

## Digitalisierung und Nachhaltigkeit

# Nachhaltigkeitspotenziale von digitaler GreenTech erkennen und nutzen

Digitale Technologien bergen beträchtliche Potenziale für Nachhaltigkeitsgewinne, zum Beispiel bei einer Anwendung in Forst-, Kreislauf- und Wasserwirtschaft. Andererseits kann ihre Herstellung und Nutzung einen erheblichen Rohstoff- und Energiebedarf verursachen. Führt die Digitalisierung dennoch zu einer gesamthaften Entlastung? Wie kann dies frühzeitig im Entwicklungsprozess erkannt und bestmöglich genutzt werden?

Von Martin Möller, Nikolas Becker,  
Andreas R. Köhler und Linda Schwarz

## 1 Einleitung

An die Digitalisierung, das heißt den Einsatz moderner Datenverarbeitungs- und Kommunikationstechnologien, richten sich große Erwartungen hinsichtlich ihres Potenzials zur Effizienzsteigerung anderer technischer Prozesse und wirtschaftlicher Transaktionen. So soll der Einsatz digitaler Technologien und Anwendungen bei drei Viertel der vom Branchenverband bitkom befragten Unternehmen zu einer Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen geführt haben. Daraus schlussfolgert die bitkom, dass die deutsche Wirtschaft ihre Klimaziele ohne digitale Technologien nicht erfüllen kann (Bitkom 2023). Auch die deutsche Bundesregierung verweist in ihrer Digitalstrategie auf die beträchtlichen Potenziale der digitalen Technologien „im Kampf gegen die Klimakrise, den Verlust der Biodiversität und die Verschmutzung der Natur durch Schadstoffe und Abfall“ (Bundesregierung 2022). Demnach ist die „Wirtschaft [...] mit Hilfe der Digitalisierung erfolgreich gewachsen und stärker auf Nachhaltigkeit ausgerichtet.“ Und weiter: „Digitale Technologien machen die Umwelttechnik effizienter und zukunftsfähig. Sie unterstützen den Umbau der Energieversorgung und die Entwicklung hin zu einer zukunftssicheren und nachhaltigen Land- und Ernährungswirtschaft und einer Kreislaufwirtschaft zum Schutz der natürlichen Lebensgrundlagen.“ (ebd.)

Insbesondere der sogenannten Künstlichen Intelligenz (KI) wird weithin ein disruptives Potenzial zugeschrieben, verbunden mit der Hoffnung auf erhebliche Nachhaltigkeitsgewinne durch ihren Einsatz (Jungblut 2021). Zukunftsstrategien

sowohl der Europäischen Kommission als auch der Bundesregierung beschreiben den angestrebten Ausbau der digitalen Transformation der Wirtschaft oft in einem Atemzug mit „grün“ oder „sauber“ im Sinne von nachhaltig (Europäische Kommission 2023). So betont der europäische Grüne Deal, dass „Digitale Technologien [...] eine entscheidende Voraussetzung für die Verwirklichung der Nachhaltigkeitsziele des Grünen Deals in vielen verschiedenen Sektoren“ sind (Europäische Kommission 2019).

Zugleich wird zunehmend offensichtlich, dass die Nutzung digitaler Technologien keineswegs nur positive Nachhaltigkeitseffekte bewirkt, sondern auch Ressourcen und Energie in Anspruch nimmt. Allerdings sind die wissenschaftlichen Erkenntnisse über die positiven und negativen Nachhaltigkeitseffekte der Digitalisierung noch nicht ausreichend erforscht, um richtungssichere Aussagen auf generalisierter Ebene zu machen (Gossen et al 2021). Insbesondere ist es aufgrund der komplexen Wirkungszusammenhänge nicht einfach, die erhofften Entlastungseffekte nachvollziehbar auf den Einsatz digitaler Methoden zurückzuführen. Noch schwieriger ist es, die erhofften Entlastungseffekte zu quantifizieren und den zusätzlichen Umweltbelastungen gegenüberzustellen, die durch den Einsatz digitaler Technik entstehen. Während zu letzterer Problematik bereits zahlreiche Ökobilanzstudien vorliegen, ist eine Bilanzierung der Entlastungseffekte bisher nur ansatzweise bekannt (Köhler et al. 2018; Liu et al. 2019). Vor diesem Hintergrund stellt sich im Zuge der technologischen Innovation die Leitfrage: „Führen digitale Lösungen im Kontext ihrer Anwendung unter Berücksichtigung aller damit verbundenen Be- und Entlastungspotenziale zu einer Nettoentlastung der Umweltwirkungen?“

