



Das  
erste  
Drohnen  
Projekt  
des  
ersten  
Stichtages

Abschlussband  
der Projekte  
des ersten Stichtages



# Über Digital GreenTech

Mit dem Megatrend Digitalisierung gehen Chancen, aber auch Risiken einher. Gleichzeitig werden die Endlichkeit von Ressourcen sowie der Struktur- und Klimawandel zunehmend zu Spannungsfeldern für Wirtschaft und Gesellschaft. Daher ist es wichtig, dass Digitalisierung und nachhaltige Entwicklung zusammen gedacht und umgesetzt werden und die Entwicklung intelligenter ressourcenschonender Umwelttechnologien vorangetrieben wird. Vor diesem Hintergrund fördert das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) seit 2020 mit der Fördermaßnahme „Digital GreenTech – Umwelttechnik trifft Digitalisierung“ die Entwicklung von Technologien, die zur Schonung der natürlichen Ressourcen und zur Verringerung von Umweltbelastungen beitragen.

Durch die Entwicklung nachhaltigerer Lösungen an der Schnittstelle von Digitalisierung und Umwelttechnik tragen die Forschungsprojekte zur Weiterentwicklung der Kreislaufwirtschaft, Zukunftsfähigkeit der Wasserversorgung und der Gestaltung eines smarten Stadt- und Landmanagements bei. Insgesamt 13 Verbundprojekte haben sich dieser Aufgabe im Rahmen des 1. Stichtags gestellt. In diesem Abschlussband werden die Ergebnisse vorgestellt.

Das BMBF fördert Digital GreenTech im Rahmen der Strategie Forschung für Nachhaltige Entwicklung (FONA) und des Aktionsplans Natürlich.Digital.Nachhaltig. Die neuen digitalen Ansätze und Verfahren sollen in Deutschland und weltweit die Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit von Umwelttechnologien verbessern. Damit wird ein Beitrag zur Erreichung der globalen Nachhaltigkeitsziele der Vereinten Nationen geleistet, insbesondere der Ziele Sauberes Wasser und Sanitäreinrichtungen (SDG6), Menschenwürdige Arbeit und Wirtschaftswachstum (SDG8), Industrie, Innovation und Infrastruktur (SDG9), Nachhaltige Städte und Gemeinden (SDG11) sowie Nachhaltiger Konsum und nachhaltige Produktion (SDG12).



# Abschlussband der Projekte des ersten Stichtages

## Digitale Zukünfte der Wasserwirtschaft

|                |    |
|----------------|----|
| i-SEWER .....  | 6  |
| KIKI .....     | 8  |
| Blue2035 ..... | 10 |

## Stoffkreisläufe in der Kreislaufwirtschaft optimieren

|                 |    |
|-----------------|----|
| DigInform ..... | 12 |
| ODiWiP .....    | 14 |
| CYCLOPS .....   | 16 |

## Digitaler Zwilling in der Kreislaufwirtschaft

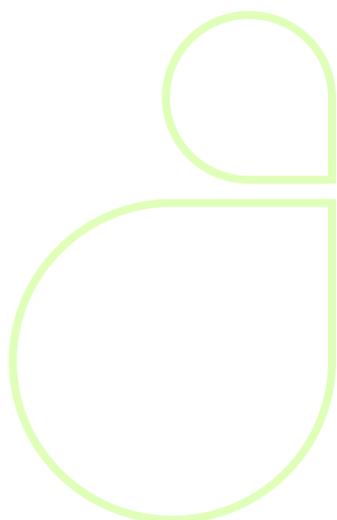
|                |    |
|----------------|----|
| DiRecLIB ..... | 18 |
| DiKueRec ..... | 20 |

## Der Natur auf der Spur

|                  |    |
|------------------|----|
| ForestCare ..... | 22 |
| DiGeBaSt .....   | 24 |
| MOVE .....       | 26 |

## Spurenstoff-Tracking im (Ab-)Wasser

|            |    |
|------------|----|
| K2I .....  | 28 |
| DecS ..... | 30 |



## Die nächste Generation der Kanalnetzsteuerung (i-SEWER)

### ZIEL DES PROJEKTS

Ziel des i-SEWER-Projektes ist die Erarbeitung einer Methodik zur Entwicklung von skalierbaren, autonomen und KI-getriebenen Kanalnetzsteuerungen zur Reduzierung von Entlastungen aus der Mischwasserkanalisation. Hierfür wird eine verlässliche Datengrundlage in Echtzeit durch die Erarbeitung und Implementierung einer Anomalie-Erkennung mittels Deep Learning für sämtliche Prozessdaten de tmodell zur Anwendung innerhalb einer modellbasierten Steuerung erstellt. Dies erfolgt durch Deep Learning-Verfahren anhand von Simulationen mit einem hydrodynamischen Detailmodell. Dadurch entfällt das in herkömmlichen, zeitintensiven Vereinfachungsmethoden benötigte Expert\*innenwissen und der Prozess ist generisch auf verschiedene Simulationsumgebungen anwendbar.

### ZWISCHENERGEBNISSE

- Die wesentliche Herausforderung lag im Zeitaufwand der Annotation von benötigten Trainingsdaten gemeinsam mit den Praxispartnern. ML-basierte Anomalie-Erkennungen können ohne bzw. mit wenigen annotierten Daten trainiert werden, die Modellbildung ist allerdings aufwändig und liefert ausreichende, aber heterogene Klassifizierungsperformance
- Integration des für die Fallstudie Astlingen erstellten Surrogatmodells in das Simulationssystem Simba# und Test des Surrogatmodells zeigen vielversprechende Ergebnisse
- Erfolgreiche Integration eines komplexen hydrodynamischen Kanalnetzmodells in das Simulationssystem Simba# durchgeführt
- Erfolgreiche Schnittstellenspezifikationen und Programmimplementierungen: Integrationen Lernverfahren → Simulation, Surrogatmodell → Simulation
- Rahmen für modellprädiktive Regelung des Kanalnetzes Freiburg erfolgreich erstellt
- Zweite Version des Detailmodells Freiburg (einschl. aktueller in Freiburg durchgeführter Baumaßnahmen) derzeit in Erarbeitung
- Methodik des Erlernens von Surrogatmodellen und ihrer Einbindung in eine modellprädiktive Kanalnetzsteuerung leicht auf andere Städte übertragbar.
- Beschaffung einer lauffähigen Version des Hystem-Extran Modells von Freiburg erfolgreich, aber zeitaufwändig
- Potentiell steuerbare Bauwerke wurden identifiziert (mehrere Vor-Ort-Begehungen)
- Ermittlung der Modellgüte nach Aufbereitung der Prozessdaten
- Trainings-Rahmenbedingungen erzeugt und für Astlingen erfolgreich simuliert.
- Trainingsroutine zum automatischen Triggering der Simulationsläufe erstellt
- Surrogatmodell für Astlingen erstellt: Vorhersage der Beckenvolumina:  $R2 > 0,8$

### ANWENDUNG

- Datenbereinigung u.a. als Grundlage für Kanalnetzsteuerung
- Alarmierungssystem bei ungewöhnlichen bzw. anomalen Betriebszuständen
- Trainingsroutine zur Erzeugung von Trainingsdaten und Surrogatmodellen



## NACHHALTIGKEITSGEWINNE UND FAZIT

Der Einsatz hinreichend leistungsfähiger modellbasierter Steuerungen in bestehenden Abwassersystemen soll zu einer Entlastung der Umwelt in Form einer Verringerung der Wahrscheinlichkeit von Abwasserüberläufen aus überlasteten Kanalnetzen und durch Vermeidung von Treibhausgasemissionen für den sonst notwendigen Ausbau der Rückhaltebecken führen. Mit Hilfe des KI-basierten Surrogatmodells kann die Überlaufwahrscheinlichkeit ohne die Erweiterung von Rückhaltebecken reduziert werden. Basierend auf diesen Annahmen zum Wirkungszusammenhang wurde im Rahmen der Selbstevaluierung eine Bandbreite des THG-Minderungspotenzials für vermiedene Überlaufmengen ermittelt.

Um 61 % der Überlaufvolumina eines ausgewählten Regenüberlaufbeckens in Freiburg (berechnet auf Basis der Entlastungsdaten von 2017) durch zusätzliche Baumaßnahmen zu reduzieren (gängige Praxis), wären dafür zusätzliche 180 m<sup>3</sup> Beckenvolumen notwendig. Zur Herstellung des dafür benötigten Zements würden 68 Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente verursacht, was über eine Betriebsphase von 100 Jahren 682 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente/Jahr ergibt.

Der Betrieb des digitalen Zwillings (i-SEWER) mit einer aktiven Betriebszeit von 55 h/Jahr würde hingegen nur 0,03 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente/Jahr verursachen. Das jährlich notwendige Re-Training des digitalen Zwillings benötigt ca. 576 h, was zu zusätzlichen 1 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente/Jahr führt. Dabei sei darauf hingewiesen, dass i-SEWER das gesamte Kanalnetz im Verbund steuert und alle Sonderbauwerke gleichermaßen berücksichtigt, wohingegen die hypothetische Beckenerweiterung von 180 m<sup>3</sup> nur ein spezifisches Becken betrifft und nur sehr beschränkt das Überlaufverhalten der anderen Becken beeinflusst.



