



# Die deutschsprachige Wasserwirtschaft im Jahr 2020/21 – Metastudie „WaterExe4.0“ zeigt Erfolgsfaktoren und Erwartungen für die digitale Zukunft auf

Günter Müller-Czygan · Viktoriya Tarasyuk · Christian Wagner · Manuela Wimmer

Angenommen: 27. Januar 2022 / Online publiziert: 30. März 2022  
 © Der/die Autor(en) 2022

**Zusammenfassung** Der Klimawandel ist in den vergangenen Jahren auch in Europa immer sichtbarer geworden. Die deutlichsten Auswirkungen zeigen sich für die Wasserwirtschaft in den beiden extremen Formen Starkregen und Trockenheit. Die Trockenperioden in den Jahren 2018 und 2019 sowie die schweren Überschwemmungseignisse in 2021 an der Ahr, der Erft und anderswo haben auf Seiten der Fachwelt die Sensibilität für die Auswirkungen dieser Wetterextreme weiter gesteigert. Mehr und mehr werden Lösungen zur Vorbeugung und Anpassung an die erwartete Zunahme solcher Ereignisse entwickelt. Viele deutsche Bundesländer stellen beispielsweise für die Erstellung von Starkregengefahrenkarten umfangreiche Fördermittel zur Verfügung. Die erforderlichen Bemühungen beschränken sich aber nicht nur auf erforderliche Maßnahmen bei Extremwetterereignissen. Zunehmend müssen (ab-)wasserwirtschaftliche Einrichtungen effizienter gestaltet werden, da sie nach wie vor einen erheblichen Energieverbraucher insbesondere in kleinen und mittelgroßen Gemeinden darstellen. Hier leistet die Wasserwirtschaft seit vielen Jahren einen wichtigen Beitrag zur Reduzierung von CO<sub>2</sub> durch stetig zunehmende Effizienzsteigerungen in technischen Einrichtungen. Dabei nimmt die Digitalisierung wie in anderen Wirtschafts- und Gesellschaftssektoren eine besondere Stellung bei der Entwicklung passender und wirksamer Lösungen ein.

Forscher der Hochschule Hof haben im Rahmen des Vorhabens „WaterExe4.0“ (gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung) eine erste Metastudie zur Digitalisierung in der deutschsprachigen Wasserwirtschaft erstellt. In dieser Studie stellte sich heraus, dass trotz erheblicher Entwicklungsschübe in den letzten Jahren und Zunahme der Lösungsangebote auf den ersten Blick noch eine große Lücke zwischen Angebot und Umsetzung besteht. Ein realer Anwendungsbezug konnte nur für 11 % der rund 700 identifizierten Produkte, Projekte und Studien identifiziert werden. Um die Gründe für dieses scheinbare Ungleichgewicht herauszufinden, erfolgte die ergänzende Befragung von Expert:innen der Wasserwirtschaft. Die Antworten zeigten diesbezüglich beispielsweise auf, dass alltägliche Probleme zu wenig oder kaum in neuen Lösungen berücksichtigt werden, was die Anwender:innen stark überfordert. Weiterhin wird der Mehrwert einer Digitalisierungslösung für die jeweilige individuelle Situation noch immer zu wenig sichtbar. Zudem fehlen systematische Analysetools, um wesentliche Hindernisse infolge neuer Ideen zu identifizieren und den besten Weg für den Start und die Umsetzung eines Digitalisierungsprojekts zu finden. Die Komplexität des Themas führte dazu, dass die Studie „WaterExe4.0“ mithilfe von vier methodisch unterschiedlichen Teilerhebungen (Literatur- und Marktrecherche, Befragung, Expert:inneninterview und Workshops) durchgeführt wurde. Die Ergebnisse geben damit einen umfangreichen Überblick über die aktuelle Situation in der deutschsprachigen Wasserwirtschaft und zeigen die Erwartungen der Brancheiteilnehmer für die Zukunft auf.

**Schlüsselwörter** Digitalisierung · Erfolgsfaktoren · Wetterextreme · Vernetzung · Umsetzungslücke ·

Technologieviefalt · Sowieso-Strategie · Hoher Umsetzungstransfer

## The German-speaking water industry in 2020/21 – meta-study “WaterExe4.0” identifies success factors and expectations for a digital future

**Abstract** Climate change has become increasingly visible in Europe in recent years. The most obvious effects for water management are the two extreme forms of heavy rainfall and drought. The droughts in 2018 and 2019 as well as the severe flood events in 2021 in the valleys of the river Ahr, Erft and elsewhere have further increased sensitivity among experts. More and more, solutions are being developed to prevent and adapt to the expected increase in such events. Many German federal states provide extensive funding e.g. for the preparation of heavy rain hazard maps. However, efforts are not limited to necessary measures during extreme weather events. (Waste) water management facilities still represent a considerable energy consumer, especially in small and medium-sized communities. For many years, the water industry has been making an important contribution to reducing CO<sub>2</sub> through steadily increasing efficiency improvements in technical facilities. As in other sectors of the economy and society, digitalization plays a special role in the development of suitable and effective solutions.

Researchers at Hof University of Applied Sciences have produced the first meta-study on digitalization in the German-speaking water industry as part of the “WaterExe4.0” project (funded by the Federal Ministry of Education and Research). This study found that despite considerable development thrusts in recent years and an increase in the number of solutions offered, at first glance there is still a large gap between

Prof. G. Müller-Czygan (✉) ·  
 V. Tarasyuk · C. Wagner, M.Sc. ·  
 Prof. Dr. M. Wimmer  
 Institut für Wasser- und  
 Energiemanagement der  
 Hochschule Hof (iwe),  
 Alfons-Goppel-Platz 1, 95028 Hof/Saale,  
 Deutschland  
[guenter.mueller-czygan@hof-university.de](mailto:guenter.mueller-czygan@hof-university.de)

what is offered and what is implemented. A real application reference could only be identified for 11% of the approximately 700 identified products, projects and studies. In order to find out the reasons for this apparent imbalance, a supplementary survey of experts from the water industry was conducted. In this respect, the answers showed, for example, that everyday problems are taken into account too little or hardly at all in new solutions, which greatly overburdens the users. Furthermore, the added value of a digitalization solution for the respective individual situation is still not visible enough. In addition, there is a lack of systematic analysis tools to identify major obstacles as a result of new ideas and to find the best way to start and implement a digitization project. The complexity of the topic led to the “WaterExe4.0” study being conducted with the help of four methodologically different sub-surveys (literature and market research, survey, expert interview and workshops). The results provide a reliable overview of the current situation in the German-speaking water industry and show the expectations of the industry participants for the future.

**Keywords** Smart Water · Digitalization · Success factors · Weather extremes · Networking · Implementation lack · Technology diversity · Anyhow Strategy · High implementation transfer

## 1 Einleitung

In den letzten fünf Jahren haben sich die Digitalisierungsaktivitäten in der deutschsprachigen Wasserwirtschaft vervielfacht. Die Digitalisierung ist zu einem Kernthema geworden (Randhahn 2020; Kröhling 2017; Balogun 2020; Zimmermann et al. 2020). Auch international ist eine vergleichbare Entwicklung zu beobachten, insbesondere im Bereich der Produktentwicklung und der Lösungsangebote (Wehn und Montalvo 2018). Trotz dieser Feststellung zeigt sich auch in der Wasserwirtschaft die langsame Veränderungsgeschwindigkeit der öffentlichen Auftraggeber bei Digitalisierungsthemen, obwohl dieses Verhalten seit Jahrzehnten bekannt ist. Insgesamt ist ein Mangel an wissenschaftlichen Studien zur Innovationsdynamik im Wasserbereich festzustellen (Müller-Czygan et al. 2021a; Wehn und Montalvo 2018). Obwohl ein

dringender Bedarf an Wasserinnovationen immer deutlicher wird, bleiben finanzielle Investitionen im Wassersektor weit hinter denen in Sektoren wie der Energie zurück (Ajami et al. 2014). In Deutschland gibt es derzeit kaum Forschungsprogramme oder FuE-Wettbewerbe, die sich ausschließlich mit Innovationen im Wassersektor befassen. Innovationsindikatoren deuten darauf hin, dass im Wassersektor weit weniger in Forschung und Entwicklung (FuE) investiert wird als in anderen Sektoren (Ipektsidis 2016). Dies liegt u. a. daran, dass der Wassersektor weltweit von einem Innovationsmuster beherrscht wird, welches der natürlichen Entwicklung von Sektoren folgt, die von Anbietern dominiert werden (Wehn und Montalvo 2018). Darüber hinaus dominieren im Wassersektor kommunale Organisationen, was eine geringere Bereitschaft zur Innovation zur Folge hat und oftmals sogar mit einer Ablehnung von Veränderungen verbunden ist (Kuipers et al. 2014).

