



Wassersicherheit für Mensch und Umwelt im 21. Jahrhundert

Beiträge der Forschung in der Helmholtz-Gemeinschaft zur
Bewältigung einer großen gesellschaftlichen Herausforderung

Autoren

Dietrich Borchardt (UFZ), Felix Bachofer (DLR), Richard Bamler (TUM),
Aletta Bonn (UFZ), Bruno Merz (GFZ), Volkan Filiz (HEREON),
Sascha Flögel (GEOMAR), Michael Grethler (KIT), Markus Landthaler (MDC),
Roland Müller (UFZ), Marco Ottinger (DLR), Markus Rapp (DLR),
Sebastian Reinecke (HZDR), Dirk Sachse (GFZ), Katharina Schauffler (HIOH),
Magdalena Scheck-Wenderoth (GFZ), Eva Schill (KIT),
Melanie Schnell (DESY), Ullrich Schurr (FZJ), Stefan Sommer (GEOMAR),
Ute Weber (UFZ), Emanuel Wyler (MDC)
und Nicolas Tellner (Helmholtz-Geschäftsstelle)

Inhalt

Schlüsselressource Wasser, Wasserkrisen und Herausforderungen.....	1
Kontext Nationale Wasserstrategie.....	4
Kompetenzen in der Helmholtz-Gemeinschaft.....	5
Themenportfolio für eine Helmholtz-Wasserinitiative	7
Solution Labs und Querschnittsthemen	7
Solution Lab Terrestrische Wasserkreisläufe	8
Solution Lab Urbane BlauGrünRote Wassersysteme.....	10
Solution Lab Wasserqualität	14
Querschnittsthema Datenanalytik und Informationstechnologie	19
Querschnittsthema Mikrobiom, Interaktion im Ökosystem, Datenanalysen	20
Querschnittsthema Monitoring, Fernerkundung und Sensorik.....	22
Wissensaustausch und Implementierung.....	24
Referenzen.....	26
Anhang.....	32
Kompetenzprofile der Zentren.....	32
Think Tank Workshop – Wasser	41
Think Tank 3–4 July 2023	43

Schlüsselressource Wasser, Wasserkrisen und Herausforderungen

Wasser ist eine Schlüsselressource für das 21. Jahrhundert. Die gesellschaftliche und ökonomische Entwicklung in vielen Schwellen- und Entwicklungsländern wird bereits gegenwärtig oder in naher Zukunft durch unzureichende Wasserressourcen eingeschränkt. Auf mittel- bis längerfristige Sicht erweist sich aber auch der nachhaltige Umgang mit Wasser und den Gewässern in Europa sowie anderen hoch entwickelten Regionen der Welt als nicht gegeben. Alle diese Entwicklungen werden durch die mittlerweile manifesten Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserkreislauf beeinflusst und in vielen Regionen der Welt verschärft. Zudem wird sich die Wassernutzung im Zuge der Energiewende verändern, z.B. durch einen abzusehenden verstärkten Einsatz von Geothermie und der Nutzung des geologischen Untergrundes als Energiespeicher (z.B. für Wasserstoff) und möglicherweise auch für die Einlagerung von Kohlenstoffdioxid (CCS). Wir sehen es als eine ‚Grand Challenge‘ an, die Wasserverfügbarkeit in allen Lebens- und Wirtschaftsbereichen zu sichern und diese unter den sich verändernden Rahmenbedingungen vorherzusagen, um zukünftiges nachhaltiges Wassermanagement zu ermöglichen.

Dabei gilt auch Deutschland als relativ stark vom Klimawandel betroffenes Land und die Auswirkungen werden sowohl zunehmend messbar als auch manifest mit erheblichen Auswirkungen (insbesondere auf die Wasserversorgung, menschliche Gesundheit, Forstwirtschaft, Landwirtschaft, Energiewirtschaft, chemische und pharmazeutische Industrie, Verkehrswirtschaft und der Natur- bzw. Gewässerschutz). Besonders deutlich wurden in der letzten Dekade häufigere Extremwetterlagen mit regionalen Starkniederschlägen im Wechsel mit überregionalen Trockenperioden, wiederholt gepaart mit Hitzewellen, in bisher ungekannten jahreszeitlichen Verteilungen, Dauern, Eintrittswahrscheinlichkeiten und Auswirkungen.

Die volkswirtschaftliche Dimension dieser hydrologischen Klimawandelfolgen ist erheblich und eng mit den Schäden durch Hitze, Dürre und Hochwasser verbunden. Die extremwetterbedingten Schäden werden nach einer aktuellen Studie allein für Deutschland von 2000–2021 auf mindestens 6,6 Mrd. € jährlich geschätzt, mit einer direkten Schadenshöhe von über 114 Mrd. € und mehr als 30 Mrd. € indirekter Schäden.

Eine weitere große Herausforderung betrifft das Thema „Wasserqualität“. Während „Wasserknappheit“ und „Wasserstress“ in der nationalen und internationalen Politik in den letzten zwei

Jahrzehnten aufgrund der UN-Agenda zu den Millenniums-Entwicklungszielen (MDG's von 2000 bis 2015) zusammen mit dem Zugang zu Trinkwasser und sanitären Einrichtungen im Mittelpunkt der Agenda standen, blieb die Problematik der stofflichen Belastungen vergleichsweise nachrangig beachtet. Dies gilt auch für den Folgeprozess der UN-Nachhaltigkeitsziele (SDG's) bis 2030 mit dem SDG 6: Sauberes Wasser und Sanitäreinrichtungen: Verfügbarkeit und nachhaltige Bewirtschaftung von Wasser und Sanitärversorgung für alle gewährleisten.

Damit der Wasserkreislauf und die Süßwasserökosysteme nachhaltig funktionieren können, sind sowohl eine ausreichende Wassermenge als auch eine hinreichende Qualität der Wasserressourcen erforderlich und die Wasserqualität ist mitentscheidend für die Wassermengen, die für bestimmte Nutzungen zur Verfügung stehen. Diese gegenseitige Abhängigkeit verstärkt sich gegenwärtig wegen des raschen demografischen Wandels, den dynamischen ökonomischen Entwicklungen, der immer intensiveren Landnutzung, dem Umbau der Energiewirtschaft und nicht zuletzt durch den Klimawandel.

Deutschland steht bei der Wasserqualität weiterhin vor großen Herausforderungen. Obwohl die menschengemachten Einträge von Schad- und Nährstoffen in den vergangenen Jahrzehnten zum Teil deutlich zurückgegangen sind und man davon ausging, dass durch die flächenhaft eingeführte Abwasserreinigung, den Kläranlagenausbau und im Wesentlichen freiwillige Maßnahmen in der Landwirtschaft die wichtigsten Probleme gelöst zu haben, bleibt die Belastung vieler Oberflächengewässer und des Grundwassers immer noch sehr hoch. Daher wird eine Mehrzahl der national oder europaweit gesetzten Umweltziele verfehlt, mit entsprechenden Konsequenzen für die Umwelt und möglichen Vertragsverletzungsverfahren vor dem Europäischen Gerichtshof (EuGH). Die Krise besteht dabei nicht nur in den nach wie vor zu hohen Nährstoff- und Pestizideinträgen aus der Landwirtschaft, sondern auch in denen aus Alt- und Ewigkeitslasten. Zusätzlich werden kontinuierlich neue chemische Substanzen aus verschiedenen Industrie- und Wirtschaftsbereichen, aus Haushalten sowie Krankheitserreger, die teilweise mit Antibiotikaresistenzen versehen sind, eingetragen.

Zudem ist es nicht uitgemaakt, dass im Zusammenspiel mit dem Klimawandel, insbesondere bei ausgeprägten Niedrigwasserperioden und gleichzeitig immer wärmer werdenden Gewässern, die Aufnahme-, Abbau- und Transportkapazitäten des Wasserkreislaufs für weitere vom Menschen verursachte Stoffeinträge ausreichen werden. Dies gilt auch, nach dem Stand der Technik, für gereinigtes kommunales und industrielles Abwasser. Weiterhin ist die Bereitstellung von Prozesswasser in ausreichender Menge essenziell für die deutsche Industrie. Damit

einhergehend ist es auch ein entscheidender Standortfaktor für neue Industriestandorte und die Ansiedlung neuer Unternehmen in den Schlüsseltechnologien der Zukunft.

Über die bis hierhin genannten Herausforderungen hinaus muss schließlich auf die Gefährdung der Gewässer als Ökosysteme verwiesen werden, weil in Süßgewässerökosystemen im Vergleich zum Land oder den Meeren der Verlust an Biodiversität überproportional ist.

Auch hier ist Deutschland im Vergleich zu vielen anderen Ländern besonders stark von der Biodiversitätskrise betroffen und gemessen an ökologischen Indikatoren befinden sich nur 8 Prozent der Fließgewässer, 25 Prozent der Seen und keines der Übergangs- oder Küstengewässer derzeit in einem „guten ökologischen Zustand“, obwohl dieses Umweltziel gemäß der im Jahr 2000 eingeführten EU-Wasserrahmenrichtlinie eigentlich schon 2015 erreicht worden sein sollte. Dieser Zustand ist seit mehr als 25 Jahren praktisch unverändert und verglichen mit den Meeres- und Landökosystemen war der Artenverlust im Süßwasser in diesem Zeitraum mindestens doppelt so hoch. Damit trägt die ökologische Wasserkrise maßgeblich zum Biodiversitätsverlust bei.

Wasser ist also nicht nur als materielle Ressource zu betrachten, sondern auch als Lebensraum (Lebensgrundlage für eine Vielzahl von Organismen), und als Informationsträger für ökologische Informationen. Mikrobielles Leben im Wasser ist die Basis der Biodiversität, gleichzeitig aber auch Indikator für den Zustand eines ökologischen Systems. Darüber hinaus ist es Bestandteil des „Exposoms“, also der Gesamtheit von genetischen und Umweltfaktoren, die die Gesundheit allen Lebens auf unserem Planeten beeinflussen (<https://www.ufz.de/index.php?de=36244>). Mit den geeigneten Hochdurchsatzmethoden, seien es Sequenzierungen oder satellitengestützte physikalische Messungen, können Wassersysteme umfassend analysiert und quantifiziert werden. Die sich daraus ergebenden großen Datenmengen können mit Methoden der Data Science aufbereitet und analysiert sowie mit Anwendungen der künstlichen Intelligenz interpretiert werden, um wiederum damit Vorhersagen über Veränderungen aussagen zu können.

Um die zunehmenden Nutzungskonkurrenzen und „trade-offs“ rational zu beurteilen, Nutzungskonflikte zu vermeiden und die anstehenden Probleme zu lösen, werden wissenschaftliche Innovationen benötigt, die im Ergebnis neue integrative Methoden, Modelle und Werkzeuge verbunden mit transdisziplinären Konzepten für das umfassende Management der Wasserressourcen und der aquatischen Ökosysteme bereitstellen. Sie müssen in der Lage sein, den gesamten Wasserkreislauf bis in die Erdkruste hinein quantitativ und qualitativ zu erfassen und die Abhängigkeiten von und Wechselwirkungen mit der menschlichen Gesundheit und Ressourcennutzungen, insbesondere in Zusammenhang mit der Produktion von Nahrungsmitteln, Energie, Rohstoffen und Konsumgütern unter den Bedingungen des Klimawandels abzubilden. Sie müssen übertragbar sein und nicht nur in hoch entwickelten Ländern, wie Deutschland, mit einem ausdifferenzierten Umweltmanagement angewendet werden können, sondern auch unter den Bedingungen der Länder des globalen Südens, in denen die Informationen über Wasserdargebot, Wassernutzung und dem Zustand der Umwelt sehr viel lückenhafter sind.

Kontext Nationale Wasserstrategie

Um die quantitative, qualitative und ökologische Wasserkrise in der umweltpolitischen Agenda zu adressieren, wurde vom Bundesministerium für Umwelt und Verkehr mit dem Umweltbundesamt der „Nationale Wasserdiallog“ (2018–2020) initiiert und darauf aufbauend eine umfassende „Nationale Wasserstrategie“ abgeleitet. Die wesentlichen Handlungserfordernisse fasst die im März 2023 im Bundeskabinett verabschiedete „Nationale Wasserstrategie“ zusammen.

Neben dem Fokus auf die Handlungserfordernisse in Deutschland und in der EU soll die Nationale Wasserstrategie einen Beitrag zur weltweiten Umsetzung der Ziele der 2030-Agenda leisten, indem sie Wege aufzeigt, wie der „Wasserfußabdruck“ in einem Industrieland wie Deutschland nachhaltig reduziert werden kann. Auf diese Weise sollen die notwendigen Schritte zur Verbesserung der multilateralen Strukturen für eine beschleunigte Umsetzung der globalen Nachhaltigkeitsziele im Wasserbereich befördert werden.

In der „Nationalen Wasserstrategie“ wurden vier prioritäre und übergreifende Handlungsfelder abgeleitet:

- Die Sicherung der Trinkwasserversorgung
- Die Stärkung und Wiederherstellung des naturnahen Wasserhaushalts

- Die Anpassung der Wasserinfrastrukturen an die Klimakrise
- Sauberes Wasser in allen Flüssen und Seen

In jedem dieser Handlungsfelder besteht ein umfassender Bedarf für wissenschaftliches System- und Prozesswissen, valide Datengrundlagen und eine innovativ weiter zu entwickelnde Methodenbasis. Diese reichen von der satellitengestützten Erdbeobachtung, der Sensorik, den Informationsverarbeitungssystemen, über Wasserbehandlungs- und aufbereitungstechnologien bis hin zur hoch aufgelösten Analytik komplexer Stoffgemische und metagenomischer Signaturen mikrobieller Ökosysteme im Wasserkreislauf. Das generierte Wissen muss zudem auf vielen Ebenen politischer und administrativer Entscheidungs- und Umsetzungsprozesse und dem damit eng verbundenen zivilgesellschaftlichen Diskurs bedarfsgerecht zur Verfügung gestellt werden, um das übergeordnete Ziel der „Wassersicherheit“ in den genannten Handlungsfeldern nachhaltig zu erreichen.