### LAUFZEIT

01.04.2022 - 31.03.2024

### WEBSEITE



<https://i-sewer.de/>

### VERBUNDKOORDINATOR

Grimm Water Solutions UG

### VERBUNDPARTNER

- Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ Leipzig
- Institut für Automation und Kommunikation e.V. (ifak) Magdeburg
- bnNETZE GmbH

### DIGITAL GREENTECH KONFERENZ 2022



<https://www.youtube.com/watch?v=CbdSLjLtvCM>

### KONTAKTPERSON

Phillip Grimm  
([grimm@i-sewer.de](mailto:grimm@i-sewer.de))

Grimm Water Solutions UG

## KI-basiertes Kanalstandhaltungsmanagement (KIKI)

### ZIEL DES PROJEKTS

Das Verbundprojekt KIKI verfolgt das Ziel, den Inspektionsprozess des Kanalisationsnetzes unter Einsatz von KI zu optimieren und ein nachhaltiges, effizientes und kostengünstiges Maintenance-Verfahren zu entwickeln. Das Verbundprojekt verfolgt vier Teilziele:

- Entwicklung einer automatisierten Auswertung der TV-Bilddaten und einer KI-basierten Schadenserkennung
- Entwicklung eines KI-gestützten Degradationsmodells zur Vorhersage der zukünftigen Alterung des Kanalnetzes sowie den damit verbundenen Schäden
- Entwicklung eines virtuellen Modells des Kanalisationsnetzes (digitaler Zwilling), um Expert\*innen auf Grundlagen der Zustands- und Prognosedaten mit VR-/AR-Technologie bei Sanierungsentscheidungen sowie Wartungsvorschlägen und -planung zu unterstützen
- Entwicklung eines Expert\*innensystems zur Ableitung von Instandhaltungsstrategien basierend auf virtuellem Modell und Prognosen zur Alterung



### ERGEBNISSE UND ANWENDUNG

Im Zuge der KI-basierten Schadenserkennung entstanden 25 Modelle, die einzelne Zustandsklassen repräsentieren und die durchschnittlich eine 90-prozentige Erkennungsgenauigkeit aufweisen. Zwar zeigt die Validierung, dass die von Inspektoren erfassten Zustandsmerkmale auch von KI-Modellen erkannt wurden, jedoch einige Modelle auf das gleiche Merkmal reagieren, was die praktische Umsetzung vor Herausforderungen stellt. Trotzdem ist Verwertungspotenzial gegeben, weshalb ein Austausch zu Branchenvertretern gesucht wird, um die Weiterentwicklung und Verwertung der Lösung voranzutreiben.

Für ein ausgewähltes Kanalnetz wurde ein virtuelles Modell erstellt. Die Virtual Reality Technologie erlaubt es mit dem dreidimensionalen Kanalnetz zu interagieren und für eine Sanierungsplanung erforderliche Daten sowie Informationen abzurufen (z.B. Bauplan eines Schachts, Prognosedaten u. Kanalinspektionsvideos).

Auf Basis der Schäden und Zustandsveränderungen in Kanalnetzen wurde maschinelles Lernen verwendet, um das Degradationsmodell zu entwickeln.

Das Modell prognostiziert die Alterung auf Basis der letzten Inspektionsdaten eines Kanalnetzes. Der Einsatz des validierten Modells ermöglicht eine Alterungsprognose von Einzelhaltungen, aber auch eines gesamten Haltungsnetzes. Damit wurde die Anwendungsmöglichkeit geschaffen, eine vorausschauende Netzentwicklung vorzunehmen und Inspektionen sowie Rehabilitationsmaßnahmen zu planen.



Für die Entwicklung eines Expert\*innensystems zur Ableitung von Instandhaltungsstrategien wurde eine automatisierte Bewertung für die Kanalhaltung entwickelt. Die bewertete Kanalhaltung wird mit einem monetären Wert verknüpft, was die Bestimmung der Erneuerungs- und Instandsetzungskosten sowie eine effiziente Planung des langfristigen Budgetbedarfs erlaubt. Neben dem Sanierungsbedarf können Sanierungsschwerpunkte identifiziert und eine bedarfsorientierte Inspektionsplanung ermittelt werden.

#### LAUFZEIT

01.05.2021 - 31.07.2023

#### WEBSEITE



<https://www.aws-institut.de/research/kiki-ki-basierte-kanalinstandhaltung/>

#### VERBUNDKOORDINATOR

August-Wilhelm Scheer Institut

#### VERBUNDPARTNER

- Entsorgungsverband Saar
- TU-Clausthal, Institute for Software and Systems Engineering
- AHT AquaGemini GmbH
- IBAK Helmut Hunger GmbH & Co. KG
- EURAWASSER Betriebsführungs-gesellschaft mbH

#### NACHHALTIGKEITSGEWINNE

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurde ein Paper „Nachhaltigkeitseffekte durch den Einsatz von künstlicher Intelligenz“ (Liebau et al. 2023) verfasst. Die Selbstevaluierung zeigt, dass die Treibhausgasemissionen der digitalen Technologien durch die Einsparpotenziale bei den Baumaterialien überkompensiert werden können. Dabei wird angenommen, dass sich Kanalerneuerung vermeiden lassen, wenn kleinere Schäden frühzeitig erkannt und repariert werden. Allein die Einsparung von 3 Metern Betonrohr mit Durchmesser 140 cm (3,2 Tonnen CO<sub>2</sub>e/ Meter) würde ausreichen, um die entwickelte Software mit 10 Tonnen CO<sub>2</sub>e zu kompensieren. Jenseits dieser quantifizierbaren Nachhaltigkeitsgewinne im Bereich des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks zeichnen sich auf qualitativer Ebene weitere positive Effekte mit Blick auf die SDGs ab. Dazu gehören der Grundwasserschutz durch das frühzeitige Erkennen der Versickerung von ungeklärtem Abwasser aus den Abwasserkanälen sowie die Verringerung von Kostensteigerungen bei Abwasserbehandlung.

#### DIGITAL GREENTECH KONFERENZ 2022



<https://www.youtube.com/watch?v=VkvmyrMzd10>

#### KONTAKTPERSON

Tomas Cerniauskas  
([Tomas.Cerniauskas@aws-institut.de](mailto:Tomas.Cerniauskas@aws-institut.de))

August-Wilhelm Scheer Institut  
Uni-Campus D 5 1  
66123 Saarbrücken

## Picture-of-the-Future für die digitalisierte Wasserwirtschaft (Blue2035)

### ZIEL DES PROJEKTS

Blue2035 verbindet sechs führende Industrie-, Betreiber- und Wissenschaftsvertreter mit dem Ziel, die Möglichkeiten der Digitalisierung in der Wasserwirtschaft in ihrer Gesamtheit zu erkennen und zu bewerten. Dazu erarbeiten die Partner ein Picture-of-the-Future für die nächsten 10-15 Jahre.

Das Ergebnis ist ein sogenannter Blue-Print (Anwendungs-Bebauungsplan), an dem sich sowohl Wasserversorger und Abwasserentsorger als auch Systemanbieter bei ihrer strategischen Unternehmensplanung orientieren können. So können unnötige Überschneidungen oder sogar Inkompatibilitäten bei der digitalen Transformation vermieden werden. Gleichzeitig lassen sich zukünftige Forschungsaktivitäten auf der Grundlage des Blue-Prints leichter priorisieren.

### ERGEBNISSE

Die Wasserwirtschaft steht am Beginn einer deutlichen Veränderung, die als digitale Transformation in anderen Branchen der Prozessindustrie bereits weit vorangeschritten ist. Dieser Wandel erfordert den Einsatz von Konzepten, Methoden und Werkzeugen der Digitalisierung und führt zu „smarten Anlagen“. Die Projektpartner sind sich einig, dass die digitale Transformation kein Selbstzweck ist, sondern vielmehr die Voraussetzungen schafft, um die Wasserwirtschaft für alle zukünftigen Herausforderungen zu wappnen. Aus diesem Grund empfehlen die Projektpartner eine intensive Beschäftigung mit den neuen Möglichkeiten sowie deren umfassende und konsequente Umsetzung.

Als Zusammenfassung der wesentlichen Erkenntnisse wurden sieben Thesen formuliert, die das Picture-of-the-Future beschreiben:

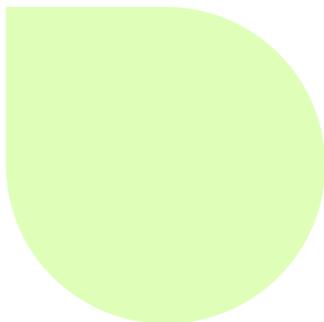
- These 1: Die technischen und organisatorischen Grenzen zwischen Automatisierungs- (OT, Operation Technology) und Informationstechnik (IT) werden in smarten Anlagen verschwinden. Dadurch lassen sich auch die steigenden Anforderungen an die Cyber Security effizienter erfüllen
- These 2: Planung und Betrieb von smarten Anlagen erfordern eine leistungsfähige und sichere digitale Infrastruktur
- These 3: In der Wasserwirtschaft werden zunehmend digitale Plattformen genutzt, deren Leistungsfähigkeit weniger durch den Plattform-Anbieter bestimmt wird als vielmehr durch das Ökosystem, in das die Plattform eingebettet ist. Aufgrund des Netzwerkeffekts werden sich nur wenige Plattformen durchsetzen
- These 4: Die Zeiten für große Softwaresysteme mit monolithischer Struktur sind vorbei; stattdessen werden zahlreiche Apps über standardisierte Schnittstellen so verknüpft, dass die kundenspezifischen Anforderungen erfüllt werden
- These 5: Der Digitale Zwilling ist eine tragende Säule der smarten Anlage und dient als „Single Source of Truth“ für alle Daten über den gesamten Lebenszyklus der Anlage
- These 6: KI-basierte Assistenzsysteme werden zukünftig in allen Lebensphasen einer Anlage eingesetzt. Dabei werden neben wirtschaftlichen Kriterien auch Aspekte des Arbeits- und Gesundheitsschutzes betrachtet
- These 7: Die digitale Transformation erfordert eine stetige Innovations- und Lernbereitschaft bei allen Teilnehmer\*innen des Ökosystems



## FAZIT

Die Digitalisierung der Wasserwirtschaft führt zu zahlreichen betrieblichen Verbesserungen, erfordert von allen Beteiligten aber auch erhebliche Anstrengungen. Aus diesem Grund vollzieht sich der Wandel auf Betreiberseite mit unterschiedlicher Geschwindigkeit. Viele Digitalisierungs-Bausteine sind bereits vorhanden, diese müssen in den nächsten Jahren zusammengeführt werden, wenn Akzeptanz-Probleme auf der Anwenderseite vermieden werden sollen.