Obwohl die deutschsprachige öffentliche Wasserwirtschaft eine höhere Innovationsbereitschaft als der allgemeine öffentliche Sektor (aufgrund der erforderlichen Technologie) aufweist (Thom und Ritz 2017), fehlt es der Wasserwirtschaft immer noch an der notwendigen Umsetzungsdynamik (Müller-Czygan et al. 2021b). So werden beispielsweise die Vorteile der Digitalisierung nicht optimal genutzt, um den Herausforderungen des Klimawandels mithilfe der Digitalisierung besser zu begegnen. Die beiden großen Forschungsprojekte zur Digitalisierung in der deutschsprachigen Wasserwirtschaft SMADIWA (Schuster und Wimmer 2018) und KOMMUNAL 4.0 (Müller-Czygan 2018) haben bereits 2018 bis 2020 erhebliche nicht-technische Vorbehalte auf kommunaler Seite gegenüber den zunehmenden Digitalisierungsentwicklungen festgestellt. In der überwiegenden Mehrzahl der im Rahmen von „WaterExe4.0“ untersuchten Projekte lag der Fokus auf der technischen Machbarkeit, der Lösungsentwicklung und den Anwendungszielen. Nutzerorientierte Themen befassten sich fast ausschließlich mit Hinweisen zur Usability, zur Vereinheitlichung/Standardisierung von Daten und Strukturen, zu anwendungsbezogenen Einstellungen auf der Softwareebene oder in einigen Fällen mit rechtlichen Fragen. Lediglich das Thema Cybersecurity wurde sowohl aus

technischer als auch aus anwendungs-technischer Sicht intensiv betrachtet. Gelegentlich waren auch die Aspekte Bildung und Mehrwert von Daten Gegenstand einiger Untersuchungen. Auch international hat man inzwischen erkannt, dass eine alleinige Fokussierung auf die Technik nicht ausreicht (Seetharaman et al. 2020; Eigenstetter 2020). Obwohl die weltweite Forschung zu intelligenten Wasserlösungen beschleunigt wird (Mvulirwenande und Wehn 2019; Kim 2019; Espinosa Apráez und Lavrijssen 2018), sind die konzeptionellen, technischen und praktischen Lücken zwischen Anbietern und Kunden noch nicht ausreichend geschlossen (Jiada et al. 2020). Hier mangelt es insbesondere an Lösungen, die sich in den Arbeitsalltag integrieren lassen und keine zusätzlichen Barrieren darstellen (Müller-Czygan 2020, 2021). Eine wissenschaftliche Untersuchung der Rahmenbedingungen, die dieser Strategie zugrunde liegen, oder eine wissenschaftliche Überprüfung der positiven Effekte ist bisher nicht erfolgt.

Mit der Metastudie „WaterExe4.0“ wurde erstmals der Stand der Digitalisierungstechnik in der deutschsprachigen Wasserwirtschaft systematisch untersucht. Darüber hinaus konnten zum ersten Mal mit statistisch hinreichender Sicherheit Erfolgsfaktoren und Hemmnisse ermittelt werden, die die Digitalisierung in der Wasserwirtschaft insbesondere auf der Nutzerseite fördern oder bremsen können.

## 2 Multiperspektivische Analyse als Ausgangspunkt

Die wissenschaftliche Arbeit in „WaterExe4.0“ umfasste vier methodische Abschnitte:

1. Literatur- und Marktforschung,
2. Online-Umfrage,
3. Expert:inneninterviews und
4. Anwender-Workshops.

Fast 700 Projekte, Produkte, Komplettlösungen, Dienstleistungen und Studien wurden im ersten methodischen Teil identifiziert und anschließend analysiert. Zu diesem Zweck wurden deutschsprachige Universitäten und Hochschulen kontaktiert, die zwischen 2015 und 2021 Forschungsprojekte zum Thema Digitalisierung in der Wasserwirtschaft durchgeführt haben. Darüber hinaus wurden verfügbare Produkte und Lösungen von Industrieunternehmen (cyberphysikalische Maschinen,

Tab. 1 Aspekte und Kategorien für die Bewertung der identifizierten Digitalisierungselemente

Kategorie	Aspekt		Konzept	Praxisrelevanz
	Einsatzbereich	Entwicklungsstatus		
	Trinkwasser Betriebswasser / Brauchwasser Abwasser Regenwasser Gewässer Klärschlamm	Marktreif/Dauerbetrieb Testphase/Prototyp Entwicklungs-/Demonstrationsphase Idee/Konzept/Studie	Digitale Technologie Geschäftsmodell Methode Datenanalyse Verwendung der Daten Grad der Vernetzung	Nutzen/Wirkung Verwendungsbereich Relevanz Transferfähigkeit Eignung als beste Praxis

Sensoren, Softwarelösungen, KI-Systeme usw.) recherchiert. Ergänzend wurden realisierte Digitalisierungsprojekte im kommunalen Bereich identifiziert. Alle Ergebnisse wurden verschiedenen Aspekten und Kategorien zugeordnet, die in Tab. 1 zusammengefasst sind.

Für praktische Zwecke konnten folgende Schlüsselaspekte der Digitalisierung gemäß (Merzlikina 2019) vielen Ergebnissen zugeordnet werden, die auch in der Wasserwirtschaft an Bedeutung gewinnen:

- Digitale Informationsbasis für Entscheidungshilfesysteme in der Wasserwirtschaft (Digitalisierung von Karten, über API verfügbare Datenbanken usw.).
- Digitalisierung der Produktion – „intelligente“ Infrastrukturen und Roboterstrukturen und -anlagen mit künstlicher Intelligenz (KI) und Ana-

lytik, Satelliten und Drohnen, Verteilungssysteme, Transport, Wasserversorgung und Abwasserentsorgung usw.

- Analytik und Big Data: Analyseplattformen für alle Bereiche der Wasserwirtschaft: Vorhersage des Wassergehalts, negative Auswirkungen von Wasser, Wasserverbrauch, grenzüberschreitende und Klimarisiken.
- Digitalisierung der Verteilung: Rückverfolgbarkeit einer Ressource von der Quelle bis zum/zur Verbraucher:in, z. B. auf der Grundlage von Blockchain-Technologien, Austausch für die Verteilung von Wasserressourcen und Ökosystemdienstleistungen.

In der Online-Befragung, an der sich rund 120 Branchenvertreter:innen der Wasserwirtschaft beteiligten, wurden verschiedene Aspekte der Digitalisie-

rung angesprochen. Neben der Frage nach den bisherigen Erfahrungen mit Digitalisierungsprojekten wurde insbesondere nach den erlebten Erfolgsfaktoren und Hemmnissen gefragt, speziell nach nicht-technischen Einflussgrößen, die die Umfrageteilnehmer:innen identifizieren oder aus ihren Projekterfahrungen ableiten konnten. Gefragt wurde auch, in welchen Bereichen die Digitalisierung die Zukunft prägen soll und welcher Nutzen von Digitalisierungsprojekten erwartet wird. Ergänzend konnten die Teilnehmer:innen ihre eigenen Gedanken zu den quantitativen Fragen hinzuzufügen.

Um das Risiko einer ungewollten Reduktion möglicher Einflussfaktoren auf den Erfolg von Digitalisierungsprojekten durch Art und Inhalt der quantitativen Fragen zu minimieren, wurden zudem 30 Expert:innen aus der Was-