Um dieser Frage auf den Grund zu gehen, hat das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) das Begleitforschungsvorhaben *Netzwerk Digital GreenTech* (NetDGT) im Rahmen der Förderrichtlinie *Digital GreenTech* initiiert. Durch die Verknüpfung von Umwelttechnologien mit digitalen Technologien wie Digitalen Zwillingen und Künstlicher Intelligenz sollen nachhaltige Produkte, Dienstleistungen und Verfahren in Forst-, Kreislauf- und Wasserwirtschaft entstehen. Für jedes der geförderten Forschungsvorhaben führt das Öko-Institut im Auftrag der Gesellschaft für Informatik Nachhaltigkeitsanalysen durch. In diesem Beitrag stellen wir die hierfür entwickelten Methoden vor. Anhand von drei Fallbeispielen aus NetDGT geben wir zudem einen Einblick in die Praxis und präsentieren erste Zwischenergebnisse der durchgeführten entwicklungsbegleitenden Nachhaltigkeitsbewertungen.

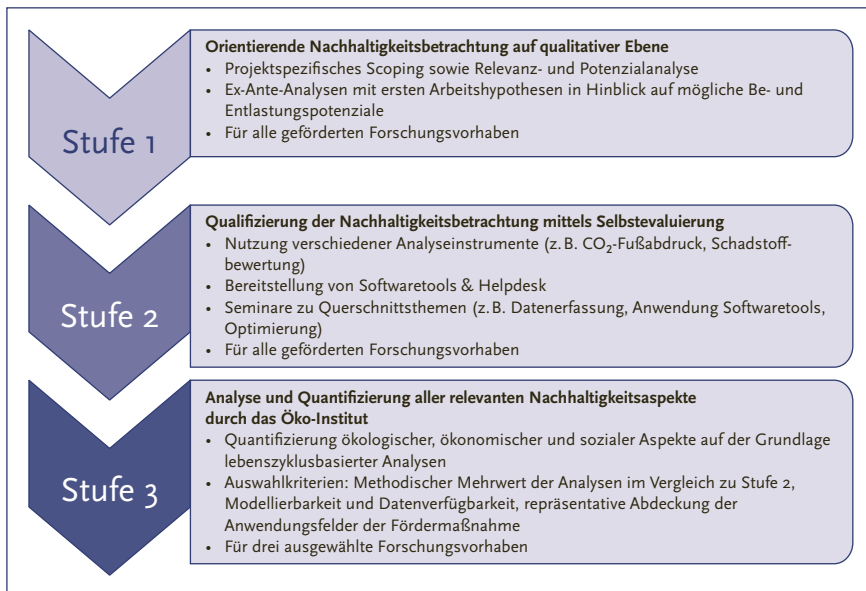


Abbildung 1: Dreistufige Vorgehensweise der Nachhaltigkeitsanalysen im Begleitforschungsvorhaben NetDGT (eigene Darstellung)

## 2 Methodische Vorgehensweise

Ziel der Nachhaltigkeitsbewertungen ist eine systematische Gegenüberstellung der Umweltbelastungen durch die jeweils eingesetzte Digitalinfrastruktur und der erwarteten Entlastungspotenziale in den bei NetDGT betrachteten Umwelttechnologien. Dabei werden insbesondere der Ressourcenverbrauch bei der Herstellung und der Energiebedarf bei der Nutzung digitaler Hardware berücksichtigt. Zu den positiven Nachhaltigkeitseffekten zählen beispielsweise Effizienzsteigerungen in industriellen Prozessen, die zu Einsparungen von Treibhausgasemissionen führen können.

