

Abschlussbericht

Vorhabensbezeichnung:

„DigitalDialog KOMMUNAL 4.0“ - Workshopreihe zur praxisgerechten Einführung von Digitalisierungsprojekten zur Stärkung nachhaltiger kommunaler (Wasser-)Infrastrukturen

Laufzeit des Vorhabens: 20.12.2021 – 19.06.2023

Ersteller: Prof. Günter Müller-Czygan und David Rzodeczko

Inhalt

Abbildungsverzeichnis	3
1. Hintergrund	5
2. Zielsetzung	5
2.1. Ursprüngliche Zielsetzung	5
2.2. Erweiterte Zielsetzung	5
3. Lehrgangsentwicklung	6
3.1. Theoretischer Hintergrund	6
3.1.1. Herausforderung Digitalisierung für die Wasserwirtschaft	6
3.1.2. Ergebnisse KOMMUNAL 4.0	10
3.1.3. Ergebnisse WaterExe4.0 und DigiNaX	16
3.1.4. Die Rolle von Komplexität	27
3.1.5. Mehrebenenanalyse	38
3.2. Zielgruppenanalyse	54
3.3. Lehrgangsstruktur	59
3.4. Erhöhung der Transferwirkung	67
4. Lehrgangsevaluation	69
5. Zusammenfassung und Ausblick	73
Literaturverzeichnis	75

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Veränderungskurve in Anlehnung an das Fünf-Phasen-Modell nach Kübler-Ross(Deekeling & Arndt, 2021)	14
Abbildung 2: Anwendungsbereiche der identifizierten Digitalisierungselemente (n= 698) (Müller-Czygan, Tarasyuk, Wagner, & Wimmer, 2022-1)	19
Abbildung 3: Kommunaler Komplexitätskreislauf	40
Abbildung 4: Erste Stufe zur Komplexitätstransparenz im kommunalen Umgang mit dem Klimawandel	41
Abbildung 5: „Kreisförmige“ räumliche Ebenenzuordnung der Mehrebenenanalyse im SPORE-Teilprojekt Schauenstein	43
Abbildung 6: Fragenkatalog Identifikation weiterer Komplexitätsaspekte	44
Abbildung 7: Zusammenhang Komplexitätsarten und Mehrebenenanalyse	45
Abbildung 8 Umfrageergebnis Zertifikatslehrgang „Der Weg zur Schwammstadt – Stadtentwicklung in Zeiten des Klimawandels, Teilnehmer: 59	48
Abbildung 9 Umfrageergebnis Zertifikatslehrgang „Der Weg zur Schwammstadt – Stadtentwicklung in Zeiten des Klimawandels, Teilnehmer: 59	48
Abbildung 10 Wirksamkeit von Weiterbildungen zur Digitalisierung in der Wasserwirtschaft (Rzodeczko, 2022)	56
Abbildung 11 Wichtige Aspekte in Weiterbildungen zur Digitalisierung in der Wasserwirtschaft (Rzodeczko, 2022)	57
Abbildung 12 Kostenübernahme durch Arbeitgeber/Organisation (Rzodeczko, 2022)	57
Abbildung 13 Kostenübernahme durch Teilnehmer selbst (Rzodeczko, 2022)	58
Abbildung 14 Teilnahmbereitschaft auf Ingenieurniveau (Rzodeczko, 2022)	58
Abbildung 15 Teilnahmbereitschaft auf Facharbeiterniveau (Rzodeczko, 2022)	59
Abbildung 16 Lehrgangsstruktur generell (Quelle: Hochschule Hof)	59
Abbildung 17 Lehrgangsstruktur mit Format und Dozenten (Quelle: Hochschule Hof)	60
Abbildung 18 Lern- und Transferziele (Quelle: Hochschule Hof)	61
Abbildung 19 Mehrwertanalyse am Beispiel eines digitalen Regenwassermanagements (Quelle: Hochschule Hof)	62
Abbildung 20 Kursdidaktik (Quelle: Hochschule Hof)	62
Abbildung 21 Didaktische Anforderung: Constructive Alignment (Quelle: Hochschule Hof)	62
Abbildung 22 Teilmodul 1: „Einführung in die Digitalisierung der Wasserwirtschaft“ (Quelle: Hochschule Hof)	63
Abbildung 23 Teilmodul 2: „Feldinstrumentierung und Kontrolle“ (Quelle: Hochschule Hof)	63
Abbildung 24 Teilmodul 3: „Datensammlung & Kommunikation“ (Quelle: Hochschule Hof)	63
Abbildung 25 Teilmodul 4: „Datenmanagement & Visualisierung“ (Quelle: Hochschule Hof)	64
Abbildung 26 Teilmodul 5: „Schnittstellen und (internationale) Standards“ (Quelle: Hochschule Hof)	64
Abbildung 27 Teilmodul 6: „Datenfusion und -analyse“ (Quelle: Hochschule Hof)	64
Abbildung 28 Teilmodul 7: „Prozessoptimierung“ (Quelle: Hochschule Hof)	65
Abbildung 29 Teilmodul 8: „Mehrwertanalyse von Digitalisierungsprojekten“ (Quelle: Hochschule Hof)	65
Abbildung 30 Teilmodul 9: „Anwenderkompetenzen“ (Quelle: Hochschule Hof)	65
Abbildung 31 Teilmodul 10: „Umsetzungsverstärker SOWIESO-Projekte“ (Quelle: Hochschule Hof)	66
Abbildung 32 Teilmodul 11: „BIM“ (Quelle: Hochschule Hof)	66
Abbildung 33 Teilmodul 12: „Überblick Cybersicherheit KRITIS“ (Quelle: Hochschule Hof)	66
Abbildung 34 Teilmodul 13: „Praxisphase“ (Quelle: Hochschule Hof)	67
Abbildung 35 Kompetenzenanalyse (Quelle: Hochschule Hof)	68
Abbildung 36 SOWIESO-Strategie (Quelle: Hochschule Hof)	68
Abbildung 37 Modulabfolge (Quelle: Hochschule Hof)	69
Abbildung 38: Auswertung Lamapoll Umfrage „Erachten Sie unseren Kurs zum 'Fachingenieur oder Fachexperten für Digitalisierung in der Wasserwirtschaft' als geeigneten Start, um sich in der Breite in die Digitalisierung hineinzuarbeiten?“ (eigene Darstellung) N=9	70

Abbildung 39: Auswertung Lamapoll Umfrage „Wie gut schätzen Sie Ihr eigenes Wissen zu folgenden Punkten in der Digitalisierung ein?“ (eigene Darstellung) N=9	71
Abbildung 40: Auswertung Lamapoll Umfrage „Für wie wichtig erachten Sie übergreifendes Systemwissen/Systemdenken in Bezug auf Digitalisierung?“ (eigene Darstellung) N=9	72
Abbildung 41: Auswertung Lamapoll Umfrage „Wie sehr hat sich Ihr Wissen durch die Modulinhalte erweitert?“ (eigene Darstellung)	72

1. Hintergrund

Die Digitalisierung ist in der Wasserwirtschaft angekommen. Es wird nicht mehr darüber diskutiert, ob Digitalisierung notwendig ist, sondern nur wann und in welcher Form. Eine Studie an der Hochschule Hof hat festgestellt, dass die Umsetzung am Markt verfügbarer Digitalisierungslösungen immer noch teilweise sehr zögerlich vollzogen wird. Hierbei stehen in erster Linie Kommunikations- und Wissensthemen einer entschiedenen und zielgerichteten Umsetzung sowohl auf kommunaler Anwendungsseite als auch bei den Lösungsanbietern entgegen. Die wesentliche Aufgabe hierbei ist die Überwindung des sog. Generation Gap zwischen Baby Boomern und Digital Natives. Mit dem von der DBU Deutsche Bundesstiftung Umwelt geförderten Vorhaben „DigitalDialog4.0“ wird nun gemeinsam vom Bundesverband KOMMUNAL 4.0 e.V., der Hochschule Hof und der HST Systemtechnik GmbH & Co. KG auf Basis einer Workshopreihe die erste Zertifikatsweiterbildung zur Digitalisierung in der Wasserwirtschaft entwickelt.

2. Zielsetzung

2.1. Ursprüngliche Zielsetzung

Diese Weiterbildung hatte das Ziel, Vertretern von Kommunen und Industrie mit technischen Aufgaben (Techniker*innen/Ingenieur*innen) einen umfassenden Überblick über die Kernelemente der Digitalisierung in der Wasserwirtschaft zu geben. Um einen hohen Praxisanteil sicher zu stellen, wurden bestehende Kurssysteme aus der Praxis und Referenten mit umfangreicher Praxiserfahrung kombiniert werden. Zudem wurde den Teilnehmern die Möglichkeit gegeben werden, eigene Anwendungsfälle mit in den Kurs einzubringen und als Teil des Leistungsnachweises zu bearbeiten.

Damit der Weiterbildungskurs auch von Studierenden der Ingenieurwissenschaften im Rahmen ihres Studiums anerkannt werden kann, orientiert sich der Kurs inhaltlich und formal an den Anforderungen einer Vorlesung eines Masterstudiums mit 6 ECTS. Somit umfasst der Kurs Vorlesungen in einem Umfang von 45 Unterrichtseinheiten á 45 Minuten und rd. 150 Stunden an Eigenarbeit der Teilnehmer, z.B. in Form einer Projektarbeit.

2.2. Erweiterte Zielsetzung

Das ursprüngliche Ziel des Vorhabens war die Entwicklung, Durchführung und Ergebnisanalyse einer speziellen Vortrags- und Kommunikationsreihe mit dem Namen „DigitalDialog KOMMUNAL 4.0“. Das neuartige Konzept basiert auf Ergebnisse aus dem Projekt KOMMUNAL 4.0 zur Wissensvermittlung und Digitalisierungsunterstützung in kommunalen Infrastrukturen. Im Gegensatz zu den meisten Veranstaltungen zum Thema Digitalisierung in kommunalen Infrastrukturen, die als Einzelveranstaltung oder in jährlichen Abständen stattfinden, sollte mit dem „DigitalDialog KOMMUNAL 4.0“ ursprünglich eine Veranstaltungsreihe entstehen, die 4-6 Mal im Jahr über einen Zeitraum von drei Jahren 2-tägige Veranstaltungen an verschiedenen Orten in Deutschland anbietet. Darüber hinaus sollten den Teilnehmern ergänzend die Möglichkeit offeriert werden, im Anschluss an die Veranstaltung eine

umfassende Digitalisierungsberatung durch den Bundesverband KOMMUNAL 4.0 e.V. zu erhalten. Im Zuge der Vorbereitung der vorgesehenen Veranstaltungsreihe und als Ergebnis bereits durchgeführter Online-Kurzveranstaltungen wurde auf Basis zahlreich geführter Gespräche klar, dass der Markt zwei wesentliche Erweiterungen benötigt, die auf die Ziele des Vorhabens stärker einzahlen würden als die vorgesehene Vortrags- und Kommunikationsreihe. Zum einen ist dies ein echtes Zertifikat als nachweisbarer Fachabschluss, zum anderen müssen Veranstaltungen viel stärker den Umsetzungstransfer als Bestandteil integrieren als dies bislang der Fall ist. Um die Annahmen aus den geführten Gesprächen zu untermauern, wurde vom BVK 4.0 in Kooperation mit den Hochschulen Südwestfalen und Hof eine entsprechende Marktanalyse durchgeführt, die u.a. Inhalt einer Bachelorarbeit war (Rzodeczko, 2022). Im Fokus dieser Bachelorarbeit aus dem Frühjahr 2022 stand die Identifikation der Zielgruppen der vorgesehenen Weiterbildung und die Frage nach dem Bedarf eines Zertifikatslehrgangs KOMMUNAL 4.0.

3. Lehrgangsentwicklung

Basierend auf den Ergebnissen des Projektes KOMMUNAL 4.0 sowie den Metastudien WaterExe4.0 und DigiNaX der Hochschule Hof erfolgte die Entwicklung des Zertifikatslehrgangs. Die wesentlichen Erkenntnisse, die in die Lehrgangsinhalte Eingang fanden, sind nachfolgend dargestellt. Die nachfolgenden Inhalte sind ein Auszug aus (Müller-Czygan, 2024).

3.1. Theoretischer Hintergrund

Im deutschsprachigen Raum stellen die Ergebnisse der Projekte KOMMUNAL 4.0, SmaDiWa, die Metastudie WaterExe4.0 (inkl. Nachfolgestudie DigiNaX) sowie InSchuKa4.0 die derzeit umfassendsten Informationsquellen zum Stand der Wissenschaft und der Technik zur Digitalisierung in der Wasserwirtschaft dar.

Die Ausführungen zur Metastudie WaterExe4.0 entstammen im Wesentlichen den beiden umfangreichsten Veröffentlichungen der Forschungsergebnisse (Müller-Czygan, Wimmer, Wagner, & Tarasyuk, 2021), (Müller-Czygan, Tarasyuk, Wagner, & Wimmer, 2022-1). Ergänzend werden die Ergebnisse der Nachfolgestudie DigiNaX vorgestellt. Die Ausführungen zu KOMMUNAL 4.0 sind zusammenfassende Aussagen aus dem Schlussbericht zum Gesamtvorhaben des Projektes (Müller-Czygan, 2020). Die Informationen zum Projekt SmaDiWa, welches in den Jahren 2017/2018 an der Hochschule Hof erarbeitet wurden, stellen eine Zusammenfassung des Schlussberichtes des Vorhabens von (Schuster, 2018) dar. Die auf die Digitalisierung der Wasserwirtschaft bezogenen Ergebnisse im Vorhaben InSchuKa4.0 entstammen (Müller-Czygan & Tarasyuk, 2022).

3.1.1. Herausforderung Digitalisierung für die Wasserwirtschaft

Für kommunale Organisationen stellt die Digitalisierung eine besondere Herausforderung dar (Buhl & Frederking, 2016). Als „Gewährleister“ institutioneller Rahmenbedingungen gelten Kommunen als wichtige Stütze gesellschaftlicher und gewerblicher Aktivität, auch im Zuge der Digitalisierung (Stickler, 2000). Eine Studie der Bertelsmann-Stiftung sieht in der Digitalisierung für Kommunen „die Chance,

öffentliche Ressourcen effizienter und zielgenauer einzusetzen, Bürger und Unternehmen zu entlasten und den gesellschaftlichen Zusammenhalt zu stärken“ (Bertelsmann, 2017). Diese Anforderungen werden sich auch auf technische Abteilungen, Kommunalunternehmen und Eigenbetriebe¹ im kommunalen Umfeld auswirken. Im Bereich der kommunalen Infrastruktur ist zudem seit einigen Jahren der Begriff Smart City in aller Munde, um zu beschreiben, wie Kommunen mit Hilfe moderner Informations- und Kommunikationstechnologien ihre zukünftigen Herausforderungen bewältigen können (z. B. (Danielzyk & Lobeck, 2014)). Neben den Bereichen der Bürgergesellschaft (digitale Anträge einreichen, Onlinebeteiligung bei öffentlichen Projekten etc.) und Wirtschaft (Onlinegenehmigungen erhalten, Erlaubnisse online einreichen und erhalten etc.) spielt auch die kommunale Infrastruktur (Energie, Mobilität/Verkehr sowie Wasser-/Abwasser) eine wichtige Rolle bei der Digitalisierung. Der Wasserwirtschaft kommt dabei eine besondere Rolle zu, da sie bis zu 70 % des Infrastrukturvermögens einer Kommune / Stadt ausmacht (Hattenbach & Vogel, 2015). Mit der Verabschiedung der Nationalen Wasserstrategie am 15.03.2023² wurde die Rolle der Wasserwirtschaft für die Zukunftsfähigkeit der Gesellschaft noch einmal hervorgehoben.

Dabei ist der wesentliche Technologietreiber die Einsparung von Kosten bei gleichzeitig gesicherter Wasserver- und Abwasserentsorgung. Hinzu kommen vielfältige Aufgaben, die durch moderne Digitalisierungslösungen effizienter und effektiver erledigt werden sollen / können.

(Bernard, et al., 2022) fassen die wesentlichen Aufgaben wie folgt zusammen:

- Anlagendokumentation
- Netzpläne
- Netzüberwachung und -steuerung
- Wasserbedarfsplanung
- Bemessung, Planung und Sanierung von Rohrleitungen und -netzen sowie Bauwerkern der (Ab)Wasserspeicherung

Wesentliche Themen bei der Digitalisierung der kommunalen Wasserwirtschaft beziehen sich auf eine hohe Leistungsfähigkeit technischer Einrichtungen, die sich aus neuen digitalen Technologien ergeben können.

Dazu zählen³ u. a. die Aufnahme und Analyse großer Datenmengen, um neue Zusammenhänge zu erkennen und diese für effizientere Betriebseinstellungen oder für bessere Reinigungsergebnisse (z. B. bei der Abwasserreinigung) zu nutzen, Onlinesimulation und Optimierung von Szenarien, um bereits vor dem Realstart Fehler zu finden oder die besten Betriebsregime zu erkennen, Kommunikation und Datensicherheit⁴ in Netzwerken sowie Visualisierung und Mobilität der Informationen, um ortsunabhängig Anlagen überwachen und steuern zu können.

¹ Eigenbetriebe sind wirtschaftlichen Unternehmen einer Kommune/Stadt ohne Rechtspersönlichkeit (EigVO NRW, 2018)

² <https://www.bundesregierung.de/breg-de/suche/nationale-wasserstrategie-2171158#:~:text=Die%20Versorgung%20mit%20Trinkwasser%20zu,sind%20Kernziele%20der%20Nationalen%20Wasserstrategie.>

³ Erkenntnisse des Co-Autors Prof. Müller-Czygan aus 4 Jahren Konsortialführung in KOMMUNAL 4.0

⁴ Die Wasserwirtschaft gehört zu den kritischen Infrastrukturen

Um diesen Aufgaben und Herausforderungen gerecht zu werden, ist der Zugriff auf eine aktuelle und vollständige Datenbasis über die gesamte Infrastruktur erforderlich. Gerade hier fehlt es insbesondere den kleinen Wasserver- und Abwasserentsorgern an den notwendigen digitalen Voraussetzungen wie dem Einsatz von Geoinformationssystemen (GIS) oder einer aktuellen Automatisierungstechnik (Bernard, et al., 2022).

In der Vergangenheit lag der Einsparfokus beim Personal bzw. der Vereinfachung der technischen Infrastruktur⁵. Heute beziehen sich mögliche Technologieinnovationen mehr und mehr auf Energieeinsparungen und auf den Schutz von Ressourcen (Thamsen, Mitchell, & Pöhler, 2016). Darüber hinaus werden die Aspekte Effizienzsteigerung, Erhaltung der Ver- und Entsorgungssicherheit, erhöhter Umweltschutz, geringere Emissionen, besserer Kontakt mit dem Kunden sowie eine bessere Entscheidungsgrundlage für Politik, Kommune und Wirtschaft als wesentliche Digitalisierungsziele genannt (Wimmer & Hübner, 2017). Die ansteigenden Herausforderungen der Wasserwirtschaft, die auch mit einer Zunahme der Verstädterung und Megacity-Bildung einhergehen (z. B. (Heinrichs, Kuhlicke, Meyer, & Hansjürgens, 2009)), erfordern eine mehr und mehr systembezogene Betrachtung wasserwirtschaftlicher Aufgaben. Speziell die Analyse der Bildung von Megacities soll Aussagen zu zukünftigen Problemen in stark wachsenden Städten ermöglichen (Taubenböck, Wurm, Esch, & Dech, 2015), auch zum Thema Wasser. Ebenso haben kleine und mittlere Kommunen mit ihren entsprechenden Wasserver- und Abwasserentsorgungseinheiten ähnliche Aufgaben zu bewältigen wie große oder sogar Megacities. Am Ende geht es um die Sicherstellung der für die Bevölkerung lebensnotwendige Wasserver- und Abwasserentsorgung.

Konventionelle Lösungen endeten bislang an den Grenzen der einzelnen Behandlungsanlagen, auch wenn die Ein- und Auswirkungen weit darüber hinaus gehen (Kluge & Schramm, 2016-1). Beispielsweise wurde für die Studie „Wasser 2050“ (Kluge & Schramm, 2016-2) bewusst der Zeitrahmen bis 2050 gewählt, um der kapitalintensiven und damit langfristig angelegten Wasserinfrastruktur gerecht zu werden, was bislang u. a. denjenigen Entwicklungen den Vorzug gab, die auf Einheitlichkeit und Langlebigkeit abzielten. Dadurch kam es z. B. dazu, dass Trink- und Abwassernetze zu großen Sammelsystemen und differenzierende Teilströme nicht ausreichend berücksichtigt wurden (Kluge & Schramm, 2016-1).

Angesichts der sich insbesondere in Deutschland stark verändernden Bevölkerungsentwicklung⁶ sowie dem schnellen Bevölkerungswachstum in Megacities erscheint dieser gewählte Zeithorizont nicht mehr realitätsangemessen. Er verdeutlicht aber nach Auffassung des Autors das noch bestehende Denkmuster auf der Forschungs- und Verwaltungsseite der Wasserwirtschaft.

Dieses aus langen Entwicklungs- und Veränderungszeiträumen und damit langsamen Entscheidungen konstruierte Weltbild trifft aktuell auf eine hochdynamische technische Veränderungswelle mit teilweise sehr kurzen Entwicklungszyklen. Dennoch werden in Deutschland bis heute auf dieser langfristigen Basis Wasser- und Abwassersysteme konzipiert und auch realisiert, obwohl sie offensichtlich den

⁵ Persönliche Erfahrung des Co-Autors Prof. Müller-Czygan aus rd. 25 Jahren Branchenzugehörigkeit

⁶ Je nach Zustrom an Flüchtlingen

aktuellen und zukünftigen Anforderungen nicht mehr gerecht werden. Deutlich wird dies z. B. im Bereich des Regenwassermanagements als Teil von Schwammstadtkonzepten. (Sieker, et al., 2019) untersuchten rd. 30.000 Normen, technische Regeln und andere Vorschriften, die unmittelbar oder mittelbar dem Regenwassermanagement dienen. Nur 11 dieser Dokumente befassten sich direkt mit den Folgen des Klimawandels für das Regenwassermanagement und gaben entsprechende Hinweise und Empfehlungen für ein angepasstes Regenwassermanagement. In Bezug auf zielführende Digitalisierungslösungen sind vollständige Bestandsdaten und fehlerfreie Topografien ebenso notwendig. Dies ist in vielen insbesondere kleinen und mittleren Kommunen nur sehr selten der Fall. Deren Vervollständigung und Herstellung der Fehlerfreiheit muss zu Beginn eines jeden Digitalisierungsprojektes stehen (Bernard, et al., 2022).

(Oelmann, Czichy, & Beele, 2018) schauen über die Technik hinaus und befassen sich u. a. mit der Auswirkung der Digitalisierung auf die Anforderungen der Mitarbeiter in der Wasserwirtschaft. Dieser Aspekt spielt bei dem Forschungsgegenstand dieser Arbeit eine entscheidende Rolle, da die Erfüllung zukünftiger Mitarbeiteranforderungen durch Weiterbildungsinhalte und -methoden erfolgen muss. Die Autoren ziehen das Fazit, dass die Wasserver- und Abwasserentsorgung in Zukunft vor allem flexible Mitarbeiter benötigt, die in Schnittstellenfunktionen neben dem üblichen Fachwissen über Handlungskompetenzen im Bereich Kommunikation, Teamfähigkeit, Reflexionskompetenz, grundlegende IT-Kenntnisse und Networking verfügen müssen. Ein weiterer Aspekt, der auch die Akzeptanz eingesetzter Digitalisierungslösungen betrifft, ist die Frage nach der Höhe der Komplexität. Je einfacher Datenanalysetools für den Endanwender sind, desto größer ist die Anwendungshäufigkeit (z. B. (Bernard, et al., 2022), (Lawens, Alves, Boeckmann, & Thielen, 2022)).

