

# RWTH THEMEN

Forschungsmagazin

2021

Hochwasser –  
Beiträge zu Risiken, Folgen und Vorsorge

# SO LAUT KANN LEISE SEIN.



## Der vollelektrische Ford Mustang Mach-E.

Bis zu 610 km Reichweite.<sup>1</sup>

**Ford** | **BEREIT FÜR  
MORGEN**

**Verbrauchswerte nach § 2 Nrn. 5, 6, 6 a Pkw-EnVKV in der jeweils geltenden Fassung: n. v.\***

Verbrauchswerte nach WLTP: Stromverbrauch: 20–16,5 kWh/100 km (kombiniert); CO<sub>2</sub>-Emissionen im Fahrbetrieb: 0 g/km (kombiniert).

\* n. v. = Daten nicht verfügbar. Der Gesetzgeber arbeitet an einer Novellierung der Pkw-EnVKV und empfiehlt in der Zwischenzeit für Fahrzeuge, die nicht mehr auf Grundlage des Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) homologiert werden können, die Angabe der realitätsnäheren WLTP-Werte. Diese sind in der nachfolgenden Zeile zu finden.

<sup>1</sup> Gemäß Worldwide Harmonised Light Vehicles Test Procedure (WLTP) können bis zu 610 km Reichweite bei voll aufgeladener Batterie erreicht werden – je nach vorhandener Konfiguration. Die tatsächliche Reichweite kann aufgrund unterschiedlicher Faktoren (Wetterbedingungen, Fahrverhalten, Fahrzeugzustand, Alter der Lithium-Ionen-Batterie) variieren.

# Inhalt

- 4 **RWTH Aachen forscht zu Hochwasser**  
Zukunftsthema Klimawandel  
von Frank Kemper
- 6 **Klimatologen blicken auf die Niederschlagsextreme**  
Eine klimageographische Perspektive auf das  
Starkregenereignis vom Juli 2021  
von Niels Döscher, Gunnar Ketzler und Michael Leuchner
- 12 **Geomorphologen und Wasserbauingenieure betrachten  
die Auswirkungen des Juli-Hochwassers**  
von Catrina Brüll, Verena Esser, Frank Lehmkuhl,  
Philipp Schulte und Stefanie Wolf
- 18 **Schadstoffverlagerungen bei Hochwasserereignissen**  
Ergebnisse aus Langzeitstudien an der neuen Inde  
im Kontext des Juli-Hochwassers  
von Verena Esser, Stefanie Wolf, Christina Schwanen,  
Philipp Schulte, Catrina Brüll, Frank Lehmkuhl  
und Holger Schüttrumpf
- 28 **Das Hochwasserereignis 2021**  
Dokumentation und Daten für die Forschung  
von Holger Schüttrumpf
- 32 **Von der Sandburg lernen**  
Geotechnik vor, während und nach einem Hochwasser  
von Jan Derksen, Martin Feinendegen und Raul Fuentes
- 40 **Fertighausbau für extreme Bedingungen**  
Ein modulares und kostengünstiges Bausystem  
von Magdalena Kimm und Andreas Mohr
- 46 **Auf dem Weg zur Schwammstadt**  
Niederschlagswasser im urbanen Raum bewirtschaften  
von Eva Bünis, Regina Haußmann, Julian Hofmann, Johannes  
Pinnekamp, Peter Schleiffer und Thomas Wintgens
- 52 **Sicherheit durch smarte Bauwerke**  
Digitalisierung von Infrastrukturen  
von Jörg Blankenbach, Thomas Gries, Kira Heins, Stefan Herlé,  
Sven Ingebrandt, Magdalena Kimm, Elena-Maria Klopries,  
Verena Krebs, Till Quadflieg, Holger Schüttrumpf und Linda Wetzel
- 56 **Kommunen im Klimawandel**  
Maßnahmen zur Anpassung an Extremwetterereignisse  
von Loisa Welfers und Andreas Witte
- 60 **Klimafolgenanpassung in Städten**  
Umgang mit Extremereignissen als ständige Herausforderung  
von Mark Braun und Frank Andreas Weber
- 66 **Resilienz und Kulturerbe auf der „Urban Agenda“  
der Europäischen Union**  
Stadtentwicklungspolitik gestalten  
von Christa Reicher, Carola Neugebauer, Stefan Greiving,  
Oxana Gourinovitch, Leonie Schödl, Christoph Klanten und  
Vanessa Ziegler
- 72 **Wasserbezogene Ökosystemleistungen**  
Ökonomie trifft Naturwissenschaften  
von Frank Lehmkuhl und Peter Letmathe
- 74 **Wie stark sind Unternehmen von den Folgen  
des Klimawandels betroffen?**  
Gefährdungsanalysen im Projekt „KlimaSicher“  
von Simon Hein und Andreas Witte
- 78 **Spielend lernen zum Thema Starkregen**  
Serious Game „StadtWasserFluss“ vermittelt Kompetenzen  
zum Starkregenmanagement  
von Thomas Dondorf und Heribert Nacken
- 84 **Namen & Nachrichten**
- 90 **Impressum**

# RWTH Aachen forscht zu Hochwasser

## Zukunftsthema Klimawandel

Im Juli dieses Jahres hat sich in Westdeutschland eine Hochwasserkatastrophe ereignet, die auch die StädteRegion Aachen stark getroffen und geschädigt hat. Die aufgetretene Flutwelle wurde multikausal durch langanhaltenden und intensiven Starkregen, Topografie, Bodensättigung und -beschaffenheit im Beregnungsgebiet, aber auch durch Eingriffe in natürliche Flussläufe und Randbebauungen begünstigt. Gebäude, die eigentlich Schutz bieten sollten, lagen unerwartet in Überflutungsbereichen. Viele Menschen sind ums Leben gekommen.

Die wissenschaftliche, politische und gesellschaftliche Aufarbeitung von Naturkatastrophen ist ein wesentlicher Schlüssel, damit die richtigen Lehren gezogen werden können. In Anbetracht der örtlichen Nähe zum jüngsten Hochwasserkatastrophengebiet ist die RWTH Aachen besonders aufgefordert, an dieser Aufarbeitung mitzuwirken und einen Beitrag zu leisten, damit Landnutzung, Wiederaufbau, Vorwarn- und Schutzmechanismen weiterentwickelt oder auch neu gedacht werden können. Diesen Aspekten widmet sich die vorliegende Ausgabe der RWTH THEMEN. In den Beiträgen werden Erkenntnisse und Ansätze zur Beurteilung von Hochwassergefahren, ihren Auswirkungen und auch Lösungsansätze zur Folgenminimierung bei solchen Ereignissen präsentiert. Die wasserbaulichen Ingenieurdisziplinen arbeiten dabei traditionell interdisziplinär, indem sie ihre Forschungsarbeiten auch im Kontext ihrer gesellschaftlichen Bedeutung und im Austausch mit Verbänden, Kommunen und politischen Entscheidungsträgern reflektieren. Die natürlichen und künstlich beeinflussten Wasserströme tangieren seit jeher die Interessen unterschiedlicher Akteure, so dass Abwägungen und ein Bemühen um Ausgleich gelebte Praxis sind.

Als Gesellschaft wurde uns durch das Hochwasserereignis auch schmerzhaft vor Augen geführt, welche drastischen Wirkungen der Klimawandel haben kann, wenn sich die Szenarien bestätigen, die Klimaforscher in immer größerer Übereinstimmung prognostizieren. Klimawandelminderung und Klimawandeladaption sind zentrale Zukunftsthemen, denen sich die RWTH Aachen bereits stellt – aber sicher künftig noch intensiver stellen muss. Aufgrund ihrer Komplexität, Dynamik und Wechselwirkung machen es diese Themen ebenfalls erforderlich, dass Wissensbestände unterschiedlicher Disziplinen zusammengeführt werden, um neue wissenschaftliche Interaktionen zu generieren. Thematisch ist dabei der Bausektor von Bedeutung, da er einerseits nennenswert zur Emission von CO<sub>2</sub> beiträgt (und damit Einsparpotenzial birgt) und andererseits auch Möglichkeiten zur Adaption und zur Schaffung von Resilienz verspricht. Beide Aspekte werden begleitet von einer komplexen und interdisziplinären Verflechtung mit gesellschaftlichen, wirtschaftlichen und kulturellen Fragen. Die notwendige thematische Forschung soll künftig in einem neuen Forschungsfeld „Built and Lived Environment“ (BLE) organisiert werden, das als sogenannte Growth Area an der RWTH eingerichtet wurde. Darin werden neben den klimabezogenen Aspekten auch Lösungsansätze für Adaptionsmechanismen in Bezug auf andere Trends und Zukunftsthemen wie Urbanisierung, Digitalisierung, Gesundheit und Mobilität aufgegriffen, die ihrerseits in Wechselwirkung mit unserer gebauten Umwelt stehen. BLE möchte somit dazu beitragen, dass der gesamte Kontext unserer künftigen Lebenswirklichkeiten und der dafür notwendige, flexible und klimafreundliche Lebensraum als das wahrgenommen wird, was er ist: ein Verantwortungs-

bereich für die richtigen Weichenstellungen einerseits und eine Chance für interdisziplinäre und internationale wissenschaftliche Kooperation andererseits.

Die Bedrohung durch Naturkatastrophen, die Nachhaltigkeit, Wandelbarkeit und Resilienz der gebauten Infrastruktur, die Abwägung von Sicherheit und Lebensrisiken im Kontext von Gesellschaft, Wirtschaft und Kultur ist somit auch in das thematische Spannungsfeld der neuen Growth Area BLE einzuordnen. So wurde die Hochwasserkatastrophe in unserer Region beispielsweise auch in einem interdisziplinären Symposium, das im Oktober stattfand, aufgegriffen und aus unterschiedlichen Blickwinkeln mit Beteiligten aus Wissenschaft, Politik und Praxis sowie Betroffenen öffentlich diskutiert. Die Beiträge befassten sich neben einer genaueren Auseinandersetzung mit den Ursachen und Folgen vor allem auch mit den Chancen, die durch Kooperation und Koordination für die künftige gebaute Umwelt und die Menschen generiert werden können.

Da uns alle genannten Zukunftsthemen mit komplexen Transformationsprozessen konfrontieren werden, möchte BLE aktiv an deren Gestaltung sowohl moderierend als auch lösungstiftend mitwirken.

---

### Autor

Prof. Dr.-Ing. Frank Kemper ist Co-Sprecher der Growth Area „Built and Lived Environment“ (BLE) und Geschäftsführer des Center for Wind and Earthquake Engineering.

---

In July this year, a flood disaster occurred in West Germany that also hit and damaged the Aachen region. The flooding incident was caused and aggravated by multiple factors: prolonged and intense heavy rain, topography, soil saturation and soil conditions in the areas of rainfall – but also by interventions in natural river courses and peripheral buildings. Unexpectedly, buildings that were supposed to offer protection were located in flooded areas. Many people lost their lives.

The scientific, political and social analysis of natural disasters is essential to learning the right lessons. Due to its close proximity to the areas affected by the recent flood disaster, RWTH Aachen University is particularly called upon to participate in this process and to contribute to developing – or even rethinking – land use, reconstruction, disaster warning, and protection mechanisms. These topics are addressed in this issue of RWTH THEMEN.

The articles present findings and approaches to assessing flood risks, the impacts of flood events, and possible solutions to minimizing such impacts. The hydraulic engineering disciplines traditionally work in an interdisciplinary manner and, in a dialogue with associations, municipalities, and political decision-makers, reflect on the social significance of their research activities. The natural and artificially modified water flows have always affected the interests of different stakeholders, which requires a balancing of interests on a day-to-day basis.

As a society, the recent flood event painfully demonstrated to us the possible impact of climate change if the scenarios that climate researchers are predicting in increasing agreement are confirmed. Climate change mitigation and climate change adaptation are key topics that RWTH Aachen University is already addressing – and which it will certainly

have to address with even greater urgency in the future. Due to their complexity, dynamics and interaction, these topics also make it necessary to bring together knowledge from different disciplines to stimulate new scientific interactions. The construction sector is of particular relevance here, as it makes a significant contribution to carbon emissions (and thus offers potential for savings), but also promises to provide opportunities for adaptation and solutions to gain resilience. Both aspects are closely interwoven with social, economic and cultural issues.

The necessary thematic research is planned to be organized in a new research growth area at RWTH, “Built and Lived Environment” (BLE). In addition to addressing climate-related aspects, it will aim to develop approaches for adaptation mechanisms in relation to other trends such as urbanization, digitalization, health, and mobility, which in turn interact with our built environment. BLE would like to help ensure that the entire complex of our future lived realities and the flexible, climate-friendly living spaces they require is perceived as what it is: a locus of responsibility for setting the right course and an area of opportunity for interdisciplinary and international research collaboration.

The threat of natural disasters, the resilience of the built infrastructure, the weighing up of security requirements and life risks in the areas of society, economy and culture should therefore also be included among the topics to be addressed by the new BLE growth area. For example, the flood disaster in our region was taken up in an interdisciplinary symposium that took place in October and publicly discussed with participants from science, politics, and practice as well as people affected by the flooding. In addition to a more detailed examination of the causes and con-

sequences, the contributions also dealt with the opportunities that could be generated for the future built environment through cooperation and coordination.

Since all the future topics mentioned will face us with complex transformation processes, BLE wants to play an active role by contributing to them as a moderator and solution provider.

---

## Author

Professor Dr.-Ing. Frank Kemper is co-spokesperson for the „Built and Lived Environment“ (BLE) growth area and managing director of the Center for Wind and Earthquake Engineering.

---

# Klimatologen blicken auf die Niederschlagsextreme

## Eine klimageographische Perspektive auf das Starkregenereignis vom Juli 2021

The flood event in the days around July 14, 2021 had devastating consequences for regions in North Rhine-Westphalia and Rhineland-Palatinate. Such floods caused by precipitation extremes but also changes in land cover are expected to become more frequent with climate change. The Department of Physical Geography and Climatology (PGK) at the Institute of Geography of RWTH Aachen University investigates such events with respect to its climate-geographic dimensions. This also involves the weather-climatic classification of the event and the geographical characteristics of the affected river basins. The weather pattern between July 13 and 15, 2021, was very unusual in that a complex and high reaching low pressure vortex had settled over Central Europe, which transported warm and humid Mediterranean air on its southern and eastern side for days and pushed it over cold air flowing in from the Atlantic. The lifted air mass flowing into North Rhine-Westphalia from the northeast led to very heavy precipitation over a large area in western Germany and eastern France with maximum values of 140 l/m<sup>2</sup> to 150 l/m<sup>2</sup> at several DWD stations in the Eifel region. This contribution discusses the extreme event of July from a climate-geographical perspective.

Das Hochwasserereignis in den Tagen um den 14. Juli 2021 wird am Lehr- und Forschungsgebiet Physische Geographie und Klimatologie in Bezug auf seine klimageographischen Dimensionen untersucht. Hierbei geht es auch um die witterungsklimatische Einordnung des Ereignisses und die geographischen Besonderheiten der betroffenen Flusseinzugsgebiete.

Der Witterungsverlauf vom 13. bis 15. Juli 2021 war insofern sehr ungewöhnlich, als sich ein komplexer und hoch reichender Tiefdruckwirbel über Mitteleuropa festgesetzt hatte, der tagelang auf seiner Süd- und Ostseite feuchtwarme Mittelmeerluft ansaugte und diese in Form eines sogenannten Aufgleitschirms über Norden und Westen auf vom Atlantik einströmende Kaltluft schob. Die gehobene und in Nordrhein-Westfalen von Nordosten einströmende Luftmasse führte zu großräumig sehr ergiebigen Niederschlägen in Westdeutschland und Ostfrankreich. Auch kam es zu Niederschlagshöchstwerten von 140 l/m<sup>2</sup> bis 150 l/m<sup>2</sup> an mehreren Stationen des Deutschen Wetterdienstes in Eifel und Umgebung<sup>[1]</sup>.

### Meteorologische Einordnung

Im globalen atmosphärischen Zirkulationssystem liegt Mitteleuropa meist in der West-

windzone. Dabei sind wegen der steuernden Druckgebilde des Azorenhochs und des Islandtiefs in der Höhe tendenziell Westwinde und unter dem Einfluss der Reibung am Boden Südwestwinde häufig. Oft fällt dann auch Niederschlag, teils in Verbindung mit schnell durchziehenden Tiefdruckgebieten. Bei der selteneren (nord-)östlichen Anströmung überwiegt Hochdruckeinfluss mit geringer Niederschlagsneigung.

Eine Großwetterlage mit stationärem Tief über Mitteleuropa ist hingegen in Mitteleuropa ein seltenes Ereignis und muss auch nicht mit langanhaltenden Niederschlägen einhergehen. Seit 1978 gibt es eine „Objektive Wetterlagenklassifikation“ durch den Deutschen Wetterdienst<sup>[2]</sup>. Die an den drei relevanten Tagen vorherrschende Großwetterlage 36 gab es im Zeitraum von 1978 bis 2021 nur an 293 Tagen beziehungsweise 1,9 Prozent aller Tage. Drei aufeinanderfolgende Tage dieser Wetterlage, was als stationäres Tief über Mitteleuropa wie im vorliegenden Fall interpretiert werden kann, kamen nur in 18 Fällen vor. Allerdings findet sich hierbei zum Beispiel auch der Hochwassermonat Juli 2014<sup>[3]</sup> mit Extremniederschlag in Aachen<sup>[4]</sup> und sieben solcher Tage der Großwetterlage 36, wobei in einem Fall zwei und einem drei hintereinander folgten (Juli 2021: insgesamt vier).

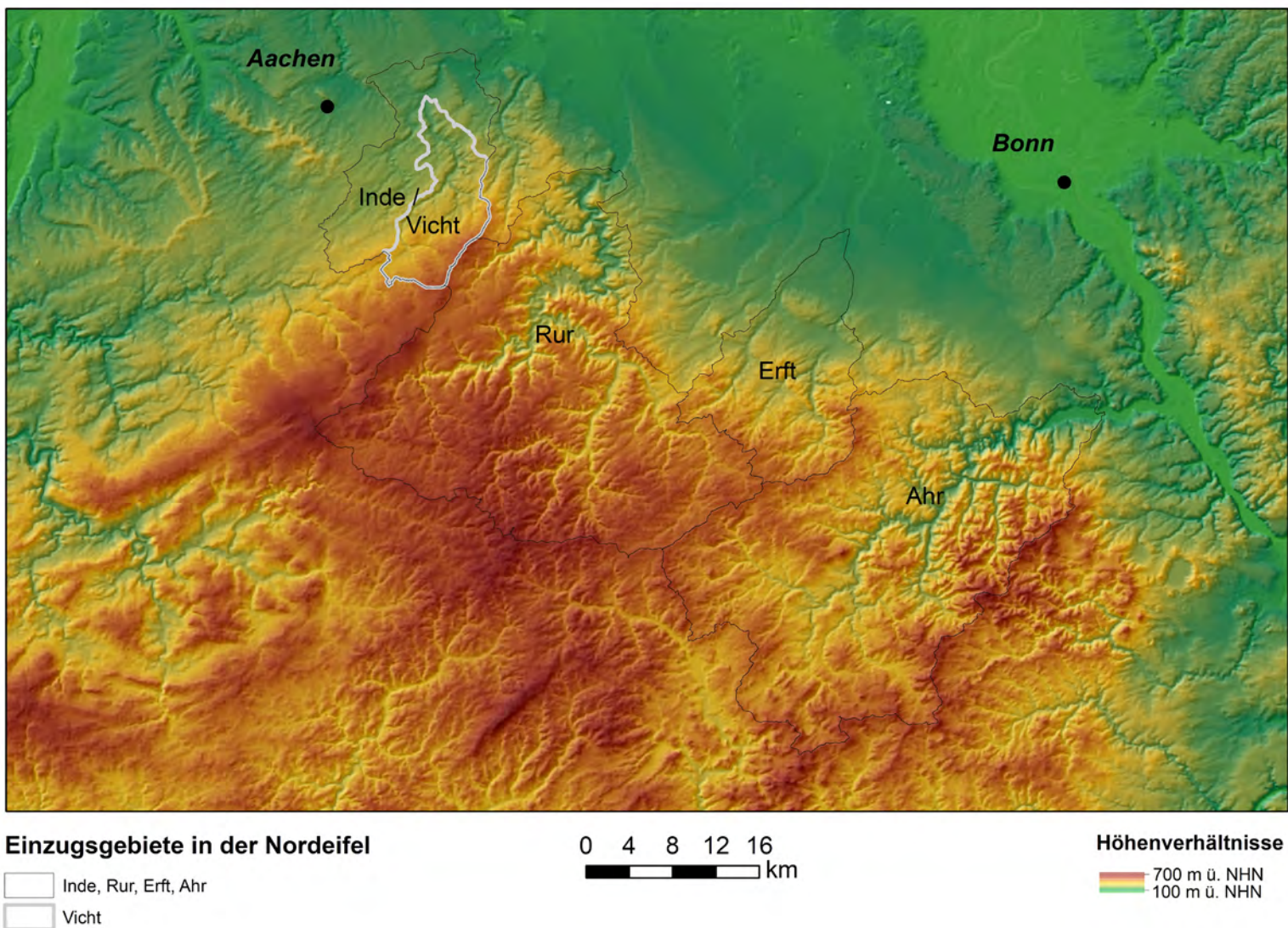


Bild 1: Nordeifel und Mittelgebirgsanteile der Einzugsgebiete von Inde (Vicht), Rur, Erft und Ahr  
Abbildung: PGK, Höhendaten: SRTM<sup>[7]</sup>

Dass Starkregenereignisse bei Anströmung aus Nordost sehr selten sind, geht auch aus einer Datenauswertung im aktuellen Exploratory Research Space-Projekt „Rainwater Living Lab“ der RWTH hervor. Eine Auswertung von Niederschlags-Radardaten seit 2002<sup>[5]</sup> ergibt sehr große Häufigkeiten von Starkniederschlagsereignissen bei Anströmung aus West bis Südwest, einige auch aus Südost, nicht aber aus Nordost (Publikation in Vorbereitung).

#### Raumzeitliches Verhalten

Die räumliche und zeitliche Verteilung der Niederschläge war sehr unterschiedlich: An der Wetterstation Aachen-Orsbach fielen am 13. und 14. Juli 2021 in Summe 153 mm, in Heinsberg-Schleiden 103 mm und in Düsseldorf 81 mm<sup>[6]</sup>. Dabei geben die Niederschlagsdaten der Wetterstationen oft kein genaues Bild, da der Niederschlag räumlich und zeitlich sehr unterschiedlich fallen kann.

Wenn – wie im Fall solcher Extremereignisse – Einzugsgebiete insgesamt betrachtet werden sollen, wie hier die Mittelgebirgsanteile von Inde, Rur, Erft und Ahr, siehe Bild 1, kann ebenfalls auf die radarmeteorologischen Daten zurückgegriffen werden. Speziell die RADOLAN-Daten, die durch eine Abgleichung von Niederschlags-Radardaten mit Near-Real-Time-Daten des gefallenen Niederschlags an Messstellen gebildet werden (RADOLAN-Daten, Radar-Online-Aneichung<sup>[5]</sup>), lassen eine Analyse der Situation in Einzugsgebieten zu.

Die Niederschlagssummen für die Tage 13. und 14. Juli 2021, basierend auf den RADOLAN-Daten des Deutschen Wetterdienstes, werden in Bild 3 gezeigt. Dargestellt sind die Mittelgebirgsbereiche der jeweiligen Flusseinzugsgebiete, die Großstädte Köln und Aachen sowie die von den Überflutungen stark betroffenen Orte Stolberg (Rhld.), Erftstadt und Bad Neuenahr-Ahrweiler. In jedem

der Teileinzugsgebiete wurden im Verlaufe der beiden Tage extreme Niederschlagsmengen registriert. Auffällig sind die Bereiche mit Niederschlagsmengen jenseits der 100 mm im Grenzgebiet von Ahr und Erft, dem südöstlichsten Teil des Rur-Einzugsgebietes, dem Oberlauf der Inde sowie in den nordwestlichen Stadtteilen von Köln (pink). Im Kölner Stadtbezirk Nippes wurde mit 152,8 mm der höchste Wert des Untersuchungsgebietes erfasst. Auf Basis dieser flächigen Niederschlagsaneichungen ergeben sich Niederschlagssummen von im Mittel 101 mm im Indetal, 117 mm im Erfttal und 100 mm im Ahrthal. Für alle Einzugsgebiete trifft zu, dass die größten Niederschlagsmengen jeweils auf die höhergelegenen Bereiche entfallen. Nur im Falle der Erft wurden solche auch in den tiefergelegenen Bereichen registriert. Hier springt das bogenförmige Band hoher Niederschlagswerte ins Auge, das sich vor allem im Bereich





Bild 2: Im Messfeld für Bestandsniederschlag auf der TERENO-Experimentierfläche Wüstebach in der Eifel  
Foto: Peter Winandy

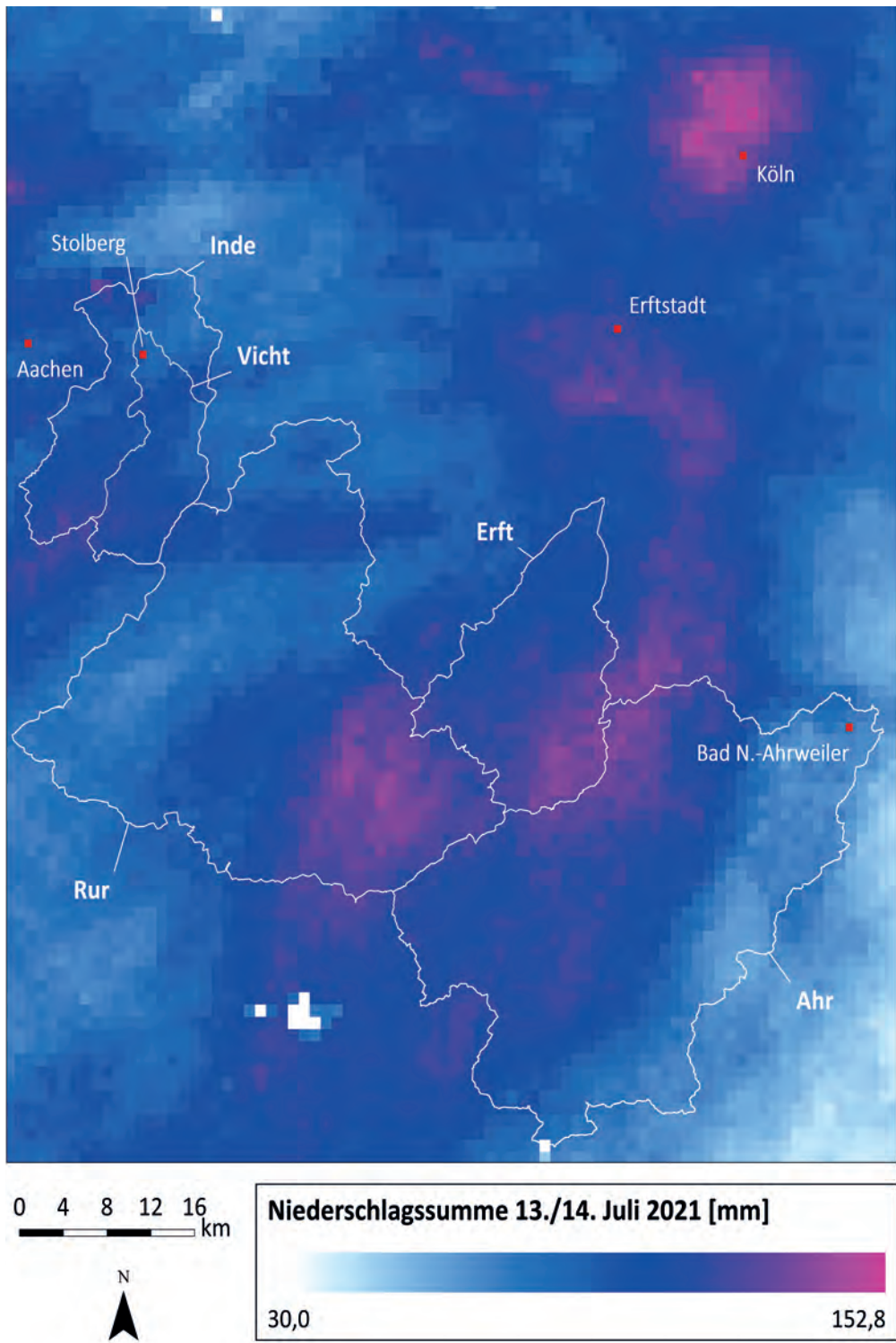


Bild 3: Niederschlagssumme für den 13. und 14. Juli 2021 in den Mittelgebirgsbereichen der Einzugsgebiete Rur, Inde (mit Vicht), Erft und Ahr.

Abbildung: PGK, Datenbasis Niederschlagsdaten: DWD<sup>[9]</sup>; Datenbasis Einzugsgebiete: BfG<sup>[9]</sup>; Städte: BKG<sup>[10]</sup>

des Einzugsgebietes der rechten Nebengewässer Swist und Steinbach befindet, die oberhalb von Erftstadt ineinander beziehungsweise in den Hauptfluss münden. Der Hauptniederschlag im Rur-Einzugsgebiet fiel ganz deutlich im südöstlichen Teil zwischen Urft und Olef, wo auch die massiven Schäden auftraten. Auffällig ist zudem die räumliche Verteilung der Gebiete mit noch hohen Niederschlagswerten (dunkelblau). Hier lässt sich

eine generelle Nordost-Südwest-Ausrichtung erkennen, was der Anströmungsrichtung des Ereignisses entspricht. Mit Blick auf die stark betroffenen Gemeinden fällt auf, dass die Stadtgebiete von Bad Neuenahr-Ahrweiler und Stolberg selber nur von vergleichsweise geringen Niederschlägen betroffen waren, während in Erftstadt bis zu 120 mm fielen. Insgesamt lassen sich die Überschwemmungen in allen Fällen zu einem überwiegenden

Teil auf die extremen Niederschlagsmengen in den oberen Bereichen der jeweiligen Flusseinzugsgebiete zurückführen. Für die in Bild 3 dargestellten Teileinzugsgebiete wurde, ebenfalls basierend auf dem RADOLAN-Datensatz, zusätzlich der kumulative mittlere stündliche Niederschlag über einen Zeitraum vom 9. bis 17. Juli 2021 summiert. Hierzu wurde für jede Stunde der mittlere Niederschlag im jeweiligen Einzugsgebiet berechnet und über den genannten Zeitraum aufsummiert. Das Ergebnis ist in Bild 4 dargestellt. Die Datumsangaben markieren jeweils den Beginn des Tages. Zunächst fällt auf, dass der Hauptteil des Niederschlags in allen Gebieten auf den 14. Juli fällt, wobei auch am 13. Juli bereits erhebliche Niederschläge, vor allem für die Inde, registriert wurden. Zusätzlich gab es kleinere Niederschlagsereignisse am 9. und 10. Juli. Das Teileinzugsgebiet der Erft war im Mittel über den gesamten Zeitraum von den höchsten Niederschlagssummen betroffen. Da die RADOLAN-Daten erst seit 2002 erhoben werden, kann derzeit noch keine vollständige niederschlagsklimatologische Einordnung vorgenommen werden, da hierfür 30-jährige Datenreihen erforderlich wären. Auch sind die Auswertungen der vorliegenden Daten noch nicht abgeschlossen. Es kann aber festgestellt werden, dass ein Starkniederschlagsereignis aus der hier eingetretenen Anströmrichtung sehr selten auftritt. Ob eine Verbindung zum Klimawandel besteht, zum Beispiel durch veränderte atmosphärische Zirkulationsmuster, ist noch nicht klar und wird Gegenstand weiterer Untersuchungen sein.

### Bedeutung der Einzugsgebiete

Die in der Eifel stark betroffenen Einzugsgebiete liegen alle auf der Nordostseite, wobei größere Regenmengen durch klassischen Steigungs-niederschlag in der Eifel zwar an sich häufig sind, aber eben nicht auf dieser Seite. Es kann erwartet werden und wird weiter untersucht, dass beziehungsweise wie dieses Lagemerkmal beim Ablauf des Ereignisses eine Rolle gespielt hat. Wenn sich eine Veränderung zu solchen Ereignissen bestätigt, gäbe es hier einen sekundären regionalen Klimawandeleffekt: Eine Veränderung der Zirkulation führt regional zu besonders ungünstigen Auswirkungen des Klimawandels. Bei der weiteren Forschung sind auch die Einzugsgebiete näher zu betrachten. Trotz ähnlich hohem Niederschlag waren nach

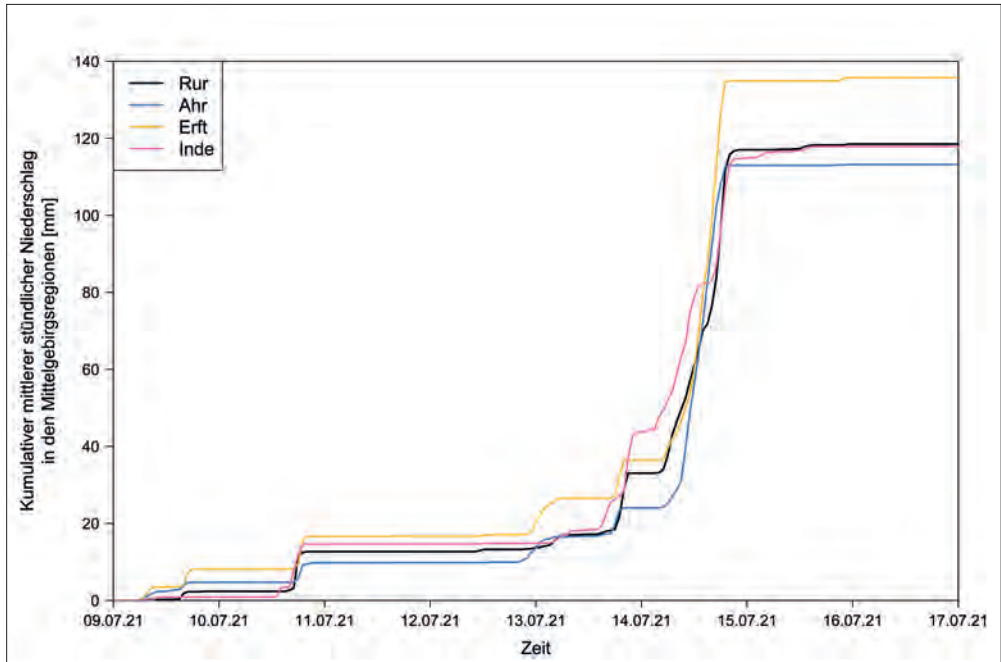


Bild 4: Kumulativer mittlerer stündlicher Niederschlag in den Mittelgebirgsanteilen der Einzugsgebiete von Rur, Ahr, Erft und Inde zwischen dem 9.7. und 17.7.2021.  
Abbildung: Datenbasis Niederschlagsdaten: DWD<sup>[6]</sup>

dem Ereignis im Hohen Venn kaum Hochwasserspur zu sehen, erst im Bereich der Vennabdachung setzte Erosion ein, und massive Schäden durch Sturzfluten gab es erst im unteren Talbereich. Hier sind Strukturen in den Einzugsgebieten näher zu analysieren und langfristige Landnutzungsänderungen zu betrachten. Ziel weiterer Untersuchungen in diesem Zusammenhang ist es, mögliche positive Effekte von Renaturierungsmaßnahmen im Sinne von Ökosystemleistungen zu ermitteln.