Den normativen Bezugsrahmen für die Nachhaltigkeitsbewertungen bilden die Sustainable Development Goals (SDGs) der Agenda 2030 der Vereinten Nationen. Positive wie negative Beiträge der einzelnen Forschungsvorhaben bezogen auf die SDGs sollen qualitativ und möglichst auch quantitativ ermittelt werden.

Der praktische Ablauf der Nachhaltigkeitsanalysen ist in drei Stufen gegliedert (siehe Abbildung 1):

- Für alle Forschungsvorhaben der Fördermaßnahme sieht der Methodenrahmen in einer ersten Stufe zunächst eine orientierende Nachhaltigkeitsbetrachtung auf qualitativer Ebene vor. Um alle relevanten Aspekte zu identifizieren, wird seitens des Begleitforschungsvorhabens für jede der betrachteten digitalen Technologien vorab eine „Ex-ante-Analyse“ angefertigt. Diese erfasst alle vorhandenen Be- und Entlastungspotenziale mit Blick auf die SDGs und bildet die Grundlage für das „Scoping“, mit dem der Untersuchungsrahmen festgelegt, die folgenden Analyseschritte modelliert sowie erste Arbeitshypothesen zu möglichen Nachhaltigkeitsergebnissen aufgestellt werden.

- Aufbauend auf dem Scoping werden in einer zweiten Stufe die als relevant identifizierten Nachhaltigkeitsaspekte quantitativ analysiert. Hierfür sind die Forschungsvorhaben aufgefordert, die Analysen eigenverantwortlich durchzuführen. Um sie bei dieser Selbstevaluierung bestmöglich zu unterstützen, wurden geeignete Bewertungsinstrumente vorgeschlagen und Methoden erläutert, die für alle relevanten Nachhaltigkeitsaspekte eine möglichst weitgehende Quantifizierung erlauben. Diese Unterstützung umfasst Seminare zu zentralen Abläufen der Selbstevaluierung (wie Datenerfassung und Wirkungsabschätzung) sowie ein für spezifische Nachfragen eingerichtetes Helpdesk.

- In einer dritten Stufe wird schließlich durch das Begleitforschungsvorhaben eine vollständige Nachhaltigkeitsbewertung vorgenommen. Gegenstand dieses Bewertungsschritts ist eine Quantifizierung aller relevanten Nachhaltigkeitseffekte auf der Grundlage lebenszyklusbasierter Analysen.

Um die Relevanz der ermittelten Nachhaltigkeitsergebnisse in Bezug auf die jeweiligen globalen Herausforderungen zu klären, sind Signifikanzanalysen ebenfalls ein wesentlicher Bestandteil der Bewertungen. Dadurch wird geprüft, ob die Forschungsvorhaben tatsächlich einen signifikanten Beitrag zur Problemlösung beisteuern. Aus dieser Einordnung werden Empfehlungen für die Forschungsvorhaben zur strategischen Optimierung ihrer Neuentwicklungen sowie für Fördermittelgeber mit Blick auf besonders vielversprechende Anwendungsfelder abgeleitet.

Um die Relevanz der ermittelten Nachhaltigkeitsergebnisse in Bezug auf die jeweiligen globalen Herausforderungen zu klären, sind Signifikanzanalysen ebenfalls ein wesentlicher Bestandteil der Bewertungen. Dadurch wird geprüft, ob die Forschungsvorhaben tatsächlich einen signifikanten Beitrag zur Problemlösung beisteuern. Aus dieser Einordnung werden Empfehlungen für die Forschungsvorhaben zur strategischen Optimierung ihrer Neuentwicklungen sowie für Fördermittelgeber mit Blick auf besonders vielversprechende Anwendungsfelder abgeleitet.

## 3 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die im Rahmen der Selbstevaluierung erarbeiteten Ergebnisse exemplarisch anhand von drei Forschungsvorhaben vorgestellt.

### 3.1 Einsparung von Beton durch KI-basiertes Instandhaltungsmanagement für Abwasserkanäle

Das vom August-Wilhelm Scheer Institut geleitete Forschungsvorhaben KIKI hat zum Ziel, die bestehenden Inspektionsverfahren zur Instandhaltung von Abwasserkanälen mit den Methoden des maschinellen Lernens anzureichern. Arbeitsschwerpunkte bilden eine KI-basierte automatisierte Erkennung von Schäden in Kanalwänden anhand von Filmdaten aus Kanalinspektionsfahrten sowie die Prognose von Alterungsprozessen im Kanalsystem. Die automatisierte Auswertung ermöglicht eine schnellere Inspektion sowie eine

frühzeitige und möglichst zielgenaue Kanalsanierung (DigitalGreentech 2023 a; Liebau 2023).