Dies gilt auch für den Einsatz von Simulationswerkzeugen, hierbei ist zu prüfen, ob zur Sicherstellung einer ausreichenden Realitätsnähe spezielle Messkampagnen erforderlich sind, was die Kosten einer Digitalisierungslösung erheblich erhöhen kann ((Ort, Schaffner, Giger, & Gujer, 2005), (Hulsbeek, Kruit, Roeleveld, & Van Loosdrecht, 2002), (Kleidorfer, Möderl, Fach, & Rauch, 2009)).

Je größer der räumliche Umfang und die Komplexität des Vorhabens sind, desto mehr ist zu prüfen, ob sich der Aufwand für die Modellerstellung mit der Durchführung erforderlicher Messkampagnen lohnt. Große Vorhaben wie z. B. eine modellbasierte prädiktive Regelung eines Talsperren-Verbundsystems (Vogtmann, Dickel, & Theobald, 2022) werden durch Bundesbehörden finanziert.

Vergleichbare komplexe Vorhaben lassen sich bei kleinen und mittleren Kommunen gar nicht oder nur mit erheblicher öffentlicher Förderung realisieren.

Ein weiterer Aspekt der Digitalisierung in der Wasserwirtschaft ist die zunehmende Onlineerfassung von Pegelständen in Gewässern. Die erfassten Daten werden in den zuständigen Wasserorganisationen verarbeitet und ausgewertet, aber auch zunehmend von den Kommunen als Teil der Hochwasserschutzkommunikation der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt^{7,8}. Gleiches gilt für die permanent verfügbare Wettervorhersage, die minutenaktuell und für nahezu jeden Ort im Internet

⁷ <https://pegelstaende.oehringen.de/intern/Default.aspx>

⁸ <https://www.stadtlohn.de/bauen-wirtschaft/hochwasserrisikomanagement/berkelpegelmesssystem/>

abrufbar ist. Bei der Nutzung derartiger Digitalsysteme ist darauf zu achten, die richtige Balance zwischen erforderlicher Sensibilisierung der Öffentlichkeit und Erzeugung einer Informationsüberflutung zu finden, um die gewünschte Vermeidung einer „Hochwasserdemenz“ durch zu viele fehlerhafte Warnungen nicht paradoxerweise zu verschärfen (Heimerl, 2022). Pegelraten werden aber auch zur Erstellung saisonaler Hochwasserstatistiken mit dem Ziel der Ermittlung von Hochwasserwahrscheinlichkeiten eingesetzt.

Dabei müssen diese Daten die Kriterien der Stationarität (die Ergebnisse der Pegelmessung sind zu jedem Zeitpunkt unveränderlich gegenüber dem Betrachtungszeitraum), Unabhängigkeit (die Daten dürfen sich nicht gegenseitig beeinflussen) sowie Homogenität (konstante Aussagekraft über den Betrachtungszeitraum) erfüllen. Besonders die Homogenität kann durch vielfältige Faktoren wie z. B. Landnutzungsänderungen, Speicherbauwerke im Sensoreinflussbereich, wasserbauliche Maßnahmen, Änderungen in der Messwerterfassung (z. B. Tausch einer alten Ultraschallsonde gegen eine moderne Radarmessung im Betrachtungszeitraum) beeinträchtigt werden. Je länger der Betrachtungszeitraum gewählt wird, desto unwahrscheinlicher ist eine vollständige Datenhomogenität (Mudersbach, 2022).

3.1.2. Ergebnisse KOMMUNAL 4.0

Das vom BMWK Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (vormals BMWi) im Rahmen des Förderprogramms Smart Service Welt I⁹ von 2016-2019 geförderte Projekt KOMMUNAL 4.0¹⁰, war das erste sozusagen „holistische“ Vorhaben der deutschen Wasserwirtschaft zum Thema Digitalisierung. Das mit insgesamt rd. 3 Mio. € geförderte Projekt wurde von drei wissenschaftlichen Einrichtungen und drei Unternehmen durchgeführt. Die Konsortialführung hatte der Projektpartner HST Systemtechnik GmbH & Co. KG (Meschede)¹¹ inne. Das übergeordnete Ziel des Projektes war die Entwicklung einer webbasierten Daten- und Serviceplattform für die Wasserwirtschaft, die mit Hilfe intelligenter Algorithmen-Daten analysiert und auf deren Basis eine optimierte, automatisierte und ganzheitliche Erfassung und teilweise Steuerung der Betriebsführung von Kanalnetz, Regenbecken und Kläranlagen ermöglicht wird. Der holistische Ansatz lag in einer von Beginn an verfolgten Betrachtung von technischen und nicht-technischen Aspekten, der sich auch stark im Zertifikatslehrgang widerspiegelt.

Neben den vorgesehenen Technologieentwicklungen wurden auch Kundenbedürfnisse, Rechtsfragen, IT-Sicherheitsaspekte bis hin zu Fragen der Vergabe und Genehmigungsfähigkeit mit in die Technologieentwicklungen einbezogen. Aus der Multiperspektivenhaltung der Projektverantwortlichen und den Reaktionen des Marktes darauf, entstand letztendlich die Idee zum Bundesverband KOMMUNAL 4.0 e.V. und für den Zertifikatslehrgang.

Im Gegensatz zur SmaDiWa-Studie erfolgte mit dem Start eine Fokussierung auf bereits offene kommunale Marktteilnehmer:innen, die an einer Effizienz- und Effektivitätssteigerung in ihren Wasser- / Abwasserbetrieben mithilfe der Digitalisierung interessiert waren. So zeichnete sich an vielen kommunalen Stellen ab, dass unabhängig von einer möglichen technischen Lösung eine ausreichende

⁹ <https://www.digitale-technologien.de/DT/Redaktion/DE/Standardartikel/smart-service-welt-programm-definition.html>

¹⁰ https://www.digitale-technologien.de/DT/Redaktion/DE/Standardartikel/SmartServiceWeltProjekte/Wohnen_Leben/SSWI_Projekt_Kommunal40.html

¹¹ www.hst.de

Datenbasis von zunehmender Bedeutung werden würde, um angesichts der zunehmenden Komplexitäten und Herausforderungen eine sichere (Investitions-)Entscheidung für die nächsten Jahrzehnte treffen zu können. Mit der Digitalisierung und den Konzepten zu Industrie 4.0 erhofften sich die an Innovationen interessierten Kommunen und Fachexperten einen wesentlichen Hebel zu erreichen, um bessere Prognosen zu erhalten und damit sichere Zukunftsentscheidungen treffen zu können. Daten waren und sind in Behörden, Kommunen, bei Ingenieurdienstleistern und Technologieanbietern in großem Umfang vorhanden. Damals wie heute fehlt eine zielgerichtete breite Nutzung dieser Daten im Sinne einer interessen- und raumübergreifenden Situationsanalyse sowie für aussagekräftige Zukunftsszenarien für wirklich vorsorgende Investitionsmaßnahmen und Betriebsführungsaktivitäten. Insbesondere zur Optimierung des Energieverbrauchs in wasserwirtschaftlichen Anlagen hat eine zielgerichtete Datenauswahl und -analyse eine hohe Hebelwirkung bei vergleichsweise geringem Aufwand. Bei Neuanlagen werden umfangreiche Datenanalysewerkzeuge zunehmend eingesetzt (Müller-Czygan, Wiese, Fischer, Zenke, & Frigger, 2021). Das Interesse auf der Seite der mit KOMMUNAL 4.0 passiv und aktiv in Kontakt gewesenen Kommunen war höher als der Durchschnitt der Branche (gemäß SmaDiWa-Studie).

Dennoch wurden und werden innerhalb von Städten und Gemeinden vorhandene abteilungsübergreifende Daten immer noch zu wenig aufeinander bezogen, erfasst und ausgewertet, um sie für eine ganzheitliche Betriebsführung, z. B. von Kanalnetz, Regenbecken und Kläranlagen, zu bearbeiten und steuerungstechnisch zu nutzen (Müller-Czygan, 2022).

Während der Laufzeit (2016-2019) und insbesondere zum Ende des Vorhabens KOMMUNAL 4.0 befand sich die Wasserwirtschaft vorwiegend in einer Orientierungs- und Informationsphase (Müller-Czygan, 2018). Umsetzungsprojekte nahmen zwar vereinzelt zu, beschränkten sich aber zumeist auf lokal oder technisch begrenzte Lösungen. Holistische Ansätze waren in keiner wissenschaftlichen bzw. unternehmerischen Entwicklungslinie oder auf Anwenderseite zu erkennen. Die Grundidee von KOMMUNAL 4.0, die Entwicklung einer zentralen Daten- und Serviceplattform, wurde von verschiedenen Gruppen des Marktes als wichtiges und effizientes Dateninstrument (Datenplattform) für eine aussagekräftige Datenstrukturierung und -analyse angesehen.

Eine bis heute vorhandene heterogene Datenlandschaft und das Silodenken in den IT-Abteilungen verhinderte damals wie heute die Einführung einer zentralen Daten- und Serviceplattform. Trotz vorliegender fachtechnischer und organisatorischer Vorteile zentraler Lösungen, waren und sind es auch heute oftmals persönlich motivierte Gründe wie Angst vor Veränderung oder Macht- / Statuserhalt, die eine solche zentrale Lösung, aber auch andere komplexe Lösungen erschweren.

Zudem wurden und werden bis heute noch Digitalisierungskonzepte als sogenannte „Greenfield-Lösungen“ diskutiert. Berater und Hersteller bieten Lösungen in der Form an, als gäbe es keine zu berücksichtigenden vorhandenen Strukturen. Im Gegensatz zu Estland, das immer wieder als Vorbild für kommunale Digitalisierung herangezogen wird, ist Deutschland nahezu 100 % mit vorhandenen IT- und zugehörigen Organisationsstrukturen abgedeckt, die nicht einfach übergangen oder als Problem klein geredet werden können.

Für die Entwicklung des Zertifikatlehrgangs waren die Erkenntnisse und Erfahrungen von besonderer Bedeutung, die ungefähr zur Halbzeit des Projektes Ende 2017/Anfang 2018 gemacht wurden. Seitens der Projektverantwortlichen wurde durch die steigenden Diskussionen infolge zunehmender Ablehnung einer zentralen Lösung festgestellt, dass die Serviceplattform KOMMUNAL 4.0 als zentrale Lösung keine Akzeptanz fand, aber die vorgestellten Einzelfunktionen und Tools der Plattform auf ein zunehmendes Interesse stießen und bei der Bewertung der Nutzensvorteile für potenzielle Anwender weit vorne standen.

Da nach damaliger Markteinschätzung der Konsortialpartner von KOMMUNAL 4.0 der Erwerb von Einzellösungen in den nächsten Jahren die Hauptanwendungsart bleiben wird, musste eine Vermarktung der zentralen Daten- und Serviceplattform KOMMUNAL 4.0 diesen Aspekt berücksichtigen. Der Erwerbszyklus neuer Produkte dauert im kommunalen Umfeld weitaus länger als in der Wirtschaft oder im Konsumentenbereich (Osner, 2001). Daher ist es höchst unwahrscheinlich, dass kommunale Organisationen seit Jahren etablierte und insbesondere an die eigenen Organisationsbedingungen angepasste Einzellösungen ohne weiteres gegen eine zentrale Daten- und Serviceplattform austauschen. Sowohl die SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) als auch die Betriebsführungsanwendungen haben in der Wasserwirtschaft Nutzungslaufzeiten (inkl. Updates und Upgrades) von teilweise mehr als 20 Jahren.

Ein weiteres Hemmnis für die Einführung neuer Softwarelösungen ist die Klärung der Frage nach allgemeingültigen Anforderungsdefinitionen, die insbesondere die Grundlage zur Erstellung eines Lastenheftes für die Beschaffung sind. Beispielsweise hat der Erstellungsprozess des Merkblattes M 175-1 der Deutschen Vereinigung für Wasser, Abwasser und Abfall e.V. (DWA) zur Einführung von Betriebsführungssystemen in Kanalbetrieben mehr als 7 Jahre benötigt (erschien 2018). Zwar werden Betriebsführungssysteme in der Wasserwirtschaft seit mehr als 15 Jahren eingesetzt, aber erst mit Vorlage des erwähnten Merkblattes setzt sich diese Form der Organisationsunterstützung in der Breite zunehmend durch. Ähnliches ist für den Einsatz zentraler Daten- und Serviceplattformen zu erwarten, so dass die Konsortialpartner über den Verein KOMMUNAL 4.0 e.V. hierzu die Entwicklung eines eigenen Regelwerks anstreben.

Die Berücksichtigung der genannten Anwenderreaktionen und der Marktbedingungen für neue Softwarelösung hat die damaligen Konsortialpartner veranlasst, eine Zielerweiterung insbesondere bei den Entwicklungen der Softwareapplikationen vorzunehmen. Ursprünglich vorgesehen und im Antrag formuliert war die Entwicklung einer multifunktionalen Daten- und Serviceplattform unter Einbindung verschiedenster Einzelsoftwarelösungen wie SCADA, Betriebsführung, ISMS (Informationssicherheitsmanagementsystem), Simulationsanwendungen oder Niederschlagsportal.

Eine weitere wichtige Erkenntnis von KOMMUNAL 4.0 war es, dass insbesondere die wichtigste Eingangsgröße in der Wasserwirtschaft, der Niederschlag zu oft nur als statistischer Mittelwert Eingang in Untersuchungen und Berechnungen fand und noch findet, ohne ausreichende Berücksichtigung lokaler Besonderheiten, obwohl bereits zum Beginn von KOMMUNAL 4.0 Dienste zur Verfügung standen, die z. B. per Internetzugriff Niederschlagsdaten als Archiv oder als Prognose für lokale Betrachtungen bereitstellten. KOMMUNAL 4.0 konnte hier wesentlich zur Aufklärung beigetragen und

erste Anwendungen zeigen, auch wenn in der Breite die Bereitschaft, abteilungsübergreifende Daten zu generieren und zu nutzen, bis heute noch nicht angekommen ist. Die zahlreichen Aktivitäten und entwickelten Lösungsansätze von KOMMUNAL 4.0 konnten für Kommunen und Wasser-/Abwasserverbände mögliche Perspektiven für die Kostenoptimierung und Leistungssteigerung aufzeigen. Speziell die Wasserwirtschaft steht unter deutlich erhöhtem Preisdruck (Stichwort: vorgeschriebene Preissenkungen durch das Bundeskartellamt (Starke, Rottmann, Hesse, Kratzmann, & Mengs, 2018)), muss aber gleichzeitig steigende gesetzliche Anforderungen, z. B. an die Reinigungsqualität erfüllen.

Zudem ist sie steigenden Kosten für Personal und Energie ausgesetzt und muss die Grundversorgung jederzeit gewährleisten. Hinzu kommen zunehmende gesellschaftliche und politische Forderungen, einen maßgeblichen Beitrag zur Ressourcenschonung zu leisten (z. B. P-Recycling gemäß novellierter Klärschlammverordnung (Bormann, Müller, & Vodegel, 2022)). Um all diese Anforderungen und Zwangspunkte zu erfüllen, erschienen zeitgemäße Betriebsoptimierungen mit "real-time, online, 4.0" zwingend erforderlich. Diese wurden im Projektverlauf von vielen kommunalen Anwendern auch als zielführend angesehen.

Eine besondere Hürde für das Vorhaben KOMMUNAL 4.0 stellte das zu Beginn des Vorhabens in Kraft getretene IT-Sicherheitsgesetz dar. Insbesondere über die Cyberattacken auf eine vom TÜV Süd erstellte Wasserwerksimulation im Jahr 2015¹² wurde in den Jahren 2016 und 2017 vielfach in der Wasserbranche berichtet, wodurch die Unsicherheit auf Anwenderseite gerade in Bezug auf webbasierte Digitalisierungslösungen erhöht wurde. Auch wenn Vertreter des Konsortialpartners ifak e.V. in den Arbeitsgremien zur Erstellung des B3S IT-Sicherheitsstandards Wasser/Abwasser¹³ als Teil des IT-Sicherheitsgesetzes beteiligt waren und das Konsortium seine Kompetenz auch über Fachpublikationen darstellte (Fauth, Suchold, & Müller-Czygan, 2017), erhöhte sich die Akzeptanz der Plattform auf Anwenderseite nicht.

Trotz der Möglichkeit, dass Softwareanbieter ihre Lösungen nach ISO 27001 (Informationssicherheitsmanagementsystem (ISMS)) zertifizieren lassen konnten, blieben die Ängste vor möglichen Cyberattacken sowie die Unkenntnis über die zu erwartenden Kosten durch zu ergreifende Sicherheitsmaßnahmen auf hohem Niveau und führten weiterhin zur Ablehnung bei potenziellen Anbietern. Auch hier zeigte sich erneut die jahrzehntelang gelebte Philosophie der robusten Verwaltung.

Eine Analyse von (Müller-Czygan, 2020) in 2018/2019 zum Stand der Veränderung in Sachen Digitalisierung ergab, dass sich viele Branchenteilnehmer:innen auf der sog. Veränderungskurve in Anlehnung an das Fünf-Phasen-Modell nach Kübler-Ross (Deekeling & Arndt, 2021) zum Ende des Vorhabens in der zweiten Talsohle der Veränderung befand (siehe Abbildung 1).

¹² <https://www.golem.de/news/honey-net-des-tuev-sued-simuliertes-wasserwerk-wurde-sofort-angegriffen-1507-115470.html>

¹³ <https://www.dvgw.de/leistungen/publikationen/publikationen-wasser/it-sicherheitsstandard-wasser/abwasser-b3s>

VERÄNDERUNGSKURVE: DIE 5 TYPISCHEN PHASEN



Abbildung 1: Veränderungskurve in Anlehnung an das Fünf-Phasen-Modell nach Kübler-Ross (Deekeling & Arndt, 2021)

Auch der Wunsch nach einer neutralen Stelle für Weiterbildungsangebote, wie z. B. dem Bundesverband KOMMUNAL 4.0 e.V. verdeutlichte die bestehende Unsicherheit auf Seiten der kommunalen Anwender (die meisten Informationen zu neuen Digitalisierungslösungen kamen im Projektzeitraum von Industrieanbietern). Weiterbildung gilt als ein Akt des mehrdimensionalen Vertrauens (z. B. in die Fähigkeit und Glaubwürdigkeit, Umsetzung in die Praxis, in partnerschaftliche Begegnung). Es unterstützt somit den Wunsch nach Komplexitätsreduzierung (Krieger, Dubsky, & Hilbert, 2020).

Der Soziologie Luhmann beschreibt Vertrauen als eine wesentliche Strategie der Komplexitätsreduzierung, welche sich in der Zeitdimension auf die Unsicherheit der Zukunft beziehen (Luhmann, Vertrauen. Ein Mechanismus der Reduktion sozialer Komplexität, 1989). Voraussetzung für Vertrauen sind soziale Beziehungen, in denen Vertrauensbereitschaft erworben und abgesichert wird.

Als Konsequenz erfolgte in KOMMUNAL 4.0 eine bis dahin einmalige Informationskampagne durch die Projektbeteiligten von KOMMUNAL 4.0. Insgesamt wurden mehr als 50 Publikationen zwischen 2016 und 2019 platziert (Fachbeiträge, Zeitungsberichte und Internetbeiträge). Ergänzend wurde bereits Anfang 2017 auf Initiative des Autors der Verein KOMMUNAL 4.0 e.V. gegründet (später umbenannt in Bundesverband KOMMUNAL 4.0 e.V.), um insbesondere die angefangene Informationskampagne zu verstärken und für eine Fortführung der Projektaktivitäten auch nach Projektende sicher zu stellen. Zum Jahresende 2019 konnte der Begriff KOMMUNAL 4.0 in Google mehr als 300.000 Treffer aufweisen. Hinzu kamen mehr als 30 Vorträge zu KOMMUNAL 4.0 und es wurden über 200 Gespräche mit kommunalen Vertretern geführt. Infolge des im Rahmen der zahlreichen Informationsaktivitäten

festgestellten Wissensmangels auf kommunaler Seite und der in diesem Zusammenhang identifizierten Aufmerksamkeitsverzerrungen, erfolgten parallel zu den technischen Entwicklungen erste Untersuchungen zum Weiterbildungs- und Kompetenzentwicklungsbedarf, der durch eine verstärkte Digitalisierung in der Wasserwirtschaft zu erwarten war (Müller-Czygan, 2018). Auch die insbesondere in der Anfangsphase von KOMMUNAL 4.0 für viele kommunale Anwender wenig brauchbaren Veranstaltungsangebote waren Anlass, über eigene und angepasste Weiterbildungsformate nachzudenken.

Im Zentrum der erforderlichen Weiterbildungs- und Kompetenzentwicklungsuntersuchungen standen die Erkenntnisse der Lern- und Transferforschung, dass neue Inhalte schneller und wirksamer erlernt und angewendet werden können, wenn der persönliche Kontext der Weiterbildungsteilnehmer:innen beachtet und in die Lerndidaktik eingebaut wird. Im Gegensatz dazu zeigt die aktuelle Forschung, dass Weiterbildung immer noch vorwiegend isoliert vom praktischen Arbeitsalltag stattfindet und ein möglicher Lerntransfer erst dann vorgesehen ist, wenn die neuen Systeme oder Technologien zur Anwendung bereit stehen (Müller-Czygan, 2018). Diese übliche Praxis ist bis heute in der Wasserwirtschaft festzustellen. Dadurch entsteht der Nachteil, das mögliche neue Wissen nicht zu Beginn eines Vorhabens vermittelt und in die weitere Projektbearbeitung integriert wird. Aus vorliegenden Untersuchungen zur Kosten- und Ressourcenplanung in Projekten wurde im Vorhaben KOMMUNAL 4.0 die Beeinflussung der Projektkosten analysiert.

Es wurde festgestellt, dass gerade zu Projektbeginn eine Beeinflussung sehr schnell abnimmt, während sich das notwendige Wissen für eine gute Entscheidungsbasis nur langsam im Projekt aufbaut (Franz, Froschauer, Krallinger, Nahold, & Stumbauer, 2019). Dieser Effekt wird dadurch noch verstärkt, dass Weiterbildungsmaßnahmen für die späteren Anwender neuer Technologien erst zum Ende eines Projektes stattfinden, und dadurch wichtige Erkenntnisse für eine gute Projektlösung zu spät kommen. Zwar findet die Information der Planungsverantwortlichen zu neuen Technologien bereits vor einem Projekt oder in der Anfangsphase statt, allerdings fehlt in dieser Phase der Versuch einer Analyse, wie die zu beschaffenden Technologien in die bestehenden Arbeitsprozesse zu integrieren sind bzw. wie Technologie und Mitarbeiterwissen/-erfahrung zueinander passen werden.

Handelt es sich um neue Technologien, wie dies häufig im Zuge der Digitalisierung der Fall ist, basieren nahezu sämtliche Entscheidungen auf theoretischem Wissen oder maximal auf Prototypenerfahrungen.

Das Vorhaben KOMMUNAL 4.0 hat gezeigt, dass in kommunalen Organisationen der Wasserwirtschaft die Bereitschaft zur aktiven Auseinandersetzung mit der Digitalisierung zunimmt, je näher mögliche Lösungen die tägliche Praxis berühren und damit verständlicher werden und zudem die wahrgenommene Komplexität reduzieren. Um herauszufinden, wo der ideale Schnittpunkt zwischen Digitalisierungsidee und praktischer Anwendung liegt, waren im Projekt KOMMUNAL 4.0 rund 200 Gespräche mit Verantwortlichen kommunaler Organisationen nötig, um die Ankerpunkte bei kommunalen Projektverantwortlichen für eine ausreichende Bereitschaft zur Teilnahme an Erprobungsprojekten zu identifizieren. Zu Beginn von KOMMUNAL 4.0 wurden die vorgesehenen Anwendungsideen sehr stark aus der Perspektive einer abstrakten Digitalisierungsvision beschrieben,

so dass kommunale Anwender diese Ideen kaum verstanden, bzw. nicht auf eigene Anwendungsbedürfnisse übertragen konnten.