Offene IT/OT-Plattformen werden proprietäre Systeme (weitgehend) ablösen, dadurch steigt der Bedarf für Standardisierung. Die Wasserwirtschaft wird sich stärker mit anderen Branchen der Prozessindustrie synchronisieren und dadurch von parallelen Entwicklungen profitieren. Die Digitalisierung führt aber auch zu höheren Risiken von Cyber-Angriffen. Zur Umsetzung der erforderlichen Schutz-Schutzmaßnahmen werden hochspezialisierte Fachkräfte benötigt.



### LAUFZEIT

01.05.2021 - 31.07.2023

### VERBUNDKOORDINATOR

Siemens AG

### VERBUNDPARTNER

- Berliner Wasserbetriebe
- Lippeverband
- LeiKon
- Stadtentwässerungsbetriebe Köln
- Technische Universität Dresden

### DIGITAL GREENTECH KONFERENZ 2022



<https://www.youtube.com/watch?v=KHjR6jO1Usk&t=2s>

### KONTAKTPERSON

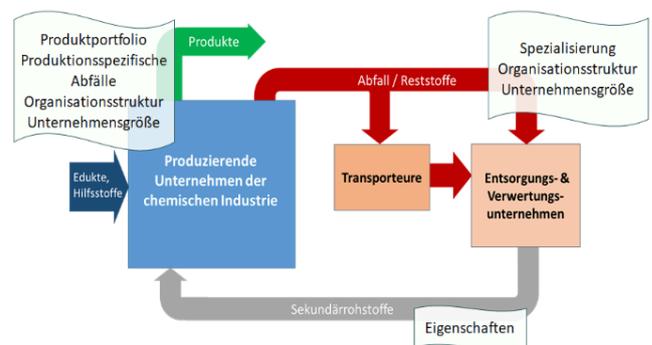
Dr. Andreas Pirsing  
([andreas.pirsing@siemens.com](mailto:andreas.pirsing@siemens.com))

Siemens AG  
Nonnendammallee 101  
13629 Berlin

## Digitales Informationsmanagement in der Akteurskette der Kreislaufwirtschaft in der produzierenden Industrie (DigInform)

### ZIEL DES PROJEKTS

Ziel von DigInform ist die Konzipierung eines Informationsmanagementsystems, welches in Use Cases aus Sicht eines produzierenden Unternehmens bzw. der Entsorgungsbranche erprobt wird. Dabei sollen neue Verwertungsstrategien identifiziert und der Mehrwert für die Umsetzung von Kreislaufstrategien durch den Informationsgewinn belegt werden. Im Hinblick auf Ressourceneffizienz wird hierbei mit den betroffenen Akteuren eine Strategie zur Etablierung des IMS in der Kreislaufwirtschaft erarbeitet. Auch die Effekte der Implementierung hinsichtlich Klimaschutz, Nachhaltigkeit und Umweltwirkungen werden quantifiziert. Anhand einer Szenarioanalyse sollen Potentiale der Erhöhung der Ressourceneffizienz abgeleitet sowie Risiken und gegenläufige Effekte identifiziert werden.



### ERGEBNISSE UND ANWENDUNG

Die Kreislaufwirtschaft ist ein wesentliches Handlungsfeld für Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz, indem sie hochwertige Sekundärrohstoffe für die Wirtschaft zur Verfügung stellt. Dies erfordert die Kooperation aller Akteure in der Wertschöpfungskette von produzierenden Unternehmen / Abfallerzeugern über Transporteure / Entsorger, spezialisierten Aufbereitern / Verwertern bis hin zu den abnehmenden Unternehmen. Die Kommunikation der Unternehmen untereinander ist oftmals erschwert (Telefon, E-Mail) aufgrund der fehlenden Digitalisierung.

Einen Schwerpunkt des Projektes stellte die Programmierung und die Erprobung eines Informationsmanagementsystems (IMS) dar, welches als Plattform der produzierenden Industrie und der Entsorger dient. Dabei wird zum einem die zeitintensive Entsorgung vereinfacht und anderen Vertretern der produzierenden Industrie die Möglichkeit einer Vermarktung ihrer Nebenerzeugnisse geboten. Durch die Vernetzung von Produzenten und Entsorgern entstehen Synergien für mögliche Wiederverwertungswege der Rückstände und Fehlchargen.



Zunächst wurden die Anforderungen an ein solches System durch Gespräche mit den Verbundpartnern, Expert\*innen-Interviews und Stakeholder Workshops erarbeitet und zusammen mit den Rahmenbedingungen der industriellen Partner in einem IMS-Prototyp implementiert. In einem iterativen Prozess wurde dadurch die Benutzeroberfläche des IMS an die Bedürfnisse der Kund\*innen angepasst. Mit Hilfe eines Use Cases (Ammoniumphosphat-Lösung, das als Nebenprodukt bei der Vitaminproduktion anfällt) wurden mögliche sekundäre Verwertungswege identifiziert, wobei eine Weiterverwertung im Bereich der Papierindustrie erzielt werden konnte. Es wurde zudem die Übertragbarkeit auf weitere Stoffströme und Anwendungsfälle untersucht als auch die Auswirkungen des IMS auf Klimaschutz und Ressourceneffizienz quantifiziert und daraus ableitbare Optimierungspotentiale und Handlungsempfehlungen beschrieben.

### NACHHALTIGKEITSGEWINNE UND FAZIT

Im Zuge der zunehmenden Digitalisierung innerhalb der Industrie, lag der Fokus bisher auf der effizienten Speicherung von Daten. Es wird aber zunehmend erkannt, welche Potenziale in der Vernetzung von Daten, auch über Unternehmensgrenzen hinweg, und deren Analyse liegen können.

Durch das entwickelte IMS konnte der komplette Ablauf von der Entstehung von Sekundärrohstoffen bis zur Veräußerung bzw. der Entsorgung abgebildet werden. Dadurch konnten die bestehenden Kommunikationswege vereinfacht und Synergien der produzierenden Industrie und der Entsorger gebildet werden. Durch eine umfangreiche Bewertung wurden die Auswirkungen eines digitalen IMS in der Kreislaufwirtschaft auf den Klimaschutz, die Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit aus gesamtwirtschaftlicher Perspektive identifiziert und quantifiziert. Die Nachhaltigkeit wurde aufgrund eines möglichen Wiedereinsatzes der Rückstände und Fehlchargen deutlich verbessert.

#### LAUFZEIT

01.04.2021 - 30.09.2023

#### WEBSEITE



<https://www.diginform.de>

#### VERBUNDKOORDINATOR

Fraunhofer IWKS

#### VERBUNDPARTNER

- Technische Universität Darmstadt, Institut IWAR
- Technische Universität Darmstadt, Data Management
- Merck KGaA
- GSB Sonderabfall-Entsorgung Bayern GmbH

#### DIGITAL GREENTECH KONFERENZ 2022



<https://www.youtube.com/watch?v=smf9zFIWI3o&t=3s>

#### KONTAKTPERSON

Dr. Emanuel Ionescu  
([emanuel.ionescu@iwks.fraunhofer.de](mailto:emanuel.ionescu@iwks.fraunhofer.de))

Fraunhofer IWKS  
Brentanostr. 2a  
63755 Alzenau

## Optimierter Wertstoffkreislauf in der Papierindustrie: Ressourcenschonung beim Recycling von Altpapier und der Papierproduktion durch Digitalisierung (ODiWiP)

### ZIEL DES PROJEKTS

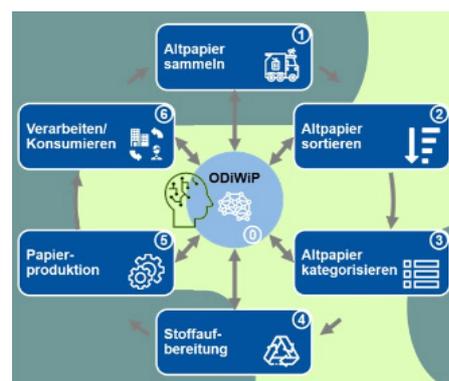
Das Verbundprojekt ODiWiP bezieht sich auf die Anwendung von modernen Algorithmen des Maschinellen Lernens (ML) sowie einer datentechnischen Vernetzung innerhalb der Grundstoff- und Prozessindustrie. Ziel des Forschungsvorhabens ist die Nutzung innovativer Sensorik bei unterschiedlichen Prozessen des Papierrecyclings in Verbindung mit Big-Data-Ansätzen und ausgewählten Werkzeugen der Künstlichen Intelligenz. Dazu wird der Prototyp einer KI-Anwendung entwickelt, die dazu dienen soll, den Wertstoffkreislauf von der Sammlung und Sortierung des Altpapiers bis zur Herstellung des Papierproduktes zu optimieren und damit einen wesentlichen Beitrag zur Ressourcenschonung zu leisten.

