicht nur quantifizieren und damit besser verstehen, sondern auch wesentlich zu Vorhersagemodellen über weitere Verläufe beitragen (IPCC 2021). Die Geodäsie ist hier gefordert, bessere Daten zu liefern (Müller und Pail 2019).

Gravimetrische Messmethoden

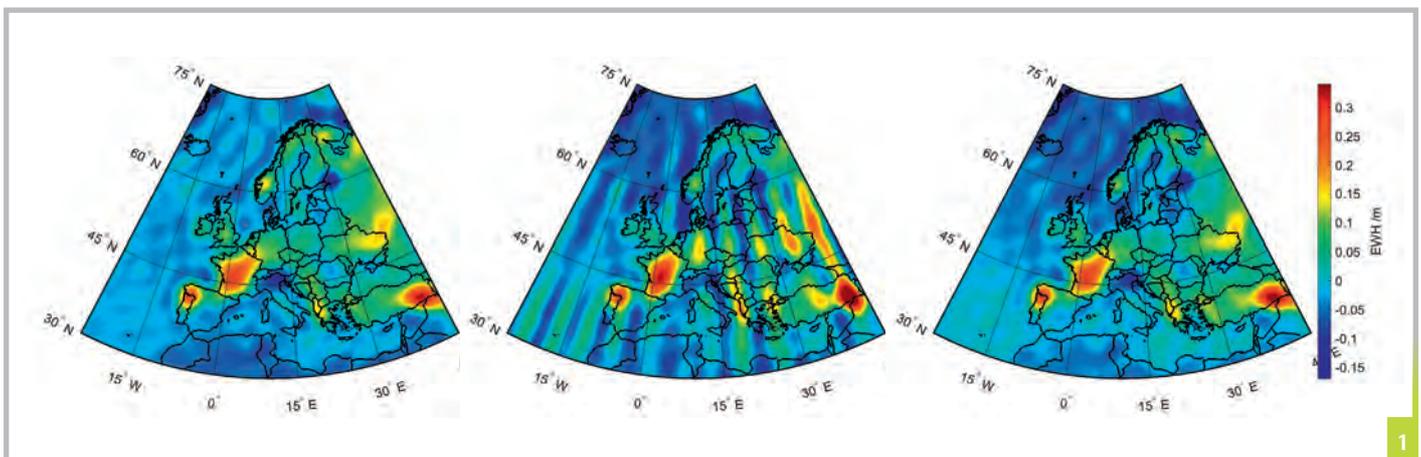
Für die globale Erfassung der räumlichen und zeitlichen Variationen des Schwerefeldes wurden seit 2000 spezielle Satellitenmissionen realisiert. Zur Bestimmung von Massenvariationen hat die Mission GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) beziehungsweise deren Nachfolgerin GRACE-FO die größte Bedeutung.

Aus monatlichen GRACE-Schwerefeldern konnten vielfältige zeitliche Massenvariationen bestimmt werden, etwa das Abschmelzen der Eismassen der großen kontinentalen Schilde in Grönland und in der Antarktis). Allein in Grön-

land beträgt der Eismassenverlust für die Dauer der GRACE-Mission durchschnittlich 258 Gigatonnen pro Jahr mit einem Spitzenwert von 543 Gt/Jahr im Jahr 2012 (Tapley et al. 2019). Ein anderes Anwendungsbeispiel ist die Erfassung von Veränderungen im hydrologischen Wasserkreislauf, zum Beispiel durch übermäßige Grundwasserentnahme im Iran oder Nordindien für Bewässerungszwecke.

in der Atmosphäre und den Ozeanen nicht gut genug modelliert werden können. Zum anderen gelingt es nicht, die nicht-gravitativen Störungen der Satellitenbahnen hinreichend genau zu bestimmen. Die hierfür bislang genutzten elektrostatischen Beschleunigungsmesser zeigen langwellige Fehler. Diese Fehler könnte man durch eine optische Abtastung der Testmasse deutlich reduzieren, woran

die Beschleunigung g , bestimmt werden. Als wesentlicher Fortschritt wird die im Vergleich zu einem klassischen Beschleunigungsmesser hohe zeitliche Stabilität eines Atominterferometers gesehen. Dies hat eine Reduktion der langwelligen Fehler zur Folge (Abbildung 1). Auch komplexere Konstellationen von Satelliten und die zugehörige Bestimmung von Bahnstörungen würde die Erfassung von globalen klima-



Die Berechnung von täglichen GRACE-Lösungen kann einen Beitrag zur Verbesserung von Klimamodellen leisten. Deren Prozessierung in beinahe Echtzeit kann potenziell zur Gefahrenabwehr, beispielsweise zur Vorhersage von Flutereignissen, genutzt werden.

Eine Einschränkung der letztgenannten Anwendungsfälle liegt in der relativ geringen zeitlichen (Standard ist ein Monat) sowie räumlichen Auflösung der Schwerfeldlösungen im Bereich von einigen 100 Kilometern. GRACE-FO könnte durch die Nutzung eines Laserinterferometers für die präzise Abstandsmessung zwischen den beiden Satelliten in Nanometerbereich potenziell bessere Ergebnisse liefern. Aber diese enorme Messgenauigkeit kann nur eingeschränkt genutzt werden, da zum einen schnell ablaufende Massenvariationen

im SFB 1464 TerraQ an der LUH geforscht wird. Weiterhin bietet sich für künftige Satellitenmissionen der Einsatz von atominterferometrischen Sensoren an, die diese Einschränkung nicht haben. Ziel führend ist eine hybride Nutzung, um die Vorteile von beiden zu nutzen. Atominterferometer nutzen eine Sequenz aus gepulstem Laserlicht, das unter dem Einfluss lokaler Beschleunigungen mit frei fallenden Atomen interagiert. Diese Interaktionen verändern die Zustände der Atome, so dass nach der Messsequenz die Atome in zwei definierten Zuständen vorliegen, die detektiert werden. Aus dem Mengenverhältnis beider atomarer Zustände kann die lokale Beschleunigung, im Fall des Satelliten die nicht-gravitativen Störbeschleunigungen oder im Fall eines Quantengravimeters die lokale Schwerebeschleuni-

relevanten Massenvariationen deutlich verbessern.

Kleinräumige Massenvariationen, wie die Veränderung von lokalen Grundwasserspeichern, lassen sich nur mit terrestrischen Verfahren hinreichend überwachen. Auch hier liefert die Nutzung von Atominterferometern als Quantengravimeter enorme Vorteile, siehe Abbildung 2. Man kann nicht nur präziser messen, sondern auch viel schneller, was ganz neue Möglichkeiten für die entsprechende gravimetrische Vermessung von Untersuchungsgebieten erlaubt. Mit diesen verbesserten Schweredaten lassen sich die Veränderungsprozesse besser modellieren, und sie können auch für Prognosen der weiteren Entwicklung genutzt werden.

Um die genannten komplexen Änderungen auf der Erde –

Abbildung 1
Links: Massenvariationen (ESA Earth System Model) in Europa im Zeitraum eines halben Jahres; Mitte: Bei Bestimmung unter Nutzung von elektrostatischen Beschleunigungsmessern treten langwellige, streifenförmige Fehler auf; rechts: Bei künftiger Nutzung hybrider Beschleunigungsmesser wäre dieser Fehlereinfluss stark reduziert.
Quelle: DLR/IFE

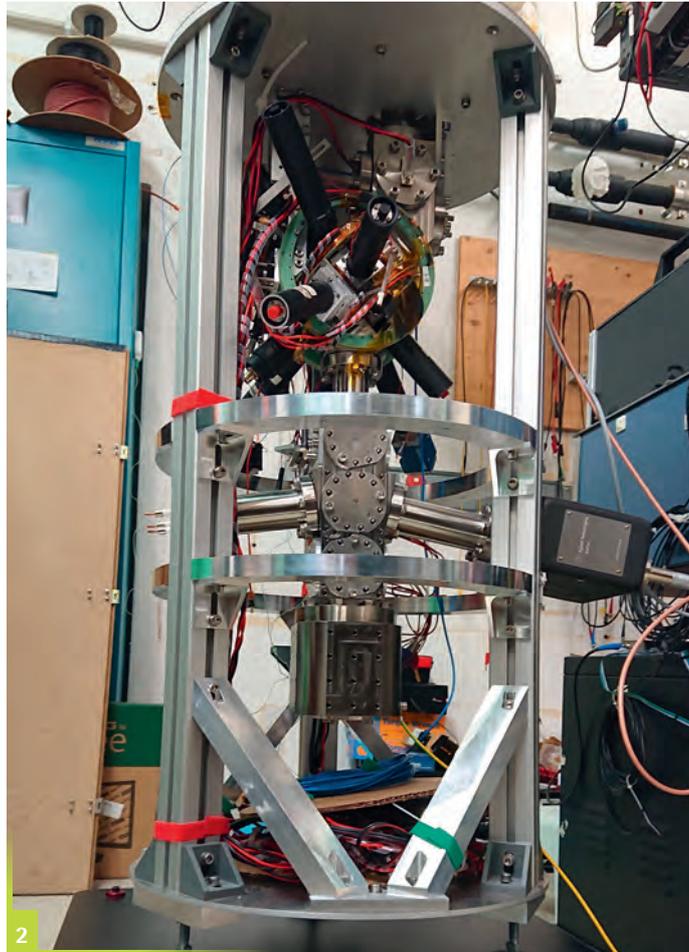


Abbildung 2
Quantengravimeter QG1,
das im Rahmen des SFB 1464
TerraQ am Institut für Quanten-
optik entwickelt wird.
Foto: N. Heine,
Institut für Quantenoptik

denken Sie etwa an den Meeresspiegelanstieg – zu trennen und separat zu quantifizieren, ist eine stabile Referenz notwendig. Diese kann künftig durch Uhrennetzwerke realisiert werden. Dabei wird die von Albert Einstein entwickelte Relativitätstheorie genutzt. Demnach ticken die Uhren mit unterschiedlicher Frequenz, abhängig von ihrer Geschwindigkeit und ihrer Distanz zu Massen. Uhren auf der Erde gehen also unterschiedlich schnell, je nachdem ob sie näher oder weiter von ihr entfernt sind, also höher oder niedriger stehen. Heutzutage kann man aus Frequenzvergleichen bereits Höhenunterschiede von unter einem Zentimeter messen. Damit hat man ein einmaliges geodätisches Werkzeug, um Höhensysteme einzurichten und unabhängige Höhenreferenzen, zum Beispiel an Meeresspegeln, anzugeben. Treten Massenvariationen auf, könnten diese ebenfalls über eine längerfristige Registrierung mit den Uhren gemessen werden.

Koordinierte Forschung am Standort Hannover

Durch die konsequente Anwendung der Quantenphysik und der Relativitätstheorie lassen sich also neue geodätische Messkonzepte für die Erdbeobachtung entwickeln, die deren Vorteile nutzen und einmaliges Datenmaterial für die Klimaforschung zur Verfügung stellen werden. Vielfältige Arbeiten in diesem Kontext sind via größerer Forschungsverbünde an der Leibniz Universität Hannover organisiert:

TerraQ Grundlagenforschung wird im DFG-Sonderforschungsbereich SFB 1464 „Relativistic and Quantum-based Geodesy (TerraQ)“ durchgeführt, der 2021 begonnen hat, siehe www.terraq.uni-hannover.de.

Unterstützt wird diese Forschung durch den Exzellenzcluster EXC 2123 „QuantumFrontiers“, www.quantumfrontiers.de.



FZ:GEO Die Verbindung zu den Anwendungen und den weiteren Geowissenschaften erfolgt unter anderem über das Leibniz Forschungszentrum FZ:GEO, www.geo.uni-hannover.de.

Darüber hinaus erforscht das Institut für Satellitengeodäsie und Inertialsensorik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) am Standort Hannover neue Konzepte für die gravimetrische Erdbeobachtung aus dem Weltraum, www.dlr.de/si.



Für weitergehende Erläuterungen zu den genannten Messmethoden siehe Müller und Schilling (2021) und die darin angegebenen Referenzen.