Durch dieses Kommunikationsverhalten der Projektbeteiligten wurde die Unsicherheit noch größer und die wahrgenommene Komplexität auf Anwenderseite weiter verstärkt. Mit der Zeit kam auf Seiten der KOMMUNAL 4.0-Projektbeteiligten die Einsicht über dieses Fehlverhalten. So gingen die Projektbeteiligten immer mehr dazu über, zuerst die Bedürfnislage der Kommunen unter Einbezug sowohl der Führungsverantwortlichen als auch der handelnden Personen im Wasser-/Abwasserbetrieb zu analysieren, um daraufhin passende Digitalisierungsideen bei gleichzeitiger Schulung des fehlenden Hintergrundwissens zu diskutieren. Diese Vorgänge erfolgten meist iterativ in Form ausführlicher Frage-/Antwortsequenzen, bis ein gemeinsames Verständnis der Ausgangssituation der Kommune (Bedürfnislage), der in Frage kommenden Digitalisierungsanwendung und des daraus entstehenden Nutzens vorlag. Diese Vorgehensweise wich stark von üblichen Bedarfsanalysen und Vorplanungsprozessen in der kommunalen Wasserwirtschaft ab. Diese verlaufen bis heute meist linear anhand einer seitens der Kommune formulierten Aufgabenstellung. Oftmals spiegelt die formulierte Aufgabenstellung nicht die vielschichtige Bedürfnislage der Kommune wider, was sich aber erst in der späteren Realisierung zeigt.

3.1.3. Ergebnisse WaterExe4.0 und DigiNaX

Neben KOMMUNAL 4.0 basieren die wesentlichen Inhalte und Didaktikkonzepte des Zertifikatlehrgangs auf den Ergebnissen der Metastudien WaterExe4.0 und DigiNaX der Hochschule Hof. Mit den Metastudien WaterExe4.0 und DigiNaX wurde erstmals der Stand der Digitalisierung in der deutschsprachigen Wasserwirtschaft systematisch untersucht. Darüber hinaus konnten erstmals mit statistisch hinreichender Sicherheit Erfolgsfaktoren und Hemmnisse ermittelt werden, die die Digitalisierung in der Wasserwirtschaft insbesondere auf der Nutzerseite fördern oder bremsen können. Die nachfolgenden Ausführungen zu WaterExe4.0 entstammen im Wesentlichen der Veröffentlichung (Müller-Czygan, Tarasyuk, Wagner, & Wimmer, 2022-1).

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

1. Literatur- und Marktforschung
2. Online-Umfrage
3. Experteninterviews
4. Benutzer-Workshops

Fast 700 Projekte, Produkte, Komplettlösungen, Dienstleistungen und Studien wurden im ersten methodischen Teil identifiziert und anschließend analysiert. Zu diesem Zweck wurden alle deutschsprachigen 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, Sensoren, Softwarelösungen, KI-Systeme, usw.) recherchiert. Ergänzend wurden realisierte Digitalisierungsprojekte im kommunalen Bereich identifiziert.

Für praktische Zwecke konnten vielen WaterExe4.0-Ergebnissen folgende Schlüsselaspekte der Digitalisierung gemäß (Merzlikina, 2019) 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 Analytik, 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 Produktion - "intelligente" Infrastrukturen und Roboterstrukturen und -anlagen mit künstlicher Intelligenz (KI) und Analytik, 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 Verbraucher" z. B. auf der Grundlage von Blockchain-Technologien, Austausch für die Verteilung von Wasserressourcen und Ökosystemdienstleistungen.

In der durchgeführten Online-Befragung, an der sich in beiden Metastudien rund 400 Branchenvertreter der Wasserwirtschaft beteiligten, wurden verschiedene Aspekte der Digitalisierung 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 Umfrage-Teilnehmer: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 Experten aus der Wasserwirtschaft befragt. Die Befragung wurde mittels leitfadengestützter Interviews (Niebert & Gropengießer, 2014) konzipiert, die einerseits auf persönliche Erfahrungen in Digitalisierungsprojekten in der deutschsprachigen Wasserwirtschaft fokussierten, andererseits genügend Freiraum für darüberhinausgehende Gedanken und Hypothesen ließen. Die Interviewauswertung erfolgte auf der Grundlage einer mehrstufigen Inhaltsanalyse nach (Mayring, 2019).

Die identifizierten Digitalisierungselemente (Produkte, Lösungen und Forschungsprojekte) zeigen in der deutschsprachigen Wasserwirtschaft eine Vielzahl an hochentwickelten Technologielösungen. Für nahezu alle Bereiche der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung sind diese mittlerweile

verfügbar. Die Bandbreite reicht von einfachen Sensoren über cyber-physikalische Systeme bis hin zu vernetzten Komplettlösungen. 64 % der identifizierten Digitalisierungselemente sind auf der Unternehmensseite angesiedelt. Auf die Forschung entfallen 25 % aller identifizierten Elemente. Lediglich 11 % sind derzeit bei den kommunalen Wasserversorgungs- und Abwasserentsorgungsunternehmen platziert, was auf ein augenscheinliches Ungleichgewicht zwischen Angebot und Nachfrage hinweist. 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 (Abbildung 2).

Die beschriebene Vielschichtigkeit der Technologiezuordnung spiegelt ansatzweise die Komplexität der Meta-Analyse wider. Die zugewiesenen Kategorien sind teilweise eng miteinander verbunden. Beispielsweise ist "Internet der Dinge" eng mit "Kommunikation" verbunden, "Neurotechnologie 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. Aufgrund des überwiegenden Bedarfs der Anwender an Komplettlösungen erschien dieser Aufwand zudem weder gerechtfertigt noch zielführend. Das Marktgeschehen konnte mit den vorhandenen Informationen hinreichend beschrieben werden.

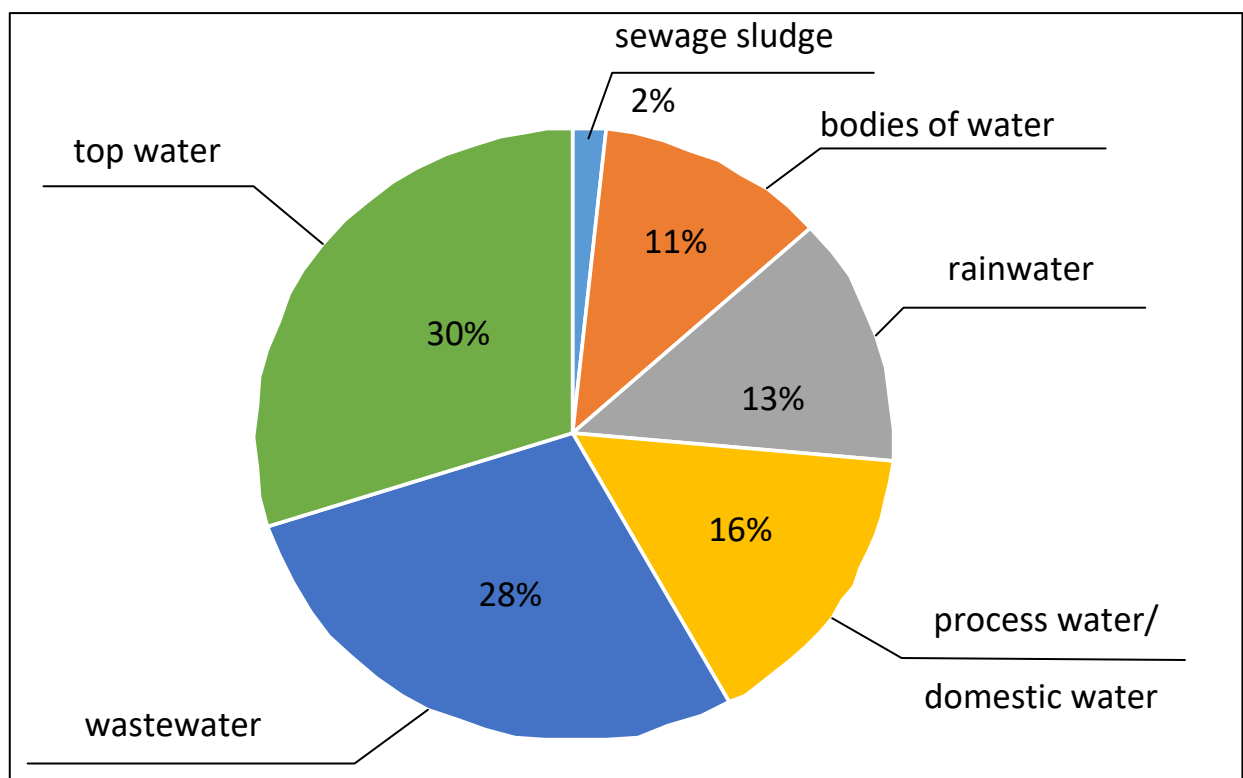


Abbildung 2: Anwendungsbereiche der identifizierten Digitalisierungselemente (n= 698) (Müller-Czygan, Tarasyuk, Wagner, & Wimmer, 2022-1)

Frühere Studien haben bereits darauf hingewiesen, dass die industrielle Entwicklung dem kommunalen Bedarf weit voraus ist (Thom & Ritz, 2019), (Holländer, 2019), (Müller-Czygan, 2020), (Schuster & Wimmer, 2018). Die quantitative Befragung und die qualitativen Experteninterviews zeigten mögliche Gründe für die offensichtlich bestehende Diskrepanz zwischen Angebot und Nachfrage und gaben Hinweise, welche Hindernisse bei den Projekten die größte Rolle spielen. 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, Nullmeier, & Wewer, 2019). Irgendwo zwischen diesen extremen Polen werden sich die 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.

Tabelle 1: Erfolgsfaktoren in Digitalisierungsprojekten (n= 91) (Müller-Czygan, Tarasyuk, Wagner, & Wimmer, 2022-1)

Erfolgsfaktoren	Mittelwert	Abweichung	Standardabweichung
5 = sehr wichtig; 1 = weniger wichtig; 0 = nicht wichtig			
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

Darüber hinaus durften die Umfrage-Teilnehmer:innen ihre individuellen Hindernisse benennen (Tabelle 2). Hier wurden typische Faktoren wie Angst vor Veränderungen oder unzureichende Einbindung der Mitarbeiter sowie technische Aspekte wie ungeklärte IT-Sicherheit und fehlende standardisierte Schnittstellen aufgeführt. Aber auch der Mangel an Zeit, um sich mit den vorhandenen digitalen Möglichkeiten aufgrund ihrer Komplexität und der Priorität von Alltagsaufgaben ausreichend auseinanderzusetzen, hält viele davon ab, ein digitales Projekt zu starten. Zeitmangel könnte entschärft werden, wenn der praktische Nutzen digitaler Angebote und das Verhältnis von Nutzen und Preis sehr früh sichtbar würde. Es würde 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 Mitarbeiterkompetenzen und eine einigermaßen gelungene interne Kommunikation, die mit Unterstützung der externen Experten das Projekt letztlich zum Erfolg geführt haben.

Tabelle 2: Hindernisse in Digitalisierungsprojekten (n= 91) (Müller-Czygan, Tarasyuk, Wagner, & Wimmer, 2022-1)

Hindernisse	Mittelwert	Abweichung	Standard-abweichung
5 = sehr wichtig; 1 = weniger wichtig; 0 = nicht wichtig			
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

Bei den Erfolgsfaktoren durften die Befragten wiederum ihre individuellen Faktoren nennen. Diese reichten 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 Experten 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 (Tabelle 3). 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 berücksichtigt werden können.

Tabelle 3: Nachhaltigkeitsaspekte bei Digitalisierungsprojekten (n=85) (Müller-Czygan, Tarasyuk, Wagner, & Wimmer, 2022-1)

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

Die Umfrage zeigte eine heterogene Verteilung von Branchenteilnehmer:innen mit unterschiedlichen Zuständigkeiten und Digitalisierungskompetenzen. Da parallel zur Umfrage 30 Experten aus Deutschland, Österreich und der Schweiz befragt wurden, konnte ein direkter Vergleich der Expertenaussagen und der Umfrageergebnisse vorgenommen werden, um eventuelle Abweichungen zwischen Experten und "normalen" Anwendern 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 Anwendern / Mitarbeitern" erreicht werden. Beide Faktoren weisen einen deutlichen Abstand zu den nachfolgenden Faktoren auf, was ihre Bedeutung als Erfolgsfaktor für Digitalisierungsprojekte in der Wasserwirtschaft unterstreicht.

Tabelle 4: Vergleich von Expertenaussagen und Umfrageergebnissen (Müller-Czygan, Tarasyuk, Wagner, & Wimmer, 2022-1)

Online-Umfrage	Befragung von Experten	Nennungen (Anzahl)	Anteil (%)
Erkennbarer Zusatznutzen		15	15,15
	Erkennbarer Zusatznutzen	11	8,53
Akzeptanz durch die		10	10,10
	Akzeptanz durch die Nutzer/Personal	11	8,53
Benutzerfreundlichkeit/		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

Eine weitere Übereinstimmung gibt es auch bei Rang 5 mit der Notwendigkeit einer übergreifenden Strategie. In früheren Forschungsprojekten (Müller-Czygan, 2020), (Schuster & Wimmer, 2018) wurde von Branchenteilnehmer:innenn 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 beschafft oder die notwendigen Ressourcen falsch berechnet werden. Dieser Aspekt wurde auch von den befragten Experten als einer der größten Hemmfaktoren in Digitalisierungsprojekten identifiziert. Trotz der Kritik an der Digitalisierung, die sich in den letzten fünf Jahren nicht geändert hat (Müller-Czygan, 2018), (Schuster & Wimmer, 2018), gibt es heute in der Wasserwirtschaft einen deutlichen Unterschied: Die WaterExe4.0- und DigiNaX-Studien haben gezeigt, dass es in der deutschsprachigen Wasserwirtschaft kaum jemanden mehr gibt, der sich nicht mit dem Thema Digitalisierung beschäftigt (Müller-Czygan, Wimmer, Wagner, & Tarasyuk, 2021). Für die befragten Experten hat dasjenige Personal oberste Priorität, welches kommunalen Organisationen für Digitalisierungsprojekte benötigen bzw. ausbilden müssen. 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 Experten die Themen Cloud-Anwendung, automatische Wartung (Predictive Maintenance), IT-Sicherheit und künstliche Intelligenz im Fokus zukünftiger Entwicklungen und Anwendungen.

Durch die Zunahme der verfügbaren Daten (Big Data) 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 Datenverarbeitungen und Datenanalysen völlig autonom durchzuführen, so dass für den zunehmenden Einsatz zusätzliches Personal erforderlich sein wird. Zudem wünschen sich die Anwender in der Wasserwirtschaft auch eine entsprechende Transparenz der internen Prozesse in digitalen Systemen, was den Einsatz von KI-Varianten ebenfalls einschränken wird (*Burrichter, Quirnbach, Oelmann, & Niemann, 2021*).

Aufgrund der Ergebnisse von Vorstudien sowie der eigenen beruflichen Erfahrung war den Autoren der Metastudien 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 Experteninterviews die Vielschichtigkeit von Entscheidungsprozessen deutlich machte. So identifizierte die WaterExe4.0-Studie eine Vielzahl von Faktoren, die für den Erfolg von Digitalisierungsprojekten entscheidend sind. Die Angaben der Teilnehmer:innen an der Online-Befragung und der befragten Experten 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 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. Alle quantitativen Abfragen sowie die qualitativen freien Aussagen wurden 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:innenn genannten Erfolgsfaktoren analysiert. So konnten laut Tabelle 5 insgesamt 19 Erfolgskriterien identifiziert werden, die von allen Studienteilnehmer:innenn als relevant eingestuft wurden. Um die Wichtigkeit der Expertenaussagen 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 Expertenaussagen war notwendig, da davon ausgegangen werden konnte, dass das Wissen und die Erfahrung der Experten 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 Practice" 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.

Tabelle 5: Von allen Umfrageteilnehmer: innen genannte Erfolgsfaktoren (Müller-Czygan, Tarasyuk, Wagner, & Wimmer, 2022-1)

Erfolgsfaktoren der Online-Umfrage und der Experten	Bewertung der Online-Umfrage	Bewertung Experten	Gesamtbewertung
Chancen, die Digitalisierung voranzutreiben			
Pilotprojekte/Best Practice	3	16	19
Generationswechsel/Kulturwandel/	2	6	8
Veränderung der Zusammenarbeit	1	4	5
Entwicklung der Managementebene	1	4	5
Das Personal einbeziehen und ihm	4	4	8
Gemeinsame Datenbank für alle	3	2	5
Erfolgsfaktoren bei Digitalisierungsprojekten			
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	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
Vielversprechende Technologien/Lösungen für die Zukunft			
IoT	1	2	3

Die Studie hat gezeigt, dass nur ein kleiner Teil der vielfältigen Forschungsideen und der zahlreichen Produkte und Lösungen in der kommunalen Wasserwirtschaft umgesetzt werden. Die Hauptgründe für dieses Umsetzungsdefizit liegen nach Ansicht der Befragten und der interviewten Experten 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 eine enorme Mehrbelastung zu Beginn von Digitalisierungsprojekten bedeutet. Hier wünschen sich die Umfrage-Teilnehmer:innen eine bessere Integration von Digitalisierungsprojekten in den Arbeitsablauf des Alltags. Im Mittelpunkt eines Digitalisierungsprojektes muss der Mitarbeiter stehen und nicht nur die technische Lösung, dies unterbleibt in vielen Fällen. Der Fokus ist auf die zugewiesene Rolle der Mitarbeiter in einem Digitalisierungsprojekt zu legen, da sie nach Meinung der Umfrage-Teilnehmer:innen die stärksten Treiber (oder das größte Hindernis) für erfolgreiche Projekte sind. Fehlen ausreichend qualifizierte Mitarbeiter, stoßen Projekte auf zahlreiche und vielfältige Schwierigkeiten und der gewünschte Erfolg bleibt aus. Die Umfrage-Teilnehmer:innen verbinden mit der Digitalisierung dennoch die Hoffnung, zukünftige Herausforderungen, wie z. B. den Klimawandel, besser zu meistern und den Mitarbeitern den Arbeitsalltag zu erleichtern.

Die klare Botschaft von Umfrage und Experteninterviews: sie sieht den Menschen als zentralen 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 die Auswertung ihrer Ergebnisse erfordern. Es ist daher die gemeinsame Aufgabe von Industrie, Wissenschaft und kommunalen Anwendern, 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 Anwenderseite 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 zu hören. Industrieunternehmen und Forscher 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 dem Anwender nicht in aller Klarheit und Tiefe dargestellt, wird es schwierig sein, eine ausreichende Akzeptanz und damit eine Projektumsetzung zu erreichen.

3.1.4. Die Rolle von Komplexität

Hochwasser- bzw. Überflutungsereignisse infolge Starkregen treten in Deutschland immer häufiger auf. Starkregen liegt vor, wenn in kurzer Zeit und lokal begrenzt in einer Stunde 15 – 25 mm bzw. in 6 Stunden 20-35 mm Regen fällt¹⁴. Starkregen verursacht in Verbindung mit heftigen Gewittern oft große Schäden. Im Gegensatz zu Hochwasser an großen Flüssen ist der genaue Ort und Zeitpunkt schwer vorherzusagen und stellt deshalb eine der größten Herausforderungen für die Infrastruktur in Kommunen und Städten dar. Verschlimmert wird die Situation auch deshalb, weil die Kanäle die anfallenden Wassermassen nicht mehr aufnehmen können, obwohl noch Speichervolumen vorhanden ist. Kanalsysteme gibt es in Deutschland seit 1842. Sie dienten zuerst ausschließlich der Sammlung und schnellen Ableitung aller Schmutzwässer zur Verhinderung von Seuchen und Krankheiten, später kam Regenwasser mit hinzu. Seit vielen Jahren steht die Ortsversickerung bzw. -ableitung von Niederschlagswasser im Vordergrund vor der Einleitung in den Kanal (DWA-ES-1, 2023). Im Zentrum zukünftiger Maßnahmen steht zunehmend die optimale Nutzung des bestehenden Kanalnetzvolumens und der zugehörigen Speicherbauwerke (Regenbecken) durch eine intelligente Datenerfassung und Kanalnetzsteuerung, insbesondere um die Entlastung von ungereinigtem Mischwasser in die Gewässer zu vermeiden, aber auch um Wasseraustritte in urbanen Bereichen aus Kanaldeckeln zu unterbinden. Bereits seit drei Jahrzehnten werden auf Expertenseite die Vorteile einer zielgeführten Abflusssteuerung in Kanalsystemen diskutiert (siehe z. B. (Kaul & Werker, 1988), (Weyand, 1999)). Sie hat vor fast 20 Jahren auch Eingang in erste technische Regelwerke gefunden hat (DWA, 2005).

(Schilling & Xantopoulos, 1996) beschreiben bereits 1996 die wesentlichen Ziele einer Abflusssteuerung, die bis heute ihre Gültigkeit nicht verloren haben: „Kanalisationsanlagen im Mischsystem haben die grundlegenden Funktionen der Wasserableitung zum Vorfluter und der Schmutzstoffableitung zur Kläranlage. Im Idealfall sollten Überflutungen im Entwässerungsgebiet und Regenentlastungen in die Vorfluter nicht auftreten. Falls sie nicht vermeidbar sind, sollten sie wenigstens nur dann auftreten, wenn zur selben Zeit die zur Verfügung stehenden Sammler und Speicher ihre Kapazitätsgrenzen erreicht haben und möglichst nur dort, wo der Schaden am geringsten ist. Für die unendlich vielen möglichen Belastungszustände kann ein Kanalnetz zwangsläufig nicht optimal arbeiten. Trotz Überlauf oder gar Überstau kann Transport- oder Speicherkapazität ungenutzt sein. In derartigen Fällen sind diese Schäden vermeidbar oder wenigstens verminderbare durch eine laufende Beeinflussung der Abwasserableitung, kurz: durch Bewirtschaftung oder Steuerung“.

Auch die optimale Abstimmung von Kanalnetzbetrieb und Kläranlage wurde von (Schilling & Xantopoulos, 1996) vor fast 30 Jahren bereits diskutiert, um sowohl die Speicherkapazitäten im Kanal bzw. den zugehörigen Regenbecken als auch die Reinigungskapazitäten der Kläranlagen besser zu nutzen. Bemerkenswert und aktueller denn je werden auch die von (Schilling & Xantopoulos, 1996) genannten Argumente eingeordnet, die für eine Abflusssteuerung sprechen.