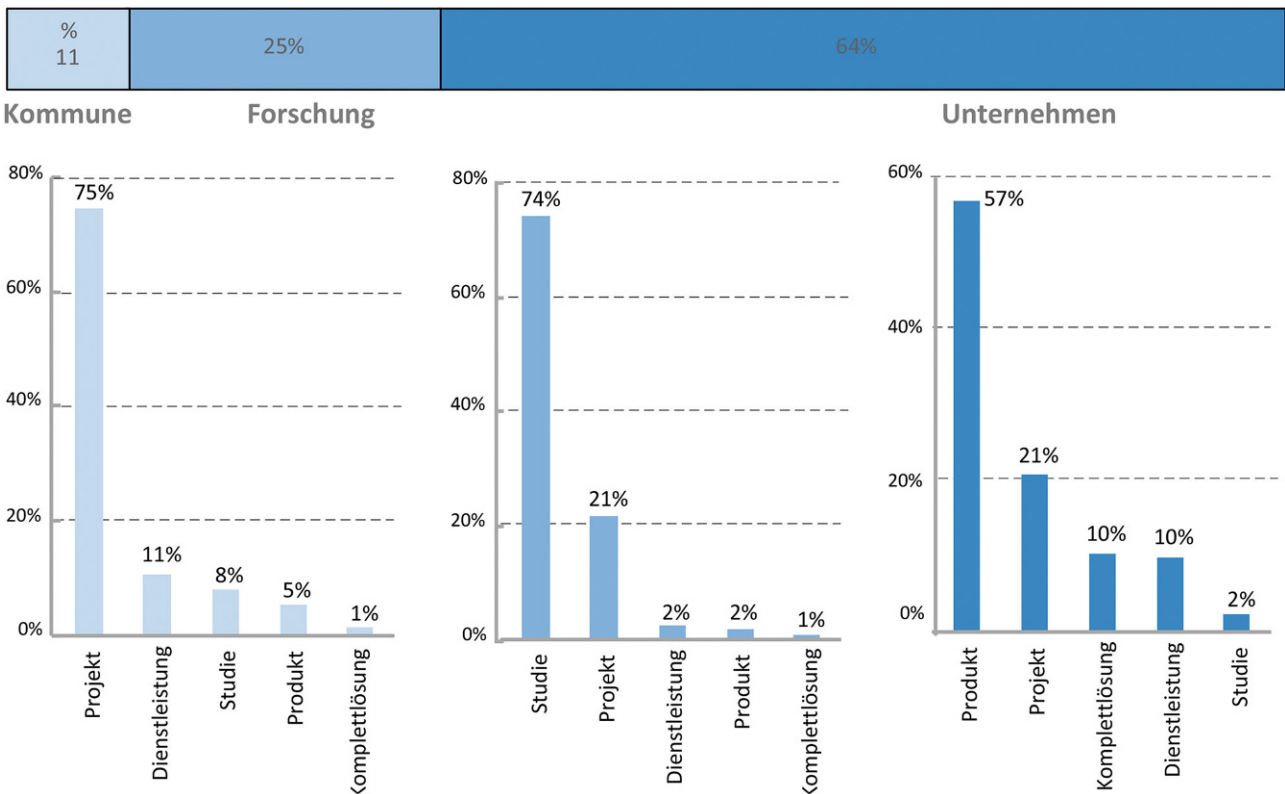


Abb. 1 Verteilung der identifizierten Digitalisierungselemente (n = 698)

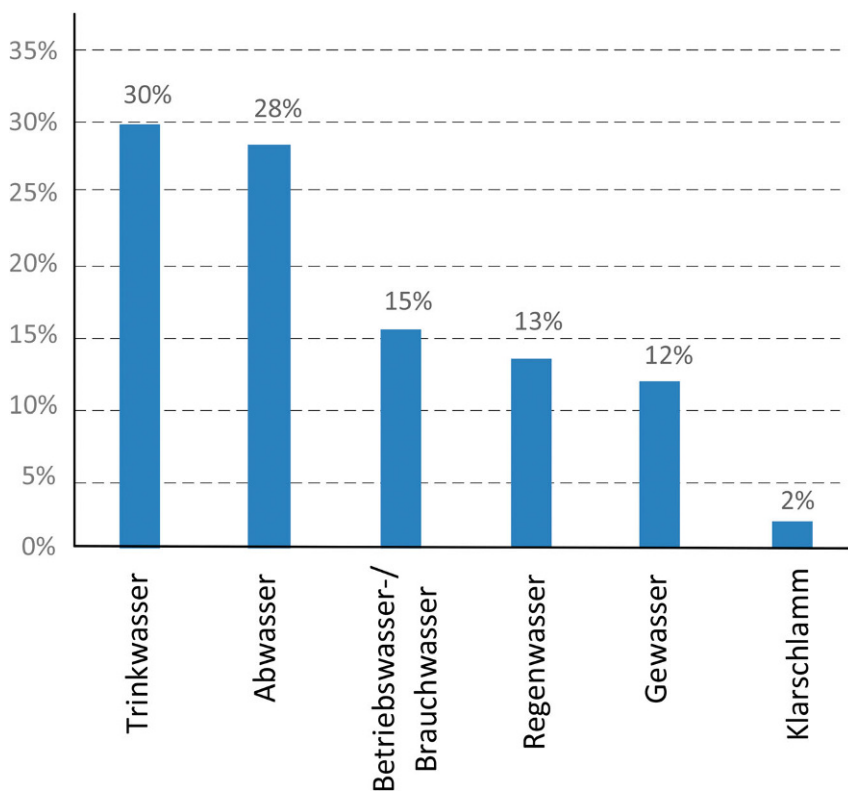


Abb. 2 Einsatzbereiche der identifizierten Digitalisierungselemente (n = 698)

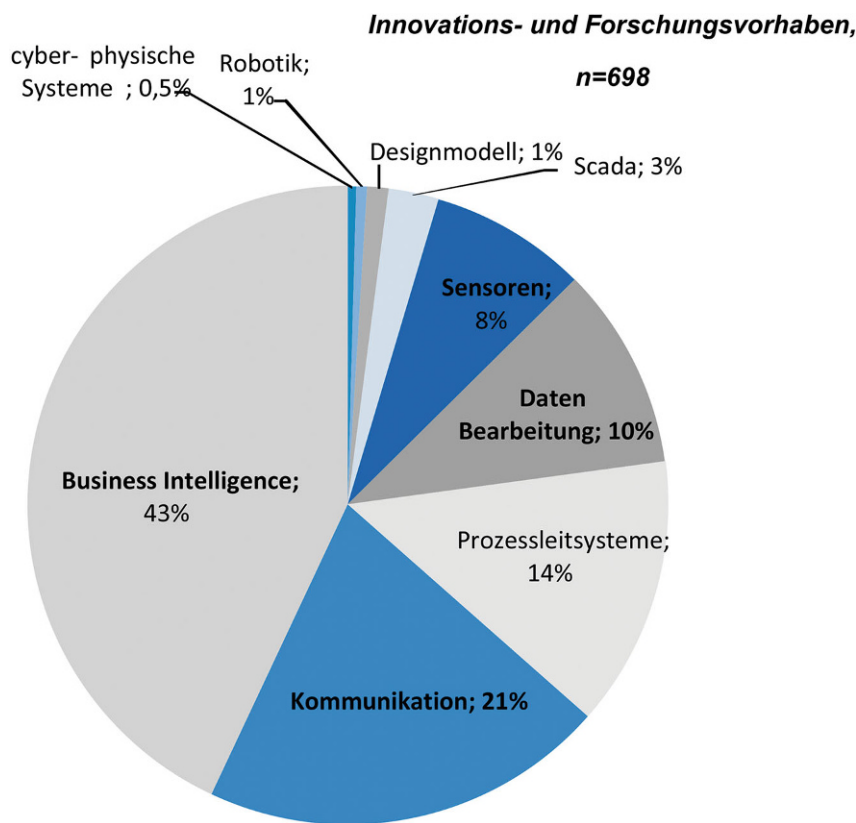


Abb. 3 Technologieverteilung gesamt (n = 698)

serwirtschaft befragt. Die Befragung wurde mittels leitfadengestützter Interviews (Niebert und Gropengießer 2014) konzipiert, die einerseits auf persönliche Erfahrungen in Digitalisierungsprojekten in der deutschsprachigen Wasserwirtschaft fokussierten, andererseits genügend Freiraum für darüber hinausgehende Gedanken und Hypothesen ließen. Die Interviewauswertung erfolgte auf der Grundlage einer mehrstufigen Inhaltsanalyse (Mayring 2019).

### 3 Technologische Vielfalt vs. Umsetzungsdefizit

Die identifizierten Digitalisierungselemente (Produkte, Lösungen und Forschungsprojekte) zeigen in der deutschsprachigen Wasserwirtschaft eine Vielzahl an hochentwickelten Technologielösungen, diese sind mittlerweile nahezu für alle Bereiche der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung verfügbar (Müller-Czygan und Wimmer 2021). Die Bandbreite reicht von einfachen Sensoren über cyber-physikalische Systeme bis hin zu vernetzten Komplettlösungen.