### Autoren

Niels Döscher, M.Sc., und Dr.phil. Gunnar Ketzler sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Lehr- und Forschungsgebiet Physische Geographie und Klimatologie. Univ.-Prof. Dr.rer.nat. Michael Leuchner betreut das Lehr- und Forschungsgebiet Physische Geographie und Klimatologie.

### Quellen

[1] DWD Deutscher Wetterdienst (2021a): Pressemeldung 15.7.21 „Dana“ schiebt die Unwetter beiseite“; [https://www.dwd.de/DE/wetter/thema\\_des\\_tages/2021/7/15.html](https://www.dwd.de/DE/wetter/thema_des_tages/2021/7/15.html), heruntergeladen am 11.10.2021

[2] DWD Deutscher Wetterdienst (2021b): Objektive Wetterlagenklassifikation; <https://www.dwd.de/DE/leistungen/wetterlagenklassifikation/wetterlagenklassifikation.htm>, heruntergeladen am 11.10.2021

[3] Ketzler, G. (2015): Der Witterungsverlauf im Raum Aachen im Jahre 2014 im Kontext langjähriger Klimatrends; in: Römer, W., Ketzler, G. [Hrsg.]: Klimamessstation Aachen-Hörn – Monatsberichte, Ausgabe 419a, Nr. 13/2014; [https://www.klimageo.rwth-aachen.de/global/show\\_document.asp?id=aaaaaaaaabdcwb](https://www.klimageo.rwth-aachen.de/global/show_document.asp?id=aaaaaaaaabdcwb), heruntergeladen am 21.10.2021

[4] Stadt Aachen (2021): Hochwasser in Stolberg Vicht; [https://www.aachen.de/de/stadt\\_buerger/politik\\_verwaltung/feuerwehr/freiwilligefuerwehr/lz-verlautenheide/besondere\\_einsaetze/hochwasser\\_vicht.html](https://www.aachen.de/de/stadt_buerger/politik_verwaltung/feuerwehr/freiwilligefuerwehr/lz-verlautenheide/besondere_einsaetze/hochwasser_vicht.html), heruntergeladen am 21.10.2021

[5] DWD Deutscher Wetterdienst (2021c): Radarklimatologie (RADKLIM); <https://www.dwd.de/DE/leistungen/wetterlagenklassifikation/wetterlagenklassifikation.htm>,

heruntergeladen am 21.10.2021

[6] DWD Deutscher Wetterdienst (2021d): Aktuelle tägliche Stationsbeobachtungen (Temperatur, Druck, Niederschlag, Sonnenscheindauer, etc.) für Deutschland; [https://opendata.dwd.de/climate\\_environment/CDC/observations\\_germany/climate/daily/kl/recent/BESCHREIBUNG\\_obsgermany\\_climate\\_daily\\_kl\\_recent\\_de.pdf](https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/observations_germany/climate/daily/kl/recent/BESCHREIBUNG_obsgermany_climate_daily_kl_recent_de.pdf), heruntergeladen am 21.10.2021

[7] SRTM Shuttle Radar Topography Mission (2005): STS-99 Shuttle Radar Topography Mission; abgerufen am 19.12.2005

[8] DWD Deutscher Wetterdienst (2021e): Aktuelle stündliche RADOLAN-Raster der Niederschlagshöhe (GIS-lesbar), Version 2.5; [https://opendata.dwd.de/climate\\_environment/CDC/grids\\_germany/hourly/radolan/recent/asc/](https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/grids_germany/hourly/radolan/recent/asc/), heruntergeladen am 22.10.2021

[9] BfG Bundesanstalt für Gewässerkunde (2021): Catchment-DE; <https://geoportal.bafg.de/smartfinderClient/?lang=de#/datasets/iso/78dd81c2-b1df-4f7d-8d4e-45d376836d04>, heruntergeladen am 22.10.2021

[10] BKG Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (2021): Verwaltungsgebiete 1:250 000 (Ebenen); <https://gdz.bkg.bund.de/index.php/default/open-data/verwaltungsgebiete-1-250-000-ebenen-stand-01-01-vg250-ebenen-01-01.html>, heruntergeladen am 22.10.2021

# Geomorphologen und Wasserbauingenieure betrachten die Auswirkungen des Juli-Hochwassers

Flood events can have an enormous power and become true shapers of the (cultural) landscape by transporting rocks and sediments and even entire trees. After the July 2021 event, transport phenomena such as retrograde or lateral erosion and the accumulation of sediments could be observed and documented at many points along the river courses.

Die natürlichen Erosions-, Transport- und Sedimentationsprozesse von Fließgewässern werden durch Starkniederschläge und Hochwasserereignisse außerordentlich verstärkt. In jedem fließenden Gewässer treten Erosion und Akkumulation auf. Sedimente werden abhängig von der Fließgeschwindigkeit und den resultierenden Sohlschubspannungen an der Sohle abgelöst und sohlnah oder in der Wassersäule transportiert. Sie können bei nachlassenden Fließgeschwindigkeiten und in strömungsberuhigten Bereichen wieder abgelagert werden. Durch die Bewegung des Wasserkörpers entstehen an der Sohle Scherkräfte, die auf die Gewässersohle als Sohlschubspannungen wirken. Wird nun die kritische Sohlschubspannung, der ein Feststoffpartikel an der Sohle widerstehen kann, überschritten, kommt es zur Erosion und Partikel werden mit der Strömung in Fließrich-

| Mittelgebirge                          | Tiefland                                           |
|----------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Steile und kurze Hochwasserwelle       | Flache und lange Hochwasserwelle                   |
| Hohe Fließgeschwindigkeiten            | Reduzierte Fließgeschwindigkeiten                  |
| Kurze Reaktionszeit                    | Längere Reaktionszeit                              |
| Vorliegendes Material: Geröll, Gestein | Vorliegendes Material: Feinfraktionen, Sand        |
| Akkumulation vor allem von Kiesen      | Akkumulation vor allem von feinkörnigen Sedimenten |

Bild 1: Vergleich der betroffenen Gebiete in Bezug auf Charakteristik des Hochwassers, vorkommendes Material und strömungsinduzierte Transportphänomene



Bild 2: Hochwasser am Beginn der neuen Inde bei Lamersdorf. Links: Überströmen des Hochwasserdamms am 15.7.2021. Rechts: Situation am 23.7.2021.  
Fotos: Frank Lehmkuhl

tung des Gewässers transportiert. Bei zunehmendem Abfluss steigt die Turbulenz in der Strömung. Dies verstärkt sowohl die Erosion an der Gerinnesohle als auch an den Uferwandungen. Die Erosion an den Uferwandungen führt zur Lateralerosion (oder Seitenerosion), während die Erosion an der Sohle zur Entwicklung von Knickpunkten mit höherem Gefälle beiträgt und damit die rückschreitende Erosion erhöht. Bei der lateralen Erosion kann es entlang von steilen Böschungen und Prallhängen zu Erosionsbrüchen kommen. Die rückschreitende Erosion zeigt sich zum Beispiel hinter Brücken oder an überströmten Bauwerken. Das Juli-Hochwasser verursachte vor allem im Einzugsgebiet der Inde und ihren Zuflüssen enorme Schäden durch laterale und rückschreitende Erosion aber auch durch Akkumulation.

Die fluvialen Prozesse unterscheiden sich in ihrer Ausprägung und Wirkung zwischen dem Mittelgebirge und dem Tiefland, siehe Bild 1. Die Oberläufe im Mittelgebirge der Eifel, die sich häufig in schmalen Tälern befinden, sind von einem steileren Gefälle, höheren Fließgeschwindigkeiten und gröberen Sedimenten geprägt. Im Tiefland der Börden sind dagegen etwas langsamer steigende Pegelstände, die flächenhaftere Ausbreitung des Wassers und Sedimentfrachten in Suspension charakteristisch. Diese lagern dabei auch feinkörnigere Sedimente in den Flussauen ab. Darüber hinaus sind die Sedimente im Lockerdeckegebirge des Gebirgsvorlandes anfälliger für Erosion, da es sich meist um feinere Fraktionen wie Sande und Schluffe handelt. Dies zeigte sich insbesondere am Unterlauf der Inde nahe des Tagebaus Inden.

Mit der ablaufenden Hochwasserwelle und damit einhergehenden sinkenden Fließgeschwindigkeiten reduziert sich auch die Transportkapazität des Fließgewässers. Folglich kommt es dann zu Akkumulationsbereichen, in denen zuerst die gröberen Sedimente wie Gerölle später Sand und final das feinere Material abgelagert werden.

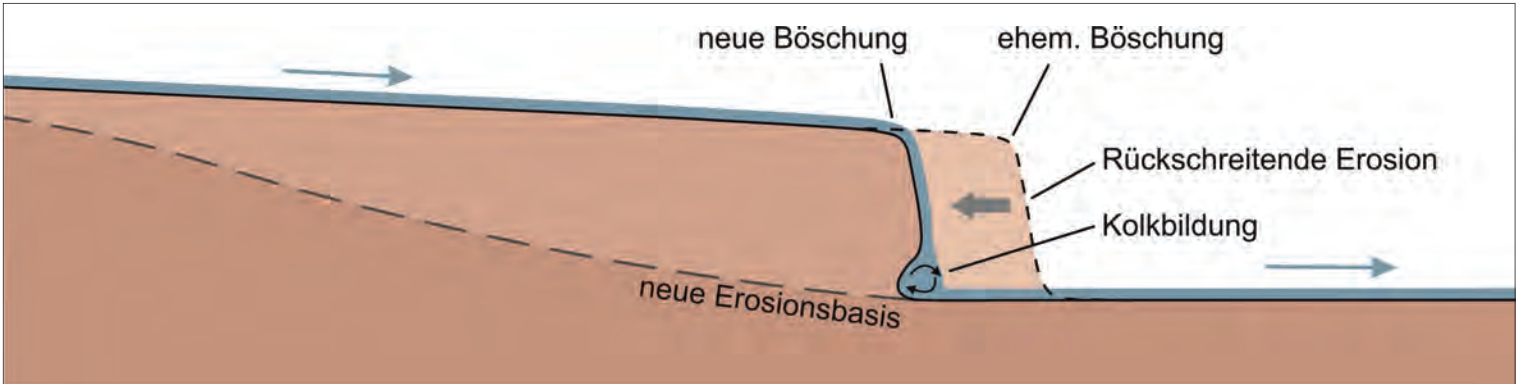


Bild 3: Das Phänomen der rückschreitenden Erosion.  
Grafik: Frank Lehmkuhl; Zeichnung/Kartographie H.-J. Ehrig



Bild 4: Drohnenaufnahmen vom 16.07.2021 und 22.08.2021.  
Oben: Detailfoto zur rückschreitenden Erosion mit Überblick über das neu geschaffene Erosionstal mit Akkumulation auf einer ersten Abbausohle.  
Mitte: Rückschreitende Erosion nach dem Überlauf der Inde.  
Unten: Beginnende rückschreitende Erosion.  
Fotos: Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft



Bild 5: Schaden an einer Brücke bei Zweifall

Foto: Frank Lehmkuhl, 10.9.2021

## Beispiele für rückschreitende Erosion

### Tagebau Inden

Ein eindrucksvolles Beispiel für rückschreitende Erosion konnte während des Juli-Hochwassers 2021 an der Inde beobachtet werden. Die Wasserstände der Inde überschritten die Krone des Hochwasserdamms am Anfang der neuen Inde bei Lamersdorf, resultierend entwässerte die Inde in den Tagebau Inden. Die rückschreitende Erosion bildet sich entgegen der Strömungsrichtung aus und wandert so stromaufwärts, während große Sedimentmassen bewegt werden. Dabei versucht das Fließgewässer, ein gleichmäßiges Gefälle zu erreichen. Dieses ist auf eine neue Erosionsbasis eingestellt. An der Basis der Böschung bildet sich ein Kolk, der Hang wird in diesem Bereich ausgehöhlt, das Material bricht ab und wird abtransportiert.

Die Böschung wandert damit weiter flussaufwärts, siehe Bild 3.

Beim Juli-Hochwasser haben sich die Fluten, nachdem die Inde den Hochflutdamm überspülte, auf eine neue und tieferliegende Erosionsbasis im Tagebau eingestellt. Die daraus resultierende rückschreitende Erosion hat dann in kürzester Zeit Schluchten mit enormem Ausmaß gebildet und zu einer großen Ausräumung von Lockermaterialien geführt, siehe Bild 4. Um den Prozess der rückschreitenden Erosion zu stoppen oder zumindest zu verlangsamen, muss Material eingebracht werden, das einen höheren Erosionswiderstand aufweist. Am Tagebau Inden konnte der Bereich schnell und gut mit LKW erreicht und durch das Einbringen von Grobmaterial der Prozess verlangsamt beziehungsweise gestoppt werden.

### Brückenbauwerke

Im Mittelgebirgsbereich ist das Gefälle deutlich steiler. Die daraus resultierenden höheren Fließgeschwindigkeiten ermöglichen den Transport größerer Materialien. Das zeigte sich unter anderem an der Umlagerung von Kies- und Schotterbänken in natürlichen Bereichen. Brückendurchlässe werden häufig zu Hindernissen, da im Hochwasserfall der stark erhöhte Abfluss nicht durch eine Verbreiterung des Flussquerschnitts ausgeglichen werden kann. Hinzu kommt, dass das in der Strömung mitgeführte Material, vor allem Bäume, zu einer Verklausung am Brückendurchlass führen und der Fließquerschnitt verengt oder sogar komplett verschlossen wird. Folglich kann das Wasser nicht mehr abgeführt werden und es kommt zu einem Aufstau hinter der Brücke, die nun wie ein Staudamm wirkt, bis die Brücke über-



Bild 6: Oben: Lateralerosion am Vichtbach. Unten: Kolk, entstanden durch Lateralerosion an der natürlichen Uferböschung der Geul  
Fotos: Frank Lehmkuhl, 17.7. und 24.7.2021

und umströmt wird. Auf der Rückseite der Brücke kann dann wiederum das Phänomen der rückschreitenden Erosion beobachtet werden, die mit Schäden an den Bauwerken einhergeht, siehe Bild 5. Darüber hinaus können Brücken, aber auch Bebauung allgemein, die Hochwasserwelle zunächst stauen und dann anschließend nach dem Überlaufen oder Durchbruch quasi

eine künstliche und höhere Flutwelle erzeugen. Zahlreiche Brücken wurden dabei auch komplett zerstört.

#### Laterale Erosion von Fließgewässern

Die laterale Erosion zeigt sich als natürlicher morphodynamischer Prozess an der äußeren Seite einer Gewässerbiegung, dem sogenannten Prallhang. Die angreifende Strömung

ist in der Außenbiegung am höchsten. Resultierend findet dort sohlennahe Erosion statt. Bei erhöhten Abflüssen steigert sich die angreifende Kraft, sodass mehr Material von der Seite an den Böschungen erodiert und abtransportiert wird. Der Fluss gräbt sich geradezu in die Sohle und die Böschung ein, was das Nachbrechen des oberhalb liegenden Bodens forciert. Bild 6 zeigt Lateralerosion an einer Böschung der Geul und am Vichtbach.

#### Akkumulation

Eindrucksvoll hat das Hochwasser im Juli 2021 gezeigt, welchen Einfluss die Topographie auf die begleitenden Prozesse einer ablaufenden Hochwasserwelle hat. Unterschieden werden können Prozesse im Mittelgebirge und im Tiefland, die zu völlig unterschiedlichen Schadensbildern führen. Beginnend im Mittelgebirge haben sich die Wassermassen während des Starkregenereignisses auf den steilen Hängen schnell zu einer steilen Hochwasserwelle mit hohen Fließgeschwindigkeiten akkumuliert, die mit hohem Erosionspotenzial und Transportkapazität großes Geröll, Steine, Bäume und sogar Autos transportiert hat. Es konnten



Bild 7: Schotter und Kiesverlagerung im Oberlauf des Vichtbachs

Foto: Frank Lehmkuhl

somit verheerende Zerstörungen im urban genutzten Raum dokumentiert werden. Mit abnehmender Steigung im Gelände flacht die Hochwasserwelle ab, wird in Fließrichtung breiter und damit auch langsamer. Im Tiefland lagern sich die im Mittelgebirge erodierten Materialien wieder ab, da die Transportkapazität nicht mehr ausreicht. Das Hochwasser kann jedoch noch kleinere Steine, Kiese und Sande weitertransportieren. Im gesamten vom Hochwasser betroffenen Gebiet kann folglich eine Umlagerung von Sedimenten beobachtet werden, die auch eine Veränderung des gesamten Gewässerlaufs zur Folge haben.

Neben der Akkumulation von gröberen Sedimenten in den Mittelgebirgsbereichen können im Vorland die feinkörnigen Sedimente nach jedem Hochwasser zu einer Erhöhung der Auen beitragen und somit auch langfristig die Hochwassergefahr erhöhen. Die Akkumulationen an der Wurm im Bereich des Westwalls (Höckerlinie) und der alten Inde können durchschnittliche Sedimentationsraten von bis zu 1 bis 1,5 cm pro Jahr aufweisen.

Im Tiefland und den Börden sind daher zwar aufgrund der höheren Besiedlungsrate viel

mehr Menschen im Hochwasserfall betroffen, die Schäden fallen jedoch im Vergleich zum Mittelgebirge geringer aus. Die Mittelgebirgsbereiche sind zwar nicht so dicht besiedelt, aber die zerstörerische Kraft der Hochwasserwelle ist aufgrund des größeren Gefälles und des teilweise kanalisierten Abflusses deutlich größer.

## Autoren

Dr.-Ing. Catrina Brüll ist leitende wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft.

Dr.rer.nat. Verena Esser, M.Sc., war bis Oktober 2021 wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Physische Geographie und Geoökologie.

Univ.-Prof. Dr.rer.nat. Frank Lehmkuhl ist Inhaber des Lehrstuhls für Physische Geographie und Geoökologie.

Dr.rer.nat. Philipp Schulte ist Akademischer Oberrat am Lehrstuhl für Physische Geographie und Geoökologie.

Stefanie Wolf, M.Sc., ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft.

# Schadstoffverlagerungen bei Hochwasserereignissen

Ergebnisse aus Langzeitstudien an der neuen Inde im Kontext des Juli-Hochwassers

In the environment, concentrations of different pollutants are elevated by human intervention, especially by industry and mining. The July flood event activated old and new sources of various pollutants. The transport pathways of the pollutants are to be evaluated in an interdisciplinary approach in connection with morphodynamical river changes. The current evaluation builds on previous sediment investigations on the Inde River.

Verschiedene Stoffe, etwa Blei, kommen in der Umwelt natürlich vor. Zudem können menschliche Eingriffe in die Umwelt für einen erhöhten Eintrag von Schadstoffen oder deren Mobilisierung führen. Neben industriellen Einträgen aus Produktionsprozessen verschiedener Industriebranchen ist Bergbau einer der stärksten Schadstoffemittenten. Auch Pharmazeutika oder Pestizide werden vielfältig in allen Bereichen unseres Lebens eingesetzt und gelangen somit insbesondere durch Abwässer, aber auch durch Niederschlag und Oberflächenabfluss in unsere Gewässer. Ab bestimmten Grenzwerten sind all diese Stoffe für Organismen schädlich.

Sie lassen sich in drei Gruppen einteilen, die unterschiedlichen zeitlichen Haupteintragsphasen zugeordnet werden können (Bild 1): anorganische Schadstoffe (zum Beispiel Kupfer, Zink und Blei), organische Schadstoffe (zum Beispiel Pharmazeutika, Körperpflegeprodukte, technische Additive und Pestizide) sowie Kunststoffe (PVC oder PET). Durch den Eintrag in die Umwelt werden sie Teil verschiedener Kreisläufe. Gebunden an Sediment können die Schadstoffe mit natürlichen Erosions- und Transportprozessen verlagert werden. Im fluvialen System wird die Ausbreitung des belasteten Sedimentes von morphodynamischen Prozessen gesteuert.

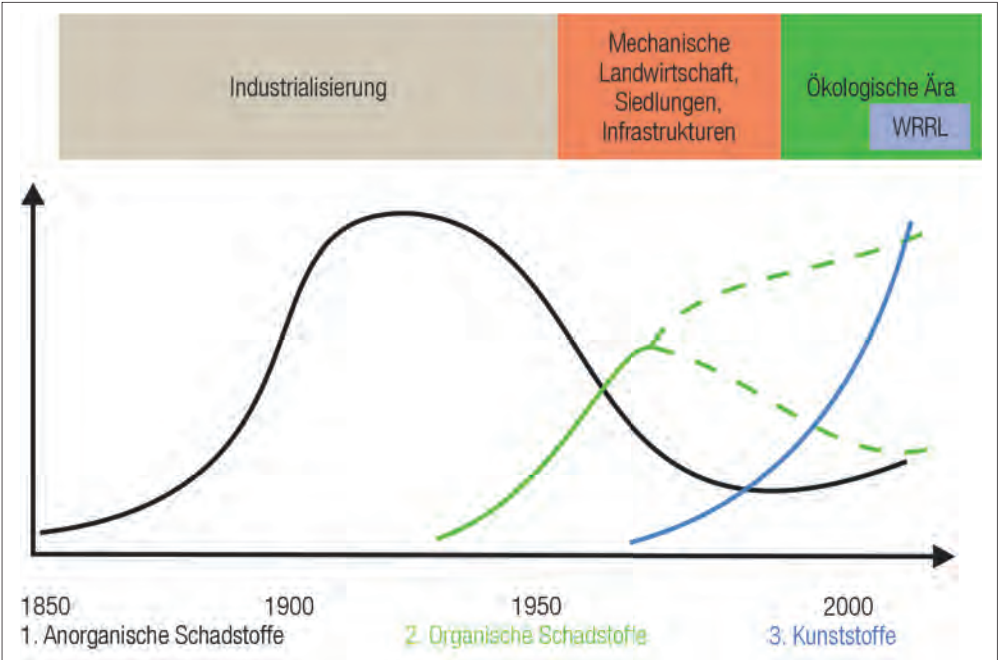


Bild 1: Haupteintragsphasen verschiedener Schadstoffe. Abbildung basiert auf verschiedenen eigenen Forschungen in der Niederrheinischen Bucht.

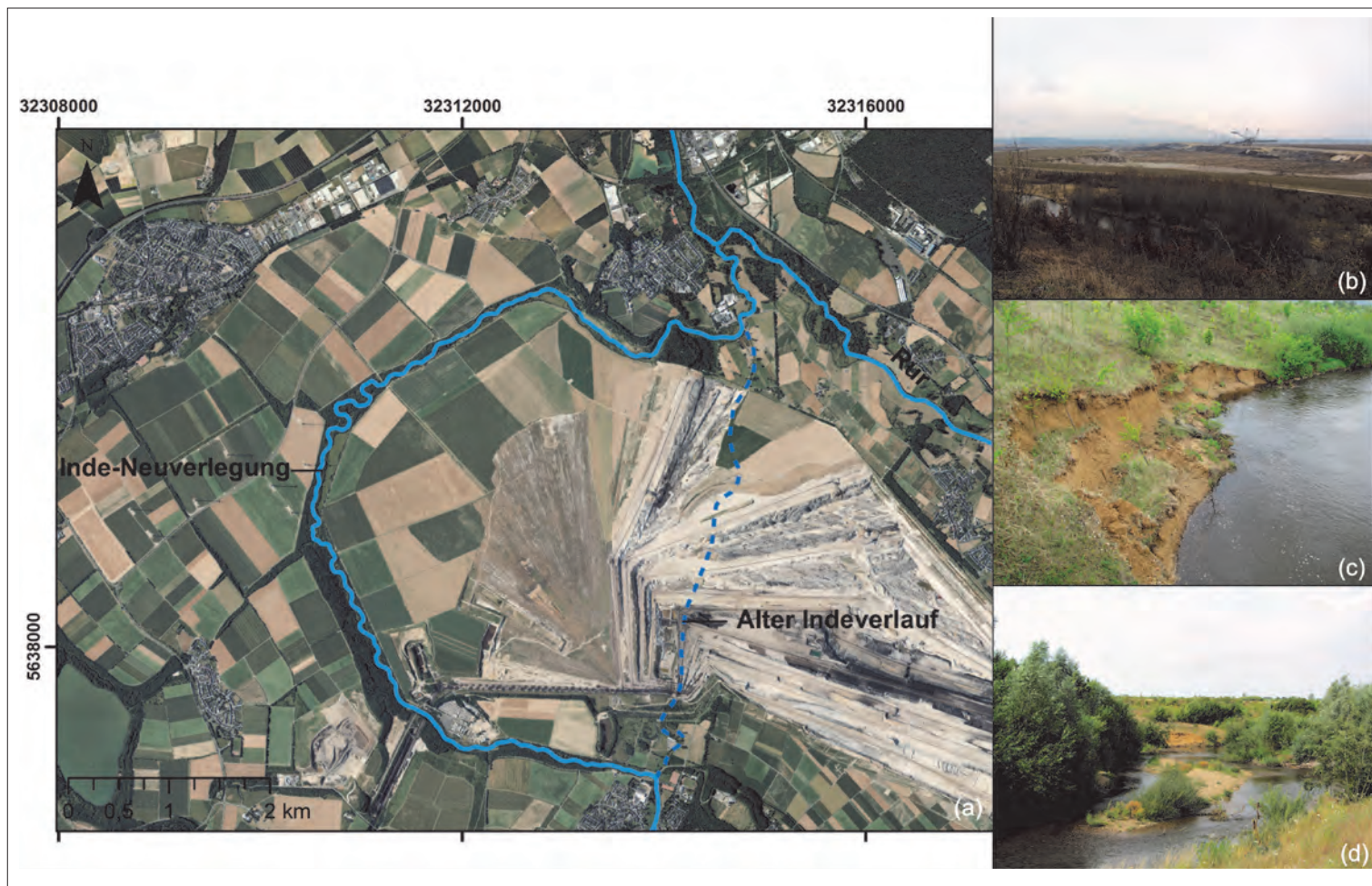


Bild 2: Inde-Neuverlegung; (a) Gestrichelt dargestellt ist der alte Flussverlauf der Inde, durchgezogen dargestellt ist die Inde-Neuverlegung, (b): Blick in den Tagebau (Verena Esser (PGG), 2021), (c) erodiertes Ufermaterial an der Inde (Verena Esser (PGG), 2019), (d): Inselbildung in der Inde (Verena Esser (PGG), 2017)

Neben Transportprozessen, die zur Verlagerung des Materials führen, kommt es in Auen und im Flussbett zu einer Akkumulation beziehungsweise Zwischenlagerung der kontaminierten Sedimente. Diese Zwischenlagerung kann über lange Zeiträume andauern. So hat der rücksichtslose Umgang zur Zeit der Industrialisierung vielerorts für enorme Schadstoffeinträge und Anreicherungen gesorgt. Hochwasserereignisse spielen heutzutage durch Erosionsprozesse eine Schlüsselrolle bei ihrer Remobilisierung und Verteilung<sup>[1, 3]</sup>.

Im Einzugsgebiet der 54 Kilometer langen Inde zwischen der belgische Gemeinde Raeren, der StädteRegion Aachen sowie dem Kreis Düren verursachte das Hochwasser im Juli 2021 neben zahlreichen Schäden an Bebauung und Infrastruktur<sup>[6]</sup> eine erhebliche Mobilisierung von Sedimenten. Zwar ist die Inde für regelmäßig auftretende Hochwasserereignisse bekannt, jedoch überstieg das Hochwasser im Juli das Ausmaß sämtlicher Ereignisse seit Beginn der Aufzeichnungen im Jahr 1966. Auch wenn die Pegeldaten noch nicht abschließend geprüft sind, kann fest-

gehalten werden, dass das Hochwasser zu Abflüssen von deutlich über 100 m<sup>3</sup>/s führte. Das zuvor höchste aufgezeichnete Hochwasser wurde am 28. September 2007 mit rund 89,5 m<sup>3</sup>/s am Pegel Eschweiler gemessen<sup>[4]</sup>. Der durchschnittliche Abfluss der Inde beträgt 2,8 m<sup>3</sup>/s<sup>[4]</sup>.

Vorkommen von Eisen-, Zink- und Bleierzen waren im Einzugsgebiet der Inde die Grundlage für weitreichenden Erzabbau und deren Aufbereitung. Die Zinkerze stellten eine wichtige Basis für die Ansiedlung der sogenannten „Kupfermeister“ in Stolberg dar, die Messing aus den regionalen Zinkvorkommen und importiertem Kupfer mit Hilfe der Wasserkraft der Inde und des Vichtbachs, einem Hauptzufluss der Inde, herstellten. Steinkohlevorkommen bei Eschweiler waren eine weitere wichtige Basis zur Verarbeitung der Erze. Daneben etablierte sich eine Vielzahl weiterer Industriebetriebe, die für eine wirtschaftliche Entwicklung der Region sorgten. Die Mehrzahl der Betriebe existiert heute zwar nicht mehr, allerdings haben sie mit ihren Schadstoffeinträgen Spuren in der Region hinterlassen.

Die lange Tradition des Bergbaus an der Inde reicht bis in die Gegenwart – im Mündungsbereich der Inde in die Rur befindet sich noch heute der Tagebau Inden, aus dem jährlich rund 20 Millionen Tonnen Braunkohle gefördert werden. Aufgrund des fortschreitenden Abbaus musste ein Abschnitt der Inde verlegt werden. Im Jahr 2005 wurde der neue Flusslauf endgültig an die Inde angeschlossen. Dieses Vorhaben wurde genutzt, um aus einem fünf Kilometer langen, begradigten Flussabschnitt einen etwa zwölf Kilometer langen Flussverlauf zu schaffen, der Charakteristika des ursprünglichen, natürlichen Flusses der Region aufweist. So gehören Sandbänke und Inseln im Unterlauf der Inde zum natürlichen Leitbild<sup>[7]</sup>. Seit 2005 haben sich in der neuen Inde viele kleine Inseln und Sandbänke innerhalb des Flussbetts entwickelt. Aufgrund von geringeren Fließgeschwindigkeiten befinden sich die meisten davon in dem mäandrierenden mittleren Abschnitt der Verlegung. Die meisten Strukturen bilden sich in diesem Bereich bedingt durch die geringeren Fließgeschwindigkeiten. Auch sind größere Strukturen im Gerinne an das Ufer herangewachsen





Bild 3: Suspensierte Sedimente geben Aufschluss über den Sedimenttransport im Gewässer  
Foto: Peter Winandy

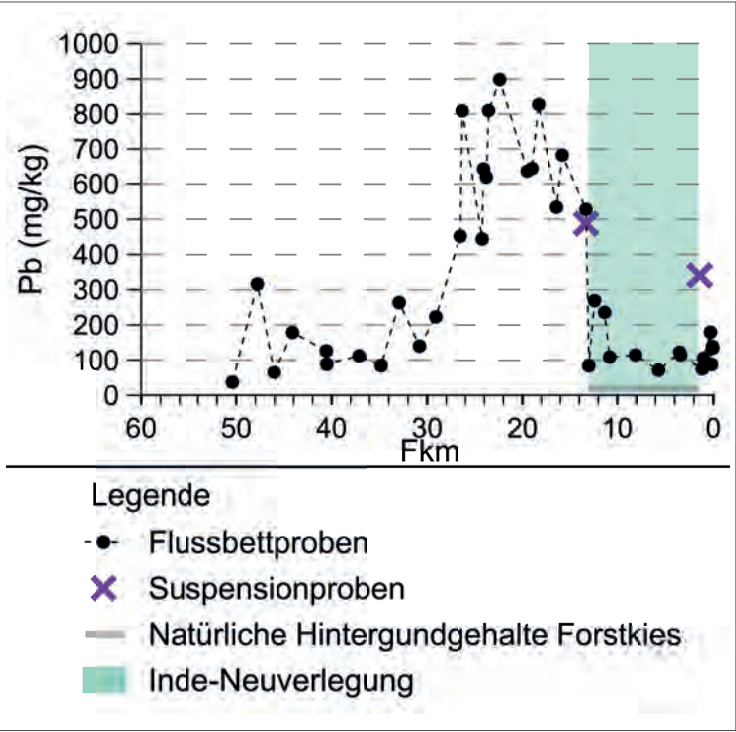


Bild 4: Bleikonzentrationen in Flussbettsedimenten entlang der Inde

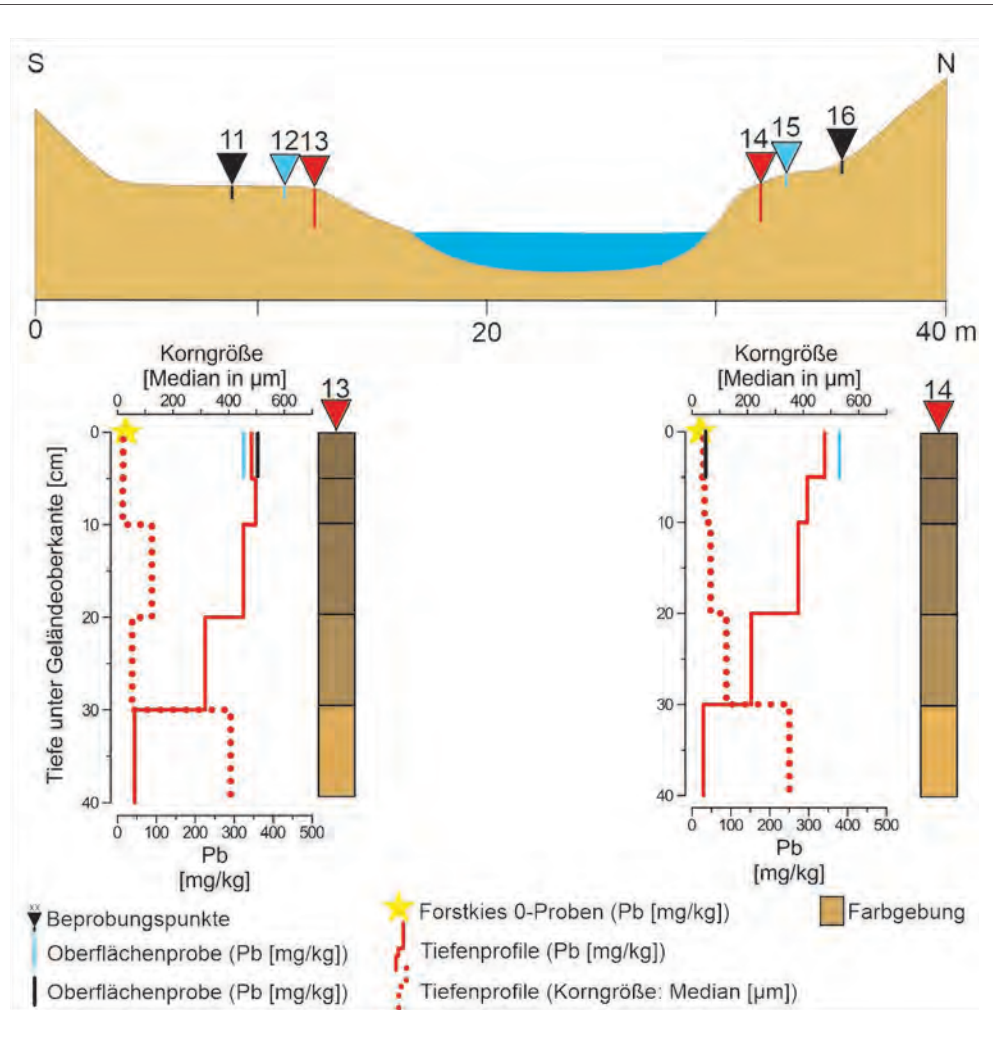


Bild 5: Bohrprofile von Auen in der Inde-Neuverlegung<sup>[2]</sup>

und Teil des Ufers geworden. Aufgrund ihrer Länge, einer ökologischen und morphodynamischen Verbesserung des ehemals degradierten Gerinnes und einem Auenentwicklungskorridor ist die Inde-Verlegung wohl weltweit einzigartig.