¹⁴ https://www.dwd.de/DE/wetter/warnungen_aktuell/kriterien/warnkriterien.html

Daher werden sie nachfolgend ebenfalls aufgeführt:

- „Im Mischverfahren betriebene Kanalnetze verursachen Gewässerverunreinigungen, die nicht vernachlässigbar sind.
- Die Auswirkungen von Mischwasserentlastungen werden mit besserer Kläranlagenleistungen zwar nicht gravierender, aber deutlicher. In Extremfällen wird Fischsterben nach Ansprungen von Mischüberläufen erst durch eine wirksame Abwasserbehandlung vermieden.
- Es ist ausgesprochen teuer, Mischwasserüberläufe und hydraulische Überlastungen mit konventionellen Mitteln wie dem Bau zusätzlicher Sammler und Becken zu verringern. Dies gilt insbesondere für den letzten m³ eines Regenbeckens, der nur wenige Male pro Jahr aktiviert wird.
- Vermutlich gibt es kein wasserwirtschaftliches System, in dem die Diskrepanz zwischen Entwurfs- und Betriebsbedingungen so groß ist wie bei Mischkanalisationen. Während mehr als 90 % der Zeit werden Mischwassernetze mit weniger als 10 % ihrer Transportkapazität beaufschlagt. Diese Diskrepanz eröffnet Handlungsspielraum, der mit Hilfe der Kanalnetzbewirtschaftung nutzbar gemacht werden kann.“

Ebenfalls haben (Schilling & Xantopoulos, 1996) bereits maßgebende Gründe der Notwendigkeit einer datenbasierten Verbundsteuerung genannt, die auch heute als wichtige Kriterien im Zuge einer Kosten-Nutzen-Analyse für ein digitales dynamisches Kanalnetzmanagement herangezogen werden können:

- je mehr unabhängig aktivierbare Steuerungseinrichtungen vorhanden sind
- je ungleichmäßiger deren Beaufschlagung bzw. Überlastungsverhalten sind
- je variabler die Betriebsbedingungen sind
- je strenger die Anforderungen an das Betriebsergebnis sind

Im weiteren Verlauf ihres Buchkapitels beschreiben (Schilling & Xantopoulos, 1996) die wesentlichen Hinderungsgründe für den Einsatz solcher Verbundsteuerungen, die teilweise bis heute gegen solche Systeme von Anwenderseite angebracht werden (siehe z. B. (Müller-Czygan, Wimmer, Wagner, & Tarasyuk, 2021)). In erster Linie werden die damals hohen Kosten für Fremdenergie (Stromversorgung Aktoren), Datenfernübertragung und Steuerungszentrale genannt, die im Vergleich zur baulichen Erweiterung von Speicherräumen standen. Ein weiteres Problem war die Entwicklung passender Steuerungsstrategien, da bereits der Aufwand zur Installation lokaler Steuerungen als sehr hoch bewertet und der nächste Schritt zur Verbundsteuerung gescheut wurde. Damals wie heute war es den Anwendern nicht bewusst, welche Potenziale mit einer Verbundsteuerung gehoben werden konnten. Die Metastudien WaterExe4.0 und DigiNaX haben gezeigt, dass bis heute der Mehrwert von insbesondere komplexen Digitalisierungslösungen wie ein dynamisches Kanalnetzmanagement beim Betreiber gar nicht oder nur unzureichend ankommt.

Neben den rein wasserwirtschaftlichen Zielen spielt das Thema Energieeffizienz eine weitere wichtige Rolle für den Einsatz digitaler Kanalnetzmanagementsysteme unter Einbezug von Kläranlagen (Müller-Czygan, Wiese, Fischer, Zenke, & Frigger, 2021). Zusammenfassend gehören digitale

Verbundsteuerungen zu den Digitalisierungslösungen der Wasserwirtschaft mit der höchsten Komplexität.

Die Verantwortung zur Lösung komplexer klimarelevanter Herausforderungen (dazu gehört auch zunehmend der Sektor Wasserwirtschaft als auswirkungsrelevanter Bereich (Ludwig & Moench, 2012)) wird z.B. in der Sozialwissenschaft in erster Linie als gesellschaftliches Handlungsproblem gesehen, und weniger als lokale Aufgabe (Beck, Böschen, Kropp, & Voss, 2013). Zweifelsohne ist zur Bewältigung derart komplexer Herausforderungen eine Steuerung auf mehreren Ebenen erforderlich, die von der kleinsten lokalen Ebene bis hin zu grenzüberschreitende Kollaborationen mit unterschiedlichen Akteursgruppen erfolgen muss. Dabei sind verschiedene Wissensformen zu integrieren und es ist umsichtig mit den unvermeidlichen Unsicherheiten und Interessenkonflikten umzugehen, insbesondere bei zunehmender Komplexität (Kropp, 2014). Der Klimawandel und die Anpassung an ihn stellen wegen ihres langfristigen Horizonts, ihres globalen Charakters und der massiven Unsicherheiten für die Politikgestaltung Herausforderungen von bisher ungekanntem Ausmaß dar. Um diese (lokal auch unterschiedliche) Komplexität einigermaßen zu erfassen, werden zunehmend Netzwerk- und agentenbasierte Modelle verwendet, um aus dem Gleichgewicht geratene Dynamiken, Kippunkte und große Übergänge in sozioökonomischen Systemen zu beschreiben. Diese Klassen von Modellen betrachten die reale Welt als ein komplexes, sich entwickelndes System, in dem die Interaktion vieler heterogener Agenten, die möglicherweise über verschiedene räumliche und zeitliche Skalen hinweg reagieren, zur Entstehung von Aggregateigenschaften führen, die sich nicht durch eine einfache Aggregation von Einzeleigenschaften ableiten lassen (Balint, et al., 2017). Ergänzend sind auf sozialer Seite Erfordernisse und Beweggründe für Klimaanpassungsaktivitäten offen zu legen, Handlungserfordernisse in der Region zu priorisieren und bedarfsgerechte Maßnahmen zu ergreifen. Dazu müssen relevante Akteure und ihre klimawandelbedingten Betroffenheiten identifiziert werden. Ebenso ist die Wirksamkeit klimatischer Veränderungen sowie Funktionsstörungen in ökologisch-biologischen oder auch sozio-ökonomischen Systemen zu ermitteln. Wird eine Akteur spezifische Betroffenheitsanalyse ergänzt, ist eine Vielzahl komplexer Klimafolgen zu berücksichtigen. Eine Betroffenheitsanalyse gibt auch Auskunft über potenzielle (soziale) Konflikte und Synergien, die bei der Entwicklung einer integrierten regionalen Klimawandelstrategie auftreten können (Chrischilles & Mahammadzadeh, 2010).

Dem steht die Notwendigkeit des lokalen kommunalen Handelns gegenüber, bei der zunehmend dezentrale Strategien und Techniken an Bedeutung gewinnen (Hennicke & Wagner, 2017). Wie schwierig die Übereinkunft zwischen globalen Entscheidungen und lokal spezifischen Individualnotwendigkeiten im Kampf gegen den Klimawandel sind, zeigen die Untersuchungen von (Ofgeha & Abshare, 2021) in ländlichen Regionen Äthiopiens. Obwohl lokal Anpassungseinschränkungen festzustellen waren, konnten neue kontextgerechte Strategien entwickelt werden, so dass die lokale Gemeinschaft durch adaptives Lernen passende Anpassungen entwickeln konnten.

Aus der Analyse lässt sich schlussfolgern, dass historische Erfahrungen lokaler Gemeinschaften durchaus geeignet sind, lokale Umwelt- und Klimadynamiken zu berücksichtigen und naturangepasste

Strategien zu entwickeln, die einen wichtigen Baustein im Zuge der aktuell notwendigen Klimaanpassung bildet. Je stärker die globalen Klimaauswirkungen auch lokal Einfluss nehmen, desto geringer ist die Wirkung lokaler Anpassungsstrategien. Allerdings konnten (Ofgeha & Abshare, 2021) zeigen, dass erste gute Ergebnisse durch staatliche (globale) Eingriffe konterkariert wurden, wodurch bis dahin freie Anpassungen unterbrochen wurden, und das adaptive Lernen der Gemeinschaft verschlechterte sich. Lokale und globale Anpassungsstrategien stellen damit wichtige Elemente im Kampf gegen den Klimawandel da, sind aber kontextabhängig im richtigen Verhältnis festzulegen. Auf Gemeinschaftsebene haben (Green, et al., 2021) untersucht, ob sich die Anpassungsfähigkeit der einzelnen Haushalte einer Gemeinschaft von der Anpassungsfähigkeit der Gemeinschaft als Ganzes unterscheidet. Dazu werteten sie 22 Fallstudien zur Kleinfischerei aus 20 Ländern aus. Dabei wurden folgende Unterschiede festgestellt:

- Anpassungsreaktionen auf Gemeinschaftsebene traten nur in Situationen auf, in denen die Gemeinschaft Zugang zu Vermögenswerten hatte, und zwar in Kombination mit anderen Bereichen wie Diversität und Flexibilität, Lernen und Wissen sowie Naturkapital.
- Anpassungsfähige Haushalte zeigten Vielfalt und Flexibilität, wenn sie durch eine starke Regierungsführung oder Institutionen unterstützt wurden, und waren oft in der Lage, Lernen und Wissen sowie Naturkapital durch andere zu ersetzen.

(Green, et al., 2021) kommen zu dem Schluss, dass standardisierte Maßstäbe für die Anpassungsfähigkeit von entscheidender Bedeutung für die Entwicklung wirksamer Strategien zur Förderung der Widerstandsfähigkeit von Gemeinschaften sind, die von natürlichen Ressourcen abhängen, und für das Verständnis, wie soziale und ökologische Aspekte von Gemeinschaften interagieren und die Reaktionen beeinflussen.

Im urbanen Bereich zeigen Fallstudien zu städtischen Herausforderungen die wachsende Komplexität des Managements der Wechselbeziehungen zwischen Bevölkerung, Infrastruktur und Institutionen. Der Klimawandel erhöht den Druck auf viele urbane Systeme und trägt zu dieser Komplexität bei. Fallstudien, die die städtische Dynamik im Lichte des Klimawandels untersuchen, haben enge, sektorspezifische Ansätze gewählt. Nur wenige Projekte haben auf den Erkenntnissen der Komplexitätstheorie und verwandter Wissensgebiete aufgebaut, die eher mit der Perspektive übereinstimmen, dass städtische Infrastruktursysteme eng miteinander verbunden sind und auf oft subtile, langfristige Veränderungen der technologischen, sozialen und ökologischen Bedingungen reagieren müssen (Ruth & Coelho, 2015). Zudem gibt es Untersuchungen, die zeigen, dass notwendige (lokale) Anpassungsstrategien zu positiven synergetischen Effekten in einer klimawandelbezogenen Komplexitätsmatrix führen.

Am Beispiel des Wassermanagements zeigen (Lv, et al., 2020) auf, dass eine gezielte und restriktive Wasserverteilung durch das urbane Wassermanagement notwendige und bislang unterlassene Transformationen der Landwirtschaft und Industrie (insbesondere Energieeinsparung) beschleunigt. (Power, 2009) plädiert beispielsweise, das klassische Risikomanagement durch ein Kontinuitätsmanagement zu ersetzen, da hierbei der Fokus auf erforderliche Maßnahmen zur Aufrechterhaltung der gefährdeten Prozesse gelegt wird, und im Ergebnis wirksamer ist als das

klassische Risikomanagement. Das der steigende Anpassungsdruck durch den Klimawandel in urbanen Räumen auch Innovationen auslösen und beschleunigen kann, zeigen (Singh, Madhavan, Arvind, & Bazaz, 2021) anhand einer Untersuchung zahlreicher indischer Städte.

Zunehmend untersuchen auch Psychologen die Auswirkungen der Komplexität des Klimawandels auf die Psyche des Menschen und wie diese damit umgehen können. Kenntnisse darüber haben insbesondere bei der Kommunikation und damit für die Akzeptanz empfohlener oder angeordneter Anpassungsstrategien eine hohe Bedeutung. (Mah, Chapman, Markowitz, & Lickel, 2020) ermittelten in ihren Untersuchungen drei grundlegende Erkenntnisse für Strategien zur Förderung der adaptiven Bewältigung und der Resilienz gegenüber dem Klimawandelstress:

- Es ist unwahrscheinlich, dass es nur einen einzigen "richtigen" oder "besten" Weg gibt, um über die adaptive Bewältigung des Klimawandels zu kommunizieren, aber es gibt etablierte Best Practices, die Kommunikatoren befolgen können.
- Bei der Umsetzung bewährter Verfahren müssen die Auswirkungen der unterschiedlichen Arten von Stress, die durch den Klimawandel verursacht werden, sowie die individuellen Unterschiede in der Art und Weise, wie Menschen chronisch auf Stressoren reagieren, berücksichtigt werden.
- Da Individuen, Gemeinschaften und Ökosysteme miteinander verbunden sind, muss die Arbeit zur adaptiven Bewältigung des Klimawandels die individuelle Bewältigung im Zusammenhang mit der Widerstandsfähigkeit von Gemeinschaften und Ökosystemen betrachten.

Um insbesondere die junge und jüngste Generation auf die Folgen des Klimawandels vorzubereiten, haben (Stevenson, Nicholls, & Whitehouse, What is climate change education?, 2017) den Einbezug des Themas Klimawandel in australischen Schulen untersucht. Sie kommen zu dem Schluss, dass das Ziel darin bestehen sollte, die Lernenden (Schüler) auf eine ungewisse Zukunft vorzubereiten, indem ihnen geholfen wird, die Fähigkeiten (d. h. Wissen, Fähigkeiten, Einstellungen und Werte) zu erwerben, um mit zukünftigen Herausforderungen umzugehen.

Damit dies erreicht wird, müssen Pädagogen den Klimaschutz und die Anpassung an den Klimawandel auf eine Art und Weise überdenken, die nicht nur technisch, sondern auch sozial transformativ ist, indem sie Lehr- und Lernansätze verwenden, die die Kreativität nutzen und die Schüler befähigen, zu handeln. Dabei ist zu beachten, dass ein rein problemfokussiertes Coping, das auf direkte Handlungen zur Lösung der Klimakrise abzielt, dabei leicht zu Überforderungen einzelner, gerade junger Personen führt kann, weil diese alleine wenig gegen den Klimawandel unternehmen können (Hunecke, 2022).

(Stevenson, Nicholls, & Whitehouse, 2017) stellen weiter fest, dass pädagogische Antworten auf den Klimawandel am besten in Form von aktivem sozialem Lernen erfolgen, was die Fähigkeit zu persönlicher und gesellschaftlicher Veränderung fördert. Die derzeitige Klimabildung neigt jedoch dazu, "die Reaktion der Gesellschaft widerzuspiegeln" (Kagawa & Selby, 2010), wobei sich die Lehrpläne auf wissenschaftliche Erkenntnisse oder das "Klima" in der Klimabildung konzentrieren und den "Wandel" ignorieren, wodurch den Folgen des Klimawandels oder der Notwendigkeit der Anpassung an die Auswirkungen auf menschliche Siedlungen und Aktivitäten wenig Aufmerksamkeit geschenkt wird (siehe z. B. (Stevenson & Stirling, 2011)).

Aber wer steuert die erforderlichen Anpassungen und mit welchen Instrumenten? Auf der Basis welcher Regulierungsmöglichkeiten, mit welcher Legitimität und welchen Prioritäten? Was läuft lokal, was muss global gesteuert werden? Der Vorteil eines Steuerungskonzepts liegt in der Überwindung der Trennung von regionalen und internationalen Steuerungsregimen bzw. Steuerungsmodi (Börzel, 2008). Hierbei wird verstärkt auf die Potenziale netzwerkartiger und dialogischer Kooperation gesetzt. In diesem Zusammenhang wird dann von ‚Governance‘ gesprochen, wenn es darum geht, komplexe Regelungsaufgaben in Formen der Kooperation und Koordination auf unterschiedlichen Ebenen, Akteursgruppen, Politikfeldern und Institutionen zu überführen (Brunnengräber, 2013). Interessanterweise haben sich frühere Theorien der politischen Steuerung, insbesondere in den 1950er und 1960er Jahren, am Vorbild der Kybernetik orientiert (Mayntz, 1996). Der Rückgriff der Politik auf die Kybernetik war durch dessen vermeintlich neutralen Begriffe wie Black Box, Rückkopplung, Input, Output, Resonanz, Redundanz u. a. begründet, da sich dadurch scheinbar auch soziale und politische Vorgänge beschreiben und besser modellieren ließen. Allerdings gibt es nach (Willke, 1991) einen wesentlichen Unterschied zwischen politikwissenschaftlichen und soziologischen Systemtheorien. Die Politikwissenschaft fragt danach, wie sich das politische System gegenüber Umweltänderungen flexibel durch Handlungen anpassen lässt und damit seine Stabilität beibehält. Demgegenüber stellt die soziologische Systemtheorie die autopoietische (Prozess der Selbsterhaltung) Geschlossenheit in den Mittelpunkt. Aus (Luhmann, 1982) lässt sich mit Bezug zu (Parsons, 1937): „An act is always a process in time“) eine Öffnung ableiten in dem Sinne, dass Handlungen niemals in sich geschlossen sind, sondern erst durch die Zeit ihre Wirkung entfalten und damit veränderbar sind.

Dass weder das politische noch das soziologische Modell der Autopoiesis heutzutage zur Steuerung von Komplexität geeignet ist, zeigt das zahlreiche Versagen regionaler, nationaler und internationaler Politik in Bezug auf den Kampf gegen den Klimawandel (Han & Ahn, 2020). Die kybernetisch basierten Theorien der politischen Steuerung gingen vereinfacht von einem zentralen politischen Akteur aus (die Regierung), der mit den Steuerungsobjekten und „Inputs“ aus der Umwelt einen kontrollierbaren Regelkreis bildete (Kevenhörster, 1984). Dieses Modell wurde vom technokratischen Geist der 1960er und 1970er Jahre stark beeinflusst.

Die Verbreitung von Großrechnern in die Regierungszentralen und das damit verbundene Denken in rationalen Algorithmen bestärkte die Politik in ihrem Glauben, dass gutes Regieren wesentlich eine Frage des richtigen Informationsmanagements sei und dieses wiederum eine Sache für Experten (Mai, 2016).

Derzeit entsteht der Eindruck, dass erneut digitalen Systemen eine maßgebliche Rolle bei der Problemlösung des Klimawandels zugeschrieben wird (Dwivedi, et al., 2022), (Müller-Czygan, Tarasyuk, Wagner, & Wimmer, 2022-1). Hier ist aber gemäß den Hofer Metastudien unter der Leitung des Autors Vorsicht walten zu lassen (siehe Kapitel 3.1.3). Ebenfalls wurde versucht, das Modell der Autopoiesis in öffentliche Verwaltungsprozesse zu übertragen, da man sich insbesondere auf Seiten der Organisationswissenschaft Effizienzgewinne durch eine bessere Selbststeuerung von Verwaltungsorganisationen erhoffte (Kickert, 1993). Ein Vorteil des Transfers der Autopoiesis in die öffentliche Verwaltung wird darin gesehen, dass sie die zentralen Anliegen einer öffentlichen Verwaltung

in ein komplexes Bild von Gesellschaft als Ganzes einordnet, in dem sowohl die Behörde die Entscheidungen trifft als auch der von diesen Entscheidungen betroffene Bereich einbezogen wird (Brans & Rossbach, 1997).

Eine wesentliche Kritik an autopoietisch basierten politischen Modellen bestand darin, dass sie nur bei Abwesenheit externer Beschränkungen funktioniert, also stabile Verhältnisse benötigt (Scharpf, 1988). (Kooiman & Van Vliet, 2000) betonen in diesem Zusammenhang, dass die Natur der Selbstregulierung in Bezug auf öffentliche bzw. gesellschaftliche Verwaltungsbereiche noch nicht vollständig verstanden sind, und schlagen daher zwei mögliche Perspektiven zur Anwendung vor. Erstens eine systemorientierte Perspektive, die sich auf die operative Geschlossenheit von Systemen konzentriert. Die zweite befasst sich mit einer Akteurs orientierten Perspektive, die die Situationsabhängigkeit der tatsächlichen Möglichkeiten zur Nutzung der Selbstverwaltung betont. Darüber hinaus wird empfohlen, einen dritten, interaktionellen Ansatz dazu zuzunehmen, der die Notwendigkeit betont, gesellschaftliche Interaktionen in ihrer ganzen Komplexität, Dynamik und Vielfalt zu verstehen, in denen Selbststeuerungskapazitäten erschlossen werden. (Esmark & Triantafillou, 2016) führen im Zusammenhang mit Luhmanns Selbststeuerungsmodellen die Wichtigkeit einer Mehrebenenanalyse auf, die eine gewisse Nähe zur eingesetzten Mehrebenenanalyse in den Schwammprojekten der Hofer Forscher aufweist, auf die nachfolgend näher eingegangen wird.

Gerade die Ausweitung der Untersuchung von Selbststeuerungskapazitäten auf mehrere Ebenen ist ein wichtiger Aspekt bei der Debatte um die Frage der richtigen Steuerung von politischen und verwaltungstechnischen Systemen bzw. Organisationen. Anhand des niederländischen Systems der Raumplanung haben (Van Assche, Beunen, & Duineveld, 2012) mit Hilfe eines analytischen Rahmens der Systemtheorie Funktionen von Misserfolgs- und Erfolgsszuschreibungen in der öffentlichen Verwaltung im Kontext rhetorischer Funktionen, Leistungen, diskursiven Konfigurationen und Folgen untersucht.

Es wird aufgezeigt, wie sich Erfolg und Misserfolg gegenseitig bedingen, damit das „System Raumplanung“ in einer Art Selbstreproduktion aufrechterhalten wird. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass der Planungsapparat aus dem Blickwinkel der autopoietischen Kontinuität nicht funktionieren kann, wenn der Prozess nichts findet, was er verbessern kann.

Dabei ist das Eingeständnis früherer Misserfolge (oft die Misserfolge anderer Akteure) ein geringer Preis für diese autopoietischen Kontinuität des Planungssystems: die Antwort auf Planungsprobleme ist mehr Planung, und um sich selbst zu „reproduzieren“ erfordert dies das ständige Auffinden (und damit die diskursive Schaffung) von Planungsproblemen.

Dies erinnert stark an Lösungsformen, die das Problem nicht nur nicht lösen, sondern sogar noch verschlimmern, denn angesichts anhaltender Schwierigkeiten neigen alle Lebewesen dazu, das katastrophale Rezept des "mehr vom Gleichen" anzuwenden (Watzlawick, 2010). Watzlawick schlägt drei Interventionen vor, wie dieses selbstreferenzielle Problem-Lösung-Problem-System durchbrochen werden kann:

- Direkte Verhaltensvorgaben: diese sind angezeigt, wenn der Widerstand minimal zu sein scheint und die Klienten bereit sind, die Anweisungen der „Autorität“ zu befolgen.
- Paradoxe Interventionen: diese sind angezeigt, wenn die Klienten behaupten, das Problem sei unkontrollierbarer Natur, gegen dessen angeblich spontanes Erscheinen („Damit habe ich nicht gerechnet“) sie machtlos sind.
- Positive Konnotationen: diese Klasse von Interventionen ist angezeigt, wenn der Beratende auf maximalen Widerstand gegen Veränderungen stößt. Mitglieder von Organisationen berichten in der Regel, dass sie bereits mehrere Berater aufgesucht haben, die ihnen alle nicht helfen konnten oder ihnen nicht die "richtige" Art von Hilfe geben konnten.

Diese drei Arten von Interventionen erfordern eine sorgfältige Planung und sie müssen die scheinbar trivialsten Details einer gegebenen Problemsituation berücksichtigen. Insbesondere die Art und Weise der Kommunikation ist von entscheidender Bedeutung. Sie müssen in einer Sprache/Form vermittelt werden, die der Art und Weise entspricht, wie die Empfänger die Realität wahrnehmen, und nicht auf der Grundlage dessen, was der Beratende für „real“ hält (Watzlawick, 2010).

Das alles bedeutet, dass Politik und Verwaltung, die mit den Erkenntnissen der Komplexitätstheorie im Einklang steht, eine breite Palette potenzieller Entwicklungspfade für die städtische Dynamik antizipieren, Strategien ermitteln und umsetzen muss, die unter einer Reihe potenzieller Entwicklungen robust sind, die politischen Entscheidungs- und Verwaltungsinstitutionen kontinuierlich erneuern und den Wissensaustausch zwischen Wissenschaft und Gesellschaft intensivieren. Auf der anderen Seite weisen Programme zum Umgang mit dem Klimawandel (Abminderung und Anpassung) jedoch in der Regel ein hohes Maß an Komplexität auf, was ihre Messbarkeit und damit ihre Bewertung in Frage stellen kann (DeCoste & Jyotsna, 2019), und damit in ihrer Akzeptanz bei Entscheidern sinkt. (DeCoste & Jyotsna, 2019) schlagen verschiedene Evaluationsverfahren vor, um komplexe Systeme bewerten zu können (siehe Tabelle 6).