Etwa zwei Drittel der identifizierten Digitalisierungselemente sind auf der Unternehmensseite angesiedelt. Auf die Forschung entfällt sogar ein Viertel. Lediglich 11% sind derzeit bei den kommunalen Wasserversorgungs- und Abwasserentsorgungsunternehmen platziert, was auf das bereits erwähnte, augenscheinliche Ungleichgewicht zwischen Angebot und Nachfrage hinweist (Abb. 1). Auf Seiten der Forscher handelt es sich bei drei Viertel der identifizierten Digitalisierungselemente um Studien. Etwa ein Fünftel der Digitalisierungselemente beschäftigt sich mit komplexen Lösungen, die überwiegend Projektcharakter haben. Ca. 60% der identifizierten Digitalisierungselemente sind in der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung platziert. Die Anwendungsbereiche Wasser, Regenwasser und Brauchwasser sind etwa gleich verteilt. Die Entwicklung von Digitalisierungslösungen für die Klärschlammbehandlung konnte nur selten festgestellt werden (Abb. 2). Die Abb. 3, 4, 5, 6 und 7 stellen die Vielschichtigkeit der Technologiezuordnung dar und spiegeln somit die Komplexität der Meta-Analyse wider. Die zugewiesenen Kategorien sind teilweise eng miteinander verbunden. Beispielsweise ist „Internet der Dinge“ eng mit „Kommunikation“ verbunden, „Neurotechnologie“

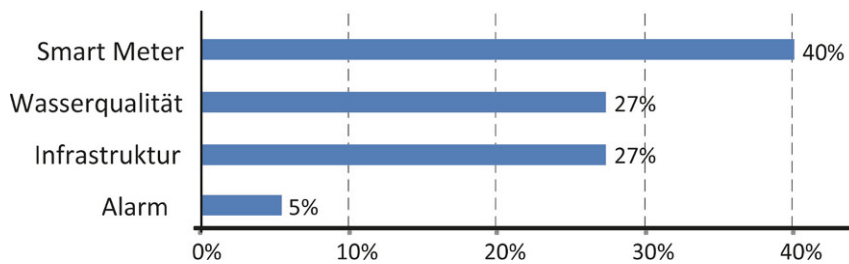


Abb. 4 Technologieverteilung Sensoren

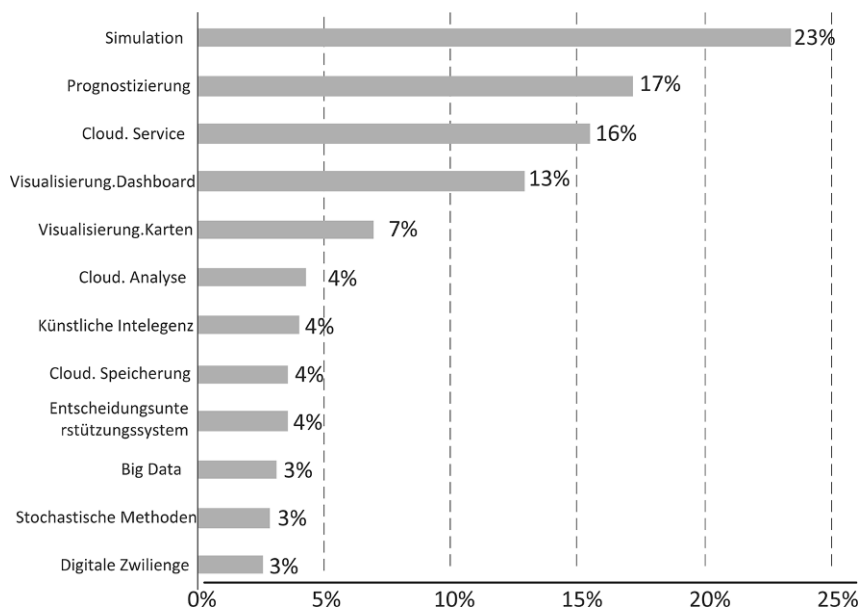


Abb. 5 Technologieverteilung Business Intelligence

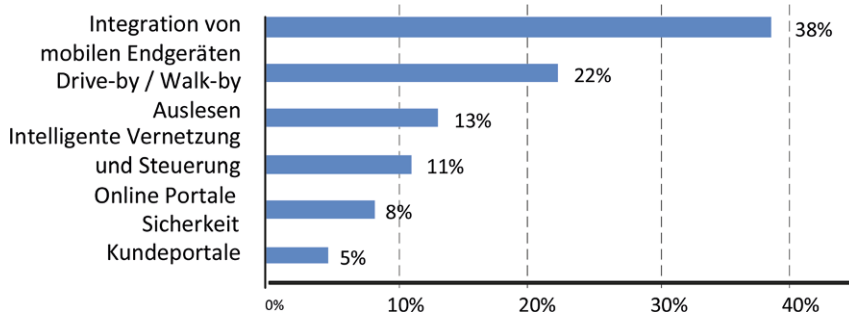


Abb. 6 Technologieverteilung Kommunikation

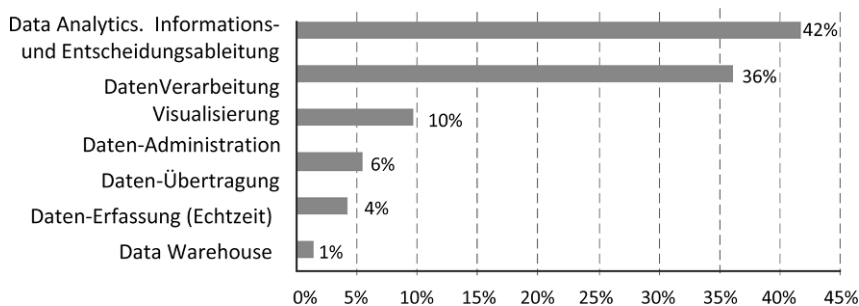


Abb. 7 Technologieverteilung Datenbearbeitung

und künstliche Intelligenz“ mit vielen Arten der Datenverarbeitung. Es ist zu beachten, dass mehrere kategorische Begriffe innerhalb einer Unterkategorie für eine separate digitale Lösung oder für eine Gruppe von Technologieteilen verwendet werden können. Der zeitliche Rahmen des Projekts erlaubte es nicht, die Inhalte bis ins letzte Detail aufzuschlüsseln, dies ist für nachfolgende Projekt geplant. Aufgrund des überwiegenden Bedarfs der Anwender an Komplettlösungen erschien dieser Aufwand im Vorhaben WaterExe4.0 zudem weder gerechtfertigt noch zielführend. Das Marktgeschehen konnte mit den vorhandenen Informationen hinreichend beschrieben werden.

Frühere Studien haben bereits darauf hingewiesen, dass die industrielle Entwicklung dem kommunalen Bedarf weit voraus ist (Thom und Ritz 2019; Holländer 2019; Müller-Czygan 2020; Schuster und Wimmer 2018). Die quantitative Befragung und die qualitativen Expert:inneninterviews zeigten mögliche Gründe für die offensichtlich bestehende Diskrepanz zwischen Angebot und Nachfrage auf und gaben Hinweise, welche Hindernisse bei den Projekten die größte Rolle spielen (Tab. 2). Gerade im öffentlichen Bereich, zu dem auch der Wassersektor gehört, gestaltet sich die Entwicklung der Digitalisierung als äußerst schwierig. Während Befürworter behaupten, dass bereits eine geringe Datenmenge die Effizienz von Verwaltungsprozessen deutlich steigern kann, fürchten Digitalisierungsgegner die Überwachung und den Verlust der Privatsphäre (Klenk et al. 2019). Irgendwo zwischen diesen extremen Polen werden sich Digitalisierungsprojekte ansiedeln. Wo genau jedes einzelne Projekt am Ende stehen wird, ist für die meisten Betroffenen zu Beginn nicht erkennbar und führt erst einmal zu Ablehnung oder starker Zurückhaltung (Funke 2014; Martini 2018). Von den Befragten wird als Haupthindernis der Personalmangel genannt, dicht gefolgt von einem unerwartet hohen Gesamtaufwand. Mit einigem Abstand werden auch der Mangel an internen Kompetenzen und die unzureichende Finanzierung genannt.