Literatur

IPCC (2021) Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: Masson-Delmotte V, Zhai P, Pirani A, et al. (Hrsg). Cambridge University Press

Müller J, Pail R (2019) Erdmessung 2030. zfv – Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement 144:4–16. <https://doi.org/10.12902/zfv-0243-2018>

Müller J, Schilling M (2021) Neue Messmethoden für die gravimetrische Erdbeobachtung. ZfV - Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement. <https://doi.org/10.12902/zfv-0368-2021>

Tapley BD, Watkins MM, Flechtner F, et al (2019) Contributions of GRACE to understanding climate change. Nature Climate Change 9:358–369. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0456-2>



Prof. Jürgen Müller

Jahrgang 1962, ist Professor für Physikalische Geodäsie und Sprecher des DFG Sonderforschungsbereichs 1464 TerraQ. Er beschäftigt sich seit vielen Jahrzehnten mit geodätischen Forschungsthemen an der Schnittstelle zur Physik, um neuartige Technologien und Messmethoden für die Geodäsie und die gravimetrische Erdbeobachtung zu erforschen und anzuwenden. Kontakt: mueller@ife.uni-hannover.de



Dr.-Ing. Manuel Schilling

Jahrgang 1976, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Satellitengeodäsie und Inertialsensorik des Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrttechnik e.V. in der Abteilung Satellitengeodäsie und geodätische Modellierung. Sein Arbeitsschwerpunkt liegt in der Modellierung von quantensensor-gestützten Satellitenmissionen zur Vermessung des Schwerefeldes der Erde. Kontakt: manuel.schilling@dlr.de

INTERGEO[®]
2022 OCT. 18 – 20
ESSEN
HYBRID

INSPIRATION
FOR A SMARTER WORLD

DVW Veranstalter / Host: DVW e.V.
 Ausrichter Conference / Conference organiser: DVW GmbH
 Ausrichter Expo / Expo organiser: HINTE GmbH

WWW.INTERGEO.DE

**JETZT TICKET
 KOSTENFREI
 SICHERN!**

GUTSCHEINCODE: IG22-ALPHA

Studium fertig? Bleiben Sie in Kontakt!

Das Studium ist vorbei, doch die Studienzeit bleibt.
Nutzen Sie unsere Angebote.

Profitieren Sie vom Alumninetzwerk.
Jetzt anmelden:

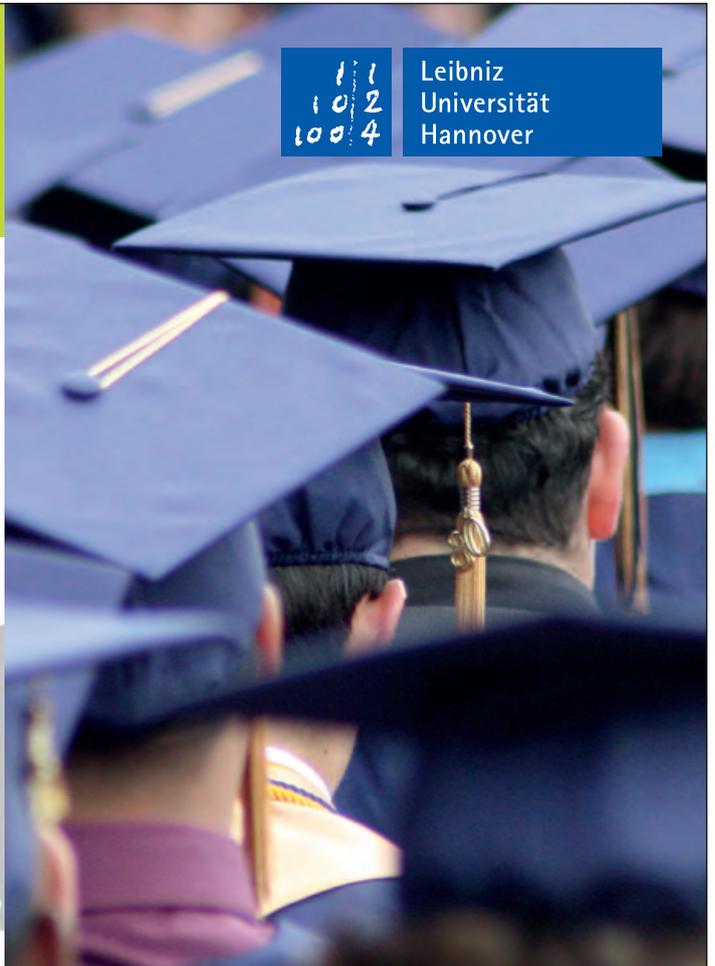
www.uni-hannover.de/alumni



AlumniCampus der Leibniz Universität Hannover
Das Netzwerk für alle Ehemaligen ■

11
102
1004

Leibniz
Universität
Hannover



Steuerverwaltung
Niedersachsen

TEAMWORK
GESUCHT?

Wer sich bewirbt, hat Recht!

Jurist (m/w/d) in der Steuerverwaltung – die Alternative mit Perspektive.

Dich erwarten vielfältige Rechtsgebiete, Teamwork und
sinnvolle Aufgaben mit Personalverantwortung.

#berufseinstieg #referendariat #praktikum

mit-sicherheit-karriere.de



Nachhaltig gut



Wir wachsen mit unseren Aufgaben, um die Welt zu verändern. Beschichtetes Spezialpapier von Sappi löst immer häufiger Verpackungen aus Plastik und Aluminium ab. Tag für Tag entdecken wir neue, nachhaltige Lösungen in einem geschlossenen Kreislauf. Innovation hat bei uns Tradition. Seit mehr als 300 Jahren. Mitten im Leinebergland.

Wir bieten:

- vielfältige Karrierechancen
- internationale Netzwerke
- nachhaltige Themen

Wir suchen:

- Verstärkungen mit Mut
- Impulse für neue Wege
- Bachelor- und Master-Anwärter

www.sappi.com/de/careers

sappi

Machen Sie Ihre Zukunft klar!

Werden Sie Teil unseres Teams, zum Beispiel als ...

» Ingenieur*in

- Siedlungswasserwirtschaft
- Wasserwirtschaft
- Elektrotechnik
- Verfahrenstechnik
- Umwelttechnik



68.bewerbungen@hannover-stadt.de
stadtentwaerung-hannover.de/karriere

**Jetzt
bewerben!**

Stadtentwässerung
Hannover
Wir klären das.



Bodenerosion als Risiko für die Landwirtschaft

Neue Methoden quantifizieren den Bodenverlust durch Wasser auf Äckern

Bodenerosion durch Wasser gefährdet weltweit Böden. Verschiedene Politikinstrumente definieren Maßnahmen zum Schutz der Böden. Ein Baustein dieser Instrumente sind Monitoringprogramme zur Beobachtung des Erosionsgeschehens und zur Quantifizierung des Bodenabtrags.

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Instituts für Physische Geographie und Landschaftsökologie und des Institute of Geo-Engineering der Technischen Universität Clausthal entwickeln gemeinsam Methoden zur hochauflösenden Quantifizierung des Bodenabtrags. Dazu nutzen sie auf Agrarflächen moderne geodätische Erfassungstechnik, wie Laserscanner und Drohnen und erstellen detaillierte 3D-Modelle der Bodenoberflächen als Grundlage für die Abtragsquantifizierung.



Bodenerosion: Gefahren und Gegenmaßnahmen

Die Landwirtschaft bildet weltweit die Grundlage für die Versorgung unserer Gesellschaft mit Nahrung, Biomasse, Fasern und anderen wichtigen Rohstoffen. Essentielle Grundlage dafür sind ertragreiche, gesunde Böden. Zugleich ist die agrarische Nutzung der Böden oftmals mit ihrer Degradation – unter anderem durch Wassererosion, also den Abtrag des Oberbodens durch abfließendes Wasser – verbunden. Hierdurch ist die langfristige Funktionsfähigkeit der Böden gefährdet. Dies bedroht unter anderem die Ernährungssicherheit aber auch die Bereitstellung von sauberem Trinkwasser und damit die Ziele für nachhaltige Entwicklung (SDGs) der UN *kein Hunger* und *sauberes Wasser*.

Die größte Gefährdung für Böden in der Europäischen Union (EU) und Deutschland ist der Verlust von Boden durch Wassererosion. Es wird geschätzt, dass in der EU etwa 970 Megatonnen Boden pro Jahr durch Bodenerosion verloren gehen [1]. Dies entspricht etwa der Fläche Berlins mit einer Mächtigkeit von 1 Meter. Damit ist ein EU-weiter jährlicher Schaden von etwa 1,25 Milliarden Euro alleine im Landwirtschaftssektor, unter anderem durch Ernteausfälle, verbunden [2]. Daher sind diverse Maßnahmen zum Erhalt von Böden und der Reduzierung des Bodenabtrags Teil aktueller Umwelt- und Agrarpolitik: Landwirtschaftliche Betriebe sind zum Erhalt von Cross-Compliance-Zahlungen im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik der EU dazu verpflichtet, ihre Flächen bodenschonend zu bewirtschaften.

Das Bundesbodenschutzgesetz verlangt eine *gute fachliche Praxis* zur Vermeidung von Bodenabträgen und mit der aktuellen Bodenstrategie der EU und einem angekündigten Gesetz zur *Bodengesundheit* wird eine *bodendegradationsneutrale Welt* angestrebt.

Für die Umsetzung dieser Regelungen vor Ort und zur Überprüfung der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Reduktion der Bodendegradation sind entsprechende Monitoringprogramme erforderlich. In Deutschland soll Bodenerosion im Rahmen der *Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel* in einem *Klimafolgen-Bodenmonitoring* langfristig beobachtet werden. Ein Baustein eines solchen Monitorings kann die Dokumentation von Schäden durch Bodenerosion und dabei insbesondere die Quantifizie-

zung des von Agrarflächen abgetragenen Bodenmaterials sein. Die Dokumentation von Schadereignissen kann im Rahmen von standardisierten Kartierungen erfolgen. Zwei vom Institut für Physische Geographie und Landschaftsökologie betreute Dauerbeobachtungen in Niedersachsen und Baden-Württemberg setzen entsprechende Methoden seit 21 bzw. 11 Jahren erfolgreich ein [3].

Wasser löst Bodenmaterial ab und transportiert es hangabwärts. Das transportierte Material sedimentiert am Hangfuß (Abbildung 1), auf Verkehrsflächen, in schützenswerten Biotopen oder gelangt in Gewässer und verursacht oftmals unerwünschte sogenannte Off-Site Effekte. Im Erosionsprozess wird der Boden oftmals flächenhaft abgetragen, erkennbar ist dieser Vorgang an typischen Sandfahnen auf

Laserscannern (TLS) oder mittels UAV-gestützten photogrammetrischen Methoden (Drohnen) erfolgen. Die so gewonnenen, hochaufgelösten 3D-Punktwolken erlauben die präzise Darstellung der Bodenoberfläche und damit die Abbildung der Erosionsformen. Das durch Erosion verlorene Bodenvolumen kann anschließend aus den erzeugten 3D-Modellen abgeleitet werden.