Tabelle 6: Vorgeschlagene Ansätze aus der Literatur zur Evaluierung komplexer Systeme (DeCoste & Jyotsna, 2019)

Method	Description	Benefits
Emergent logic models	Convey multiple causal strands at different levels of analysis in a logic model and adapt the model as new outcomes emerge.	Addresses the challenge of overly simplistic single causal models by capturing emergent outcomes, which occur only during and after interventions as a product of interactions
Network Theory	Present agents in the system as nodes and the connections between them as networks. Analyze the behaviours and frequency of interactions between nodes.	Helps understand patterns in peer effects, cooperation and the spread of information

Most Significant Change	Collect and analyze stories on which interventions appear to stakeholders to have provoked the most significant change	Engages stakeholders in the evaluation process and helps recognize unanticipated emergent properties.
Time Series or Panel Data	Analyze data from multiple periods(time series) and/or for multiple different outcomes (panel data) to measure change over time	Facilitates the capture of trends that are not observable in a randomized setting due to temporal and feasibility constraints
Outcome evidencing	Identify outcomes that appear most important to measuring change in a program, examine critical linkages and who are experiencing change, analyze findings, and repeat this process	Allows for iterative and realtime learning; the evaluation can adapt as the complex system evolves
Sentinel indicators	Identify outcomes that act as "keystone species" to indicate the overall health or success of a system	Prioritizes the evaluation's most important outcomes; creates a simple decision rule as to whether an intervention is successful

Bei der Anwendung komplexer Evaluationssysteme ist zudem darauf zu achten, dass die Nutzer derartiger Evaluationssysteme über die notwendige kognitive Komplexität verfügen. Da auch der Glaube bzw. der Nicht-Glaube an den Klimawandel die Bewertung erforderlicher Maßnahmen beeinflusst, darauf weisen (Chen & Unsworth, 2019) in ihren Untersuchungen zur Beziehung zwischen kognitiver Komplexität und dem Glauben an den anthropogenen Klimawandel hin. Daraus lässt sich schließen, dass Systeme zur Analyse und Evaluation von Komplexität nur sinnvoll eingesetzt werden können, wenn diese Systeme auf die kognitive Komplexität der Anwender angepasst sind.

Die im Zuge der Lehrgangskonzeption und -durchführung aus dem Bereich Schwammstadt adaptierte „Mehrebenenanalyse“ (Müller-Czygan & Schmidt, 2023) berücksichtigt erstmals die Erkenntnisse der zuvor beschriebenen wissenschaftlichen Studien und Ergebnisse der System- und Komplexitätsforschung in einer ingenieurwissenschaftlichen Methode im Bereich der Infrastrukturplanung. Da die Ingenieurwissenschaft ähnlich wie die Politik bislang in ihren „systemischen“ Modellen und Werkzeugen von einer stabilen Umgebung ausgegangen ist, werden insbesondere viele kleine, für die Ingenieurwissenschaft unbedeutend eingestufteten Wirkkriterien vernachlässigt und ihre Auswirkungen nicht berücksichtigt. In der vorgestellten Mehrebenenanalyse ist dies nicht vorgesehen, die Systematik erlaubt ausdrücklich die Berücksichtigung auch kleiner Details, teilweise sind diese bereits vorbelegten Listen der Standardkriterien enthalten.

Komplexe Zusammenhänge in Systemen, können nach (Rieß, Schuler, & Hörsch, 2015) erst erkannt und gesteuert werden, nachdem das zu betrachtende System ausreichend analysiert und verstanden wurde. Eine dafür erforderliche Fähigkeit stellt das systemische Denken dar, welches zwar bereits seit mehr als 50 Jahren zu den wünschenswerten Grundfähigkeiten von Ingenieure:innen und

Naturwissenschaftler:innen zählt (v. Bertalanffy, 1969) in der umwelt- bzw. wasserwirtschaftlichen Lehre und Praxis aber nur selten und zumeist unvollständig bzw. auf einzelne Fachbereiche Anwendung findet (Müller-Czygan, 2018-2), (Schröder & Daschkeit, 2002), (Apitz & Müller, 1999). Eine Ausnahme stellt das Programm „Wassezukunft Bayern 2030“ dar, welches ausdrücklich eine systemische Herangehensweise anspricht.

(Rimböck, 2023) beschreibt die „mannigfaltigen neuen und erweiterten Anforderungen“, die ein zukünftiges Hochwasserrisikomanagement zu beachten haben und mit System Engineering angegangen werden sollten. Er fordert eine Neuausrichtung des planerischen Arbeitens, insbesondere in den Bereichen räumliche, zeitliche und thematische Betrachtung und orientiert sich damit nahe an der systemischen Ausrichtung der Mehrebenenanalyse gemäß Kapitel 3.1.5.

(Rieß & Mischo, 2008) beschreiben systemisches Denken allgemein als kognitive Fähigkeit zum Lösen komplex-dynamischer Probleme mit Hilfe eines systemischen Ansatzes. Dabei werden Methoden der Systemwissenschaften eingesetzt wie z. B.

- Bestimmung von Systemelemente und ihren Wechselbeziehungen,
- Erfassung zeitlicher Dimensionen und Dynamiken),
- Erklärungsanalyse auf Basis von Modellierungen
- Treffen von Prognosen und
- Einsatz von weichen Technologien (umsichtige Beeinflussung von Systemen, um möglichst geringe Schäden zu verursachen).

mit deren Hilfe komplexe Wirklichkeitsausschnitte modelliert, erklärt und nachvollzogen werden können (Fanta, Bräutigam, Greiff, & Rieß, 2017). (Holling, 2001) beschreibt drei systemische Eigenschaften für die urbane Anpassungsfähigkeit, zu der auch der Einsatz von Digitalisierung zu zählen ist, wie folgt:

- Resilienz als das Maß für die Vulnerabilität gegenüber unerwarteten oder unvorhersehbaren Schocks
- die interne Steuerbarkeit sowie
- die Dichte des Systems, welche die Bandbreite der möglichen Optionen determiniert

Der systemische Charakter wird bei der Diskussion und Entwicklung urbaner Resilienz wie in anderen Infrastrukturdisciplinen aber meist unzureichend betrachtet (Jabareen, 2013). Der Aufbau von Resilienzkapazitäten stellt eine gewaltige Aufgabe dar, weil die Vielzahl von Komponenten, Prozessen und Interaktionen zu bedenken sind, die innerhalb und außerhalb der physischen, logischen (d. h. rechtlichen) und virtuellen (Cyberspace) Grenzen einer Stadt stattfinden (Desouza & Flanery, 2013). Die Planung der Resilienz gegenüber den Auswirkungen von Stressoren innerhalb von Städten erfordert eine Bewertung der anfälligen Komponenten von Städten, ein Verständnis der Schlüsselprozesse, Verfahren und Interaktionen, die diese Komponenten organisieren, und die Entwicklung der Fähigkeit, verschiedene Strukturierungen von Komponenten und deren Interaktionen. Zu erweitern ist die Betrachtung um die betroffenen bzw. beteiligten Stakeholder, die beim Aufbau resilienter Städte mit einzubeziehen sind (Gimenez, Labaka, & Hernantes, 2017), (Burnside-Lawry & Carvalho, 2016). Die

Rolle der Digitalisierung im Zusammenhang mit der Resilienz in Städten wurde in einer Studie von (Zhu, et al., 2020) im Hinblick auf die zunehmenden städtischen Probleme und Katastrophen untersucht.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Auswirkungen von urbaner Resilienz auf die urbane Digitalisierung unter physischen, sozialen und ökologischen Aspekten positiv sind, während die Auswirkungen in umgekehrter Richtung unter den drei oben genannten Aspekten sowohl positiv als auch negativ sein können. (Zhou, Zhu, Qiao, Zhang, & Chen, 2021) untersuchten ebenfalls den Einfluss digitaler Lösungen mit Fokus auf diese vier urbanen Resilienzen:

- wirtschaftliche Resilienz,
- soziale Resilienz,
- ökologische Resilienz und
- infrastrukturelle Resilienz.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass die Digitalisierung in erster Linie die soziale Resilienz fördert. Auswirkungen auf die wirtschaftliche und ökologische Resilienz sind eher gering oder kaum messbar, auf die infrastrukturelle Resilienz wurden teilweise negative Effekte festgestellt. Digitalisierung wirkt sich vorteilhaft als strategisches Element in Städten aus, die über eine solide Industriestruktur, genügend qualitativ hochwertige Unternehmen, eine große Größe und einen großen Pool an hochqualifizierten Arbeitskräften verfügen. Sie fördern mit hoher Wahrscheinlichkeit die urbane Resilienz.

Im Zusammenhang mit urbaner Digitalisierung und Resilienz wird oftmals im Gleichklang der Begriff Nachhaltigkeit aufgeführt. Dieser beinhaltet die gleichgewichtete Berücksichtigung von Aspekten der sozialen und auch kulturellen Dimension ebenso wie der ökologischen und ökonomischen Dimension beispielsweise im Zuge der Generierung von neuen, zukunftsfähigen Lösungen. Entstehende oder vorhandene Zielkonflikte sollen weitestgehend aufgelöst werden. Parallel sollen interkulturelle sowie intrakulturelle Bedürfnisse Berücksichtigung finden. Dabei fällt eine eindeutige und einheitliche Definition von Nachhaltigkeit gerade bezogen auf den konkreten Anwendungsfall schwer (Williams, 2009). In der Realität konstruieren die meisten Disziplinen, die im Bereich der nachhaltigen Städte arbeiten, ihre eigene Vorstellung davon, was „nachhaltige Stadt“ für sie bedeutet.

Disziplinenzentrierte, eigens definierte "Idealzustände" sind weit verbreitet. Im Ingenieurwesen zum Beispiel wird die nachhaltige Stadt definiert, wenn Ressourcen, wie nachwachsende Rohstoffe, am effizientesten genutzt werden. Systeme werden räumlich verortet (kartiert) und Verluste und Unsicherheiten identifiziert, berücksichtigt werden insbesondere Infrastruktur, Energiequellen, Bauweisen etc. In den Sozialwissenschaften werden nachhaltige Städte oft sozial-fokussiert beschrieben. Dabei werden gerade soziale Gerechtigkeit und soziale Dynamiken der heutigen und zukünftigen Bevölkerungsgruppen berücksichtigt mit kultureller Vielfalt, Gesundheit und Wohlbefinden. Und gerade dies steht im Widerspruch zur ganzheitlichen, systemischen Herangehensweise im Kontext der Nachhaltigkeit. Die definierten „Idealzustände“ sind deshalb bestmöglich unter Verwendung der Nachhaltigkeit immanenten systemischen Sichtweise zu fusionieren. Hilfreich ist dabei der Einsatz von Digitalisierung. Genau diese Verknüpfung von smart (also digital) und nachhaltig wurde vielfach als

wesentliches Element einer zukunftsfähigen Stadtentwicklung propagiert, aber nicht immer erfolgreich realisiert (Elgazzar & El-Gazzar, 2017).

Im Zusammenhang mit urbaner Digitalisierung und Resilienz wird oftmals im Gleichklang der Begriff Nachhaltigkeit aufgeführt. Dabei fällt eine eindeutige und einheitliche Definition schwer (Williams, 2009). In der Realität konstruieren die meisten Disziplinen, die im Bereich der nachhaltigen Städte arbeiten, ihre eigene Vorstellung davon, was das Konzept „Nachhaltigkeit“ für sie bedeutet. Eigens definierte "Idealzustände" sind in vielen Bereichen weit verbreitet. Im Ingenieurwesen zum Beispiel wird die nachhaltige Stadt definiert, wenn die Ressourcen am effizientesten genutzt werden. Systeme werden räumlich verortet (kartiert) und Verluste und Unsicherheiten identifiziert. In den Sozialwissenschaften werden nachhaltige Städte oft mit dem Ziel der "sozialen Nachhaltigkeit" beschrieben. Sie ist das angestrebte "Ideal", das nur dann verwirklicht wird, wenn ein bestimmtes Konzept der sozialen Gleichheit oder Gerechtigkeit in einem räumlichen Umfeld zum Tragen kommt. Zunehmend wird auch der Einsatz der Digitalisierung empfohlen, um Möglichkeiten und kulturelle Werte für einen nachhaltigen Lebensstil der Stadtbewohner als Grundlagen widerstandsfähiger Städte zu schaffen. Insbesondere die Verknüpfung von smart (also digital) und nachhaltig wurde vielfach als wesentliches Element einer zukunftsfähigen Stadtentwicklung propagiert, aber nicht immer erfolgreich realisiert (Elgazzar & El-Gazzar, 2017).

3.1.5. Mehrebenenanalyse

Eine Möglichkeit, die Komplexität in wasserbezogenen Vorhaben zu erfassen, sichtbar zu machen und in eine erste Struktur zu überführen stellt die sogenannte Mehrebenenanalyse dar (Müller-Czygan, Schmidt, & Aicher, 2023). Diese spezielle Methode der Komplexitätserfassung wurde für die Analyse urbaner und regionaler Räume zur Anpassung an Wetterextreme als Folge des Klimawandels entwickelt. Da eine ausführliche Beschreibung derzeit nur für diesen Anwendungsfall vorliegt, erfolgt im >Folgenden ein Auszug aus (Müller-Czygan, 2024).

Städte und Kommunen sind zunehmend mit unterschiedlichen Krisen konfrontiert, die in immer kürzeren Abständen auftreten und sich über längere Zeiträume und parallel auswirken. Egal ob es sich um die (noch immer wirkende) Finanzkrise, die Corona-Pandemie, den Fachkräftemangel, die spürbaren Folgen des Ukrainekriegs (Energie- und Flüchtlingskrise) oder die kommunale Überschuldung handelt, alle Krisen erfordern Aufmerksamkeit und erzeugen Handlungsdruck. Der lokale Umgang mit dem Klimawandel ist zwar bereits seit der Klimarahmenkonvention 1992 ((Brauch, 1996), (Hagelstange, Rösler, & Runge, 2020)) ein wesentlicher Teil kommunaler Aufgaben (z.B. Hochwasserschutz durch Starkregen), aber als akute Krise wird der Klimawandel erst seit 2019 (Hagelstange, Rösler, & Runge, 2020)) und besonders seit den Starkregenereignissen im Sommer 2021 real wahrgenommen. Auslöser hierfür waren einerseits die extremen Schäden als Folgen der Starkregenereignisse im Juli 2021 (u.a. im Ahrtal), andererseits zeigen die letzten Trockenjahre, wie stark die Grundwasserpegel gesunken sind (und weiter sinken) und damit die Wasserversorgung in Deutschland verletzlicher ist als angenommen. Egal welche lokalen, nationalen oder globalen Maßnahmen zur Reduzierung der Erderwärmung

angestrebt und auch zeitnah umgesetzt werden, die aktuellen Klimawandelfolgeentwicklungen lassen sich erst in Jahren oder Jahrzehnten abmildern.

Letztendlich sind es die Kommunen und Städte, die mit den lokalen Folgen umgehen und ihre Bevölkerung schützen müssen. Angesichts der enormen, scheinbar unlösbaren multiplen Krisen entsteht nicht nur eine fachliche und mengenmäßige Überforderung auf Seiten der Akteure kommunaler Aufgaben. Mit dem real werden der Folgen des Klimawandels in Deutschland tritt auch eine Krise in Erscheinung, die akut lebensbedrohlich ist, insbesondere mit der drohenden Zunahme an Hitzetagen. Laut Robert-Koch-Institut sind allein in den Hitzerekordjahren 2018-2022 rd. 25.200 Hitzetote in Deutschland zu beklagen gewesen (siehe), davon alleine 5.600 im Süden Deutschlands.

Tabelle 7: Anzahl hitzebedingter Sterbefälle im Zeitraum 2012 bis 2022 (RKI, 2022)

Jahr	geschätzte Hitzetote Deutschland	geschätzte Hitzetote Süden
2012	1000	300
2013	2800	900
2014	1300	300
2015	5800	2200
2016	1700	400
2017	1300	900
2018	8300	1700
2019	6900	1500
2020	3600	600
2021	1900	400
2022	4500	1400

Mit diesen Überforderungen, gepaart mit diffusen Ängsten, wurden der Autor und sein Forschungsteam im Zuge des Vorhabens SPORE¹⁵ sowie der Entwicklung des Zertifikatslehrgangs „Der Weg zur Schwammstadt – Stadtentwicklung in Zeiten des Klimawandels“¹⁶ immer wieder konfrontiert. Seitens der Kommunalverantwortlichen wurde häufig von einer zu hohen Komplexität gesprochen, bei der man nicht wisse, wie und wo man das angehen soll und kann. Aufgrund der Vielschichtigkeit der Themen und starken Verwobenheit miteinander ist die Angst groß, Fehler zu begehen und falsche Entscheidungen zu treffen. Viele der SPORE-Projektbeteiligten bzw. Lehrgangsteilnehmer wünschten sich erst einmal einen Weg, die in den letzten Jahren stark angestiegene Komplexität transparenter zu machen. Vor vielen Jahren wurde der normale Arbeitsalltag in den Kommunen noch geprägt durch die fachliche Trennung in Verkehr, Bau, Abwasserentsorgung, Wasserversorgung, Soziales,

¹⁵<https://inwa.hof-university.de/index.php/startseite/projekte/spore/>

¹⁶ <https://inwa.hof-university.de/index.php/startseite/projekte/schwammstadt-2/>

Wirtschaftsförderung, Gesundheit usw. Die kommunalen Aufgaben wurden in den jeweiligen Fachabteilungen meist unabhängig voneinander abgearbeitet.

Durch die zunehmenden multiplen Krisen wird den Kommunalverantwortlichen die starke Vernetzung der bislang isoliert betrachteten Themen immer deutlicher, die Strukturen sind aber vielfach noch die alten. Als Folge ist eine ansteigende interthematische Zusammenarbeit erforderlich, aber in vielen Kommunen ist man mit einer ganzheitlichen Bearbeitung überfordert, was zu einer starken Hemmung bei der Umsetzung führt. Angesichts dieser Umsetzungshemmfaktoren entstand als Teil eines SPORE-Teilprojekts die Methode der Mehrebenenanalyse (MEA) und wurde dann im Rahmen des Zertifikatslehrgangs „Der Weg zur Schwammstadt – Stadtentwicklung in Zeiten des Klimawandels“ zu Lehrzwecken weiterentwickelt, um die verschiedenen Ebenen und Arten von Komplexität im Zuge einer wassersensiblen Stadt- und Raumplanung sichtbar zu machen.

Darauf aufbauend können die verschiedenen Handlungsbereiche identifiziert, die Problemfelder definiert und erforderliche Maßnahmen abgeleitet werden. Im ersten Schritt erfolgt die Beschreibung der verschiedenen Ebenen von Komplexität (siehe Abbildung 3).

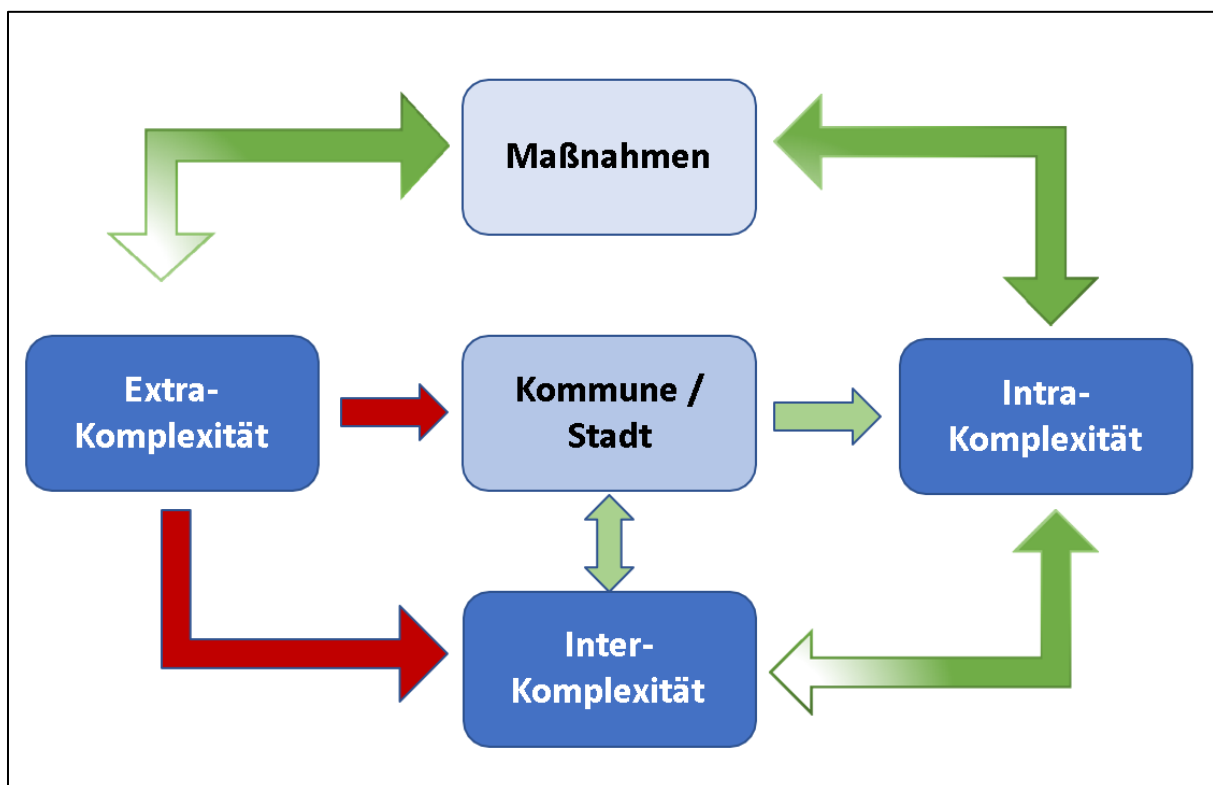


Abbildung 3: Kommunalen Komplexitätskreislauf (eigene Darstellung in Anlehnung an¹⁷)

Dabei bedeuten:

- **Extra-Komplexität:**
 - Komplexität, die außerhalb einer Organisation liegt, z.B. Gesetze, gesellschaftliche Entwicklungen oder Gesetze.

¹⁷ <http://www.inso-projects.de/hohe-komplexitaet-in-unternehmenskrisen/>

- **Intra-Komplexität:**
 - Komplexität innerhalb organisatorischer Strukturen und Prozessen einer Organisation.
- **Inter-Komplexität:**
 - Anforderungen, die erfüllt werden müssen, um den wachsenden Stakeholderbedürfnissen (z.B. Bürgern, Behörden, Interessengruppen) gerecht zu werden.

Anhand verschiedener Leitfragen erfolgt die Annäherung an einen Umgang mit der vorhandenen Komplexität. Beispielhafte Fragen sind:

- Wie lässt sich die Komplexität erfassen und beschreiben?
- Wie gelingen Selektion und Filterung?
- Wie wird eine veränderte Dynamik sichtbar?
- Wie kann sinnvoll gewichtet und priorisiert werden?
- Wie lassen sich Intra- und Inter-Komplexität effektiv und effizient gestalten?
- Wie werden in Frage kommende Lösungskonzepte in bestehende Strukturen und Abläufe integriert?

Im weiteren SPORE-Bearbeitungsablauf stellte sich heraus, dass neben der Komplexitätsart im Wesentlichen zwei Hauptperspektiven den Umgang mit Komplexität und die Ableitung von Handlungsmaßnahmen im Bereich der wassersensiblen Stadt- und Raumplanung bestimmen. Dies ist erstens die räumliche Perspektive, also wo wirken sich Krisen als Problem bzw. Herausforderung aus, hier müssen auch die erforderlichen Lösungen platziert werden. Zweitens sind es zu beachtende Zielperspektiven, also wie und was soll mit Maßnahmen erreicht werden. Ausgehend von diesen beiden Hauptperspektiven wurde geschaut, welche kommunalen Fachbereiche einzubeziehen sind und welche Querschnittsthemen ebenfalls eine Rolle spielen und im weiteren Verlauf zu beachten sind (siehe Abbildung 4).