Darüber hinaus durften die Umfrageteilnehmer:innen ihre individuellen Hindernisse benennen. Dazu gehörten typische Faktoren wie Angst vor Veränderungen oder unzureichende Einbindung der Mitarbeiter:innen sowie technische Aspekte wie ungeklärte IT-

**Tab. 2** Erfolgsfaktoren in Digitalisierungsprojekten ( $n=91$ )

Erfolgsfaktoren	Mittelwert	Abweichung	Standardabweichung
<i>5 = sehr wichtig; 1 = weniger wichtig; 0 = nicht wichtig</i>			
Großzügiges Zeitbudget	2,84	1,83	1,35
Ausreichende finanzielle Mittel	3,51	1,66	1,29
Abteilungsübergreifende Kommunikation	3,63	2,06	1,44
Kompetenz des Projektleiters	3,97	1,37	1,17
Kompetenz des Personals	4,00	1,19	1,09
Fachwissen von Spezialisten	3,68	1,59	1,26
Orientierung an verfügbaren Best Practices	3,02	1,89	1,38
Austausch mit Dritten, die bereits über Erfahrungen verfügen	3,25	2,35	1,53
Weiterbildungsangebote	2,31	2,18	1,48

**Tab. 3** Hindernisse bei Digitalisierungsprojekten ( $n=91$ )

Hindernisse	Mittelwert	Abweichung	Standardabweichung
<i>5 = sehr wichtig; 1 = weniger wichtig; 0 = nicht wichtig</i>			
Fehlende Finanzierung	2,52	3,96	1,99
Keine ausreichende Finanzierung	2,74	3,05	1,75
Gesamtausgaben höher als erwartet	3,36	1,70	1,31
Mangel an internen Kompetenzen	2,85	2,13	1,46
Mangel an externen Kompetenzen	2,52	2,21	1,49
Personalmangel	3,53	1,85	1,36
Mangelnde IT-Sicherheit	2,30	1,75	1,32
Unzureichende Rechtsvorschriften	1,83	2,93	1,71
Mangel an bewährten Praktiken	2,27	1,44	1,56
Fehlende Leitlinien, Umsetzungshilfen	2,32	2,39	1,55
Keine geeigneten Weiterbildungsmöglichkeiten	1,92	2,36	1,54

**Tab. 4** Nachhaltigkeitsaspekte bei zukünftigen Digitalisierungsprojekten ( $n=85$ )

Aspekte der Nachhaltigkeit bei zukünftigen Digitalisierungsprojekten	Nominierungen
Digitalisierung unterstützt Nachhaltigkeit	8
Nachhaltigkeit kann nicht für jedes Projekt garantiert werden	5
Nachhaltigkeit ist die Lösung für viele Herausforderungen	5
Effizienz ist die eigentliche Triebfeder	3
Nachhaltigkeit wird bei Entscheidungen berücksichtigt	3
Kreislaufwirtschaft	3
Wirtschaftlicher Faktor überwiegt	2
Die Nachhaltigkeit gewinnt seit Jahren an Bedeutung	2
Nachhaltigkeit erhöht die Akzeptanz des Projekts	2
Nachhaltigkeit und Digitalisierungsprozesse passen nicht zusammen	1
Sozialer Faktor überwiegt (Arbeitnehmer)	1
Überzeugungsarbeit durch Daten führt zu Nachhaltigkeit	1
Die lokalen Bedingungen bestimmen die Gewichtung der drei Faktoren	1
Standardprojekte verhindern Nachhaltigkeit	1

Sicherheit und fehlende standardisierte Schnittstellen. Aber auch Zeitmangel, um sich mit den vorhandenen digitalen Möglichkeiten aufgrund ihrer Komplexität oder der Priorität von Alltagsaufgaben ausreichend auseinanderzusetzen, hält viele davon ab, ein digitales Projekt zu starten. Bedenken könnten entschärft werden, wenn der praktische Nutzen digitaler Angebote und das Verhältnis von Nutzen und Preis sehr früh

sichtbar werden. Außerdem würde es helfen, wenn Anbieter mehr Engagement zeigen, um die Bedürfnisse der kommunalen Seite zu respektieren und individueller zu beraten. Mit Blick auf die Faktoren, die im Projekt positiv bewertet wurden, sind es die eigenen Mitarbeiter:innenkompetenzen und eine einigermaßen gelungene interne Kommunikation, die mit Unterstützung

externer Expert:innen das Projekt letztlich zum Erfolg geführt haben. (Tab. 3).

Bei den Erfolgsfaktoren durften die Befragten wiederum ihre individuellen Erfolgsfaktoren nennen. Diese reichen von bedarfsgerechter Digitalisierung, klaren Projektzielen, Praxisnähe, internem Digitalisierungsverständnis und Vertrauen in die Materie bis hin zu klarem Nutzen wie Vereinfachung von Prozessen und Strukturen, Beschleunigung von Abläufen und Verbesserung der Transparenz. Auch die befragten Expert:innen nennen ähnliche Faktoren und betonen insbesondere den Nutzen, der vielerorts nicht sichtbar ist. Das Thema Nachhaltigkeit als eines der zentralen politischen Zukunftsthemen wurde separat abgefragt (Tab. 4). Es zeigt sich, dass mehr als 70 % der Befragten die Bedeutung der Nachhaltigkeit bei zukünftigen Digitalisierungsprojekten als „sehr wichtig“ oder „wichtig“ einschätzen. Am häufigsten wird die Ansicht vertreten, dass die Digitalisierung generell die Nachhaltigkeit in der Wasserwirtschaft unterstützt, aber auch die Lösung für viele andere Herausforderungen bietet. Es wird aber auch erwartet, dass Nachhaltigkeitsaspekte nicht in jedem Digitalisierungsprojekt vollständig berücksichtigt werden können.

#### 4 Der Mensch als limitierender Erfolgsfaktor

Die Umfrage zeigt eine heterogene Verteilung von Branchenteilnehmer:innen mit unterschiedlichen Zuständigkeiten und Digitalisierungskompetenzen. Da parallel zur Umfrage 30 Expert:innen aus Deutschland, Österreich und der Schweiz befragt wurden, konnte ein direkter Vergleich der Expert:innenaussagen und der Umfrageergebnisse vorgenommen werden (Tab. 5), um eventuelle Abweichungen zwischen Expert:innen und „normalen“ Anwender:innen zu identifizieren.

Überraschenderweise zeigt der Vergleich ein hohes Maß an Übereinstimmung bei den fünf am häufigsten genannten Erfolgsaspekten. Die beiden am häufigsten genannten Faktoren sind für beide Gruppen identisch, es muss ein „hoher Mehrwert“ aus einer Digitalisierungslösung resultieren und es muss unbedingt eine „hohe Akzeptanz bei den Anwender:innen/Mitarbeiter:innen“ erreicht werden. Beide Faktoren weisen einen deutlichen Abstand zu den folgenden Fak-

**Tab. 5** Vergleich von Expert:innenaussagen und Umfrageergebnissen

Online-Umfrage	Befragung von Experten	Nennungen (Anzahl)	Anteil (%)
Erkennbarer Zusatznutzen	–	15	15,15
–	Erkennbarer Zusatznutzen	11	8,53
Akzeptanz durch die Nutzer/Personal	–	10	10,10
–	Akzeptanz durch die Nutzer/Personal	11	8,53
Benutzerfreundlichkeit/ Benutzerorientierung	–	7	7,07
–	Pilotprojekte/Best Practice	8	6,20
Transparenz	–	5	5,05
–	Schlüsselperson	7	5,43
Allgemeine Strategie	–	4	4,04
–	Allgemeine Strategie	7	5,43

toren auf, was ihre Bedeutung als Erfolgsfaktor für Digitalisierungsprojekte in der Wasserwirtschaft unterstreicht. Eine weitere Übereinstimmung gibt es auch bei Rang 5 mit der Notwendigkeit einer übergreifenden Strategie.

In früheren Forschungsprojekten (Müller-Czygan 2020; Schuster und Wimmer 2018) wurde von Branchenteilnehmer:innen immer wieder darauf hingewiesen, dass es kaum Leuchtturmprojekte oder Werkzeuge gibt, mit denen mögliche Digitalisierungslösungen adäquat ermittelt und hinsichtlich des eigenen erwarteten Nutzens bewertet werden können. Die Folge dieses Mangels ist, dass potenzielle Digitalisierungslösungen gar nicht erst in Erwägung gezogen oder die notwendigen Ressourcen falsch berechnet werden. Dieser Aspekt war bereits in den vergangenen Jahren ein großer Hemmfaktor und wurde von den befragten Expert:innen auch heute noch als einer der größten Hemmfaktoren in Digitalisierungsprojekten identifiziert. Trotz der nach wie vor bestehenden Kritik an der Digitalisierung, die sich in den letzten fünf Jahren in Bezug auf die Themen geändert hat (Müller-Czygan 2018; Schuster und Wimmer 2018), ist in der Wasserwirtschaft heute ein deutlicher Unterschied zu früher festzustellen: Die Studie „WaterExe4.0“ hat gezeigt, dass es in der deutschsprachigen Wasserwirtschaft mittlerweile kaum noch jemanden gibt, der sich nicht mit dem Thema Digitalisierung beschäftigt (Müller-Czygan et al. 2021a).