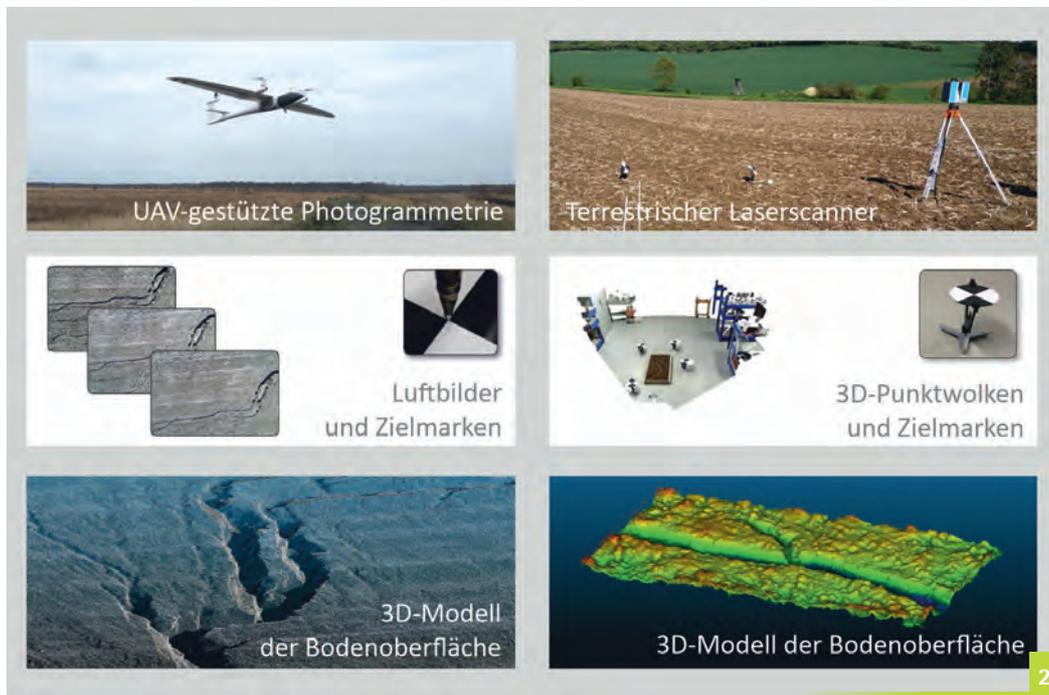


Abbildung 1
Schäden auf Grund von Boden-erosion durch Wasser: Rillen und Rinnen (links und Mitte), flächenhafte Erosion (rechts oben) und Akkumulation am Hangfuß (rechts unten).
Fotos: Bastian Steinhoff-Knopp 2017 – 2019

Abbildung 2
Detaillierte Aufnahme der Bodenoberfläche mit UAV-gestützter Photogrammetrie (links) und terrestrischem Laserscanning (rechts).
Abbildung: Bastian Steinhoff-Knopp 2022, Fotos: Jens Groß 2021, Simone Ott 2021, Bastian Steinhoff-Knopp 2017 – 2021

Dabei ist die hochgenaue Bestimmung des Abtragvolumens durch Bodenerosion eine derzeit nur unbefriedigend gelöste, methodische Herausforderung an der Schnittstelle zwischen den fachlichen Disziplinen Geographie und Landschaftsökologie sowie Geodäsie und Geoinformatik, die Forscherinnen und Forscher an der LUH und TU Clausthal aktuell bearbeiten.

Quantifizierung von Schäden durch Wassererosion

Schäden durch Wassererosion sind vielfältig. Bei Starkregen oberflächlich abfließendes

der geschädigten Agrarfläche (Abb. 1). Zusätzlich entstehen in Leitlinien, in denen sich das Wasser beim Abfließen sammelt, markante Rillen, Rinnen und Gräben (Abb. 1). Die Herausforderung in der Dokumentation dieser Schäden ist die Quantifizierung des abgetragenen Bodenmaterials. Dauerhafte Messeinrichtungen können auf landwirtschaftlich genutzten Flächen nicht installiert werden. Es besteht jedoch die Möglichkeit, die Bodenoberfläche mit modernen geodätischen Sensorsystemen und Fernerkundungsmethoden dreidimensional abzutasten. Die dazu nötige Datenaufnahme kann mit terrestrischen

Hierzu wird aktuell an der Weiterentwicklung von zwei Methoden gearbeitet:

- Bestimmung des Abtragvolumens auf Basis einer Einzelaufnahme und
- Bestimmung des Abtragvolumens in Zeitreihen durch den Vergleich von mehreren Aufnahmezeitpunkten (multi-temporale Erfassung).

Die methodischen Herausforderungen sind zahlreich. In der Bestimmung des Abtragvolumens auf der Grundlage einer einzelnen Erfassung der Bodenoberfläche sind die größten Herausfor-

Literatur

- [1] Panagos, P.; Borrelli, P.; Poesen, J.; Ballabio, C.; Lugato, E.; Meusburger, K.; Montanarella, L. & C. Alewell (2015): The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. In: *Environmental Science and Policy* 54, S. 438–447.
- [2] Panagos, P.; Standardi, G.; Borrelli, P.; Lugato, E.; Montanarella, L. & F. Bosello (2018): Cost of Agricultural Productivity Loss due to Soil Erosion in the European Union: From Direct Cost Evaluation Approaches to the Use of Macroeconomic Models. In: *Land Degradation & Development*.
- [3] Steinhoff-Knopp, B. & B. Burkhard (2018): Soil erosion by water in Northern Germany: long-term monitoring results from Lower Saxony. In: *CATENA* 165, S. 299–309.
- [4] Paffenholz, J.-A.; Steinhoff-Knopp, B. & C. Harmening (2020): 3D point cloud based spatio-temporal monitoring of natural objects. In: *Smart surveyors for land and water management: FIG Working Week 2020: Amsterdam, the Netherlands, 10–14 May 2020, Copenhagen*, S. 1–13.

derungen die Rekonstruktion der Bodenoberfläche vor dem Erosionsereignis sowie die Automatisierung der Methoden. Mit den ersten entwickelten Methoden gelingt die exakte Bestimmung des Volumens von im Laborversuch künstlich angelegten Rillen [4]. Zur Abschätzung des erfolgreichen Einsatzes auf Agrarflächen sollen im Sommer 2022 Feldversuche durchgeführt werden.

In der multi-temporalen Erfassung werden Schäden durch Wassererosion durch weitere, die Bodenoberfläche verändernde Prozesse maskiert: Der Boden setzt sich nach seiner Bearbeitung, tonreiche Böden schrumpfen und quellen in Abhängigkeit ihres Wassergehaltes und der Aufwuchs von Pflanzen erschwert die Erfassung der Bodenoberfläche. Zugleich muss in der multi-temporalen Erfassung eine stabile Geo-Referenzierung (die Zuweisung von über die

Zeit konstanter raumbezogener Informationen zum Datensatz) der 3D-Punktwolken und abgeleiteten 3D-Modellen gewährleistet werden. Die Ergebnisse einer im Sommer 2021 aufgenommenen Zeitreihe mit wöchentlicher Erfassung der Bodenoberfläche zeigen die Möglichkeiten und Herausforderungen der multi-temporalen Auswertung. Die zusätzliche Erfassung von Einflussfaktoren, wie Niederschlag, Bodenfeuchte, Lagebearbeitung, tragen wesentlich zur Identifikation der die Bodenoberfläche verändernden Prozesse bei.

Interdisziplinäre Methodenentwicklung

Die in diesem Beitrag dargestellten Methodenentwicklungen leben vom interdisziplinären Austausch von Geographinnen und Geographen sowie Geodätinnen und Geo-

däten, die unter anderem im FZ:GEO miteinander vernetzt sind. Die fachlichen Grundlagen ermöglichen eine Beschreibung der Herausforderung aus verschiedenen Blickwinkeln und die Lösungsansätze fußen auf den sich ergänzenden methodischen Fundi der Geographie sowie der Geodäsie und Geoinformatik.

Die bereits entwickelten Methoden tragen zur verbesserten Quantifizierung von Schäden auf Grund von Bodenerosion durch Wasser, zum Beispiel in Monitoringprogrammen, bei. Damit dienen sie dem Ziel, einen detaillierteren Überblick über die Intensität des realen Erosionsgeschehens zu erhalten. Darauf aufbauend können bestehende Maßnahmen zur Reduktion von Bodenerosion und zum Erhalt des Bodens als essentielle Versorgungsgrundlage des Menschen bewertet und angepasst werden.



Dr. Bastian Steinhoff-Knopp

Jahrgang 1983, ist PostDoc am Institut für Physische Geographie und Landschaftsökologie und setzt landschaftsökologische Feldmethoden und GIS für seine Forschung in den Themenfeldern Bodenerosion (Monitoring und Modellierung) sowie regulierende und bodengezogene Ökosystemleistungen ein. Kontakt: steinhoff-knopp@phygeo.uni-hannover.de



M. Sc. Simone Ott

Jahrgang 1991, ist Doktorandin am Institut für Physische Geographie und Landschaftsökologie und nutzt hochauflösende Messmethoden (Terrestrisches Laserscanning, Befliegung mit UAV) für die Forschung an der Erfassung von Bodenerosion unter Feldbedingungen. Kontakt: ott@phygeo.uni-hannover.de



Prof. Dr.-Ing.

Jens-André Paffenholz

Jahrgang 1981, ist Professor für Geomatik für untertägige Systeme am Institute of Geo-Engineering der TU Clausthal mit Arbeitsschwerpunkten zu Multi-Sensor-Systemen für die effiziente Erfassung von 3D Umgebungsdaten unter anderem mit dem Ziel des raum-zeitlichen Monitorings über Skalen. Kontakt: jens-andre.paffenholz@tu-clausthal.de



Prof. Dr. Benjamin Burkhard

Jahrgang 1974, ist Professor für Physische Geographie und geschäftsführender Leiter des Instituts für Physische Geographie und Landschaftsökologie mit den Arbeitsschwerpunkten integrative Erfassung und Analyse von Strukturen, Prozessen und Funktionen von Landschaften, Ökosystemleistungen und Mensch-Umweltbeziehungen. Kontakt: burkhard@phygeo.uni-hannover.de

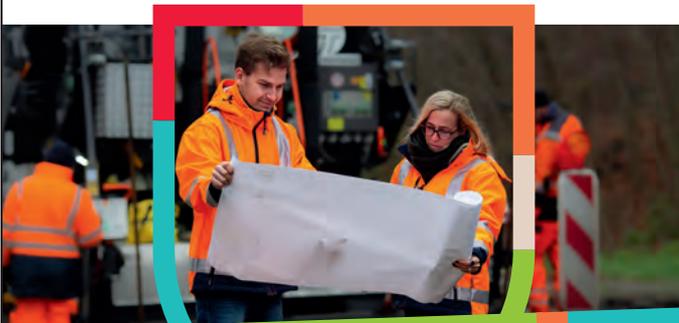
Hannoversorgt



www.studentenwerk-hannover.de



NLStBV
Wir in Niedersachsen:
mobil. regional. sicher!



Werde ein Teil von uns
als Bauingenieur (m/w/d)

Dein Weg ist unser Ziel

- **Während des Studiums:** Unser Baustipendium (Bachelor)
- **Unsere Einstiegsprogramme:** Traineeprogramm (Bachelor), Referendariat (Masterabschluss)
- **Oder Dein direkter Berufseinstieg** (Bachelor und Master nach dem Studium)



Werde Teil unseres Teams!
www.strassenbau.niedersachsen.de/karriere
Einstieg@nlstbv.niedersachsen.de



Arbeitgeber
Niedersachsen **Sicher.**



IP FOR IP
INTELLECTUAL PROPERTY
FOR
INTELLECTUAL PEOPLE

**STARTEN SIE JETZT
IHRE KARRIERE - MIT UNS!**

FERNSTUDIUM GEWERBLICHER RECHTSSCHUTZ

ABSCHLUSS: PATENTREFERENT*IN / PATENTINGENIEUR*IN

01. Oktober 2022 - 30. September 2023 (2 Semester)

Anmeldefrist: 30. September 2022

www.fernstudium-gr.de

www.ipforip.de



Foto: Milha Creative



Dein nächster Schritt in Richtung Karriere.



Starte jetzt mit unserem Traineeprogramm im
Bereich Softwareentwicklung, Agilität, Softwaretest
Projektmanagement oder IT-Compliance durch.

**frobese
it-akademie**

Der Boden als Wasserspeicher

Nuklear Magnetische Resonanz zur Bodenfeuchtebestimmung

Aktuell ausgelöst durch die ausgedehnten Trockenphasen der vergangenen Jahre gewinnen die in Böden gespeicherten Wasservorräte und deren Verfügbarkeit im Jahresverlauf erhöhte Aufmerksamkeit.

Wissenschaftler vom Institut für Geologie, vom Institut für Bodenkunde, dem Leibniz Institut für Angewandte Geophysik (LIAG) sowie von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) forschen mittels innovativer Feldmethoden aus dem Bereich störungsfrei arbeitender geophysikalischer Messverfahren an der Bodenfeuchtebestimmung.