Im Rahmen der Ex-Ante-Analyse wurden als wesentliche Belastungspotenziale die Treibhausgasemissionen aus der Herstellung und dem Betrieb der benötigten digitalen Technologien identifiziert. Dabei handelt es sich vor allem um den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck der Rechner, die zur Übertragung und Auswertung der Inspektionsfilme erforderlich sind. Entlastungspotenziale ergeben sich hingegen in erster Linie durch die Einsparungen von Baumaterialien (vor allem Beton), wenn infolge einer optimierten Instandhaltungsstrategie aufwendige Kanalsanierungen reduziert beziehungsweise vermieden werden können.

Die mit dem skizzierten Untersuchungsrahmen durchgeführte Selbstevaluierung kommt zum Ergebnis, dass die Treibhausgasemissionen der digitalen Technologien durch die Einsparpotenziale bei den Baumaterialien überkompensiert werden können. Dabei wird angenommen, dass sich Kanalerneuerungen vermeiden lassen, wenn kleinere Schäden frühzeitig erkannt und repariert werden. Jährlich werden rund 6.000 km Kanalleitungen saniert, wobei circa 24,2 % komplett erneuert werden. Allein die Einsparung von rund drei Metern Betonrohr mit einem Durchmesser von 140 cm (3,2 Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Meter) würde ausreichen, um den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck der entwickelten Software in Höhe von 10 Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente zu kompensieren (Liebau 2023). Jenseits dieser quantifizierbaren Nachhaltigkeitsgewinne zeichnen sich auf qualitativer Ebene weitere positive Effekte mit Blick auf die SDGs ab. Dazu gehören der Grundwasserschutz durch Vermeidung der Versickerung von ungeklärtem Abwasser aus den Abwasserkanälen sowie die Verringerung von Kostensteigerungen bei Abwasser.

Ein wesentliches Fazit der Selbstevaluierung im Forschungsvorhaben KIKI ist die Erkenntnis, dass durch den vergleichsweise geringen Aufwand für KI-gestützte digitale Technologien im Kanalinstandhaltungsmanagement erhebliche Einsparungen beim Betonverbrauch und den damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen erzielt werden können.

### 3.2 Klimaschonendes Monitoring von Gewässer-Ökosystemen mit Unterwasserrobotern

Ziel dieses Forschungsvorhabens ist es, die Unterwasservegetation und Wasserqualität in Seen mittels autonomer, schwarmfähiger Unterwasserroboter zu monitoren. Die von der Universität zu Lübeck entwickelten Roboter können Umweltdaten mittels Messsonden, Sonaren und Kameras digital erfassen. Die erhobenen Daten werden durch maschinelles Lernen in neuronalen Netzen automatisch ausgewertet und so die Vegetation und Wasserqualität kartiert (DigitalGreentech 2023 b).

Im Zuge der Ex-Ante-Analyse wurden die Treibhausgasemissionen aus der Herstellung und dem Betrieb der Unterwasserroboter als relevante Belastungspotenziale identifiziert. Darüber hinaus verursachen die Datenübertragung und die

Bildauswertung durch ihren Stromverbrauch eine zusätzliche Klimabelastung. Entlastungspotenziale wurden mit Blick auf die Substitution von Taucherausrüstungen (vor allem Taucheranzüge, Pressluft, Schlauchboote und Kraftstoff) identifiziert, die bei einer klassischen Gewässerüberwachung benötigt werden.