### 5 Digitalisierungserfolg hängt in Zukunft von einer gemeinsamen Mehrwert-Kommunikation der Branchenteilnehmer und der Integration in den Arbeitsalltag ab

Für die befragten Expert:innen hat das Personal, das kommunale Organisationen für Digitalisierungsprojekte benötigen bzw. ausbilden müssen, in Zukunft erste Priorität. Darüber hinaus ist es von zentraler Bedeutung, dass Digitalisierungslösungen einen klaren Mehrwert (Nutzen) in Bezug auf die individuelle Situation der jeweiligen Organisation aufweisen. Technologisch sehen die Expert:innen die Themen Cloud-Anwendung, automatische Wartung/Predictive Maintenance, IT-Sicherheit und künstliche Intelligenz im Fokus zukünftiger Entwicklungen und Anwendungen. Durch die Zunahme an strukturierten Daten besteht die Möglichkeit, für nahezu alle Bereiche der betrieblichen Wasserwirtschaft auswertbare Daten zu erhalten und Prozesse und Abläufe effizienter, zielgerichteter und nutzenorientierter zu gestalten. Allerdings werden KI-basierte Systeme in absehbarer Zeit nicht in der Lage sein, die notwendigen Datenanalysen und -bewertungen völlig autonom durchzuführen. Hierzu ist weiterhin fachliches Personal mit Erfahrungswissen erforderlich. Andererseits wünschen sich die Anwender:innen in der Wasserwirtschaft auch eine entsprechende Transparenz der internen Prozesse in digitalen Systemen, was den Einsatz von KI-Optionen ebenfalls einschränken wird (Burrichter et al. 2021).

Aufgrund der Ergebnisse von Vorstudien sowie der eigenen beruflichen Erfahrung war den Autor:innen bewusst, dass Innovationsentscheidungen

in der Regel auf multikriteriellen Entscheidungen beruhen. Dies war daher auch im Kontext der Digitalisierung in der Wasserwirtschaft zu erwarten. Es war daher nicht verwunderlich, dass insbesondere die freie Meinungsäußerung in den Expert:inneninterviews die Vielschichtigkeit von Entscheidungsprozessen deutlich machte. So identifizierte die Studie „WaterExe4.0“ eine Vielzahl von Faktoren, die für den Erfolg von Digitalisierungsprojekten entscheidend sein können. Die Angaben der Teilnehmer:innen an der Online-Befragung und der befragten Expert:innen beruhen auf persönlichen und damit subjektiven Einschätzungen und sind in hohem Maße von den individuellen Gegebenheiten des jeweiligen Projekts abhängig.

Auch wenn die Arbeit von „WaterExe4.0“ keine weitergehende Analyse vorsah, wurde versucht, eine objektive Bewertung der Studienergebnisse nach Vorlage der Studienergebnisse zu erreichen. Hierzu wurde eine erste einfache Schätzung einer multikriteriellen Analyse vorgenommen, um die teilweise sehr heterogenen Kriterien strukturierter bewerten zu können. Dazu wurden alle quantitativen Abfragen sowie die qualitativen freien Aussagen auf inhaltliche Konsistenz geprüft. Da es das Ziel der Studie war, entscheidende Erfolgsfaktoren zu identifizieren, wurden für die weitere multikriterielle Bewertung nur die von den Studienteilnehmer:innen genannten Erfolgsfaktoren analysiert. So konnten laut Tab. 6 insgesamt 19 Erfolgskriterien identifiziert werden, die von allen Studienteilnehmer:innen als relevant eingestuft wurden. Um die Wichtigkeit der Expert:innenaussagen zu berücksichtigen, wurde die Anzahl der Nennungen mit dem Faktor 2 multipliziert (1 Nennung=2 Punkte), die Nennungen der Teilnehmer:innen der Online-Befragung wurden mit einer einfachen Bewertung versehen (1 Nennung=1 Punkt). Diese Erhöhung der Bewertung der Expert:innenaussagen war notwendig, da davon ausgegangen werden konnte, dass das Wissen und die Erfahrung der Expert:innen teilweise um ein Vielfaches höher war als das der Teilnehmer:innen an der Online-Befragung.

Besonderes Augenmerk ist auf die Kriterien „Erkennbarer Mehrwert“ mit 37 Punkten und „Akzeptanz (Personal, Menschen)“ mit 32 Punkten zu legen. Mit deutlichem Abstand müssen auch die Kriterien „Pilotprojekte/Best Prac-

**Tab. 6** Von allen Umfrageteilnehmer:innen genannte Erfolgsfaktoren

Von den Teilnehmern der Online-Umfrage und den Experten genannte Erfolgsfaktoren	Bewertung der Online-Umfrage	Bewertung Experten	Gesamtbewertung
<i>Chancen, die Digitalisierung voranzutreiben</i>			
Pilotprojekte/Best Practice	3	16	19
Generationswechsel/Kulturwandel/Bereitschaft zum Wandel	2	6	8
Veränderung der Zusammenarbeit	1	4	5
Entwicklung der Managementebene	1	4	5
Das Personal einbeziehen und ihm zuhören	4	4	8
Gemeinsame Datenbank für alle Bereiche	3	2	5
<i>Erfolgsfaktoren bei Digitalisierungsprojekten</i>			
Kompetenz/Know How	3	8	11
Bereitschaft der Arbeitnehmer	1	8	9
Erkennbarer Zusatznutzen	15	22	37
Ressourcen (Zeit, Geld)	3	10	13
IT-Sicherheit	4	10	14
Schlüsselperson (CEO/Verantwortlicher)	2	14	16
Transparenz	5	2	7
Akzeptanz (Personal, Menschen)	10	22	32
Wirtschaftliche Aspekte	1	4	5
Konnektivität/Vernetzbarkeit	1	2	3
Schnittstellen	1	2	3
Allgemeine Strategie	4	14	18
Geeignete (externe) Partner	2	10	12
<i>Vielversprechende Technologien/Lösungen für die Zukunft</i>			
IoT	1	2	3

„Gesamtstrategie“ mit 19 Punkten, „Gesamtstrategie“ mit 18 Punkten und „Schlüsselperson (CEO/Verantwortlicher)“ mit 16 Punkten berücksichtigt werden. Die durchgeführte vereinfachte multikriterielle Bewertung bestätigt die Bedeutung der eingangs beschriebenen nicht-technischen Kriterien als wesentliche Erfolgsfaktoren für die Digitalisierung in der Wasserwirtschaft.

Die Studie hat gezeigt, dass nur ein kleiner Teil der vielfältigen Forschungsideen, zahlreichen Produkte und Lösungen in der kommunalen Wasserwirtschaft umgesetzt werden. Die Hauptgründe für dieses Umsetzungsdefizit liegen nach Ansicht der Befragten und der interviewten Expert:innen in der Schwierigkeit der Übertragung von Lösungsangeboten auf die jeweilige individuelle Aufgabenstellung. Es mangelt auch grundsätzlich an nachvollziehbaren Best Practices. Zudem wird den Herausforderungen des Arbeitsalltags zu wenig Beachtung geschenkt, was für die Mitarbeiter:innen eine enorme Mehrbelastung zu Beginn von Digitalisierungsprojekten bedeutet. Hier wünschen sich die Umfrageteilnehmer:innen eine bessere Integration von Digitalisierungsprojekten in den Arbeitsablauf des Alltags.

Im Mittelpunkt eines Digitalisierungsprojektes muss der:die Mitarbeiter:in stehen und nicht nur die technische Lösung. Einerseits werden die Mitarbeiter:innen in den meisten Fällen nicht ausreichend einbezogen. Zum anderen muss der Fokus auf die zugewiesene Rolle der Mitarbeiter:innen in einem Digitalisierungsprojekt gelegt werden, da sie nach Meinung der Umfrageteilnehmer:innen die stärksten Treiber (oder das größte Hindernis) für erfolgreiche Projekte sind. Fehlen ausreichend qualifizierte Mitarbeiter:innen, stoßen Projekte auf zahlreiche und vielfältige Schwierigkeiten und der gewünschte Erfolg bleibt aus. Ohne qualifizierte Mitarbeiter:innen geht es auch nicht. Dennoch verbinden die Umfrageteilnehmer:innen mit der Digitalisierung die Hoffnung, zukünftige Herausforderungen, wie z.B. den Klimawandel, besser zu meistern und den Mitarbeiter:innen den Arbeitsalltag zu erleichtern.