### ERGEBNISSE

Ergebnis des Forschungsvorhabens ODiWiP ist ein funktionsfähiger Demonstrator eines KI-basierten Assistenzsystems für Maschinenbedienende einer Papiermaschine beim Industriepartner Leipa. Dieser ist mit Technology Readiness Level (TRL) 6 im Einsatz und verfügt über eine KI-basierte Situationserkennung des Maschinenzustandes sowie eine Inline-Prognose eines Qualitätsparameters des produzierten Papiers (Festigkeit). Diese Informationen werden wiederum KI-basiert mit explizitem Fachwissen und konkreten Handlungsvorschlägen kombiniert. So kann der\*die Maschinenbedienende frühzeitig auf drohende Abweichungen bei den Eigenschaften des Fertigprodukts oder Störungen im Produktionsprozess hingewiesen werden.

### ANWENDUNG

Aus den vorgeschlagenen Handlungen wählt der\*die Bediende aus und kann damit steuernd eingreifen. Dabei behält das Bedienpersonal die volle Entscheidungshoheit durch den gewichteten Vorschlag mehrerer Handlungsoptionen. Gerade bei komplexen Prozessen ist dies wesentlich besser als der Versuch einer Regelung. Das Assistenzsystem lernt durch die von dem\*der Maschinenbedienenden getroffene Auswahl und dem daraus resultierenden Einfluss auf die Prozesskenngrößen laufend dazu (Selbstop Optimierungsfunktion). Das Fachwissen kann im Assistenzsystem fortlaufend erweitert und korrigiert sowie mit Bildern und Videos angereichert werden. Zusammengefasst werden basierend auf den aktuellen Prozessparametern im Produktionsprozess Abweichungen in den Produkteigenschaften sowie Systemstörungen erkannt und prognostiziert. Zur Realisierung wurden Daten zum Altpapier unternehmensübergreifend, automatisiert, aber noch nicht standardisiert, ausgetauscht.





## NACHHALTIGKEITSGEWINNE UND FAZIT

Der angestrebte positive Einfluss der ODiWiP-Lösung auf die Umwelt basiert im Wesentlichen auf der Reduzierung des Einsatzes von Chemikalien, Wasser und Energie durch KI-basierte Handlungsempfehlungen zur Anpassung der Prozessparameter. Im Prozessleitsystem wird der Maschinenzustand über Sensoren erfasst. Mittels eines KI-gestützten Bedienerassistenzsystems werden Handlungsvorschläge auf Basis des Maschinenzustands zur Prozessoptimierung den Bedienenden zur Verfügung gestellt. Im Rahmen der Ex-ante-Analyse zur Untersuchung der Nachhaltigkeitsgewinne wurde abgeschätzt, dass durch die angestrebte Lösung unter der Annahme einer einprozentigen Effizienzsteigerung bei bundesweiter Anwendung jährlich ca. 600.000 MWh Energie, 3.900 Tonnen Prozesschemikalien und 34.000 Tonnen Additive eingespart sowie die CO<sub>2</sub>-Emissionen um 138.000 Tonnen reduziert werden können. Dem gegenüber steht ein auf Basis einer Extrapolation geschätztes zusätzliches Belastungspotenzial von 1.342 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Jahr, die dem Einsatz der zum Betrieb des ODiWiP-Systems zusätzlich benötigten Digitaltechnik zuzuordnen ist. Die vermutete Nettoentlastung des Verfahrens übersteigt somit das zusätzliche Belastungspotential um mindestens den Faktor 100.

### LAUFZEIT

01.04.2021 - 31.03.2023

### VERBUNDKOORDINATOR

Consultingtalents AG

### VERBUNDPARTNER

- LEIPA Group GmbH
- Lehrstuhl für International Production Engineering and Management (IPEM), Institut für Produktionstechnik der Universität Siegen
- Fraunhofer-Institut für Verarbeitungstechnik und Verpackung IVV, Dresden
- TOMRA Systems GmbH

### DIGITAL GREENTECH KONFERENZ 2022



<https://www.youtube.com/watch?v=u7aNLFU8AMc&t=3s>

### KONTAKTPERSON

Alexander Becher  
([alexander.becher@uni-siegen.de](mailto:alexander.becher@uni-siegen.de))

Universität Siegen  
Lehrstuhl IPEM  
Siegener Straße 152  
57223 Kreuztal

## Circularity Optimisation for Plastics (CYLOPS)

### ZIEL DES PROJEKTS

Ziel von CYCLOPS ist die Entwicklung eines digitalen Systems, das Akteure im Wertstoffkreislauf Kunststoffe befähigt, Entscheidungen für eine optimierte Aufbereitung und Verwendung von Sekundärkunststoffen zu treffen. Umweltrelevante Effekte in diesem Kontext sind der Schutz fossiler Ressourcen, die Minderung von Treibhausgasemissionen und die Reduktion von Kunststoffeinträgen in die Umwelt. Die Informationen über Sekundärkunststoffe sollen frei und offen zugänglich sein, um eine niedrigschwellige Nutzung zu ermöglichen. Durch Anbindungsmöglichkeiten an Online-Handelsplattformen soll eine große Verbreitung innerhalb der Zielgruppe realisiert werden. Dadurch wird die wirtschaftlich und ökologisch sinnvolle Verwendung von Kunststoffabfällen und Rezyklaten unterstützt.

### ERGEBNISSE

Beim Einsatz von recycelten Kunststoffen mangelt es häufig an Informationen und Wissen über deren technische, ökologische und ökonomische Eigenschaften. Das im Verbundprojekt entwickelte CYCLOPS-Tool stellt zusätzliche Informationen über Abfälle und Rezyklate bereit und bietet die Vergleichsmöglichkeit, um Entscheidungen zur Aufbereitung und zum Einsatz von Sekundärkunststoffen zu unterstützen.

### ANWENDUNG

Für Akteure im Wertstoffkreislauf Kunststoffe besteht ein großes Interesse an nicht-technischen Informationen über Sekundärkunststoffe (z. B. Umweltauswirkungen wie Carbon Footprint), hierfür werden spezifische Informationsangebote benötigt. Dies kann das im Projekt entwickelte Tool CYCLOPS zu großen Teilen leisten, u. a. indem es Trends und Handlungsbedarfe aufzeigt.

Die Verfügbarkeit der relevanten Marktdaten zu Rezyklaten ist derzeit noch mangelhaft. Zudem werden grundlegende Daten für die ökologische Bewertung nicht automatisiert erhoben. Dies stellte eine Herausforderung in CYCLOPS für



die Ableitung robuster Aussagen dar. Zusätzlich musste stark auf manuelle Nutzer\*innen-Eingaben zurückgegriffen werden. Es bedarf weiterführender Initiativen zur Harmonisierung der Bewertungsmethoden sowie zur offenen und freien Verfügbarkeit von Daten.

Die DIN SPEC 91446 zur Datenqualität im Handel von Sekundärkunststoffen stellt eine hilfreiche Basis für die klare Kommunikation zwischen Marktteilnehmern und den Austausch von Daten über Rezyklate dar. Darauf aufbauend sollte die Standardisierung weiter vorangetrieben werden, um Vertrauen und Verlässlichkeit im Rezyklathandel zu stärken.



## NACHHALTIGKEITSGEWINNE UND FAZIT

Durch den vermehrten Einsatz von Kunststoffrezyklaten anstelle von neuem Kunststoff können große Mengen an fossilen Rohstoffen eingespart und Treibhausgasemissionen reduziert werden. CYCLOPS liefert wichtige Hilfestellungen, um die Abfallaufbereitung und die daraus entstehenden Rezyklate am Markt im Vergleich zu neuen Kunststoffen zu positionieren und kann somit dazu beitragen, dass mehr Kunststoffabfälle recycelt werden und daraus erneut Produkte entstehen. Das CYCLOPS-Tool ist ein niedrigschwelliges Informationsangebot und kann von allen Akteure entlang der Wertschöpfungskette genutzt werden. Somit kann CYCLOPS einen Beitrag leisten zur Transformation hin zu einer Kreislaufwirtschaft für Kunststoffe.



### LAUFZEIT

01.06.2021 - 31.08.2023

### WEBSEITE



<https://www.skz.de/presse/intelligente-rezyklate-durch-ki-den-rezyklateinsatz-erhoehen>

### VERBUNDKOORDINATOR

SKZ - KFE gGmbH

### VERBUNDPARTNER

- GreenDelta GmbH
- cirplus GmbH
- Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH

### DIGITAL GREENTECH KONFERENZ 2022



<https://www.youtube.com/watch?v=A9QfZalrH6A&t=7s>

### KONTAKTPERSON

Dr. Werner, Jan  
([j.werner@skz.de](mailto:j.werner@skz.de))

SKZ - KFE gGmbH  
Friedrich-Bergius-Ring 22  
97076 Würzburg

## Direktes Recycling von Aktivmaterialien aus Lithium-Ionen-Batterien und dessen Optimierung durch digitale Verfahren (DiRecLIB)

### ZIEL DES PROJEKTS

Ziel von DiRecLIB ist die Entwicklung eines kontinuierlichen, digital gestützten Prozesses zum direkten Recycling von Aktivmaterial aus Lithium-Ionen-Batterien, welcher sehr hohe Ressourceneffizienz verspricht. Die Arbeitsschwerpunkte des Projektes stellen die Entwicklung eines digitalen Zwillings der gesamten Prozesskette als Grundlage einer modellbasierten Regelungsstrategie, die Erweiterung der online-Messtechnik und deren Integration in eine Softsensorumgebung, der Aufbau eines datengetriebenen Modells auf Basis der Methoden des maschinellen Lernens zum autonomen Betrieb der gesamten Prozesskette für unterschiedliche Batteriematerialien sowie die Erhöhung des Durchsatzes zur Erreichung industrierelevanter Mengen unter Einsatz der Klassierzentrifuge dar.