Dementsprechend fokussierte sich die Selbstevaluierung im Forschungsvorhaben zunächst auf die Ermittlung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks des Unterwasserroboters. Hierbei handelt es sich um ein komplexes System, das aus zahlreichen unterschiedlichen Werkstoffen und Komponenten besteht. Daraus resultierte die methodische Herausforderung, für die wesentlichen Bauteile geeignete Datensätze zur Abschätzung der Treibhausgasemissionen zu ermitteln. Mit Unterstützung des Öko-Instituts ist es schließlich gelungen, sowohl den Unterwasserroboter als auch die Taucherausrüstungen modelltechnisch abzubilden und die jeweiligen CO<sub>2</sub>-Fußabdrücke mithilfe öffentlich zugänglicher Ökobilanzdatenbanken abzuschätzen. Auch bei diesem Forschungsvorhaben zeigen die Ergebnisse der Selbstevaluierung für die Neuentwicklung das Potenzial für eine signifikante Netto-CO<sub>2</sub>-Einsparung. 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 der Wasserqualität für beide Ansätze in weiteren Tests noch genauer untersucht werden. Auf qualitativer Ebene wurden weitere, systemische Nachhaltigkeitsgewinne identifiziert. Dabei handelt es sich um den Schutz der Intaktheit von Ökosystemen sowie neue wissenschaftliche Erkenntnisse über die ökosystemaren Zusammenhänge zwischen Gewässerökologie und Klimawandel.

Jenseits der inhaltlichen Ergebnisse konnte aus methodischer Perspektive anhand des Tauchroboters demonstriert werden, dass der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck eines komplexen Systems mit Datensätzen aus kostenfreien öffentlichen Ökobilanzdatenbanken gut approximiert werden kann. In diesem Zusammenhang haben sich insbesondere die Datenbanken Idemat (2023), ProBas (2023) und Ökobaudat (2021) als hilfreich erwiesen.

### 3.3 KI-gestützte Optimierung der Betriebsführung von Zerlege- und Recyclinganlagen

DiKueRec entwickelt eine auf digitalen Zwillingen basierende Technologie zur effizienten Steuerung des Kühlgeräte-Recyclings. Dazu erfolgt eine sensorische Erfassung von Eingangs-, Betriebs- und Ausgangsdaten bestehender Recyclinganlagen und der dort verarbeiteten Altgeräte. Gemäß dem aktuellen Stand der Technik moderner Recyclinganlagen werden Kühl-Altgeräte in einem speziellen Zerlegeprozess behandelt, um eine Freisetzung darin enthaltener umweltschädlicher Stoffe zu verhindern und diese sicher zu entfernen. Dies ist insbesondere bei Altgeräten, die noch FCKW als Kältemittel in den Kühlaggregaten oder als Treibmittel in den Isolierschäumen enthalten, von besonderer Bedeutung, da FCKW in

*„Mit dem Einsatz von künstlicher Intelligenz wird die Hoffnung auf erhebliche Nachhaltigkeitsgewinne verbunden.“*

hohem Maße ozon- und klimaschädigende Wirkung haben. Das ist in modernen Recyclinganlagen Stand der Technik, jedoch gelangen aus Vorsorgegründen auch viele FCKW-freie Altgeräte in die Zerlegung. Um die ökonomische und ökologische Effizienz der Sortierung zu verbessern, soll der Anteil falsch positiver Ergebnisse in der Sortierung reduziert werden. Dazu wird eine Datenbank für Altkühlgeräte mit gesicherten Informationen zum FCKW-Gehalt aufgebaut und mit digitalen Zwillingen der Altgeräte abgeglichen. Alle eingehenden Altgeräte werden mittels Laserabtastung und KI-gestützter Bilderkennung erfasst und die Daten in einen digitalen Zwilling überführt. Dadurch soll die Aufbereitung effizienter und die Demontage und Verwertung fälschungssicher und transparent dokumentiert werden.

Im Zuge der Selbstevaluierung des Projekts mithilfe einer vereinfachten ökobilanziellen Berechnung wurden folgende Umweltentlastungspotenziale identifiziert: Eine höhere Zuverlässigkeit der KI-gestützten Identifizierung von FCKW-haltigen Altgeräten reduziert das Risiko einer Freisetzung von klimaschädlichen FCKW. Durch eine präzisere Erfassung der Altgeräte ist zum Beispiel eine optimierte Absaugung der Treibmittel und eine bessere Steuerung des Belastungszustandes der zugehörigen Filteranlage möglich. Dies ermöglicht eine genauere Planung der Standzeiten dieser Filteranlage, wodurch beispielsweise die energieintensive Regeneration der Aktivkohle und die Produktion des dafür benötigten Stickstoffs reduziert werden können.