Die klare Botschaft von Umfrage und Expert:inneninterviews: Der Mensch ist der zentrale Erfolgsfaktor in Digitalisierungsprojekten. Im Gegensatz zu modernen Industrie-4.0-Fabriken ist die Wasserversorgung und Abwasserentsorgung kein klar linear definierbarer

Prozess. Ohne gut ausgebildete, motivierte und mitdenkende Menschen ist die Digitalisierung in der Wasserwirtschaft weder heute noch in Zukunft möglich und machbar. Die Anzahl und Komplexität zukünftiger Herausforderungen in der Wasserwirtschaft nimmt insbesondere durch die Folgen des Klimawandels stetig zu, so dass gute Entscheidungen und effektive Prozessabläufe immer mehr Daten und eine qualitativ hochwertige Auswertung erfordern. Es ist daher die gemeinsame Aufgabe von Industrie, Wissenschaft und kommunalen Anwender:innen, die optimale Balance zwischen notwendigen Technologiesystemen und motiviertem Betriebspersonal zu finden. „WaterExe4.0“ hat gezeigt, dass die Digitalisierung in der Wasserwirtschaft auf dem richtigen Weg ist, aber die Menschen noch stärker einbezogen werden müssen. Gleichzeitig ist es notwendig, dass sich die Anwender:innenseite aufgeschlossener zeigt, um sich aktiv am Entwicklungsprozess zu beteiligen. Insbesondere die bisher unausgesprochenen Erwartungen auf kommunaler Seite müssen stärker und klarer kommuniziert werden, es reicht nicht aus, sie in wissenschaftlichen Umfragen anzuhören. Industrieunternehmen und Forscher:innen müssen die Entwicklung neuer Lösungen viel besser mit den Herausforderungen der täglichen Arbeit verbinden. Darüber hinaus wurde in der Studie deutlich, dass der Nutzen einer digitalen Lösung viel stärker herausgestellt werden muss, nicht nur allgemein, sondern auch spezifisch für den Einzelfall. Wird dieser Nutzen den Anwender:innen nicht in aller Klarheit und Tiefe dargestellt, wird es schwierig sein, eine ausreichende Akzeptanz und damit eine Projektumsetzung zu erreichen.

## 6 Mit der „Sowieso-Strategie“ den richtigen Einstieg in die Digitalisierung finden

Was ist nun zu tun? Aus der Lernforschung ist bekannt, dass ein hoher Lerntransfer dann erzielt wird, wenn neue Lerninhalte so nah wie möglich am bestehenden Arbeitsalltag angeknüpft werden können. Dies konnte in einer empirischen Studie auch für die Digitalisierung in der Wasserwirtschaft bestätigt werden (Müller-Czygan 2018). Aus diesen Ergebnissen wurde im Zuge des Forschungsprojekts KOMMUNAL 4.0 (Müller-Czygan 2018) die soge-



nannte „Sowieso-Strategie“ entwickelt, um insbesondere die Anfangshürden und Ängste vor „dem Neuen“ abzubauen und ein schnelles Lernen neuer Inhalte in gewohnter Arbeitsumgebung zu ermöglichen.

Im Mittelpunkt der „Sowieso-Strategie“ steht die Identifikation von Maßnahmen und Planungsprojekten, die in einem Kommunalbetrieb aktuell den Alltag bestimmen und für die idealerweise bereits Genehmigungen vorliegen und die Finanzierung geklärt ist. Im ersten Schritt wird geprüft, mit welchen Digitalisierungsideen eine identifizierte „Sowieso-Aufgabe“ effizienter und nachhaltiger gelöst werden kann. Dabei ist zu beachten, dass ein mögliches Innovationsprojekt zu keiner zusätzlichen Belastung der Mitarbeiter:innen führen darf. Aufgrund der in „WaterExe4.0“ festgestellten vorhandenen Lösungsvielfalt im Bereich der Digitalisierung kann nahezu für jede in Frage kommende „Sowieso“-Aufgabe ein passender Digitalisierungsansatz gefunden werden. Durch das rechtzeitige Einbeziehen der betroffenen Mitarbeiter:innen in den Identifikationsprozess und in die Suche nach einer passenden Digitalisierungslösung erhöht sich die Teilnahmebereitschaft schlagartig und die Akzeptanz für eine neue Lösung wird sehr hoch (Müller-Czygan 2021). Interessanterweise entwickelt sich im Laufe der Zeit in dieser Form initiiertes Projekte unter den kommunalen Mitarbeiter:innen eine besondere Eigendynamik. Mehr und mehr steuern die Mitarbeiter:innen eigene Ansätze zur Digitalisierung bei oder sorgen für signifikante Verbesserungen der bestehenden Ideen. Je mehr sich durch den Ansatz der „Sowieso-Strategie“ ein Klima der Zusammenarbeit auf Augenhöhe entwickelt, desto fruchtbarer wird das Ergebnis am Ende des Prozesses. Rückblickend ist für die bislang nach der „Sowieso-Strategie“ ausgewählten Vorhaben festzustellen, dass der Prozess die Initialzündung für einen nachhaltigen Erneuerungsprozess zur technischen Modernisierung vorhandener Abwasserinfrastruktur darstellt. Damit geht die Wirkung über das eigentliche Vorhaben weit hinaus. Ein erfolgreiches Beispiel ist in Müller-Czygan et al. (2021c) dargestellt.

Der Ablauf der „Sowieso-Strategie“ soll am nachfolgenden Beispiel dargestellt werden. Zu Beginn des Prozesses wird nach Identifikation der „Sowieso-Maßnahme“ der aktuelle Bearbei-

tungsstatus festgestellt. Bestehen noch Anpassungsmöglichkeiten ist zu klären, ob und welche Leistungskomponente(n) als sogenannte smarte Maschine bzw. als smartes System anstelle einer konventionellen Technik ausgeführt werden kann. Am Beispiel der Auswahl einer Rechenanlage auf einer Entlastungsschwelle eines Kanalsystems soll verdeutlicht werden, wie die Systematik eingesetzt werden kann. In Kanälen werden auf sogenannten Entlastungsschwellen zunehmend Rechensysteme eingesetzt. Läuft der Kanal voll und überschüssiges Mischwasser tritt an diesen Schwellen aus dem Kanal aus, können hier installierte Rückhaltesysteme (sog. Rechen) den Schmutzaustrag in die Gewässer reduzieren. Herkömmliche Systeme reinigen die mit Schmutz belegten Rechenstäbe automatisch nach festgelegten Intervallen. Dabei steht die Sicherstellung der hydraulischen Kapazität im Vordergrund, unabhängig davon, ob der aktuelle Betriebszustand das erfordert oder nicht. Smarte Rechen (Müller-Czygan und Stolz 2018), nutzen vernetzte Informationen aus lokalen Maschinenbetriebsdaten, aus WebCams sowie Niederschlagsdaten aus Datenportalen, um mehr Betriebssicherheit und Gewässerschutz zu erzielen. Während übliche Rechensysteme durch konstante Kamm- und/oder Räumvorrichtungen gereinigt werden, haben intelligente Rechen den Vorteil, dank der umfangreichen Datenauswertung die Kamm- und/oder Räumvorrichtungen an die aktuelle Betriebssituation anpassen zu können. Während bei den üblichen Systemen die Entfernung der Schmutzpartikel von den Rechenstäben im Vordergrund steht, wird bei den smarten Rechensystemen genau das Gegenteil beabsichtigt. Die Schmutzpartikel sollen so lange wie möglich auf den Rechenstäben verbleiben, da festgestellt wurde, dass der Schmutz wie ein Feinfilter wirkt und so kleine Partikel aufhält, die bei normalen Rechen in die Gewässer gelangen. Das intelligente System achtet darauf, dass der Schmutz entweder nur bei zu großer Regenwassermenge entfernt wird, um einen Überstau im Kanal zu vermeiden, oder wenn ein zu langer Aufenthalt des Schmutzes auf den Rechenstäben Verblockungen verursachen kann. Im Gegensatz zu üblichen Systemen werden die Räumvorrichtungen nur dann aktiviert, wenn es unbedingt sein muss. So kann, wie in Müller-Czygan (2020)

beschrieben, auf Basis der erweiterten Informationslage die Filterwirkung des Rechenguts direkt im Sinne eines verbesserten Gewässerschutzes genutzt werden. Rechensysteme im Kanal werden immer öfter eingesetzt und sind somit typische „Sowieso-Projekte“. Der Weg von einem üblichen zu einem intelligenten (digitalen) System ist nicht sehr weit, da die Grundmechanismen und Bauteile identisch sind. Geringe (aber keine simplen) maschinentechnischen Anpassungen kombiniert mit digitalen Elementen führen so zu einem Innovationssprung. Für den kommunalen Betreiber ergeben sich folgende Vorteile durch diese Vorgehensweise:

- Die Grundkonzeption des „Sowieso-Projektes“, also das System Rechen bzw. Stoffrückhalt im Kanal, ist bekannt, bereits ausdiskutiert und wird ohne große Hürden genehmigt. Es kommt damit zu keinem störenden Neuprojekt.
- Der Anteil neuartiger Technologien (Digitalisierung) ist vergleichsweise gering (erfahrungsgemäß < 20 %); die Mitarbeiter:innen sind mit den wesentlichen Basistechniken vertraut, das neu zu Erlernende ist immer an vorhandenes Wissen gekoppelt, damit fällt das Lernen leichter und wird schneller akzeptiert.
- Die Mehrkosten für das um die Digitalisierung erweiterte „Sowieso-Projekt“ liegen meist < 20 % der Gesamtkosten.
- Gleichzeitig wird die Chance einer Innovationsförderung stark erhöht, die vormalig vorgesehene konventionelle Technik hat im Regelfall überhaupt keine Chance auf Förderzuschuss.
- Durch den Anstieg an Digitalisierungslösungen wächst die Attraktivität der Kommunen für jüngere, digitalaffine Berufseinsteiger:innen.
- Generelle Vorbehalte gegenüber der Digitalisierung lösen sich bei erfolgreicher Umsetzung eines „Sowieso-Projektes“ relativ schnell auf und ermöglichen größere Digitalisierungsvorhaben.