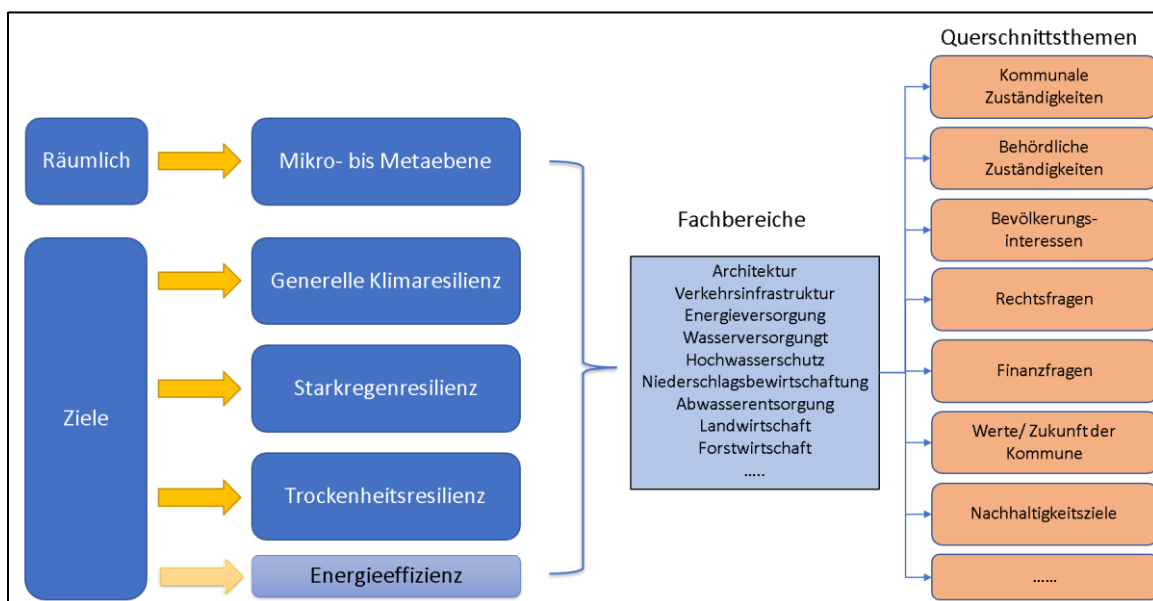


Abbildung 4: Erste Stufe zur Komplexitätstransparenz im kommunalen Umgang mit dem Klimawandel (eigene Darstellung)

So konnte den im Vorhaben SPORE beteiligten Kommunen zur weiteren Bearbeitung eine mehrdimensionale Komplexitätsbetrachtung angeboten werden. Um sowohl die übergeordneten kommunalen Komplexitätsaspekte zu berücksichtigen als auch ausreichend in die (fachliche Tiefe) gehen zu können, wurde die Mehrebenenanalyse als geeignetes Werkzeug entwickelt.

In den Mittelpunkt der Handhabung dieser Methode / dieses Tools wurde die räumliche Komplexitätsperspektive gestellt (Wo wirken sich Krisen als Problem bzw. Herausforderung aus?). Aus den vielen Gesprächen im SPORE-Vorhaben und aus dem Feedback von den Teilnehmern des Zertifikatslehrgangs „Der Weg zur Schwammstadt – Stadtentwicklung in Zeiten des Klimawandels“ kristallisierte sich heraus, dass nahezu alle Akteure die Problemdiskussion aus der räumlichen Perspektive führten. Diese Herangehensweise ist nachvollziehbar, da das Arbeiten in und mit (wasserwirtschaftlichen bzw. umweltbezogenen) Infrastrukturen immer vom räumlichen Objekt ausgeht. Wasser fließt von A nach B. Abwasser muss von C nach D transportiert werden, bevor es in E gereinigt wird. Regen fällt örtlich, es entsteht Starkregen in einem Stadtteil oder an einem bestimmten Ort und verursacht an diesen und/oder anderen Stellen Schäden.

Da bei der Einführung eines neuen Werkzeugs, mit der zusätzlich eine neue Denk- und Analyseweise verbunden ist, Ängste vor dem Neuen/Unbekannten verbunden sind, sollte auf eine vertraute Verhaltensweise Bezug genommen werden (Müller-Czygan, 2018-2). Deshalb wurde die räumliche Perspektive ins Zentrum des Bearbeitungstools gestellt.

Üblicherweise beginnen wasserwirtschaftliche und umweltbezogene Maßnahmen an einem lokalen Punkt, z.B. einem Grundwasserbrunnen, einem Pumpwerk oder einer Emissionsquelle (z. B. Maschine an einem Produktionsstandort). Dieser kleinste Betrachtungspunkt wird in der Mehrebenenanalyse als Mikroebene bezeichnet. Von diesem Punkt aus werden weitere zu betrachtende Ebenen definiert. Dies erfolgt in Form größerer räumlicher „Kreise“, die um den Startpunkt, der Mikroebene gezogen werden.

Tabelle 8 zeigt die Ausgangsdefinition der Ebenen, die sich für die Analyse wassersensibler urbaner und regionaler Räume als geeignet erwiesen hat. In den bisherigen Anwendungsfällen haben sich diese vier Ebenen als zielführend herausgestellt. Bei Bedarf können auch weitere Ebenen ergänzt werden, dafür wurden bislang keine eigenen Bezeichnungen festgelegt.

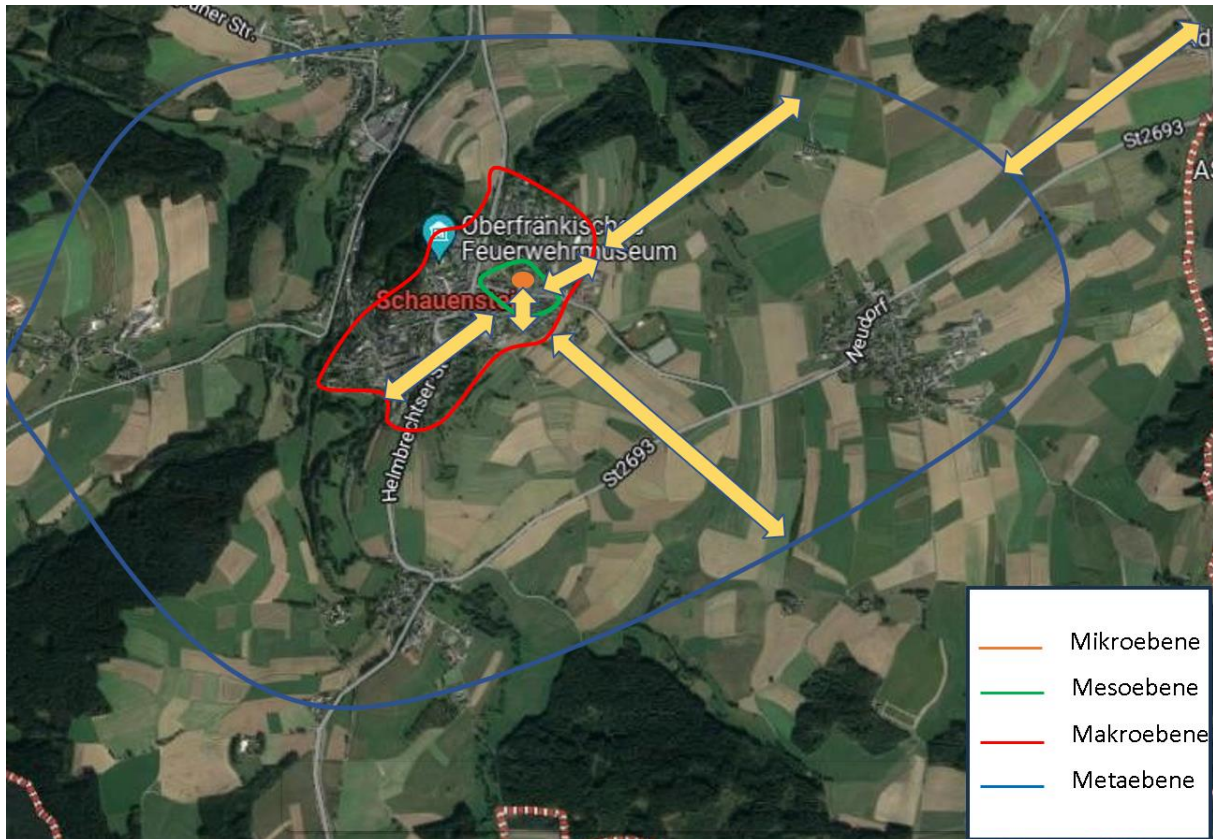


Abbildung 5: „Kreisförmige“ räumliche Ebenenzuordnung der Mehrebenenanalyse im SPORE-Teilprojekt Schauenstein (eigene Darstellung, Bildquelle Google Maps)

Tabelle 8: Ebenendefinition Mehrebenenanalyse (eigene Darstellung)

Ebene	Beschreibung
Mikroebene	kleinster Aktionsbereich (z.B. Gebäude/Objekt/ Liegenschaft)
Mesoebene	Umgebungsbereich der Mikroebene (z.B. Nachbargrundstücke, Wohnviertel, Stadtviertel, Gewerbegebiet)
Makroebene	Übergeordneter Bereich der Mikroebene (z.B. Stadt/Kommune/Übergangsbereich zur nächsten Stadt/Kommune)
Metaebene	Übergeordneter Bereich der Makroebene (z.B. Interkommunaler Aktionsbereich zweier oder mehrerer Kommunen/Städte, Region, Landkreis)

Anhand des SPORE-Teilprojekts Schauenstein¹⁸ soll die Methodik der Mehrebenenanalyse dargestellt werden. Schauenstein ist auch eines der beiden Anwendungserprobungsbeispiele. Ausgangspunkt im Beispiel Schauenstein war die bereits geplante und in Vorbereitung befindliche Sanierung der Grundschule.

¹⁸ <https://www.br.de/br-fernsehen/sendungen/frankenschau-aktuell/schwammdach-soll-bei-extremwetterlagen-helfen-100.html>

Zum SPORE-Teilprojekt wurde die Sanierung, weil auf dem alten Turnhallendach ein Gründach vorgesehen war. Gegenstand der Untersuchung im SPORE-Teilprojekt war neben dem Gründach ein zentrales Regenwassermanagement für das Schulgrundstück inkl. aller Gebäude. Außerdem war ein Bewässerungsmanagement für das Gründach und die weitere Bepflanzung vorzusehen. Beide Managementaufgaben sollen mit einer innovativen Digitalisierungsstrategie umgesetzt werden.

Im ersten Schritt erfolgte die räumliche Ebenenzuordnung (siehe Abbildung 5) als Basis der weiteren Mehrebenenanalyse. Als Ausgangspunkt wurde das Grundstück mit dem Gebäude der Grundschule gewählt und als Mikroebene definiert. Um die direkten Einflüsse auf und von der Grundschule (Mikroebene) auf die unmittelbare Umgebung zu identifizieren und zu definieren, wurde der an die Schule angrenzende Wohn- und Liegenschaftsbereich als nächste räumliche Ebene ausgewählt (Mesoebene). Von hier aus wurde dann der Kernort Schauenstein als nächste räumliche Einheit, die Makroebene festgelegt. Da die Stadt Schauenstein über weitere Ortsteile verfügt, wurde der größte Betrachtungsraum, die Metaebene, für das gesamte Stadtgebiet festgelegt.

Nachdem die vier räumlichen Ebenen feststanden, wurde diejenige Ebene in den Mittelpunkt gestellt, wo die Durchführung der Hauptanalysen lokalisiert war. Ziel des SPORE-Teilprojekt Grundschule Schauenstein war die Erarbeitung eines innovativen und digitalbasierten Regenwassermanagements im Sinne einer Schwammlösung für eine klimaresiliente Gestaltung der Grundschule Schauenstein. Nach der vorliegenden räumlichen Ebenenzuordnung lagen Ausgangspunkt und Untersuchungsgegenstand hauptsächlich in der Mikroebene. Im nächsten Schritt wurden generelle Fragen zur Identifikation weiterer Komplexitätsaspekte gestellt, dies zeigt Abbildung 6.

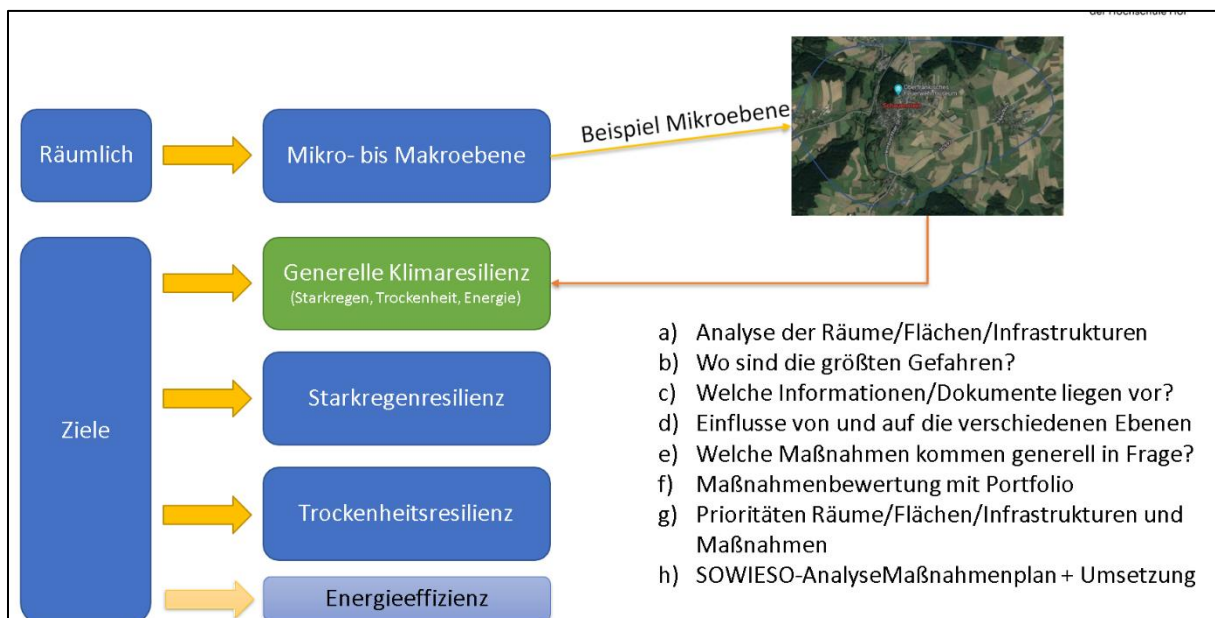


Abbildung 6: Fragenkatalog Identifikation weiterer Komplexitätsaspekte (eigene Darstellung)

Um auch die Aspekte und Themen der drei Komplexitätsarten (Extern, Intern und Intra) mit in die Analyse zu integrieren, erfolgte eine Verknüpfung der Komplexitätsarten und der vier Ebenen (siehe Abbildung 7). Ergänzt wurde die Betrachtung um den Faktor Zeit, welche eine eigene Dimension oder Ebene darstellt. Bei der Zeitbetrachtung erfolgt eine Analyse der Vergangenheit, der Gegenwart und

der Zukunft. Diesen drei Zeitabschnitten können dann einzelne Komplexitäts- oder Handlungsaspekte zugeordnet werden. Typisch für eine Vergangenheitszuordnung sind beispielsweise Verträge oder laufende Genehmigungen, die bei der Maßnahmenumsetzung zu berücksichtigen sind (z.B. fehlende Durchleitungsrechte für erforderliche Rohrleitungen).

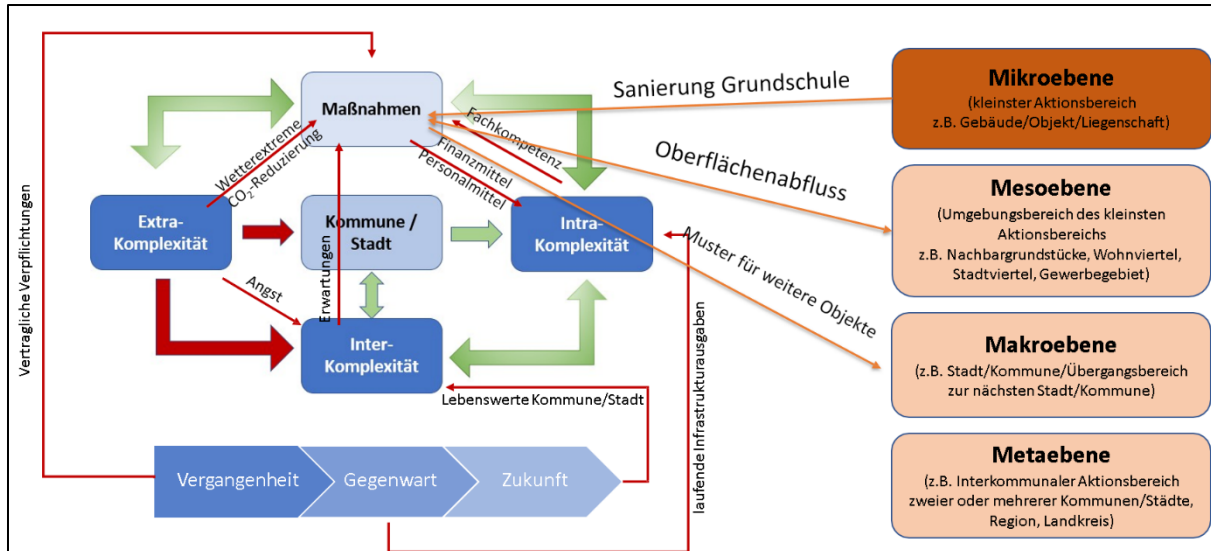


Abbildung 7: Zusammenhang Komplexitätsarten und Mehrebenenanalyse (eigene Darstellung)

Von besonderer Bedeutung bei einer zeitnahen Umsetzung von wirksamen Maßnahmen ist die Dimension Gegenwart. In mehreren Studien unter Beteiligung der Hochschule Hof wurde festgestellt, dass die Anknüpfung an bereits geplante, genehmigte oder laufende Vorhaben die Maßnahmenumsetzung erheblich erleichtert, beschleunigt und zu einer weitaus größeren Akzeptanz bei den betroffenen Kommunalvertretern führte (Müller-Czygan, 2018-1), (Müller-Czygan, 2020), (Müller-Czygan, Tarasyuk, Wagner, & Wimmer, 2022)). Diese unter dem Begriff „SOWIESO-Strategie“ vom Autor entwickelte Ansatz für einen Praxistransfer mit hoher Umsetzungswirksamkeit orientiert sich stark an den Bedingungen des Arbeitsalltags und reduziert damit die Intra-Komplexität erheblich. Nähere Ausführungen hierzu finden sich bei (Müller-Czygan, 2021)).

Für das SPORE-Teilprojekt Schauenstein wurde als „SOWIESO-Potenzial“ die Erweiterung des (sowieso) vorgesehenen Regenwassermanagements (Gründach und Regenspeicher) identifiziert und im Zuge des SPORE-Vorhabens als digitaler Zwilling konzipiert. Es soll damit eine virtuelle 1:1-Abbildung des gesamten Regenwassermanagements mit dem Ziel entstehen, verschiedene Fallszenarien ausprobieren zu können, bevor ein Realtest erfolgt.

In erster Linie sollte mit der Szenariomöglichkeit herausgefunden werden, wie lange das Gründach auf der Turnhalle aus Regenwasser versorgt werden kann, wann eine Zugabe an Trinkwasser erforderlich wird (und wie viel) und unter welchen Bedingungen alle anderen Pflanzen in verschiedenartigen Trockenperioden überleben. Ebenfalls analysiert wurde der Einfluss verschiedener Starkregenfälle auf die Grundschuleinrichtungen. Die (sowieso) vorgesehene „Schwammmanagement“-Variante ist stark technisch ausgelegt, und eignet sich damit in erster Linie zur Schulung von Technikern und Ingenieuren.

Damit auch die Grundschüler dieses System, was sowieso da ist, nutzen können, soll es um eine kind- / grundschulgerechte Variante erweitert werden¹⁹. Tabelle 9 zeigt einen Auszug aus der Mehrebenenanalyse der Grundschule Schauenstein im Rahmen des SPORE-Projektes, zugeordnet nach den vier Ebenen. Der Einbezug der Dimension Zukunft in die Mehrebenenanalyse ergab sich aus einem anderen SPORE-Teilprojekt, bei dem es um die Betrachtung von fünf Kommunen in Oberfranken ging, die sich gemeinsam zu einer wassersensiblen Region entwickeln wollen. In den verschiedenen Diskussionen kam vermehrt der Aspekt „Umgang mit dem Klimawandel als Wert“ zur Sprache. Seitens der Gemeindevertreter wurde darum gebeten, gute Maßnahmen hin zu einer wassersensiblen Gemeinde/Region so zu präsentieren, dass diese als Zukunftsvision gelten und dadurch die Gemeinde besonders lebenswert wird, um für junge Menschen attraktiv zu werden, die eine neue Heimat suchen.

Tabelle 9: Ergebniszusammenfassung der Mehrebenenanalyse SPORE-Teilprojekt Schauenstein (eigene Darstellung)

Ebene	Räumliche Zuordnung	Untersuchungsaspekte
Mikroebene	Schulgrundstück mit Gebäuden, Wegen und Flächen	Gründach auf Turnhalle; Wasseranfall und -sammlung von befestigten Flächen (Dächer, Wege etc.); digitales Regenwassermanagement; Digitaler Zwilling; Grundschulvariante Regenwassermanagement; Wasserbedarf Gründach und Bepflanzungen und Feststellung Wasserversorgungssicherheit; Erstellung einer speziellen Wasserbilanz ²⁰
Mesoebene	An die Schule angrenzender Wohn- und Liegenschaftsbereich	Einfluss Oberflächenabfluss zur Mikroebene inkl. Zuleitung zum Regenwassertank (falls Regenanfall auf Mikroebene zu gering); Einfluss Wasserrückhalt der Mikroebene auf Mischwasserkanal; Sicherstellung Wasserversorgung, wenn Trinkwasser zur Bewässerung auf der Mikroebene erforderlich wird; Übertragung der Ergebnisse auf weitere Liegenschaften in der Nachbarschaft:
Makroebene	Kernort Schauenstein	Einfluss Wasserrückhalt der Mikroebene auf Mischwasserkanal; Sicherstellung Wasserversorgung, wenn Trinkwasser zur Bewässerung auf der Mikroebene erforderlich wird; Übertragung der Ergebnisse auf weitere Liegenschaften in der Kernstadt:
Metaebene	Kernort Schauenstein mit Ortsteilen	Keine detaillierte Betrachtung

Selbst bei einem kleinen Projekt wie der Sanierung der Grundschule Schauenstein ist die Anzahl an zu beachtenden Kriterien bei Anwendung der Mehrebenenanalyse nicht zu unterschätzen. Daher wurde im Laufe des SPORE-Vorhabens ein eigenes Excel-Tool entwickelt und erweitert.

¹⁹ Hierzu wurde bei der Deutschen Bundesstiftung ein entsprechender Förderantrag gestellt.

²⁰ Die Wasserbilanz wurde im Rahmen einer Masterarbeit entwickelt (Mundackal, 2023)

Wie zuvor beschrieben war die Mehrebenenanalyse zwischen Juli 2022 und Oktober 2023 die zentrale systemische Methode zur Komplexitätsanalyse in insgesamt sieben Kursen der Zertifikatslehrgänge „Der Weg zur Schwammstadt – Stadtentwicklung in Zeiten des Klimawandels“ sowie „Fachexperte/-ingenieur für Digitalisierung in der Wasserwirtschaft“. Mehr als 70 Akteure der kommunalen Infrastruktur aus den Bereichen Kommune/Stadt, Fachbehörde, Architektur, Siedlungswasserwirtschaft, Stadtplanung, Handwerk und Industrie nahmen an diesen Kursen teil. Systemisches Denken und Handeln ist in den jeweiligen Tätigkeitsfeldern der Teilnehmenden eher die Ausnahme, dass zeigten bereits durchgeführte Studien unter Beteiligung des Autors (Müller-Czygan, 2018-2), (Müller-Czygan, 2020) (Müller-Czygan, Tarasyuk, Wagner, & Wimmer, 2022). Zudem konnte diese Beobachtung aus einer Umfrage unter den Teilnehmenden des Zertifikatslehrgangs „Der Weg zur Schwammstadt – Stadtentwicklung in Zeiten des Klimawandels“ abgeleitet werden.