### ERGEBNISSE

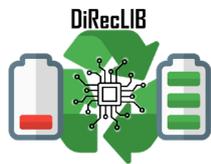
Digitale Zwillinge der Prozessschritte wurden entwickelt und für erste Produkte etabliert. Diese bilden die Basis für eine Regelungsstrategie für die Gesamtanlage. Ein Ultraschall-Sensor wurde um eine Softsensor-Auswertung erweitert, die die Ermittlung von Partikelgrößenverteilung und Konzentration für erste Produkte auf Basis genetischer Algorithmen ermöglicht. Maschinelles Lernen wird eingesetzt, um Materialeigenschaften für die Abbildung der Prozessschritte in digitalen Zwillingen zu bewältigen.

Die Bandbreite an Materialeigenschaften, welche bei der Anwendung auftreten und die umfangreichen physikalischen Effekte, die damit einhergehen, stellen aufgrund der geringen verfügbaren Datenbasis allerdings eine Schwierigkeit dar. Elektrohydraulische Zerkleinerung und Zentrifugenanlage wurden aufgebaut und für verschiedene Materialien

getestet. Modellbasierte Betriebsparametervorgaben passend die Zentrifugation dynamisch auf das Produktverhalten an. Für erste Produkte konnten vielversprechende Resultate erzielt werden. Die Anwendbarkeit auf weitere Materialsysteme lässt sich im Nachgang an der entwickelten Infrastruktur validieren.

Die Anwendbarkeit der erforschten Technologien und Lösungsansätze für das Recycling von Lithium-Ionen-Batterien konnte damit für erste Schritte dargestellt werden. Die Integration von Resultaten aus dem Forschungsvorhaben in die industrielle Umsetzung ist angedacht und wird detailliert analysiert.





### NACHHALTIGKEITSGEWINNE UND FAZIT

Der im Projekt verfolgte Ansatz des direkten Recyclings verspricht, die Anzahl der notwendigen Prozessschritte im Recycling sowie den Einsatz von Chemikalien bzw. Energie deutlich zu reduzieren. Im Zuge der Selbstevaluierung wurde ein Entlastungspotenzial von rund 49 Mio. kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten pro Jahr ermittelt, welches sich unter der Annahme ergibt, dass das Verfahren künftig deutschlandweit im LIB-Recycling der jährlich anfallenden 2.500 Tonnen Aktivmaterial angewandt wird. Dem gegenüber steht ein Belastungspotenzial von etwa 4 Mio. kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten pro Jahr für den Betrieb der hydromechanischen Trennanlage. Darin enthalten sind ca. 1.700 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Jahr für die zusätzlich erforderliche Digitaltechnik zum Betrieb des digitalen Zwillings als Teil der Steuerungsanlage. In Summe wird die mit dieser Technologie auf dem deutschen Markt für LIB-Recycling erzielbare Nettoentlastung auf 45 Mio. kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Jahr geschätzt.

#### LAUFZEIT

01.04.2021 - 30.09.2023

#### VERBUNDKOORDINATOR

Carl Padberg Zentrifugenbau GmbH

#### VERBUNDPARTNER

- Sympatec GmbH
- Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC
- Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
- MAB Recycling GmbH

#### DIGITAL GREENTECH KONFERENZ 2022



<https://www.youtube.com/watch?v=OkUDOf8XRx4&t=4s>

#### KONTAKTPERSON

Felix Seiser  
([f.seiser@cepa.de](mailto:f.seiser@cepa.de))

Carl Padberg Zentrifugenbau GmbH  
Geroldsecker Vorstadt 60  
77933 Lahr

## Nutzung digitaler Abbilder zur effizienten Steuerung von Aufbereitungsprozessen der Kreislaufwirtschaft am Beispiel von Kühlgeräterecyclinganlagen (DiKueRec)

### ZIEL DES PROJEKTS

Pro Jahr erreichen in Deutschland mehrere Millionen Kühlgeräte das Ende ihres Lebenszyklus und müssen in dedizierten Abfallbehandlungsanlagen fachgerecht recycelt werden. Die Vielfalt der eingesetzten Treib- und Kältemittel in den Kühlgeräten sowie die hohe Heterogenität des Stoffstroms zwingen die Anlagenbetreiber dazu, immer komplexere Prozessketten zu implementieren. DiKueRec entwickelt für diese hohen Ansprüche eine Lösung. Anlagenerweiterungen werden in Form von sensorischer Erfassung von Eingangs-, Betriebs- und Ausgangsdaten und einer intelligenten Verknüpfung dieser Informationen zu einer effizienten Steuerung der Anlage mittels digitaler Zwillinge der eingehenden Kühlgeräte untersucht und bei den beteiligten Praxispartnern umgesetzt. So wird eine sichere und effiziente Behandlung der aktuellen und zukünftigen Mischungen aus verschiedenen Treib- und Kältemitteln sichergestellt.

### ERGEBNISSE

Initial erfolgte im laufenden Betrieb der Recyclinganlagen die Aufnahme einer möglichst repräsentativen Datenbasis über die in Deutschland anfallenden Altkühlgeräte sowie die Erarbeitung der Berichtspflichten der Entsorgungsbetriebe.

Anhand der aufgenommenen Daten wurden relevante, von außen messbare Attribute der Kühlgeräte zur Ableitung der Parameter des digitalen Kühlgerätezwillings festgelegt, die für die Stoffstrombilanzierung und Eigenüberwachung der Rückgewinnungseffizienz erforderlich sind.

Für die digitale Eingangserfassung wurde ein modulares Konzept entwickelt, um eine separate Datenerfassung für die Prozesse in Stufe 1 (Trockenlegung des Kältekreislaufs) und Stufe 2 (Recycling des Korpus) zu ermöglichen. Die zu den ausgewählten Messmethoden passende Sensorik setzt in Stufe 1 auf optische Erfassung von Kompressoren und Kältemittelart durch Kameras in Kombination mit KI-Modellen. In Stufe 2 kommen 1D- und 2D-Lasersensoren zur Bestimmung der Geräteabmessung zum Einsatz. Anhand der Abmessungen erfolgt eine KI-basierte automatische Einordnung der Geräte in Geräteklassen entsprechend der DIN EN 50625. Die erfassten Daten werden kombiniert in eine angebundene Datenbank geschrieben.





**DiKueRec**

## ANWENDUNG

Der Einsatz einer vereinfachten Laborversion der Eingangserfassung unter Laborbedingungen und in einem ersten Funktionstest in einer Kühlgeräterecyclinganlage ermöglichte die Überprüfung der entwickelten Konzepte und Methoden für die digitalisierte Eingangserfassung und lieferte erste erfolgversprechende Ergebnisse.

Eine weiterentwickelte Variante der Laborversion wird in der verbleibenden Projektlaufzeit im industriellen Umfeld unter Realbedingungen erprobt und optimiert.

## NACHHALTIGKEITSGEWINNE UND FAZIT

Mit Hilfe einer vereinfachten ökobilanziellen Betrachtung wurden im Zuge der Selbstevaluation des Projekts folgende Umweltbelastungspotenziale (Effekte 2. Ordnung) identifiziert:

- Die präzisere Altgeräteerfassung ermöglicht eine optimierte Anlagenfahrweise, eine bessere Steuerung des Belastungszustands und eine genauere Planung der Standzeiten der Filteranlagen für die Treibmittelabsaugung sowie der Regenerationszyklen der Aktivkohle. Weiterhin wird das Risiko einer Freisetzung von klimaschädlichem FCKW durch eine erhöhte Zuverlässigkeit der KI-gestützten Erkennung FCKW-haltiger Altgeräte reduziert
- Die Nachhaltigkeitsgewinne der zu erwartenden Steigerung der Energieeffizienz lassen sich im Rahmen einer vereinfachten Ökobilanz wie folgt abschätzen:  
Bei einer angenommenen Effizienzsteigerung von 1 % im Entsorgungsprozess ergibt sich rechnerisch ein deutschlandweites Nettoentlastungspotenzial von 20.000 Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalenten durch die Vermeidung ungewollter FCKW-Emissionen

## LAUFZEIT

01.04.2021 - 31.03.2024

## WEBSEITE



<https://www.iuta.de/aktuelles/dikuerec/>

## VERBUNDKOORDINATOR

Institut für Umwelt & Energie,  
Technik & Analytik e.V. (IUTA)

## VERBUNDPARTNER

- aprotect GmbH
- KLINK-Entsorgung GmbH
- Liebherr-International Deutschland GmbH
- Miele & Cie. KG
- REMONDIS Electrorecycling GmbH
- RIF Institut für Forschung und Transfer e.V.
- Riwald Electronics Recycling GmbH
- URT - Umwelt- und Recyclingtechnik GmbH

## DIGITAL GREENTECH KONFERENZ 2022



<https://www.youtube.com/watch?v=Ex2In4jdQ8I&t=3s>

## KONTAKTPERSON

Jochen Schiemann  
([J.Schiemann@iuta.de](mailto:J.Schiemann@iuta.de))

Institut für Umwelt & Energie,  
Technik & Analytik e.V. (IUTA)  
Bliersheimer Str. 58-60  
47229 Duisburg

## Einzelbaumbasiertes, satellitengestütztes Waldökosystemmonitoring mittels autoadaptiver Hyperdimensions-Geodatenanalyse (ForestCare)

### ZIEL DES PROJEKTS

In ForestCare sollte überhyperdimensionale Korrelationsanalysen eine KI-basierte Kernparameter-Identifikation entwickelt und trainiert werden, die in der Lage ist, Waldwachstum unter den durch den Klimawandel dynamischer werdenden Standortbedingungen und dem artspezifischen Wachstumsverhalten mit Hilfe von Satellitendaten einzelbaumdiskret und automatisiert zu bewerten. Dadurch wird z. B. die gezielte Optimierung von Aufforstungen, z. B. durch die standortsdiskrete Auswahl trockenresistenter Baumarten oder robuster Waldökosystemtypen, möglich. Das Ergebnis ist ein Algorithmus, der mit Hilfe von Drohnen- und Satellitenbilddaten Einzelbaummerkmale wie Entlaubung, Borkenkäferbefall oder Stammform identifiziert. Dieser Algorithmus wurde auf großflächigen Waldbeständen getestet, um merkmalspezifische Aufklärungsraten zu ermitteln.