Die Nationale Wasserstrategie betont außerdem die Einbindung von Stakeholdern. Zivilgesellschaftliche Beteiligung und bürgerschaftliches Engagement, das auch Citizen Science oder Bürgerwissenschaften einschließt, sind als zentrale Komponenten eines erfolgreichen Gewässerschutzes in den einzelnen Handlungsfeldern verankert.

Kompetenzen in der Helmholtz-Gemeinschaft

„Wasser“ ist ein systemisches und langfristiges Thema, eine „Grand Challenge“ und daher für eine thematische Helmholtz-Initiative „Wassersicherheit im 21. Jahrhundert“ prädestiniert.

Für die Erarbeitung der dafür benötigten wissenschaftlichen Grundlagen ist die Helmholtz-Gemeinschaft gefordert, weil sie ein breites Spektrum an fachlicher und methodischer Expertise in Kombination mit Forschungsinfrastrukturen bereithält, mit denen ein solch umfassendes Themenportfolio mit der benötigten Kompetenz bearbeitet werden kann. Zusammengefasst decken die Institute der HGF den gesamten Wasserkreislauf ab, was als einzigartig in der deutschen Forschungslandschaft gelten kann. Bereits heute ist das Thema „Wasser“ in den Helmholtz-Forschungsbereichen Erde und Umwelt, Gesundheit, Energie, Verkehr, Materie sowie Luftfahrt, Raumfahrt und Verkehr breit verankert. Beispielsweise geht es im Forschungsbereich Erde und Umwelt im PoF-IV Topic „Landschaften der Zukunft“ unter Beteiligung von sechs Helmholtz-Zentren um die Frage, wie Ökosysteme und Wasserressourcen unter den Bedingungen des globalen Wandels strukturell und funktional erhalten werden können und wie

nachhaltige Transformationen gestaltet werden müssen. Seit 2018 besteht das Centre for Molecular Water Science (CMWS), mit DESY, HZB, Hereon, HZDR und GFZ als teilnehmenden Helmholtz-Zentren, welches sich mit der molekularen Rolle des Wassers in ganz unterschiedlichen Forschungsaspekten, von Klima, Energie, Technologieentwicklung bis zu Gesundheitsfragen, beschäftigt. Schwerpunkte im CMWS sind u.a. auch die Bereitstellung analytischer Methoden, um Prozesse und Mechanismen aufzudecken und zu optimieren. Helmholtz steht für Spitzenforschung zur Bewältigung großer gesellschaftlicher Herausforderungen und hier können Citizen Science und andere partizipative Forschungsformate in ‚Solution Labs‘ mit der CARF CitizenScience and Participation@Helmholtz die Erforschung, Entwicklung und Umsetzung transformativer Lösungen gemeinsam mit der Gesellschaft ermöglichen. Auf diese Weise kann die Forschung große Herausforderungen nicht nur für die Gesellschaft bewältigen, sondern gemeinsam mit der Gesellschaft eine solide Evidenzbasis für gesellschaftspolitische Lösungen aufbauen.

Eine Helmholtz-Initiative „Wassersicherheit im 21. Jahrhundert“ würde den Rahmen bereitstellen, die bisher verteilten Kompetenzen und Ressourcen effizient zu bündeln.

Wegen der Breite des Themas und der Expertisen ist es notwendig, die Zielstellung für die HGF zu fokussieren. Diese wurde über den Helmholtz-Think Tank in einem entsprechenden Prozess organisiert (Helmholtz Think Tank im Juli 2023, Helmholtz-Workshop im Dezember 2023) und im Ergebnis das Themenportfolio im vorliegenden „Whitepaper“ erarbeitet.

Themenportfolio für eine Helmholtz-Wasserinitiative

Es wird vorgeschlagen, dass zur Bearbeitung des Forschungsthemas „Wassersicherheit im 21. Jahrhundert“ ein Themenportfolio gebildet wird. Dieses besteht aus drei übergeordneten wasserbezogenen Themen und drei Querschnittsthemen, die ein besonderes Potenzial für wissenschaftliche Innovationen haben und gleichzeitig von besonderer Relevanz sind:

Inhaltliche Themen:

- Terrestrische Wasserkreisläufe (natürliche und anthropogene Systeme)
- Urbaner Wasserhaushalt
- Wasserqualität

Querschnittsthemen:

- Digitalisierung und Informationstechnologien
- Mikrobiom, Interaktion im Ökosystem, Datenanalyse
- Monitoring, Fernerkundung und Sensorik

Solution Labs und Querschnittsthemen

Zur konkreten Bearbeitung der Themen sollen über die Helmholtz Wasserinitiative „Real-labore“ und „Solutions Labs“ eingerichtet werden. Hierfür wird eine Matrixstruktur vorgeschlagen, bestehend aus den inhaltlich motivierten Schwerpunktthemen und den übergreifenden Querschnittsthemen.

Gefördert werden sollen dabei Forschungsbereichs-übergreifende Einrichtungen, die sich auf

- die Entwicklung von innovativen Lösungen durch inter- und transdisziplinäre Forschung zu den genannten Themen konzentrieren,
- die dafür notwendigen Kompetenzen des Forschungsbereichs übergreifend zusammenführen,

- die Forschungsinfrastrukturen gebündelt einsetzen und
- den Wissensaustausch sowie die Implementierung mit Praxispartnern befördern.

Darüber hinaus sollen sie

- physisch verortet sein,
- mit einer Perspektive über die Dauer der Förderung hinweg eingerichtet werden,
- aus modularen Beiträgen der Kooperationspartner bestehen und
- ein Netzwerk mit Praxispartnern bilden.

Solution Lab Terrestrische Wasserkreisläufe

Um ein zukünftiges nachhaltiges Wassermanagement zu gewährleisten, ist ein quantitatives Verständnis aller Prozesse im terrestrischen Wasserkreislauf auf verschiedenen Zeitskalen (von Tagen bis ≥ 10000 Jahren) nötig. Wir schlagen vor, den natürlichen und anthropogen veränderten Wasserkreislauf in beispielhaften natürlichen und anthropogen geprägten Systemen zu überwachen, zu quantifizieren und zu modellieren. Dazu benötigt wird ein Verständnis des natürlichen ‚Hintergrundes‘ und seiner Einflussfaktoren (z.B. natürliche Klimaschwankungen, natürliche Häufigkeit von Extremereignissen im Holozän), um Veränderungen aufgrund anthropogener Beeinflussungen zu detektieren als auch zu quantifizieren.

Welche Fragestellungen sollen beantwortet werden und welche Innovationen werden dabei angestrebt oder sind dafür notwendig?

- Welche natürlichen Prozesse kontrollieren den Wasserkreislauf eines Modelleinzugsgebietes (Klima, Geologie, Topographie)? In welchem Verhältnis stehen die aktuellen Veränderungen im Wasserkreislauf im Kontext zur Holozänen Klimaentwicklung und des durch das Industriezeitalter induzierten Klimawandels?
- Wie ist die menschliche Veränderung eines Modelleinzugsgebietes quantifizierbar? Wie interagieren natürliche Prozesse und menschliche Entwicklungen/Eingriffe (Ko-Evolution von Natur/Wasserkreislauf und Mensch analysieren)?
- Wie nachhaltig ist eine bestimmte Nutzung eines Modelleinzugsgebietes (z. B. Landwirtschaft, Industrie, Geothermie...) und auf welchen Zeitskalen?
- Wie können die unterschiedlichen Anforderungen und Bedürfnisse bestmöglich erfasst und abgestimmt/gemanagt werden?

- Wie können 'trade-offs' evaluiert werden, z.B. die Bereitstellung von Wasser für Landwirtschaft, Wasserkraft vs. Schutz vor hydrologischen Extremereignissen vs. ökologische Anforderungen (Ökosystemleistungen); Beispiel: die Renaturierung von Flüssen benötigt Flächen, aber reduziert Hochwasser, erhöht Biodiversität, verbessert Grundwasserneubildung etc.
- Wie kann das zunehmende Risiko hydrologischer Extreme und 'compound events' sowie kaskadierender Ereignisse gemanagt werden?

Innovationen:

- Interdisziplinär: Mensch und Natur; Quantifizierung/Modellierung von physikalischen, ökologischen und sozioökonomischen Prozessen und deren Interaktionen
- Monitoring und Simulation in near-real-time als Grundlage für Entscheidungen

Wie können die Bearbeitung und Kooperation in einem Solution Lab erfolgen?

Wir schlagen vor, diese Fragestellungen an regionalen Modellgebieten zu untersuchen. Diese Gebiete, beispielsweise natürliche Einzugsgebiete ohne oder mit geringer menschlicher Nutzung und Gebiete mit starker landwirtschaftlicher, als auch industrieller (z.B. Wasserentnahme) oder energiewirtschaftlicher (z.B. Geothermie) Nutzung sollen charakteristisch für bestimmte Prozesse sein. Die Institute der HGF bearbeiten z.T. jetzt schon solche Gebiete individuell oder gemeinsam als HGF-Infrastruktur (z.B. TERENO Observatorium, eLTER, iFOODis etc...), die sich dafür eignen würden.

Diese Gebiete sollen gekennzeichnet werden durch ein komplettes Monitoring ('space-to-underground') des regionalen Wasserkreislaufes über verschiedene Zeitskalen, als auch die Nutzung von geologischen Archiven zur Identifikation von vergangenen Veränderungen und des 'natürlichen Hintergrundes'. Dies erlaubt außer einem neuartigen Prozessverständnis und den Vergleich von unterschiedlich genutzten Gebieten auch eine Quantifizierung der anthropogenen Eingriffe.

Die gleichzeitige Erstellung von Modellen bis hin zu Digital Twins dieser Gebiete erlaubt dann die Entwicklung von Szenarien für eine optimale, nachhaltige Wassernutzung in der Zukunft.

Welche Produkte sollen erarbeitet werden?

Das Ziel dieses Solution Labs ist das komplette Wasserbudget eines Modelleinzugsgebietes quantitativ zu beschreiben und die Entwicklung von neuen angepassten Wassermanagementkonzepten, die den Auswirkungen von Extremereignissen (Dürren/Fluten) begegnen, welche die veränderte Nutzung und auch die Auswirkungen des Klimawandels berücksichtigen. Dies bezieht sich sowohl auf Extremereignisse als auch auf die langfristige Entwicklung zur nachhaltigen Wassernutzung.

Solution Lab Urbane BlauGrünRote Wassersysteme

Urbane Räume und Städte sind auf besondere Art und Weise vom Thema „Wassersicherheit“ betroffen, weil sie als Verursacher signifikante anthropogene Veränderungen in Wassersystemen prägen und gleichzeitig als Betroffene besonders stark den Auswirkungen einschließlich des Klimawandels ausgesetzt sind. Nicht nur durch die aktuellen Diskussionen und Planungen zur urbanen Wärmewende und der Wasserwende wird ersichtlich, welche wichtigen Aufgaben zeitnah von den Städten zu lösen sind.

In naher Zukunft werden mehr als 70 Prozent der Menschen in Städten leben. Die urbanen Räume sind für 80 Prozent des Energieverbrauchs und 70 Prozent des Ressourcenverbrauchs verantwortlich. Aus Sicht der HGF-Forschung besteht die Herausforderung in dieser Situation darin, mit neuen transdisziplinären Ansätzen Systemlösungen auch auf kommunaler Ebene bis hin zur Umsetzung bereit zu stellen. Im Hinblick auf die Anpassung an die Folgen des Klimawandels ist neben den Fragestellungen zur Wasserquantität und -qualität zukünftig eine dezentrale Energieversorgung in Verbindung mit einer urbanen Wasserbewirtschaftung ein notwendiger Schritt. Gerade dezentrale Energiesysteme weisen einen besonderen Bezug zur urbanen Wasserbewirtschaftung auf. Technologien wie z.B. Wärme- oder Kältespeicherung im Aquifer, Wärmerückgewinnung aus Abwasser oder wasserstoffbasierte Technologien oder die Nutzung der Energie aus tiefem und oberflächennahem Grundwasser sind nur einige Beispiele. Der volatile Anteil erneuerbarer Energien in Energienetzen der Zukunft führt durch Schwankungen von Energieverfügbarkeit und -preis zu weiteren Herausforderungen und diesen ist mit entsprechend ausgestalteten urbanen Anpassungsstrategien hin zu BlauGrünRoten-Wassersystemen (BGR) zu begegnen.

Welche Fragestellungen sollen beantwortet werden und welche Innovationen werden dabei angestrebt oder sind dafür notwendig?

Folgende Innovationen werden angestrebt: (i) eine interdisziplinäre Integration aller Aspekte des urbanen Wassersystems unter Einbeziehung aller notwendigen verschiedenen Methoden und Modelle einer BGR Stadtentwicklung durch Szenarien basierte Planung, (ii) die Partnerschaft mit deutschen Modellstädten, um unsere Forschung in der realen Welt zu verankern und transdisziplinäre Aspekte einzubringen, und (iii) die Synthese unserer Ergebnisse, um umsetzbare und übertragbare Erkenntnisse für Städte und Kommunen in Deutschland und darüber hinaus zu liefern.