Mithilfe einer vereinfachten Ökobilanz lässt sich die Klimawirkung der Energieeffizienzsteigerung unter Berücksichtigung der Belastungen durch die zusätzlich benötigte Rechnerleistung für den Betrieb des KI-Systems abschätzen. Bei einer angenommenen Effizienzsteigerung der FCKW-Abscheidung im Entsorgungsprozess um 1% ergibt sich rechnerisch ein Nettoentlastungspotenzial von 20.000 Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalenten.

## 4 Diskussion

In der Gesamtbetrachtung der evaluierten Projekte zeigt sich, dass zwar alle Vorhaben eine Netto-CO<sub>2</sub>-Entlastung aufweisen, die Größenordnungen der Entlastungspotenziale jedoch stark differieren. Besonders große Hebelwirkungen mit Blick auf den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck ergeben sich dabei bei den Neu-

entwicklungen, die eine Reduzierung des Einsatzes CO<sub>2</sub>-intensiver Werkstoffe (zum Beispiel Beton) beziehungsweise industrieller Prozesse (zum Beispiel Kühlgeräte-Recycling) ermöglichen.

Der Nutzen der Analysen liegt zum einen darin, dass die Ergebnisse für Fördermittelgeber mit begrenzten Ressourcen handlungsleitend für die Auswahl von Forschungsvorhaben beziehungsweise deren Weiterführung sein können. Zum anderen geben die gewonnenen Erkenntnisse über besondere Entlastungs- und Belastungspotenziale eine wichtige Anregung für die Projektbeteiligten, neue Lösungen zu suchen und einzelne Aspekte eines Forschungsvorhabens infrage zu stellen. So halfen die Selbstevaluierungen beim Aufbau von eigenen Modellierungs- und Bewertungskompetenzen innerhalb der jeweiligen Forschungskonsortien. Solches „Capacity Building“ zu Nachhaltigkeitsthemen kann sich vor allem bei der Inwertsetzung der Neuentwicklung, aber auch bei Weiterentwicklungen und Folgeprojekten als hilfreich erweisen. Durch die Einbettung der Analysen in den Entwicklungsprozess bietet sich die Gelegenheit, das Design der Technologie und die Nachhaltigkeitsgewinne zu verbessern, indem Zusammenhänge und Abhängigkeiten reflektiert werden und zu neuen Lösungen für ökologische Stolperfallen angeregt wird.

Eine große Herausforderung für die Selbstevaluierung besteht jedoch darin, quantitative Daten zu den Ökoprofilen der verwendeten Materialien und Komponenten zu recherchieren. Falls bei einer Neuentwicklung komplexe Produkte beziehungsweise Technologien mit einer Vielzahl unterschiedlicher Bauteile zum Einsatz kommen, gilt dies im besonderen Maße. Vor diesem Hintergrund besteht ein großer Bedarf an gut dokumentierten, frei verfügbaren und leicht interpretierbaren Daten zu Nachhaltigkeitseffekten. Die in Kapitel 3.2 genannten Datenbanken bieten hier eine gute Ausgangsbasis. Perspektivisch wäre jedoch eine größere Verbreitung von Softwarewerkzeugen wünschenswert, die eine automatische Verknüpfung von Daten beispielsweise aus dem rechnergestützten Design mit zugehörigen Daten zum CO<sub>2</sub>-Fußabdruck bieten.

Für den Umgang mit den genannten Herausforderungen, die Definition der Systemgrenzen sowie weitere Aspekte der Modellierung hat sich die Rolle eines „externen Challengers“ als hilfreich erwiesen, die im vorliegenden Fall durch das Öko-Institut wahrgenommen wurde. Eine solche externe Begleitung der Selbstevaluierungen kann je nach Komplexität und Ergebnissen der Analyse eine vertiefende Betrachtung anregen und unterstützen. Perspektivisch sollte daher neben einer Fortentwicklung der Werkzeuge für die Selbstevaluierung auch ein niedrigschwelliges Beratungsangebot als Prozessbegleitung für Innovationsprozesse geschaffen werden.