### ERGEBNISSE

Im Ergebnis zeigt das Projekt ForestCare die Anwendungsmöglichkeit von Drohnen- und Satellitenbilddaten für die Frühdetektion von Vitalitätsschwächen, insbesondere an Nadelbäumen. Dabei konnten Nadelverlust und Borkenkäferbefall bereits im Frühstadium detektiert werden. Der mit Hilfe von georeferenzierten und klassifizierten Einzelbäumen entwickelte Workflow basiert auf einer weitestgehend automatisierten Orthofotoerstellung mit Segmentierung der Baumkronen und anschließender KI-basierter Pixelanalyse. Schwerpunkt bei der Weiterentwicklung des Verfahrens wird die zeitliche Optimierung der Datenaufnahme und der Rechenprozesse sein, um die Wirtschaftlichkeit und die CO<sub>2</sub> Bilanz der Einzelbaumvitalitätserkennung zu verbessern. Weiterhin wird die Erstellung einer nationalen Datenbank empfohlen, die standardisierte Datensätze zu Einzelbäumen als Label zur Verfügung stellt, um eine KI erfolgreich trainieren zu können.

Ein weiteres Ergebnis des Projektes ForestCare ist die geruchsgestützte Lokalisation von Borkenkäferbefall mit Hilfe einer drohnengestützten elektronische Nase (E-Nose). Das Detektionskonzept ist wirtschaftlich durchführbar und führte im Rahmen des Projektes zu hohen Aufklärungsquoten über 90 %.

## ANWENDUNGEN

Aus dem Projekt ForestCare ergeben sich zwei unmittelbare Anwendungen:

- 1) Orthophoto-gestützte Früherkennung von Borkenkäferschäden und Entnadelung mit Hilfe von KI-gestützten Auswertalgorithmen
  - Optimierung des Workflows durch Einzelbildauswertung
  - Verbesserung der Datenbasis durch z.B. eine nationale Labeldatenbank
- 2) Borkenkäferfrühdetektion mit Hilfe einer drohnengestützten E-Nose
  - Optimierung der Wirtschaftlichkeit durch Grenzanalyse der Fluggeschwindigkeit und des Fluggassenabstands in Bezug auf die Detektionsrate von Frühbefall

## NACHHALTIGKEITSGEWINNE UND FAZIT

Die Evaluierung fokussierte sich auf die Abschätzung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks der Drohnen, der Akkus für deren Betrieb sowie der für die Datenauswertung benötigten Desktop-Computer. Dabei wurde angenommen, dass für eine deutschlandweite Hochskalierung der Neuentwicklung 120 Drohnen, 1.800 Akkus sowie 120 Desktop-Computer benötigt werden. Die Drohnen wurden in Ermangelung spezifischer Daten jeweils durch zwei Desktop-Computer abgeschätzt. Insgesamt summieren sich die Belastungspotenziale auf ca. 69.000 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente. Die Abschätzung der Entlastungspotenziale geht von der grundlegenden Annahme aus, dass bezogen auf ganz Deutschland 930 Tonnen Insektizide eingespart werden. Unter der konservativen Annahme von 9 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Kilogramm Insektizid ergibt sich durch die angenommene Insektizideinsparung ein Entlastungspotenzial von rund 8.370.000 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente. Abzüglich der Belastungspotenziale lässt sich für Deutschland die Nettoentlastung auf rund 8,30 Mio. kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente abschätzen.

### LAUFZEIT

01.04.2021 – 30.09.2023

### WEBSEITE



<https://www.uni-goettingen.de/de/632755.html>

### VERBUNDKOORDINATOR

Georg-August Universität Göttingen, Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie, Abt. Arbeitswissenschaft und Verfahrenstechnik

### VERBUNDPARTNER

- Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Professur für Fernerkundung und Landschaftsinformationssysteme
- GISCON Systems GmbH
- con terra GmbH
- Gesellschaft für wissenschaftliche Datenverarbeitung mbH Göttingen

### DIGITAL GREENTECH KONFERENZ 2022



<https://www.youtube.com/watch?v=pihLv1zKpps>

### KONTAKTPERSON

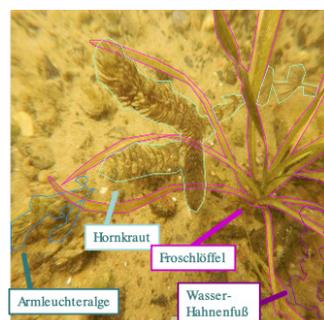
Paczkowski, Sebastian  
([Sebastian.Paczkowski@uni-goettingen.de](mailto:Sebastian.Paczkowski@uni-goettingen.de))

Georg-August-Universität Göttingen,  
Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie, Abt. Arbeitswissenschaft und Verfahrenstechnik  
Büsgenweg 4  
37077 Göttingen

## Monitoring von Vegetation und Wasserqualität in Seen mit Unterwasser-Roboterschwärmen (MOVE)

### ZIEL DES PROJEKTS

Das Projekt MOVE hat zum Ziel, das heute vorwiegend manuell durchgeführte Umweltmonitoring von Gewässern durch den unterstützenden Einsatz moderner digitaler Techniken effizienter zu gestalten. Konkret werden hierzu die vom Institut für Technische Informatik der Universität zu Lübeck entwickelten autonomen schwarmfähigen Unterwasserroboter MONSUN zur flächendeckenden Untersuchung und Kartographierung von Seen eingesetzt. Dabei werden die Roboter mit Messsonden des Projektpartners Sea & Sun Technology, Kameras und Sonaren ausgerüstet, die einen direkten Einblick in das Gewässer ermöglichen. In Abstimmung mit dem Projektpartner Landesamt für Umwelt Schleswig-Holstein können somit insbesondere Wasserpflanzen und Muscheln erkannt und dokumentiert sowie ausgewählte für das Makrophytenwachstum wichtige chemisch-physikalische Parameter unter Wasser miterfasst werden.



### ZWISCHENERGEBNISSE

Nach der EU-Wasserrahmenrichtlinie erfolgt das Monitoring der Wasserpflanzen in Seen entlang von ausgewählten Transekten, die sich senkrecht vom Ufer bis zur Tiefengrenze der Unterwasservegetation erstrecken. Im Großen Ratzeburger See wurden Transekte über eine Länge von bis zu einigen 100 m und bis in Tiefen von ca. 6 m bis 8 m untersucht.

Dafür wurde der Unterwasserroboter MONSUN um eine Videokamera zur Aufnahme der Wasserpflanzen, einem Sonar zur Messung des Abstands zum Seegrund sowie einem optionalen Sensorring zur Erfassung von chemisch-physikalischen Parametern erweitert. Letzterer enthält ein neuartiges Spektrometer zur Ermittlung des Lichtklimas. Die Software wurde um ein Verhalten zur Tauchfahrt in konstantem Abstand über dem Grund (Hovering) ergänzt (ca. 1 m).

Für die Lokalisation unter Wasser wurden neben der ursprünglich geplanten V-Formation mit drei Robotern zwei Verfahren betrachtet, die mit nur einem Roboter auskommen (Single-Formation). Zum einen ist dies das sog. Point&Shoot, bei dem der Roboter sich abwechselnd an der Oberfläche mittels GPS auf den nächsten Wegpunkt ausrichtet (Point) und dann unter Wasser nur mit Kompass bis zu diesem fährt (Shoot). Das zweite Verfahren benutzt eine GPS-Boje, die über ein Kabel mit dem abgetauchten Roboter verbunden ist.



Die Auswertung der aufgenommenen Videos erfolgt offline mittels KI-Verfahren. Hierzu ist eine umfangreiche Vorverarbeitung erforderlich, um die Qualität der Unterwasserbilder zu erhöhen. Mit diesen wird ein künstliches neuronales Netz trainiert, welches in der Produktionsphase die Auswertung der Bilder automatisch vornimmt. Eine wesentliche Herausforderung hierbei ist, dass eine hohe Anzahl von annotierten Bildern (einige 1000) erforderlich ist, um eine gute Erkennungsqualität zu erreichen. Da keine geeignete Datenbasis zur Verfügung stand, musste diese im Projekt erstellt werden.

### NACHHALTIGKEITSGEWINNE UND FAZIT

Die Herstellung und der Betrieb der Unterwasserroboter wurden als relevante Belastungspotenziale identifiziert. Hinzu kommt der Stromverbrauch der KI-Bildauswertung. Entlastungspotenziale wurden mit Blick auf die Substitution von Taucherausrüstungen identifiziert, die bei einer klassischen Gewässerüberwachung benötigt werden. Sowohl der Unterwasserroboter als auch die Taucherausrüstungen konnten modelltechnisch abgebildet und die jeweiligen CO<sub>2</sub>-Fußabdrücke mit Hilfe öffentlich zugänglicher Ökobilanzdatenbanken abgeschätzt werden. Bezogen auf die Herstellung der für das Monitoring benötigten Ausrüstung beträgt diese rund 810 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Monitoring-Einheit, wenn der Tauchroboter in einer Single-Formation zum Einsatz kommt. Allerdings muss die Vergleichbarkeit der Monitoring-Ergebnisse für beide Ansätze noch genauer untersucht werden. Auf qualitativer Ebene wurde u. a. der Schutz der Intaktheit von Ökosystemen als weiterer, systemischer Nachhaltigkeitsgewinn identifiziert.