Die konkreten Fragestellungen sind:

- Welche Wassermengen und -qualitäten benötigen Städte für Anpassungs- und Migrationsprozesse an den Klimawandel? Welche Ressourcen stehen dafür im urbanen Raum oder im weiteren Umland zur Verfügung? – Wie lassen sich diese Anforderungen in einer integrierten BGR-Stadtplanung vorbereiten und im Kontext einer „Wasserwende“ umsetzen? Welche Anforderungen müssen Qualitätsstandards stellen?
- Welche Ressourcen sind bisher nicht genutzt? Welche Umschichtung in der Nutzung zwischen BGR können aufgrund von qualitativ unterschiedlichem Bedarf und Angebot erfolgen, um die multifunktionalen Ressourcen nachhaltig zu bewirtschaften? Welche Ko-Nutzung lässt sich nachhaltig abbilden?
- Wie lassen sich die komplexen Herausforderungen durch fundierte Entwicklungsszenarien in integrierten Stadtplanungskonzepten einbringen (z. B. durch funktionale digitale Zwillinge (FTD's) ...)? Welche Datenquellen sind dafür unter welchen Bedingungen verfügbar und zugänglich und wie sind diese in einem übergeordneten Steuerungssystem zu nutzen? Wie lassen sich die Umsetzung notwendiger Anpassungsszenarien und die Komplexität der Entscheidungsfindung durch spezifische Szenarien / die Entwicklung funktionaler Zwillinge beschleunigen?
- Wie lassen sich die multifunktionalen Möglichkeiten von BGR-Infrastrukturen gezielt in urbanen Planungsprozessen einsetzen? Wie lassen sich abrufbare Funktionen von BGR-Infrastruktur, wie z.B. CO₂-Einsparung, Mikroklimaeffekte, Förderung der Biodiversität, Resilienz gegenüber Starkregen und Dürre in Bezug zum spezifischen Wasserbedarf bewerten?

- Wie können Power-to-X Technologien zur Erzeugung und Speicherung erneuerbarer Energien (Wärme, Gas – O₂, H₂, CH₄) vor Ort zur Lastflexibilisierung urbaner Infrastruktur nachhaltig und wirtschaftlich genutzt werden?
- Wie kann im Gesamtsystem urbaner (Ab)Wasser- und Energieinfrastruktur unter den schwankenden Randbedingungen (Regen, Verdunstung, Trockenheit) und den Fluktuationen am Energiemarkt Resilienz und Nachhaltigkeit erzielt werden?
- Wie lassen sich die fundierte urbane BGR wasserwirtschaftliche Entwicklungsszenarien durch die Entwicklung funktionaler Zwillinge beschleunigen?
- Wie können urbane Abwassersysteme genutzt werden um die Verbreitung von Krankheitserregern und Antibiotikaresistenzen zu erkennen und vorherzusagen?
- Durch welche Maßnahmen lassen sich die Ergebnisse auf andere Städte übertragen?

Innovationen:

- Erhöhung der Resilienz urbaner Räume gegenüber Wetterextremen durch verlässliche und bezahlbare Versorgungssicherheit (Bewässern, Kühlen, Heizen...) von Gebäuden und Stadtgrün; Quantifizierung der Potentiale und Varianten von BGR Infrastrukturen
- Bereitstellung zusätzlicher Wasser- und Energieressourcen für zukunftsfähige Adaptations- und Mitigationskonzepte an den Klimawandel
- Echtzeit-Monitoring von Ressourcen, Transportsystemen und Verbrauch mittels multipler Sensorsysteme
- intelligentes Steuerungs- und Regelungssystem für die Stoff- und Energieströme im Gesamtsystem basierend auf einem digitalen Zwilling bei Berücksichtigung der multifunktionalen Leistungen BGR Infrastrukturen
- Technologien zur Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz für Infrastrukturanlagen als Schlüssel für mehr Flexibilität (Bsp. energieintensive Abwassersysteme)
- Entlastung und Stabilisierung des Stromsektors durch Kopplung mit Power-to-X (Wärme, Gas – O₂, H₂, CH₄) – Beiträge für Wasser-, Energie und Wärmewende
- neue Bewirtschaftungsmodelle für die gekoppelten Systeme

Wie können die Bearbeitung und Kooperation in einem Solution Lab erfolgen?

Eine zukunftsorientierte BGR-Stadtentwicklung muss Lösungen für hochkomplexe Aufgabenstellungen finden. Vor dem Hintergrund des Klimawandels werden die Städte gezwungen sein sich weiter anpassen. Für eine effiziente Lösung dieser Aufgabenstellungen schlagen wir vor, die etablierten deutschen Modellstädte des BMBF (ResZ: Ressourceneffiziente Stadtquartiere) besonders zu berücksichtigen. In den vergangenen fünf Jahren konnten in diesen Städten bereits intensive Formen der Zusammenarbeit mit den Entscheidern der Stadtverwaltung, kommunalen Planern und Stadträten/Bürgervertretungen implementiert werden. Die HGF-Standorte in Leipzig (UFZ), Karlsruhe (KIT), und Geesthacht (Hereon) und zusätzlich Dresden (HZDR) nehmen dabei eine besondere Stellung ein. Unser Konzept des BGSL besteht aus den drei Säulen (1) Technologische Beiträge, (2) Szenarien/FDTs und (3) Kommunikation.

In den genannten Modellstädten und an den dort lokalisierten HGF-Standorten sollen und werden bereits Modell-Quartiere entwickelt. Dabei werden multifunktionale BGR-Technologien in Wohnblöcken/Quartieren und Helmholtz Campi gebaut und hinsichtlich ihres Wirkungsgrades und ihrer Interaktion bewertet. Beispiele dafür sind Themen wie das Gestalten von Innenhöfen, Gründächern, Fassaden oder Straßenräumen sowie die Grundwassernutzung zum Heizen und Kühlen. Zum Nachweis und zur Überwachung der Funktionsfähigkeit der Reallabore benötigt es eine großflächige (engmaschige) Monitoring-Infrastruktur. Diese Ergebnisse können wiederum im Anschluss u.a. dazu beitragen adaptive Reaktionen auf Starkregen, Dürre und Hitze zu entwickeln oder die Untersuchung von Nutzungskonflikten durch Mitigation zu verbessern.

Neben dem Wirkungsgrad der Maßnahmen soll zudem der Ressourcenbedarf (z.B. Platz, Wasser, Energie, Bewirtschaftung) abgeschätzt werden, der benötigt wird, um die geplante Funktionalität zu erreichen. Über den Ressourcenbedarf lassen sich demnach auch Grenzen und Kapazitäten der Infrastrukturen ableiten. Ein Modellquartier soll beispielhaft zeigen, wie die einzelnen BGR-Technologien intelligent verkoppelt werden können, um die Multifunktionalität dieser Technologien optimal realisieren zu können. Neben der Ausstattung des Quartiers mit entsprechender Sensorik solle ein digitaler Zwilling entwickelt werden, der die Übertragung der Ergebnisse ermöglichen soll. Darüber hinaus ist die partizipative Beteiligung der Einwohner von großer Bedeutung, um die Akzeptanz gegenüber neuen Technologien und Transformationen zu untersuchen.

Welche Produkte sollen erarbeitet werden?

Die geplanten Forschungsarbeiten verlangen eine enge Zusammenarbeit mit den Stadtverwaltungen, kommunalen Unternehmen, (Landschafts-)Architekten u.a.m. Ein Ergebnistransfer auf weitere Regionen/Städte soll in Zusammenarbeit mit dem deutschen Städtetag vorbereitet werden.

- BGR Solution Labs zur Entwicklung und Erprobung klimaneutraler hydrologisch-thermischer Schwammstadtkonzepte (d.h. Geothermie, Kältespeicherung...)
- Modellhaftes Konzept von BGR-Adaptationsstrategien der beteiligten Städte: Strategien zu saisonalen hydrologischen und thermischen Überschusssituationen (Starkregen, Hitzewellen) sowie Mangelsituationen (Dürren und Kältewellen)
- Integrierte Planungsmodelle für die urbane Entwicklung – FdTs
- Räumlich-wirtschaftliche Bewertungen wie z.B. Analyse und Modellierung aktueller und zukünftiger Wasserbedarfe; Priorisierung von BGR-Investitionen im urbanen Raum, Umgang mit Konflikten...
- Verknüpfung und Schnittstellen komplexer Daten- und Informationsquellen

Solution Lab Wasserqualität

Viele der in Oberflächengewässern und im Grundwasser auftretenden Stoffe, Stoffgruppen, Keime und Partikel sind von hoher Umweltrelevanz und auch für die menschliche Gesundheit von Bedeutung. Die Relevanz des Themas begründet sich zunächst aus deren Umweltverhalten. So werden beispielsweise persistente Spurenstoffe und Plastikpartikel nur sehr langsam abgebaut und mineralisiert, weshalb sie über einen langen Zeitraum in Gewässern und im Wasserkreislauf nachweisbar sind. Wegen ihrer Langlebigkeit können sie die Nutzbarkeit des Wassers oder wasserabhängiger Lebensräume beeinflussen, selbst wenn der Stoffeintrag eingestellt ist. Ihr Eintrag aus dem Binnenland in die Küstenregionen und die marine Umwelt, in denen sich z.B. die belasteten Flusssedimente ablagern, rückt die Notwendigkeit quantitativer Bilanzen über Einträge, Wege und Verbleib entlang des Land-Wasser-Meer Kontinuums immer stärker in den Blickpunkt. Diese sind bisher nur in Ansätzen und für wenige Stoffe aufgeklärt.

Wasser spielt ebenso eine bedeutende Rolle für die deutsche Industrie. Es wird in verschiedenen Bereichen eingesetzt, wie beispielsweise in der Produktion, Kühlung, Reinigung und als Rohstoff. Die Verfügbarkeit von ausreichendem und qualitativ hochwertigem Wasser ist für viele Unternehmen von großer Bedeutung, um ihre Produktionsprozesse aufrechtzuerhalten.

Prozesswasser spielt eine entscheidende Rolle vor allem in der chemischen und pharmazeutischen Industrie. Es wird für eine Vielzahl von Zwecken während der verschiedenen Produktionsstufen verwendet. Wichtige Schlüsselaspekte der Bedeutung von Prozesswasser sind Reaktionen und Synthesen, Kühlung, Dampferzeugung, Reinigung und Waschen, Lösungsmittel für Extraktionen, Qualitätskontrolle und Abwassermanagement. Da Prozesswasser oft mit verschiedenen Chemikalien in Berührung kommt, ist ein effizientes Abwassermanagement von entscheidender Bedeutung. Hinzu kommt, dass die chemische und pharmazeutische Industrie in Bezug auf Prozesswasser oft strenge Qualitätsstandards und Vorschriften einhalten muss, um die Sicherheit der Produkte und den Umweltschutz zu gewährleisten.

Zusätzlich rücken Stoffe wie Antibiotika, die von ihnen induzierten Resistenzen in Krankheitserregern sowie Medikamentenrückstände in verschiedensten Erscheinungsformen, wegen ihres Risikopotentials in den Blickpunkt. So können z.B. diverse Arzneistoffe und deren Rückstände in Kläranlagen mit den derzeit vorhandenen Aufbereitungstechnologien nur in Teilen zurückgehalten werden. Durch bestimmte Verfahrensstufen können sich toxische Transformationsprodukte bilden, deren Wirkung in der Umwelt bislang weitgehend unbekannt sind. In Hinblick auf Arzneistoffe lässt sich abschätzen, dass der Medikamentenverbrauch zukünftig durch den demografischen Wandel ansteigen und im Hinblick auf die Entwicklung der Wasserqualität zu berücksichtigen sein wird.

Schädliche Algenblüten stellen ebenfalls eine Bedrohung für Wasserressourcen dar und haben erhebliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Biodiversität. So ist beispielsweise auch das Verständnis der sich verändernde Verteilung und Zusammensetzung von Phytoplankton entscheidend, um die Entwicklung und das Abklingen von Ereignissen schädlicher Algenblüten zu dokumentieren und Strategien zur Eindämmung dieser Ereignisse zu entwickeln.

Der Schutz des Trinkwassers wird auch zukünftig von hoher Bedeutung sein und durch verschiedene Einflüsse des Klimawandels an Priorität gewinnen. Neben den quantitativen Fragen werden qualitative Herausforderungen zunehmend relevant sein, etwa durch die Verlagerung

von Nährstoffen aus Waldkalamitätsflächen oder der Landwirtschaft in das Grundwasser oder in Talsperren durch atypische Niederschlagsperioden oder Dürreereignisse. Ebenso relevant werden die abnehmenden Verdünnungs- und Transportkapazitäten von Kläranlagenabläufen in längeren Trockenperioden mit ggf. Auswirkungen auf die Trinkwassergewinnung aus Uferfiltrat einschließlich der Zunahme von Niederschlagswassereinleitungen aus Kanalisationen bei Starkregenereignissen.

Um eine nachhaltige Begrenzung der anthropogenen Stoffeinträge in den Wasserkreislauf zu erreichen, werden zukünftig ein hohes Verantwortungsbewusstsein beim Umgang mit wasserrelevanten Stoffen und Stoffgruppen sowie eine faktenbasierte Abwägungskompetenz der Risiken in weiten Bereichen der Wasserwirtschaft und Zivilgesellschaft benötigt. Es ist deshalb geboten, die Problematik zukünftig relevanter Stoffeinträge in einem weiteren Rahmen als bisher zu denken und Defizite bei der Risikobewertung wissenschaftsbasiert zu schließen.

Welche Fragestellungen sollen beantwortet werden und welche Innovationen werden dabei angestrebt oder sind dafür notwendig?