Böden bilden den verwitterten oberflächennahen Bestandteil der Lithosphäre und erfüllen vielfältige Funktionen und Leistungen. So sind sie Orte der Nahrungsmittelproduktion, fungieren als Kohlenstoffsenke, zeichnen sich durch höchste Biodiversität aus, dienen als Verkehrs- und Gebäudeflächen, sind Lagerstätten für Rohstoffe und bieten ein wichtiges Archiv für die Natur- und Kulturgeschichte. Insbesondere können sie als

ein zentrales Speicher- und Transferelement im Wasserkreislauf betrachtet werden. In feucht-gemäßigten Klimaten wie in Mitteleuropa wird zum Beispiel im Durchschnitt $2/3$ des Jahresniederschlags in Böden gespeichert und bildet somit den Wasservorrat für Pflanzen, etwa $1/3$ des Jahresniederschlags trägt zur Ergänzung des Grundwasservorrates bei. Üblicherweise erfolgen Schätzungen zum Wasserspeichervermögen von Böden

hauptsächlich aus Ansprüchen der Partikelgrößen (Bodenart) sowie aus Tiefenangaben zur Durchwurzelbarkeit der Böden. Der Boden wird dabei als ein Kontinuum betrachtet und es wird eine gleichmäßige Verteilung des Bodenwassers unterstellt. Messungen zum Bodenfeuchtezustand werden üblicherweise mittels Tensiometer und Feuchtesensoren (sog. TDR oder Time Domain Reflectometry Sonden) durchgeführt,

die allerdings nur punktweise die heterogene kleine Bodenvolumina erfassen und beim Einbau den natürlichen Bodenaufbau verändern können.

Zunehmend wird die Sorge geäußert, dass systematische Veränderungen im Witterungsverlauf wie ausgeprägte frühsommerliche Trockenphasen zu signifikanten Ertragseinbußen in Land- und Forstwirtschaft führen kön-

Nadelstreu fördern. Kenntnisse über die heterogene Feuchteverteilung im Jahresverlauf sind für die Modellbildung bodenhydraulischer Simulationsmodelle wichtig. Nach jetzigem Stand sind die notwendigen Feuchtedaten aber nur sehr unvollständig mittels fest installierter Feuchtesensoren zu erfassen. Dies unterstreicht die Notwendigkeit für die Entwicklung und den Einsatz innovativer Feldmetho-

bis zur Erstellung von Bildern des menschlichen Körpers in der Magnetresonanztomographie (MRT) eingesetzt. NMR nutzt die magnetischen Eigenschaften der Kerne von Wasserstoffatomen.

In der Geophysik wird NMR im Bereich der Laboranalytik zur Untersuchung von Gesteins- und Bodenproben genutzt und Messungen in Bohrlöchern durchgeführt. Aber

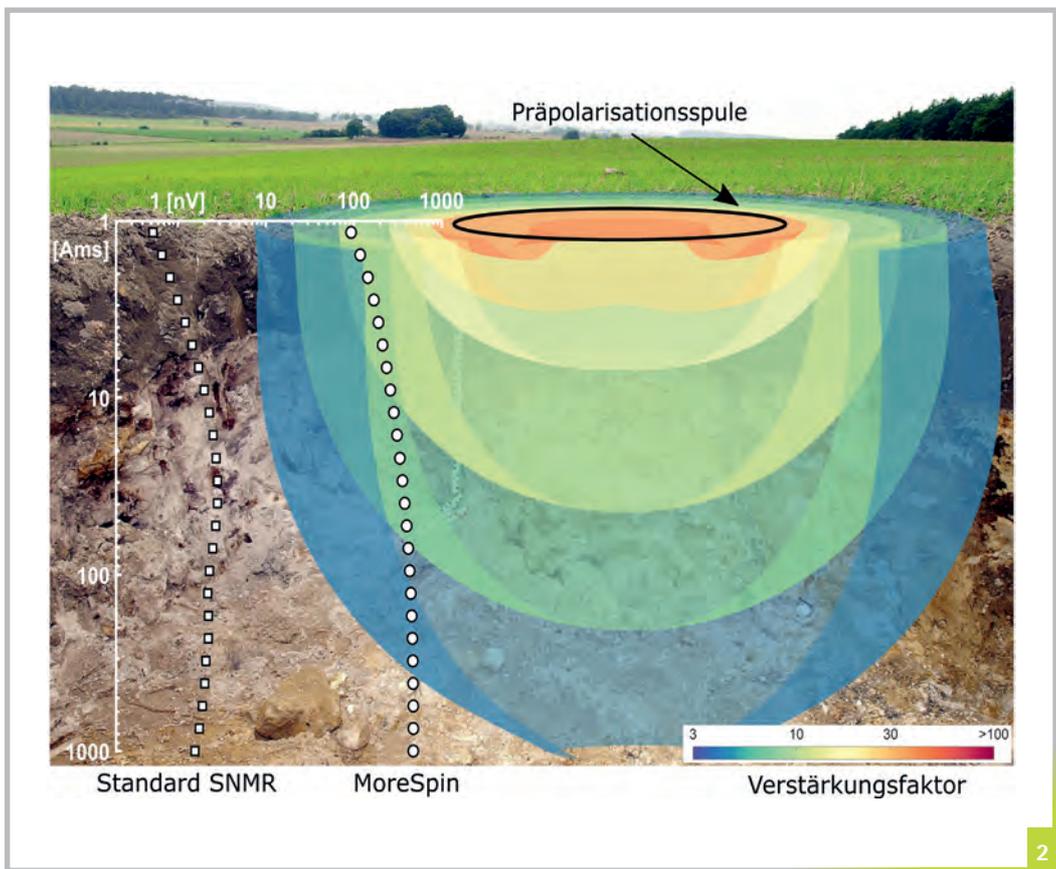


Abbildung 1
Feuchtemuster nach einem Beregnungsversuch mit einem Farbstoff (Lebensmittelfarbstoff "Brilliant Blue") in einem 100-jährigen Buchenbestand (Grinderwald bei Linsburg). Beregnungsrate 22 mm/h, Beregnungsmenge 200 mm. Deutlich ist nach Aufgrabung die ungleichmäßige Verteilung der Feuchtemuster anhand der heterogenen Blaufärbung als Folge ungleichmäßiger Infiltration in den Boden erkennbar. Die Bildung entsprechender präferenzierter Fließwege fördert den schnellen Wassertransport in das Grundwasser und reduziert damit den gespeicherten Wasservorrat.
Foto: Jörg Bachmann

Abbildung 2
Tiefenabhängige Signalverstärkung durch erhöhte Magnetisierung und resultierendes Gesamtsignal im Vergleich zur konventionellen NMR ohne Präpolarisation.
Quelle: eigene Darstellung

nen. Dies gilt insbesondere für Waldstandorte, wo die Bodenfeuchte oft ein räumlich und zeitlich sehr heterogenes Muster aufweist, was die Schätzung der tatsächlich gespeicherten Wassermengen erschwert (Abb. 1). So gibt es Hinweise, dass bestimmte Baumarten (insbesondere Nadelbäume) die Tendenz zu heterogener Feuchteverteilung durch Produktion wasserabweisender organischer Substanz wie zum Beispiel

den aus dem Bereich zerstörungsfrei arbeitender geophysikalischer Messverfahren. Eine aktuelle technische Entwicklung auf diesem Gebiet wird im Folgenden vorgestellt.

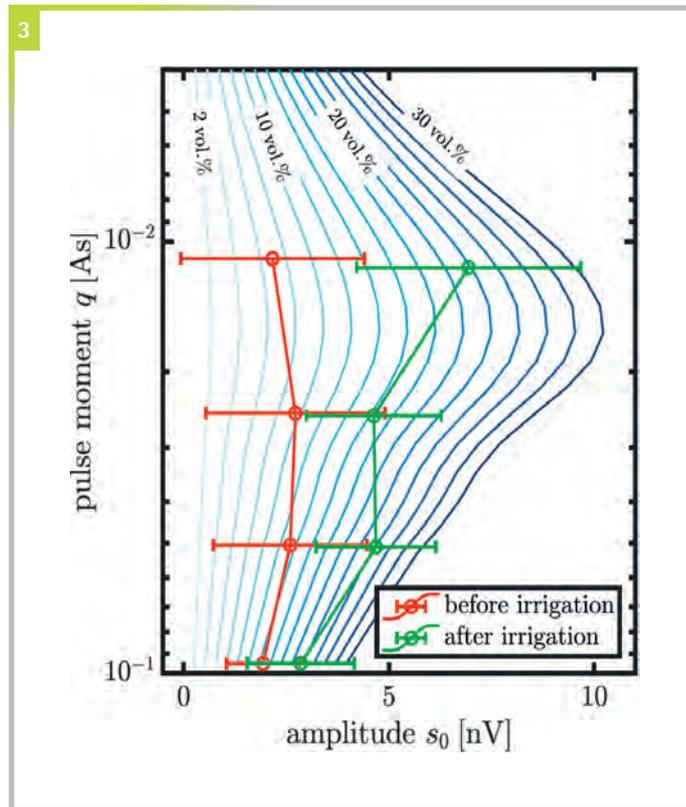
Nuklear Magnetische Resonanz

Die Nuklear Magnetische Resonanz (NMR) oder auch Kernspinresonanz wird von der Bestimmung der Strukturen organischer Verbindungen

auch von der Bodenoberfläche aus wird NMR eingesetzt, um im Gelände störungsfrei unterirdische Wasservorkommen aufzuspüren. Bei der NMR-Methode von der Oberfläche werden große Kabelschleifen auf der Bodenoberfläche verlegt, welche als Spulen agieren; ein elektrischer Strompuls erzeugt dann ein externes Magnetfeld. Dieses Magnetfeld bewirkt, dass die Protonenspins der Wasserstoffkerne im Grundwasser

Abbildung 3
 MoreSpin Daten vor (trocken – rote Kurve) und nach (feucht – grüne Kurve) einem Feldberegnungsversuch. Zum Vergleich sind theoretische Messkurven für homogene Bodenfeuchteverteilungen dargestellt. Die auf der Y-Achse aufgetragenen Pulsmomente repräsentieren die ungefähren Tiefenreichweiten der Methode. Kleine Pulsmomente (0.01 As) sind besonders sensitiv in geringen Tiefen (Tiefe der TDR Sonden, bis ca. 20 cm), wohingegen zunehmende Pulsmomente größere Tiefen (hier bis ca. 50 cm) erreichen. Auf Basis erhöhter Messpunktdichte können zukünftig detaillierte tiefen aufgelöste Feuchteverteilungen berechnet werden.

Quelle: Hiller et al. 2021



„angeregt“ werden, wenn sie sich an dem Feld ausrichten. Nach Abschalten des Feldes relaxieren die Wasserstoffkerne, sie kehren in ihren Gleichgewichtszustand zurück, wobei sie sich in Richtung des schwachen Magnetfeldes der Erde ausrichten. Während dieser Relaxation erzeugen die Wasserstoffkerne ihrerseits elektromagnetische Felder, die von der NMR-Apparatur registriert werden. Die Intensität dieser Felder und damit die Signalstärke korreliert li-

near mit der Anzahl der Wasserstoffkerne im angeregten Untergrundvolumen, so dass sich mit dieser Technik die Wassermenge im Gestein oder Boden und weitere Informationen über den Porenraum abschätzen lassen und dreidimensionale Modelle der Wasserverteilung im Untergrund erstellt werden können.

Ein bisher signifikantes Problem der NMR-Messungen ist jedoch das Vorhandensein von elektromagnetischem „Rau-

schen“, das die Signale überlagert. Dieses Rauschen ist am stärksten, wenn NMR-Messungen beispielsweise in der Nähe von Stromleitungen oder Windturbinen durchgeführt werden. Insbesondere bei der Anwendung der NMR zur Analyse der Bodenfeuchtigkeit müssen kleine Spulen verwendet werden, um auch räumlich eine gute Abbildung der Wassergehaltsverteilung zu ermöglichen. Da mit kleinen Spulen auch das angeregte Volumen klein wird, ist insbesondere hier die Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses für Bodenfeuchtemessungen essenziell.