Geochemische Analysen (RFA) der Sedimente zeigen, dass die Inde im Oberlauf geringe Schwermetallgehalte, etwa für Blei, aufweist. Diese sind auf den natürlichen geogenen Hintergrund zurückzuführen. Hohe Gehalte werden im stark industriell genutzten Bereich von Stolberg und Eschweiler erreicht. Außerdem mündet in Stolberg der Vichtbach in die Inde, welcher industriell bedingt auch hohe Schadstoffanreicherungen aufweist und diese in die Inde einträgt. Im Bereich der Inde-Neuverlegung nehmen die Blei-gehalte wieder deutlich ab. Grund dafür ist das Substrat „Forstkies“, aus dem der neue Flusslauf modelliert wurde. Dabei handelt es sich um ein Gemisch aus Kies, Sand sowie Löss, das geringe Hintergrundgehalte aufweist, siehe Bild 4. Durch die Mischungseffekte der Sedimentströme von flussaufwärts mit Erosionsprozessen des gering belasteten Forstkieses in der neuen Inde werden Schadstoffgehalte verdünnt<sup>[2, 5]</sup>. Untersuchungen der Auen in der Inde-Neuverlegung zeigen aber, dass sich hier belastetes Sediment nach Hochwasserereignissen abgelagert (Bild 5: Rückgang der Blei-gehalte bei 30 cm verbunden mit Zunahme der Korngröße und farblicher Veränderung). Das Sedimentpaket zwischen 0 und 30 cm besteht aus Flutsedimenten, die dort seit 2005 abgelagert wurden. Darunter befindet sich der angeschüttete Forstkies.

Die niedrigen Hintergrundkonzentrationen des Forstkieses machen es möglich, sedimentgebundene Schwermetalle als Tracer für die morphodynamische Aktivität im Flussbett und in den Auen zu verwenden, wie interdisziplinäre Untersuchungen des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft und des Lehrstuhls für Physische Geographie und Geoökologie zeigen<sup>[2, 5]</sup>. So können zum Beispiel der Überflutungskorridor ermittelt und Sedimentationsraten bestimmt werden. Zusätzlich dienen Fernerkundungsmethoden dazu, die Flussentwicklung in verschiedenen Zeitabschnitten zu untersuchen und zu bewerten.

Die Ergebnisse zeigen, dass Hochwasserereignisse die Hauptursache für (1) die Ausbreitung von kontaminierten Sedimenten aus alten Industriestandorten, (2) die Anreicherung auf den Überschwemmungsflächen sowie im



Bild 6: Vakuumfiltration von Flussproben, um den Sedimenttransport in der Wasserphase zu untersuchen  
Foto: Peter Winandy

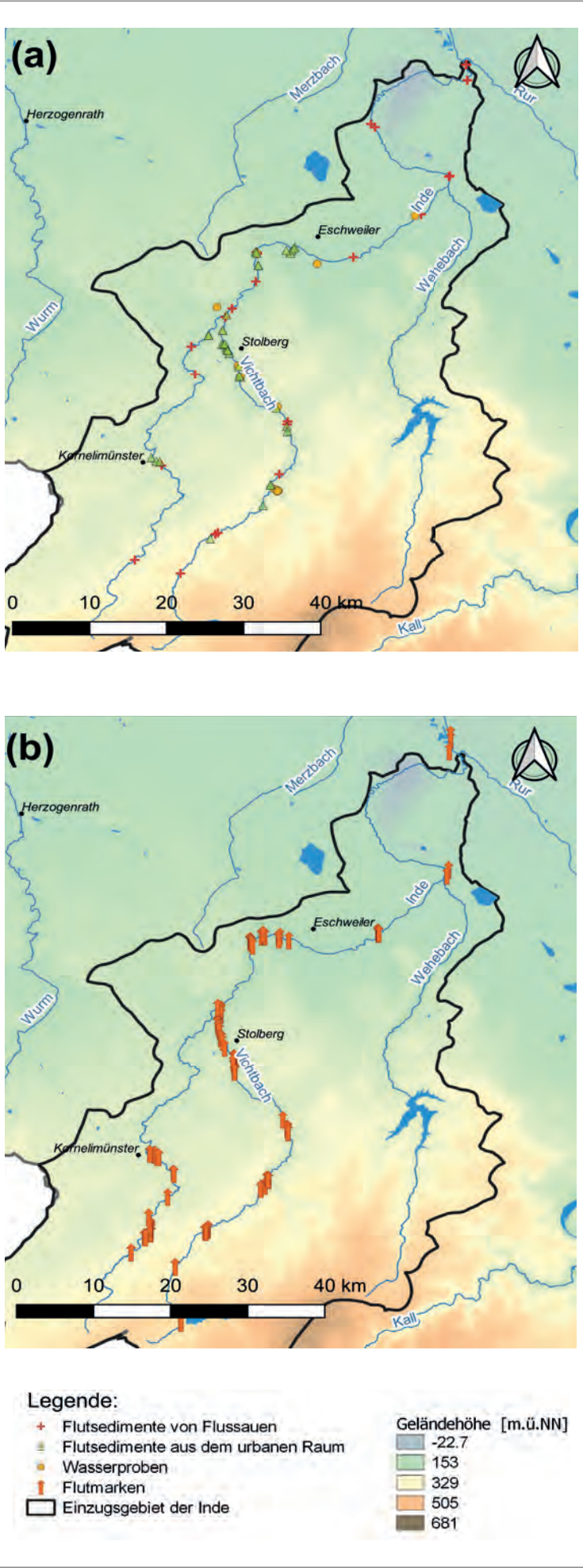


Bild 7: Probenahme und Kartierung

Flussbett und (3) die natürliche morphodynamische Entwicklung des Flusses sind.

Aufgrund großflächiger Überflutungen im Einzugsgebiet von Inde und Vichtbach kam es zur Aktivierung vieler Schadstoffquellen. Besonders in Stolberg und Eschweiler befinden sich viele Betriebe auf historisch industriell genutzten Flächen in unmittelbarer Flussnähe. Nicht nur durch Havariefälle bei aktuellen Betrieben, sondern auch durch Sedimentabtrag kontaminierter Auen haben sich neue Schadstoffströme gebildet. Hinzu kommen urbane Schadstoffquellen, verursacht durch Schäden an Heizöltanks und überfluteten Fahrzeugen, sowie Überlastungen und Schadensfälle bei der Abwasserreinigung<sup>[6]</sup>.

Zwischen Juli und August wurden in betroffenen Ortschaften entlang der Inde und des Vichtbachs Sediment- und Wasserproben im urbanen Raum und entlang der Gewässerauen genommen. Hieran waren seitens der RWTH der Lehrstuhl für Physische Geographie und Geoökologie, das Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, der Lehrstuhl für Geologie, Geochemie und Lagerstätten des Erdöls und der Kohle sowie das Lehr- und Forschungsgebiet Neotektonik und Georisiken beteiligt. Auch das Institut für Ökologie, Evolution und Diversität der Goethe-Universität Frankfurt nahm Proben. Anhand der Proben sollen Stoffströme rekonstruiert, die Umlagerung alter Schadstoffdepots verfolgt und die Schadstoffgehalte des Juli-Hochwassers mit Untersuchungen vergangener Hochwasserereignisse verglichen werden. Zudem wurden Flutmarken entlang der Gewässer kartiert, um die Überflutungen rekonstruieren zu können.

Die Untersuchungen sollen einen wichtigen Beitrag zur Hochwasserforschung liefern und auf die meist unsichtbaren und unterschätzten Gefahren der Schadstoffausbreitung hinweisen. Nicht nur in Hinblick auf die Zerstörung von Infrastruktur, sondern auch hinsichtlich der Schadstoffausbreitung ist Hochwasserschutz ein Thema, das uns alle in den kommenden Jahren deutlich stärker als bislang betreffen wird.



Bild 8: Probenahme in Stolberg

Foto: Peter Winandy

## Autoren

Dr.-Ing. Catrina Brüll ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft.

Dr.rer.nat. Verena Esser, M.Sc., war bis Oktober 2021 wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Physische Geographie und Geoökologie.

Univ.-Prof. Dr.rer.nat. Frank Lehmkuhl ist Inhaber des Lehrstuhls für Physische Geographie und Geoökologie.

Dr.rer.nat. Philipp Schulte ist Akademischer Rat am Lehrstuhl für Physische Geographie und Geoökologie.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Holger Schüttrumpf ist Inhaber des Lehrstuhls für Wasserbau und Wasserwirtschaft und Leiter des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft.

Christina Schwanen, M.Sc., ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Geologie, Geochemie und Lagerstätten des Erdöls und der Kohle.

Stefanie Wolf, M.Sc., ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft.

## Literatur

- [1] Crawford, S. E., Brinkmann, M., Ouellet, J. D., Lehmkuhl, F., Reicherter, K., Schwarzbauer, J., Bellanova, P., Letmathe, P., Blank, L. M., Weber, R., Brack, W., van Dongen, J. T., Menzel, L., Hecker, M., Schüttrumpf, H., and Hollert, H. 2021. Remobilization of pollutants during extreme flood events poses severe risks to human and environmental health. *Journal of hazardous materials* 421, 126691
- [2] Esser, V. 2020. Untersuchungen zur fluvialen Morphodynamik und zur rezenten Schadstoffausbreitung in Flusssystemen - Beispiele aus der Grenzregion Belgien, Niederlande und Deutschland. Dissertation, RWTH Aachen
- [3] Hollert, H., Brinkmann, M., Hudjetz, S., Cofalla, C., and Schüttrumpf, H. 2014. Hochwasser - ein unterschätztes Risiko. *Biologie in unserer Zeit* 44, 1, 44–51
- [4] LANUV NRW. 2010. Seiten des gewässerkundlichen Jahrbuchs. Pegel Eschweiler. <https://luadb.it.nrw.de/LUA/hygon/pegel.php?stationsinfo=ja&stationsname=Eschweiler&ersterAufruf=aktuelle%2BWBwerte>. Accessed 11 March 2021
- [5] Maaß, A.-L., Esser, V., Frings, R. M., Lehmkuhl, F., and Schüttrumpf, H. 2018. A

decade of fluvial morphodynamics: relocation and restoration of the Inde River (North-Rhine Westphalia, Germany). *Environ Sci Eur* 30, 1, 40

[6] Schüttrumpf, H. 2021. Das Juli-Hochwasser 2021 in NRW - Ein erster Erfahrungsbericht. *Wasser und Abfall* 23, 14–17

[7] UBA. 2014. Hydromorphologische Steckbriefe der deutschen Fließgewässertypen. Anhang 1 von „Strategien zur Optimierung von Fließgewässer-Renaturierungsmaßnahmen und ihrer Erfolgskontrolle“. Universität Duisburg-Essen, Abteilung Aquatische Ökologie, Senckenberg Forschungsinstitut und Naturmuseum Frankfurt, Abteilung Fließgewässerökologie und Naturschutzforschung, Planungsbüro Koenzen, Hilden, Institut für Gewässerökologie und Fischereibiologie (IGF), Jena, Dessau-Roßlau



Bild 9: Morphologische Prozesse bei Hochwasser können in Modellversuchen nachgestellt werden  
Foto: Peter Winandy



# Das Hochwasserereignis 2021

## Dokumentation und Daten für die Forschung

The floods in July 2021 in North Rhine-Westphalia and Rhineland-Palatinate led to the loss of more than 180 lives and economic damage of over 30 billion euros. Alongside the storm surge catastrophe in 1962 and the Elbe floods in 2002, this makes the flood one of the biggest natural disasters to hit Germany since 1945. In 2021, floods particularly affected low mountain regions and the transition areas to the lowlands. Due to the narrow valleys as well as the steep mountain slopes, a flood wave, which was several meters high in some cases, quickly moved downstream at high speed. The Institute of Hydraulic Engineering and Water Resources Management started a comprehensive flood documentation at an early stage. In this context, flood marks were surveyed, sediment and water samples were taken, damage was documented, interviews were conducted, and photos and video recordings were taken. New research projects were started to analyse this flood disaster in more detail and to draw the right conclusions.

Das Hochwasser im Juli 2021 hat in Nordrhein-Westfalen sowie in Rheinland-Pfalz zum Verlust von über 180 Menschenleben und zu ökonomischen Schäden von über 30 Milliarden Euro geführt. Damit zählt das Hochwasser neben der Sturmflutkatastrophe 1962 und dem Elbe-Hochwasser 2002 zu den größten Naturkatastrophen, die Deutschland nach 1945 getroffen haben. 2021 waren insbesondere Mittelgebirgsregionen sowie die Übergangsbereiche zum Flachland vom Hochwasser betroffen. Aufgrund der engen Täler sowie der steilen Berghänge ist es schnell zu einer teilweise mehrere Meter hohen Flutwelle gekommen, die sich mit hoher Geschwindigkeit stromab bewegt hat. Dies erklärt die schweren Schäden, die insbesondere in einigen Bereichen der Ahr, der Erft und auch der Vicht aufgetreten sind. Neben vielen überfluteten und zerstörten Häusern war insbesondere die Infrastruktur stark beschädigt: die Verkehrsinfrastruktur, die Wasserver- und -entsorgung, die Strom- und die Gasversorgung sowie die Telekommunikation. In den am meisten betroffenen Regionen war auch eine Selbsthilfefähigkeit unmittelbar nach dem Hochwasserereignis nicht mehr gegeben, da es dort nur noch Hochwasserbetroffene gab. Viele Menschen sind sogar mehrfach Opfer des Ereignisses: Das Hochwasser hat nicht nur die private Existenz zerstört, auch ihre beruflichen und ehrenamtlichen Aktivitäten waren betroffen und damit war eine Priorisierung der Aktivitäten schwierig.

Das Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft hat frühzeitig mit einer umfassenden

Hochwasserdokumentation begonnen. So wurden vor, während und nach dem Hochwasserereignis Untersuchungen an Ahr, Erft, Inde, Vicht, Wupper und Wurm durchgeführt. In diesem Zusammenhang wurden Flutmarken eingemessen, Sediment- und Wasserproben genommen, Schäden dokumentiert, Interviews durchgeführt sowie Fotos und Videoaufnahmen gemacht. Bild 1 gibt einen Überblick der besuchten Hochwassergebiete in Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz.

### Dokumentation liefert Daten für Forschung

Ziel der Dokumentation war es, insbesondere solche Daten zu gewinnen, die nach kurzer Zeit unwiederbringlich verloren sind. Flutmarken lassen sich, wenn die Wände getrocknet sind, nicht mehr erkennen, Sedimentproben werden gegebenenfalls umgelagert oder haben sich verändert. Um die zahlreichen Sedimentproben zu nehmen, war eine enge Kooperation mit weiteren RWTH-Einrichtungen erforderlich, beteiligt waren beispielsweise der Lehrstuhl für Physische Geographie und Geoökologie und das Lehr- und Forschungsgebiet Neotektonik und Georisiken. Weitere Untersuchungen wurden mit Universitäten aus dem In- und Ausland durchgeführt, etwa der Goethe-Universität Frankfurt, der TU Dresden, der Delft University of Technology und der University of California. Nur so konnte ein einmaliger Datenschatz gewonnen werden, der eine wichtige Grundlage für Forschungsvorhaben ist.

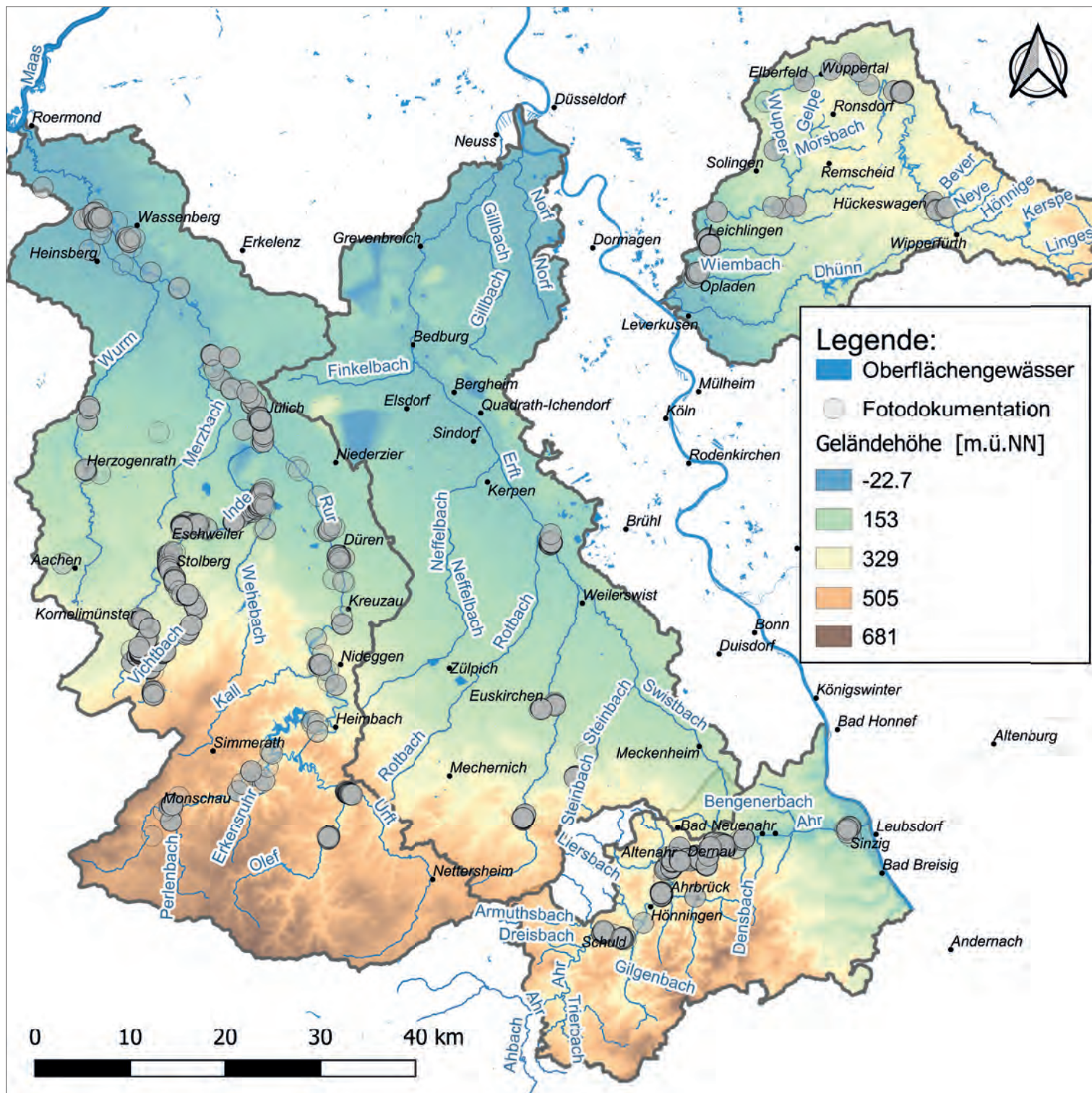


Bild 1: Dokumentation des Hochwasserereignisses in Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz durch das Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft

Besonders deutlich wurde, dass die Warnsysteme für Extremereignisse angepasst werden müssen. Es darf nicht erneut vorkommen, dass mehr als 180 Menschen in Deutschland infolge eines Hochwasserereignisses sterben. Benötigt werden Systeme, die in der Lage sind, vor Ort die Menschen zu erreichen und zu warnen. Vor dem Hintergrund des Ausfalls des Mobilfunks in vielen vom Hochwasser betroffenen Gebieten ist das bei Weitem keine einfache Aufgabe. Warnung ist

aber weitaus mehr als technische Systeme, vielmehr gehören hierzu auch die Wahrnehmung, Mitwirkung, Beteiligung und Eigenverantwortung der involvierten Institutionen und der betroffenen Menschen. Neben dem Aufbau geeigneter ausfallsicherer technischer Systeme sind auch regelmäßige Übungen und Schulungen sowie ein Bewusstsein für mögliche Gefährdungen erforderlich. Dies zu erreichen, ist eine große Herausforderung.

### Forschungsprojekte mit Beteiligung des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft

Im Rahmen des Forschungsvorhabens „Governance und Kommunikation im Krisenfall des Hochwasserereignisses im Juli 2021“ sollen Risiko- und Krisenkommunikation beim Hochwasser 2021 mit Partnern aus den Bereichen Katastrophenforschung, Kommunikation, Verwaltungswissenschaften und Naturrisiken analysiert werden. Die Krisen-

Bild 2: Probenahme von Sedimenten nach dem Hochwasser an der Inde in Eschweiler  
Foto: Peter Winandy

kommunikation beschreibt hier die Kommunikation und Warnung im konkreten Ereignisfall, die Risikokommunikation dient dagegen der Kommunikation sowie der Vorsorge unabhängig von einem konkreten Ereignis. Ziel des durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung finanzierten Vorhabens ist es, nicht nur in den betroffenen Regionen, sondern auch in anderen Mittelgebirgsregionen eine bessere Vorbereitung auf zukünftige Hochwasserereignisse mit einer vergleichbaren Intensität zu erlauben.

Im Forschungsvorhaben „Wissenschaftliche Begleitung der Wiederaufbauprozesse nach der Flutkatastrophe in Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen: Impulse für Resilienz und Klimaanpassung“ werden Methoden, Verfahren und Instrumente für die Weiterentwicklung von Risikoanalysen und -managementansätzen in der Wasserwirtschaft und räumlichen Planung entwickelt und systematisch mit Strategien und Prozessen des Wiederaufbaus verknüpft. Das Projekt mit zwölf Verbundpartnern wird ebenfalls durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung finanziert. Die Koordination teilen sich das Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft und das Institut für Raumordnung und Entwicklungsplanung der Universität Stuttgart. Am Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft erfolgt die wasserwirtschaftliche Analyse für die betroffenen Regionen in Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz.

Das Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft ist zudem in mehrere Forschungsvorhaben auf unterschiedlichen Ebenen eingebunden: In Kooperation mit dem Wasserverband Eifel-Rur (WVER) sowie den Kommunen Eschweiler und Stolberg entsteht aktuell ein Masterplan für die beiden vom Hochwasser betroffenen Städte. In enger Abstimmung mit den Bereichen Hochwasserschutz, Raumplanung, Stadtplanung und Siedlungswasserwirtschaft werden kurz-, mittel- und langfristige Lösungen für einen hochwasser- und klimaresilienten Wiederaufbau der



Kommunen identifiziert. Diese Lösungen sind im Wesentlichen den Themenbereichen Wasserrückhalt sowie Raum für den Fluss und Objektschutz zuzuordnen. Die Messlatte zur Überprüfung der kumulativen Wirksamkeit der identifizierten Maßnahmen muss in diesem Zusammenhang das Hochwasser 2021 sein. Auftretende Schäden sind gegenüber dem Hochwasser 2021 deutlich zu reduzieren. Dies bedeutet einen differenzierten Hochwasserschutz mit einer höheren Priorität kritischer Infrastrukturen wie Krankenhäusern, Feuerwehrwachen, Alten- und Pfl-

geheimen. Sowohl die Vorgehensweise für die Erstellung des Masterplans wie auch der Masterplan können dabei als Vorlage für den Umgang mit einem hochwasser- und klimaresilienten Aufbau in anderen Regionen dienen. Beim Thema Wiederherstellung der zerstörten Infrastrukturen und Gebäude lassen sich unterschiedliche Geschwindigkeiten der Akteure feststellen. Privatleute kommen hier im Vergleich zu den öffentlichen Institutionen vergleichsweise schnell voran, eine Verbesserung des Hochwasserschutzes durch entsprechende großmaßstäbliche Maßnahmen



konnte aber noch nicht hergestellt werden, da dies viel Zeit benötigt. Die Hochwassersicherheit in den betroffenen Regionen hat sich gegenüber dem Zeitpunkt des Hochwassers im Juli 2021 nicht verändert. Das nächste Hochwasserereignis kommt aber auf jeden Fall. Dies bedeutet, dass durch den Wiederaufbau Fakten geschaffen werden, mit denen zukünftig in Hinblick auf eine Verbesserung des Hochwasserschutzes gelebt werden muss. Somit ist die Verbesserung des künftigen Hochwasserschutzes neben der Wiederherstellung der zerstörten Infrastrukturen und

Gebäude eine wichtige und zentrale Aufgabe der kommenden Jahre.

---

### Autor

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Holger Schüttrumpf ist Inhaber des Lehrstuhls für Wasserbau und Wasserwirtschaft und Leiter des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft.

---

# Von der Sandburg lernen

## Geotechnik vor, während und nach einem Hochwasser

Geotechnical Engineering plays a critical role in the safety of houses and infrastructure during floods, because water fundamentally affects the behavior of the ground. This dramatic effect is easily visualized when considering the well-known sand castle on the beach during a summer vacation. This paper explains the fundamentals of water in soil and discusses associated failure modes in flooding events. Hence, Geotechnical Engineers are involved in the preparation (design) stages as well as in the post-disaster and reconstruction phases.

Jedes Bauwerk hat eine direkte Verbindung mit dem Baugrund: weil es darauf oder darin gegründet ist – beispielsweise Tunnel, Flach- und Tiefgründungen – oder mit Erdbaustoffen konstruiert ist, etwa Erddämme und Böschungen. Bei Hochwasserereignissen sieht sich die Geotechnik als Fachdisziplin des Bauingenieurwesens unmittelbar mit den Auswirkungen des Klimawandels konfrontiert, da sich die Verformungs- und Tragfähigkeitseigenschaften des (Bau-)Materials „Boden“ mit dem Wassergehalt stark verändern. Dies lässt sich an der aus dem Sommerurlaub bekannten Sandburg zeigen, denn schon Kinder erkennen mit ihrem Gespür für die Geotechnik, dass für den Sandburgenbau eine gewisse Menge Wasser benötigt wird. Warum ist das so? Die Erklärung dafür liegt in der Wechselwirkung zwischen den Sandpartikeln und dem Wasser im Boden. So sind zum Beispiel bei einer trockenen Sandprobe die Poren mit Luft gefüllt, und es stellt sich infolge der Reibungskräfte zwischen den Bodenkörnern ein charakteristischer Schüttkegel anstatt einer Burg ein, siehe Bild 2 (a). Sobald man dem trockenen Sand eine bestimmte Menge (nicht zu viel!) Wasser zugibt, ändern sich die Eigenschaften des Bodens erheblich, so dass man damit die schönsten Sandburgen bauen kann, Bild 2 (b). Bei einem feuchten Sand erhöhen die inneren (Kapillar-)Kräfte zwischen den Bodenkörnern die Stabilität („scheinbare Kohäsion“). Ähnlich wie bei einer Flüssigkeit in einem dünnen Rohr, die infolge der Kapillarkwirkung

aufsteigt und eine gekrümmte Oberfläche bildet, entstehen durch die Oberflächenspannung „Brücken“ zwischen den Teilchen. Diese halten die Sandkörner zusammen und ermöglichen den Bau der Sandburg. Mit zunehmender Wassersättigung gehen die Brücken zwischen den Partikeln verloren, die Bodenkörner werden durch das Wasser auseinandergedrückt, so dass die Probe auseinanderfließt und die Sandburg einstürzt, Bild 2 (c). Normalerweise ist die seitliche Bewegung des Bodens eingeschränkt, so dass sich keine freie Partikelbewegung einstellen kann. Je nach den Randbedingungen – etwa bei dynamischer Anregung – kann sich der Boden allerdings wie eine Feststoff- oder auch wie eine Fluidphase verhalten. Mit einer Zugbewehrung im Boden, zum Beispiel durch den Einbau von Geokunststoffen (Geotextilien, Geogitter) können die seitlichen Verformungen verringert und gleichzeitig die Tragfähigkeit erhöht werden, siehe Bild 2 (d).





Bild 1: Großversuch zur Untersuchung des Trag- und Verformungsverhaltens von geogitterbewehrten Stützkonstruktionen – Analyse der Verformungen am Wandfuß nach der Belastung  
Foto: Peter Winandy

Während die Scherfestigkeit „rolliger“ (grobkörniger) Böden im Wesentlichen aus dem Reibungswiderstand resultiert, weisen „bindige“ (feinkörnige) Böden zusätzliche – mehr oder weniger dauerhafte – Bindungskräfte („Kohäsion“) auf. Die Scherfestigkeit des Baugrunds ist letztlich entscheidend für die Standsicherheit der darauf oder darin ge-

gründeten Bauwerke. Das im Boden vorhandene oder auch anströmende Wasser stellt dabei einen wichtigen Faktor dar: Während bei einer vollständigen Sättigung infolge der „Schmierwirkung“ des Wassers ein Stabilitätsverlust auftreten kann, erhöht eine Teilsättigung durch die auftretenden Kapillarkräfte die Standsicherheit. Darüber hinaus

wird bei wassergesättigtem Boden durch die Auftriebskräfte das Eigengewicht herabgesetzt. Zusätzlich können Strömungskräfte infolge von Potenzialunterschieden Bauwerke und/oder den Boden selbst belasten. Erosions- oder Suffosionsvorgänge bewirken möglicherweise den Austrag des gesamten Bodens oder einzelner Bodenkörner.

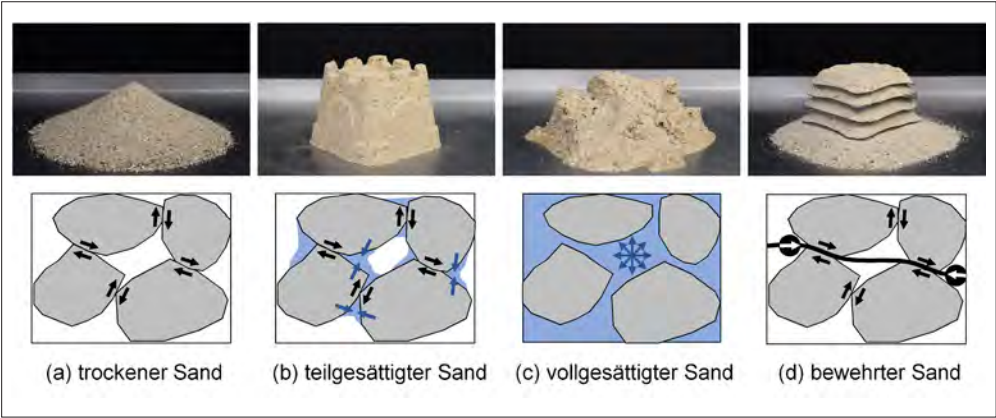


Bild 2: Auswirkung von Wasser im Boden bei einem Sand



Bild 3: Bodenbefüllung beim Aufbau des Großversuchs  
Foto: Peter Winandy



Bei Kranbetrieb  
Kollisionsgefahr  
Versuchen

Die Untersuchung dieser Effekte und die Bestimmung der entsprechenden Bodeneigenschaften im Labor und/oder vor Ort ist eine typische geotechnische Aufgabe, wie sie im bodenmechanischen Labor des Instituts für Geomechanik und Untergrundtechnik seit Jahrzehnten wahrgenommen wird. Auch die erdstatische Berechnung der Standsicherheit von Gebäudegründungen oder Böschungen gehört zu den klassischen Tätigkeiten eines Geotechnikers, ebenso wie die Untersuchung von Schäden infolge nicht ausreichender Standsicherheit.