Mit dem Solution Lab soll das Verständnis über das Entstehen von Emissionen, der Verteilung der Schadstoffe, deren Wege und Verbleib verbunden mit den nachteiligen Wirkungen auf Mensch und Umwelt synoptisch entlang folgender Fragen gesamthaft erfasst werden:

- Wie entstehen die Schadstoffemissionen im Prozess (Produktion, Dienstleistung etc.) und entlang von Wertschöpfungsketten?
- Wie verbreiten sie sich im Wasserkreislauf?
- Wie gestaltet sich eine zuverlässige Schadstoff-/Wasseranalytik mit hoher Verfügbarkeit?
- Wie ist die toxikologische Wirkung auf Organismen einschließlich des Menschen, Biodiversität und verschiedenen ökologischen Organisationsebenen?
- Was sind effiziente Strategien für eine schadstofffreie Umwelt, bestehend aus Vermeidung, wassersensiblen Gebrauch und innovativen Technologien der Behandlung?
- Was sind effiziente technische Konzepte (zentral und dezentral) und die technologischen Lösungen für deren Beseitigung?
- Wie nachhaltig sind diese Lösungen hinsichtlich Energie- und Ressourcenverbrauch?
- Wie können diese Technologien in Wertschöpfungsketten eingebunden werden?

Innovationen:

- Analytische Methoden mit hoher Verfügbarkeit
- Weiterentwicklung von Methoden und Modellen für Stoffströme und Wasserqualität
- Weiterentwicklung von Verfahren zur Risikobewertung von Chemikalien und Stoffgemischen einschließlich wirkungsbezogener Analytik
- Nachhaltige Managementansätze und leistungsfähige Reinigungstechnologie für Ewigkeitschemikalien
- Analyse von neuen Rückgewinnungsmethoden bei der Behandlung und Aufbereitung von Abwasser (z.B. wertvolle Edelmetalle aus Abwässern der Chip Herstellung)

Wie können die Bearbeitung und Kooperation in einem Solution Lab erfolgen?

Wir schlagen vor, die genannten Fragestellungen in regionalen Modellgebieten zu untersuchen, für die idealerweise schon jetzt Vorarbeiten und HGF-Infrastrukturen in den Zentren oder gemeinsam mit Partnern vorhanden sind (z.B. TERENO Observatorium, Urbane Observatorien).

Für die Sicherung der Lebensqualität und die Erhaltung bzw. Statusverbesserung der aquatischen Ökosysteme werden weiter entwickelte Qualitätsstandards im Wassergütemanagement für ganze Regionen und ihre Gewässernetzwerke benötigt. Im noch zu bestimmenden Real-labor und in kleineren Satelliten-Laboren entlang eines Klima- und Wasserqualitätsgradienten werden neuartige Monitoringsysteme auf Basis gekoppelter autonomer Sensornetzwerke mit Fernerkundungstechnologien entwickelt und getestet, das Zusammenspiel der Systeme und die Datenprozessierung und -verbreitung weiterentwickelt (siehe Zusammenarbeit in den Querschnittsthemen).

Im Bereich der Reinigungstechnologien ist eine enge Zusammenarbeit zwischen UFZ, HZDR und HEREON angedacht, da in diesen Zentren bereits intensiv an der Thematik Mikroschadstoffe gearbeitet wird und Kompetenzen gebündelt werden können. Die in Entwicklung befindlichen Reinigungstechnologien können bezüglich relevanter Mikroschadstoffe im Rahmen eines breiten Screenings untersucht werden. Dabei sind Effekte bedingt durch Wechselwirkungen in der Schadstoffmatrix und durch den Reinigungsprozess selbst zu betrachten, insbesondere die Rolle von Transformationsprodukten und deren Toxizität. Die Behandlung belasteter Wasserkörper ist für verschiedenste Szenarien zu betrachten. Die Partner entwickeln relevante Anwendungsszenarien in Kooperation mit den Praxispartnern und setzen diese auf Laborebene um. Die verschiedenen Reinigungstechnologien sind hierbei bezüglich vorhandener

Synergieeffekte zu analysieren. So können beispielsweise Membranbasierte Verfahren (HER-EON) für eine Vorbehandlung dienen, um nachgelagerte Reinigungsstufen wie die hydrodynamische Kavitation (HZDR, CLEWATEC) und weitergehende oxidative Verfahrensstufen (UFZ) zu entlasten. Analytische Methoden, um die Qualität der Reinigungsansätze zu überprüfen sowie die mechanistischen Prozesse zu optimieren, sind hier von hoher Bedeutung. Im Rahmen der vorhandenen Zusammenarbeiten im CMWS können diese membranbasierten Prozesse mit bildgebenden Verfahren bei DESY untersucht werden, auch mit dem Ziel, zu verstehen, wie sie auf andere zu filternde Spezies erweitert werden können.

Es ist zielführend, in einer begleitenden Validierungsphase, favorisierte Technologien für ausgewählte Anwendungen als Container-Lösung für Pilotversuche zu Verfügung zu stellen. Damit sind dann in Kooperation mit den Praxispartnern Langzeittests unter realen Bedingungen durchzuführen. Hierfür sind Praxispartner aus den Netzwerken der beteiligten Helmholtz-Zentren frühzeitig einzubinden.

Welche Produkte sollen erarbeitet werden?

Die geplanten Forschungsarbeiten verlangen eine enge Zusammenarbeit mit kommunalen Unternehmen und Betreibern von Anlagen zur Trinkwasserversorgung, Abwasserreinigung und im Gewässerschutz. Angestrebte Produkte sind:

- Systemlösungen für eine schadstofffreie Trinkwasserversorgung und Umwelt
- Systemlösungen für die Stadtentwässerung, regional für hochgereinigtes Niederschlags- und Abwasser, z.B. für Bewässerung von Stadtgrün und Urban Farming (s. BGR Solution Lab).
- Systemlösungen für Regenwassermanagement mit Erschließung neuer Wasserressourcen hoher Qualität durch Integration von dezentralen Speichern und deren multifunktionale Nutzung.
- Nachhaltige Wasseraufbereitungstechnologien mit Mehrfachnutzen
- Neuartige Sensornetze für Wasserqualität entlang von Stoffströmen mit Verknüpfung und Schnittstellen komplexer Daten- und Informationsquellen

Querschnittsthema Datenanalytik und Informationstechnologie

Das Querschnittsthema „Digitalisierung und Informationstechnologien“ entwickelt und stellt Plattformen für die Erarbeitung von Lösungen in den Bereichen der natürlichen und anthropogen veränderten terrestrischen Wasserkreisläufe bereit, insbesondere in Bezug auf die drei Solution Labs und die damit verbundenen Herausforderungen.

Das Querschnittsthema ist von zentraler Bedeutung, da es die Grundlage für die Darstellung und das physikalische Verständnis der inhaltlichen Themen der Solution Labs schafft. Durch die Anwendung von Digitalisierung und Informationstechnologien können diese effektiv und umfassend beschrieben und dargestellt werden. Durch Datenmanagement, Datenanalyse (inklusive Künstlicher Intelligenz), Simulation und Visualisierung werden datengetriebene Szenarien und Entscheidungsfindung unterstützt. Indem es also die Bereitstellung der Kopplung verschiedener physikalischer Prozesse mittels digitaler Simulationsmodelle ermöglicht, trägt das Querschnittsthema Vertiefung der Erkenntnisse aus den Solutions Labs bei.

Die Bearbeitung des Querschnittsthemas erfolgt durch die Aufbereitung und Bereitstellung erarbeitet werden, die auch für die Interaktion mit der Öffentlichkeit genutzt werden können. Innovationsziele sind die Entwicklung neuer Methoden für die Digitalisierung, fortschrittliche Simulationstechnologien und verbesserte Visualisierungsansätze sein, wie

- Ressourcenmanagement: Durch die Schaffung eines digitalen Zwillings für Wasserressourcen können Behörden und Unternehmen präzise Daten über Wasserquellen, -qualität und -verfügbarkeit erhalten. Dies ermöglicht ein effizientes Ressourcenmanagement, da Entscheidungsträger fundierte Entscheidungen auf der Grundlage von Echtzeitdaten treffen können.
- Frühwarnsysteme für Wasserkrisen: Durch die Integration von Sensoren und IoT-Geräten in Wasserinfrastrukturen können digitale Zwillinge dazu beitragen, Frühwarnsysteme für Wasserkrisen zu entwickeln. Das System kann Unregelmäßigkeiten oder Anomalien in der Wasserversorgung erkennen und frühzeitig auf potenzielle Probleme hinweisen, wie z.B. Wasserknappheit oder -verschmutzung.
- Effiziente Wassernutzung: Digitale Zwillinge ermöglichen es, Szenarien für die Wasserverteilung zu simulieren und zu optimieren. Dadurch können Wasserversorgungssysteme effizienter gestaltet werden, um die Bedürfnisse der Bevölkerung, Landwirtschaft und Industrie besser zu erfüllen.

- **Infrastrukturwartung:** Die digitale Zwillingstechnologie ermöglicht eine präventive Wartung von Wasserinfrastrukturen. Durch die Überwachung von Anlagen in Echtzeit können potenzielle Ausfälle oder Leckagen frühzeitig erkannt werden, was zu geringeren Betriebsunterbrechungen und einer längeren Lebensdauer der Anlagen führt.
- **Datenaustausch und Zusammenarbeit:** Die Integration von digitalen Zwillingen fördert den Austausch von relevanten Daten und Informationen zwischen verschiedenen Akteuren, einschließlich Behörden, Unternehmen und der Öffentlichkeit. Dies verbessert die Zusammenarbeit bei der Bewältigung von Wasserproblemen und fördert eine transparentere Informationsverwaltung.

Die angestrebten Produkte können Wissen, Datenprodukte und Methoden umfassen, die einen fortschrittlichen Ansatz für die Lösung der Herausforderungen in den Solution Labs bieten. Die Digitalisierung im Wassersektor trägt dazu bei, Ressourceneffizienz zu verbessern, Umweltauswirkungen zu minimieren und die Resilienz von Wasserversorgungssystemen zu stärken. Gleichzeitig stellt sie jedoch auch Herausforderungen hinsichtlich Datenschutzes, Cybersicherheit und der Integration verschiedener Technologien dar. Daher ist eine ganzheitliche Herangehensweise erforderlich, um die Vorteile der Digitalisierung im Wassersektor optimal zu nutzen.

Querschnittsthema Mikrobiom, Interaktion im Ökosystem, Datenanalysen

Die drei Solution Labs befassen sich mit komplexen ökologischen Systemen mit einer sehr großen Anzahl von Einflüssen, Parametern, Interaktionen und Komponenten. Der Beitrag dieses Querschnittsthema ist es, ein holistisches Verständnis des Systems und der Dynamiken darin zu erreichen. Dazu werden mit den verschiedensten Hochdurchsatzverfahren große Datensätze generiert, die anschließend integriert und analysiert werden.

In diesem Querschnittsthema werden die Erstellung von Datenebenen und die integrative Datenanalyse erarbeitet, in enger Interaktion mit dem Querschnittsthema Monitoring / Fernerkundung / Sensorik, in dem weitere Datenquellen bereitgestellt werden. Ziel ist eine umfassende Beschreibung der Systeme in den Solution Labs. Dazu gehören Dynamiken, wie etwa Veränderungen entlang zeitlicher oder räumlicher Dimensionen, die Definition von Kausalitäten und die Erstellung von Modellen, um auf Grund gegebener Daten zukünftige Veränderungen vorhersagen zu können. Messwerte stehen dabei für sich (wie etwa die Daten aus dem Dürremonitor) oder fungieren als Korrelate (bspw. Veränderungen in Gewässermikrobiomen,

die für gegenwärtige oder zukünftige Veränderungen in der Wasserqualität stehen). Hier werden insbesondere chemische/biochemische Verfahren behandelt wie Massenspektrometrie oder Hochdurchsatzsequenzierung, die in den Helmholtz-Bereichen Umwelt und Gesundheit verfügbar sind, sowie die Datenintegration und -analyse mit Hilfe der an verschiedenen Helmholtz-Zentren verwendeten Methoden der Künstlichen Intelligenz, Bioinformatik usw. Zusätzlich bieten sich auch analytische Methoden zur Materialienuntersuchung an, die auf bildgebenden Röntgenmethoden basieren. Damit lassen sich z.B. Filtermaterialien oder Membranen zur selektiven Entfernung wertvoller Metalle untersuchen, u.a. mit dem Ziel, diese Prozesse weiter zu optimieren. Der Datenanalyse gemein sind die neuen Möglichkeiten, die Künstliche Intelligenz und maschinelles Lernen bieten, und die hier insbesondere für die Hochdurchsatzverfahren gewinnbringend ausgenutzt werden sollen.

Das Querschnittsthema bedarf einer hohen Interdisziplinarität, um die Kette Fragestellungen-Datenerhebungen-Datenanalyse in den verschiedenen Helmholtz-Zentren bearbeiten zu können. Dazu braucht es Arbeitsgruppen mit Teilnehmerinnen und Teilnehmern aus den verschiedensten Helmholtz-Zentren, um Fragestellungen, Methoden und Analyse verbinden zu können. Beispielhaft steht dafür die 2023 begonnene Zusammenarbeit zwischen UFZ und MDC, in der umweltwissenschaftlichen Expertise mit Kompetenzen in Metagenomik und Datenanalyse zusammengebracht werden.

Der Fokus soll auf Technologien liegen, die mit standardisierten Verfahren über ein ganzes System hinweg große Datenmengen liefern können. Das können Verfahren sein wie etwa der Dürremonitor, aber auch Hochdurchsatzsequenzierung zur Bestimmung der genetischen Information (Mikrobiom) in Wasserproben, Umweltanalytik zur Bestimmung organischer und anorganischer Moleküle (Interaktom) oder Röntgenmethoden zur Untersuchung von Filtermaterialien.