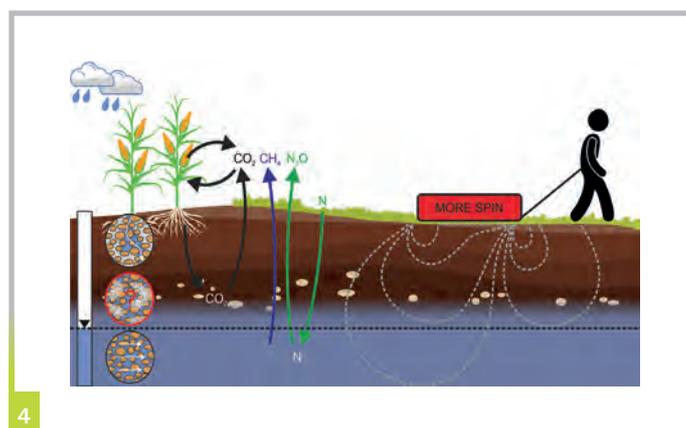
Präpolarisation zur Signalverstärkung – Das Projekt MoreSpin

Das DFG-geförderte Verbundprojekt „MoreSpin“ widmet sich der Entwicklung eines mobilen NMR-Sensors, um die Erhebung von Bodenfeuchtedaten störungsfrei bis in zwei Meter Tiefe zu ermöglichen. Der Projektverbund besteht aus dem Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), dem Leibniz-Institut für Photonische Technologien e.V. (Leibniz-IPHT) und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Die Lösung zur Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses wird dabei über den Ansatz einer Präpolarisation erreicht (de Pasquale & Mohnke, 2014). Diese erhöhte Magnetisierung führt zu stärkeren NMR-Signalen, die leichter von Rauschen unterschieden werden können (Abb. 2). Die Präpolarisationspulse werden durch kurze Gleichstrompulse durch eine zusätzliche Spule erzeugt.

Für die Auswertung wird eine eigens entwickelte Software genutzt, welche unter anderem die komplexen Prozesse der NMR Spin-Dynamik simuliert. Um diese Simulation

Abbildung 4
 Der mobile NMR Sensors MoreSpin zur zerstörungsfreien und räumlich hochaufgelösten Bestimmung von Bodenfeuchtedaten wird im Rahmen eines DFG-geförderten Verbundprojektes zwischen dem Leibniz Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), dem Leibniz-Institut für Photonische Technologien e.V. (Leibniz-IPHT) und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) entwickelt.

Quelle: eigene Darstellung



zu evaluieren, wurden in der ersten Phase des MoreSpin-Projektes Testmessungen an einem künstlichen und damit bekannten Wasserreservoir durchgeführt und die gewonnenen Daten mit den Simulationen verglichen. Es zeigt sich eine gute Übereinstimmung von Messung und Simulation sowie eine signifikante Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses.

Erste Messungen der Bodenfeuchte

Nach erfolgreichen Testmessungen wurden erste Bodenfeuchtemessungen auf dem Testfeld des Leibniz-Instituts für Angewandte Geophysik in der Nähe von Schillerslage realisiert und im Rahmen eines Beregnungsversuches durchgeführt, bei dem Messungen vor und nach einer Beregnung stattfanden (Hiller et al. 2021). Die Wassergehalte natürlicher Böden liegen zwischen wenigen bis etwa 45 Prozent. Daten aus den NMR-Messungen wurden mit Bodenfeuchtedaten durch TDR-Messungen ergänzt, um für den Tiefenbereich bis 20 Zentimeter Vergleichsdaten zu generieren. Die TDR-Daten zeigten vor der Beregnung eine durchschnittliche Bodenfeuchte von 2 bis 6 Prozent und nach der Beregnung von 16 bis 26 Prozent. Die Bandbreite repräsentiert dabei die erwartete Heterogenität der Wasserverteilung im Boden. Die NMR-Daten spiegeln die Zustände trocken bis feucht für entsprechende Tiefenbereiche grundsätzlich wider (Abb. 3), was aufgrund der geringen Signalstärke als Erfolg des Projektes zu werten ist. Trotz dieser Unsicherheiten erlauben die NMR-Messungen also bereits Aussagen über Tiefenbereiche unterhalb der TDR Referenzsonden. Es zeigt sich beispielsweise, dass die Beregnung nur geringe Änderungen der Bodenfeuchte in größeren Tiefen zur Folge hatte.



Prof. Dr. Mike Müller-Petke
 Jahrgang 1979, ist seit 2018 Professor für Geoelektrik und Elektromagnetik am Institut für Geologie in gemeinsamer Berufung mit dem Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik. Seine Forschungsschwerpunkte liegen in der Entwicklung von Methoden zur geophysikalischen Erkundung und Charakterisierung von Grundwassersystemen und Böden. Kontakt: mike.mueller-petke@leibniz-liag.de

Ausblick

Aufgabe für die nahe Zukunft ist eine weitere Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses und die Anwendbarkeit des neuen Sensors für flächenhafte Kartierungen (Abb. 4). Um diese Ziele zu erreichen, wurde einerseits die Fortsetzung des Projektes durch die DFG bewilligt, andererseits ist das FZ:GEO aktiv an der Ausarbeitung von Projekten zum Einsatz des Sensors in der Bodenforschung, aber auch in der Permafrostforschung beteiligt.

Literatur

de Pasquale, G. & Mohnke, O. 2014. Numerical study of prepolarized surface nuclear magnetic resonance in the vadose zone. *Vadose Zone J.* 13(11), 1–9.
 Hiller, T., Costabel, S., Radić, T., Dlugosch, R., & Müller-Petke, M. 2021. Feasibility study on prepolarized surface nuclear magnetic resonance for soil moisture measurements. *Vadose Zone J.* 20(5), e20138.



Prof. Dr. (apl.) Jörg Bachmann
 Jahrgang 1956, ist seit 2002 außerplanmäßiger Professor am Institut für Bodenkunde der LUH und leitet seit 2005 die Arbeitsgruppe Bodenphysik am Institut. Seine Forschungsschwerpunkte liegen in der Beschreibung physikalischer Transportprozesse in Böden und deren Beeinflussung durch Grenzflächeneffekte der organischen Bodensubstanz. Kontakt: bachmann@ifbk.uni-hannover.de

Dr. Stephan Costabel

Jahrgang 1977, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Fachbereich Geophysikalische Erkundung und Technische Mineralogie der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Schwerpunkt seiner Arbeit ist die Weiterentwicklung geophysikalischer Messtechnik sowie der Transfer von Grundlagenwissen in die geowissenschaftliche Praxis. Kontakt: stephan.costabel@bgr.de

Dr. Thomas Hiller

Jahrgang 1980, ist seit 2021 wissenschaftlicher Mitarbeiter im Aufbaustab zur Einrichtung des Forschungs- und Entwicklungszentrums Bergbaufolgen (FEZB) der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Sein Arbeitsschwerpunkt ist hier das Umweltmonitoring mittels geophysikalischer Verfahren und deren methodische Weiterentwicklung. Kontakt: thomas.hiller@bgr.de



Prof. Dr. Georg Guggenberger
 Jahrgang 1963, ist Geoökologe und seit 2008 Leiter der Arbeitsgruppe Bodenchemie am Institut für Bodenkunde der LUH. Seine Arbeitsschwerpunkte sind Stabilisierungsprozesse organischer Substanz, Permafrostböden sowie Pflanze-Mikroorganismen-Boden-Interaktionen. Kontakt: guggenberger@ifbk.uni-hannover.de



Dr. Marc-Oliver Göbel

Jahrgang 1972, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Bodenkunde. Seine Forschungsschwerpunkte liegen im Bereich der Grenzflächeneigenschaften von Bodenpartikeln und deren Bedeutung für die Wasserbewegung und -verteilung im Boden. Kontakt: goebel@ifbk.uni-hannover.de

Unsichtbar wirksam

Bodenmikroaggregate: kleine Strukturen mit großer Wirkung

In der Bodenforschung spielen Mikroaggregate eine besondere Rolle. Sie haben eine komplexe innere Architektur in der mikrobielle, biogeochemische und physikalische Prozesse in Wechselwirkung stehen, die bisher noch sehr wenig untersucht, aber von fundamentaler Bedeutung für die Funktionsfähigkeit von Böden sind.

Wissenschaftler vom Institut für Bodenkunde versuchen daher, einen Beitrag zum mechanistischen Verständnis der Bildung und Funktion von Mikroaggregaten zu leisten.



Böden sind strukturierte poröse Medien, die sich durch eine komplexe räumliche Anordnung von festen mineralischen und organischen Bestandteilen mit dazwischen liegenden Hohlräumen (Poren) auszeichnen. Der Porenraum wird mit variablen Anteilen von Wasser und Gas erfüllt, spielt bei Speicherung, Transport und Umwandlung von Nähr- und Schadstoffen im Boden eine zentrale Rolle und dient als Lebensraum (Habitat) für eine Vielzahl von Bodenorganismen. Bodenstrukturen sind sehr heterogen und bilden sich auf unterschiedlichen raumzeitlichen Skalen (Minuten bis Jahrzehnte

beziehungsweise Nanometer bis Meter). Ihr dreidimensionaler Aufbau ist das Ergebnis von bodenbildenden abiotischen und biotischen Prozessen, die unterschiedliche Mineralphasen und organische Substanzen miteinander „zementieren“ und „verkleben“ und Böden dadurch Stabilität verleihen (Abb. 1). Allgemein wird der Vorgang der Bodenstrukturentwicklung als *Aggregation* bezeichnet. Die zeitliche Entwicklung der Bodenstruktur und ihre Abhängigkeit vom Ausgangsgestein ist ein wesentlicher Faktor für die Funktionsfähigkeit von Böden in Ökosystemen. Technische Neuerungen

der vergangenen Jahre vor allem im Bereich der bildgebenden und mikrospektroskopischen Verfahren (Röntgen- μ CT, NanoSIMS, XPS, etc.) lassen heute neue Einblicke in die Welt der Aggregate zu. Die räumliche und qualitative Analyse von mikroskopisch kleinen Strukturen trägt dazu bei, die in Porenräumen und an Partikelgrenzflächen ablaufenden Prozesse besser zu quantifizieren und ihre Auswirkung auf Stoffkreisläufe zwischen Böden und Atmosphäre zu verstehen.

In der Bodenforschung spielen Mikroaggregate (< 250 μ m) eine besondere Rolle. So sind

Abbildung 1
Rasterelektronenmikroskopie-Aufnahme eines Mikroaggregats mit primären und sekundären Mineralen, die durch zementierende Substanzen stabilisiert sind.

Quelle: Dr. Zeismann & Dr. Uteau

zum Beispiel die Wasser- und Kohlenstoffspeicherung, biogeochemische Reaktionen und Transportfunktionen sehr wesentlich von den Mikrostrukturen in diesen Aggregaten abhängig. Während in den vergangenen Jahrzehnten große Fortschritte im Hinblick auf das Verständnis der biologischen Bildung, Zusammensetzung und Funktion von Makroaggregaten erzielt wurde, ist noch wenig über die Grundbausteine der Mikroaggregate bekannt. Vor allem die Mikrostrukturen mit ihren 3-dimensionalen Porennetzwerken und darin ablaufende Transportprozesse und die Mechanismen, die für die Stabilisierung von Mikroaggregaten verantwortlich sind, wurden bisher noch wenig erforscht. Am Institut für Bodenkunde sind die AG Bodenchemie und die AG Bodenbiophysik an einer DFG-geförderten Forschungsgruppe (MADSoil: MicroAggregate Development in Soil) beteiligt, die sich mit der Fragestellung der Entstehung, Stabilisierung und dem komplexen Aufbau von Mikroaggregaten auseinandersetzt. Mit einem interdisziplinären Ansatz aus dem Blickwinkel der Bodenchemie, Bodenbiologie, Bodenphysik und Modellierung werden Bildungsmechanismen und Funktionen von Mikroaggregaten (zum Beispiel Wasser- und Kohlenstoffspeicherung, Lebensraum für Mikroorganismen, etc.) aufgeklärt.

Wie entstehen Aggregate?