Neben der Abfrage nach den Einschätzungen der Lehrgangsteilnehmer zu den Kursinhalten und der Kursqualität (Müller-Czygan & Schmidt, 2023) wurde auch eine Einschätzung im systemischen Umgang mit zunehmender Komplexität erfragt. Ausgangspunkt ist die Beobachtung des Autors, dass es in erster Linie die Kommunen und Städte sind, die mit den Folgen des Klimawandels in Form lokaler Wetterextremereignisse umgehen und ihre Bevölkerung schützen müssen. Gleichzeitig wird vor allem der Digitalisierung eine besondere Rolle bei der Bekämpfung der Folgen des Klimawandels zugesprochen (Balogun, et al., 2020). Aber im Angesicht der enormen Herausforderungen multipler Krisen berichteten Verantwortliche im Zuge von Workshops im SPORE-Vorhaben immer häufiger von fachlichen und mengenmäßigen Aufgabenüberforderungen auf Seiten kommunaler Akteure. Da insbesondere die Planungs- und Genehmigungsstruktur infrastrukturbezogener Maßnahmen umfangreich und zeitaufwendig ist, werden die erforderlichen Präventivlösungen zur Anpassung an die zunehmenden Wetterextremereignisse aufgrund ihrer Komplexität auf der Liste der akuten Krisenbewältigung immer öfter nach hinten verschoben (Klüssendorf, 2014). Aus mehr als 200 Gesprächen mit deutschen Kommunen (Müller-Czygan, 2020) konnte abgeleitet werden, dass die Eintrittswahrscheinlichkeit einer Klimakatastrophe als nach wie vor gering eingeschätzt wird, und der Glaube besteht, dass noch genug Zeit vorhanden ist, mit den erforderlichen Adaptionsmaßnahmen für die mittel- und langfristigen Folgen später beginnen zu können. Diese Einstellung wird auch darauf zurückgeführt, dass die meisten Umweltkatastrophen in Ländern stattfinden, die den geringsten anthropogenen Einfluss auf das Klima haben. Die Mehrheit der Menschen in Europa sehen keine direkte Verbindung des eigenen Verhaltens mit den Klimawandelfolgen (Fauville, Queiroz, & Bailenson, 2020).

Auf der anderen Seite ist den Verantwortlichen in Kommunen und Städten gleichzeitig bewusst, dass ein weiteres Abwarten in Sachen Klimaanpassung eigentlich nicht sein darf. Sie sehen aber angesichts der zunehmenden Aufgabenkomplexität kaum einen zielführenden Weg, erforderliche Klimaanpassungsmaßnahmen neben dem akuten Krisenmanagement mit in den (wasserwirtschaftlichen) Alltag zu integrieren und zu finanzieren.

Beispielsweise stuften von den 59 Teilnehmenden des Schwammstadtlehrgangs in überwiegender Mehrheit die Notwendigkeit eines übergreifenden Systemwissens und Systemdenkens als enorm wichtig ein im Umgang mit der hochkomplexen Thematik Schwammstadt (siehe Abbildung 8).

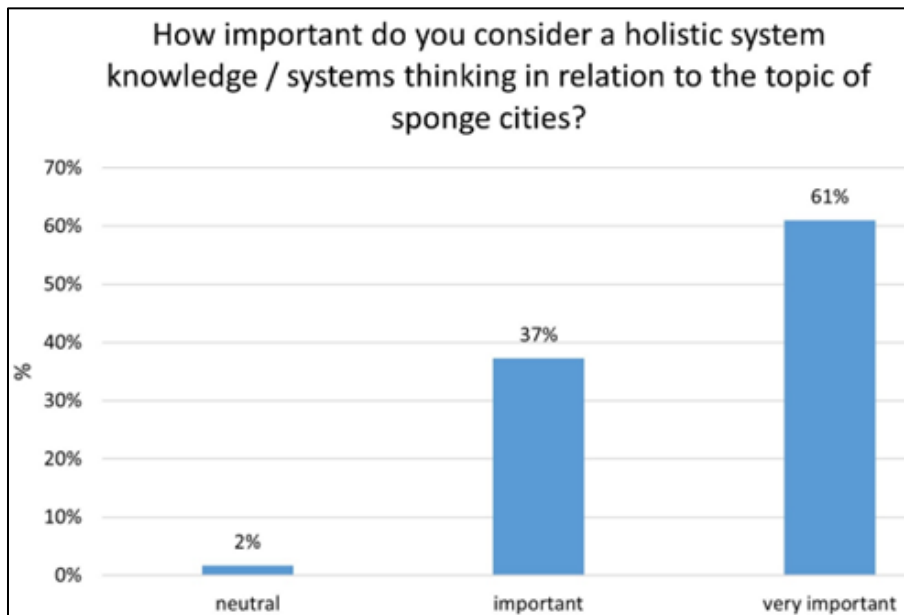


Abbildung 8 Umfrageergebnis Zertifikatslehrgang „Der Weg zur Schwammstadt – Stadtentwicklung in Zeiten des Klimawandels, Teilnehmer: 59 (Müller-Czygan, Wimmer, Frank, & Tarasyuk, 2023))

Bei der Frage, welche Hindernissen die Umsetzung einer komplexen Herausforderung wie des Umbaus von Städten und Kommunen zu sogenannten Schwammstädten/-regionen blockieren, wurde dem Fehlen eines „übergreifendes/systematisches Verständnis über das System Schwammstadt“ gemäß Abbildung 9 mit 3,39 der zweithöchste Mittelwert von den Lehrgangsteilnehmenden zugemessen (1 = trifft nicht zu; 4 = trifft eindeutig zu). Nur die hohen Kosten für die Maßnahmenumsetzung wurden mit 3,42 geringfügig höher bewertet.

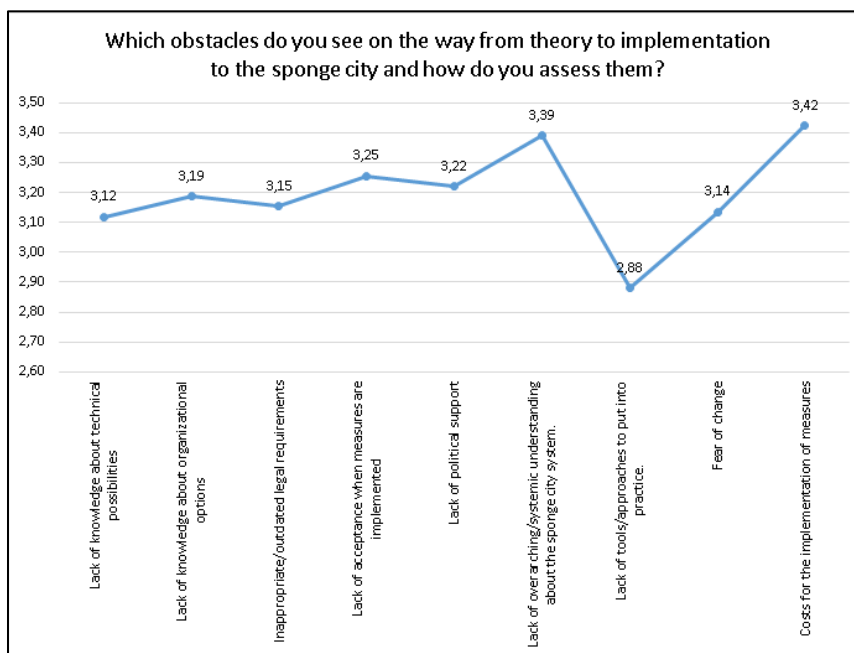


Abbildung 9 Umfrageergebnis Zertifikatslehrgang „Der Weg zur Schwammstadt – Stadtentwicklung in Zeiten des Klimawandels, Teilnehmer: 59 (Müller-Czygan, Wimmer, Frank, & Tarasyuk, 2023)

Diese Aussagen sind überraschend, da systemisches Denken in den Ingenieurwissenschaften eine lange Tradition hat (Triebel, Seipel, & Thedorff, 2015). Systemisches Denken in Technikdisziplinen beschränkt sich aber im Regelfall auf technische Systeme und die damit erforderliche disziplinübergreifende Planung und ein methodisches Verständnis des Zusammenwirkens von Systemkomponenten und Prozessen. Dass ein umfassendes systemisches Denken in den Ingenieurwissenschaften nur ein anteiliger Bestandteil der analytischen und planerischen Arbeit darstellt, ist nicht zuletzt den stark kleinteiligen Bachelor- und Masterstrukturen des Bologna-Prozesses geschuldet (Küppers, 2010). Dennoch ist diese Teilanwendung ein guter Start für eine weit darüberhinausgehende systemische Komplexitätsbetrachtung mit der Methode der Mehrebenenanalyse. Die rd. 70 Lehrgangsteilnehmenden erhielten nach einer fachlichen Einführung in die Themen Schwammstadt bzw. Digitalisierung 90–180-minütige Lehreinheiten zur Vorstellung der Systeme Digitalisierung in der Wasserwirtschaft und Schwammstadt/-region. Im Rahmen dieser Lerneinheit wurden auch die Hintergründe, die systemische Struktur und ein erstes Anwendungsbeispiel der Mehrebenenanalyse vorgestellt. In ersten kleinen Übungen wurden die Teilnehmenden aufgefordert, an einem Beispiel eine einfache Zuordnung der vier Ebenen (Mikro-, Meso-, Makro und Metaebene) vorzunehmen.

Dazu wurde von der Lehrgangsleitung ein Praxisbeispiel ausgewählt (z. B. Sanierung eines Stadtquartiers mit Entwicklung wasserspeichernder Dach- und Wegeflächen), und die räumliche Zuordnung dieses Beispiels in Form eines Google-Map-Ausschnitts vorgestellt. Nach kurzer Vorstellung des Praxisbeispiels mussten die Teilnehmenden gemeinsam mögliche Zuordnungen der vier Ebenen diskutieren und anschließend festlegen, wo die Grenzlinien der Ebenen auf dem Google-Map-Ausschnitt verlaufen sollten (analog zu Abbildung 5).

Zusammen mit der Lehrgangsleitung wurden die Entscheidungen diskutiert und reflektiert. Zum Ende dieses Teilmoduls wurden die Teilnehmenden um Feedback gebeten, wie sie diese kleine Übung bewerten und welche Lernerfahrung sie an sich selbst feststellen könnten. Bereits mit dieser kleinen Übung wurde von der großen Mehrheit bestätigt, dass sie in der alltäglichen Planungsarbeit auch bei vergleichbaren Projekten maximal die Mesebene, also die an dem Wohnblock angrenzenden Straßen mit betrachtet hatten. Nachbarviertel, die ganze Stadt oder sogar die Nachbarschaft zu anderen Städten/Kommunen mit einzubeziehen, war für fast alle Teilnehmenden völlig neu oder aber zumindest ungewohnt, wurde aber als sehr wertvoll betrachtet. Damit konnte bereits mit dieser kleinen Übung ein wesentliches Kriterium des Lernerfolgs erfüllt werden: die Unterschiedsbildung nach Bateson (Bateson .. G., 1972), (Bateson G. , 1984), vorgestellt in (Goetz & Reinhardt., 2016). Bateson betont, dass der Austausch von Informationen und die Umwandlung dieser Informationen einen Unterschied ausmachen müssen, damit die neue Information zu einem Lernerfolg führt. Das bedeutet, um etwas Neues zu lernen reicht es nicht aus, das Neue einfach vorzustellen und bis ins Detail zu lernen. Der wirksame Lerneffekt tritt erst dann ein, wenn das Neue direkt dem Alten bzw. einer Alternativinformation gegenübergestellt wird und die Unterschiede zwischen beiden Aspekten sichtbar und verstehbar werden. Die bereits beschriebene eingeschränkte Weise des systemischen Denkens in Technikdisziplinen haben Lehrgangsteilnehmende im Schnitt 15-20 Jahre (das Studium mitgerechnet) als unveränderliche Tagesordnung erlebt.

Den Lehrgangsteilnehmenden erscheinen die damit zusammenhängenden Dinge, Verhaltensweisen oder Einstellungen häufig so gängig, dass sie kaum eine vernünftige Aussage darüber treffen können, was ihr routinemäßiges Verhalten bedeutet bzw. als Konsequenz hat (Goetz & Reinhardt, 2016). Da alle Projektbeteiligten ähnlich agieren, fehlt der andere Pol, um durch die beschriebene Unterschiedsbildung Neues zu erlernen. Durch die seitens der Lehrgangsleitung bewusst eingeleitete Feedbackaufforderung mit dem Hinweis, die gerade erstmals durchgeführte Einstiegsanwendung der Mehrebenenanalyse mit der bisherigen eigenen Vorgehensweise zu vergleichen, erzeugte die notwendige Unterschiedsbildung. Da die Unterschiedsbildung zu der bisherigen Arbeitsweise bei einigen Teilnehmenden sehr groß war, wurde ein starker Aha-Effekt mit sichtbarer Emotionsreaktion erzeugt. Somit wurde ein zweiter, wichtiger Lernfaktor berücksichtigt, die Lernunterstützung durch Emotionen.

Emotionen haben einen erheblichen Einfluss auf die kognitiven Prozesse des Menschen, einschließlich Wahrnehmung, Aufmerksamkeit, Lernen, Gedächtnis, Argumentation und Problemlösung und insbesondere auf die Modulation der Selektivität der Aufmerksamkeit sowie auf die Motivation von Handlung und Verhalten. Diese Aufmerksamkeits- und Ausführungskontrolle ist eng mit Lernprozessen verknüpft, da intrinsisch begrenzte Aufmerksamkeitskapazitäten besser auf relevante Informationen konzentriert werden (Tyng, Amin, Saad, & Malik, 2017). Das gilt auch für Lernen in einem informellen wissenschaftlichen Kontext wie der untersuchten Lehrgänge. Studien z. B. von (Staus & Falk, 2017) konnten zeigen, dass höhere emotionale Erregung, weniger angenehme Gefühle gegenüber dem Inhalt und stärkere Umweltwerte zu größeren kurzfristigen Lernergebnissen führten.

Im Übungsfall der Mehrebenenanalyse ist davon auszugehen, dass das Konzept der Emotionen als Transformation zum Tragen kommt (siehe (De Rivera, 1977), beschrieben in (Antonacopoulou & Gabriel, 2001). Dabei werden Emotionen freigesetzt als Ergebnis einer Erfahrung oder eines Ereignisses, welche das Verständnis verbessert und einen Sinn verleihen. Mit der ersten Anwendungsübung und dem Erzeugen eines starken Unterschieds zur bisherigen Vorgehensweise mit positiver Ergebnisbewertung wurde auf Seiten der Teilnehmenden eine starke Neugierde auf die „große Übung“ erzeugt. Damit ist das abschließende Modul gemeint, welches einen ganzen Tag das praktische Üben mit der Mehrebenenanalyse beinhaltet. Hierbei wird die Einstiegsübung erheblich erweitert. Damit die Unterschiedsbildung und die Emotionsauslösung gesteigert werden können, bringen die Teilnehmenden aktuelle Projekte mit, an denen sie während der Lehrgangsphase gerade arbeiten. In der durchschnittlichen Teilnehmergröße von 8-10 Personen haben in den 7 Kursen im Mittel 2-3 Personen ein eigenes Projekt mitgebracht.

Für ein Projekt steht der halbe Tag zur Verfügung, so dass zwei Projekte ausführlich behandelt werden konnten. Die Durchführung der Mehrebenenanalyse erfolgte in der gesamten Gruppe, jeder konnte eigene Gedanken beitragen, die Lehrgangsleitung moderierte den Prozess und dokumentierte die Ergebnisse auf Metawänden. Damit ein maximaler Lerneffekt erzeugt werden konnte, sorgte die Lehrgangsleitung durch Reflexionsfragen und -kommentare immer wieder dafür, dass eine auszeichnende Unterschiedsbildung erfolgte, sofern die Teilnehmenden dies in der Fallbearbeitung nicht selbst erzeugten.

Bereits im Zuge der Bearbeitung der Einstiegsübung wurde festgestellt, dass zum Ende der Übung die Teilnehmenden die Basisbegriffe Mikro-, Meso-, Makro- und Metaebene zunehmend eigenständig verwendeten und auch nahezu fehlerfrei zuordneten. In der Feedbackrunde wurde von den meisten Teilnehmenden die systemische Struktur der Mehrebenenanalyse als Vorteil hervorgehoben und Attribute dieser systemischen Struktur mehrfach mit eigenen Worten verwendet. Aus der jeweiligen Tagesdiskussion entstand nahezu in allen sieben Lehrgängen der Eindruck, dass sich in der Teilnehmergruppe bereits ein systemisches Grundverständnis entwickelt hatte. Seitens der zuhörenden Teilnehmenden kam es nur selten zu Verständnisrückfragen, was diesen Eindruck verstärkte. Im Verlauf der „großen Übung“ wurde der Eindruck des systemischen Grundverständnisses weiter gefestigt. Spätestens im zweiten Übungsteil änderte sich die Rolle der Lehrgangsleitung vom steuernden Moderator zum mitdiskutierenden Teilnehmer. Dabei wurde in der gemeinsamen Lösungsdiskussion nahezu ohne Einschränkungen das systemische Vokabular der Mehrebenenanalyse angewandt und die systemische Perspektive eingenommen. In der abschließenden Feedbackrunde gab es ohne Ausnahme eine mehrheitliche Akzeptanz der Vorteile der Mehrebenenanalyse und die Darstellung der eigenen Erfahrungen des Lehrgangs wurden mit einer selbstverständlich wirkenden systemischen Beschreibung vorgenommen. Ein weiteres Indiz dafür, dass die Kurse erste Veränderungen im Mindset in Richtung eines stabilen systemischen Denkens auslösten, war die selbstverständliche Benutzung der Begriffe der vier Ebenen beim fachlichen Erfahrungsaustausch alltäglicher Aufgaben und Projekte zwischen den Teilnehmenden in den Pausen am Tag der „großen Übung“. Auch einige Tage nach Kursende wurde in Gesprächen der Lehrgangsleitung mit einzelnen Teilnehmenden das gleiche Phänomen beobachtet.

Natürlich gab es auch Teilnehmende, die sich mit der Anwendung der Mehrebenenanalyse schwertaten, und es stellte sich bei diesen Personen kein Selbstverständnis für ein systemisches Beschreiben ein. Eine Ablehnung der Mehranalyse oder gar der Kursinhalte konnte nicht festgestellt werden, es wurde von diesen Teilnehmenden mehrheitlich geäußert, dass man die Vorteile sehe, aber die Anwendung noch einige Zeit der Übung bedürfe.

Als Lernkontrolle hatten die Teilnehmenden als Lehrgangsabschluss eine Transferaufgabe zu bearbeiten, bei der u.a. folgende Fragen zu beantworten waren:

- Welche Erkenntnis konnten Sie für sich aus der Veranstaltung ziehen?
- Beschreiben Sie anhand eines eigenen Beispiels den Einsatz der Methode „Mehrebenenanalyse“. Was ist für Sie vorteilhaft, was nachteilig bei der Verwendung dieser Methode?
- Wie passt das kennengelernte Lehrveranstaltungskonzept zum eigenen Arbeitsalltag? Welche Inhalte lassen sich einfach, welche schwierig in Ihre Projekte oder in Ihre Arbeitsstruktur integrieren?

Die Bearbeitung dieser Aufgabe erfolgte im Mittel 3-4 Wochen nach Ende des Lehrgangs, dadurch konnte überprüft werden, inwieweit das systemische Denken noch präsent war bzw. sich vertiefen konnte.

Folgende beispielhaften Aussagen als Auszug aus Transferaufgaben unterstützen die Einschätzung, dass bereits die fachlich orientierte Arbeit mit der Mehrebenenanalyse eine Mindset-Veränderung für eine verstärkte systemische Herangehensweise auslösen und wirksam stärken kann. Auch die Hinweise von Grenzen und negativen Effekten bei der Anwendung der Mehrebenenanalyse deuten auf ein wachsendes systemisches Verständnis der Methodennutzung hin. Hier beispielhafte Aussagen aus den Transferaufgaben:

- a) Zur Frage „Welche Erkenntnis konnten Sie für sich aus der Veranstaltung ziehen?“

„Der Vorteil liegt in einer „übergreifenden Betrachtungsweise“. Aus der Umsetzung von Einzelmaßnahmen kann man eine „Entwicklungstendenz“ erkennen und ggf. auch steuern.“
„Doch es geht nicht nur um Niederschlagswasser und Grundwasserbildung. Auch das Hitzemanagement wird eine Aufgabe der Zukunft, aber auch schon der Gegenwart sein. Das Schwammstadtkonzept kann dies alles leisten, wo es umsetzbar ist.“
„Die Komplexität des Themas Schwammstadt war eine große Erkenntnis. Es fängt bei den zahlreichen Faktoren/Umsetzungsmöglichkeiten, die überhaupt eine Stadt zu einer Schwammstadt machen an und endet vor allem bei der Realisierung, dass eine Vielzahl von Stellen/behördliche Stellen/Unternehmen/Anbieter/Hausherren/Kunden/Kommunen/die Gesetzgebung etc. zusammenarbeiten müssen, um das Schwammprinzip zukünftig flächendeckend realisierbar zu machen.“

„Die Veranstaltung über das Thema Schwammstadt zeigte, wie präsent, komplex und relevant die Thematik bereits ist. Es ist wichtig zu wissen, dass zum Großteil manche Prinzipien der Schwammstadt bereits umgesetzt werden und das Rad somit nicht neu erfunden werden muss. Dennoch braucht es eine Kombination bzw. Zusammenführung der verschiedenen Branchen, um wichtige nachhaltige, wassersensible Stadtentwicklungen zu beschleunigen.“

- b) Zur Frage „Beschreiben Sie anhand eines eigenen Beispiels den Einsatz der Methode „Mehrebenenanalyse“. Was ist für Sie vorteilhaft, was nachteilig bei der Verwendung dieser Methode?“

„Die Mehrebenenanalyse gestattet einen erweiterten Blick auf die zu treffenden Maßnahmen.“
„Diese Betrachtungsweise kann Zusammenhänge gut abbilden und aufdecken. Aber sie kann auch zu einer ‚Verzettelung‘ führen. Die Aufgabenstellung, oft auf der Mikroebene gestellt und zu lösen, kann sich unkontrolliert aufblähen und im schlimmsten Fall zu einem Scheitern des gesamten Projekts führen, wenn nicht projektbezogene Priorisierungen durch alle Beteiligten stattfinden.“
„Vorteilhaft bei dieser Mehrebenenanalyse ist das „Herausarbeiten“ von verbesserungswürdigen und nachhaltigen Lösungsansätzen im Zusammenhang. Nachteilig ist die Tatsache, dass die Entscheidungsgremien immer weniger ortsbezogen und betroffen sind und die Themen für den Einzelnen immer komplexer werden.“
„Vorteilhaft: detaillierte Erfassung von Einflüssen u. Maßnahmen; Erarbeitete Ideen gehen nicht

verloren; Zusammenhänge zwischen unterschiedliche Themen, Ideen u. Maßnahmen können besser erkannt werden. - Nachteilhaft: Aufwendige Recherche für eine möglicherweise nur erste Erhebung hinsichtlich der Machbarkeit; Keine vorab erkennbare Tendenz über die Aufwendung zur Umsetzung der folgenden Maßnahmen; Falscher Ansatz der Metaebenen kann später zu aufwendiger Überarbeitung führen; Umfangreiches lokales Wissen nötig, damit die Analyse auch entsprechenden Potenziale ausschöpft.“

„Die Mehrebenenanalyse ermöglicht, tief in die Prüfung der „Schwammmöglichkeiten“ eines Bauprojektes einzutauchen und die Komplexität strukturiert zu erfassen. Die Komplexität der Mehrebenenanalyse kann auch nachteilig betrachtet werden.