Im nächsten Schritt geht es darum, die vorhandenen Daten zu integrieren, und zu analysieren. Integration von Datenebenen bedeutet, an Hand von Metadaten wie geographische Koordinaten und Zeit, verschiedene Datenquellen zusammenzubringen. Das können bspw. eine Gewässerprobe für Chemikalien und Genomik sein, sowie Wasserstandsmessungen und Trinkwasserqualität. Damit können Verbindungen zwischen Datenebenen hergestellt werden, etwa: wie verändert sich die Trinkwasserqualität eines Reservoirs in Abhängigkeit von Wasserstand und (mikrobieller) Biodiversität im Ökosystem? Damit ist nicht nur eine Beschreibung des Systems möglich, sowie die Interaktionen und Rückkopplungen zwischen biotischen

und abiotischen Komponenten. Maschinelle Lernverfahren, wie Deep Learning, können Muster und Merkmale aus den Daten extrahieren und prädiktive Modelle erstellen, um zukünftige Szenarien vorherzusagen in Folge von bspw. Umweltbelastungen oder Urbanisierungen. Diese Modelle helfen, Risiken und Unsicherheiten zu bewerten, und sind damit Basis für Entscheidungsfindung und Planung.

Querschnittsthema Monitoring, Fernerkundung und Sensorik

Angesichts des globalen Klimawandels ist in Zukunft mit einer Zunahme von klimatischen Extremen zu rechnen. Dies stellt Wissenschaft, Planung und Politik vor große Herausforderungen für nachhaltige Anpassungsstrategien im Zusammenhang mit der Zunahme und Intensivierung von Klimaextremen besteht ein hoher Bedarf an kontinuierlichen und flächendeckenden Informationen zum Zustand von Binnengewässer und Landnutzungen der Einzugsgebiete. Dazu gehören insbesondere die inter- und intraannuelle Variabilität von Oberflächengewässern, Veränderungen der Wasserqualität, Zustand und Speicherkapazität der Böden und Vegetationsdynamik. Neben klimatischen Aspekten ist die generelle Sicherstellung der Wasserversorgung und die Gewährleistung einer guten Wasserqualität eng verknüpft mit gesunden natürlichen Ökosystemen und deren zukünftiger nachhaltiger Nutzung. Neben der Industrie und dem urbanen Wasserumsatz trägt die Landwirtschaft in hohem Maße zur Belastung von Oberflächen-, Fließ- und Küstengewässern durch den Eintrag von Herbiziden, Pestiziden, Nährstoffen, pharmazeutischen Produkten und pathogenen Keimen bei. Ebenso weit verbreitet ist die Verschmutzung von Grundwasser.

Im Vergleich zu Industrie und Haushalten, die lokale Punktquellen von Verschmutzung darstellen, erfolgt der Eintrag von landwirtschaftlichen Schadstoffen diffus und ist somit durch Messprogramme schwerer zu erfassen. Ein satellitengestütztes, als auch ein biologisches und biogeochemisches Monitoring bildet dabei die Grundlage für Entscheidungswissen und Managementmaßnahmen und trägt substantiell zu den drei inhaltlichen Schwerpunktthemen, wie auch den anderen Querschnittsthemen bei.

Um eine Übernutzung der Wasserressourcen zu vermeiden und eine nachhaltige natürliche Wasserreinhaltung aufrechtzuerhalten, ist es erforderlich, eine Vielzahl unterschiedlicher biologischer, biogeochemischer und physikalischer Parameter zeitgleich zum Zustand und zur Bewirtschaftung eines Wassereinzugsgebiets zu erfassen. Zur Umsetzung der EG-Wasser-Rahmenrichtlinie wird das Monitoring in Deutschland überwiegend von den Ländermesspro-

grammen getragen, die über ein ausgedehntes Messstellennetz in den Oberflächengewässern als auch im Grundwasser verfügen. Dieses Monitoring dient primär der Erfassung von Schad- und Nährstoffen, die bei der Gewässerreinigung als prioritär betrachtet werden sowie von Pegeln zur Erfassung von Messständen und Durchflüssen. Dennoch können damit nicht alle räumlichen und zeitlichen Skalen abgedeckt werden. Die Herausforderungen im Bereich des Monitorings des Wasserhaushaltes und der Gewässerreinigung sind vielfältig und regional unterschiedlich. Um ökosystembasierte Lösungen zur Verbesserung der Wasserqualität zu entwickeln, ist es entscheidend die verschiedenen Einflussfaktoren in unterschiedlichen Umweltbereichen zu verstehen und zu berücksichtigen.

Satelliten und andere fernerkundliche Plattformen ermöglichen eine flächendeckende und regelmäßige Überwachung von Gewässern über große Gebiete und Zeiträume. Mithilfe der Fernerkundung können Informationen zu verschiedenen Wasserqualitätsparametern wie Trübung, Chlorophyllgehalt, Algenblüten und Verschmutzung erfasst werden. Zusätzlich ermöglichen Fernerkundungsverfahren die Kartierung der Verteilung von Pflanzen, Algen und anderen Organismen in Gewässern (Giardino et al. 2018). Dies ist von entscheidender Bedeutung für die Bewertung der Biodiversität und des ökologischen Zustands. Durch eine kontinuierliche Überwachung können Veränderungen in Gewässern frühzeitig erkannt werden, sei es im Zusammenhang mit Landnutzung, Vegetation, Wasserstand oder anderen dynamischen Prozessen.

Komplementäre verständnisorientierte Monitoringansätze wie z.B. transdisziplinäre, Kompartiment-übergreifende Messnetzwerke und großskalige operationelle Erdbeobachtungsmissionen sollen hierbei eine zentrale Rolle einnehmen und bauen auf bestehenden HGF-Kooperationen und Initiativen auf. Sie ermöglichen die Zusammenführung von Informationen zu Wasserqualität, Wasserdynamik, Bodenbeschaffenheit, landwirtschaftlichen Praktiken, dem Zustand von Ökosystemen, meteorologischen Bedingungen und Klimavariablen. Durch diese ganzheitliche Betrachtungsweise kann das Prozessverständnis zu Auswirkungen von Nutzungen und Belastungen vertieft werden um effektive Maßnahmen zur Gewässerreinigung und Klimaanpassung zu entwickeln, die die Wechselwirkungen zwischen Wetter, Landwirtschaft, Böden und limnisch-fluvialen-marinen Systemen angemessen berücksichtigen.

Das Querschnittsthema Monitoring, Fernerkundung und Sensorik dient der Entwicklung von Monitoringkonzepten, die modellhaft für verschiedene Bereiche (siehe Solution Labs) erarbeitet werden sollten. Der Schwerpunkt liegt auf analytischen Verfahren und Sensorik zur

Erfassung des Wasserhaushalts (hydrogeologische Parameter: z.B. Bodenfeuchte, Gewässerdynamik) und der Wasserqualität (z.B. pathogene Keime, mikrobielle Gemeinschaften, Nährstoffe). Daneben spielt die Fernerkundung eine entscheidende Rolle bei der Ergänzung bestehender Sensor- und Messstellengebundener Monitoringsysteme um dynamische Veränderungen, sowie deren Treiber und Trends, frühzeitig zu erkennen und sich auf prognostizierte Klimafolgen vorzubereiten. Konkret sollen langjährige Veränderungen der Landbedeckung und -management in Einzugsgebieten und deren Auswirkungen auf Süßwasserökosysteme und die Variabilität von Wasserdynamiken von Binnengewässern untersucht werden. Ein besonderes Augenmerk entfällt auch auf klimatische Extremereignisse (z.B. Dürre, Flut) und deren Effekte auf Wasserqualität, Wasserdynamik und Biodiversität, sowie dem Monitoring und der Bewertung von Maßnahmen (z.B. ökosystembasierte Klimaanpassung).

Partner unterschiedlicher Einrichtungen und Disziplinen sollen im Querschnittsthema zusammengeführt werden, um bereits bestehende Analytik oder Sensoren in Monitoring-Netzen skalenübergreifend zu verknüpfen oder neu entwickelte Sensorik in die Anwendung zu bringen. Die interdisziplinär entwickelten Anwendungen und Methoden lassen sich auf andere Regionen weltweit übertragen.

Wissensaustausch und Implementierung

In allen Solution Labs mit ihren thematischen Schwerpunkten und Querschnittsthemen wird ein Mehrebenen-Ansatz des Wissensaustausches und der Implementierung verfolgt. Dieser umfasst die Ebene der Wissenschaft, der technisch-wissenschaftlichen Fachebenen in der Umsetzung einschließlich ihrer Institutionen, Demonstrationsvorhaben und -objekte und die Zivilgesellschaft. Die konkrete Ausgestaltung wird themenspezifisch zu differenzieren sein.

Auf nationaler Ebene hat die Helmholtz-Gemeinschaft die Entwicklung des Weißbuchs „Citizen-Science-Strategie 2030 für Deutschland“ federführend geleitet und aufbauend auf den Herausforderungen die gemeinsame CARF „CitizenScience-and-Participation@Helmholtz“ gegründet, die von mehreren Helmholtz-Zentren getragen wird, vornehmlich UFZ, GFZ, RIFS, KIT, Jülich und weiteren. Ziel des CARF ist die Professionalisierung und dauerhafte Etablierung interdisziplinärer und zentrenübergreifender Citizen Science- und sozialer Innovationsforschung in Helmholtz. Diese kann die Wasserforschung zentral unterstützen und stärken.

Durch Wasser-Forschung mit und für die Gesellschaft kann Innovation und strategische Positionierung von Helmholtz im Wasserbereich weiter gestärkt werden und eine führende Position in Deutschland und Europa einnehmen. Durch attraktive Citizen Science Konzepte und Solution Labs kann öffentliches Vertrauen in die Wissenschaft gestärkt, und die Akzeptanz wissenschaftlicher Arbeit allgemein gesteigert werden. Weiterhin kann die CARF verbessertes bidirektionales Lernen und Wissenstransfer gemeinsam mit Bürgern und Praxis ermöglichen, und so Wissensergebnisse strategisch in Politik und Forschungsförderung verankern.

In jedem der geplanten Wasser-Forschungscluster soll daher die Zusammenarbeit mit der CARF personell verankert werden, um so die Qualität von Citizen Science und partizipativer Forschung in den Solution Labs und Reallaboren zu sichern, Expertise zu teilen und gemeinsam zu stärken.

Referenzen

Amann, S., Beisheim, N., Haefner, P., Haefner, V., Kastner, K., Mayer, A., ... & OTTa, T. (2023, November). Using Collaborative Immersive Environments and Building Information Modeling Technology for Holistic Planning of Production Lines. In Leveraging Transdisciplinary Engineering in a Changing and Connected World—Proceedings of the 30th ISTE International Conference on Transdisciplinary Engineering, Hua Hin Cha Am, Thailand, July 11th–14th, 2023. Ed.: P. Koomsap (p. 443).

Banari, A., Hertel, D., Schlink, U., Hampel, U., Lecrivain, G. (2022) Simulation of particle re-suspension by wind in an urban system. *Environmental Fluid Mechanics* 23:41-63. <https://doi.org/10.1007/s10652-022-09905-x>.

Besson, M., Alison, J., Bjerger, K., Gorochoowski, T., Høye, T., Hjalte, T. J., Mann, M. R., Clement, C. F. (2022). Towards the fully automated monitoring of ecological communities. *Ecology Letters*. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/ele.14123>.

Boelens, P., Bobeth, C., Hinman, N., Weiss, S., Zhou, S., Vogel, M., Drobot, B., Shams Aldin Azzam S.S., Pollmann, K., Lederer, F. (2022) Peptide functionalized Dynabeads for the magnetic carrier separation of rare-earth fluorescent lamp phosphors. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 563:169956. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2022.169956>

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) (2023). Nationale Wasserstrategie – Kabinettsbeschluss. Berlin.

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (2023). Extremwetterschäden in Deutschland seit 2018. Berlin

Büttner, O., Jawitz, J.W., Birk, S., Borchardt, D. (2022). Why wastewater treatment fails to protect stream ecosystems in Europe. *Water Res.* 217, art. 118382

Euzébio, T. A. M., Parra Ramirez, M. A., Reinecke, S. F., Hampel, U. (2023) Energy Price as an Input to Fuzzy Wastewater Level Control in Pump Storage Operation. *IEEE Xplore* 11:93701-93712. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3310545>

Finckh, S., Carmona, E., Borchardt, D., Büttner, O., Krauss, M., Schulze, T., Yang, S. (2024). Mapping chemical footprints of organic micropollutants in European streams. *Environ. Int.* 183, art. 108371.

Freshwater microbial metagenomes sampled across different water body characteristics, space and time in Israel: <https://www.nature.com/articles/s41597-022-01749-w>

Freund, M., Helle, G., Balting, D., Ballis, N., Schleser, G. H., Cubasch, U. (2023): European tree-ring isotopes indicate unusual recent hydroclimate. - *Communications Earth & Environment*, 4, 26.

Frick, M., Cacace, M., Klemann, V., Tarasov, L., Scheck-Wenderoth, M. (2022): Hydrogeological and Thermal Effects of Glaciations on the Intracontinental Basins in Central and North-ern Europe. - *Frontiers in Water*, 4, 818469. <https://doi.org/10.3389/frwa.2022.818469>

Frick, M., Scheck-Wenderoth, M., Schneider, M., Cacace, M. (2019): Surface to Groundwater Interactions beneath the City of Berlin: Results from 3D Models. - *Geofluids*, 2019, 4129016. <https://doi.org/10.1155/2019/4129016>

Giardino, C., Brando V.E., Gege P., Pinnel N., Hochberg E., Knaeps E., Reusen I., Doerffer R., Bresciani M., Braga F., Foerster S., Champollion N., Dekker A. (2018): Imaging Spectrometry of Inland and Coastal Waters: State of the Art, Achievements and Perspectives. *Surveys in Geophysics*. <https://doi.org/10.1007/s10712-018-9476-0>

Gege, P., 2004. The water color simulator WASI: an integrating software tool for analysis and simulation of optical in situ spectra, *Computers & Geosciences* 30, 523–532.