Das derzeitige Wissen über Bildung und strukturelle Organisation von Bodenaggregaten basiert auf dem Konzept der Aggregathierarchie, bei dem kleinste Baueinheiten ($< 20 \mu\text{m}$) zu Mikroaggregaten ($20\text{--}250 \mu\text{m}$) und Makroaggregaten ($> 250 \mu\text{m}$) sukzessive zusammengesetzt sind (Abb. 2). Unsere Grundannahme für die Bildung von Baueinheiten

ist, dass die Aggregation initial durch Ladungsunterschiede der beteiligten Reaktionspartner, sogenannte „Aggregatbildner“, gesteuert wird. Neben verschiedenen organischen Stoffen gelten Carbonate, Fe- und Al-Oxide, kieselige Phasen sowie Tonminerale hier als die wichtigsten anorganischen Aggregatbildner. Oxide ermöglichen aufgrund hoher sogenannter Ladungsnulldunkte die Sorption von negativ geladener organischer Substanz oder die Reaktion mit permanent negativ geladenen Tonmineralen. Auch kann negativ geladene organische Substanz über Brücken durch mehrwertige Kationen an Tonminerale gebunden werden. Neben Sorptionsvorgängen kann Mikroaggregation auch durch Kopräzipitation verursacht werden, zum Beispiel von organischer Substanz und Tonmineralen. Grundsätzlich initiieren sowohl organische Substanz-Mineral- als auch Mineral-Mineral-Wechselwirkungen den Aufbau größerer Bodenstrukturen und damit die Prozesse der Mikroaggregatbildung. Bei den Mineral-Mineral-Wechselwirkungen haben die Kanten der Tonminerale, die (ähnlich wie die Fe- und Al-Oxide) eine pH-abhängige Oberflächenladung aufweisen, eine Schlüsselstellung für die Anordnung der Aggregatbildner und entstehende Mikrostrukturen. Diese werden derzeit in Laborexperimenten an der LUH und mit Modellierungsansätzen am Lehrstuhl für Angewandte Mathematik der FAU Erlangen-Nürnberg (Dr. Prechtel / Dr. Ray) gemeinsam untersucht (Abb. 3).

Aggregate als Senke für Kohlenstoff

Viele Poren in Mikroaggregaten sind für Mikroorganismen nicht zugänglich. Die im Inneren der Aggregate eingeschlossene organische Subs-

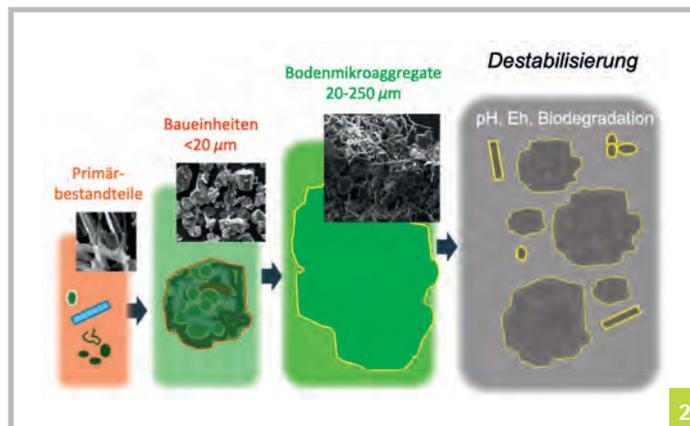


Abbildung 2
Hierarchischer Aufbau von Mikroaggregaten aus Primärbestandteilen (Minerale, organische Substanz, Mikroorganismen) die sich über kleine Baueinheiten zu großen Bodenmikroaggregaten zusammensetzen.

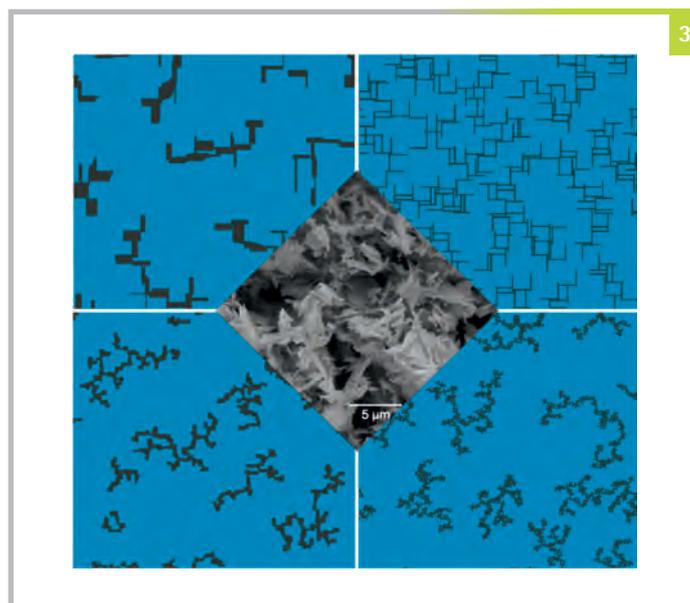
Quelle: Robert Mikutta

tanz liegt daher aufgrund von physikalischem Ausschluss vor mikrobiellem Abbau geschützt vor. Mikroaggregate werden deshalb als langfristige Kohlenstoffspeicher diskutiert mit Verweildauern des darin gespeicherten Kohlenstoffs von teilweise mehreren Hundert Jahren. Sie nehmen damit eine wichtige Rolle für die Kohlenstoffsequestrierung, also der langfristigen Stabilisierung der organischen Substanz in Böden ein.

Grundsätzlich ist der Prozess der Aggregierung reversibel, das heißt bereits gebildete Aggregate können wieder zerfallen und dadurch Oberflächen, die zuvor nicht für Mikroorganismen erreichbar waren,

Abbildung 3
Simulation der Mikromorphologie von aus plättchenförmigen Tonmineralen zusammengesetzten Baueinheiten der Bodenmikroaggregate im Vergleich zu einer elektronenmikroskopischen Aufnahme.

Quelle: verändert nach Zech et al., 2020



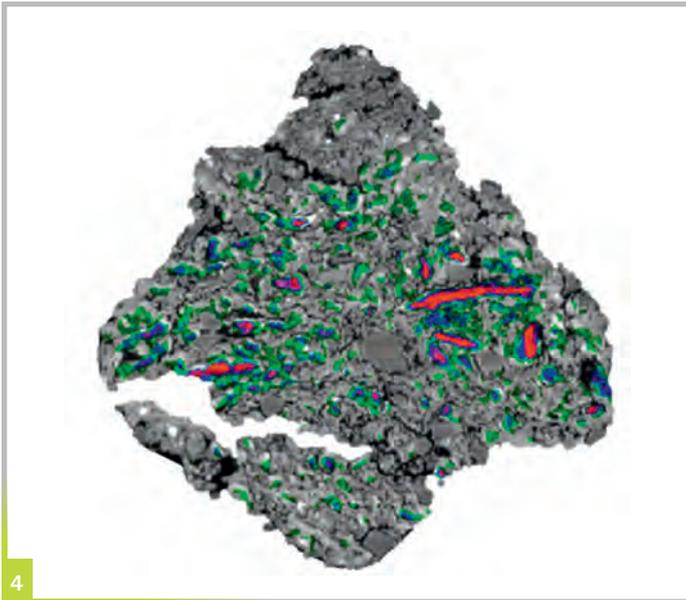


Abbildung 4 Räumlich heterogene Verteilung der organischen Substanz in einem Bodenaggregat (5 mm Durchmesser). Rote und blaue Farben zeigen partikuläre organische Substanz und grüne Farben dispers verteilte organische Substanz. Die grau schattierten Bereiche sind frei von organischer Substanz.

Quelle: aus Peth et al. 2014

zugänglich machen. Hierbei gilt, dass Mikroaggregate im Vergleich zu Makroaggregaten wesentlich stabiler sind. Man spricht allgemein von „Aggregat-Turnover“ und meint einen Zyklus von Bildung, Zerfall und Neubildung. Wie lange ein Zyklus dauert ist abhängig von der mineralogischen Zusammensetzung der Böden, dem Gehalt und der Qualität der organischen Substanz, der Bodenfeuchte und weiterer Faktoren, die die biologisch gesteuerten Aggregierungsmechanismen beeinflussen. Allerdings gehen die wenigen Studien zum Aggregat-Turnover und zur Verweildauer von organischer Substanz in Mikroaggregaten sowie den

zugrunde liegenden Prozessen sehr weit auseinander, so dass hier noch großer Forschungsbedarf besteht. So ist beispielsweise noch zu klären, wie die räumlich heterogene Verteilung der organischen Substanz (Substrat) im Porenraum, die Trennung von Substrat und Mikroorganismen und die mikroskaligen Transportprozesse von Wasser und Gas in den Porennetzwerken die Mineralisationsprozesse steuern. *Abbildung 4* zeigt die heterogene Verteilung von organischer Substanz im Boden, die mit einer Osmium-Staining Methode in röntgentomographischen Untersuchungen *in situ* lokalisiert wurde.

Die Architektur von Aggregaten

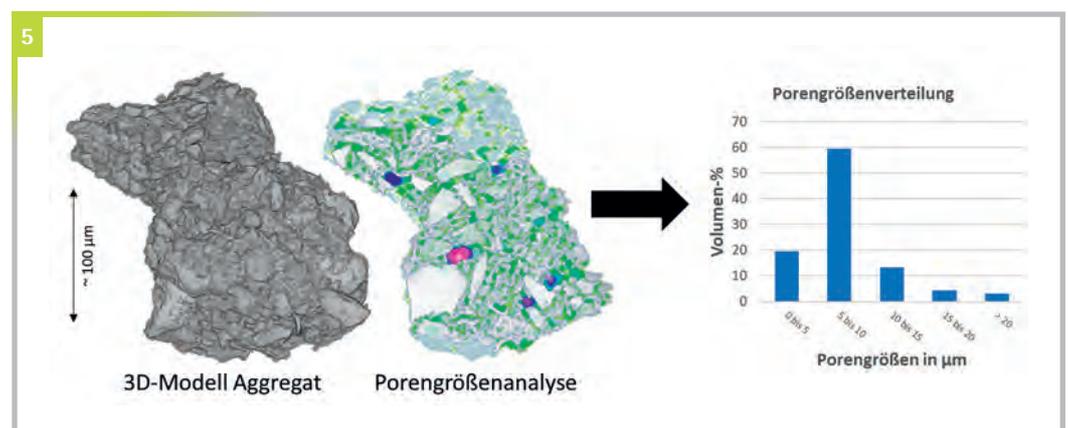
Da den Mikroaggregaten eine besondere Rolle bei der Speicherung von Kohlenstoff, Wasser und Nährstoffen, sowie als Lebensraum für Mikroorganismen zukommt, ist es von besonderer Bedeutung, deren Architektur zu studieren, um ihre Funktionen und Eigenschaften besser zu verstehen. Vor allem die Konnektivität des Porenraums und die Zugänglichkeit von inneren Oberflächen steuern maßgeblich die Prozessraten biogeochemischer Reaktionen und Austauschprozesse. Wegen ihrer geringen Größe und ihrer opaken Mineralbestandteile war es bisher kaum möglich, direkte Beobachtungen

an der dreidimensionalen Morphologie von Porenräumen in Mikroaggregaten vorzunehmen, sodass die meisten Erkenntnisse sich auf Modellierungen stützen. Seit einigen Jahren eröffnen modernste bildgebende Verfahren (zum Beispiel hochauflösende Röntgen-CT) die Möglichkeit, diese kleinsten Struktureinheiten in ihrem natürlichen Zustand auf ihre Architektur hin zu untersuchen (*Abb. 5*). Der Porenraum im Innern von Mikroaggregaten unterscheidet sich in einigen Belangen vom Porenraum außerhalb der Aggregate. Vor allem die kleineren Porendurchmesser im Vergleich zum sie umgebenden Boden sorgen dafür, dass sich im Aggregatinneren spezielle Gemeinschaften von Mikroorganismen entwickeln können, die dort besondere Bedingungen, die dort besondere Bedingungen oder Nischen vorfinden, wie den Schutz vor Fressfeinden (beispielsweise Nematoden) oder aber spezielle Konzentrationen von Sauerstoff und Stickstoff (anaerobe Bedingungen). In Abhängigkeit der Aggregatgröße finden sich daher in engem Abstand zueinander sehr unterschiedliche mikrobielle Gemeinschaften im Boden, die entsprechend unterschiedliche Bodenfunktionen regulieren.