Je früher ein „Sowieso-Projekt“ gefunden wird, desto wirksamer kann die Digitalisierung als neuartiges Projekt in alltägliche wasserwirtschaftliche Aufgaben integriert und angewendet werden. Im Mittelpunkt stehen der Mensch und seine bewussten und unbewussten Bedürfnisse. Diese können gezielt angesprochen und in der Projektablauf-

planung berücksichtigt werden. Somit wird nicht nur die Erfolgswahrscheinlichkeit des Vorhabens, sondern auch die Anwender:innenzufriedenheit erhöht und Folgekosten erheblich reduziert oder sogar vermieden. Projekte, die mit der „Sowieso-Strategie“ vorbereitet und durchgeführt werden, erfüllen viele der Wünsche an ein erfolgreiches Digitalisierungsprojekt, die von den Teilnehmer:innen der Meta-Studie „WaterExe4.0“ formuliert wurden.

**Funding** Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

**Open Access** Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Crea-

tive Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>. ■

## Literatur

- Ajami, N., Thompson, B. H., Victor, D. (2014):** The Path to Water Innovation. Washington DC: Stanford Woods Institute for the Environment.
- Balogun, A.-L. (2020):** Bewertung der Potenziale der Digitalisierung als Instrument zur Anpassung an 336. Sustainable Cities and Society.
- Burricher, B., Quirnbach, M., Oelmann, M. & Niemann, A. (2021):** Künstliche Intelligenz in der Wasserwirtschaft. Korrespondenz Abwasser, 94–101.
- Eigenstetter, M. (2020):** Ensuring Trust in and Acceptance of Digitalization and Automation: Contributions of Human Factors and Ethics. International Conference on Human-Computer Interaction, S. 254–266.
- Espinosa Apráez, B., Lavrijssen, S. (2018):** Exploring the regulatory challenges of a possible rollout of smart water meters in the Netherlands. Competition and Regulation in Network Industries, 19. Jg., Nr. 3–4, S. 159–179.
- Funke, D. (2014):** Innovation im Kontext der öffentlichen Verwaltung: Management von Hindernissen und Blockaden bei Veränderungen. Diplomica Verlag.
- Holländer, R. (2019):** Chancen und Herausforderungen der Verknüpfungen der Systeme in der Wasserwirtschaft (Wasser 4.0). Dessau: Umweltbundesamt.
- Ipektsidis, B. (2016):** R&D Investments and Structural Change in Sectors. Brussels: European Commission.
- Jiada, L., Yang, X., Sitzenfrei, R. (2020):** Rethinking the framework of smart water system: A review. Water, 12. Jg., Nr. 2, S. 412.
- Kim, K. G. (2019):** Development of an integrated smart water grid model as a portfolio of climate smart cities. Journal of Smart Cities, 3. Jg., Nr. 1, S. 23–34.
- Klenk, T., Nullmeier, E., Wewer, G. (2019):** Auf dem Weg zum digitalen Staat? Stand und Perspektiven der Digitalisierung in Staat und Verwaltung. In Handbuch Digitalisierung in Staat und Verwaltung (S. 1–22).
- Kröhling, A. (2017):** Digitalisierung – Technik für eine nachhaltige Gesellschaft? In CSR und Digitalisierung 334 (S. 23–49). Berlin: Springer.
- Kuipers, B. S., Higgs, M., Kickert, W., Tummers, L., Grandia, J., Van der Voet, J. (2014):** The management of change in public organizations and Energiemonitoring sichert effizienten Kläranlagenbetrieb, auch während Pandemiezeiten. gwf-Wasser|Abwasser, Nr. 11, 59–64.
- Mvulirwanande, S., Wehn, U. (2019):** Promoting Smart Water Systems in Developing Countries Through Innovation Partnerships: Evidence from VIA Water-Supported Projects in Africa. In ICT for Smart Water Systems: Measurements and Data.
- Niebert, K., Gropengießer, H. (2014):** Leitfadengestützte Interviews. In Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung (S. 121–132). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Randhahn, A. (2020):** Digitalisierung – Segen oder Fluch für den Klimaschutz? In Klima (S. 180–194). Berlin: Springer.
- Schuster, O., Wimmer, M. (2018):** Smarte digitale Transformation in der Wasserwirtschaft. Automation Blue 2018, Heft 1, S. 49–51.
- Seetharaman, P., Mathew, S. K., Sein, M. K., Tallamraju, R. B. (2020):** Being (more) human in a digitized world. Information Systems Frontiers, S. 529–532.
- Thom, N., Ritz, A. (2017):** Das Innovationsmanagement zur Neuausrichtung öffentlicher Institutionen. Public Management, S. 117–164.
- Thom, N., Ritz, A. (2019):** Das Innovationsmanagement zur Neuausrichtung öffentlicher Institutionen. In Public Management (S. 117–164). Wiesbaden: Springer.
- Wehn, U., Montalvo, C. (2018):** Exploring the dynamics of water innovation: Foundations for water 338. Journal of Cleaner Production, 2018, 171. Jg., S. S1–S19.
- Zimmermann, M., Schramm, E., Ebert, B. (2020):** Siedlungswasserwirtschaft im Zeitalter der Digitalisierung: Cybersicherheit als Achillesferse. IATuP-Zeitschrift für Technikfolgenabschätzung in Theorie und Praxis/Journal for Technology Assessment in Theory and Practice, 37–43.
- Martini, M. (2018):** Transformation der Verwaltung durch Digitalisierung. Verwaltungspraxis und Verwaltungswissenschaft, S. 11–68.
- Mayring, P. (2019):** Qualitative content analysis: Demarcation, varieties, developments. In Forum: Qualitative Social Research (Vol. 20, No. 3, pp. 1–26). Freie Universität Berlin.
- Merzlikina, Y. (2019):** Digitalization of water sector: problems and possibilities, XV International Scientific-Practical Symposium and Exhibition “Clean Water of Russia”, (S. 155–160). Ekaterinburg.
- Müller-Czygan, G. (2018):** Empirische Untersuchung zur Bedeutung von Lerntransfer- und Umsetzungsfaktoren im Digitalisierungsvorhaben „KOMMUNAL 4.0“ unter besonderer Beachtung der Wechselwirkungen von Technik und Veränderungsmanagement. Münster: FOM.
- Müller-Czygan, G. (2020):** Smart Water—How to Master the Future Challenges of Water Management. In Resources of Water. <https://doi.org/10.5772/intechopen.90644>: Intechopen.
- Müller-Czygan, G. (2021):** Industrie 4.0 in der Wasserwirtschaft. In P. Dortans, Innovation Race – Wegweisende Prinzipien für das Management von FuE-Projekten (S. 160–177). Hamburg: Murmann.
- Müller-Czygan, G., Stolz, A. (1 2018):** Digitalisierung von Entlastungsschwelle. Automation Blue, S. 45–48.
- Müller-Czygan, G., Wimmer, M. (2021):** WaterExe4.0 – Faktoren für einen erfolgreichen Umsetzungstransfer der Digitalisierung in der Wasserwirtschaft. BMBF.
- Müller-Czygan, G., Wimmer, M., Wagner, C., Tarasyuk, V. (2021a):** How Does Digitization Succeed in the Municipal Water Sector? The WaterExe4.0 Meta-Study Identifies Barriers as well as Success Factors, and Reveals Expectations for the Future. Energis. <https://doi.org/10.3390/en14227709>
- Müller-Czygan, G., Wimmer, M., Wagner, C., Tarasyuk, V. (2021b):** WaterExe4.0—Results of the first meta-study on digitization in the water industry in the German-speaking region. European Wastewater Management Conference 28–29 September 2021. Birmingham.
- Müller-Czygan, G., Wiese, J., Fischer, R., Zenke, R., Frigger, M. (2021c):** Innovative Steuerung

**Hinweis des Verlags** Der Verlag bleibt in Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutsadressen neutral.