Gege, P., 2014, WASI-2D: A software tool for regionally optimized analysis of imaging Spectrometer data from deep and shallow waters, *Computers & Geosciences* 62, 208–215

Gruszecka-Kosowska, A., Ampatzoglou, A. Aguilera. M. (2022). Integration of Omics Approaches Enhances the Impact of Scientific Research in Environmental Applications. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 19, no. 14: 8758. <https://doi.org/10.3390/ijerph19148758>.

Häfner, V., Benedix, A. C., & Häfner, P. (2020). Automatisierung des Virtualisierungsprozesses im Anlagenbau. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 115(3), 148-152.

Häfner, V., Benedix, A. C., Grethler, M., & Kögel, M. (2021). Holistische Planung einer Fertigung im Neubau. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 116(3), 106-110.

Häfner, V., Siebel, J., Häfner P., Rogalski, S., 2013. Interaktive Flexibilitätsbewertung in virtuellen Welten. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 123, 127, doi.org/10.3139/104.110902

Hassenruck-Gudipati H. J., Andermann C., Dee S., Brunello C. F., Baidya K. P., Sachse D., Meyer H. and Hovius N. (2023) Moisture Sources and Pathways Determine Stable Isotope Signature of Himalayan Waters in Nepal. AGU Adv. 4.

Hernández Medina, R., Kutuzova, S., Nielsen, K.N. et al. Machine learning and deep learning applications in microbiome research. ISME COMMUN. 2, 98 (2022). <https://doi.org/10.1038/s43705-022-00182-9>.

Herrmann-Heber, R., Ristau, F., Mohseni, E., Reinecke, S. F., Hampel, U. (2021) Experimental Oxygen Mass Transfer Study of Micro-Perforated Diffusers. Energies 14:7268. <https://doi.org/10.3390/en14217268>

Hertel, D., Schlink, U. (2022): Entropy frameworks for urban heat storage can support targeted adaptation strategies. Urban Climate 42 , art. 101129.

Huacalco-Aguilar, Y., Kumar, A., Meier, M., Lerch, A., Reinecke, S.F. (2023) Efficient removal of ozone-resistant micropollutant from effluents using continuous hydrodynamic cavitation combined with ozone. Journal of Environmental Research, in submission.

Jain, R., Fan, S., Kaden, P., Tsushima, S., Foerstendorf, H., Barthen, R., Lehmann, F., Pollmann, K. (2019) Recovery of gallium from wafer fabrication industry wastewaters by Desferrioxamine B and E using reversed-phase chromatography approach. Water Research 158:203-212. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.04.005>

Knappe, J., van Afferden, M., Friesen, J. (2023) GR2L: A robust dual-layer green roof water balance model to assess multifunctionality aspects under climate variability. Frontiers in Climate. 5:1115595. doi: 10.3389/fclim.2023.1115595.

Koltzer, N., Scheck-Wenderoth, M., Cacace, M., Frick, M., Bott [Sippel], J. (2019): Regional hydraulic model of the Upper Rhine Graben. - Advances in Geosciences, 49, 197-206. <https://doi.org/10.5194/adgeo-49-197-2019>

Kvas, A., Boergens, E., Dobslaw, H., Eicker, A., Mayer-Guerr, T., Güntner, A. (2024): Evaluating long-term water storage trends in small catchments and aquifers from a joint inversion of 20 years of GRACE/GRACE-FO mission data. - Geophysical Journal International, 236, 2, 1002-1012. <https://doi.org/10.1093/gji/ggad468>

Leipziger BlauGrün (2022), Urbane Wasserwende – Handlungsempfehlungen an die Bundespolitik, https://www.ufz.de/export/data/478/276653_2023_02_20_PolicyPaper_BlauGr%C3%BCn.pdf.

Machine learning and deep learning applications in microbiome research: <https://www.nature.com/articles/s43705-022-00182-9>

McDaniel, E. A., Aljoscha Wahl, S., Ishii, S., Pinto, A., Ziels, R., Nielsen, P. H., McMahon, K. D., Williams, R. B. H. (2021). Prospects for multi-omics in the microbial ecology of water engineering. Water Research, Volume 205.

Meller, C., Schill, E., Bremer, J., Kolditz, O., Bleicher, A., Benighaus, C., Chavot, P., Gross, M., Pellizzzone, A., Renn, O., Schilling, F., Kohl, T., 2018. Acceptability of geothermal installations: A geoethical concept for GeoLaB, Geothermics, 73, 133-145, doi.org/10.1016/j.geothermics.2017.07.008.

Mengis, N., Kalhori, A., Simon, S., Harpprecht, C., Baetcke, L., Prats-Salvado, E., Schmidt-Hattenberger, C., Stevenson, A., Dold, C., El Zohbi, J., Borchers, M., Thrän, D., Korte, K., Gawel, E., Dolch, T., Heß, D., Yeates, C., Thoni, T., Markus, T., Schill, E., Xiao, M., Köhnke, F., Oschlies, A., Förster, J., Görl, K., Dornheim, M., Brinkmann, T., Beck, S., Bruhn, D., Li, Z., Steuri, B., Herbst, M., Sachs, T., Monnerie, N., Pregger, T., Jacob, D., Dittmeyer, R., 2022. Net-Zero CO2 Germany—A Retrospect from the Year 2050. Earth's Future, 10(2), doi.org/10.1029/2021EF002324.

Michels, F. L., & Häfner, V. (2022). Automating virtualization of machinery for enabling efficient virtual engineering methods. Frontiers in Virtual Reality, 3, 1034431.

Michels, F. L., Müller, L., Häfner, V., & Häfner, P. (2021). Serious Game Concept to Promote Citizen Engagement for the Energy Transition Using Virtual Reality and Web Platforms. In Interactive Mobile Communication, Technologies and Learning (pp. 601-612). Cham: Springer International Publishing.

Nachwuchsförderung: UFZ PhD-Kohorte "CLEANER": Förderung der Schadstoffsenkenfunktion von blau-grünen Infrastrukturen für lokale städtische Wasserkreisläufe in klimaresistenten Städten

Nivala J., Wallace S., van Afferden M. and Müller R.A. (2022) Evapotranspiration dynamics in aerated and non-aerated subsurface flow treatment wetlands. *Science of The Total Environment*, vol. 843, p. 156605 (<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156605>).

Parra Ramirez, M. A., Fogel, S., Reinecke, S. F., Hampel, U., (2023) Techno-Economic Assessment of PEM Electrolysis for O₂ Supply in Activated Sludge Systems—A Simulation Study Based on the BSM2 Wastewater Treatment Plant. *Processes* 11:1639. <https://doi.org/10.3390/pr11061639>

Rahman KZ, Al Saadi S, Al Rawahi M, Knappe J, van Afferden M, Moeller L, Bernhard K, Müller RA ((2023) A multi-functional nature-based solution (NBS) for greywater treatment and reuse at the same plot. *Ecological Engineering* 191 (2023) 106952. (<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2023.106952>)

Repasch M., Scheingross J. S., Cook K. L., Sachse D., Dosch S., Orfeo O. and Hovius N. (2023) Lithospheric Flexure Controls on Geomorphology, Hydrology, and River Chemistry in the Andean Foreland Basin. *AGU Adv.* 4.

Sairam, N., Brill, F., Sieg, T., Farrag, M., Kellermann, P., Nguyen, V. D., . . . Kreibich, H. (2021). Process-Based Flood Risk Assessment for Germany. *Earth's Future*, 9(10), e2021EF002259. doi:<https://doi.org/10.1029/2021EF002259>

The Ecobiomics project: Advancing metagenomics assessment of soil health and freshwater quality in Canada: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719359017>

UFO-Plan-UBA-Studie: Müller, R. et al (2023) Wege zum abflussfreien Stadtquartier - Potentiale, Wirkungen und Rechtsrahmen des ortsnahe Schmutz- und Regenwasser-managements; M. van Afferden, G. Khurellbaatar and M. Ueberham., 23-28; Reese, M., Fischer, H., Rechtlicher Rahmen und Handlungsbedarf zur Transformation der Abwasserinfrastrukturen, 118-183.

von Gönner, J., Bowler, D.E., Gröning, J., Klauer, A.-K., Liess, M., Neuer, L. & Bonn, A. (2023) Citizen science for assessing pesticide impacts in agricultural streams. *Science of The Total Environment*, 857, 159607.

Wicaksono, H., Dobрева, P., Häfner, P., & Rogalski, S. (2015). Methodology to develop ontological building information model for energy management system in building operational phase. In *Knowledge Discovery, Knowledge Engineering and Knowledge Management: 5th International Joint Conference, IC3K 2013, Vilamoura, Portugal, September 19-22, 2013. Revised Selected Papers 5* (pp. 168-181). Springer Berlin Heidelberg.

Yang, S., Büttner, O., Kumar, R., Basso, S., Borchardt, D. (2022). An analytical framework for determining the ecological risks of wastewater discharges in river networks under climate change. *Earth Future* 10 (10), e2021EF002601.

Anhang

Kompetenzprofile der Zentren

- **DESY/CMWS**

Das CMWS Konsortium kann zur Optimierung nachhaltiger Reingungstechnologien beitragen. Dies beinhaltet die Mechanismenaufklärung für Schadstoffbeseitigung mittels hydrodynamischer Kavitation (PFAS etc.), aber auch Verständnis der selektiven Filterung diverser wertvoller Rohstoffe mittels Membranen, welches in Rückkopplung die Herstellung optimierter Membranen erlaubt. Darüber hinaus bestehen Kompetenzen, um derartige Prozesse zu modellieren.

- **DLR**

Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) fungiert als führendes Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland im Bereich Luft- und Raumfahrt und betreibt Forschung und Entwicklung in den Bereichen Luftfahrt, Raumfahrt, Energie, Verkehr, Sicherheit und Digitalisierung. Innerhalb des DLR spielt das Earth Observation Center (EOC) bestehend aus dem Institut für Methodik der Fernerkundung (IMF) und dem Deutschen Fern-erkundungsdatenzentrum (DFD) als Kompetenzzentrum für satellitengestützte Erdbeobachtung in Deutschland eine entscheidende Rolle. Das EOC forscht aktiv im Bereich Fernerkundung und konzentriert sich auf Lösungen für gesellschaftliche Fragestellungen in den Bereichen Umwelt, globaler Wandel, nachhaltige Entwicklung und Klimaschutz.

Das Institut für Methodik der Fernerkundung (IMF) entwickelt automatisierte Verarbeitungsketten für multispektrale - und hyperspektrale Satelliten Missionen (Sentinel, EnMAP, DESIS). Darüber hinaus verfügt es über langjährige Erfahrungen im Bereich der Gewässerfernerkundung. Eine Hauptentwicklung ist das WASI-Modell (Gege, 2004, 2014), ein physikalisch basiertes Strahlungstransfermodell zur Analyse von Wasserqualitätsparametern mittels EO-Daten.

Die Kernkompetenzen des DFD liegen in der Entwicklung und Integration von IT-Systemen zur Verarbeitung und Verwaltung großer Datenmengen, der Betreuung des Bodensegmentes und auf der Nutzung von Erdbeobachtungsdaten und der Entwicklung thematischer Prozessoren zu Ökosystemen, Landnutzung, Energie, und Umwelt und urbanen

Räumen. Für die Entwicklung geowissenschaftlichen Informationsprodukte kombiniert das DFD innovative Methoden (Zeitreihen, künstliche Intelligenz, Modellierung) mit multispektralen, hyperspektralen und Radar-Erdbeobachtungssensoren. Eine innovative High Performance Data Analytics (HPDA) Plattform, betrieben vom DLR und dem Leibniz-Rechenzentrum (LRZ) der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, ermöglicht Wissenschaftlern neben anderen Infrastrukturen, einen effizienten Zugang zu Erdbeobachtungsdaten, eine leistungsstarke Prozessierungsumgebung und praktische Werkzeuge zur Verarbeitung großer Zeitreihendaten.

Durch derzeit am DLR durchgeführten Projekte im Bereich Umweltmonitoring, Extremereignisse und Gewässermonitoring, ergänzen die Ziele der Solution Labs passgenau: FloodAdaptVN (BMBF, 2019-2025) untersucht die ökosystembasierte Hochwasseranpassung; METAScales (BMBF, 2024-2026) erforscht die Auswirkungen und Anpassung an zukünftige Extremereignisse an der deutschen Küste, HydroSHEDS-X (Kooperation mit McGill University) zur Ableitung digitaler hydrographischer Informationen und HGF Projekten wie AI4Core zur Entwicklung AI-basierter Methoden in der Erdbeobachtung.

Das DLR leistet aufbauend auf der oben genannten Forschung einen thematischen Beitrag zu den Solution Labs Wasserqualität und terrestrische Wasserkreisläufe und findet sich methodisch im Querschnittsthema Monitoring, Fernerkundung und Sensorik wieder.

- **GEOMAR**

Das GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel ist eines der weltweit führenden Institute auf dem Gebiet der Meereswissenschaften. Das Institut erforscht die chemischen, physikalischen, biologischen und geologischen Prozesse des Meeresbodens, der Ozeane und Ozeanränder sowie deren Wechselwirkungen mit der Atmosphäre. Das GEOMAR betreibt hochmoderne Labore zur Untersuchung der biogeochemischen Eigenschaften der Wassersäule und von Sedimenten. Des Weiteren bietet es eine ausgewiesene Expertise des Monitorings im offenen Ozean und in Küstengewässern sowie der in-situ Sensorik und Robotik.