### Auswirkungen des Hochwassers auf die Standsicherheit von Bauwerken

Die Standsicherheit von Gebäuden und Infrastrukturbauwerken kann durch Hochwasserereignisse stark beeinträchtigt werden. Da bei Flachgründungen die Bauwerkslasten in die oberflächennahen und unmittelbar vom Hochwasser beeinflussten Bodenschichten abgetragen werden, sind diese zum Beispiel durch lokale Erosionsprozesse oder Hohlraum-bildung innerhalb der Lastabtragungszone gefährdet. Durch eine Reduzierung der Fundamentbettung und die eintretenden Setzungsdifferenzen wird die Tragfähigkeit der Struktur herabgesetzt, was unter anderem zum Kippversagen von Fundamenten und den darüberliegenden Strukturen führen kann. Darüber hinaus resultiert die erwähnte Reduzierung der Scherfestigkeit bei Wassersättigung in einer Verringerung der erdstatischen Widerstände, so dass Versagensformen wie Grund- oder Geländebrüche provoziert werden. Obwohl der Lastabtrag bei

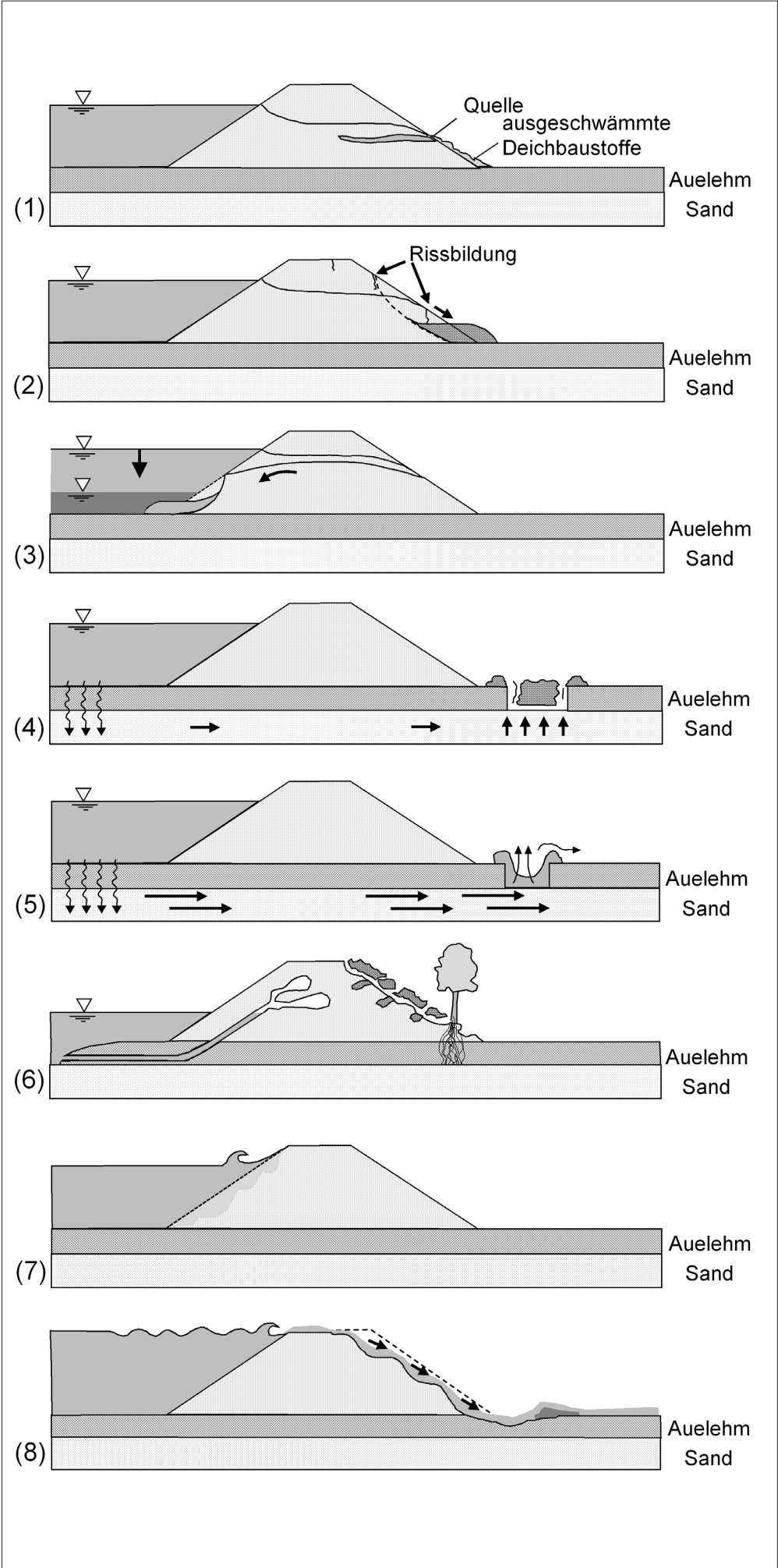


Bild 4: Häufige Versagensmechanismen bei Dämmen und Deichen, in Anlehnung an<sup>[1]</sup>:

1. Böschungsbruch infolge innerer Erosion („Piping“)
2. Böschungsbruch (großflächiges Versagen)
3. Böschungsbruch auf der Wasserseite bei schneller Absenkung
4. Hydraulischer Grundbruch durch Anheben der Decklehmschicht
5. Ausspülen des gesamten Materials (Erosion) oder nur der Feianteile (= Suffusion) mit Gefahr des hydraulischen Grundbruchs
6. Durchwurzelung und/oder Wühltierbefall kann zu Erosion und/oder Durchnässung führen
7. Wasserseitige Erosion
8. Luftseitige Erosion

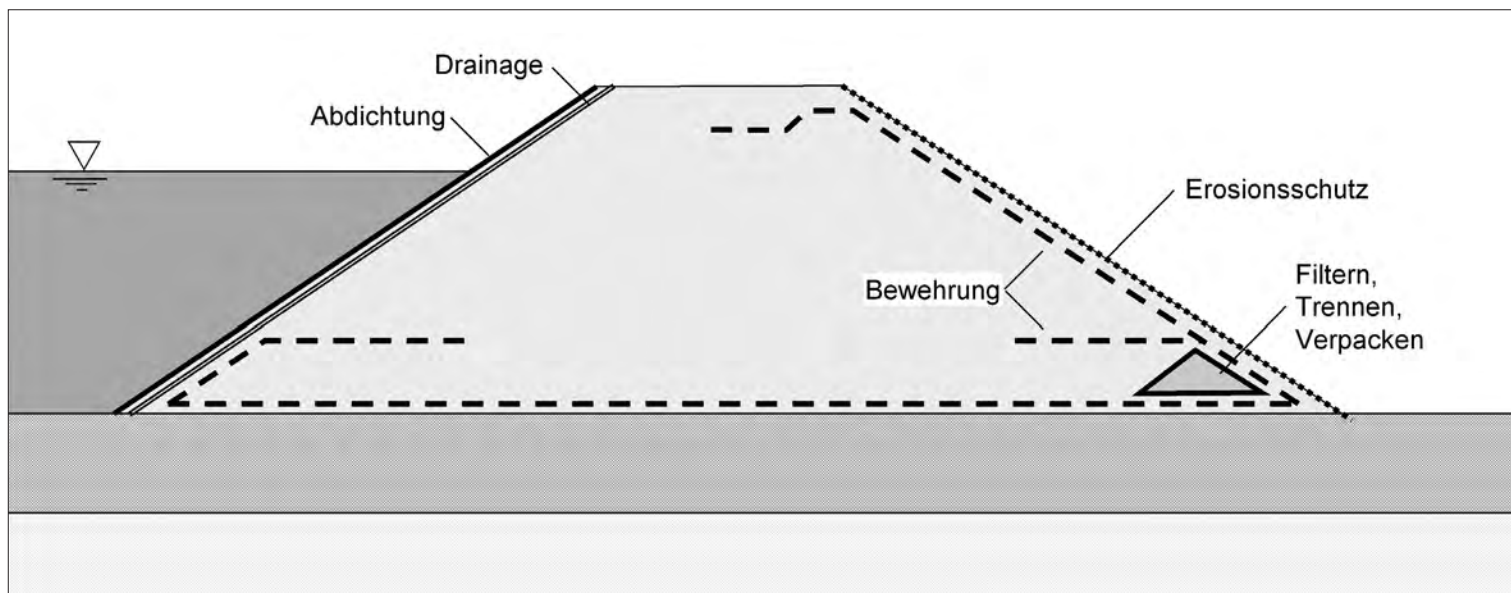


Bild 5: Beispielhafter Einsatz von Geokunststoffen bei Dämmen und Deichen

Tiefgründungen überwiegend in tieferliegende Schichten erfolgt, kann der Hochwasserfall auch für diese Gründungsart kritisch werden. Beim Anstieg des Grundwassers verringert der Auftrieb den Scherwiderstand entlang des Pfahlmantels, außerdem können großräumige Bodenbewegungen durch zusätzliche Horizontallasten die Standsicherheit von Einzelpfählen oder Pfahlgruppen gefährden. Die besondere Bedeutung von Bauwerken des technischen Hochwasserschutzes als wichtigem Teil der Infrastruktur einer Gesellschaft wird durch die katastrophalen Schadensereignisse im Versagensfall deutlich: Originäre Hochwasserschutzbauwerke wie Deiche, Rückhaltebecken oder Talsperren, aber auch Böschungen von Erddämmen der Transportinfrastruktur oder von Kiesgruben oder Tagebauen sind unmittelbar den extremen hydrostatischen (Wasserstand, Auftrieb) und hydrodynamischen (Strömung, Wellen, Überströmung) Einwirkungen ausgesetzt. Darüber hinaus erhöhen Lasten aus dem Anprall von Treibgütern, aus Verkehr und aus dem Geschiebetransport die Komplexität der Belastungsszenarien im Hochwasserfall. Zum Schutz des Umlands vor Hochwasser ist eine ausreichende Sicherheit dieser Bauwerke gegen zahlreiche mögliche Versagensmechanismen zu gewährleisten: Überlauf, Gleiten, Setzungen, hydraulisches Versagen (Filterinstabilität, Suffusion, Erosion, Piping, hydraulischer Grundbruch), Grund- oder Geländebruch, Rissbildung, um nur einige zu nennen. Bild 4 zeigt schematisch typische Versagensformen bei Dämmen oder Deichen. Ein vollständiges Versagen ist dabei häufig auf Erosionsprozesse oder auf einen Über-

lauf/ein Überströmen im Fall von zu niedrigen Kronenhöhen oder zu hohen Wasserständen zurückzuführen. Darüber hinaus sorgen infolge anhaltender Durchnässung veränderte Bodeneigenschaften großräumig für Standsicherheitsgefährdungen durch Grund- oder Geländebrüche sowie großflächige Erosionserscheinungen an Böschungen. Weiterhin kann aufsteigendes Grundwasser das Schadensrisiko auch hinter der Hochwasserschutzlinie erhöhen.

Der geohydraulischen Wirksamkeit von Dichtungen, Drainagen sowie Filtern und der erdstatistischen Tragfähigkeit der Bauwerke kommt im Hochwasserfall somit eine enorme Bedeutung zu. Dabei darf aber nicht außer Acht gelassen werden, dass auch nach dem Rückgang des Hochwassers eine Neubewertung der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit der betroffenen Infrastruktur notwendig sein kann und entsprechend sorgfältig durchgeführt werden muss.

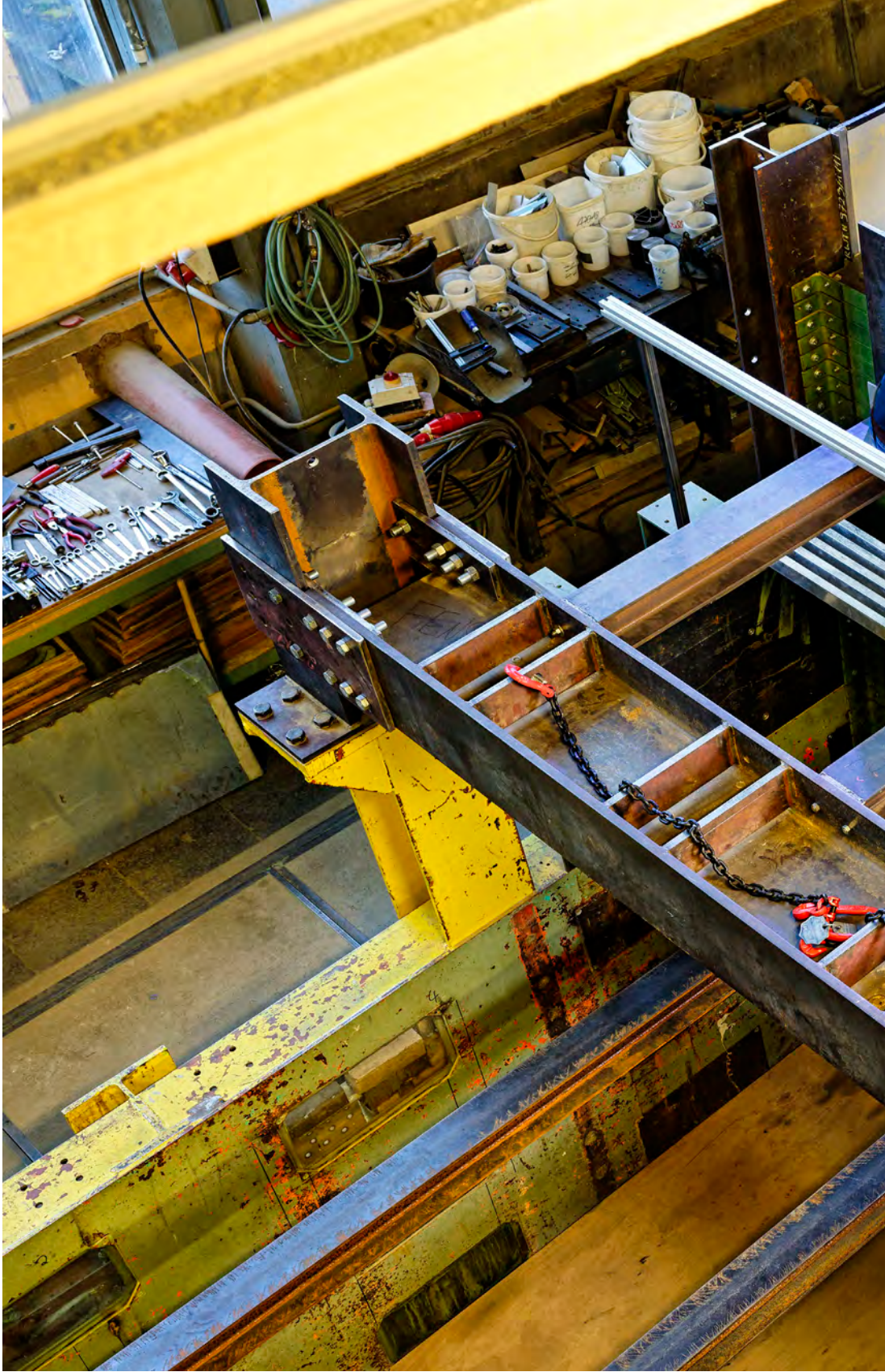


Bild 6: Kleinmaßstäbliche geogitterbewehrte Stützkonstruktion im transparenten Boden

Bild 7: Begutachtung der Geogitterwand nach der Belastung im Großversuch  
Foto: Peter Winandy

**Planerische und konstruktive Maßnahmen**

Zunächst ist die Abschätzung von möglichen Hochwasserszenarien und -einwirkungen in Zusammenarbeit mit dem Wasserbau und der Hydrologie die Basis für einen funktionierenden Hochwasserschutz. Auf der anderen Seite kommt der Aufstellung der entsprechenden erdstatischen Bemessungsregeln und der korrekten Bestimmung der geotechnischen und geohydraulischen Kennwerte der verwendeten Materialien eine besondere Bedeutung zu. So werden Erdbauwerke oftmals aus lokal vorhandenen Materialien mit nicht optimalen Eigenschaften gebaut. Hier ist es eine Aufgabe der Geotechnik, die Eigenschaften der verfügbaren Baumaterialien zu verbessern, bestehende Strukturen zu ertüchtigen und/oder neue Bauwerke sicher auszulegen. Unmittelbar nach dem Auftreten von Schadensereignissen sind Unterfangungen oder Ausgleichsinjektionen möglich, um eine kraftschlüssige Ableitung statischer Gebäudelasten in den Untergrund wiederherzustellen. Langfristig können zum Beispiel Geokunststoffe zum Einsatz kommen, durch die etwa die Tragfähigkeit, Drainagefähigkeit oder Filterstabilität erhöht oder die Wasserdurchlässigkeit verringert wird, siehe Bild 5. Die Wirkungsweise von geogitterbewehrtem Boden wird seit vielen Jahren am Institut für Geomechanik und Untergrundtechnik erforscht. Geogitter können Schubkräfte vom umgebenden Boden aufnehmen und diese an anderer Stelle im Bodenkörper rückverankern. Das komplexe mikro-mechanische Interaktionsverhalten wird derzeit mit Hilfe von transparentem Boden untersucht. Dieses Ersatzmaterial entsteht durch die Sättigung eines Quarzglas-Granulats mit einem Porenfluid mit möglichst gleichem Brechungsindex, wodurch die Lichtbrechung minimiert und geogitterbewehrte Strukturen, wie hier eine Geogitterwand, innerhalb des transparenten Bodens sichtbar werden, siehe Bild 6. Mit dieser Untersuchungsmethodik kann die Zugkraftmobilisierung der Bewehrung ungestört



und kontinuierlich mit optischen Verfahren aufgenommen werden. Geokunststoffe können je nach den lokalen Gegebenheiten und Anforderungen in vielen Situationen und bei unterschiedlichen Bauwerken eingesetzt werden, um bereits eingetretene Schäden zu sanieren oder die Vulnerabilität bestehender oder zukünftiger Infrastruktur im Hochwasserfall durch eine ressourcenschonende, ökologisch nachhaltige und ökonomisch vorteilhafte Bauweise zu reduzieren. Dabei werden zukünftig biobasierte und gezielt abbaubare Geotextilien zunehmend an Bedeutung gewinnen, um

die langfristige Anreicherung von Erdreich mit Kunststoffen und deren Recyclingaufwand zu minimieren – auch daran wird am Institut geforscht. Geotechnik-Ingenieurinnen und -Ingenieure sind somit sowohl in der Planung als auch in der Reaktionsphase unmittelbar nach einer Hochwasser-Katastrophe als auch in der Wiederaufbauphase beteiligt. Im Hinblick auf die Standsicherheit von Gebäuden und Infrastrukturbauwerken sind dabei die geotechnischen Prozesse entscheidend, da das Wasser im Boden dessen Verhalten grundlegend beeinflusst – wie bei der Sandburg.



## Autoren

Jan Derksen, M.Sc. ist wissenschaftlicher Mitarbeiter und Dipl.-Ing. Martin Feinendegen Akademischer Direktor am Lehrstuhl für Geotechnik im Bauwesen.

Univ.-Prof. Dr. Raul Fuentes ist Inhaber des Lehrstuhls für Geotechnik im Bauwesen und Leiter des Instituts für Geomechanik und Untergrundtechnik.

## Quelle

[1] Bayer: Hochwasserschutz und zementgebundene Baustoffe: Hinweise für Planung und Ausführung / Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V., Köln und Verein Deutscher Zementwerke e.V., Düsseldorf sowie InformationsZentrum Beton GmbH, Köln Düsseldorf: Verlag Bau + Technik, 2002. ISBN 3-7640-0441-x

# Fertighausbau für extreme Bedingungen

Ein modulares und kostengünstiges Bausystem

In collaboration with RWTH Aachen University, the start-up PMFHousing has developed an innovative modular building system which significantly reduces the complexity and costs of the building shell and provides increased flexibility for the client, whilst substantially reducing construction time. These advantages make the PMF House ideal for the rapid construction of infrastructure in disaster areas, such as those hit by the flood disaster in the German states of North Rhine-Westphalia and Rhineland-Palatinate. At the core of the modular PMF system are standardized wall and roof modules with integrated insulation, which are combined to form a robust and highly insulating building envelope. This allows architects to design a wide range of building types, varying in size and functionality: from individual holiday homes or single-family homes to kindergartens. This modular design has several important advantages compared to currently used building techniques. In addition to being quick to construct and inexpensive, they offer comparatively better flood resilience.



Bild 1: Prototyp des PMF-Hauses am Institut für Textiltechnik.

Drei RWTH-Institute und das Start-up „PMF-Housing“ starteten 2017 eine gemeinsame Entwicklungsarbeit. Ziel waren stabile und gut isolierte Unterkünfte für Erdbebengebiete und andere Katastropheneinsätze, deren Materialien leicht zu transportieren sind und die vor Ort aufgebaut werden können. Beteiligt waren das Institut für Stahlbau, das Institut für Textiltechnik sowie das Institut für Kunststoffverarbeitung in Industrie und Handwerk an der RWTH Aachen e.V.. Weitere Partner – vor allem aus der Chemie- und Textilindustrie – kamen dazu. Entstanden

ist ein Modulsystem, das Komplexität und Kosten eines Rohbaus deutlich reduziert, die Flexibilität für Bauherren erhöht und die Bauzeit verkürzt. Diese Vorteile der Modulbauweise mit integrierter Isolierung sind ideal für den schnellen Aufbau von Infrastruktur in Katastrophengebieten. Auch zeichnet sich die Bauweise durch eine vergleichsweise geringe Empfindlichkeit bei Überschwemmungen aus.

## Das PMF-System

Beim Bau der Wand-, Dach- und Bodenmodule werden leiterförmige Holzrahmen mit



Bild 2: Herstellung der Wandmodule (Obere Reihe: Holzrahmen, Rahmen mit Klebebändern; Mittlere Reihe: Aufbringen des 3D-Gewebes, Befestigung des Gewebes; Untere Reihe: Rahmen vor dem Befüllen, Füllvorgang, Fertiges Rahmenmodul.)

einem dreidimensionalen Gewebe bespannt, die entstandenen Kammern werden anschließend mit Polyurethan-Hartschaum ausgeschäumt. Die fertigen Module, mit einer Breite von etwa ein bis zwei Metern, können auf der Baustelle innerhalb weniger Tage zu Häusern zusammengesetzt werden. Der größte Fortschritt gegenüber dem klassischen Fertighaus resultiert aus dem unter Druck in den Rahmen eingegossenen und damit fest verklebten Block aus isolierendem und aussteifendem Hartschaum. Die Bauweise vereint dadurch die Vorteile der Rahmen-

und der Sandwichbauweise. Der Schaumblock dient dabei nicht nur zur Isolierung, sondern auch als Wasserdampfbremse und Winddichtung. Der Aufbau der Wände wird im Vergleich zur Verwendung von Fasern, Schüttungen oder eingepassten Schaumwerkstoffen wesentlich vereinfacht, da entsprechende Membranen nicht erforderlich sind. Ebenfalls entfallen kann in vielen Fällen eine separate Installationsebene oder eine Fassaden-Hinterlüftung.





Bild 3: Der Prototyp des PMF-Hauses am Institut für Textiltechnik wird als sogenannte „Creative Lodge“ für Besprechungen und Workshops genutzt.  
Foto: Peter Winandy



Bild 4: Aufbau des 3D-Abstandsgewebes, bestehend aus zwei Decklagen und Abstandsfäden, das mit Polyurethan-Hartschaum befüllt wird, um die Dämmung zu realisieren.

Foto: Peter Winandy

#### **Die entwickelte Bauweise eignet sich für extreme Bedingungen:**

**Hochwasser** – Durch den Klimawandel nehmen Gebäudeschäden durch Überschwemmungen weltweit zu. Die Höhe des jeweiligen Schadens hängt jedoch stark von der Bauweise ab. Holz ist gegen kürzere Überschwemmungen relativ unempfindlich, der Polyurethan-Kern saugt sich nicht mit Wasser voll und ist verrottungsresistent. Bei der Sanierung muss nur die Wandverkleidung abgenommen werden, die Wände selbst bleiben dicht und standfest. Das Haus kann oft während der Reparatur bewohnt bleiben.

**Erdbeben** – Geringes Gewicht, Fachwerkprinzip und Schwingungsdämpfung sind Eigenschaften, die ein Gebäude erdbebenresistent machen. Einen entscheidenden Beitrag dazu leistet der Schaumkern der Wände, der die horizontalen Kräfte eines Erdbebens effizient auffängt und Schwingungen dämpft.

**Sturmzonen** – Die Wahrscheinlichkeit schwerer Wirbelstürme ist dort am höchsten, wo die regionale Architektur vor allem auf Leichtbau

setzt: vom Äquator bis in den Süden der USA nehmen die Schäden am Gebäudebestand wegen des Klimawandels zu. Der eingegossene Schaumkern hält die Wände auch bei extremen Stürmen dicht und schützt gut vor Durchschlag. Die solide Verankerung im Boden verhindert ein Abheben.

**Wenig tragfähige Untergründe** – Das niedrige Gewicht und die hohe Festigkeit ermöglichen den Einsatz auch auf wenig tragfähigen Untergründen oder als „Aufstockung“ bestehender Gebäude. Ein weiteres Einsatzgebiet wären beispielsweise Permafrostböden: In arktischen Regionen werden größere Gebäude in der Regel auf Betonpfählen gebaut und diese tief im Permafrostboden verankert. Aufgrund des Klimawandels gelten 30 Prozent dieser Gebäude inzwischen als instabil. Durch ihr niedriges Gewicht und die gute Isolation des selbsttragenden Bodens können PMF-Häuser direkt auf den Permafrostboden aufgesetzt werden und sinken selbst dann nicht ein, wenn der Boden morastig wird.

**Feuer** – Die für die PMF-Häuser verwendeten



Materialien sind zwar brennbar, es werden jedoch alle zum Brandschutz erforderlichen Vorschriften eingehalten. Die verwendeten Kunststoffe haben eine hohe Entzündungstemperatur – weit über der von Holz –, brennen langsam, tropfen nicht ab und neigen nicht zu Schwelbränden. Darüber hinaus entstehen in der frühen Phase von Bränden vergleichsweise wenig gefährliche Gase. Insgesamt kann die Bauweise leicht auf die Anforderungen der entsprechenden Einsatzzwecke und -gebiete hin optimiert werden. Neben der Variation von Wandstärken und Holzdimensionen können auch Schäume verschiedener Dichte und extremer Brandfestigkeit zum Einsatz kommen, um die Gebäudeeigenschaften entsprechend anzupassen. Auf den ersten Blick erscheint der Einsatz von – zumindest derzeit noch – erdölbasierten Schaum- und Geweberohstoffen nur schwer mit den Zielen des ökologischen Bauens vereinbar. Eine Analyse zeigt, dass die entwickelte Bauweise fast allen anderen Bauweisen auch aus ökologischer Sicht über-

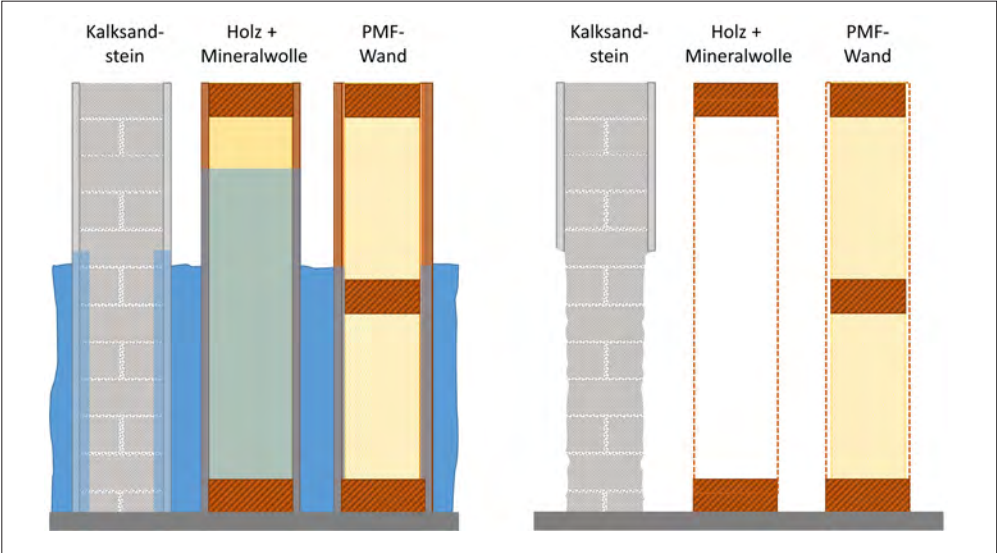


Bild 5: Bauweisen im Vergleich. Links während der Überschwemmung, rechts während der Reparatur. Bei der PMF-Wand wird bei der Reparatur lediglich die Verkleidung entfernt, Holzteile und Schaumkern werden gereinigt und die Holzteile getrocknet. Es muss weder die vollgesogene Isolierung ausgetauscht werden, noch müssen durchnässte Mauersteine behandelt werden.

legen ist: Der wichtigste Faktor ist dabei der durch die herausragenden Dämmeigenschaften ermöglichte niedrige Energieeinsatz im Betrieb für Heizung und Kühlung bei vergleichsweise geringen Wandstärken. Immer mehr im Fokus steht derzeit die beim Bau selbst aufzuwendende „Graue Energie“. Hier ermöglicht die Kombination von Isolierung und Aussteifung eine Materialeinsparung. Bei gleicher Festigkeit benötigt ein PMF-Haus rund ein Drittel weniger Holz als ein konventionelles Holzhaus, und ein Wandmodul wiegt nur 20 Prozent einer vergleichbaren Ziegelwand.

Ein Kritikpunkt am Einsatz von Kunststoffen ist ihre geringe biologische Abbaubarkeit. Im Baubereich steht dem der Vorteil gegenüber, dass Kunststoffe nicht verrotten, faulen oder schimmeln – da sie eben nicht biologisch abgebaut werden. Bei Gebäuden erwarten wir jedoch eine lange Nutzungsdauer ohne aufwändige Erhaltungsmaßnahmen. Idealerweise werden dabei Materialien verwendet, die am Ende der Nutzungsdauer wiederverwendet, recycelt oder zumindest energetisch genutzt werden können.

Die in einem PMF-Haus verbauten Module können beim Abbau eines Gebäudes teilweise für neue Gebäude verwendet werden. Alternativ können die verwendeten Isolierstoffe in neuen Gebäuden als Schüttdämmung Verwendung finden. Die Materialien für die Gewebe und den Isolierschaum sind so gewählt, dass ein gemeinsames Recycling möglich ist – im Falle von Polyurethan ist durch „Depolymerisation“ sogar eine Rückgewinnung der eingesetzten Rohstoffe zu

„Sekundärpolyolen“ möglich. Außerdem ist für die Schäume und Gewebe der Einsatz recycelter Materialien – beispielsweise aus PET-Flaschen attraktiv. Die Verwendung von Erdöl als Chemierohstoff ist weit weniger klimaschädlich als dessen Verbrennung als Energieträger, wobei große Mengen an Treibhausgasen entstehen. Für den Bau von PMF-Häusern wäre auch ein Einsatz von nachwachsenden Chemie-Rohstoffen möglich. Ein Prototyp eines PMF-Hauses mit einer Grundfläche von 36 Quadratmetern steht auf dem Gelände des Digital Capability Centers am Institut für Textiltechnik. Aktuell wird das Gebäude auch als Versuchsträger für innovative textile Fassadentechniken genutzt.

**Autoren**  
 Dr.-Ing. Magdalena Kimm ist Bereichsleiterin am Institut für Textiltechnik.  
 Dipl.-Ing. Andreas Mohr ist Geschäftsführer der PMF Housing GmbH.

# Auf dem Weg zur Schwammstadt

## Niederschlagswasser im urbanen Raum bewirtschaften

In the past, the focus of urban drainage was on the total and rapid removal of waste- and stormwater. In recent years, however, there has been a growing awareness that intermediate storage and delayed discharge to the sewage system can relieve the latter. In addition, the natural water cycle can be strengthened. In terms of water-sensitive urban development, the principle of the “sponge city” is becoming increasingly important. The purpose is to retain the precipitation runoff at the point of occurrence instead of discharging it via the sewer system, and thus make it available for later use in the city. This includes measures such as the unsealing of surfaces or the establishment of green roofs and multifunctional areas. The implementation of discharge control can serve as a helpful tool. The interdisciplinary interaction of the many players involved is seen as a challenge. There is a need for cooperation between urban drainage and urban planning, which must be in accordance with the regulations of the municipality.