### LAUFZEIT

01.02.2022 - 31.01.2024

### WEBSEITE



<https://www.iti.uni-luebeck.de/forschungsbereiche/mobile-robotik/move.html>

### VERBUNDKOORDINATOR

Universität zu Lübeck - Institut für Technische Informatik-  
Forschungsbereiche, Mobile Robotik

### VERBUNDPARTNER

- Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein
- Sea & Sun Technology GmbH

### DIGITAL GREENTECH KONFERENZ 2022



[https://www.youtube.com/watch?v=\\_nmjEfSpW0w](https://www.youtube.com/watch?v=_nmjEfSpW0w)

### KONTAKTPERSON

Prof. Dr.-Ing. Maehle, Erik  
([maehle@iti.uni-luebeck.de](mailto:maehle@iti.uni-luebeck.de))

Universität zu Lübeck  
Ratzeburger Allee 160  
23562 Lübeck

## Digitaler Fingerabdruck: Markierungsfreie Rückverfolgung vom gefällten Baumstamm bis ins Sägewerk (DiGeBaSt)

### ZIEL DES PROJEKTS

In DiGeBaSt sollte ein Verfahren zur individuellen Rückverfolgung von Baumstämmen von der Holzernte im Wald bis zum vermessenen Baumstamm im Sägewerk entwickelt werden. Dabei wird dem physischen Objekt Stamm bzw. Stammabschnitt direkt nach dem Fällen ein digitaler Zwilling zugewiesen, der über die Wertschöpfungskette bis ins Sägewerk erhalten bleibt. Dieser kann jederzeit zur Bedienung unterschiedlichster Informationsbedürfnisse (Standort, Eigentümer, Zeitpunkt der Fällung, Logistik etc.) herangezogen werden.

Es wurde exemplarisch eine vernetzte Plattform »Holz Cloud« aufgebaut, in der die Daten gespeichert werden und der Zugriff für die Akteure unter Berücksichtigung des Datenschutzes geregelt wird.



### ERGEBNISSE

Es wurden innerhalb des Projektes drei verschiedene Lesesystem-Typen konzipiert und aufgebaut.

- Entwicklung eines integrierten Lesesystems am Vollernter
- Entwicklung eines Lesesystems im Sägewerk
- Entwicklung eines handgehaltenen Lesesystems

Bei der Auswertung kam der Ansatz der aus der Industrie bekannten Fingertechnologie zum Einsatz. Diese Methode stützt sich erwartungsgemäß weniger auf für den Menschen gut unterscheidbare Merkmale wie Jahresringe, Risse, Astansätze oder großflächige Verschmutzungen. Stattdessen sind Mikrostrukturen wie Holzfasern, Späne oder kleine Schmutzpartikel ausschlaggebend für die Identifizierung. Die Messkampagne wurde erfolgreich abgeschlossen.

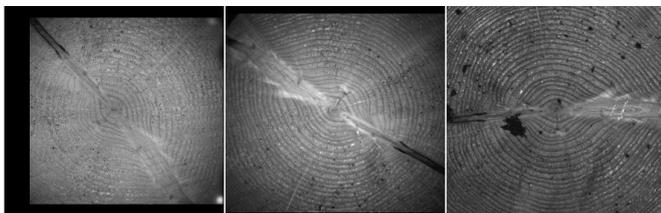
Die Wiedererkennungsrate vom Vollernter zum Polter belief sich auf 98,46 %, die vom Polter zum Sägewerk auf 100 % und die vom Vollernter zum Sägewerk auf 100 %.



## ANWENDUNGEN

Das System ist zum derzeitigen Zeitpunkt noch nicht marktfähig. Auf Softwareseite war das Projekt erfolgreich, jedoch müsste die Auswertung für eine Veröffentlichung automatisiert werden. Bisher musste noch recht viel per Hand eingegeben werden.

Die Hardware, der fotooptische Vollernterkopf, ist im Moment noch zu schwer, um direkt in der Ernte eingesetzt zu werden. Im Versuchsablauf wurden liegende Baumstämme anstatt stehender Bäume aufgenommen.



Vorverarbeitete Aufnahmen einer Stirnfläche an den drei Stationen: Vollernter, Polter und Sägewerk. Die Skalierung wurde angeglichen und die Markröhre jeweils in die Bildmitte transformiert. Helligkeit, Bildausschnitte und Orientierung der Stirnflächen variieren. Foto: Christoph Eberz

## NACHHALTIGKEITSGEWINNE UND FAZIT

Die Belastungspotenziale der Neuentwicklung umfassen im Wesentlichen die Herstellung und den Betrieb der für die Digitalisierungstechnologie erforderlichen Kameras, Blitzgeräte, Desktops und Notebooks sowie Server. Diese würden bei einem Einsatz der Digitalisierungstechnologie in allen Staatswaldgebieten Baden-Württembergs insgesamt rund 54.000 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente verursachen. Bei den Entlastungspotenzialen ergibt sich ein wesentlicher Aspekt durch eine möglicherweise zusätzliche Holzmobilisierung, weil durch das Cloud-basierte Rückverfolgungssystem eine aktuelle und kontinuierlich gepflegte Datenbasis für die o.g. forstwirtschaftlichen Parameter zur Verfügung steht. Dies wird als eine wichtige Voraussetzung für die Mobilisierung bislang ungenutzter Holzvorräte erachtet. Um den Entlastungseffekt abzuschätzen, wurden verschiedene Szenarien modelliert. Unter der konservativen Annahme, dass durch die Digitalisierungstechnologie bezogen auf die gesamte Einschlagmenge nur 0,1 % mehr Holz mobilisiert wird, beziffert sich die Nettoentlastung auf rund 549.000 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente.

### LAUFZEIT

01.04.2021 - 30.06.2023

### WEBSEITE



<https://www.fva-bw.de/top-meta-navigation/fachabteilungen/waldnutzung/digebast>

### VERBUNDKOORDINATOR

Forst Baden-Württemberg AÖR

### VERBUNDPARTNER

- Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM
- HSM Hohenloher Spezial-Maschinenbau GmbH & Co. KG
- Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg
- Karl Streit GmbH & Co. KG

### DIGITAL GREENTECH KONFERENZ 2022



<https://www.youtube.com/watch?v=tE-I1iDeNTA>

### KONTAKTPERSON

Andreas Kreuz  
([andreas.kreutz@forstbw.de](mailto:andreas.kreutz@forstbw.de))

Forst Baden-Württemberg AÖR  
Im Schloß 5  
72074 Tübingen-Bebenhausen

## Künstliche und kollektive Intelligenz zum Spurenstoff-Tracking in Oberflächenwasser für eine nachhaltige Trinkwassergewinnung (K2I)

### ZIEL DES PROJEKTS

Labore der öffentlichen Wasserversorgung nutzen die Non-Target Analytik, um bekannte und selbst unbekanntes Spurenstoffe im Wasser mit hoher Empfindlichkeit zu detektieren. In dem Projekt K2I wurde ein cloudbasierter Demonstrator für den Laborroutinebetrieb entwickelt. Damit werden die Labore in die Lage versetzt, die Rohdaten der Non-Target Analysengeräte zu verarbeiten und laborübergreifend, d.h. überregional auszuwerten. Der standardisierte Cloud-Workflow mit Data-Mining und maschinellem Lernen liefert einen Mehrwert bei der Identifikation von Spurenstoffen sowie bei der Rückverfolgung von deren Herkunft und führt nicht zuletzt zu einer Zeitersparnis im Laborablauf. Ringversuche mit verschiedenen Laboren haben bereits im Projektverlauf die Machbarkeit belegt.



### ERGEBNISSE

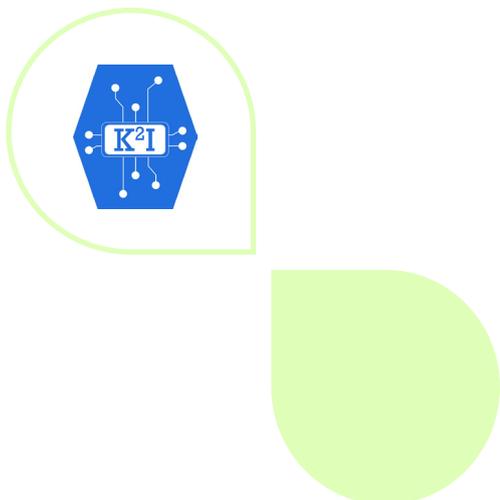
Im Vorhaben wurden folgende Forschungsschwerpunkte durchlaufen:

- Aufbau der Infrastruktur der Cloud
- Auswertung der vorprozessierten Analysendaten
- Durchführung einer Nachhaltigkeitsanalyse
- Erstellung eines Imagevideos über die K2I-Cloud

Als Ergebnis ist ein funktionsfähiger cloudbasierter Demonstrator zur laborinternen und laborübergreifenden Auswertung von Non-Target Analysendaten entstanden. Der Demonstrator setzt sich aus mehreren Modulen zusammen, die nacheinander manuell durch eine eingewiesene Fachperson zu bedienen sind.