Das GEOMAR leistet einen Beitrag zu den Solution Labs Wasserqualität und terrestrische Wasserkreisläufe und findet sich im Querschnittsthema Sensorik und Monitoring wieder.

Das Querschnittsthema strebt an, mit laufenden Helmholtz-Projekten im Bereich des Umweltmonitorings (z.B. Helmholtz Sustainability Challenge iFOODis) zusammenzuarbeiten.

Das Projekt iFOODis zielt auf die Einrichtung eines robotischen Monitoring Netzwerks in der Übergangszone Land-Küste ab, wobei das Zusammenwirken landwirtschaftlicher Aktivität und deren Auswirkungen auf die Ökologie an Land, in Fließgewässern als auch in Küstengewässern hochaufgelöst überwacht werden soll.

- **GFZ**

Das GFZ ist Deutschlands nationales Forschungszentrum für Geowissenschaften und weltweit führendes Forschungsinstitut der Geowissenschaften. Es deckt die Forschung vom Weltraum bis in die Tiefe der Erde ab, mit einem Fokus auf die Rolle der festen Erde im Erdsystem. Das GFZ verbindet Forschung der festen Erde mit der Hydrosphäre, der Kryosphäre, der Atmosphäre und der Biosphäre und quantifiziert die chemischen, physikalischen und biologischen Prozesse die auf unserem Planeten ablaufen. Das GFZ entwickelt Lösungen für die großen gesellschaftlichen Herausforderungen. Dazu gehören die Antizipation von Gefahren, die sich aus den dynamischen Systemen der Erde ergeben, die Minderung der damit verbundenen Risiken für die Gesellschaft und die Sicherung unseres Lebensraums unter dem Druck des globalen Wandels. Das GFZ erforscht den Aufbau und die Geschichte der Erde, ihre Eigenschaften und die Dynamik ihres Inneren und ihrer Oberfläche und nutzt dieses Verständnis, um Lösungen zu entwickeln, die notwendig sind, um den Planeten Erde als sicheren und nachhaltigen Lebensraum zu erhalten.

Als Beiträge zur vorgeschlagene Forschung zur Wassersicherheit kann das GFZ folgende Expertisen und Ansätze stellen.

- Monitoring (Satelliten, Gravimeter, Vor Ort Sensoren, ET, cables,), Prozessquantifizierung (Wasserisotopie, Wasser(geo)chemie), Wasser- und Sedimenttransport
- Modeling (surface, subsurface): Einzugsgebietsmodelle, hydraulische Modelle, Impaktmodelle für hydrologische Extreme, Sozio-hydrologische Modelle (die Zusammenspiel zwischen Hydrologie und sozioökonomischen Prozessen abbilden), Wettergenerator um lange Klimazeitreihen für gegebenen Klima zu generieren und um GCMs herunterzuskalieren
- 3D Modelle der Grundwasserdynamik im Untergrund in Abhängigkeit von Klimawandel, Extremereignissen, Grundwasserförderung (urban und landwirtschaftlich, Schadstofftransport) und Untergrundnutzung (Geothermie, Speicherung, Endlagerung). Natürliche versus anthropogen induzierte Effekte -Hier laufen schon Arbeiten in Berlin, Brandenburg, Oberrheingraben, Molassebecken

- Zusammenarbeit mit Wasserversorgern
- Extremereignisvorhersage, Risikoabschätzung
- Paläohydrologie

- **HEREON**

Wassermangel, Klimawandel und Energiewende – bei diesen Herausforderungen spielen Stofftrennungen eine zentrale Rolle. Um zur Lösung dieser globalen Probleme beizutragen, entwickelt das Institut für Membranforschung innovative Membranverfahren. Sauberes Trinkwasser für alle Menschen – das zählt zu den größten Herausforderungen der Zukunft. Innovative Membranverfahren können sowohl bei der Wasserversorgung als auch der Abwasserentsorgung helfen und dadurch die Umwelt entlasten. In der Abteilung „Mikroporöse Polymere“ werden leistungsfähige Membranen, die Mikroschadstoffe und Schwermetalle aus dem Wasser filtern entwickelt. Außerdem entwirft sie neuartige mikroporöse Polymere, etwa um Meerwasser zu entsalzen oder klimaschädliche Gase aus der Luft zu filtern. Unterstützt werden die Arbeiten durch eine umfassende digitale Modellierung.

Das Climate Service Center Germany (GERICS) wurde im Jahr 2009 von der Bundesregierung im Rahmen der „Hightech-Strategie zum Klimaschutz“ ins Leben gerufen und am Helmholtz-Zentrum Hereon eingerichtet. Seit Juni 2014 ist GERICS eine selbstständige wissenschaftliche Organisationseinheit des Hereon. GERICS entwickelt gemeinsam mit Entscheidungsträgern aus Politik, Verwaltung, Wirtschaft und Zivilgesellschaft prototypische Dienste und Werkzeuge (Co-Development). Zu UT-UBGI trägt GERICS mit seiner Expertise in der Stadtklimamodellierung mit PALM-4U und in der gemeinsamen Entwicklung praktischer Werkzeuge mit potentiellen Nutzern zu diesem Projekt bei. Auf diese Weise wird der Transfer von Lösungen in die Praxis gefördert, was eine gesellschaftliche Wirkung gewährleistet. GERICS koordinierte die Projekte UseUClim und ProPolis (<https://www.uc2-propolis.de/>), die beide die Praxistauglichkeit und Nutzbarkeit von PALM-4U für nicht-wissenschaftliche Nutzer (d.h. vor allem Nutzer in der Stadtverwaltung) sicherstellen sollten. PALM-4U wird auch im Rahmen des CoKLIMAx-Projekts eingesetzt, dessen Ziel die Entwicklung / Implementierung von Daten-Workflows zur Integration anderer Datenquellen, wie z.B. demographischer Informationen, ist. PALM-4U wurde in mehreren Städten unterschiedlicher Geographie und Größe (z.B. Geesthacht, Boizenburg und Konstanz, aber auch Essen, Berlin, Leipzig oder Hamburg) und zu verschiedenen Fragen des

thermischen Komforts, des Windes und der Luftverschmutzung eingesetzt. Bei all diesen Aktivitäten verfolgt GERICS einen transdisziplinären Ansatz der gemeinsamen Entwicklung.

- **HZDR**

Das am HZDR angesiedelte Clean Water Technology Lab (CLEWATEC; HGF HIL A02) fokussiert auf Technologien zur Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz von (Ab)wasserinfrastrukturanlagen in enger Kooperation mit Praxispartnern (Projekt RIOWAR BMWK FKZ 03EN2092A) bis hin zur Standardisierung (Vorsitz im VDI Richtlinienausschuss VDI2774 für Energieeffizienz verfahrenstechnischer Anlagen zur Abwasserbehandlung). Ein weiterer Schwerpunkt ist die Modellierung und dynamische Simulationen gekoppelter Wasser-, Abwasser- und Energieinfrastruktur zur Untersuchung des Systemverhaltens unter dem Einfluss schwankender Randbedingungen (Schadstoffkonzentration, Regenereignisse, Energieverfügbarkeit). Hierbei erfolgt die Evaluierung der Möglichkeiten zur Kopplung von Power-to-X Technologien mit Abwasserreinigungsprozessen und die Entwicklung intelligenter Steuerungssysteme als Teil einer Flexibilisierungsstrategie mit dem Ziel gesteigerter Resilienz und Effizienz durch optimale Ausnutzung von Pufferkapazitäten, Reduzierung des Energieverbrauchs und Maximierung der Abdeckung von Erneuerbaren. Ein weiterer Schwerpunkt in CLEWATEC ist die Entwicklung nachhaltiger Wasserreinigungstechnologien als Grundlage für die Wasserwiederverwendung. Hier werden Technologien für die Beseitigung schwer abbaubaren Schadstoffe und Ewigkeitschemikalien wie PFAS (Liste der relevanten Schadstoffe in EU-Richtlinien) basierend auf hydrodynamischer Kavitation ohne Einsatz von Chemikalien und Katalysatoren als flexibel einsetzbare Lösung für sowohl dezentrale als auch zentrale Infrastruktur entwickelt (HyKaPro SAB-EFRE AN 100689115; CaviPro MSCA-DN <https://www.ul.ie/cavipro>). Expertise zur Untersuchung der Reaktionen beim Schadstoffabbau auf molekularer Ebene mit experimentellen Methoden besteht in der Abteilung Biophysik (Prof. Fahmy) und der Terahertz-Beamline DALI (Bezug zu CMWR).

In der Abteilung Biotechnologie am HZDR-HIF werden Technologien zur magnetischen Separation und dem anschließenden biologischen Abbau von Mikroplastik mittels optimierter Plastik abbauender Enzyme (Gruppe BioKollekt, Dr. Lederer) und durch die Entwicklung von Plastik spezifischen Peptiden erforscht. Weiterhin besteht hier Expertise zur Ent-

fernung und Rückgewinnung von wertvollen Rohstoffen wie Gallium, Indium und Germanium u.a. aus Industrieabwässern mit Hilfe von bio-sorptiven Reagenzien (Peptide, Siderophore und Biotenside) und Bio-Ionenflotation. Eine Pilotanlage, in der Siderophore (mikrobielle Komplexbildner) für die Rückgewinnung von Gallium aus Industrielässern (bis zu 1000 l) eingesetzt werden, wurde in 2023 in Betrieb genommen.

Weitere Expertise am HZDR besteht bei der Untersuchung des Transportverhaltens von partikulären Schadstoffen, wie z.B. Stadtstaub, Mikroplastikpartikeln oder Schwermetallpartikeln, in urbaner Infrastruktur (Fluidodynamik, Dr. Lecrivain). In diesen Bereichen arbeitet das HZDR in strategischer Partnerschaft mit Unternehmen aus der Industrie und aus Kommunen und bringt diese als Praxispartner ein: Air Liquide, DBI - Gastechnologisches Institut gGmbH, hydrograv GmbH, PreSens GmbH, PTM GmbH, DAS Environmental Expert GmbH, Si-licon Saxony, Freiburger Compound Materials GmbH, Stadtentwässerung Dresden GmbH, Emschergenossenschaft Lippeverband, Hallesche Wasser und Stadtwirtschaft GmbH, Berliner Wasserbetriebe.

- **HZI/HIOH**

Das Helmholtz-Zentrum für Infektionsforschung untersucht Humanpathogene, die Immunität dagegen, und sucht nach Wirkstoffen gegen Infektionskrankheiten. Innerhalb des HZI widmet sich das Institut für One Health HIOH der interdisziplinären Erforschung von Zoonosen, der Evolution von Krankheitserregern und der Epidemiologie antimikrobieller Resistenzen (AMR). Im Einklang mit dem One Health-Ansatz, der die Gesundheit von Menschen, Tieren und der Umwelt als eng miteinander verbunden betrachtet, untersuchen wir molekulare Mechanismen der Übertragung von Erregern und AMR als Voraussetzung für erfolgreiche Pandemie-Vorsorge und -Prävention. Eines unserer zentralen Ziele ist es, die Zusammenhänge zwischen Biodiversität und Krankheitsrisiken in sich verändernden Ökosystemen besser zu verstehen. Um diese Zusammenhänge zu erfassen und zu überwachen, führen wir engmaschig systematische und langfristige Studien in verschiedensten Ökosystemen in Deutschland und Subsahara-Afrika durch.

Diese One Health Surveillance-Studien erfordern kreative Lösungen, mit denen z.B. (meta-) genomische Daten aus schwer zugänglichen Tierpopulationen und Regionen sowie aus Proben von geringer Qualität gewonnen werden können. Das HIOH verfügt über langjährige Erfahrungen auf diesem Gebiet und kann auf ein umfassendes Repertoire exzellenter

molekulare Methoden zurückgreifen, die diese Arbeit erleichtern. Dazu gehören unter anderem zahlreiche Hybridization Capture-Kits, die wir mit verschiedenen Next Generation Sequencing-Plattformen koppeln, um genomische Daten aus nicht-invasiven und historischen Proben zu generieren. Darüber hinaus haben wir eine Reihe innovativer Ansätze zum Wildtiermonitoring entwickelt, darunter die Verwendung von Fliegen und anderen Wirbellosen zur Gewinnung von DNA aus der Umwelt. Nicht nur tierische DNA, sondern auch DNA-Spuren von Krankheitserregern können so nachgewiesen werden. Dadurch sind wir in der Lage, Tierpopulationen auf nicht-invasive Weise zu überwachen und die genomische Vielfalt sowie die Verbreitung von Pathogenen in definierten Gebieten zu verfolgen. Diese Methoden können sehr effizient auch in aquatischen Lebensräumen angewendet werden. In diesem Zusammenhang entwickelt das HIOH derzeit zusammen mit dem Greifswald Moor Centrum ein auf zehn Jahre angelegtes Projekt zur Untersuchung wiedervernässter Moorökosysteme. Erfahrung und Infrastruktur für Umwelt-DNA-Analysen, die genomische Sequenzierung von Pathogenen und die Integration komplexer Datensätze stehen am HIOH zur Verfügung.

Im Rahmen der Forschungsinitiative Wasser kann das HZI mit dem HIOH wertvolle Expertise auf mehreren Ebenen einbringen, beispielsweise bei der Erfassung der Biodiversität in und um Gewässer, beim Nachweis von Krankheitserregern und der detaillierten Analyse ihrer Übertragungsgeschichte, sowie durch ein starkes Netzwerk internationaler Kooperationen und langjährige Erfahrung mit dem Nagoya-Protokoll.