Ende des 19. Jahrhunderts wurden in europäischen Großstädten die ersten Kanalisationen errichtet. Ziel war es, gute hygienische Verhältnisse zu erreichen und so Cholera und Typhus einzudämmen. Nach und nach wurden immer mehr Siedlungen mit Entwässerungsanlagen ausgestattet, die sowohl das Abwasser als auch das anfallende Regenwasser ableiteten. Heute sind in Deutschland rund 97 Prozent der Bevölkerung an eine öffentliche Entwässerung angeschlossen<sup>[1]</sup>. Bis vor etwa 20 Jahren war das wichtigste Ziel der Siedlungsentwässerung, alles in einer Siedlung anfallende Schmutz- und Regenwasser so schnell und vollständig wie möglich abzuleiten. Bei Niederschlagsereignissen führte dieses Vorgehen jedoch einerseits teilweise zu einer Überlastung der Kanalisation, andererseits fehlte das Regenwasser zur Grundwasserauffüllung. Es reifte die Erkenntnis, dass Niederschläge möglichst am Ort des Anfalls verbleiben und dort versickert oder zumindest zwischengespeichert und verzögert an die Kanalisation abgegeben werden sollten. Diese Entwicklung wurde durch die Änderung von Rechtsverordnungen verstärkt, sodass der Ausbau von Trennsystemen, welche die getrennte Ableitung und Behandlung von Schmutz- und Regenwasser ermöglichen, vermehrt gefördert wurde. Durch den Klimawandel verändern sich die

hydraulischen Belastungen von Kanalisationen. Auf der einen Seite kommt es vermehrt zu pluvialen, also durch Regenfälle verursachten Hochwässern. Die immer häufiger auftretenden Extremwetterereignisse können und sollen aber von den Kanalisationen nicht abgeleitet werden. Hintergrund ist, dass der Bau neuer oder die Vergrößerung bereits vorhandener Kanäle weder wirtschaftlich darstellbar, noch technisch sinnvoll wäre, da die Abflussspitzen von extremen Starkregenereignissen dennoch nicht abgeführt werden könnten. Auf der anderen Seite kommt es durch lange Trockenperioden in den Sommermonaten zu einer geringen Auslastung der Kanalisation. Dies verursacht Ablagerungen und in deren Folge insbesondere in den Mischwasserkanälen Geruchsbildung. Außerdem leiden Stadtpflanzen in langen heißen Sommermonaten oft unter Wassermangel. Für deren Bewässerung wird häufig Trinkwasser verwendet. Zwischengespeichertes Regenwasser könnte hier eine gute Alternative darstellen. Um diese Problembereiche sowie weitere Herausforderungen im Zusammenhang mit den Auswirkungen des Klimawandels bewältigen zu können, wird in der Fachöffentlichkeit daher schon länger der Bedarf an einer „wassersensiblen Stadtentwicklung“<sup>[2, 3, 4]</sup> formuliert. Unter dem Begriff „wassersensible Stadtentwicklung“ werden diverse Methoden des

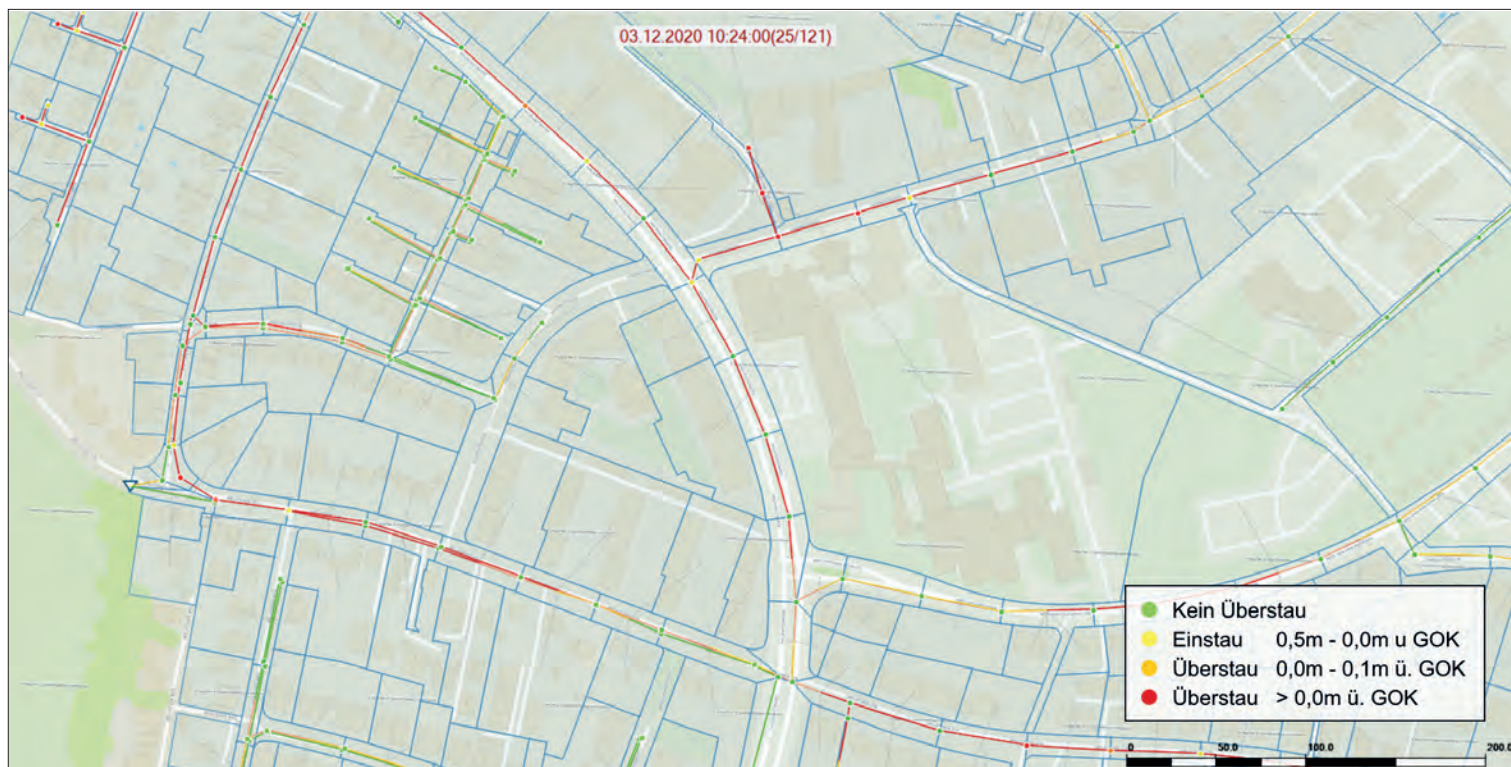


Bild 1: Simulation eines Kanalnetzes für ein 100-jährliches Starkniederschlagsereignis. Im Reallabor „Rainwater Living Lab“ werden die Erkenntnisse zu Extremereignissen gebündelt.

Wassermanagements zusammengefasst, die einen effizienteren Umgang mit der Ressource Wasser in der Stadt zum Ziel haben. Sie stellen damit eine Möglichkeit dar, auch den Folgen des Klimawandels zu begegnen. Inzwischen wurden diverse Methoden, darunter das Konzept der Schwammstadt, und entsprechende Werkzeuge entwickelt. Ziel aller Konzepte ist es, durch die Weiterentwicklung und Kombination verschiedener technischer Lösungen den Umgang mit Wasser-Extremereignissen zu verbessern. Dabei muss sowohl den Herausforderungen von Starkregenereignissen als auch von Trockenperioden effektiv begegnet werden, um deren Folgen weiter zu reduzieren. Auch auf kommunaler Ebene wird versucht, Maßnahmen umzusetzen. Zahlreiche Handreichungen zeigen Kommunen auf, wie diese sich auf die Auswirkungen des Klimawandels vorbereiten können<sup>[beispielsweise 5, 6]</sup>.

### Das Konzept der Schwammstadt

Als Inspiration für das Konzept der Schwammstadt – oder auch Sponge City – dient der in der Natur vorkommende Tierstamm der Schwämme. Ihr lateinischer Name *Porefera* leitet sich von den beiden Wörtern *porus* für Pore und *ferre* für tragen ab. Aufgrund ihrer Struktur sind Schwämme in der Lage, Wasser aufzunehmen, zu speichern und bei Bedarf wieder abzugeben. Diese

Eigenschaften werden mit dem Konzept auf Städte übertragen: Anfallendes Wasser soll bei Niederschlagsereignissen aufgenommen und so lange innerhalb der Stadt, sowohl oberirdisch als auch unterirdisch, gespeichert werden, bis es in Trockenzeiten beispielsweise wieder zur Bewässerung von Grünanlagen und damit zur Kühlung der Städte genutzt werden kann.

Dazu werden diverse innerstädtische Maßnahmen zusammengefasst, die das Ziel der Zwischenspeicherung und Wiedernutzbarmachung des Niederschlagswassers ermöglichen. Hierzu zählen Maßnahmen wie die Reduzierung befestigter Flächen sowie die gezielte Schaffung von Flächen zur Förderung der Versickerung von Niederschlagswasser, beispielsweise in Form von Straßenbegleitgräben. Auch Maßnahmen zur Zwischenspeicherung und Nutzung von Niederschlagswasser, wie die Einrichtung multifunktionaler Flächen, gehören dazu. Als solche werden Frei-, Park- oder Grünflächen bezeichnet, welche im Fall von Starkregen gezielt überflutet werden, um temporär Wasser zwischenspeichern und eine Überflutung von Bereichen mit höherem Schadenspotenzial zu verhindern. Weitere Maßnahmen sind die Begrünung von Dächern und Fassaden sowie die Gestaltung von Grünanlagen mit Wasserelementen oder von Feuchtgebieten. Die kontinuierliche Verdunstung über die

Grün- und Wasserflächen kühlt das Stadtklima in Hitzeperioden ab. Gleichzeitig führen die Reduzierung der befestigten Flächen und die vielen dezentral in den Städten verteilten Speicher zu einer Entlastung der bestehenden Kanalisationssysteme. Den klimawandelbedingt immer stärker werdenden Niederschlagsereignissen kann so besser begegnet werden.

Um jederzeit die optimale Leistungsfähigkeit der Kanalisation zu erhalten, muss das Kanalnetz regelmäßig gewartet und instandgehalten werden. Strategien für ein Kanalnetzmanagement vor dem Hintergrund einer effizienten Kanalnetzauslastung und zur Reduzierung des Frachtaustrags aus städtischen Einzugsgebieten werden am Institut für Siedlungswasserwirtschaft sowohl in Deutschland als auch in China erprobt<sup>[7]</sup>. Abflusssteuerungen in Entwässerungssystemen ermöglichen es, vorhandene Volumenzustände zu nutzen und so das Aufnahmevermögen der Kanalisation weiter zu steigern. Maßnahmen wie der Einsatz von künstlicher Intelligenz oder die Einbeziehung von Radardaten zur Analyse der Niederschläge können künftig helfen, die Bewirtschaftung von Entwässerungssystemen weiter zu optimieren.





Bild 2: Für die Entwicklung eines Schwammstadtkonzepts müssen verschiedene Szenarien betrachtet und zahlreiche Akteure eingebunden werden. Auslastungszustände der Kanalisation sind einer der zu berücksichtigenden Aspekte.  
Foto: Peter Winandy



Bild 3: Untersuchungen zum Abflussverhalten von Niederschlägen auf teildurchlässigen Flächen ermöglichen die Ermittlung des Potenzials für eine Zwischenspeicherung von Niederschlag in urbanen Gebieten

Foto: Peter Winandy

### Herausforderungen bei der Einführung des Schwammstadtkonzepts

Als besondere Herausforderung bei der Implementierung des Schwammstadtkonzepts in Städten ist die Zusammenarbeit vieler Akteure und Abteilungen zu sehen. In der Regel sind bereits zahlreiche Abteilungen einer Kommune an Planung, Bau, Betrieb und Unterhalt eines Kanalnetzes beteiligt. Die Fachleute der Siedlungsentwässerung müssen in enger Zusammenarbeit mit Stadtplanern die entsprechenden Maßnahmen zur Niederschlagswasserbehandlung entwickeln sowie für das Stadtklima erforderliche Verdunstungsbereiche konzipieren. Alle Maßnahmen müssen zudem in Einklang gebracht werden mit gesetzlichen Vorgaben und den individuellen Vorstellungen der Kommunen,

die durch das Aufstellen der Bebauungspläne diese Maßnahmen ermöglichen und fördern müssen. Das Konzept der Schwammstadt greift in alle Bereiche des öffentlichen Raumes ein und bedarf Planungen unter anderem der Fließgewässer, Grünflächen, Wohngebiete und Straßen. Einen Überblick über das gesamte System zu erhalten, wird umso schwieriger, je mehr Abteilungen einer Stadtverwaltung für die einzelnen Teilbereiche und Wasserströme verantwortlich beziehungsweise zuständig sind. Dies wurde bereits bei ersten Untersuchungen des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft zum Thema der wassersensiblen Stadtentwässerung im Jahr 2008 konstatiert<sup>[6]</sup> und zeigte sich erneut bei Untersuchungen in China<sup>[7]</sup>.

Die Planung multifunktionaler Retentionsflächen und Speicherräume kann ausschließlich auf Grundlage ganzheitlich integrierter Modellsysteme sowie von technischem Know-how in inter- und transdisziplinärer Zusammenarbeit entworfen und evaluiert werden. Vor diesem Hintergrund wurde das Reallabor „Rainwater Living Lab Aachen“ ins Leben gerufen. Das Reallabor wird von der RWTH Aachen als Exploratory Research Space-Projekt gefördert. Hier arbeiten RWTH-Institute an neuen und multidisziplinären Lösungen zum intelligenten Umgang mit hydrologischen Extremereignissen in der Stadt Aachen. Im Rahmen einer Proof-of-Concept-Studie werden Ansätze einer nachhaltigen und naturverträglichen Regenwasserbewirtschaftung nach dem Prinzip der Schwammstadt



entworfen und ihre Übertragung auf andere urbane Gebiete geprüft. Der Schwerpunkt der Arbeiten des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft liegt dabei auf der Modellierung der Auswirkungen von Schwammstadtelementen auf den Abfluss in der Kanalisation sowie einer Risikobewertung. Es werden Karten generiert, die für unterschiedliche Regenereignisse und verschiedene Szenarien der Regenwasserretention im Einzugsgebiet die Auslastungszustände der Kanalisation aufzeigen, siehe Bild 1.

#### Literatur

- [1] Statistisches Bundesamt (2018): Öffentliche Abwasserbehandlung und -entsorgung - Fachserie 19 Reihe 2.1.2 – 2016
- [2] Siekmann, T.; Benden, J. (2010): Handlungsempfehlungen zur städtebaulichen Anpassung an Starkregenereignisse. Vortrag auf dem Abschlussworkshop zum Forschungsvorhaben „Wassersensible Stadtentwicklung – Maßnahmen für eine nachhaltige Anpassung der regionalen Siedlungswasserwirtschaft an Klimatrends und Extremwetter. 28.6.2010, BEW, Essen
- [3] Sharma, A. (Hrsg.); Gardner, T. (Hrsg.); Begbie, D. (Hrsg.) (2019): Approaches to Water Sensitive Urban Design. Potential, Design, Ecological Health, Urban Greening, Economics, Policies, and Community

Perceptions. Elsevier

[4] UBA (Hrsg.) (2019): Monitoringbericht 2019 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassungsstrategie der Bundesregierung. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau

[5] Schüle, R.; Fekkek, M.; Lucas, R.; Winterfeld, U. von; Fischer, J.; Roelfes, M.; Madry, T.; Arens, S. (2016): Kommunen befähigen, die Herausforderungen der Anpassung an den Klimawandel systematisch anzugehen. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau

[6] BBSR (Hrsg.) (2016): Anpassung an den Klimawandel in Stadt und Region. Forschungserkenntnisse und Werkzeuge zur Unterstützung von Kommunen und Regionen. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, Bonn

[7] Zhao, F.; Haußmann, R.; Pinnekamp, J. (2019): Preventive and Customized Maintenance of Underground Water Infrastructure in Köster, S.; Reese, M.; Zuo, J.: Urban Water Management for Future Cities, Springer Nature Switzerland AG

[8] Pinnekamp, J.; Doktor, S.; Haußmann, R.; Roder, S.; Siekmann, M. und Stauer, P. (2008): Wassersensible Stadtentwicklung - Netzwerk für eine nachhaltige Anpassung der regionalen Siedlungswasserwirtschaft an Klimatrends und Extremwetter. Schlussbericht zum BMBF-Forschungsprojekt 01 LS 05017. Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen

#### Autoren

Eva Bünis ist wissenschaftliche Hilfskraft am Institut für Siedlungswasserwirtschaft.

Dr.-Ing. Regina Haußmann ist Akademische Direktorin am Institut für Siedlungswasserwirtschaft.

Julian Hofmann, M.Sc., und Peter Schleiffer, M.Sc., sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Institut für Siedlungswasserwirtschaft.

Univ.-Prof. em. Dr.-Ing. Johannes Pinnekamp war bis September 2021 Inhaber des Lehrstuhls für Siedlungswasserwirtschaft und Wassergütwirtschaft und Leiter des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Wintgens ist Inhaber des Lehrstuhls für Siedlungswasserwirtschaft und Wassergütwirtschaft und Leiter des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft.

# Sicherheit durch smarte Bauwerke

## Digitalisierung von Infrastrukturen

Sensor-based monitoring of processes and structural conditions has become a standard in many areas of our life. However, in our earthwork infrastructure, such as dams, dikes, and tunnels, digitalization has so far widely been neglected. In case of emergency, structures that are not monitored cannot be assessed correctly and might, therefore, fail early. This puts millions of people and billions in value at risk. Widespread digitalization of earthwork structures is not feasible yet since a lot of questions regarding the right sensors, the right sensor implementation, sustainable energy supply, reliable data communication and data handling have remained unanswered so far. However, a past research project called EarlyDike has shown that the idea of a sensor- and risk-based early-warning system can be implemented in structures like dikes and is worthy of further development.

Im Juli 2021 mussten tausende Menschen in den Ortschaften Swisttal und Rheinbach ihre Häuser als Vorsichtsmaßnahme vor einem drohenden Dammbruch verlassen. Was war passiert? Nach dem extremen Regenereignis am 14. Juli 2021 in Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz hat sich das Speicherbecken der Steinbachtalsperre sehr schnell gefüllt. Der Grundablass, der am Fuß der Talsperre zur Regulierung der Wasserabgabe installiert ist, war durch das mittransportierte Treibgut verstopft, sodass das Wasser aus dem Speicherbecken nicht wie vorgesehen abfließen konnte. Das Wasser im Becken stieg immer weiter an, sodass dieses voll- und die Talsperre schließlich übergelaufen ist. Starke Schäden sind die Folge, siehe Bild 1. Die Beschädigung war so groß, dass die Standsicherheit der Talsperre und damit die Sicherheit vieler flussabwärts lebender Menschen gefährdet war. Eine verlässliche Einschätzung der strukturellen Integrität des Erdbauwerks war aufgrund fehlender Messdaten und Informationen nicht möglich. Es war damit zu keinem Zeitpunkt klar, ob die Talsperre bricht oder hält. Eine Entwarnung konnte erst am Morgen des 19. Juli gegeben werden. Das Wasser war zuvor zu einem Großteil kontrolliert aus der Talsperre abgelassen und abgepumpt worden. Talsperren aus Erdbbaumaterialien wie die Steinbachtalsperre werden zwar mit Sicherheitszuschlä-

gen konstruiert, sind aber nicht dafür geplant und bemessen, einer solchen Überströmung Stand zu halten. Allein durch die fehlenden Kenntnisse über die tatsächliche Situation während eines solchen außerplanmäßigen Ereignisses ist es nicht möglich, diese Sicherheitszuschläge kontrolliert zu nutzen und eine verlässliche und sichere Planung in einem solchen Fall umzusetzen. Die Digitalisierung ist heute im privaten Umfeld soweit fortgeschritten ist, dass wir den Luftdruck unserer Autoreifen aus dem Bordcomputer ablesen und die Steuerung unserer Wohnungsheizung per App unterwegs bedienen können. Es ist schwer nachvollziehbar, wieso wir über den Zustand wichtiger Infrastrukturen, wie zum Beispiel Talsperren, nicht Bescheid wissen. Erdbauwerke wie Staudämme und Deiche, aber auch Tunnel und Straßen sowie Eisenbahndämme zählen zu den ältesten Bau-



Bild 1: Landseite der Steinbachtalsperre im Raum Euskirchen nach dem Hochwasser im Juli 2021  
Foto: Holger Schüttertrumpf

werken unserer modernen Infrastruktur. Sie können zum Teil Lebensdauern von weit über 100 Jahre aufweisen. Oftmals sind diese Bauwerke sogenannte Linienbauwerke, was bedeutet, dass sie ohne Unterbrechung viele Kilometer lang sind. Diese Länge bringt mit sich, dass die Bauwerke von hunderttausenden Menschen genutzt werden beziehungsweise diese Anzahl an Menschen sowie Güter in mehrstelligen Milliardenbereichen geschützt werden. Ein Versagen eines solchen Bauwerks, etwa bei Hochwasser oder einem anderen Extremereignis, zieht dann oftmals enorme Schäden mit sich. Dennoch ist die Digitalisierung in solchen Infrastrukturbauwerken bislang kaum bis gar nicht umgesetzt. Für einen nachhaltigen und zukunftsfähigen Umgang mit Bauwerken müssen die Vorteile der Digitalisierung und Vernetzung genutzt werden, die wir schon längst in unseren Alltag integriert haben.

### Die Digitalisierung von Erdbauwerken

Unter Digitalisierung kann die Abbildung von Informationen über Objekte oder Personen in einer digitalen, also für Computer lesbaren, Form verstanden werden. Im Fall von Bauwerken bedeutet das, dass Daten wie die Bodenfeuchte nicht manuell von einem Messgerät abgelesen und aufgeschrieben, sondern direkt als digitales Signal abgespeichert werden.

Eine ganzheitliche Digitalisierung von Erdbauwerken im Sinne eines digitalen Bauwerkszwillings würde den Betrieb und die Überwachung dieser Bauwerke mit der Technologie des 21. Jahrhunderts verbinden und viele Vorteile in Hinblick auf die Betriebssicherheit und den effizienten Einsatz von Ressourcen mit sich bringen.

Auf dem Weg zu diesen smarten Bauwerken müssen jedoch noch einige Fragen geklärt werden:



Bild 2: Ein Geotextil mit integrierten Sensoren wird am Versuchsstand teilweise im „Deichkörper“ verbaut, hier eine erste Version des Sensor-Geotextils während eines kleinmaßstäblichen Vorversuchs.

Foto: Verena Krebs, 2015

- Wie kann ein Bauwerk vollständig, das heißt hinsichtlich aller geometrischen, zeitlichen, relationalen, funktionalen, technischen und beschreibenden Eigenschaften, digital modelliert werden?
- Welche und wie viele Sensoren müssen in den Bauwerken eingesetzt werden, um die relevanten und ausreichend viele Messdaten aufzunehmen?
- Wie kann die große Zahl an Sensoren präzise und dauerhaft in den Bauwerken eingebracht werden?
- Wie kann eine langfristige und nachhaltige Energieversorgung der Sensoren gewährleistet werden?
- Wie kann die Datenübertragung von den Sensoren möglichst effizient, zuverlässig und sicher gestaltet werden?
- Wie können Hardware und Software über die lange Lebensdauer der Bauwerke (> 100 Jahre) stets aktuell und widerstandsfähig gegenüber Angriffen von außen gehalten werden?
- Wie kann die hohe zeitliche und räumliche Auflösung der Daten verarbeitet und im Notfall in Echtzeit nutzbar gemacht werden? Wie können die entstehenden großen und dynamischen Datenmengen effizient verwaltet werden?
- Wie können Beobachtungen und das Wissen von Experten mit den digitalen Daten kombiniert und ergänzt werden?
- Wie kann die Digitalisierung der Bauwerke wirtschaftlich gestaltet werden?
- Wie verändert sich unsere Akzeptanz und Wahrnehmung von Risiko im Kontext der Digitalisierung?

Um praktikable und sichere Lösungen für diese und weitere Fragen zu finden, ist zunächst grundlegende Forschung erforderlich. Ein Fortschritt in diese Richtung ist nur möglich, wenn Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus dem Bauingenieurwesen, dem Maschinenbau, der Elektrotechnik, der Computer- und Informationstechnik, der Sozialwissenschaften und der Wirtschaftswissenschaften gemeinsam forschen und die Ergebnisse dieser Zusammenarbeit auch in der Praxis umgesetzt und akzeptiert werden.

### Projekt EarlyDike

Von 2015 bis 2018 haben das Institut für Textiltechnik, das Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, das Geodätische Institut und der Lehrstuhl für Bauinformatik und Geoinformationssysteme in Zusammenarbeit mit dem Institut für Wasserbau der Technischen Universität Hamburg (TUHH WB), dem

Forschungsinstitut Wasser und Umwelt der Universität Siegen (fwu) und der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) im Projekt EarlyDike an einem sensor- und risikobasierten Frühwarnsystem für Seedeiche geforscht. Durch den Klimawandel und den damit verbundenen Meeresspiegelanstieg werden Extremereignisse an den Küsten immer wahrscheinlicher. Schäden oder Schwachstellen innerhalb der Bauwerksstruktur können über die Zeit entstehen, dabei unerkannt bleiben und so die Widerstandsfähigkeit der Anlagen verringern. Heutige Frühwarnsysteme beziehen lediglich das Wetter und den Wasserstand mit in ihre Modelle ein, der Zustand des Bauwerkes selber wird jedoch nicht berücksichtigt. Dadurch kann es zu katastrophalen Fehleinschätzungen der Gefahrensituation kommen. Mit dem Wissen, dass schon weit vor dem Versagen messbare Zustandsänderungen im Deichkörper eine Schädigung ankündigen, kann diesem Missstand entgegengewirkt werden.

Das Projekt EarlyDike hatte daher ein sensor- und risikobasiertes Frühwarnsystem für Seedeiche zum Ziel, das mehrere Belastungsgrößen wie den Wasserstand, die Strömungen, den Wind und die Wellen sowie die Widerstandsfähigkeit des Bauwerks berücksichtigt. Zur Erfassung der Messdaten im Deich wurden elektrisch leitende faserbasierte Sensoren auf ein Geotextil aufgebracht, siehe Bild 2. Dieses wurde fest im Deich verbaut. Mittels eines sehr kleinen Messmoduls wurden schließlich die Daten erfasst und über eine spezielle Dateninfrastruktur gespeichert. Die erfassten Messdaten, das erwartete Deichverhalten aus Simulationsmodellen, Wetter- und Geodaten wurden anschließend in einem webbasierten Geoportal zusammengeführt und weiterverarbeitet. Im Projekt ist es gelungen das Zusammenspiel aller Komponenten einer Echtzeitüberwachung darzustellen, von der Erfassung der Messwerte im Deichkörper bis hin zur Datenvisualisierung. Das System wurde an Testdeichen im Labor erfolgreich auf seine Funktionsfähigkeit überprüft. Ausgehend von diesen ersten Erfolgen müssen in Zukunft die Robustheit und die langfristige Zuverlässigkeit der Systeme weiter verbessert werden. Auch die automatisierte Herstellung und das zuverlässige Kalibrieren der Sensornetze sind für eine praktikable und flächendeckende Anwendung des Systems bedeutend. Erste Übertragungen auf andere Anwendungsgebiete sind bereits erfolgreich durchgeführt worden und stellen erste vielversprechende Schritte für einen

Weg in eine digitalisierte und smarte Zukunft unserer Erdbauwerke dar.

---

### Autoren

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jörg Blankenbach ist Inhaber des Lehrstuhls für Bauinformatik und Geoinformationssysteme und Leiter des Geodätischen Instituts.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Gries ist Inhaber des Lehrstuhls für Textilmaschinenbau und Leiter des Instituts für Textiltechnik.

Kira Heins, M.Sc., ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Textiltechnik.

Dr.-Ing. Stefan Herlé ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Geodätischen Institut.

Univ.-Prof. Dr.rer.nat. Sven Ingebrandt ist Inhaber des Lehrstuhls für Mikro- und Nanosysteme und Leiter des Instituts für Werkstoffe der Elektrotechnik 1.

Dr.-Ing. Magdalena Kimm ist Bereichsleiterin am Institut für Textiltechnik.

Dr.-Ing. Elena-Maria Klopries ist leitende wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft.

Verena Krebs, M.Sc., war wissenschaftliche Mitarbeiterin des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft.

Dr.-Ing. Till Quadflieg ist Bereichsleiter am Institut für Textiltechnik.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Holger Schüttrumpf ist Inhaber des Lehrstuhls für Wasserbau und Wasserwirtschaft und Leiter des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft.

Linda Wetzel, M.A. ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Mikro- und Nanosysteme.

---

# Kommunen im Klimawandel

## Maßnahmen zur Anpassung an Extremwetterereignisse

The first part of the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) was published recently (08/2021). It shows that we will already see an increase in global mean surface temperature of 1.5 °C (compared to pre-industrial level) by the early 2030s. As a result of rising temperatures, an increase in extreme weather events can also be assumed. These have already occurred more frequently and more intensely in recent years. Many of the changes, especially the global rise in temperature, occurred much faster than expected (IPCC 2021). More and more areas are and will be affected by rising temperatures and the resulting consequences. Especially municipalities are directly affected by the consequences. Even though several efforts to stop or at least slow down climate change have been made, current observations suggest that adaptation to climate change is inevitable. It is the only way to mitigate the unavoidable consequences of climate change that have already occurred and to minimize or avert future damage. Especially local climate adaptation strategies are of particular importance to cope with the situation in future.

Der im August 2021 veröffentlichte erste Teil des sechsten Sachstandsberichtes des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, Weltklimarat) zeigt, dass bereits Anfang 2030 mit einem Anstieg der globalen mittleren Oberflächentemperatur um 1,5 °C im Vergleich zum vorindustriellen Niveau zu rechnen ist. In Folge der steigenden Temperaturen ist ebenfalls von Veränderungen hinsichtlich der Häufigkeit des Auftretens und der Intensität von Extremwetterereignissen auszugehen. Die Klimaanpassung gewinnt dabei zunehmend an Bedeutung. Kommunen sind von den Folgen direkt betroffen. Aufgrund der Raumrelevanz von Klimafolgen schreibt die Deutsche Anpassungsstrategie (DAS) bereits 2008 insbesondere der räumlichen Planung eine wichtige Rolle bei der Anpassung an Klimafolgen zu. Aufgabe der Stadt-, Regional- und Landesplanung ist es, anpassungsfähige Raumstrukturen zu schaffen. Von besonderer Relevanz ist die Umsetzung integrativer Maßnahmen der Risikovor-sorge gegenüber Extremwetterlagen und des Bevölkerungsschutzes (insbesondere Schutz Kritischer Infrastruktur) (DAS 2008:43ff). Die Flutkatastrophe im Juli 2021 zeigt, welche verheerenden Folgen Extremwetterereignisse haben können. Viele Kommunen in West-

deutschland waren und sind durch dieses Ereignis stark betroffen. Laut Deutschem Wetterdienst kann das Ereignis vom 14. Juli 2021 mit über 100 l/m<sup>2</sup> innerhalb von 24 Stunden zwischen Kölner Bucht und Eifel als „Jahrhundertregen“ bezeichnet werden. Diesen Starkregenfällen stehen extreme Hitze- und Trockenperioden gegenüber. Während in Deutschland im Juli ein Plus von 40 Prozent bei den Niederschlägen zu verzeichnen war, herrschten in anderen Teilen der Erde extreme Trockenheit und Hitze. So war der Juli 2021 gemäß der NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) weltweit der heißeste Monat seit Beginn der Aufzeichnungen vor 142 Jahren (DWD 2021, NOAA 2021). Auch in Deutschland treten in Folge des Klimawandels zunehmend Hitze- und Trockenperioden auf. So herrschte im Jahr 2018 von Februar bis November extreme Trockenheit. Mit einer Durchschnittstemperatur von 10,4 °C ist 2018 das wärmste Jahr in Deutschland seit Messbeginn 1881 (DWD 2018). Klimaanpassungskonzepte helfen Kommunen dabei, sich an die bereits eingetretenen und zukünftigen Folgen des Klimawandels anzupassen und auf Extremwetterereignisse vorzubereiten. Neben einer Analyse der klimatischen Ist-Situation werden Klimaprojektionen



Bild 1: Versickerungsmulde in Solingen 2015  
 Foto: Institut für Stadtbauwesen und Stadtverkehr

und die jeweilige Ausgangssituation der Stadt berücksichtigt. Mit Hilfe einer sogenannten Klimawirkungsanalyse ist es möglich, Schwerpunkte und Handlungsbereiche zu identifizieren. Die Erstellung solcher Konzepte wird von Bund und Ländern finanziell gefördert. Im Baugesetzbuch (BauGB), welches die räumliche und planerische Entwicklung der Städte und Gemeinden regelt, ist die Klimaanpassung seit 2013 ein zu berücksichtigender Belang. Ein wichtiges Ziel eines Klimaanpassungskonzeptes ist, das Thema Klimaanpassung in das alltägliche Verwaltungshandeln zu integrieren und innovative Prozesse zur Umsetzung von Maßnahmen anzustoßen. Bereits 2013 entwickelte das Institut für Stadtbauwesen und Stadtverkehr gemeinsam mit den Städten Solingen und Remscheid eine Klimaanpassungsstrategie. Im Rahmen des Folgeprojektes BESTKLIMA, welches von 2014 bis 2017 gemeinsam mit den Städten Remscheid, Solingen und Wuppertal durchgeführt wurde, ging es um die Umsetzung von Maßnahmen zur Klimaanpassung unter Einbezug diverser regionaler und lokaler Akteure. In den Städten wurden dabei vor allem Maßnahmen zur Reduzierung des Überflutungsrisikos durchgeführt. Durch das Stadtgebiet

von Solingen verlaufen viele Bäche, welche über die Jahre immer weiter kanalisiert wurden. Dies führt zusammen mit der zunehmenden Versiegelung dazu, dass es bei Starkregen immer schneller zu Überflutungen kommt. Daher sind bereits viele Siedlungsbereiche in Solingen umgestaltet worden. Neu angelegte Mulden sorgen dafür, dass das Niederschlagswasser besser versickern kann und so die Kanalisation entlastet wird, siehe Bild 1. Außerdem wurden viele der Gewässer renaturiert, sodass die naturnahen Auen wieder einen nachhaltigen Hochwasser- und Überflutungsschutz bieten können. Das Institut für Stadtbauwesen und Stadtverkehr hat von März 2020 bis Oktober 2021 eine Klimaanpassungsstrategie für die Stadt Alsdorf in der StädteRegion Aachen erarbeitet. Im Rahmen einer Klimawirkungsanalyse sind

die Bereiche im Stadtgebiet identifiziert worden, die von den Folgen des Klimawandels betroffen sind beziehungsweise künftig zunehmend betroffen sein werden. Dabei wurde auch das Thema Überflutungen berücksichtigt. Hier sind zunächst die Hochwassergefahren- und auch Hochwasserrisikokarten betrachtet worden. Da in Alsdorf keine größeren Gewässer in der Nähe von sensiblen Nutzungen vorhanden sind, geht hiervon scheinbar eine geringe Gefahr aus. Kleinere Gewässer wie Bäche sind in diesen Karten jedoch kaum berücksichtigt. Die Folgen von Flusshochwasser waren jedoch in der StädteRegion Aachen regional deutlich verschieden, wie die großen Schäden in Eschweiler und Stolberg im Juli 2021 zeigen. Um besonders gefährdete Bereiche im Kontext von Überschwemmungen für ein Gebiet

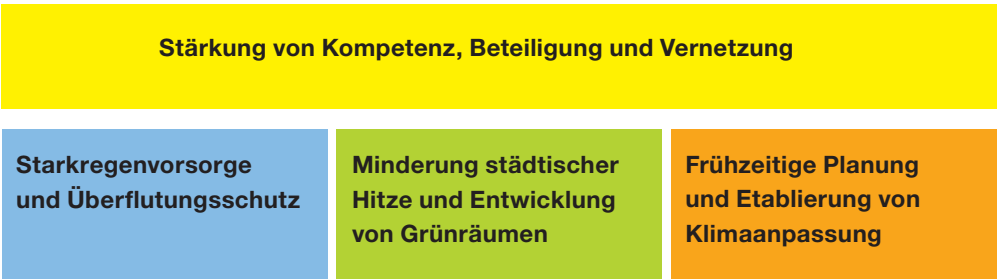


Bild 2: Vier Handlungsfelder der Klimaanpassungsstrategie für die Stadt Alsdorf



identifizieren zu können, muss sowohl eine ereignisabhängige Starkregen-Risikoanalyse erarbeitet (und wenn möglich mit einer Analyse des Kanalnetzes gekoppelt) es müssen die relevanten Hochwasserrisikokarten herangezogen werden.

Auf Grundlage einer Klimawirkungsanalyse und einer verwaltungsinternen Umfrage konnten für die Stadt Alsdorf vier individuelle Handlungsfelder entwickelt werden, die jeweils festgelegte Leitlinien und Ziele beinhalten, siehe Bild 2.