## 5 Fazit

Es besteht ein großer Bedarf an Strategien und Konzepten, um die Digitalisierung in den Dienst einer nachhaltigen Entwicklung zu stellen (Cieslewicz et al. 2023). In diesem Kon-



text stellt unser Beitrag ein methodisches Konzept vor, wie die Nachhaltigkeitsaspekte von Digital-GreenTech-Innovationsprojekten bereits während des Entwicklungsprozesses analysiert werden können.

Anhand der durchgeführten Fallbeispiele zeigt sich, dass der Ansatz einer Selbstevaluierung durch die Akteure aus den jeweiligen Forschungsvorhaben für eine besonders frühzeitige Auseinandersetzung mit den Be- und Entlastungseffekten förderlich ist, insbesondere mit Blick auf die normativen Vorgaben der Agenda 2030. Hierfür spricht vor allem die Tatsache, dass quantitative Daten für eine substantielle Nachhaltigkeitsbewertung zuallererst in den Forschungsvorhaben selbst verfügbar werden. Durch die Bereitstellung niederschwelliger Werkzeuge können mithilfe dieser Daten wertvolle Impulse für die laufenden Forschungs- und Entwicklungsarbeiten bereitgestellt werden.

Bezüglich der eingangs genannten Green Claims der Digitalisierung ist anzumerken, dass die Hebelwirkungen der verschiedenen digitalen Technologiekonzepte in puncto Nachhaltigkeitsgewinnen stark unterschiedlich ausgeprägt sind und zum Teil hinter den gesteckten Erwartungen zurückbleiben. Vor diesem Hintergrund wäre es wünschenswert, für jedes Technologiekonzept einen Vergleich der jeweils möglichen Anwendungsfelder im Sinne eines Benchmarkings durchzuführen. Zentrale Forschungsfrage dabei wäre, in welchem Anwendungsfeld ein bestimmtes Technologiekonzept die größtmögliche Hebelwirkung erzielen kann. Mit einem solchen Ansatz könnten beispielsweise interessante Schlussfolgerungen für eine weitere Fokussierung öffentlicher Mittel zur Forschungsförderung abgeleitet und strategische Roadmaps für einen möglichst nachhaltigen digitalen Transformationsprozess entwickelt werden.