Stabilität von Aggregaten

Wie lange Kohlenstoff in Mikroaggregaten gespeichert wer-

Abbildung 5 Links: 3D-Modell eines Mikroaggregats mit 34 % Tongehalt und einer Scan-Auflösung von 0,55 µm. Mitte: Anschnitt der gleichen Probe mit Porengrößenverteilung (dunkle Farben repräsentieren größere Porendurchmesser). Rechts: Histogramm der verschiedenen Porengrößenklassen innerhalb dieses Aggregats. Quelle: Felde et al., unveröffentlicht



den kann und ob sich spezialisierte Gemeinschaften von Mikroorganismen auf Dauer etablieren können, hängt nicht zuletzt von der mechanischen Stabilität dieser Aggregate ab. Die Stabilität wird vor allem gesteuert von der Textur und der An- beziehungsweise Abwesenheit der oben erwähnten Klebe- und Kittsubstanzen. Da die mechanische Belastbarkeit experimentell nur sehr schwer zu ermitteln ist, gibt es auf diesem Gebiet so gut wie noch keine Erkenntnisse. Seit kurzem arbeitet das Institut für Bodenkunde mittels einer hochauflösenden Materialprüfmaschine daran, die Einflussfaktoren der Aggregatstabilität in natürlichen und künstlichen Systemen zu quantifizieren.

Mikroaggregate haben eine komplexe innere Architektur in der mikrobielle, biogeochemische und physikalische Prozesse in Wechselwirkung stehen, die bisher noch sehr wenig untersucht sind. Das Verständnis der Prozesse an

mikroskopischen Grenzflächen und in kleinsten Porenräumen ist von fundamentaler Bedeutung für die Funktionsfähigkeit von Böden. Auch mit Blick auf den globalen (Klima-)Wandel ist eine grundlegende Erforschung von diesen mikroskopischen Strukturen in Böden hochrelevant. Das Institut für Bodenkunde versucht mit Hilfe modernster spektroskopischer und röntgenomographischer Verfahren einen Beitrag zum mechanistischen Verständnis der Bildung und Funktion von Mikroaggregaten zu leisten.

Danksagung

Wir bedanken uns bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die finanzielle Förderung unserer Projekte im Rahmen der Forschergruppe RU 2179 „MAD Soil - Microaggregates: formation and turnover of the structural building blocks of soils“. Weitere Infos unter <https://www.madsoil.uni-jena.de/>

Literatur

- Peth, S., Chenu, C., Leblond, N., Mordhorst, A., Garnier, P., Nunan, N., Pot, V., Ogur-reck, M. & Beckmann, F. 2014. Localization of soil organic matter in soil aggregates using synchrotron-based X-ray microtomography. *Soil Biology and Biochemistry*, 78, 189–194. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.07.024>
- Totsche, K. U., Amelung, W., Gerzabek, M.H., Guggenberger, G., Klumpp, E., Knief, C., Lehndorff, E. u. a. 2018. „Microaggregates in Soils“. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 181, 104–136. <https://doi.org/10.1002/jpln.201600451>
- Zech, S., Dultz, S., Guggenberger, G., Prechtel, A., Ray, N. (2020). „Microaggregation of Goethite and Illite Evaluated by Mechanistic Modeling“. *Applied Clay Science* 198: 105845. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2020.105845>



Prof. Dr. Stephan Peth

Jahrgang 1972, leitet am Institut für Bodenkunde die Arbeitsgruppe Bodenbiophysik. Seine Arbeitsschwerpunkte sind Bodenstruktur, Bildanalyse (Tomographie), Wurzel-Boden-Interaktionen und Bodenmechanik. Kontakt: peth@ifbk.uni-hannover.de



Dr. Vincent Felde

Jahrgang 1982, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Bodenkunde. Seine Arbeitsschwerpunkte sind Bodenstruktur, Bildanalyse (Tomographie) sowie Biologische Bodenkrusten und Desertifikation. Kontakt: felde@ifbk.uni-hannover.de



PD Dr. Stefan Dultz

Jahrgang 1960, ist Privatdozent und wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Bodenkunde. Seine Arbeitsschwerpunkte sind feine Partikel im System Boden. Kontakt: dultz@ifbk.uni-hannover.de



Prof. Dr. Georg Guggenberger

Jahrgang 1963, ist Leiter der Arbeitsgruppe Bodenchemie am Institut für Bodenkunde. Seine Arbeitsschwerpunkte sind Stabilisierungsprozesse organischer Substanz, Permafrostböden sowie Pflanze-Mikroorganismen-Boden-Interaktionen. Kontakt: guggenberger@ifbk.uni-hannover.de

Siegling – total belting solutions



WIR HABEN, WAS DU SUCHST!

Offene Stellen in den Bereichen
Produktion, Mess- und Regeltechnik, IT,
Service, Vertrieb und mehr zu besetzen.



Job mit Sinn gesucht?

Dann bist Du bei uns genau richtig! Bei uns findest Du ein spannendes Arbeitsumfeld in der Branche der erneuerbaren Energien, qualifizierte Aufgaben rund um Wind- und Solarenergieprojekte, flexibles Arbeiten und ein tolles Team!

www.windwaerts.de

Interessiert?
Jetzt bewerben!



Mehr erfahren: **GOODJOBS** **kununu**



DIK – Kompetenz in Kautschuk und Elastomeren



Das DIK bietet ein breites Forschungs- und Leistungsspektrum

- Werkstoffcharakterisierung
- Simulation
- Aus- und Weiterbildung
- Neue Materialien
- Umweltaspekte
- „Leachables“ in Polymerwerkstoffen
- Werkstoffentwicklung
- Lebensdauervorhersage/Alterung

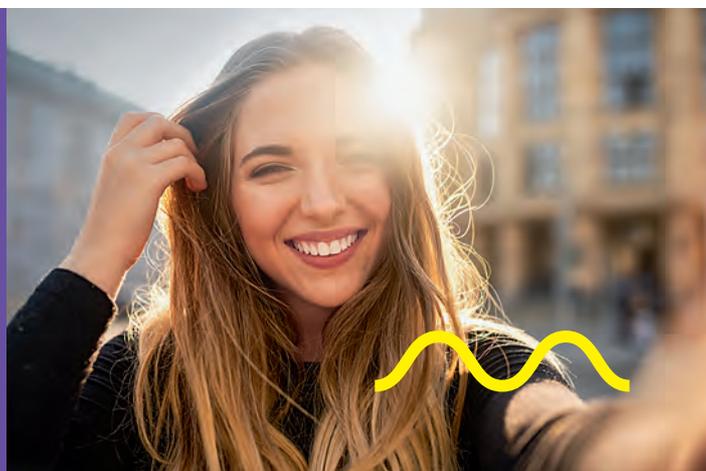
Deutsches Institut für Kautschuktechnologie e. V.

Eupener Straße 33 · D-30519 Hannover · Tel.: +49 (0)511/84201-16
PR-DIK@DIKkautschuk.de · www.DIKkautschuk.de

avacon

Alles wie immer? Wir sagen: Gern auch mal anders.

Ob als Trainee oder per Direkteinstieg – deine Ideen sind gefragt. Informiere dich jetzt unter www.avacon.de/karriere.





Starte durch beim
Technologieführer

Gerne zur Arbeit kommen und nach Feierabend auf einen guten Job zurückblicken?

Die Viscom AG in Hannover schafft die Voraussetzungen dafür – als europäischer Technologieführer für modernste Inspektionssysteme wissen wir, wie dein Start ins Berufsleben aussehen sollte. Du lernst bei uns nicht nur alle neuesten Entwicklungen unserer Branche kennen, sondern wirst Teil eines stetig wachsenden, aber dennoch recht familiär gebliebenen Mittelständlers. Wir entwickeln (fast) alles selbst und haben dementsprechend viel Know-how im Unternehmen, von dem du sofort profitieren kannst! Und, man mag es kaum glauben, den meisten hier macht ihre Arbeit sogar Spaß! ;)

Was du bei uns außerdem bekommst: eine leistungsgerechte Vergütung, flexible Arbeitszeit (Home Office, wo möglich), moderne Arbeitsplätze, Kantine, Parkplätze, Kinderbetreuung, Gesundheitsförderung, Schulungen und vieles mehr.

Also, wenn du ganz vorne dabei sein willst und dabei auch noch Spaß haben möchtest, dann bist du bei uns richtig!

Bewirb dich gern initiativ oder auf eines unserer Stellen- und Ausbildungsangebote.

Aktuelle Stellenangebote:

www.viscom.de

Personalia und Preise

BERUFUNGEN

Rufe an die Leibniz Universität Hannover

Prof. Dr. **Michèle Heurs** hat den Ruf auf die W3-Professur „Quantenkontrolle“ angenommen.

Dr. **Philippe Bouyer** hat den Ruf auf die W3-Professur „Quantensensorik und Quantenmetrologie“ abgelehnt.

Prof. Dr. **Annegreth Dietze-Schirdewahn** hat den Ruf auf die W2-Professur für „Geschichte der Landschaftsarchitektur und Gartendenkmalpflege“ abgelehnt.

Dr. **Alexander Dockhorn** hat den Ruf auf die W1-Juniorprofessur „Mustererkennung und probabilistische graphische Modelle“ angenommen.

Assistant Professor Dipl.-Inf. (FH) Dr. **Carsten Eickhoff** hat den Ruf auf die W3-Professur „Künstliche Intelligenz“ abgelehnt.

Prof. Dr. **Anette Freytag** hat den Ruf auf die W2-Professur „Geschichte der Landschaftsarchitektur und Gartendenkmalpflege“ erhalten.

Prof. Dr. **Britta Freitag-Hild** hat den Ruf auf die W3-Professur „Didaktik des Englischen“ erhalten.

Dr. **Elyas Ghafoori** hat den Ruf auf die W3-Professur „Stahl-, Verbund- und Leichtbau“ erhalten.

Prof. **Maria Antonia Kums** hat den Ruf auf die W3-Professur „Architektur im städtischen Kontext“ erhalten.

Prof. Dr. **Florin-Silviu Manea** hat den Ruf auf die W3-Professur „Automaten und formale Sprachen (Heisenberg-Professur)“ erhalten.

Dr. **Karola Marky** hat den Ruf auf die W1-Juniorprofessur „Privacy Friendly Software Systems“ angenommen.

Dr. **Dominic Nyhuis** hat den Ruf auf die W2-Professur mit Tenure Track nach W3 „Quantitative Methoden der Politikwissenschaft“ erhalten.

Dr. **Maria Alessandra Papa** hat den Ruf auf die W2-Professur „Gravitationswellenastrophysik“ angenommen. (Thüringer Modell)

Dr. **Martin Pfeiffer** hat den Ruf auf die W3-Professur „Germanistische Linguistik“ abgelehnt.

Dr. **Agnès Rosner** hat den Ruf auf die W2-Professur „Allgemeine Psychologie“ erhalten.

Dr. **Manuel Bastias Saavedra** hat den Ruf auf die W2-Professur mit Tenure-Track nach W3 „Geschichte Lateinamerikas“ erhalten.

Prof. Dr. **Henning Wachsmuth** hat den Ruf auf die W3-Professur „Künstliche Intelligenz“ angenommen.

Rufe nach außerhalb

Prof. Dr. **Michele Heurs** hat den Ruf auf die Level E-Professur „Direktorinnenstelle am Centre for Gravitational Astrophysics“ der Australian National University abgelehnt.

Prof. Dr. **Ruth Mayer** hat den Ruf auf die W3-Professur „Amerikanistik“ der Goethe-Universität Frankfurt am Main abgelehnt.

Prof. Dr. **Emily Poppenborg** hat den Ruf auf die W3-Professur „Tierökologie“ der Justus-Liebig-Universität Gießen angenommen.

Prof. Dr. **Matthias Schütt** hat den Ruf auf die W3-Professur „Mathematik, insbesondere komplex-analytische Geometrie“ der Universität Hamburg abgelehnt.