Zu den Handlungsfeldern wurde wiederum jeweils ein Maßnahmenkatalog angefertigt. Für besonders relevante Maßnahmen sind in

einem nächsten Schritt Maßnahmensteckbriefe erstellt worden.

Des Weiteren wurde für die Stadt Alsdorf ein Leitfaden für die räumliche Planung erarbeitet. Dieser soll die Stadtverwaltung bei der Überprüfung von Klimaanpassungsanforderungen in unterschiedlichen Planungsphasen unterstützen. Ein wichtiger Baustein bildet das Thema „Städtebaulicher Entwurf“. Hier wurde anhand eines Plangebietes beispielhaft aufgezeigt, welche Klimaanpassungsmaßnahmen im städtebaulichen Entwurf berücksichtigt werden können, etwa Dachbegrünung, die Entsiegelung und Begrünung von Innen- und Hinterhöfen, die Integration von

Versickerungsmulden oder Tiefbeeten, die multifunktionale Nutzung von Freiflächen, die Integration von offenen und naturnahen Entwässerungsrinnen und bauliche Maßnahmen zur Vermeidung oder Reduzierung eintretender Wassermengen.

Klimaanpassungskonzepte für Kommunen stellen eine übergreifende und interdisziplinäre Planungs- und Umsetzungsstrategie bereit, in der der Überflutungsschutz ein wichtiges Handlungsfeld darstellt. Die nachfolgende konkrete Umsetzung von Maßnahmen ist jedoch der wesentliche Schritt zu mehr Resilienz von Kommunen in Bezug auf die Folgen des Klimawandels.



Bild 3: Planungsbesprechungen im Gelände  
Foto: Peter Winandy

## Autoren

Loisa Welfers, M.Sc., ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Stadtbauwesen und Stadtverkehr.

Dr.-Ing. Andreas Witte ist Akademischer Oberrat am Institut für Stadtbauwesen und Stadtverkehr.

## Quellen

- [1] UBA 2017 [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/publikationen/uba\\_2017\\_leitfaden\\_klimawirkungs\\_und\\_vulnerabilitatsanalysen.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/publikationen/uba_2017_leitfaden_klimawirkungs_und_vulnerabilitatsanalysen.pdf)
- [2] DWD 2021 [https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2021/20210730\\_deutschlandwetter\\_juli2021.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=5](https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2021/20210730_deutschlandwetter_juli2021.pdf?__blob=publicationFile&v=5)
- [3] DWD 2018 [https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2018/20181228\\_deutschlandwetter\\_jahr2018.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2018/20181228_deutschlandwetter_jahr2018.pdf?__blob=publicationFile&v=3)
- [4] IPCC 2021 <https://www.de-ipcc.de/350.php>

NOAA 2021 <https://www.noaa.gov/news/its-official-july-2021-was-earths-hottest-month-on-record>

[5] Die Bundesregierung (2008): Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel. [https://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/das\\_gesamt\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/das_gesamt_bf.pdf)

# Klimafolgenanpassung in Städten

## Umgang mit Extremereignissen als ständige Herausforderung

Climate protection is an established political issue, but another topic area is becoming increasingly important as well: the adaptation of people, nature, and infrastructure to climate change, or climate impact adaptation. In contrast to climate protection, which seeks to protect the environment from human intervention, climate impact adaptation seeks to protect people and their habitats from the effects of climate change.

Climate impacts can unfold their effects at different levels. For example, heavy rain events are often limited to individual urban districts or municipalities, while river floods cause regional or even supraregional impacts. The most important questions regarding climate adaptation are always as follows: What damage can we accept when an event occurs and what damage do we have to prevent? And how can we compare financial damage (monetary value) with ecological damage or even human injury? In this context, it is important to go beyond the

consideration of direct damage and also look at indirect damage.

Even if numerous adaptation measures are taken, a residual risk remains that damage will occur. There is no such thing as a hundred percent security, certainly not with regard to future climatic changes.

Municipal structures are not yet or only insufficiently prepared for climate change. Thus, climate adaptation will not only be an important component of numerous spheres of action in municipal urban structures, but also a continuous challenge for politics, the population, and future generations.

Der Klimaschutz ist ein etabliertes politisches Thema, doch ein weiteres Themenfeld wird zunehmend wichtiger: die Anpassung von Mensch, Natur und Infrastruktur an den Klimawandel, kurz Klimafolgenanpassung. Im Gegensatz zum Klimaschutz, bei dem die Umwelt vor dem Eingriff des Menschen geschützt werden soll, sind es bei der Klimafolgenanpassung der Mensch und seine Lebensräume, die vor den Auswirkungen des Klimawandels geschützt werden müssen. Klimafolgenanpassung findet in mehreren Dimensionen statt. Unterschiedliche Klimafolgen können ihre Wirkung auf verschiedenen Ebenen entfalten. Starkregenereignisse sind beispielsweise häufig auf einzelne Stadtquartiere oder Kommunen beschränkt, während Flusshochwasser regionale oder sogar überregionale Auswirkungen verursachen. Die wichtigste Fragestellung bei der Klimafolgenanpassung für Bürgerinnen und Bürger ist ähnlich wie die bei einer Versicherung: Welche Schäden möchte ich für den Fall eines

Welche Handlungsfelder und welche Aspekte integriert das Themenfeld Wassersensible Stadtentwicklung 2020?



Bild 1: Ausgewählte Handlungsfelder und Aspekte der wassersensiblen Stadtentwicklung  
Quelle: Dynamische Anpassung regionaler Planungs- und Entwicklungsprozesse an die Auswirkungen des Klimawandels in der Emscher-Lippe-Region (Nördliches Ruhrgebiet) im Rahmen des BMBF-Förderprogramms KLIMZUG, FiW

Ereignisses absichern und welches Risiko nehme ich bewusst in Kauf? Hierbei spielen die individuellen Schadenspotenziale und Risikowahrnehmungen eine große Rolle.

Kommunale Klimafolgenanpassung

Neben Privatpersonen und Unternehmen beschäftigen sich auch die Kommunen intensiv mit dem Thema lokale Klimafolgenanpassung. Klimafolgenanpassung ist eine gemeinschaftliche Aufgabe und kann nicht in Form voneinander unabhängiger Einzelmaßnahmen behandelt werden. Stattdessen stellt sie eine Daueraufgabe zahlreicher Aktionsfelder in kommunalen Stadtstrukturen dar. Um erfolgreich einen ganzheitlichen Ansatz wie ein Klimafolgenanpassungskonzept zu implementieren, ist im Regelfall externe Fachexpertise erforderlich, wobei verschiedene Stakeholder und Handlungsfelder einbezogen werden müssen, siehe Bild 1. Genau wie die Auswirkungen des Klimawandels wirken auch Anpassungsmaßnahmen

auf unterschiedliche Systeme. Dies kann ein soziales System, wie eine Stadt oder eine bestimmte Altersgruppe, aber auch ein ökologisches oder ein ökonomisches System sein. Politische Akteure müssen Entscheidungen für Anpassungsmaßnahmen treffen und dabei die unterschiedlichen Auswirkungen berücksichtigen. So können Bauwerke in Flüssen dabei helfen, die stromabwärts liegende Bevölkerung vor einer Hochwasserwelle zu schützen. Gleichzeitig wirkt sich die veränderte Durchgängigkeit der Wasserstraße aber womöglich auf eine stromaufwärts laichende Fischpopulation (ökologisches System) oder auf die Binnenschifffahrt und den damit zusammenhängenden Güterverkehr (ökonomisches System) aus.

Bewertung anhand eines Entscheidungsunterstützungssystems

Eine ganzheitliche Betrachtungsweise muss diese Wechselwirkungen der einzelnen Systeme und Maßnahmen nicht nur beschreiben,

sondern eine möglichst objektive Bewertung enthalten, damit kommunale Entscheidungsträger eine fundierte, transparente und auch für Fachfremde verständliche Entscheidung treffen können. Hierbei kann ein Entscheidungsunterstützungssystem hilfreich sein, in dem komplexe Zusammenhänge berücksichtigt und auf vereinfachte Weise dargestellt werden. Das Forschungsinstitut für Wasser- und Abfallwirtschaft an der RWTH Aachen, kurz FiW, entwickelt aktuell ein Entscheidungsunterstützungssystem für die Stadt Duisburg im Projekt „Strategisches Entscheidungsunterstützungstool zur Anpassung an den Klimawandel auf regionaler und kommunaler Ebene im Rheineinzugsgebiet – R2K-Klim+“. Dieses wird durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) finanziert. Im Konsortium arbeiten Akteure aus Forschung und Praxis mit der Stadt Duisburg als kommunalem Anwender zusammen. Außerdem ermöglichen die Fachgebiete der einzelnen

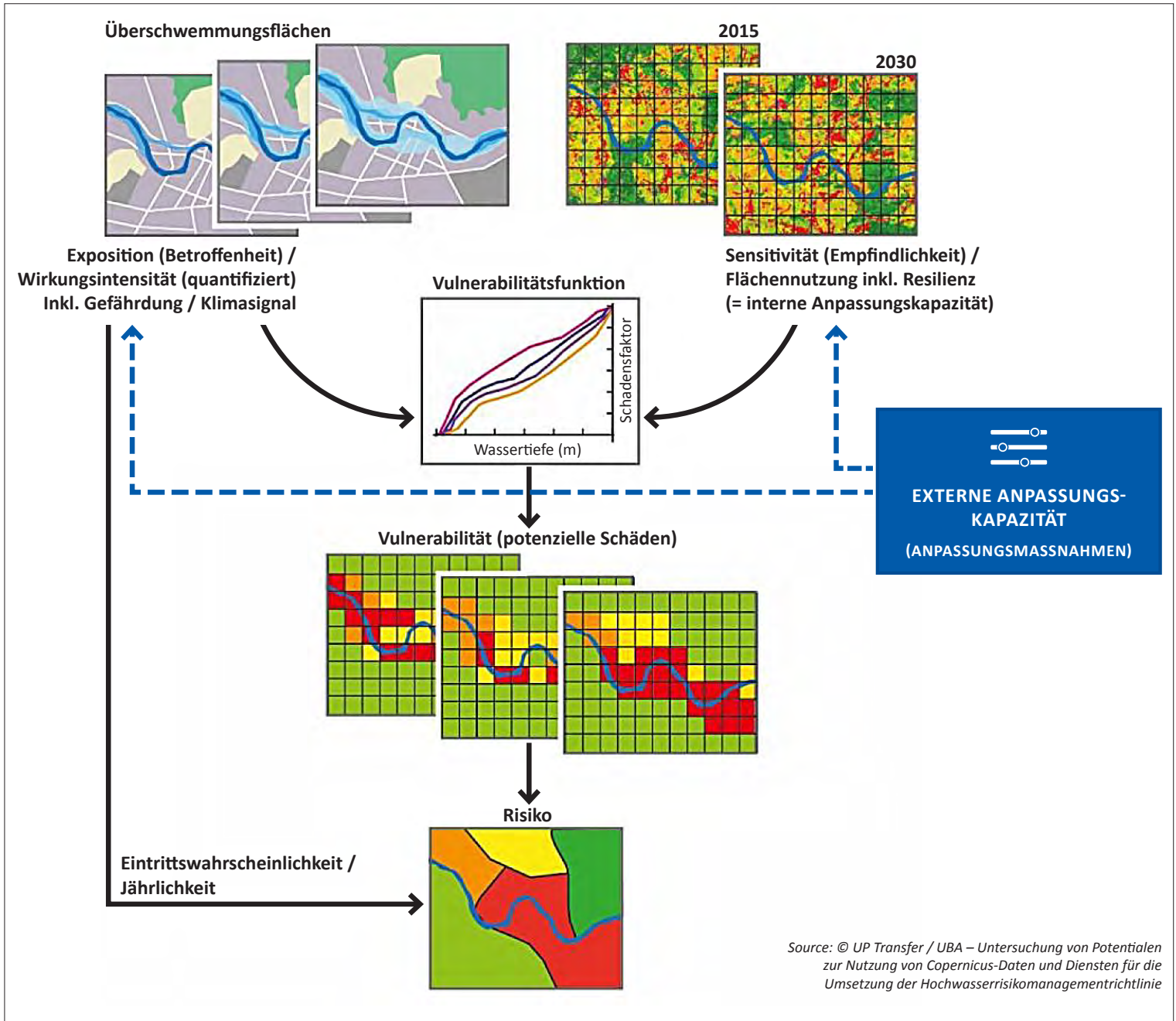


Bild 2: Vulnerabilitäts- und Risikoanalyse im Projekt „Strategisches Entscheidungsunterstützungstool zur Anpassung an den Klimawandel auf regionaler und kommunaler Ebene im Rheineinzugsgebiet - R2K-Klim+“

Quelle: Umweltbundesamt (UBA), modifiziert.

Partner eine integrierte Betrachtung aus ökologischer, ökonomischer und sozioökonomischer Sicht.

Diese ganzheitliche und sektorübergreifende Betrachtung von Klimafolgenanpassung ist ein wichtiges Konzept, um das Thema in sämtliche Planungs- und Entscheidungsprozesse zu integrieren. Nur so kann dem häufig als „Katastrophendemenz“ bezeichneten Verlassen der Erinnerung an Extremereignisse von Betroffenen und Entscheidungsträgern entgegengewirkt werden. In kommunalen Stadtstrukturen muss Klimafolgenanpassung

kontinuierlich berücksichtigt werden, in allen relevanten Themenfeldern (Verkehrsplanung, Katastrophenschutz, Stadtplanung etc.) und bei allen Zielgruppen (Bevölkerung, Politik, Wasserverbände etc.).

#### Die wissenschaftliche Risikoanalyse: Welcher Schaden ist zu erwarten?

Für eine Ermittlung potenzieller Schäden einzelner Systeme sind sogenannte Klimawirkungs-, Sensitivitäts- und Vulnerabilitätsanalysen erforderlich. Hierfür werden die Betroffenheit eines Systems gegenüber einer

Klimawirkung (Exposition) sowie die Eigenschaften des Systems (Sensitivität) benötigt. Häufig werden in einem weiteren Schritt die Eintrittswahrscheinlichkeiten unterschiedlicher Intensitäten der Klimawirkungen einbezogen, in diesem Fall wird dann von einer Risikoanalyse gesprochen, siehe Bild 2. In diesen Analysen wird untersucht, ob und wie stark ökologische, ökonomische oder soziale Systeme von einer Klimawirkung betroffen sind. Dies geschieht spezifisch für jede Klimawirkung: Ein Standort in einem hochverdichteten Siedlungsraum kann eine Vulnerabilität gegenüber urbaner Hitze aufweisen, wenn er nicht an einem Fluss gelegen ist, weist er jedoch keine Vulnerabilität gegenüber Flusshochwasser auf.

Mit den ermittelten Vulnerabilitäten und der Wahrscheinlichkeit des Eintretens eines Ereignisses können potenzielle Schäden in den einzelnen Systemen ermittelt werden. Die Ergebnisse dieser Analysen sind stets mit Vorsicht zu genießen. Datengrundlagen und die modellierten Ereignisse werden immer auch erfahrungsbasiert erstellt. Vor dem Hintergrund zunehmender Häufigkeiten und Intensitäten von Extremereignissen im Zuge des Klimawandels können diese Analysen auch zu einer Unterschätzung der resultierenden Schäden führen.

Hinzu kommt: Wie können monetarisierte Schäden (Geldwerte) mit ökologischen Schäden oder sogar Personenschäden verglichen werden? Hierfür greifen verschiedene Ansätze. Bei der multikriteriellen Bewertungsmethodik werden mehrere Parameter zur Beschreibung der Auswirkungen ausgegeben. So wird nicht nur eine monetäre Gesamtschadenssumme generiert, sondern zum Beispiel auch die Anzahl betroffener Personen ermittelt. Ökologische Schäden sind besonders schwierig einzuordnen. Für einen vom Sturm aus der Erde gerissenen hundertjährigen Baum kann ein neuer Setzling gepflanzt werden, aber bis er die Eigenschaften des ursprünglichen Baumes hat, vergeht eine lange Zeit. Wie kann diese Zeit in Geldwerte umgerechnet werden? Wie ist die angenehme Kühle des Schattenwurfs an einem heißen Sommertag zu bewerten? Welchen Wert hat ein Blick aus dem Fenster auf einen Park statt auf eine Industrieproduktion? Über den Ansatz von Ökosystemleistungen wird versucht, Dienstleistungen der Natur in quantifizierte oder sogar monetarisierte Werte zu überführen.

### **Kosten-Nutzen-Analysen als Entscheidungshilfen**

Letzten Endes werden Entscheidungsträger bei Maßnahmen- und Investitionsentscheidungen immer eine Kosten-Nutzen-Analyse durchführen. Als Kosten fallen in diesem Zusammenhang die Investitionskosten für Klimafolgenanpassungsmaßnahmen sowie für deren Betrieb und Instandhaltung an. Der Nutzen kann aus den Schadenspotenzialanalysen abgeleitet werden: Er entspricht dann dem Anteil des nicht eintretenden Schadens infolge der Anpassung. Dabei ist zu beachten, dass der gewählte Detaillierungsgrad der betrachteten Schadenspotenziale maßgeblichen Einfluss auf die Höhe des Kosten-Nutzen-Verhältnisses nehmen kann.

Direkte Schäden von Extremereignissen sind häufig einfach ersichtlich, etwa an Gebäuden und Infrastruktur. Anders verhält es sich mit den indirekten Schäden: Wer bei einer überfluteten Straße nur daran denkt, dass sich Wasser auf dem Asphalt womöglich nur in Form geringer Erosionserscheinungen auswirkt, vergisst dabei, dass Transportrouten oder Siedlungsgebiete von einer sicheren Straßenüberquerung abhängig sein können. Langwährende Trocken- und Hitzeperioden führen nicht nur zu temporärem Trocken- und Hitzestress bei Bevölkerung und Stadtgrün in urbanen Siedlungsgebieten, sondern langfristig auch zu verringerten Grundwasserständen und niedrigeren Flusspegeln, was wiederum die Binnenschifffahrt und die anhängenden Industriezweige beeinträchtigen kann. Diese „indirekten“ Folgen führen bei Nichtbeachtung dazu, dass die notwendigen Investitionsentscheidungen nicht getroffen werden, weil beim Verhältnis von Kosten und Nutzen ein beträchtlicher Anteil des Nutzens, nämlich die Nichtentstehung dieser indirekten Schäden, außen vor gelassen wird.

### **Risikowahrnehmung und Klimafolgenanpassung als Herausforderung**

Auch bei Ergreifung zahlreicher Anpassungsmaßnahmen bleibt ein Restrisiko bestehen, dass dennoch Schäden auftreten. Eine hundertprozentige Sicherheit kann es aufgrund der Vielzahl an Naturgefahren und vor dem Hintergrund zukünftig steigender Intensitäten von extremen Wetterereignissen nicht geben, sie zu erreichen wäre auch völlig unwirtschaftlich. Es ist somit legitim, dass Entscheidungsträger anhand ihrer Erfahrungen eine unterschiedliche Risikowahrnehmung entwickeln, genau wie jeder selbst einschätzt, ob er für sein Auto einen Voll-

kasko- oder doch nur einen Teilkaskoschutz benötigt. Ein Starkregen- und Hochwasserereignis wie im Juli 2021 verändert häufig die Wahrnehmung in Bezug auf die Eintrittswahrscheinlichkeiten von extremen Wetterbedingungen. Dies führt in der Folge auch zu einer veränderten Risikowahrnehmung. Bewohner von gefährdeten Bereichen informieren sich nun über die Möglichkeiten, selbst Maßnahmen gegen Überflutungen zu ergreifen oder schließen eine Elementarversicherung für Wohngebäude und Hausrat ab. Auch die kommunale Politik erwägt Investitionsmöglichkeiten zur Vermeidung zukünftiger Schäden, zumindest solange ein hohes Interesse in der Bevölkerung an der Thematik besteht. Mit dem Abflauen des öffentlichen Interesses rücken auch große Schadensereignisse mit der Zeit wieder in den Hintergrund. Doch die klimatischen Bedingungen in Deutschland werden sich verändern. Extremereignisse werden häufiger und mit höherer Intensität auftreten. Sie treffen auf Strukturen mit hohem Schadenspotenzial, die bislang nicht oder nur unzureichend an diese neue Realität angepasst sind. Diese Erkenntnis muss vor allem in das kommunale Verwaltungshandeln integriert werden. Klimafolgenanpassung ist nicht nur ein wichtiger Bestandteil zahlreicher Aktionsfelder in kommunalen Stadtstrukturen, sondern fortan auch eine kontinuierliche Herausforderung für Politik, Bevölkerung und kommende Generationen.

---

### **Autoren**

Mark Braun, M. Sc., ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Forschungsinstitut für Wasser- und Abfallwirtschaft an der RWTH Aachen (FiW) e. V.

Dr.sc. Dipl.-Ing. Frank-Andreas Weber ist Geschäftsführer des Forschungsinstituts für Wasser- und Abfallwirtschaft an der RWTH Aachen (FiW) e. V.

---





# Resilienz und Kulturerbe auf der „Urban Agenda“ der Europäischen Union

## Stadtentwicklungspolitik gestalten

Over the last fifteen years, the policies of the European Union have been focusing on the sustainable development of cities and regions, based on social cohesion. Those policies also address the challenges faced by European municipalities due the worsening climate crisis. Researchers from RWTH Aachen University are contributing to one of the Actions of the Urban Agenda for the EU and developing recommendations for the European Commission. Their research project, launched by the Federal Office for Building and Regional Planning (BBSR), explores the intersections of the topics of resilience and building heritage in order to promote an integrated approach to risk management for built heritage in European cities.

The research led by Prof. Christa Reicher (RWTH, Chair of Urban Design and Institute for Urban Design and European Urbanism) and Prof. Dr. Carola Neugebauer (RWTH, Chair of Conservation of Cultural Heritage), in cooperation with Prof. Dr. Stefan Greiving (TU Dortmund, Institute of Spatial Planning), focuses on the built heritage as a major cultural, economic and ecological resource, which is crucial for the sustenance and resilience of urban communities of different levels and scope. At the same time, it recognizes the built heritage as vulnerable to a range of

risks and disasters, both human-made and non-anthropogenic.

The research project examines the ways to interconnect and strengthen existing integrated approaches in the field of risk and heritage management in European cities. It addresses the insufficient connectivity between different fields and actors: between heritage and risk management and between different levels within each field; between the prevention and adaptation activities of urban and spatial planning, on the one hand, and the preparations for potential threats and disasters by civil protection, on the other. It also indicates the already existing opportunities provided by the legal regulations which are not being used.

The main goal of the research is to define the Guiding Principles for Resilience and Integrated Approaches in Risk and Heritage Management in European Cities. Those will be combined in a hand book for municipal practitioners in European cities. The project findings will also serve as a basis for policy recommendations, which will be presented to the European Commission in the first half of 2022. Locally, the produced results will be assessed and evaluated in a gaming simulation in a German city.

Bild 1: Wie dicht soll das resistente Quartier der Zukunft sein?  
Christa Reicher und Stefan Krapp erproben am Modell Konzepte der Stadtreparatur  
Foto: Peter Winandy



Das Hochwasser im Sommer 2021 hat Teile Deutschlands, Belgiens, der Niederlande, Österreichs und der Schweiz auf dramatische Weise betroffen. Mitten in der COVID-19-Pandemie hat die Flutkatastrophe vor Augen geführt, welchen Gefahren unsere Lebensräume zunehmend ausgesetzt sind: sei es durch Menschen verursachte Bedrohungen wie Klimawandel, Epidemien, technische Störfälle und Kriege, oder durch geologische Phänomene wie Erdbeben. Wie macht man Städte widerstands- und anpassungsfähig gegen solch extreme Situationen?

Das Institut für Städtebau und europäische Urbanistik und die Juniorprofessur Sicherung kulturellen Erbes beschäftigen sich seit Januar 2021 mit der Frage, wie man auf lokaler Ebene im Handlungs- und Planungsfeld des Risikomanagements die Widerstandsfähigkeit von Städten und ihrem Kulturerbe stärken kann. In Kooperation mit dem IRPUD an der Fakultät für Raumplanung der TU Dortmund wird nach Wegen gesucht, die fachliche Zusammenarbeit der Akteurinnen und Akteure besser zu fundieren und zu organisieren. Zentrales Anliegen des Forschungsvorhabens ist es, die bestehenden Ansätze des Risiko- und Kulturerbemanagements zu integrieren. Es gilt dabei, die bisherigen Konflikt- und Problempunkte klar zu benennen und Lösungen anzubieten, sowie aus europäischen Praxisbeispielen und laufenden Forschungsprojekten zu lernen. Auf dieser Grundlage soll ein Austausch in Gang gesetzt werden, um schließlich Leitlinien und Empfehlungen für den künftigen Umgang zur Förderung einer integrierten Arbeitsweise im Bereich des Risikomanagements für das baukulturelle Erbe zu entwickeln. Dies soll in einem ersten Schritt

auf europäischer Ebene betrachtet und anschließend mit einem Fokus auf deutsche Kommunen weitergehend untersucht werden. Im Projekt „Resilienz und baukulturelles Erbe – Integrierte Ansätze zum Risikomanagement des kulturellen Erbes in der bestandsorientierten Stadtentwicklung“ wird der sogenannte Allgefahrenansatz verwendet, der unter anderem meteorologische, hydrologische, geologische und anthropogene Gefahren gleichermaßen betrachtet.

Die Förderung der gesellschaftlichen Resilienz gegenüber Katastrophen und Krisen ist von großer politischer Bedeutung, sowohl für Deutschland, als auch für die Mitgliedstaaten der Europäischen Union. Viele Kommunen in Europa haben Klimaanpassungsstrategien, Gefahren- und Katastrophenschutzplanungen entwickelt. Diese Pläne berücksichtigen jedoch nur selten die Bedeutung und besonderen Anforderungen des Kulturerbes. Das kulturelle Erbe wird vielfach nicht als Themenfeld betrachtet, das integriert werden muss und neuer beziehungsweise angepasster Ansätze in der Risikoermittlung, Bewertung und Anpassung bedarf. Es wird der Beitrag, den das Kulturerbe zur städtischen Resilienz leistet, übersehen.

Die Verwaltung des Kulturerbes konzentriert sich nur auf die Erhaltung und den allgemeinen Schutz, ohne sich mit der Thematik des präventiven und reaktiven Risikomanagements zu beschäftigen. Es fehlt die Verbindung zwischen den einzelnen Planungsabteilungen, der Kontakt zum Katastrophen- und Zivilschutz, der im Notfall greifen muss, sowie auch die Verbindung zur Wissenschaft, um integrierte Ansätze entwickeln sowie lokal verfolgen und umsetzen zu können. Darüber

hinaus mangelt es vielfach an Wissen über die Zuständigkeiten und die Frage, welche Akteure oder Abteilungen in Prozesse eingebunden werden sollten beziehungsweise müssten. Mit Blick auf die Kulturerbestätten werden oft die Bedeutung der Zivilgesellschaft sowie nichtstaatlicher Organisationen vernachlässigt, obwohl beide wichtig im Risikomanagement sein könnten.

Da diese Problematik eine europaweite Brisanz hat, wurde sie zum Fokus einer der sogenannten „Aktionen“ innerhalb der „Urban Agenda“ für die EU. Die Urban Agenda bringt Akteurinnen und Akteure der EU, der Mitgliedstaaten, aus Regionen und Städten zusammen und will eine bessere, gezieltere und effizientere Umsetzung der EU-Politik für die Mitgliedstaaten und Kommunen. In 14 thematischen Partnerschaften werden innovative Lösungen für Problembereiche in der Stadtentwicklung erarbeitet. Die Partnerschaft „Culture and Cultural Heritage“, kurz CCH, widmet sich der Steuerung des Umgangs mit Kultur und kulturellem Erbe. Basis ist die Überzeugung, dass Kultur und kulturelles Erbe eine unverzichtbare Quelle für die soziale, ökologische und wirtschaftliche Nachhaltigkeit der Städte sind und einen wesentlichen Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung aller Arten städtischer Siedlungen leisten. Die Partnerschaft wird vom Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) und dem Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) gemeinsam mit Italien gesteuert. Eine der elf Aktionen dieser Partnerschaften widmet sich den Fragen von Resilienz und Kulturerbe.

Die Arbeit folgt dem innovativen Ansatz der Urban Agenda und basiert auf einem regen Austausch zwischen dem Forschungsteam und verschiedenen Stakeholdern: Vertreterinnen und Vertreter kommunaler Verwaltung, lokaler und regionaler Regierungen und ihrer europäischen und internationalen Netzwerke, sowie Expertinnen und Experten und Praktikerinnen und Praktikern aus allen Bereichen des Kulturerbe- und des Risikomanagements.

Der Konzeption des Forschungsvorhabens liegt eine Reihe von Fragestellungen zugrunde: Welches Verständnis der zentralen Schlüsselbegriffe liegt vor und welche Unschärfen sind vorhanden? Welche Ansätze im Bereich des integrierten Risikomanagements werden genutzt? Wie wird zwischen präventiven und schadensminimierenden Maßnahmen unterschieden? Wo liegen Herausforderungen und Hemmnisse? Welche möglichen Konflikte zwischen Erbmanagement und Risikoprävention werden thematisiert? Welche (unbeabsichtigten) Nebeneffekte treten auf beziehungsweise werden erwartet? Welche Akteurinnen und Akteure, Stakeholder und Institutionen sind zu beteiligen, und wie können Koordination und Kooperation besser gestaltet werden?

Um diese Leitfragen zu beantworten, wurden im ersten Schritt von Januar 2021 bis Mai 2021 die bestehenden Dokumente, welche einen integrierten Ansatz im Bereich des Risiko- und Kulturerbemanagements favorisieren, analysiert. In einem weiteren Schritt im Juni 2021 wurden gute Beispiele in europäischen Kommunen gesucht, ausgewählt und analysiert. Zur Überprüfung und Vertiefung der gewonnenen Erkenntnisse wurden im Juni 2021

15 Interviews mit Expertinnen und Experten aus Bereichen des Kulturerbe- und Risikomanagements geführt. Die Schlussfolgerungen aus diesen Arbeitsschritten wurden in einem Scoping Paper zusammengefasst.

Anfang September 2021 fand ein zweitägiger Workshop in Bordeaux statt, um die Ergebnisse des Scoping Papers mit internationalen Experten zu diskutieren, gemeinsam wurden Guiding Principles zur Förderung eines integrierten Risikomanagements entworfen. Auf dieser Grundlage wird bis Ende Dezember 2021 ein Guidance Paper erstellt, das insbesondere die lokale Ebene unterstützen soll. Zusammen mit den Berichten der anderen zehn Aktionen der CCH-Partnerschaft wird es in den Abschlussbericht einfließen. Aus diesem werden schließlich politische Empfehlungen abgeleitet, die der Europäischen Kommission im Mai/Juni 2022 vorgelegt werden sollen.

Die Ergebnisse der Forschung sollen auch für die deutsche Planungspraxis nutzbar gemacht werden. Es soll geprüft werden, wie integrierte Ansätze im Risikomanagement für Kommunen in Deutschland entwickelt werden können. Vertiefende Untersuchungen in ausgewählten Städten gewährleisten den Brückenschlag zur kommunalen Praxis und zeigen, welche Herausforderungen sich aus Sicht kommunaler Akteurinnen und Akteure stellen. Die Ergebnisse werden abschließend im Rahmen eines Planspiels mit der Stadt Bad Münstereifel erprobt und ausgewertet.

---

## Autoren

Prof. Dr. Stefan Greiving ist Leiter von IRPUD an der Fakultät für Raumplanung der TU Dortmund.

Oxana Gourinovitch ist Mitarbeiterin bei RHA REICHER HAASE ASSOZIIERTE.

Christoph Klanten ist Gesellschafter bei RHA REICHER HAASE ASSOZIIERTE.

Dr.-Ing. Carola Silvia Neugebauer ist Juniorprofessorin zur Sicherung kulturellen Erbes.

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Christa Reicher ist Inhaberin des Lehrstuhls für Städtebau und Entwerfen und Leiterin des Instituts für Städtebau und europäische Urbanistik.

Leonie Schödl ist Mitarbeiterin bei plan+risk consult in Dortmund.

Vanessa Ziegler ist Mitarbeiterin bei RHA REICHER HAASE ASSOZIIERTE.

---



36





# Wasserbezogene Ökosystemleistungen

## Ökonomie trifft Naturwissenschaften

Water is involved in the provision of almost all ecosystem services. Water forms the basis of nutrient cycles, contributes to soil formation and is an essential factor for our food production. But water is also of major importance for climate regulation, the general functioning of ecosystems, and the preservation of biodiversity. Water purity is a prerequisite for the prevention of diseases and a high quality of life. Nevertheless, the true value of water is underestimated and insufficiently included in decisions. The paper highlights methods that can be used for the valuation of water-based ecosystem services.