## Literatur

- Bitkom (2023): Digitalisierung senkt den CO<sub>2</sub>-Ausstoß der deutschen Wirtschaft. Berlin, Bitkom. [www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Digitalisierung-senkt-CO2-Ausstoss-deutscher-Wirtschaft](http://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Digitalisierung-senkt-CO2-Ausstoss-deutscher-Wirtschaft)
- Bundesregierung (2022): Digitalstrategie – Gemeinsam digitale Werte schaffen. [https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/K/presse/063-digitalstrategie.pdf?\\_\\_blob=application/pdf](https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/K/presse/063-digitalstrategie.pdf?__blob=application/pdf)
- Cieslewicz, K. et al. (2022): Der europäische Weg. In: *Ökologisches Wirtschaften* 37/1: 8–9. DOI: 10.14512/OEW370108
- DigitalGreentech (2023 a): KI-basiertes Kanalstandhaltungsmanagement. Bonn, DigitalGreentech. [https://digitalgreentech.de/projekte/detail?tx\\_gicampaign\\_projects%5Baction%5D=detail&tx\\_gicampaign\\_projects%5Bcontroller%5D=Project&tx\\_gicampaign\\_projects%5Bproject%5D=81&cHash=298a1533e5b1e838f06e0d3f478eb1e](https://digitalgreentech.de/projekte/detail?tx_gicampaign_projects%5Baction%5D=detail&tx_gicampaign_projects%5Bcontroller%5D=Project&tx_gicampaign_projects%5Bproject%5D=81&cHash=298a1533e5b1e838f06e0d3f478eb1e)
- DigitalGreentech (2023 b): Monitoring von Vegetation und Wasserqualität in Seen mit Unterwasser-Roboterschwärmen. Bonn, DigitalGreentech. [https://digitalgreentech.de/projekte/detail?tx\\_gicampaign\\_projects%5Baction%5D=detail&tx\\_gicampaign\\_projects%5Bcontroller%5D=Project&tx\\_gicampaign\\_projects%5Bproject%5D=155&cHash=6e9339081a8e3a6188374d60dbfe284](https://digitalgreentech.de/projekte/detail?tx_gicampaign_projects%5Baction%5D=detail&tx_gicampaign_projects%5Bcontroller%5D=Project&tx_gicampaign_projects%5Bproject%5D=155&cHash=6e9339081a8e3a6188374d60dbfe284)
- Europäische Kommission (2019): Der europäische Grüne Deal. COM (2019) 640. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN>
- Europäische Kommission (2023): A Green Deal Industrial Plan for the Net-Zero Age. COM (2023) 62. [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/green-deal-industrial-plan\\_en](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/green-deal-industrial-plan_en)
- Gossen, M. et al. (2021): A Marriage Story of Digitalisation and Sustainability? In: *Ökologisches Wirtschaften* 36/O1: 4–8. DOI: 10.14512/OEWO36014
- Idemat (2023): Indicator system eco-cost. Aubervilliers, Idemat. [www.ecocostvalue.com](http://www.ecocostvalue.com)
- Jungblut, S.-I. (2021): Artificial Intelligence for Environmental and Climate Protection. In: *Ökologisches Wirtschaften* 36/O1: 41–43. DOI: 10.14512/OEWO360141
- Köhler, A. R. et al. (2018): Energie- und Ressourcenverbräuche der Digitalisierung, Expertise für das WBGU-Hauptgutachten „Unsere gemeinsame digitale Zukunft“. Berlin, Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen.
- Liebau, U. (2023): Nachhaltigkeitseffekte durch den Einsatz von künstlicher Intelligenz in der Kanalinspektion. In: *gwf Wasser+Abwasser* 2/2023: 32–34.
- Liu, R. et al. (2019): Impacts of the digital transformation on the environment and sustainability. Issue Paper under Task 3/2019.
- Ökobaudat (2021): ÖKOBAUDAT – Informationsportal Nachhaltiges Bauen. [www.oekobaudat.de/no\\_cache/datenbank/suche.html](http://www.oekobaudat.de/no_cache/datenbank/suche.html)
- ProBas (2023): Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagementsysteme. [www.probas.umweltbundesamt.de/php/index.php](http://www.probas.umweltbundesamt.de/php/index.php)

## AUTOR/INNEN + KONTAKT

**Dr. Martin Möller** ist Umweltingenieur und Senior Researcher im Forschungsbereich „Produkte & Stoffströme“ am Öko-Institut.



Öko-Institut e. V., Forschungsbereich Produkte & Stoffströme, Merzhauser Str. 173, 79100 Freiburg. Tel.: +49 761 45295256, E-Mail: [M.Moeller@oeko.de](mailto:M.Moeller@oeko.de)



**Nikolas Becker** leitet den Bereich Politik & Wissenschaft der Gesellschaft für Informatik e. V. (GI) sowie das Netzwerk Digital GreenTech.

Gesellschaft für Informatik e. V., Geschäftsstelle Berlin, Anna-Louisa-Karsch-Str. 2, 10178 Berlin. E-Mail: [Nikolas.Becker@gi.de](mailto:Nikolas.Becker@gi.de)



**Dr. Andreas R. Köhler**, ist am Öko-Institut e. V. als Senior Researcher im Bereich „Produkte & Stoffströme“ tätig.

Öko-Institut e. V., Forschungsbereich Produkte & Stoffströme, Merzhauser Str. 173, 79100 Freiburg. Tel.: +49 761 45295283, E-Mail: [A.Koehler@oeko.de](mailto:A.Koehler@oeko.de)



**Linda Schwarz** ist Referentin für Politik und Wissenschaft bei der Gesellschaft für Informatik e. V.

Gesellschaft für Informatik e. V., Geschäftsstelle Berlin, Anna-Louisa-Karsch-Str. 2, 10178 Berlin. E-Mail: [Linda.Schwarz@gi.de](mailto:Linda.Schwarz@gi.de)