Prof. Dr. **Georg Steinhauser** hat den Ruf auf die Professur „Angewandte Radiochemie“ der Technischen Universität Wien erhalten.

ERNENNUNG ZUR UNIVERSITÄTSPROFESSORIN / ZUM UNIVERSITÄTSPROFESSOR

Dr. habil. **Berry Klaus**, Philosophische Fakultät, mit Wirkung zum 01.05.2022

Prof. Dr.-Ing. **Markus Dürmuth**, Fakultät für Elektrotechnik und Informatik, mit Wirkung vom 01.02.2022

Prof. Dr.-Ing. **Philipp Geyer**, Fakultät für Architektur und Landschaft, mit Wirkung vom 01.01.2022

Prof. Dr. **Jochen Hack**, Fakultät für Architektur und Landschaft, mit Wirkung vom 01.02.2022

Dr. **Philipp Marius Heretsch**, Naturwissenschaftliche Fakultät, mit Wirkung vom 01.01.2022

Dr. **Christian Hundt**, Naturwissenschaftliche Fakultät, mit Wirkung vom 01.01.2022

Dr. **Ann-Kathrin Kößler**, Fakultät für Architektur und Landschaft, mit Wirkung vom 01.01.2022

Dr. sc. Dipl.-Ing. **Jan S. Rellermeyer**, Fakultät für Elektrotechnik und Informatik, mit Wirkung vom 01.01.2022

Prof. Dr. **Eric Stöhr**, Philosophische Fakultät, mit Wirkung vom 01.01.2022

Dr. **Nadja Kabisch**, Naturwissenschaftliche Fakultät, mit Wirkung vom 01.04.2022

Prof. Dr. **Thomas Wick**, Fakultät für Mathematik und Physik, mit Wirkung vom 25.02.2022

ERNENNUNG ZUR AUSSERPLANMÄSSIGEN PROFESSORIN / ZUM AUSSERPLANMÄSSIGEN PROFESSOR

Apl. Prof. **Rainer Meyhöfer**, Naturwissenschaftliche Fakultät, mit Wirkung vom 10.09.2021

Apl. Prof. **Jan Philipp Schuchardt**, Naturwissenschaftliche Fakultät mit Wirkung vom 02.02.2022

EINTRITT IN DEN RUHESTAND WEGEN ERREICHENS DER ALTERSGRENZE

Prof. Dr. **Josef-Christian Buhl**, Naturwissenschaftliche Fakultät, mit Ablauf des Monats September 2021

Prof. Dr. **Holger Butenschön**, Naturwissenschaftliche Fakultät, mit Ablauf des Monats September 2021

Prof. Dr. **Ronald Imbihl**, Naturwissenschaftliche Fakultät, mit Ablauf des Monats September 2021

Prof. Dr. **Hans-Gerd Ridder**, Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät, mit Ablauf des Monats September 2021

Prof. Dr. **Johann-Matthias Graf von der Schulenburg**, Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät, mit Ablauf des Monats September 2021

Prof. Dr. **Peter Wriggers**, Fakultät für Maschinenbau, mit Ablauf des Monats März 2022

Prof. Dr.-Ing. **Bernard Nacke**, Fakultät für Elektrotechnik und Informatik, mit Ablauf des 31.03.2022

Prof. **Peter Schlobinski**, Philosophische Fakultät, mit Ablauf des Monats März 2022

VERSETZUNG IN DEN RUHESTAND VOR ERREICHEN DER ALTERSGRENZE

Prof. Dr. **Edgar Maiß**, Naturwissenschaftliche Fakultät, mit Ablauf des Monats September 2021

Prof. Dipl.-Ing. **Alexander Furche**, Fakultät für Architektur und Landschaft, mit Ablauf des Monats März 2022

Prof. Dr. **Thomas Scheper**, Naturwissenschaftliche Fakultät, mit Ablauf des Monats März 2022

VERLÄNGERUNG DES DIENSTVERHÄLTNISSSES ALS UNIVERSITÄTSPROFESSORIN / ALS UNIVERSITÄTSPROFESSOR AUF ZEIT

Prof. **Matthew Sample**, Philosophische Fakultät, mit Wirkung zum 26.03.2024 bis 26.05.2025

BEENDIGUNG DES DIENSTVERHÄLTNISSSES ALS PROFESSORIN / PROFESSOR

Prof. Dr. **Anna Ijjas**, Fakultät für Mathematik und Physik, mit Ablauf des 31. Dezember 2021

BEENDIGUNG DES DIENSTVERHÄLTNISSSES ALS JUNIOR-PROFESSORIN / JUNIOR-PROFESSOR

Jun.-Prof. Dr. **Avishek Anand**, Fakultät für Elektrotechnik und Informatik, mit Wirkung vom 28.02.2022

Juniorprof. Dipl.-Ing. Dr. **Robby Peibst**, Fakultät für Elektrotechnik und Informatik, mit Ablauf des 31. Dezember 2021

VERSTORBEN

Prof. **Hans-Joachim Berthold**, ehemals Institut für Anorganische Chemie, verstarb am 22.04.2022 im Alter von 98 Jahren.

Prof. Dr. **Christine Bessenrodt**, ehemals am Institut für Algebra, Zahlentheorie und Diskrete Mathematik, verstarb am 24.1.2022 im Alter von 63 Jahren.

Christina Brauer, Institut für Technische Verbrennung, verstarb am 06.02.2022 im Alter von 56 Jahren.

Prof. Dr. **Dietrich Eggert**, ehemals Institut für Sonderpädagogik, verstarb am 12.01.2022 im Alter von 81 Jahren.

Oberstudienrat Dr. **Rudolf Groß**, Nds. Studienkolleg, verstarb am 13.04.2022 im Alter von 63 Jahren.

Dipl.-Math. **Wilhelm Heerhorst**, Akademischer Direktor a.D., ehemals Regionales Rechenzentrum, verstarb am 19.03.2022 im Alter von 82 Jahren.

Professor Dr. **Max-Detlev Jöhnk**, ehemals Institut für Statistik, verstarb am 23.03.2022 im Alter von 85 Jahren.

Sieghart Ludwig, ehemals IT Services, verstarb am 17.03.2022 im Alter von 79 Jahren.

Prof. Dr. **Karl-Heinz Mane-gold**, ehemals Historisches Seminar, verstarb am 05.11.2021 im Alter von 91 Jahren.

Prof. Dr. **Herbert Obenaus**, ehemals Historisches Seminar, verstarb am 29.10.2021 im Alter von 90 Jahren.

Akademischer Oberrat a.D., Dr. jur. **Roland Stückmann**, ehemals Lehrstuhl für Zivilrecht und Zivilprozessrecht, verstarb am 05.01.2022 im Alter von 80 Jahren.

Prof. Dr. **Heinz-Joachim Wiebe**, ehemals Institut für Gemüsebau, verstarb am 14.12.2021 im Alter von 86 Jahren.

PREISE UND AUSZEICHNUNGEN

Das Präsidium der Leibniz Universität Hannover (LUH) hat am 26. Januar 2022 auf Vorschlag des Senats Prof. Dr. rer. nat. **Holger Butenschön** die Ehrenbürgerwürde verliehen. Mit der Würde eines Ehrenbürgers bzw. einer Ehrenbürgerin zeichnet die LUH Persönlichkeiten aus, die sich wesentliche Verdienste um die Universität erworben haben. Butenschön war von 1993 bis 2021 Professor für Organische Chemie an der LUH und hat sich stark in der akademi-

schen Selbstverwaltung eingebracht. Die Auszeichnung erhält er zudem für sein Engagement um die Aufarbeitung der Zeit des Nationalsozialismus an der LUH.

Für seine am Institut für Dynamik und Schwingungen geschriebene Dissertation „Experimentelle und modellbasierte Untersuchung der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung von holzbasierten Verbundwerkstoffen mittels Ultraschall“ hat Dr.-Ing. **Torben Marhenke** den Wilhelm-Klauditz Preis für Holzforschung und Umweltschutz 2021 erhalten. Der Preis ist mit 5.000 Euro dotiert.

M.Sc. **Pauline Frey**, Institut für Antriebssysteme und Leistungselektronik, ist für ihre Masterarbeit „Untersuchung der Verluste im Wechselrichter und der elektrischen Maschine bei der Verwendung von SiC-Halbleitern mit variabler Schaltfrequenz“ mit dem Hanns-Voith-Stiftungspreis für herausragende Studienabschlussarbeiten ausgezeichnet worden. Der Preis ist ebenfalls mit 5.000 Euro dotiert.

M. Sc. **David Wamhoff**, Institut für Gartenbauliche Produktionssysteme, hat den von der TASPO-Stiftung vergebenen Förderpreis „Junge Wissenschaft“ erhalten. Forschungsobjekt seiner Doktorarbeit ist die Rose.

In diesem Jahr wurde der Walter-Großmann-Preis der Förderergesellschaft Geodäsie und Geoinformatik der Leibniz Universität Hannover am 16.11.2021 an M.Sc. **Andreas Piter** vergeben. Mit dem Preis werden seine Masterarbeit zum Thema „Spatiotemporal Functional Data Analysis of Helsinki's Bike Sharing System“ und der Beitrag „Bike Sharing aus neuer Perspektive – was die Daten uns verraten“ gewürdigt.

LEHRPREISE DER LEIBNIZ UNIVERSITÄT

Die Leibniz Universität Hannover verleiht jährlich Auszeichnungen an Dozierende, die für eine besondere Qualität in der Lehre stehen. Die Auszeichnung ist mit jeweils 2.000 Euro dotiert. Der Lehrpreis wurde am Donnerstag, 17. Februar 2022, verliehen.

Kategorie 1:

Motivation und Inspiration
Dr. **Sabine Struckmeier**, Institut für Didaktik der Naturwissenschaften, Naturwissenschaftliche Fakultät

Prof. Dr. **Richard Hanke-Rauschenbach**, Institut für elektrische Energiesysteme, Fakultät für Elektrotechnik und Informatik

Dipl.-Jurist **Maximilian Nussbaum**, Lehrstuhl für Strafrecht, Strafprozessrecht, Strafrechtsvergleichung und Rechtsphilosophie, Juristische Fakultät

Kategorie 2:

Strategie und Transfer
Dr. **François Conrad**, Deutsches Seminar, Philosophische Fakultät

Kategorie 3:

Professionalisierung und Lehrkultur
Dr. **Jens Groß**, Institut für Physische Geographie und Landschaftsökologie, Naturwissenschaftliche Fakultät

Dr. des. **Katja Politt**, Deutsches Seminar, Philosophische Fakultät

Zeitraum der Personalia-Informationen:
18. Februar 2022 bis 09. Mai 2022



KARRIERE- HEBEL

AUF WESTFÄLISCH!

Was 1951 in Minden mit einer einfachen, aber bahnbrechenden Federklemme begann, ist heute eine weltweite Erfolgsgeschichte. Wir sind in über 80 Ländern als Ansprechpartner vor Ort – und verbinden mittlerweile mehr als nur zwei Leiter – wir verbinden Menschen, Maschinen und Branchen über Ländergrenzen hinweg. Denn egal ob Verbindungs-, Mess- oder Steuerungstechnik, die richtigen Lösungen lassen sich nur gemeinsam entwickeln. Ohne unsere Mitarbeiter, Anwender, Partner und Kunden wären wir nicht das, was wir heute sind. Dafür sind wir dankbar – und darauf sind wir stolz.

Wenn auch Sie mit Ihren Ideen die Weichen für die Zukunft stellen wollen, dann sind Sie bei uns richtig.

Willkommen im Team.

www.wago.com/de/karriere



**Für jeden guten Start
gibt es den richtigen Moment.**

Mit Traineeprogramm, Praktikum oder Stipendium:
In der NORD/LB startest du immer in einem Berufsumfeld,
das in seiner Dynamik und seinem Leistungsumfang
beste Perspektiven eröffnet.

Weitere Infos unter: www.nordlb.de/traineeship
oder www.nordlb.de/praktikanten



www.instagram.com/nordlb.karrierestart