Wasser ist neben Sauerstoff der elementare Baustein unseres Lebens. Wie wertvoll Wasser ist, wird im auch verfilmten Roman „The Martian“ von Andy Weir deutlich, in dem der auf dem Mars gestrandete Astronaut Mark Watney mit enormem technischen Aufwand einen primitiven Wasserkreislauf unterhält, um sich gerade so am Leben zu halten. Diese Leistung wird auf unserem Planeten tagtäglich und nahezu „kostenlos“ durch unsere Ökosysteme erbracht. Solche Ökosystemleistungen nehmen wir in der Regel als selbstverständlich hin. Dabei lohnt sich ein näherer Blick auf den tatsächlichen Wert von Wasser – nicht nur aufgrund von Dürrekatastrophen und Hochwasserereignissen. Wasser ist an der Erbringung nahezu aller Ökosystemleistungen beteiligt, siehe Bild 1. Dass wir sauberes Frischwasser für unsere täglichen privaten Bedürfnisse und die industrielle Produktion benötigen, braucht nicht erwähnt zu werden. Wasser bildet überdies die Grundlage von Nährstoffkreisläufen, trägt

zur Bodenbildung bei und ist ein wesentlicher Faktor für unsere Nahrungsmittelproduktion. Aber auch für die Klimaregulierung, die generelle Funktionsfähigkeit von Ökosystemen sowie für den Erhalt der Biodiversität hat Wasser eine herausragende Bedeutung. Wasserreinheit ist die Voraussetzung für die Vermeidung von Krankheiten und eine hohe Lebensqualität von Menschen. Jedes Jahr sterben mehr als fünf Millionen Menschen an sogenannten „Water-borne Diseases“ – das sind etwa fünfmal so viele wie die weltweiten Verkehrstoten und so viele Menschen wie bislang (Stand Ende 2021) an COVID-19 verstorben sind. Dennoch ist die Aufmerksamkeit für die Ressource Wasser vergleichsweise gering. Aktuelle extreme Wetterereignisse zeigen, dass Wasser auch auf der Erde zunehmend nicht mehr in der gewünschten Menge und Qualität am jeweiligen Ort zur Verfügung steht. Deshalb wird es immer wichtiger, sich mit dem Zusammenhang von Ökosystemleistungen und Wasser zu beschäftigen und der Ressource Wasser ihren „wahren“ Wert beizumessen. Hier sollten auch monetäre Bewertungsansätze zum Einsatz kommen, damit Wasser stärker in marktliche Entscheidungen einbezogen wird und die Ökosystemleistungsfähigkeit für alle Menschen, Pflanzen und Tiere erhalten bleibt. Ein Beispiel: Die Inde wurde 2005 bei Jülich verlegt, und aus einem fünf Kilometer langen, begradigten Flusslauf wurde die 12,5 Kilometer lange neue Inde gestaltet. Unter Berücksichtigung vielfältiger Interessen, vor allem aus dem Naturschutz, wurde ein neues Gewässer um den Tagebau herum verlegt. Erstmals wurde auch nicht von Ufer zu Ufer geplant, sondern regelmäßige Überflutungen der Gewässerrandstreifen waren beabsichtigt. Dem neuen Flusslauf wurde mehr Platz

| Ökosystemleistungen                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Unterstützend</b> <ul style="list-style-type: none"><li>· Nährstoffkreisläufe</li><li>· Bodenbildung</li><li>· Primärproduktion</li></ul>                                        | <b>Bereitstellend</b> <ul style="list-style-type: none"><li>· Nahrungsmittel</li><li>· Frischwasser</li><li>· Holz und Fasern</li><li>· Treibstoff</li></ul> |
| <b>Regulierend</b> <ul style="list-style-type: none"><li>· Klimaregulierung</li><li>· Hochwasserregulation</li><li>· Regulation von Krankheiten</li><li>· Wasserreinigung</li></ul> | <b>Kulturell</b> <ul style="list-style-type: none"><li>· Ästhetik</li><li>· Spirituell</li><li>· Bildend</li><li>· Erholung</li></ul>                        |
| Biodiversität                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                              |

Bild 1: Klassifikation von Ökosystemdienstleistungen  
In Anlehnung an: Millennium Ecosystem Assessment (2005)



Bild 2: Peter Letmathe und Yashvi Baria erforschen Wasserqualität und -verfügbarkeit als Lebensquelle  
Foto: Peter Winandy

und Überflutungsfläche gewährt. Mit der 2005 abgeschlossenen Renaturierung konnte die gewünschte naturnahe, morphologische Entwicklung erreicht werden. Diese hat den Erholungswert der Region gesteigert und auch die Biodiversität der umgebenden Agrarlandschaft erhöht. Der Fluss kann hier frei mäandrieren und sich verzweigen. Die Renaturierung hat sich daher positiv bewährt. Sie wirkt sich einerseits auf Flora und Fauna aus, und andererseits konnte in diesem breiten Flussbett Wasser zurückgehalten beziehungsweise aufgenommen werden. Insgesamt sollten zukünftig mehr solcher Retentionsflächen geschaffen werden, um den Flusslandschaften mehr Platz für die Natur und für den Hochwasserschutz zu gewähren. Wie lässt sich nun aber der monetäre Wert solcher und weiterer wasserbezogenen Ökosystemleistungen erfassen? Hierfür gibt es gleich mehrere Ansätze. Sicherlich am bekanntesten ist die Bewertung mit Schadenskosten, das heißt die Bewertung von Schadensereignissen, beispielsweise einer Flut, mit den dadurch entstandenen ökonomischen Schäden. Dabei kann es sich um zerstörte Gebäude, um die Entfernung von Schadstoffen aus der Umwelt oder um Behandlungskosten aufgrund von Gesundheitsschäden handeln. Weitere Ansätze messen die Kosten der Schadensprävention, die darauf abzielt, ein Schadensereignis zu verhindern beziehungsweise seine Folgen

zu mildern. Der Ansatz der Zahlungsbereitschaften misst die Zahlungswilligkeit der Bürger, die sie zum Beispiel einer Erholungslandschaft oder einer erhöhten Biodiversität beimessen. Monitoringkosten sind Kosten, die für die Überwachung der Wasserqualität oder die Vorhersage von Flutereignissen entstehen, um größere Schäden zu vermeiden. Die Ergebnisse solcher Bewertungen und Studien zeigen, dass der Erhalt von Ökosystemen und die damit verbundenen Ökosystemleistungen häufig synergetisch betrachtet werden können. Der naturnahe Ausbau der neuen Inde trägt zur Klimaregulierung, zur Hochwasserregulation, zur Erhöhung der Biodiversität sowie zur Stärkung von Nahrungskreisläufen bei gleichzeitiger Steigerung des Erholungswertes bei. Dies reduziert nicht nur potenzielle Schadenskosten, sondern verringert auch künftige Präventionskosten, erhöht die Zahlungsbereitschaft und mindert Monitoringkosten, da stabile Ökosysteme letztlich auch nicht so engmaschig überwacht werden müssen.

Während der Wert der wasserbezogenen Ökosystemleistungen der neuen Inde erheblich über den angefallenen Renaturierungskosten liegt, so ist der Aufwand doch erheblich niedriger als der des Astronauten Mark Watney zur Erhaltung seines Wasserkreislaufs. Je mehr wir aber die Erbringung von Ökosystemleistungen durch unsere Ökosysteme beeinträchtigen, desto mehr nähern wir

uns der Situation auf dem Mars an. Frei nach Arthur Schopenhauer gilt deshalb schon jetzt: „Wasser ist nicht alles, aber ohne Wasser ist alles nichts.“

### Quellen

- [1] Maaß, A.-L., Esser, V., Frings, R., Lehmkuhl, F., Schüttrumpf, H. (2018): Morphodynamische Entwicklung eines renaturierten Gewässers am Beispiel der neuen Inde. Wasser und Abfall, 06/2018: 22-28
- [2] Maaß, A.L., Esser, V., Frings, R.M., Lehmkuhl, F., Schüttrumpf, H. (2018): A decade of fluvial morphodynamics: relocation and renaturation of the Inde River (North-Rhine Westphalia, Germany). Environmental Sciences Europe, 30:40. <https://doi.org/10.1186/s12302-018-0170-0>
- [3] Millennium Ecosystem Assessment (2005): Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC

### Autoren

Univ.-Prof. Dr.rer.nat. Frank Lehmkuhl ist Inhaber des Lehrstuhls für Physische Geographie und Geoökologie.  
Univ.-Prof. Dr.rer.pol. Peter Letmathe ist Inhaber des Lehrstuhls für Controlling.

# Wie stark sind Unternehmen von den Folgen des Klimawandels betroffen?

## Gefährdungsanalysen im Projekt „KlimaSicher“

The July 2021 events in Germany demonstrated the dangers posed by flooding. The number of fatalities shows that floods can be life-threatening. At the same time, the floods were accompanied by high property damage and loss of productivity for companies. In the Aachen region alone, 2,500 companies were affected by the floods. Against this backdrop, this article deals with the topic of climate adaptation for companies with a focus on climate impact analyses.

Die Hochwasserereignisse im Juli 2021 haben vor Augen geführt, welche Gefahren von Überflutungen ausgehen. Die Anzahl der Todesopfer zeigt, dass Hochwasser und Sturzfluten Leib und Leben bedrohen können. Gleichzeitig gingen die Überflutungen mit hohen Sachschäden und Produktionsausfällen für Unternehmen einher. Allein in der StädteRegion Aachen waren laut Industrie- und Handelskammer Aachen 2.500 Unternehmen von Überschwemmungen betroffen. Das Forschungsprojekt „KlimaSicher – Identifizierung, Aktivierung und Beratung von Unternehmen zur Anpassung an den Klimawandel“ hat sich zum Ziel gesetzt, Unternehmen in NRW für die Folgen des Klimawandels zu sensibilisieren und bei der Anpassung an ebenjene zu beraten. Hieran sind das Institut für Stadtbauwesen und Stadtverkehr der RWTH, der Lehrstuhl für Marketing der TU Dortmund sowie die Kreise Siegen-Wittgen-

stein, Soest und Warendorf beteiligt. In der Modellregion, die sich aus dem Gebiet der drei Kreise zusammensetzt, war es Aufgabe des Instituts für Stadtbauwesen und Stadtverkehr, vorab zu untersuchen, welche Unternehmensstandorte in besonderem Maße von den Folgen des Klimawandels betroffen sind. Im Fokus sollten dabei Extremereignisse wie Hitzewellen einerseits und Starkregen sowie Flusshochwasser andererseits stehen. Aber wie lässt sich die Betroffenheit für einen so großen Untersuchungsraum und eine so große Anzahl an Unternehmen analysieren? Das methodische Vorgehen war eine Klimawirkungsanalyse. Die Klimawirkung (oder Betroffenheit) setzt sich aus drei Komponenten zusammen: klimatische Einflüsse, deren räumliches Vorkommen und Sensitivitäten (Anfälligkeiten), siehe Bild 1. Diese gilt es jeweils über passende Indikatoren abzubilden. Dazu sind Daten notwendig, die flächendeckend für die Kreise vorliegen müssen.

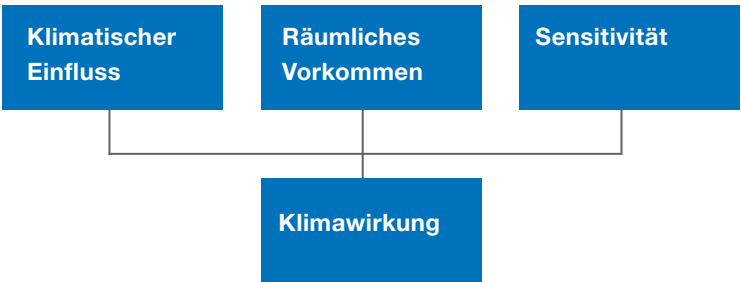


Bild 1: Komponenten der Klimawirkung

Für die Analyse standen folgende Fragen im Mittelpunkt: An welchen Gewerbestandorten treten heiße Tage häufig auf? Wo sind die thermischen Belastungen besonders hoch? Auf welchen Gewerbestandorten staut sich im Starkregenfall bedrohlich viel Wasser ein? Welche Gewerbestandorte werden im Hochwasserfall überschwemmt?

Um zu überprüfen, ob und in welcher Ausprägung die klimatischen Einflüsse an den Gewerbestandorten vorkommen, wurden verschiedene Geodaten mit Geoinformationssystemen verarbeitet. Dabei sollte möglichst auf öffentlich zugängliche Daten zurückgegriffen werden, sodass die Übertragbarkeit der Methodik auf andere Gebiete möglich ist. Die Ausgangslage in Nordrhein-Westfalen ist dabei beispielsweise im Themenfeld Hitze recht günstig. Hier existiert – neben den verfügbaren Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes – auch eine landesweite Klimaanalyse, die die thermische Belastung für jeden Baublock bewertet.

Im Themenfeld Überflutungen unterscheidet die Analyse zwischen Überflutungen infolge von Starkregen oder infolge von Flusshochwasser. Starkregenereignisse gehen mit eher kurzen, heftigen Niederschlägen einher, die kleinräumig sind und überall auftreten können. Langanhaltender Landregen, der großflächig fällt, kann hingegen Flusshochwasser auslösen. Die Betroffenheit der Unternehmen infolge von Flusshochwasser wurde mittels der Hochwassergefahren beziehungsweise Hochwasserrisikokarten des Landes NRW er-

mittelt. Hierzu wurde für alle Gewerbeflächen der Anteil der im Hochwasserfall überfluteten Fläche bestimmt, wobei zwischen verschiedenen Wiederkehrwahrscheinlichkeiten differenziert wurde. Die Einteilung erfolgte in HQhäufig für alle 5 bis 20 Jahre, HQ100 für alle 100 Jahre und HQextrem für seltener als alle 100 Jahre, siehe Bild 2. Für die Bewertung der Betroffenheit wurden Flächen, die schon bei häufigen Hochwassern überflutungsgefährdet sind, stärker gewichtet.

Um gleichermaßen kurze, heftige Starkregenereignisse mitberücksichtigen zu können, muss eine Analyse vorliegen, die modelliert, wo sich im Starkregenfall wie hoch Niederschlagswasser einstaut. Solche kreisweiten Starkregenanalysen existieren in der Regel nicht, da es schwierig und mit vielen Einschränkungen verbunden ist, Starkregen auf so einer großen Fläche zu modellieren. Im Rahmen des Projekts „EvolvingRegions“ erarbeitete IRPUD der TU Dortmund solche Analysen für die Kreise Siegen-Wittgenstein und Soest, und stellte sie dem Projekt KlimaSicher zur Verfügung. Entsprechend der in EvolvingRegions angewandten Methodik wurde im Projekt KlimaSicher durch das Institut für Stadtbauwesen und Stadtverkehr eine Starkregenanalyse für den Kreis Warendorf erstellt, sodass die Betroffenheit durch Starkregen in allen drei Kreisen auf der Grundlage ähnlicher Daten analysiert werden konnte.

Die Sensitivität oder Anfälligkeit von Unternehmen zu bestimmen, ist eine komplexere Aufgabe. Je nach Branchenzugehörigkeit sind Gewerbestandorte sehr verschieden ausgestaltet. Während bei einem Metallverarbeitungsunternehmen im Überflutungsfall Beschädigungen wesentlicher Maschinen und damit längere Betriebsunterbrechungen drohen, kann ein Dienstleistungsunternehmen, das in einem mehrgeschossigen Gebäude ansässig ist, nach einer Überflutung vielleicht schneller wieder operieren – vorausgesetzt Elektroverteilereinrichtungen und Serverräume befinden sich nicht in Erd- oder Kellergeschossen. Somit wäre das Metallverarbeitungsunternehmen deutlich anfälliger – es hätte eine höhere Sensitivität – gegenüber Überflutungen als das Dienstleistungsunternehmen.

Es wird schnell deutlich: Die Sensitivität eines Gewerbestandsorts hängt von vielen Faktoren ab. Diese im Detail für alle Gewerbeflächen innerhalb der Kreise zu bestimmen, hätte den Analyserahmen deutlich überstiegen. Um sich dennoch anzunähern, wurde der Anteil der Gebäudefläche der Gewerbestandorte als Indikator mitberücksichtigt; zum einen, weil Gebäude versiegelte Flächen darstellen und ein hoher Anteil versiegelter Flächen grundsätzlich die Anfälligkeit für Überflutungen erhöht; zum anderen, da ein hoher Anteil an Gebäudefläche darauf hindeutet, dass größere bauliche Anlagen existieren, die im Überflutungsfall beschädigt werden können. Im Geoinformationssystem wurden die

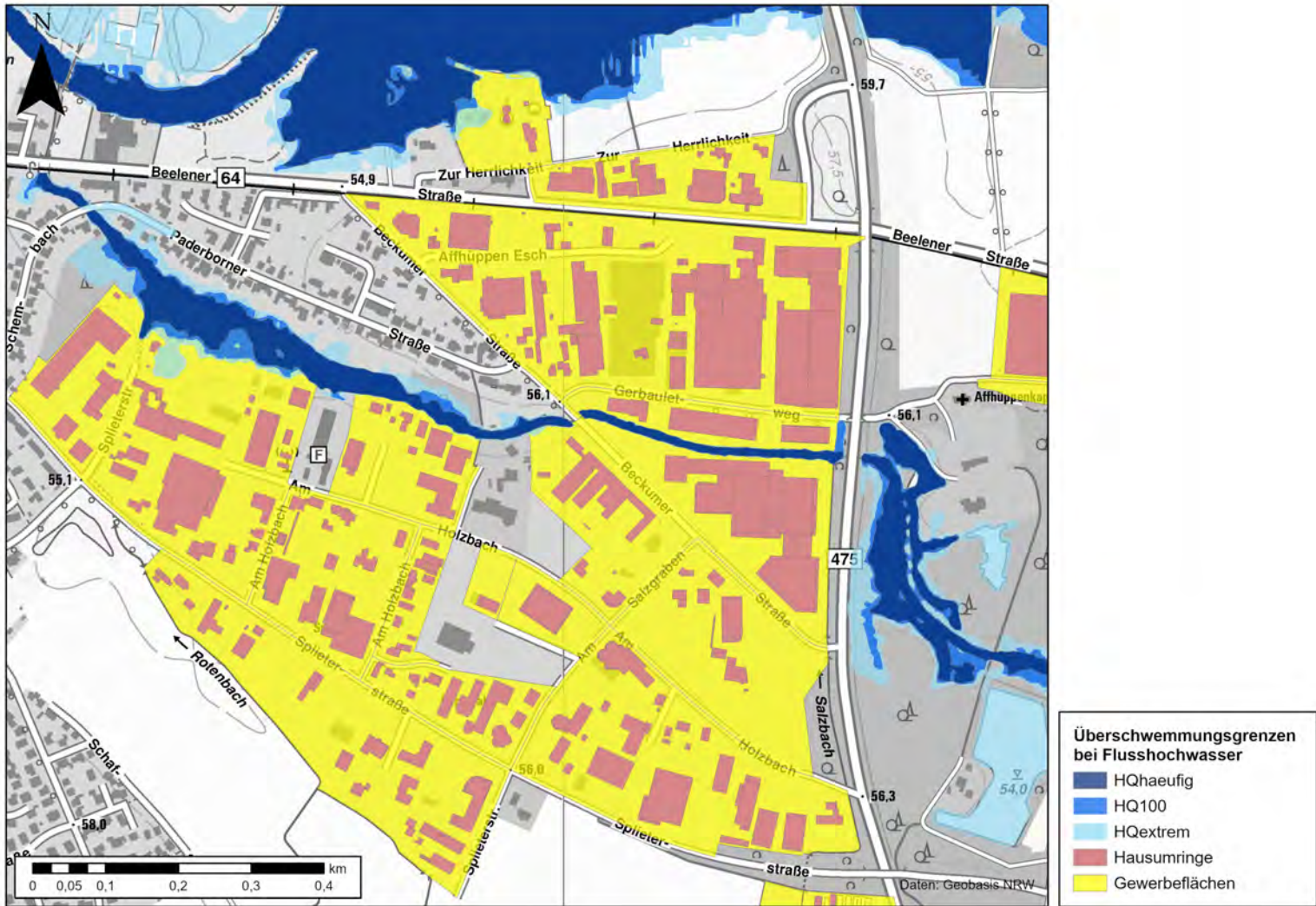


Bild 2: Überschwemmungsgrenzen bei Flusshochwasser

Datenquelle: Geobasis NRW; LANUV NRW

Geodaten und Indikatoren weiterverarbeitet. Für alle gewerblichen Flächen konnte so als Ergebnis ein Index der Klimawirkung und der Betroffenheit jeweils für die klimatischen Einflüsse Hitze, Starkregen und Flusshochwasser bestimmt werden. Mittels dieses Indexes wurde die Klimawirkung in fünf Klassen von „sehr gering“ bis „sehr hoch“ und in Kartenwerken dargestellt. Bild 3 zeigt beispielhaft für ein Gewerbegebiet die Ergebnisse für den klimatischen Einfluss „Flusshochwasser“. Wichtig für die Interpretation der Ergebnisse ist dabei, dass die qualitative Bewertung der Betroffenheit auf einem Vergleich aller Gewerbestandorte untereinander beruht. Aussagen im Sinne von „Die Situation an Standort A ist so gefährlich, dass Maßnahmen ergriffen werden sollten“ erlaubt die Analyse nicht. Wo sich innerhalb der Kreisgebiete die am stärksten betroffenen Gewerbestandorte befinden, wird jedoch deutlich. Nachdem die Analyseergebnisse in Validierungsgesprächen mit verschiedenen Fachbehörden der Gebietskörperschaften diskutiert

wurden, konnten Suchräume festgelegt werden, auf die sich die weiteren Aktivitäten des Projekts fokussierten. Aufbauend auf den kreisweiten Klimawirkungsanalysen wurden für relevante Gewerbegebiete sogenannte Gebietssteckbriefe erarbeitet, die als Diskussionsgrundlage zur Sensibilisierung und Akquisition von Unternehmen dienen. Eine Erweiterung der Analysen erfolgte nach Auswahl der Unternehmen in Form von Unternehmenssteckbriefen, bei denen detaillierter auf den Standort eingegangen werden konnte. Die Analysen zu Hitze, Starkregen und Überflutung wurden um die Themen Trockenheit und Dürre, Standortumgebung und Erschließungssituation sowie Windexposition erweitert. Dabei wurde sowohl auf die Ist-Situation als auch auf mittelfristige Prognosen (bis 2050) eingegangen. Weiterhin wurde ein Anfälligkeits-Check erarbeitet, mit dem die Unternehmen ihren eigenen Standort anhand von Leitfragen analysieren können. Hier stehen das Betriebsgelände, die Betriebsgebäude, die Unternehmenstätig-

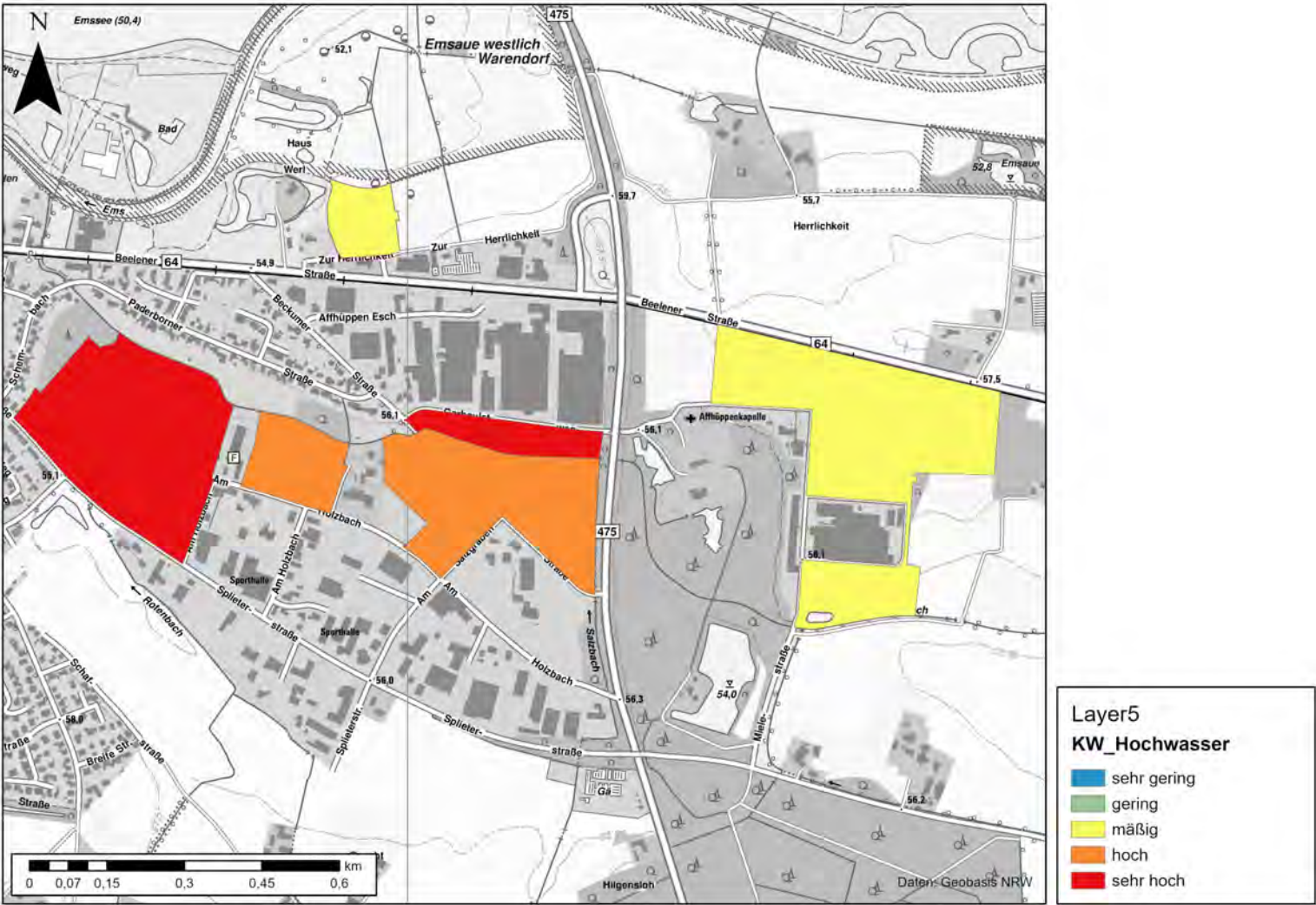


Bild 3: Klimawirkung Flusshochwasser

keiten beziehungsweise Produktion als auch die Betriebsorganisation (Notfallmanagement) im Vordergrund. Die beteiligten Unternehmen konnten im Hinblick auf die durch den Klimawandel bedingten Gefahren sensibilisiert werden. Es bestehen jedoch auch Einschränkungen zur Einschätzung der Gefahrenlage, so passen unsichere Klimaprognosen nicht zum eher kurzfristigen betriebswirtschaftlichen Kalkül der Unternehmen. Auch stehen lokale Fließwege- und Muldensimulationen sowie gekoppelte Modelle zwischen Oberflächenabfluss und Kanalsystem kaum zur Verfügung. Nach dem Hochwasser im Juli 2021 werden im Hinblick auf Starkregen (Annahmen zu Starkregenintensität) und Hochwassergefahren (HQextrem ggf. nicht ausreichend) die bisherigen Annahmen zunehmend hinterfragt.

Quellen

[1] IHK Aachen (2021): Etwa 2.500 Unternehmen betroffen: Wie die IHK unterstützt. <https://www.aachen.ihk.de/standortpolitik/hochwasserhilfe/hochwasser-betroffene-unternehmen-5211730>

[2] LANUV (2018): Klimaanalyse Nordrhein-Westfalen. LANUV-Fachbericht 86. [https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/3\\_fachberichte/Fachbericht\\_86\\_gesichert.pdf](https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/3_fachberichte/Fachbericht_86_gesichert.pdf)

Autoren

Simon Hein, M.Sc., ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Stadtbauwesen und Stadtverkehr.

Dr.-Ing. Andreas Witte ist Akademischer Oberrat am Institut für Stadtbauwesen und Stadtverkehr.

# Spielend lernen zum Thema Starkregen

## Serious Game „StadtWasserFluss“ vermittelt Kompetenzen zum Starkregenmanagement

The serious game “StadtWasserFluss” developed by RWTH Aachen University introduces students and the general public to the topic of torrential rain. Players take over the role of disaster managers to safeguard the city of Aachen. The goal is to implement preventive measures to reduce the damage caused by heavy rain and thus develop special competencies in this subject. The game has been released for desktop and mobile systems.

Serious Games ermöglichen eine spielerische Auseinandersetzung mit komplexen Themenfeldern. Mit dem Serious Game „StadtWasserFluss“ können Studierende sowie Interessierte an das Thema Starkregen herangeführt werden. Es entstand im Projekt „StadtWasserFluss“ und wurde im Rahmen der „Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel“ durch das Programm „Förderung von Maßnahmen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels“ vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit finanziert. Über einen Zeitraum von zwei Jahren wurde das Spiel Ende 2020

fertiggestellt, beteiligt waren das Lehr- und Forschungsgebiet Ingenieurhydrologie, die Ausbildungsgruppe für Mathematisch-technische Softwareentwicklerinnen und -entwickler am IT Center der RWTH Aachen sowie der Wasserverband Eifel-Rur. Projektleitung, didaktische Konzeption sowie die Lerninhalte lagen beim Lehr- und Forschungsgebiet Ingenieurhydrologie.

### Spielend lernen

Im Serious Game „StadtWasserFluss“ übernimmt der Spielende die Rolle eines Beauftragten für Starkregenrisikomanagement bei



Bild 1: Bildschirmfoto des Spiels



Bild 2: Eine korrekte Antwort im Quiz kann Bonuspunkte bringen

der Stadt Aachen. So müssen Maßnahmen getroffen werden, um die Stadt auf Starkregenereignisse vorzubereiten beziehungsweise daran anzupassen. Neben temporären Maßnahmen, wie Straßensperren, sind auch bauliche Maßnahmen, etwa die Erstellung von Multifunktionsflächen oder der Bau von Gründächern, möglich. Dabei hat der Spielende ein Budget, welches er wahlweise in teure langfristige Maßnahmen oder in günstigere kurzfristige Maßnahmen investieren kann. Begleitet wird der Spielende durch einen Kollegen „Carl“, der Hinweise und Tipps gibt. So finden auch unerfahrene Spieler einen guten Einstieg in das Thema. Das Spiel ist in mehrere Level gegliedert, die jeweils in zwei Phasen unterteilt sind. In der ersten Phase kann der Spielende in langfristige Maßnahmen investieren, der Fortschritt der Maßnahmen wird im Spielverlauf angezeigt. Eine Unwetterwarnung läutet die zweite Phase ein: Das Starkregenereignis wird innerhalb der nächsten Stunden eintreffen. Nun stehen kurzfristige Maßnahmen an, beispielsweise das Verteilen von Sandsäcken an die Bevölkerung oder das Schließen von Parkhäusern. Das Spielergebnis wird auch durch das Bewusstsein der Bevölkerung beeinflusst. Ist diese mit dem Thema Starkregen vertraut, werden die Maßnahmen effektiver umgesetzt. Der Spielende kann das Bewusstsein immer

wieder kurzfristig stärken, muss aber davon ausgehen, dass sich dies bei ausbleibendem Starkregen auch negativ auswirken kann. Als ergänzendes Spielelement gibt es klassische Wissensabfragen. Am Ende jedes Levels wird das Starkregenereignis visualisiert. Abschließend erhält der Spielende ein Feedback, das wiedergibt, wie gut er sich behauptet hat. Zusätzlich zum Spiel wurden Lehr- und Lernmaterialien entwickelt. Diese werden auch im Spiel präsentiert und helfen beim Klassifizieren von Starkregenereignissen sowie beim Erklären fachlicher Begriffe. Das Lehrmaterial fasst auf wenigen Seiten den Stand der Wissenschaft zusammen und erläutert Fragen, die aufkommen können. Spiel und Lehrmaterialien wurden als Open Education Resource im Sinne der UNESCO Deklaration unter der Creative Commons-Lizenz veröffentlicht (CC-BY-SA). Das Spiel ist somit kostenlos und kann beliebig weitergegeben werden. Durch die Veröffentlichung des Quelltextes wird die Entwicklung weiterer Szenarien durch andere Bildungsträger möglich.

### Einsatz und Evaluation

Das Serious Game „StadtWasserFluss“ wurde im Wintersemester 2020/21 erstmals an der RWTH in einer Lehrveranstaltung Wasserwirtschaft und Hydrologie eingesetzt, um in das Thema Starkregen einzuführen. Rund 180 Studierende gaben in einer Eva-

luierung ein positives Feedback, daher wird das Serious Games zwischenzeitlich curricular verankert. Der Wasserverband Eifel-Rur nutzt das Serious Game bei Fortbildungen, das HochwasserKompetenzCentrum e.V. in Köln setzt es in seinem Infomobil ein, das für Bürgertermine und an Schulen zum Einsatz kommt.



[www.stadtwasserfluss.de](http://www.stadtwasserfluss.de)

### Autoren

Thomas Dondorf, M. Sc., ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehr- und Forschungsgebiet Ingenieurhydrologie. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Heribert Nacken betreut das Lehr- und Forschungsgebiet Ingenieurhydrologie





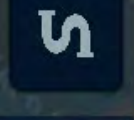
Bild 3: Teambesprechung zur Erstellung eines Szenarios  
Foto: Peter Winandy



Bild 4: Bildschirmfoto des Spiels mit dem Aachener Dom und dem Katschhof im Zentrum



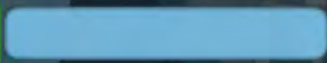
Dauerhafte  
Maßnahmen



Temporäre  
Maßnahmen



Bewusstseinbarometer



# Namen & Nachrichten

## **Preis des Auswärtigen Amtes für den AStA**

Für seine Leistung während der COVID-19-Pandemie sowie die kontinuierlichen Verdienste um die Betreuung der internationalen Studierenden wurde der Allgemeine Studierendenausschuss, kurz AStA, mit dem Preis des Auswärtigen Amtes für die exzellente Betreuung internationaler Studierender ausgezeichnet. Hervorgehoben wurde das ehrenamtliche studentische Engagement „mit beeindruckenden und zielgenauen Aktivitäten“, etwa bei den beiden Hilfsprojekten „Freitisch“ und #RWTHhilft. Das Projekt „Freitisch“ entstand im Frühjahr 2020 und ermöglichte Studierenden, die sich in einer besonders schwierigen finanziellen Situation befinden, täglich eine kostenlose Mahlzeit. Das Studierendenwerk trägt als Kooperationspartner die Kosten, der AStA kümmert sich um Antragstellung, Bearbeitung der Unterlagen und Kommunikation mit den Studierenden. Seit April 2020 können RWTH-Studierende neben dem regulären Sozialdarlehen das #RWTHhilft-Stipendium beantragen. Dieses wurde gemeinsam mit RWTHextern und dem Förderverein ProRWTH initiiert. Weitere Angebote des AStA umfassten eine spezielle Wohnberatung, Laptop-Verleih und Angebote zur Erleichterung des Studienstarts. Der Preis des Auswärtigen Amtes ist mit 30.000 Euro dotiert, das Preisgeld wird für #RWTHhilft und Notunterkünfte eingesetzt. Stellvertretend nahmen die ehemaligen AStA-Verantwortlichen Ana Zhivkova, Marc Gschlössl und Johann Vohn die Auszeichnung entgegen.

## **Kooperationsvertrag mit E.ON verlängert**

E.ON und die RWTH haben ihren Kooperationsvertrag um weitere fünf Jahre verlängert. Das E.ON ERC unter Leitung von Professor Rik W. De Doncker ist aus einer öffentlich-privaten Partnerschaft zwischen Industrie und Wissenschaft entstanden. E.ON wird in den kommenden fünf Jahren gemeinsame Forschungsprojekte mit einer Gesamtsumme von zehn Millionen Euro finanzieren, hinzu kommen jährlich bis zu einer halben Million Euro zur Finanzierung von gemeinnützigen Projekten.