Der Demonstrator verfügt über folgende Features:

- Upload von Analysedaten aus dem Non-Target Screening und Metainformationen in einer definierten Datenstruktur über ein Web-User-Interface
- Preprocessing zur laborinternen Korrektur der Non-Target Analysendaten z.B. durch RT Alignment und Intensity normalization mittels einer implementierten und verbesserten Software (z.B. Vermeidung Profile splitting)
- Auswertungen des Datenpools zum Erkennen von Mustern bzw. Anomalien in räumlichen und zeitlichen Datensätzen auf Basis von Algorithmen bzw. KI-Methoden, Definition von Anomalien über Scores, Datenspeicherung in einer NoSQL-Datenbank
- Auswerte-Dashboards für vordefinierte use-cases aus der Praxis
- Ansteigender Trend eines Features an einer Messstelle
- Suche nach räumlich vergleichbaren Mustern



## ANWENDUNG

Das Proof of Concept wurde auf Basis von 4.800 Analysen unter Praxisbedingungen durchgeführt. Dies erfolgte in der Modellregion Donau @ Ulm durch Labore der Projektpartner und assoziierten Partner. Die im K2I-Projekt erhaltenen Ergebnisse mit dem Demonstrator lassen einen Ausbau zu einem in der Praxis nutzbaren Softwarepaket wünschenswert und aussichtsreich erscheinen. Der Demonstrator soll im Zusammenwirken mit den assoziierten Partnern unter Praxisbedingungen weiterentwickelt werden.

## LAUFZEIT

01.04.2021 - 30.09.2023

## WEBSEITE



<https://www.k2i-tracker.de>

## VERBUNDKOORDINATOR

TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser

## VERBUNDPARTNER

- Zweckverband Landeswasserversorgung
- Leibniz-Rechenzentrum
- Technische Universität München

## NACHHALTIGKEITSGEWINNE UND FAZIT

Die K2I-Cloud schafft eine Voraussetzung, dass Einträge von Spurenstoffen in die Umwelt überhaupt umfassend detektiert und damit Gegenmaßnahmen eingeleitet werden können. Die Vergangenheit hat öfter gezeigt, dass der Nachweis von unerwünschten Verbindungen im Wasser Gegenmaßnahmen initiiert hat. Mit Blick auf die Entlastungspotenziale wurde ein Best-Case- und ein Worst-Case-Szenario definiert. Im Best-Case-Szenario wurde angenommen, dass auf Basis der Analyseergebnisse Maßnahmen zur Verbesserung der Rohwasserbeschaffenheit ergriffen werden. Damit sind weniger Aufbereitungsstoffe (Aktivkohle, Ozon und Umkehrosmose) erforderlich. Werden keine Maßnahmen bezüglich Gewässerbeschaffenheit und Aufbereitung ergriffen, resultieren keine Entlastungspotenziale (Worst-Case-Szenario). Die Betrachtungen zeigen, dass die Entlastungspotenziale die Belastungspotenziale deutlich übertreffen. Die K2I-Cloudlösung weist in Hinblick auf Nachhaltigkeit damit ein gutes Chance-Risiko-Verhältnis auf.

## DIGITAL GREENTECH KONFERENZ 2022



[https://www.youtube.com/watch?v=vPPch\\_RyqzA](https://www.youtube.com/watch?v=vPPch_RyqzA)

## EINE CLOUD FÜR SAUBERES WASSER



<https://www.laborpraxis.vogel.de/eine-cloud-fuer-sauberes-wasser-a-1105507/>

## KONTAKTPERSON

Dr. Uwe Müller  
([uwe.mueller@tzw.de](mailto:uwe.mueller@tzw.de))

TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser  
Karlsruher Str. 84  
w76139 Karlsruhe

# Decoding Spurenstoffe - Implementierung einer intelligenten Monitoring- und Steuerungszentrale für eine ressourceneffiziente Spurenstoffelimination aus Abwasser (DecS)

## ZIEL DES PROJEKTS

DecS hat zum Ziel, organische Spurenstoffe, die insbesondere über das kommunale Abwassersystem in die Gewässer eingetragen werden, zielgerichtet aus Abwasserströmen zu entfernen. Dazu werden kontinuierlich erfasste Messdaten intelligent verarbeitet und mit den weiterentwickelten Modellsystemen vernetzt. Wichtige Fragestellungen bezogen sich auf die Konzipierung einer anwenderorientierten Datenverarbeitung und die angestrebte Vernetzung mit einem digitalen Abbild (Simulationsmodell) einer Kläranlage. Ferner wollte DecS die realen Nachhaltigkeitspotenziale einer digitalisierten Spurenstoffelimination erforschen und generelle Fragestellungen zur simulationsunterstützten Prozessoptimierung auf wasserwirtschaftlichen Anlagen beantworten. Die Machbarkeit der großtechnischen Implementierung sollte in digitalen Reallaboren des Lippeverbands (EGLV) unter Anwendung der Simulationsmodelle als Digitaler Zwilling erprobt werden.



## ERGEBNISSE

Wesentlicher Bestandteil des Forschungsprojekts DecS war das Monitoring von Kläranlagen hinsichtlich der Emission von organischen Spurenstoffen. Es konnten umfangreiche Datensätze an verschiedenen Stellen in der Verfahrenskette der beteiligten Abwasserreinigungsanlagen gewonnen werden, die einen großen Informationsgewinn über Vorkommen, Größenordnung der Konzentrationen und Zulaufdynamik ermöglichen. Damit wird ein wichtiger Beitrag zum Monitoring und zur gezielten Elimination von organischen Spurenstoffen aus kommunalem Abwasser ermöglicht.

Im Rahmen des Forschungsprojekts DecS konnten außerdem bestehende und neue Modellansätze für die Elimination von organischen Spurenstoffen aus kommunalem Abwasser maßgeblich weiterentwickelt und angewendet werden. Durch das intensive Monitoring der Kläranlagen des Lippeverbands (EGLV) war eine belastbare Validierung der Modellansätze möglich. Erste Ergebnisse konnten bereits national und international publiziert und auf verschiedenen Fachtagungen vorgestellt werden, sodass zukünftig für die Modellansätze und die daraus gewonnenen Erkenntnisse zum Anlagenbetrieb eine breite Anwendung und Verstetigung in der Praxis zu erwarten ist. Des Weiteren ist es im Verlauf des Projekts gelungen, erstmalig eine Messtechnik zu entwickeln, mit der organische Spurenstoffe im Zulauf und Ablauf einer Kläranlage kontinuierlich gemessen werden können.

Dies ermöglicht den gezielten und bedarfsgerechten Einsatz von Betriebsmitteln (Ozon, Aktivkohle) zur Entfernung von organischen Spurenstoffen aus kommunalem Abwasser. Damit kann der Einsatz von Ressourcen bei gleichzeitiger Maximierung der Reinigungsleistung im Hinblick auf organische Spurenstoffe gesenkt werden.



### NACHHALTIGKEITSGEWINNE UND FAZIT

Die Selbstevaluierung ergab ein Belastungspotenzial der neu entwickelten kontinuierlichen Spurenstoff-Messtechnik von rund 860 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten. Bezugsgröße hierfür war eine Analyseeinheit mit einem Online-Spurenstoffmessgerät, das in einem klimatisierten Container untergebracht ist. Bemerkenswert in diesem Zusammenhang ist, dass die wichtigsten Beiträge zu diesem Belastungspotenzial auf die Containerherstellung und die für die Klimatisierung erforderliche Klimaanlage (23 % bzw. 44 % Anteil am Gesamtergebnis) zurückgeführt werden können. Die Entlastungspotenziale der Neuentwicklung ergeben sich aus einem deutlich gezielteren und daher nachhaltigeren Einsatz von Betriebsmitteln zur Spurenstoffelimination (Aktivkohle, Ozon). Diese wurden im Rahmen der Selbstevaluierung bei der betrachteten Kläranlage am Beispiel der Pulveraktivkohle auf ca. 8.450 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Jahr geschätzt. Insgesamt ergibt sich folglich für das betrachtete Beispiel eine Nettoentlastung von jährlich rund 800 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten pro Kläranlage.

#### LAUFZEIT

01.04.2021 - 31.12.2023

#### WEBSEITE



<https://www.uni-kassel.de/fb14bau/institute/institut-fuer-wasser-abfall-umwelt-iwau/siedlungswasserwirtschaft/forschung/decs-decoding-sprenstoffe>

#### VERBUNDKOORDINATOR

Universität Kassel, Fachgebiet  
Siedlungswasserwirtschaft

#### VERBUNDPARTNER

- Lippeverband
- UNISENSOR Sensorsysteme GmbH
- ifak - Institut für Automation und Kommunikation e.V.
- Weber-Ingenieure GmbH
- Kompetenzzentrum Digitale Wasserwirtschaft gGmbH
- Kompetenzzentrum Spurenstoffe BW

#### DIGITAL GREENTECH KONFERENZ 2022



<https://www.youtube.com/watch?v=wVO1dC0v3YI&t=8s>

#### KONTAKTPERSON

Prof. Dr.-Ing. Tobias Morck  
([morck@uni-kassel.de](mailto:morck@uni-kassel.de))

Universität Kassel,  
Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft  
Kurt-Wolters-Str. 3  
34125 Kassel

## Impressum

### Gesellschaft für Informatik e.V. (GI)

Anna-Louisa-Karsch-Straße 2  
10178 Berlin

Telefon: +49 30 7261 566 15  
Telefax: +49 30 7261 566 19  
E-Mail: [berlin\[at\]gi.de](mailto:berlin[at]gi.de)

Vereinsregister Bonn 3429  
USt - IdNr. DE122273104

### Kontakt

Anfragen zur Fördermaßnahme  
richten Sie bitte an: [netdgt\[at\]gi.de](mailto:netdgt[at]gi.de)

### Werden Sie Teil der DGT-Community

 [@dgt@mas.to](mailto:@dgt@mas.to)  
 [@DGTcommunity](https://twitter.com/DGTcommunity)  
 [gi.de/netdgt-linkedln](https://www.linkedin.com/company/gi.de/netdgt-linkedln)

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

**FONA**  
Forschung für Nachhaltigkeit

**NATÜRLICH.  
DIGITAL.  
NACHHALTIG.**