- **KIT**

Das KIT betreibt auf seinem Campus Nord in Eggenstein-Leopoldshafen eine eigene Wasserversorgung (inkl. Wasserwerk und Kläranlage), Wärmenetz und Insellösungen für Wärme und Kälte unter Nutzung der untiefen Grundwasserleiter. Am KIT Campus Nord sind Oberflächengewässer mit Zufluss zum Rhein, oberflächennahe Grundwasserleiter und tiefe Grundwasserleiter bis in $> 3\text{ km}$ Tiefe vorhanden oder zu erwarten. Der Campus deckt damit die gesamte Bandbreite der Wasserressourcen und ein breites Spektrum in der Nutzung zur Adaption bis zur Mitigation des Klimawandels ab. Die neu eingerichtete AG Digitale Methoden steht für den Aufbau digitaler Zwillinge zur Verfügung. Kooperationen mit der Stadt Karlsruhe: Basis sind die langjährige Forschungsk Kooperation mit den Stadtwerken, der Klimapakt Karlsruhe und das HGF-Zeitenwende projekt GEOZeit zur Beschleunigung und Hochskalierung der Wärmespeicherung. Das Projekt namares

entwickelt ein integriertes Modell zur physischen Beschreibung und Bewertung des Stadtteils im Hinblick auf die vorhandenen Ressourcen und das Management einer nachhaltigen Quartiersentwicklung. Das Projekt Grüne Lunge entwickelt kurz- und langfristige Strategien zur Verbesserung der Widerstandsfähigkeit städtischer Wälder und ihrer Ökosystemleistungen. Das Süddeutsche Klimabüro berät Kommunen in Fragen der Klimaanpassung und -minderung, das Zentrum für Katastrophenmanagement und Risikominde- rungstechnologie (CEDIM) bietet Lösungen zur Früherkennung und Reduzierung von Katastrophen an. Die Politikberatung erfolgt durch das Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) des Instituts für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS). Der THINKTANK Industrielle Ressourcenstrategien am KIT berät Politik und Wirtschaft auf wissenschaftlicher Basis in den zentralen technologisch-strategischen Fragen der Ressourceneffizienz, Ressourcennutzung und Ressourcenpolitik.

- **MDC**

Das Max Delbrück Centrum für Molekulare Medizin (MDC) beschäftigt sich mit den molekularen Mechanismen von Gesundheit und Krankheit mit dem Ziel, die Erkenntnisse aus der Grundlagenforschung in die medizinische Praxis zu übertragen. Im Rahmen des Forschungsprogramms Systemmedizin und Herz-Kreislauf-Erkrankungen werden hierfür modernste Methoden der Systembiologie, Genomik, Proteomik und der Bildgebung eingesetzt. Ein programmübergreifender Fokus am MDC ist die Entwicklung und Anwendung von Hochdurchsatz-Sequenziermethoden und Datenanalysen mithilfe von künstlicher Intelligenz. Am MDC werden Metagenomstudien durchgeführt, also Untersuchungen, die die Gesamtheit der Gene in einer mikrobiellen Gemeinschaft untersuchen, zum Beispiel im menschlichen Darm oder in der Umwelt (z.B. Abwasser). Mit dieser Expertise kann das MDC innerhalb der Forschungsinitiative Wasser wesentlich zu Studien im Bereich Umwelt-Metagenomik, Biodiversität des mikrobiellen Ökosystems, und Datenanalyse beitragen. Erste Interaktionen mit UFZ und GEOMAR haben die Machbarkeit und das große Potenzial des Einsatzes von Hochdurchsatzmethoden und -Datenanalyse in der Umweltforschung gezeigt.

- **UFZ**

Das Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung-UFZ ist eines der weltweit führenden Umweltforschungszentren, das exzellente Forschung aus Natur-, Ingenieur- und Sozialwis-

senschaften interdisziplinär verbindet, um Umweltherausforderungen in kontextspezifischen realen Umgebungen zu bewältigen, basierend auf der transdisziplinären Zusammenarbeit mit Entscheidungsträgern und Interessengruppen. Das Zentrum verfügt über umfangreiche Erfahrungen in der integrierten Umweltforschung, ist in zahlreiche nationale und internationale Kooperationen eingebunden und betreibt hervorragende Forschungsinfrastrukturen in den Bereichen Erdbeobachtung, Experimenten, Monitoring, Datenanalyse, Modellierung und Simulation. Herausragende Beispiele sind weltweit einzigartige kontrollierte Feldexperimente wie die Global Change Experimental Facility (GCEF), die einen Blick in die klimatische Zukunft erlauben. Der Beitrag des UFZ zum Betrieb von Observatorien wie TERENO, MOSES und eLTER bildet die Grundlage für den hervorragenden internationalen Ruf in der kontinuierlichen Langzeitbeobachtung von Umweltdynamiken. Das UFZ verfügt über umfangreiche Erfahrung in der Entwicklung und Implementierung von Klimafolgenmodellen, z.B. für Hydrologie, Waldsysteme, Landnutzung und städtische Gebiete (mHM, FORMIND, GRASSMIND, LandTrans etc.) und PDE-basierte THMCB-Modelle (OpenGeoSys). Darüber hinaus wurde eine Mehrzahl von SMART-Modell Ansätzen für die Skalierung von globalen, regionalen und lokalen Umweltauswirkungen erfolgreich implementiert, die die Empfindlichkeit terrestrischer Ökosysteme gegenüber den zunehmenden globalen Veränderungen abbilden. Das UFZ ist ein führender Partner in nationalen (z.B. BonaRes, Biodiversity Exploratories) und globalen wissenschaftlichen Netzwerken (z.B. NutNet, Drought-Net). Die wissenschaftlichen Ergebnisse des UFZ fließen in internationale Programme und wissenschaftliche Beratungsgremien ein, einschließlich IPBES (Intergovernmental Platform for Biodiversity and Ecosystem Services) und IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), sowie in die wasserpolitische Beratung der EEA (European Umweltagentur) und der UNEA (Umweltversammlung der Vereinten Nationen).

Think Tank Workshop – Wasser

18. Dezember 2023, 12.00 – 17.30

Venue: Helmholtz-Geschäftsstelle, Anna-Louisa-Karsch-Straße 2, 10178 Berlin

Zeit	Agenda Item
12.00	Ankunft und Lunch
12.30	Begrüßung und Einleitung <i>Sören Wiesenfeldt, Nicolas Tellner</i>
12.45	Kurze Vorstellungsrunde
12.50	Agenda und Ziele des Workshops <i>Dietrich Borchardt</i>
13.20	Wrap-up Think Tank <i>Nicolas Tellner</i>
13.30	Helmholtz zum Thema Wasser erfolgreich positionieren <i>Diskussion mit Leitfragen (jeweils 30 min):</i> 1. Was qualifiziert Helmholtz für das Thema Wasser? 2. Was wäre ein Beispiel für cutting-edge science zum Thema Wasserangebot & -nutzung? 3. Welche Wissenstransferleistungen zum Thema Wasser gibt es bereits von Helmholtz (intern/extern)? 4. Welche Themen/Beispiele wären für Solution-Labs gut geeignet, welche Struktur wäre ggf. denkbar? 5. Welche großen Forschungsinfrastrukturen von Helmholtz können in Zukunft gezielt zum Thema Wasser eingesetzt werden?
16.00	Kaffeepause
16.20	Präsentation der Ergebnisse
17.20	Zusammenfassung/Verabschiedung <i>Dietrich Borchardt</i>
17.30	Ende der Sitzung

Teilnehmende Think Tank Workshop Wasser (18.12.2023):

Helmholtz-Wissenschaftler

Richard Bamler, TUM	Marco Oettinger, DLR
Aletta Bonn, UFZ	Markus Rapp, DLR
Dietrich Borchardt, UFZ	Sebastian Reinecke, HZDR
Christian Cyron, Hereon	Dirk Sachse, GFZ
Roland Dittmeyer, KIT	Katharina Schaufler, HZI
Volkan Filiz, HEREON	Eva Schill, KIT
Jan Gogarten, HZI	Melanie Schnell, DESY
Guido Grosse, AWI	Ulrich Schurr, FZJ
Markus Landthaler, MDC	Stefan Sommer, GEOMAR
Roland Müller, UFZ	Emanuel Wyler, MDC

Helmholtz-Geschäftsstelle

Egbert Jolie, Forschungsbeauftragter Energie
Christine Mieck, Forschungsbeauftragte Information
Michael Schmuker, Teamleiter Strategie Information and Data Science
Sylke Selzer, Projekt- und Prozessmanagerin im Bereich Forschung
Sören Wiesenfeldt, Leiter Bereich Forschung

Koordination und Ansprechpartner aus der Helmholtz-Geschäftsstelle

Nicolas Tellner, Forschungsbeauftragter Luftfahrt, Raumfahrt und Verkehr

- Email: Nicolas.Tellner@helmholtz.de
- Phone: +49 1511 9558 911

Sylvia Sibilak, Assistentin Bereich Forschung

- Email: Sylvia.Sibilak@helmholtz.de
- Telefon: +49 30 206 329-32

Think Tank 3–4 July 2023

“Water – a grand challenge on the Helmholtz Agenda?”

(as of 15 February 2024)

Location: Seminarschiff, Heimathafen Moabit, Alt-Moabit 91, 10559 Berlin

Hotel: Motel One Berlin-Bellevue, Paulstraße 21, 10557 Berlin

3 July 2023 - Seminarschiff, Heimathafen Moabit, Alt-Moabit 91, 10559 Berlin		
12 pm	Lunch	
1.00 pm	Welcome and Introduction – <i>Otmar D. Wiestler</i>	15'
1.15 pm	Tour de table Short round of introduction of all members of the Think Tank including their research focus	60'
2.15 pm	Short break	15'
2.30 pm	Overview – Dietrich Borchardt , Aquatische Ökosystemanalyse , UFZ	30' + 10'
3.10 pm	Specific Aspects	15' each
	1. Angelika Humbert „Landeis und Wasser + Guido Grosse , „Grundeis und Wasser“, AWI	
	2. Robin Santra , DESY. Fundamental research in water, Centre for Molecular Water Science ,	
	3. Ulrich Schurr , FZJ. BioeconomyREVIEW Rhineland „Wasser als Produktionsmedium“	
	4. Emanuel Wyler , MDC. “Learning from water – water as a source of metagenomic information”	
	5. Richard Bamler , Earth Observation Center , DLR/TUM “Observation of the water cycle from space”	
4.25 pm	Coffee break	30'
4.55 pm	Group discussion ▶ bring together the activities already taking place in Helmholtz and cluster them	60'
6.00 pm	Break (preparation for dinner)	
6.45 pm	Dinner at Seminarschiff	

4 July 2023 - Seminarschiff, Heimathafen Moabit, Alt-Moabit 91, 10559 Berlin		
9.00 am	Introduction to the second day	5'
9.05 am	Wrap up of the first day <i>Working groups present (5' each), followed by discussion</i>	30' + 15'
9.50 am	Input: Specific Projects • Roland Müller, UFZ. Urban Transformation under the pressure of Draughts and Heavy rain: Lessons learnt from The Middle East • Sebastian Reinecke, HZDR. Clean Water Technology Lab – CLEWATEC, Helmholtz Innovation Lab • Alletta Bonn, UFZ. FLOW – Citizen Scientist investigate pesticide pollution of freshwater streams https://www.flow-projekt.de/	15' + 5' each
10.50 am	Break + Übergang in Gruppendiskussion	15'
11.05 am	Group discussion - Formulate a vision (horizon 2035): - What is Helmholtz's USP? - How can we achieve this mission? Do we have the necessary expertise, maybe together with strategic partners? What else is needed? - Do you see specific opportunities for Helmholtz?	50'
11.55 am	Presentation in the plenum and final discussion	30'
12.25 pm	Current Topics and Developments in Helmholtz – <i>Otmar D. Wiestler</i> <i>Includes follow-up of topics in the Think Tank</i> Outlook: Future Topics for the Think Tank Summary and Farewell – <i>Otmar D. Wiestler</i>	35'
1.00 pm	Lunch break	

Participants Think Tank (July 3rd-4th 2023):

First Name	Last Name	Center
Aletta	Bonn	UFZ
Michael	Bussmann	HZDR
Tommaso	Calarco	FZJ
Jeff	Carpenter	Hereon
Christian	Cyron	Hereon
Roland	Dittmeyer	KIT
Tino	Gottschall	HZDR
Guido	Grosse	AWI
Angelika	Humbert	AWI
Christian	Koos	KIT
Thomas	Laepple	AWI
Bella	Lake	HZB
Matthias	Meier	Helmholtz Munich
Christiane	Opitz	DKFZ
Christian	Rossow	CISPA
Robin	Santra	DESY
Magdalena	Scheck-Wenderoth	GFZ
Aurelio	Telemann	DKFZ
André	Thess	DLR
Morelia	Urlaub	GEOMAR
Erika	von Mutius	Helmholtz Munich
Jilles	Vreeken	CISPA

Guests

First Name	Last Name	Center
Richard	Bamler	DLR
Dietrich	Borchardt	UFZ
Markus	Landthaler	MDC
Roland	Müller	UFZ
Sebastian	Reinecke	HZDR
Ulrich	Schurr	FZJ
Emanuel	Wyler	MDC

Helmholtz Head office

Otmar D.	Wiestler
Andreas	Bergner
Katja	Grossmann
Egbert	Jolie

Christine	Mieck
Sylke	Selzer
Nicolas	Tellner
Sören	Wiesenfeldt