## **Aufnahme in Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften**

Professor Dirk Uwe Sauer, Inhaber des Lehrstuhls für Elektrochemische Energiewandlung und Speichersystemtechnik, ist neues Mitglied der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften. Diese versteht sich als eine Fach- und Ländergrenzen überschreitende Vereinigung herausragender Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mit über 300-jähriger Tradition. Sauer wurde in die technikwissenschaftliche Klasse der Akademie aufgenommen.

## **Erfolg im Ideenwettbewerb „Clusters4Future“**

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) hat die Anträge Zukunftscluster „NeuroSys – Neuromorphe Hardware für autonome Systeme der künstlichen Intelligenz“ und Zukunftscluster „Wasserstoff“ bewilligt, die beide von der RWTH Aachen und

zahlreichen Partnern aus der Region erreicht wurden und in den nächsten Jahren von der RWTH koordiniert werden. Das BMBF finanziert die Forschungen mit bis zu 90 Millionen Euro. „Clusters4Future“ ist Teil der Hightech-Strategie 2025 der Bundesregierung. Der themenoffene Wettbewerb setzt auf regionale Innovationsnetzwerke, die die Stärken der Akteure verbinden, aufkommende Innovationsfelder erschließen und Lösungen für die Herausforderungen der Zukunft entwickeln.

In NeuroSys engagieren sich neben der RWTH das Forschungszentrum Jülich, die AMO GmbH, die IHK Aachen, die Unternehmen AixACCT Systems GmbH, AIXTRON SE, AppTek GmbH, EL MOS Semiconductor SE, RWTH Innovation GmbH und STAR Healthcare Management. Darüber hinaus sind die Start-Ups AiXscale Photonics UG, Black Semiconductor GmbH, Clinomic GmbH sowie Gremse-IT GmbH involviert. Professor Max Lemme vom Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente und Geschäftsführer der AMO GmbH wird die Arbeiten koordinieren. Ziel ist die Entwicklung neuromorpher Hardware für Anwendungen der künstlichen Intelligenz und damit eine technologische Unabhängigkeit Deutschlands und Europas. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung stellt hierfür bis zu 45 Millionen Euro zur Verfügung.

Im Zukunftscluster „Wasserstoff“ sind 24 Institute von RWTH und Forschungszentrum Jülich involviert, hinzu kommen 47 Industriepartner und 16 weitere Organisationen. Professor Stefan Pischinger vom Lehrstuhl

für Verbrennungskraftmaschinen der RWTH Aachen ist Koordinator des Forschungsclusters. Die Vision des Zukunftsclusters Wasserstoff ist, eine CO<sub>2</sub>-neutrale Wirtschaft umzusetzen. In zehn technischen Projekten werden die zentralen Technologien und Innovationen in Zusammenarbeit von Forschung und Industrie vorangetrieben. Die Themen sind unter anderem die Elektrolyseur- und Brennstoffzellentechnologie, wartungsarme, mobile Hochdruckspeicher, hybride Trennverfahren, aber auch der Wasserstoffverbrennungsmotor. Ein elftes Projekt adressiert die innovationsbegleitenden Maßnahmen zur übergreifenden Vernetzung, insbesondere auch in die Gesellschaft.

**Center for Sustainable Hydrogen Systems**

Im neuen „Center for Sustainable Hydrogen Systems“ werden die RWTH-Aktivitäten rund um das Thema Wasserstoff gebündelt. Professor Stefan Pischinger, Lehrstuhlinhaber und leitender Wissenschaftler am Center for Mobile Propulsion, hat das Sprecheramt übernommen. Mit der Gründung haben RWTH und Forschungszentrum Jülich nach ihrem Erfolg mit dem Antrag „Zukunftscluster Wasserstoff“ im Ideenwettbewerb „Clusters4-Future“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) den nächsten Meilenstein auf dem Weg zu einer führenden Wasserstoffregion erreicht. Auch der Wettbewerb des BMBF setzte auf regionale Innovationsnetzwerke, die die Stärken der Akteure verbinden.

**Professor Eckstein im Wissenschaftlichen Beirat**

Professor Lutz Eckstein, Leiter des Instituts für Kraftfahrzeuge, ist in den Wissenschaftlichen Beirat des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur berufen worden. Der Beirat wurde 1949 eingerichtet, um den damaligen Bundesminister für Verkehr zu beraten und dazu beizutragen, Erkenntnisse der Wissenschaft in die verkehrspolitische Arbeit einfließen zu lassen. Die Auswahl der Mitglieder erfolgt durch das Gremium selbst, die formale Berufung durch den amtierenden Minister. Der Schwerpunkt der Arbeit des interdisziplinären Beirats liegt mittlerweile auf dem Verkehrsbereich.

**NRW-Innovationspreis für Dr. Jonas Johannes Christ**

Dr. Jonas Christ wurde für seine Arbeit am Institut für Angewandte Mikrobiologie mit

dem Innovationspreis des Landes Nordrhein-Westfalen in der Kategorie Nachwuchs ausgezeichnet. Er hat am Lehrstuhl von Professor Lars M. Blank ein Recyclingverfahren entwickelt, in dem Bäckerhefe Phosphat aufnimmt und intrazellulär zu sogenanntem Polyphosphat umsetzt. Aus der beladenen Hefe kann anschließend entweder pures Bio-Polyphosphat oder polyphosphatreicher Hefeextrakt gewonnen werden. Der Innovationspreis NRW ist nach dem Zukunftspreis des Bundespräsidenten die höchstdotierte Auszeichnung dieser Art in Deutschland. Verliehen wurde er durch Andreas Pinkwart, Minister für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes NRW.

**Zwei Graduiertenkollegs verlängert**

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) hat die Verlängerungsanträge der Graduiertenkollegs „UnRAVeL – Uncertainty and Randomness in Algorithms, Verification, and Logic“ sowie „Energy, Entropy, and Dissipative Dynamics“ bewilligt. Diese wurden 2017 an der RWTH eingerichtet. Ziel eines Graduiertenkollegs ist die Ausbildung besonders qualifizierter Doktorandinnen und Doktoranden. Die RWTH erhält hierzu in den nächsten viereinhalb Jahren insgesamt 10,1 Millionen Euro. Mit 6 Millionen Euro wird die DFG die Ausbildung von zwölf Doktorandinnen und Doktoranden im Graduiertenkolleg 2236 „UnRAVeL – Uncertainty and Randomness in Algorithms, Verification, and Logic“ fördern. Hieran sind zwölf RWTH-Professorinnen und Professoren beteiligt, Sprecher des Graduiertenkollegs ist Professor Joost-Pieter Katoen vom Lehrstuhl für Informatik 2 (Softwaremodellierung und Verifikation). Zehn Doktorandinnen und Doktoranden und ein Postdoktorand beziehungsweise eine Postdoktorandin werden im Graduiertenkolleg „Energy, Entropy, and Dissipative Dynamics“ finanziert. Die Fördersumme beträgt 4,1 Millionen Euro. Acht RWTH-Professorinnen und Professoren sind im Graduiertenkolleg engagiert. Sprecher des Graduiertenkollegs ist Professor Michael Westdickenberg vom Lehrstuhl für Mathematik (Analysis).

**Forschungsprojekt Überflutungsrisiko**

Im November 2021 startete das Projekt „ISRV – Intelligente starkregenbedingte Überflutungsrisikowarnung im Verkehrssektor“. Bis 2024 wollen das Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft (IWW) der RWTH Aachen, die KISTERS AG, 4traffic und SCHWIETRING Ingenieure GmbH ein Echtzeitvorhersa-

gesystem für Starkregen im Verkehrssektor entwickeln. Durch den Einsatz künstlicher Intelligenz sollen bisherige Niederschlagsvorhersagen durch punktuelle Überflutungswarnungen erweitert und schließlich als Warnungen auf Navigationsgeräte übertragen werden. So könnten bei einem Starkregenereignis je nach Wasserstand, Strömungsgeschwindigkeit und Verkehrsinfrastruktur Verkehrsströme rechtzeitig umgelenkt werden. Das Projekt wird im Rahmen der Förderlinie Modernitätsfonds („mFUND“) durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur mit rund 500.000 Euro gefördert.

**Innovationscluster E-Assessment**

Mit ihrem Antrag „Innovationscluster E-Assessment“ konnten die RWTH, die Technische Hochschule Köln, die Fernuniversität Hagen und das Deutsche Institut für Erwachsenenbildung – Leibniz-Zentrum für Lebenslanges Lernen in Bonn überzeugen: Die Stiftung „Innovation in der Hochschul-lehre“ fördert die gemeinsame Arbeit mit knapp 2,3 Millionen Euro. Der Verbundantrag gehört zu den 139 Vorhaben, die von einer Jury in einem wettbewerblichen Verfahren zum Thema „Hochschullehre durch Digitalisierung stärken“ ausgewählt wurden. Im August 2021 starteten die Arbeiten, deren Finanzierung für drei Jahre gesichert ist. Die Gesamtprojektleitung liegt bei Dr.phil. Malte Persike vom RWTH-Center für Lehr- und Lernservices. In Aachen arbeiten zudem das Lehr- und Forschungsgebiet Informatik 9 (Lerntechnologien) unter Leitung von Professor Ulrik Schroeder und das Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe mit Professor Dirk Uwe Sauer im Projekt. Die RWTH erhält rund 700.000 Euro Fördermittel.

**Mitglied der NRW-Akademie der Wissenschaften und der Künste**

Professor Christian Brecher ist Mitglied der Nordrhein-Westfälischen Akademie der Wissenschaften und der Künste. Die Mitglieder der Akademie pflegen den wissenschaftlichen Dialog sowie den Austausch mit Forschungs- und Kultureinrichtungen im In- und Ausland. Aufgenommen werden ausschließlich exzellente Forschende und Kulturschaffende. Brecher wurde auf Lebenszeit in die Klasse für Ingenieur- und Wirtschaftswissenschaften gewählt. Brecher ist Professor am Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen und Mitglied im Direktorium des WZL sowie Leiter des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnologie.

## 6G-Forschungs-Hub bewilligt

Mit ihrem Antrag „6GEM open – efficient – secure – safe“ konnten sich die RWTH, die Ruhr-Universität Bochum, die Technische Universität Dortmund und die Universität Duisburg-Essen in einer Ausschreibung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) durchsetzen. Die vier Hochschulen arbeiten seit August 2021 gemeinsam mit vier außeruniversitären Forschungseinrichtungen an zukünftigen Kommunikationstechnologien in der 6G-Mobilfunktechnik. Mit Antragsteller waren das Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik, das Fraunhofer-Institut für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme, das Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik sowie das Max-Planck-Institut für Sicherheit und Privatsphäre. Das BMBF hatte im Rahmen des Konjunkturpakets „Corona-Folgen bekämpfen, Wohlstand sichern, Zukunftsfähigkeit stärken“ die Förderung von Hubs ausgeschrieben. Diese sollen mit der Erforschung und Entwicklung von zukünftigen Kommunikationstechnologien einen Beitrag dazu leisten, dass Deutschland als Technologieanbieter eine führende Rolle einnimmt. Bewilligt wurden vier Hubs. Die Forschungsarbeiten in 6GEM werden bis Juni 2025 mit 43 Millionen Euro durch das BMBF finanziert. Koordinator ist Professor Haris Gačanin vom Lehrstuhl für Verteilte Signalverarbeitung der RWTH Aachen.

## Center for Circular Economy gegründet

Im neuen Center for Circular Economy – kurz CCE genannt – wird die RWTH-Expertise aus allen Fakultäten im Themenfeld Kreislaufwirtschaft gebündelt. Sprecher ist Professor Bernd Friedrich, Leiter des Instituts für Metallurgische Prozesstechnik und Metallrecycling. Erste Großprojekte zielen darauf ab, Abfälle zu minimieren, den Wert von Kreislaufmaterialien zu maximieren, politische Rahmenbedingungen mitzugestalten und deren Akzeptanz in der Gesellschaft zu ermöglichen. Dies geschieht auf regionaler, nationaler und internationaler Ebene inklusive einer entsprechend zielgerichtet zu entwickelnden Lehre.

## Ehrendoktorwürde für

### Ignacio Grossmann

Rektor Ulrich Rüdiger zeichnete Professor Ignacio Grossmann mit dem Akademischen Grad und der Würde eines „Doktors der Ingenieurwissenschaften Ehren halber“ aus. Die Verleihung erfolgte „in Anerkennung seiner herausragenden ingenieurwissenschaftli-

chen Leistungen im Bereich der Verfahrenstechnik und seines breiten gesellschaftlichen Engagements für Bildung und Forschung“. Grossmann gilt als Experte in der Entwicklung und Anwendung von Optimierungsmethoden für das Prozessdesign.

## App „phyphox“ ausgezeichnet

Das Projekt „phyphox“ hat die dritte Förderphase in der Jubiläumsinitiative des Stifterverbands „Wirkung hoch 100“ erreicht: Zehn der angetretenen mehr als 500 Projekte wurden in einem mehrstufigen Prozess seit dem Herbst 2020 auf der Suche nach den besten Ideen für das Bildungs-, Wissenschafts- und Innovationssystem der Zukunft ausgewählt und werden nun mit insgesamt einer Million Euro gefördert. Das Projekt „phyphox“ basiert auf der gleichnamigen App, deren Name für physical phone experiments steht. Die App nutzt die Sensoren, die in jedem Smartphone eingebaut sind, für physikalische Experimente. Sie wurde ursprünglich für Physikvorlesungen für Studierende im ersten Semester entwickelt und im September 2016 veröffentlicht. Seitdem verbreitete sie sich schnell über diesen Nutzerkreis hinaus und wurde bisher mehr als zwei Millionen Mal installiert.

## Spitzenergebnisse im THE Ranking

Im Ranking des Informationsdienstleisters Times Higher Education (THE) erreicht die RWTH mit den Fächern „Engineering“ und „Computer science“ exzellente Ergebnisse. In beiden Wissenschaftsbereichen schneidet sie wie in den letzten Jahren sehr gut ab. In den Ingenieurwissenschaften schafft es die Hochschule auf Platz 30 der besten Hochschulen der Welt und kann damit die Platzierung aus dem Vorjahr halten. Besonders herausragend schneidet die RWTH bei dem Indikator „Forschungsmittel der Industrie“ ab. Hier werden 100 von 100 möglichen Punkten erzielt. Die THE-Rankings gehören zu den weltweit bedeutendsten Hochschulrankings und werden jährlich herausgegeben. Um hier aufgenommen zu werden, muss eine Mindestanzahl wissenschaftlicher Veröffentlichungen erfolgt sein. Dies gelang in den Ingenieurwissenschaften von allen Hochschulen weltweit knapp 1.200 und in der Informatik etwa 1.000 Einrichtungen. Diese wurden anhand von 13 Indikatoren aus den Bereichen Lehre, Forschung, Zitationen, Internationalität und Industriemittel bewertet und gerankt.

## DFG-Förderatlas bestätigt Forschungsleistungen

Der Förderatlas der Deutschen Forschungsgemeinschaft, kurz DFG, dokumentiert wieder die Forschungsstärke der RWTH. Die Publikation enthält neben Informationen zur Wissenschaftsförderung und Forschung auch Ranglisten über die Höhe der DFG-Bewilligungen. In den drei betrachteten Jahren von 2017 bis 2019 erhielt die RWTH 312,8 Millionen Euro Projektmittel – das sind 31,8 Millionen Euro mehr als im vorhergehenden Zeitraum. Besonders viele Drittmittel vom bedeutendsten deutschen Forschungsförderer flossen wiederholt an die Ingenieurwissenschaften. 152,5 Millionen Euro stellte die DFG in den drei Jahren zur Verfügung, das entspricht fast zehn Prozent ihrer Gesamtförderung in diesem Bereich. Der deutliche Vorsprung von 52 Millionen Euro gegenüber der zweitplatzierten Hochschule unterstreicht die Spitzenposition in den Ingenieurwissenschaften. Ein ähnliches Bild zeigt auch die Förderung der Ingenieurwissenschaften durch die AiF, der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen. Von dieser erhielt die RWTH zwischen 2017 und 2019 fast 50 Millionen Euro, nahezu doppelt so viel wie die zweitplatzierte TU Dresden mit 26,2 Millionen. Die Lebenswissenschaften wurden ebenfalls für ihre überzeugende Forschungstätigkeit durch die DFG bestätigt. Mit einer Förderungssumme von 52,9 Millionen Euro von 2017 bis 2019 verzeichnen sie ein Plus von 61 Prozent. Auch die Naturwissenschaften haben in den Jahren 2017 bis 2019 einen beachtlichen Betrag von der DFG erhalten. Mit 15,5 Millionen Euro in der Chemie und 8,6 Millionen Euro in der Mathematik gehört die RWTH in diesen beiden Fachbereichen zu den zehn deutschen Hochschulen, die am stärksten von der DFG gefördert wurden.

## Arbeit im Rheinischen Revier

Das „Arbeitswissenschaftliche Kompetenzzentrum für Erwerbsarbeit in der Industrie 4.0 in der Region Aachen“, kurz AKzentE4.0, ist gestartet. Es wird vom Institut für Arbeitswissenschaft der RWTH Aachen unter der Leitung von Professorin Verena Nitsch koordiniert und vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) mit rund zwölf Millionen Euro gefördert. AKzentE4.0 ist eines von vier regionalen Kompetenzzentren der Arbeitsforschung, die dazu beitragen, zukunftsorientierte Formen der Arbeit und der Arbeitsorganisation in den Braunkohlerevieren Deutschlands zu gestalten. Der Ausstieg

aus der Kohleverstromung führt im Rheinischen Revier zu erheblichen strukturellen Veränderungen, die in vielen Bereichen mit wirtschaftlichen Einbußen und dem Verlust von Arbeitsplätzen einhergehen. Als Kompensation sollen etwa 14,8 Milliarden Euro Strukturhilfe in das Rheinische Revier fließen. Im Kompetenzzentrum geht es um die Frage, wie digitale Technologien und Künstliche Intelligenz eingesetzt werden können, um die Entstehung zukunftssicherer und resilienter Wertschöpfungsnetzwerke zu fördern, damit der Wandel im Rheinischen Revier nachhaltig gelingt. Unter anderem wird eine sogenannte Mixed-Reality-Modellfabrik aufgebaut, hier werden virtuell dargestellte Räume mit Real-laboren verbunden, um die Potenziale und Auswirkungen von Industrie 4.0-Technologien auf die betriebliche Arbeitsgestaltung zu erforschen. So können Entscheidungen zur Umsetzung und Anwendung von verschiedenen Applikationen getroffen und die wettbewerbsförderlichen Potenziale von KI-basierten Technologien ausgeschöpft werden.

#### **Weitere Förderung für „Oxyflame“**

Der Bewilligungsausschuss der Deutschen Forschungsgemeinschaft, DFG, hat die Förderung für den Sonderforschungsbereich/Transregio 129 „Oxyflame – Entwicklung von Methoden und Modellen zur Beschreibung der Reaktion fester Brennstoffe in einer Oxyfuel-Atmosphäre“ um eine dritte Förderperiode verlängert. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der RWTH, der Ruhr-Universität Bochum und der Technischen Universität Darmstadt arbeiten im SFB/Transregio, Sprecher ist Professor Reinhold Kneer vom RWTH-Lehrstuhl für Wärme- und Stoffübertragung. Für die Forschungsarbeiten wurden jetzt für die nächsten vier Jahre rund zehn Millionen Euro bewilligt.

#### **EU-Projekt für nachhaltigen Bergbau**

Das Institute for Advanced Mining Technologies unter Leitung von Professorin Elisabeth Clausen ist am Projekt NEXGEN SIMS beteiligt. Dieses wird in den nächsten drei Jahren von der Europäischen Union mit 16 Millionen Euro gefördert. Ziel sind neue Technologien, Methoden und Prozesse, die einen autonomen, nachhaltigeren, effizienteren und kohlenstoffneutralen Bergbau ermöglichen. Projektpartner sind verschiedene Bergbauunternehmen, Ausrüstungs- und Systemhersteller sowie die schwedische Luleå University of Technology, die Projektkoordination liegt bei der Firma Epiroc. Die Forschungen bauen

auf den Ergebnissen des H2020-Projekts SIMS auf, das bis 2020 von der Europäischen Union gefördert wurde. Im Mittelpunkt der Arbeiten steht jetzt der Einsatz von batterieelektrischen Bergbaumaschinen, die volle Nutzung von 5G für optimale Konnektivität und Positionierung, autonomes Materialhandling, KI-gestützte Verkehrs- und Flottensteuerung sowie die Zusammenarbeit zwischen Maschinen. Auch der Bergmann der Zukunft – der „moderne Bergmann“ – und die Sicherheit, zum Beispiel durch die Entwicklung einer autonomen Bergwerksinspektionstechnologie, sind Forschungsgegenstand.

#### **ERC Advanced Grant**

Professor Mathias Hornef, Direktor des Instituts für Medizinische Mikrobiologie, hat den mit 2,5 Millionen Euro dotierten Advanced Grant des European Research Council (ERC) erhalten. Mit Advanced Grants werden exzellente Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ausgezeichnet, die sich mit herausragenden Leistungen in der Forschungscommunity etabliert haben. Das Preisgeld dient dazu, innovative Projekte voranzutreiben. Hornef will die Rolle von frühkindlichen Darminfektionen erforschen und Mechanismen der Krankheitsempfindlichkeit im späteren Leben durch Differenzierungs- und Funktionsänderungen des Darmepithels identifizieren.

#### **Klung-Wilhelmy-Wissenschafts-Preis für Chemie 2020**

Professorin Dr. Franziska Schoenebeck vom Lehrstuhl für Organische Chemie I hat den Klung-Wilhelmy-Wissenschafts-Preis für Chemie 2020 erhalten. Dieser wird unter Schirmherrschaft der Bundesministerin für Bildung und Forschung verliehen und gehört zu den angesehensten wissenschaftlichen Auszeichnungen. Im jährlichen Wechsel werden herausragende jüngere deutsche Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Chemie und Physik geehrt.

#### **Förderung durch die VolkswagenStiftung**

Professorin Sonja Herres-Pawlis, Inhaberin des Lehrstuhls für Bioanorganische Chemie, erhält eine Förderung durch die VolkswagenStiftung. Mit ihrer Initiative „Momentum – Förderung für Erstberufene“ will die Stiftung Vielfalt der Forschung und Kreativität der Forscherpersönlichkeiten unterstützen sowie Möglichkeiten zur inhaltlichen und strategischen Weiterentwicklung einer Professur eröffnen. Die Chemikerin konnte mit ihrem

Antrag „Universal molecular syntax for sustainable machine learning applications“ überzeugen, sie erhält in den nächsten sieben Jahren 998.000 Euro Fördermittel.

#### **Projekt „Off-Highway-Twins“**

Das Institut für fluidtechnische Antriebe und Systeme, das Institut für Mensch-Maschine-Interaktion und das Institut für Maschinenelemente und Systementwicklung forschen im Projekt „Off-Highway-Twins“. Dieses wird im Rahmen der Förderrichtlinie Modernitätsfonds durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur mit knapp 100.000 Euro gefördert. Für den Einsatz von Off-Highway-Fahrzeugen auf Baustellen, im Wald oder in der Landwirtschaft stellen Bundes- und Landesbehörden (Geo-)Daten bereit. Die Aktualität und Auflösung der Daten variiert, Luftbilder und Geländemodelle sind häufig veraltet oder ungenau. Die Sensoren der Off-Highway-Fahrzeuge sammeln hingegen kontinuierlich Daten. Im Projekt wird erforscht, in welchem Umfang und mit welchen Methoden eine Auswertung der Sensordaten möglich ist, um aus ihnen Informationen zu synthetisieren und in Cloud-Datenbanken bereitzustellen. So lässt sich aus Bewegungs- und Antriebsdaten einer Maschine herauslesen, wie viel Material von einem Ort zum anderen bewegt wurde und schließlich im Geländemodell vermerken, wo ein neues Loch oder ein Erdhaufen mit welchem Ausmaß entstanden sind.

#### **Käte Hamburger Kolleg bewilligt**

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung bewilligte ein Käte Hamburger Kolleg „Kulturen des Forschens“. Professorin Gabriele Gramelsberger vom Lehrstuhl für Wissenschaftstheorie und Technikphilosophie und Professor Stefan Bösch, Inhaber des Lehrstuhls für Technik und Gesellschaft, übernehmen die Leitung. Am Kolleg sind die Professoren Lars Blank vom Lehrstuhl für Angewandte Mikrobiologie, Matthias Wessling vom Lehrstuhl für Chemische Verfahrenstechnik sowie Markus Diesmann vom Lehr- und Forschungsgebiet Computational Neuroscience und Institute of Neuroscience and Medicine am Forschungszentrum Jülich beteiligt. Das Ministerium stellt in einer ersten Förderphase von vier Jahren über neun Millionen Euro bereit. Benannt nach der Germanistin Käte Hamburger sollen in den Kollegs geistes- und sozialwissenschaftliche Spitzenforschung in neuen Zusammenhängen gefördert werden. Der RWTH-Antrag konnte in

einem wettbewerblichen Verfahren überzeugen: Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Geistes- sowie der Lebens-, Natur- und Ingenieurwissenschaften arbeiten transdisziplinär. Das Kolleg hat Modellcharakter, da es das erste an einer Technischen Hochschule ist.

### Preis für zwei Doktoranden

Mit dem Schöck Bau-Innovationspreis wurden die Nachwuchswissenschaftler Henrik Becks und Matthias Kalus ausgezeichnet. Preiswürdig ist die jeweilige Masterarbeit der Ingenieure, die beide sowohl den Bachelor- als auch den Masterstudiengang Bauingenieurwesen an der RWTH absolvierten. Seit Mitte 2020 arbeiten die Doktoranden am Institut für Massivbau unter Leitung von Professor Josef Hegger.

### QS Ranking by Subject

Das QS Ranking by Subject bescheinigt der RWTH sehr gute Leistungen. Anhand von Zitationen, welche die wissenschaftliche Leistungsfähigkeit belegen, und der Reputation der Hochschulen werden Ranglisten zu fünf Wissenschaftsbereichen und Fächern veröffentlicht. Damit werden die jeweils besten Universitäten weltweit dokumentiert. Besonders gute Ergebnisse erreicht die RWTH im Bereich „Engineering & Technology“ mit Weltrang 43. Dies entspricht Platz zwei im deutschen Vergleich. Auch auf der Fächerebene schneidet die RWTH erfolgreich ab. In 21 Fächern – von Architektur bis Wirtschaftswissenschaften – wird die RWTH unter den stärksten Hochschulen der Welt gelistet. Das beste Ergebnis auf Fachebene erreicht die Kategorie Maschinenbau mit Rang 18, dicht gefolgt vom Bergbauingenieurwesen mit Platz 21. In den Top 50 weltweit befinden sich außerdem die Fächer Elektrotechnik, Chemieingenieurwesen, Materialwissenschaften sowie zum ersten Mal der Bereich Statistik. Deutschlandweit ist die RWTH mit zehn Fächern in den Top drei vertreten. In den Fächern Bauingenieurwesen, Chemieingenieurwesen, Maschinenbau und Materialwissenschaften belegt die RWTH als beste deutsche Hochschule den ersten Platz. Mit weiteren Zweitplatzierungen in den Fächern Bergbauingenieurwesen, Elektrotechnik und Statistik untermauerte die RWTH ihre herausragende Position auf nationaler Ebene. Drittplatzierungen in Architektur, Chemie und Informatik runden die weiteren Top-Ergebnisse im bundesweiten Vergleich für die Aachener Hochschule ab.

### Aufnahme in das Junge Kolleg

Dr.-Ing. Christian Haase und Dr. Philipp Trotter sind in das Junge Kolleg der Nordrhein-Westfälischen Akademie der Wissenschaften und der Künste aufgenommen worden. Bis zu 30 Vertreter und Vertreterinnen aller Fachrichtungen können für die Dauer von maximal vier Jahren berufen werden, sie erhalten ein jährliches Stipendium in Höhe von 10.000 Euro und nehmen am Akademieleben teil. Voraussetzung für die Mitgliedschaft sind neben der Promotion herausragende wissenschaftliche Leistungen an einer Hochschule oder Forschungseinrichtung in NRW. Zum Zeitpunkt der Aufnahme dürfen die Mitglieder nicht älter als 36 Jahre sein und noch keine unbefristete Hochschullehrstelle innehaben.

Christian Haase vom Lehrstuhl Werkstofftechnik der Metalle forscht zu grundlegenden metallphysikalischen Mechanismen in metallischen Hochleistungswerkstoffen. Im Fokus steht das Mikrostruktur- und Legierungsdesign neuer Werkstoffe für die individualisierte Produktentwicklung über additive Fertigungsverfahren. Durch die Verbindung von Konstruktion, Werkstoff und Prozess wird ein ganzheitlicher, stark interdisziplinärer Forschungsansatz möglich, der die optimale Ausnutzung der Materialeigenschaften erlaubt. So wird eine Grundlage für die erfolgreiche Implementierung der additiven Fertigung im Kontext der Industrie 4.0 geschaffen.

Philipp Trotter hat eine kombinierte Postdoc-Stelle an der University of Oxford und der RWTH. Im Mai 2021 trat er zudem am Lehrstuhl für Operations Management ein Marie Skłodowska-Curie Individual Fellowship an. Mit dieser Auszeichnung finanziert die Europäische Union unter dem Titel „Decentralised Energy-Leveraging Transformation of African Development“ (DELTA-Dev) ein transdisziplinäres Forschungsprojekt in Uganda. Trotter verbindet den Energie-, Transport- und Landwirtschaftssektor in integrativen Wertschöpfungsketten, um Synergien für nachhaltige Entwicklung zu realisieren.

### Professor Jun Okuda ausgezeichnet

Professor Jun Okuda, Inhaber des Lehrstuhls für Metallorganische Chemie, hat eine Verdienstauszeichnung vom Minister für Auswärtige Angelegenheiten Japans erhalten. Gewürdigt werden Okudas herausragende wissenschaftliche Ergebnisse auf dem Gebiet der Anorganischen Chemie, seine langjährigen Bemühungen um die Förderung des

japanisch-deutschen Wissenschaftsaustausches und sein Beitrag zur Festigung der Freundschaft zwischen Japan und Deutschland. Okuda forscht insbesondere zur Synthese und der präzisen Strukturermittlung extrem empfindlicher Katalysatorvorläufer. Ziel ist die Anwendung auf unterschiedlichen Gebieten wie Polymerisation und der Wasserstoffspeicherung.





Foto: Peter Winandy

## Impressum

Herausgegeben im Auftrag des Rektors  
der RWTH Aachen  
Dezernat 3.0 – Presse und Kommunikation  
Templergraben 55  
52056 Aachen  
Telefon +49 241 80 - 93687  
[pressestelle@rwth-aachen.de](mailto:pressestelle@rwth-aachen.de)  
**[www.rwth-aachen.de](http://www.rwth-aachen.de)**

Verantwortlich:  
Renate Kinny

Redaktion:  
Angelika Hamacher

Titelbild:  
Peter Winandy, Aachen

Anzeigen:  
Medienhaus Aachen GmbH  
Elke Brooren, Projektleitung  
Telefon +49 241 5101 270  
[elke.brooren@medienhausaaachen.de](mailto:elke.brooren@medienhausaaachen.de)

Gestaltung:  
Kerstin Lünenschloß, Aachen

Nachdruck einzelner Artikel, auch auszugs-  
weise, nur mit Genehmigung der Redaktion.

Für den Inhalt der Beiträge sind die Autoren  
verantwortlich.

ISSN-Nummer 0179-079X

# Mit Software zur Perfektion

– Präzision erleben und hinterfragen.



Seeing beyond



Über 700  
offene  
Stellen!

## Softwareentwicklung in der Halbleiterfertigungstechnik

Ella liebt den Aha-Effekt, wenn sich komplizierte Sachverhalte auf einmal physikalisch erklären lassen. „Ich wollte die Welt verstehen – Physik bietet ein tiefes Verständnis für alle Vorgänge um uns herum“, sagt die studierte Physikerin. Bei ZEISS entwickelt Ella Software für die Vermessung von Lithographie-Optiken. Damit begleitet sie die Optiken softwaretechnisch auf dem Weg zur Perfektion, misst die Temperaturen, Zeiten, Reflexionen sowie die Bewegungen von Aktuatoren. Höchste Präzision gehört dabei auch als Softwareentwicklerin zu ihrem Alltag und das ist es auch, was Ella antreibt: „Wir bauen hier echt krasse Maschinen. Wir arbeiten an den präzisesten Optiken der Welt und das spricht mich als Physikerin und auch als Softwareentwicklerin wirklich an.“

Erfahre mehr über Ella und Jobs in der Halbleiterfertigungstechnik: [zeiss.de/arbeitenbeizeiss](https://zeiss.de/arbeitenbeizeiss)

# Wasserstoff — der CO<sub>2</sub>-neutrale Energieträger der Zukunft

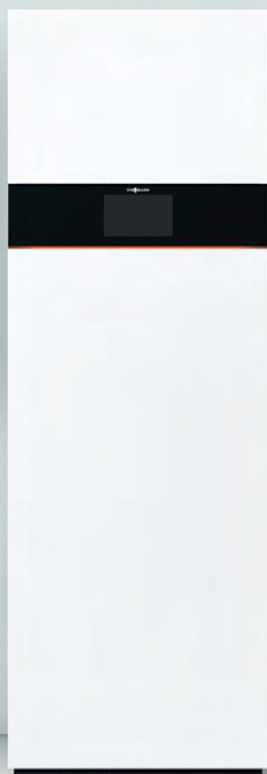
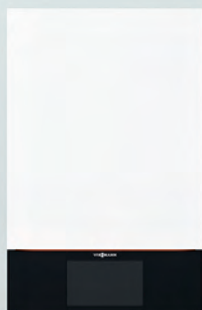
Durch den Einsatz von H<sub>2</sub> bei der Wärmeerzeugung können deutliche CO<sub>2</sub>-Reduktionen erzielt werden. Für klimaneutrale Gebäude. Für einen positiven Beitrag zum Klimaschutz.

Als Innovationsführer hat Viessmann die sichere und effiziente Verwendung dieses CO<sub>2</sub>-neutralen Energieträgers in Form von H<sub>2</sub>-fähigen Energiesystemen bereits jetzt möglich gemacht.

[www.viessmann.family/wasserstoff](http://www.viessmann.family/wasserstoff)



 | H<sub>2</sub> READY · 20%



Gas-Brennwert **VITODENS**

Brennstoffzellen **VITOVALOR**