Es ist wichtig, dass die Übersichtlichkeit behalten wird und man die Analyse nicht bis ins Absurdum aufbläst. Weiterhin sollte man nicht blindlings den vorgegebenen Schlagworten folgen, sondern diese hinterfragen und für das eigene Projekt anpassen wo nötig/sinnig. Man muss ein paar Analysen durchgespielt haben, bis man die Vorteile des Tools gut anwenden kann.“ „Wesentliche Vorteile der Mehrebenenanalyse sind vor allem die Effekte, die auf verschiedenen Ebenen berücksichtigt werden können, welche wiederum Auswirkungen aufeinander haben. Somit können diverse Zusammenhänge berücksichtigt werden.

Ein Nachteil dieser Methode könnte eventuell zum Teil eine fehlende Detailansicht der Aufgabe, sein, bzw. auch die Schwierigkeit einen Überblick zu behalten und die Komplexität der Zusammenhänge darstellen.“

Die Mehrebenenanalyse ist ein unterstützendes Werkzeug, um die Komplexität sichtbar zu machen und gleichzeitig zu entflechten. In dem man die Mikro-, Meso-, Makro- und Metaebenen festlegt kann man den gegenseitigen Einfluss definieren und sich dann auf die jeweiligen Ebenen konzentrieren. Als Vorteil gilt für mich, dass man rasch einen Gesamtüberblick erreicht, Stakeholder schneller identifizieren kann und somit Kontakte frühestmöglich herstellen kann. Danach können die Details je Ebenen viel genauer betrachtet werden ohne abschweifend in anderen Ebenen zu geraten und diese können sogar teilweise losgelöst von anderen Ebenen bearbeitet werden. Ein möglicher Nachteil könnte sein, dass man die Ebenenabgrenzung zu stark betont und somit mögliche Schnittpunkte mit den anderen Ebenen anfänglich nicht genug beleuchtet und später einen bereits erfolgten Planungsabschnitt nachträglich verändern bzw. anpassen muss. Dies könnte einen erheblichen Zeitverzug verursachen.“

- c) Zur Frage „Wie passt das kennengelernte Lehrveranstaltungskonzept zum eigenen Arbeitsalltag? Welche Inhalte lassen sich einfach, welche schwierig in Ihre Projekte oder in Ihre Arbeitsstruktur integrieren?

„Die Lehrveranstaltung hat den Zusammenhang von der Schwammstadtsystematik gut vermittelt. Es sind künftig Konzepte zu entwickeln und umzusetzen, die sich einerseits gegen Hitze und Dürre und andererseits gegen Niederschlagsereignisse richtet. Durch die Mehrebenenbetrachtung können sich nachhaltige Maßnahmen entwickeln.“

3.2. Zielgruppenanalyse

Um den Zertifikatslehrgang im Entstehungsprozess zu unterstützen und fundierte Informationen in Bezug auf die Vermarktungsmöglichkeiten zu erarbeiten, wurde eine quantitative Befragung durchgeführt, die zur Identifikation der Zielgruppen des Zertifikatslehrgangs „KOMMUNAL 4.0 Fachingenieur/in digitalisierte Wasserwirtschaft“ verhelfen soll. Inhaltlich wird dabei der Fokus auf eine Marktsegmentierung nach Freter gelegt (Freter, 2008). Mithilfe der Marktsegmentierung können sowohl die Zielgruppen analysiert als auch potenzielle Interessentenkreise aufgebaut werden, die vor allem für das nachfolgende Marketing nützlich sein werden. Basis der Umfrage sind wie bereits im Antrag erwähnt die Forschungsergebnisse der Studie WaterExe4.0 der Hochschule Hof. Kern dieser Studie waren die zu untersuchenden Erfolgsfaktoren für einen erfolgreichen Umsetzungstransfer bei Digitalisierungsvorhaben in der Wasserwirtschaft (Müller-Czygan, Tarasyuk, Wagner, & Wimmer, 2022).

Die Ergebnisse besagen, dass ein wesentlicher Erfolgsfaktor die Kompetenz der Mitarbeiter und Projektleiter ist. Um zukünftig den Digitalisierungserfolg in der Wasserwirtschaft zu gewährleisten, wird aus den Ideen der beantragten Vortrags- und Kommunikationsreihe der Lehrgang „KOMMUNAL 4.0 Fachingenieur/in digitalisierte Wasserwirtschaft“ entwickelt. Die Zielgruppen sollen aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse aus der Studie WaterExe4.0 und der Ausrichtung des Zertifikatsniveaus, Ingenieure sein, die ambitioniert sind die Digitalisierung voranzutreiben. Ihre Tätigkeitsbereiche sollten sich mittelbar oder unmittelbar für Städte und Kommunen in der Wasserwirtschaft befinden.

Der Nutzen für ausgebildete Kräfte kann sich sowohl in der fachlichen Weiterentwicklung der Kompetenzen widerspiegeln als auch in den Vertragsverhandlungen in bestehenden oder zukünftigen Arbeitsverhältnissen. Wie zuvor erwähnt, erfolgte mithilfe einer Bachelorarbeit eine quantitative Befragung zur Identifikation der Zielgruppen des Zertifikatslehrgangs „KOMMUNAL 4.0 Fachingenieur/in digitalisierte Wasserwirtschaft“. Im Zuge der Untersuchung wurden mögliche Segmentierungskriterien des B2B-, als auch B2C- Bereichs betrachtet und konkrete Segmentierungskriterien ausgewählt, die für den Anwendungsfall des Bundesverbands KOMMUNAL 4.0 e.V. relevant sind.

Der Titel des Zertifikatslehrgangs „KOMMUNAL 4.0 Fachingenieur/in digitalisierte Wasserwirtschaft“ zeigt bereits einige Grenzen für die Auswahl der Segmentierungskriterien auf. Sowohl die Branche der Wasserwirtschaft als auch das Bildungsniveau sind für die Auswahl maßgebend. Somit ist das erste Segmentierungskriterium der Bildungsstand der Stichprobe. Da sich die erste Konzeption des Lehrgangs auf das Ingenieurniveau konzentriert, sind die Akademiker die Hauptanspruchsgruppe. Das soziologische Kriterium des Bildungsstands gliedert sich in die in Deutschland bekannten Bildungsabschlüsse. Die Datenerhebung und Datenanalyse erfolgten mittels Faktor- und hierarchischer Clusteranalyse. Die Datenerhebung wurde mittels vollstandardisierten Fragebogens in Form einer quantitativen Online-Befragung durchgeführt. Dazu wurden geschlossene Fragen gestellt, bei der die Teilnehmer innerhalb einer oder mehrerer Auswahlmöglichkeiten wählen können. Ergänzend wurden auch offene Fragen gestellt, um individuelle Aspekte zu erfassen.

Da sich es bei dem Zertifikatslehrgang um einen Zertifikatslehrgang für die Branche der Wasserwirtschaft handelt, muss die befragte Grundgesamtheit in dieser Hinsicht ebenfalls darauf

abgestimmt werden. Hierbei wurde auf den Kundenstamm des Projektpartners HST-Systemtechnik als Systemlieferant für die Branche der Wasserwirtschaft zurückgegriffen, da sie eine optimale Auswahl der zu befragenden Personen darstellte, denn HST ist in nahezu allen Anwendungsbereichen der Wasserwirtschaft aktiv. Insgesamt wurden 10.165 mögliche Kontakte identifiziert, die nach ausgewählten Suchkriterien gefiltert wurden.

Nach Prüfung wurden insgesamt 8675 Kontakte angeschrieben. Davon haben 350 Personen an der Befragung teilgenommen und 230 Personen den Fragebogen vollständig ausgefüllt. Nach Bereinigung der Drop-Outs werden final 228 Fragebögen betrachtet. Die Netto-Rücklaufquote dieser Stichprobe beträgt 2,63%, die Abschlussquote 65,14%. Das Geschlecht der Teilnehmer verteilt sich auf 83,77% (n=191) männliche Teilnehmer, 15,65% (n=36) weibliche Teilnehmer und 0,43% (n=1) diverse Teilnehmer. Der Altersdurchschnitt liegt bei 51,24 Jahren. Beschäftigt sind die Teilnehmer in der Wasserwirtschaft mit 163 Nennungen am häufigsten im Segment der Abwasserbehandlung, mit 142 Nennungen am zweithäufigsten im Segment der Kanalnetzbetriebe und mit 108 Nennungen am dritthäufigsten im Segment der Wasserversorgung. Die Befragten waren mit 78,51% (n=181) vorwiegend im Mittelstand tätig. 21,49% (n=49) der Befragten waren in einem Großunternehmen mit über 250 Personen beschäftigt. Die geografische Lage der Stichprobe verteilt sich über ganz Deutschland. Am häufigsten wurde in Baden-Württemberg, Nordrhein-Westfalen, Hessen und Bayern teilgenommen.

Dabei waren in Ihrer Berufstätigkeit 45,18% (n=103) der Befragten leitende Angestellte oder höhere Beamte, 38,60% (n=88) mittlere oder gehobene Angestellte, 4,39% (n=10) einfache Angestellte oder Beamte und 2,63% (n=6) Facharbeiter. Ebenso haben 8,33% (n=19) angegeben, freiberuflich oder selbstständig zu arbeiten. Diese Gruppe wurde aus Gründen der Vollständigkeit abgefragt, jedoch nicht im Durchschnitt der arithmetischen Mittel der Berufstätigkeit berücksichtigt. 9,6% (n=22) der Befragten konnten sich keiner Kategorie zuordnen und haben individuelle Antworten abgegeben. Nennungen wie „Geschäftsführer“ oder „Meister“ wurden als leitende Position eingestuft und den jeweiligen Kategorien zugeordnet. Mit 78,51% (n=179) lässt sich bei dem Bildungsgrad eine klare Mehrheit der Akademiker feststellen. 3,07% (n=7) der Befragten haben mit der Promotion den höchstmöglichen Bildungsgrad, 58,33% (n=133) ein Masterstudium (oder vergleichbares) und 17,11% (n=39) einen Bachelorabschluss (oder vergleichbares). Demnach lassen sich 21,49% (n=49) der Befragten der Kategorie der „nicht-Akademiker“ zuordnen. Davon haben 1,32% (n=3) die Allgemeine Hochschulreife (Abitur), 11,84% (n=27) die Fachhochschulreife (Fach-Abitur), 7,02% (n=16) einen mittleren Abschluss (Realschule) und 1,32% (n=3) einen Hauptschulabschluss.

Ebenso ließ sich feststellen, dass 18,42% (n=42) der Befragten innerhalb der vergangenen zwei Jahre eine Weiterbildung mit dem Schwerpunkt Digitalisierung absolvierten. Zeitgleich haben 30,26% (n=71) angegeben, dass sie eine Weiterbildung mit diesem Schwerpunkt in ihren Arbeitsprozessen „ein wenig“ bis „sehr stark“ geholfen haben. Dennoch haben nur 28,07% (n=64) der Befragten angegeben, dass Sie eine Weiterbildung mit dem Schwerpunkt Digitalisierung im kommenden Jahr anstreben. 71,93% (n=164) haben nicht vor im kommenden Jahr eine Weiterbildung mit diesem Schwerpunkt zu absolvieren.

Die Kosten für eine Weiterbildung mit dem Schwerpunkt Digitalisierung werden laut den Befragten von 76,32% (n=174) vom Unternehmen übernommen, 20,61% (n=47) haben keine Aussage darüber getroffen. Nur 3,07% (n=7) der Befragten schlossen die Kostenübernahme durch den Arbeitgeber aus. 75,44% (n=172) würden laut eigenen Angaben eine externe Weiterbildung mit diesem Schwerpunkt absolvieren, sofern der Arbeitgeber die Kosten dafür übernimmt. Sollte der Arbeitgeber die Kosten für eine solche Weiterbildung nicht übernehmen sinkt die Bereitschaft auf 13,60% (n=31).

Wichtige Merkmale für eine externe Weiterbildung mit dem Schwerpunkt Digitalisierung sind den Befragten vor allem die Praxisorientierung, der Nutzen und die Qualität der Weiterbildung. Persönlich möchten die Befragten auch ihr eigenes Qualifikationsprofil verbessern und neue Aufgabenbereiche bearbeiten.

Insbesondere Fragen zur Wirksamkeit bereits absolvierter Weiterbildungen zeigt die Notwendigkeit, von üblichen Weiterbildungsformaten weg zu gehen. Abbildung 1 zeigt, dass nur 10 % eine hohe Wirksamkeit bereits absolvierter Weiterbildungen in ihrem Arbeitsalltag festgestellt haben. Dies deckt sich mit zahlreichen Forschungen der Lern- und Transferforschung (Koch, 2018).

2. Wie stark hat Sie eine absolvierte Weiterbildung mit Bezug auf Digitalisierung in Ihren Arbeitsprozessen unterstützt? *

Anzahl Teilnehmer: 228

21 (9.2%): gar nicht

27 (11.8%): nicht so stark

18 (7.9%): weder noch

46 (20.2%): ein wenig

23 (10.1%): sehr stark

93 (40.8%): keine Aussage

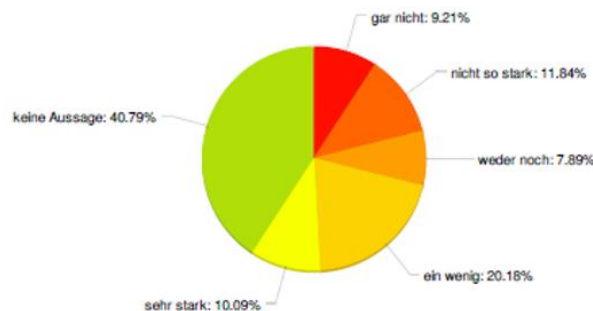


Abbildung 10 Wirksamkeit von Weiterbildungen zur Digitalisierung in der Wasserwirtschaft (Rzodeczko, 2022)

Der Wunsch nach einem hohen Nutzen gepaart mit Praxisorientierung spiegelt sich auch in der nachfolgenden Frage wider (siehe Abbildung 2).

3. Wie wichtig sind Ihnen folgende Aspekte bei externen Weiterbildungen mit dem Schwerpunkt Digitalisierung? *

Anzahl Teilnehmer: 228



Abbildung 11 Wichtige Aspekte in Weiterbildungen zur Digitalisierung in der Wasserwirtschaft (Rzodeczko, 2022)

Für die Zielgruppenansprache spielt auch die Kostenübernahme eine wichtige Rolle. Abbildung 3 zeigt die Ergebnisse für den Fall, dass der Arbeitgeber bzw. die eigene Organisation die Kosten für die Weiterbildung übernimmt. Abbildung 4 zeigt den Fall, dass die Teilnehmenden die Kosten selbst tragen müssten. Die Ergebnisse sind eindeutig, die Bereitschaft zur Teilnahme ist größer sobald der Arbeitgeber bzw. die eigene Organisation die Kosten für die Weiterbildung übernimmt.

Das hat entsprechende Konsequenzen bei der Gestaltung des Lehrgangs, der damit nicht ausschließlich auf die Bedürfnisse der Teilnehmer auszurichten ist.

7. Falls Ihre Organisation die Kosten für eine externe Weiterbildung mit Schwerpunkt Digitalisierung übernehmen würde, würden Sie diese absolvieren? *

Anzahl Teilnehmer: 228

172 (75.4%): Ja

15 (6.6%): Nein

41 (18.0%): keine Aussage

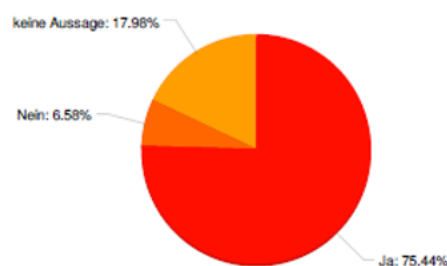


Abbildung 12 Kostenübernahme durch Arbeitgeber/Organisation (Rzodeczko, 2022)

8. Falls Ihre Organisation die Kosten für eine externe Weiterbildung mit Schwerpunkt Digitalisierung nicht übernehmen würde, würden Sie diese trotzdem absolvieren? *

Anzahl Teilnehmer: 228

31 (13.6%): Ja

118 (51.8%): Nein

79 (34.6%): keine Aussage

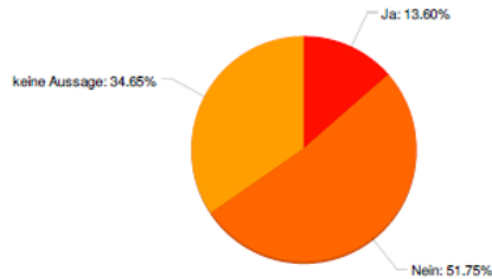


Abbildung 13 Kostenübernahme durch Teilnehmer selbst (Rzodeczko, 2022)

Von einer ebenso hohen Bedeutung ist die Aussage, dass mehr als 50 % der Befragten an der geplanten Weiterbildung auf Ingenieurniveau teilnehmen würden (siehe Abbildung 5), aber immerhin rd. 43 % an einer vergleichbaren Weiterbildung auf Facharbeiterniveau (siehe Abbildung 6).

9. Würden Sie die Digitalisierungsweiterbildung „KOMMUNAL 4.0 Fachingenieur/in digitalisierte Wasserwirtschaft“ absolvieren? (Ingenieur Niveau) *

Anzahl Teilnehmer: 228

122 (53.5%): ja

106 (46.5%): nein

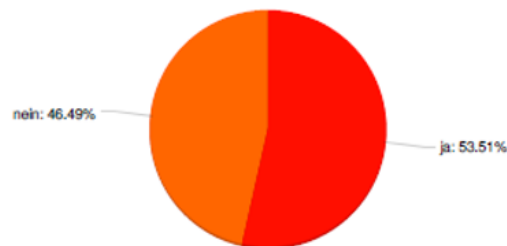


Abbildung 14 Teilnahmebereitschaft auf Ingenieurniveau (Rzodeczko, 2022)

10. Würden Sie die Digitalisierungsweiterbildung „KOMMUNAL 4.0 Fachingenieur/in digitalisierte Wasserwirtschaft“ absolvieren, wenn es diese für Facharbeiter geben würde? (Facharbeiter Niveau) *

Anzahl Teilnehmer: 228

98 (43.0%): ja

130 (57.0%): nein

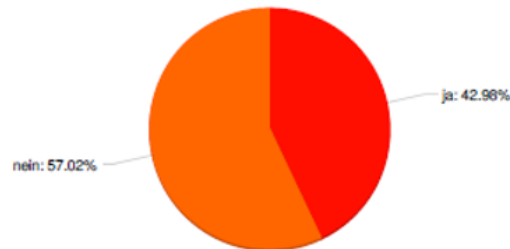


Abbildung 15 Teilnahmbereitschaft auf Facharbeiterniveau (Rzodeczko, 2022)

Darüber hinaus wurden in offenen Fragen noch die konkreten Bedürfnisse zur Digitalisierung abgefragt. Diese werden aktuell ausgewertet und fließen in die inhaltliche Gestaltung des Lehrgangs ein.

3.3. Lehrgangsstruktur

Auf Basis der Ergebnisse zur Zielgruppenanalyse, der durchgeführten Gespräche mit potenziellen Teilnehmern sowie unter Verwendung der Ergebnisse der Literaturanalyse und theoretischen Auseinandersetzung inkl. Adaption der Mehrebenenanalyse ist die in Abbildung 7 dargestellte generelle Lehrgangsstruktur entwickelt worden.

Modul	Inhalt	UE
1. Einführung in die Digitalisierung der Wasserwirtschaft	Anwendungsgebiete, Bedeutung von Produkt-, Objekt- und Betriebsebene; Mehrwert der Digitalisierung	2
2. Feldinstrumentierung und Kontrolle	Sensoren, Automation, SPS, IoT, Prozessmonitoring und -kontrolle, Cyber-physische Systeme	4
3. Datensammlung & Kommunikation	Datentransfer, IT-Sicherheit	4
4. Datenmanagement & Visualisierung	Datenplausibilität, Visualisierung, Cloud Technologien, Plattformen Netzwerk Monitoring	3
5. Schnittstellen und (internationale) Standards	OPC UA	3
6. Datenfusion und -analyse	Vorhersagemodelle, Simulation, Digitaler Zwilling, Künstliche Intelligenz	2
7. Prozessoptimierung	Vorhersagen, Betriebsoptimierung, Energieeffizienz, Netzbewirtschaftung	3
8. Mehrwertanalyse von Digitalisierungsprojekten	Technische Vorteile, Betriebliche Vorteile, Kosten-Nutzen-Berechnung, Entscheidungsmatrix	6
9. Anwenderkompetenzen	Kompetenzfeststellung, Ermittlung Schulungsbedarf, Schulungsstrategie "Training on the job"	3
10. SOWIESO-Strategie	Definition und Identifikation von Sowieso-Projekten, Bedarfsanalyse eines Sowieso-Projekts, Planung und Start eines Sowieso-Projekts, Transfer Lerneffekte Sowieso-Projekt auf größere Nachfolgeprojekte	3
11. Praxisphase	Anwendung Schulungsinhalte auf Teilnehmerprojekte, Lösungserarbeitung für Teilnehmerprojekte	10
12. Prüfung	Transferaufgabe	2
		45

Abbildung 16 Lehrgangsstruktur generell (Quelle: Hochschule Hof)

Damit auch Studierende der Hochschule Hof diesen Kurs besuchen können und für einen Bachelor- oder Masterstudiengang anerkannt bekommen, ist ein Umfang von 45 UE (Unterrichtseinheiten) festgelegt. Für die erfolgreiche Teilnahme von Marktteilnehmern der Wasserwirtschaft ist eine zeitliche Teilnahme von 80 % verpflichtend. Als Prüfung ist eine sogenannte Transferaufgabe vorgesehen, bei der die Teilnehmenden anhand verschiedener Leitfragen den Kursverlauf und das Erlernte durch beschreibende Texte reflektieren sollen. Eine Benotung ist nicht vorgesehen. Sofern Studierende teilnehmen, haben diese eine entsprechende Projektarbeit zu schreiben.

Je nach Bedarf fand der Lehrgang teilweise online, teilweise hybrid und teilweise komplett in Präsenz statt (siehe Abbildung 17). Um insbesondere eine hohe Transferwirkung zu erzielen (siehe dazu Kapitel 3.4), sollen die stark praxisbezogenen Module 8-11 vorwiegend in Präsenz stattfinden, da hier an konkreten Beispielen der Teilnehmer das Erlernte reflektiert und damit lerndidaktisch besser gefestigt wird.

Modul	UE	Format	Dozenten (Mitglieder)		
			Wissenschaft	Industrie	Kommune
1. Einführung in die Digitalisierung der Wasserwirtschaft	2	Präsenz 1 Tag	HAW Hof, GMC		
2. Feldinstrumentierung und Kontrolle	4			E+H, Krohne, Nivus	
3. Datensammlung & Kommunikation	4	Online		Nivus	
4. Datenmanagement & Visualisierung	3	Online		HST, FIWARE	
5. Schnittstellen und (internationale) Standards	3	Online		Beckhoff, FIWARE	
6. Datenfusion und -analyse	2	Online	HAW Hof, VT	hydro & meteo	
7. Prozessoptimierung	3	Online		HST, Wilo	Esi Siegen
8. Mehrwertanalyse von Digitalisierungsprojekten	6	Präsenz/Hybrid 1 Tag	HAW Hof, GMC	HST	Stadt Lorsch
9. Anwenderkompetenzen	3	Präsenz/Hybrid 1 Tag	HAW Hof, JF		Esi Siegen
10. SOWIESO-Strategie	3		HAW Hof, VT	HST	
11. Praxisphase	10	Präsenz 2 Tage	HAW Hof, GMC	HST	
12. Prüfung	2		HAW Hof, GMC		
	45				

Abbildung 17 Lehrgangsstruktur mit Format und Dozenten (Quelle: Hochschule Hof)

Die Dozenten sollen in einer Mischung auf Wissenschaft, Industrie und kommunale Anwenderseite zusammengestellt werden, wobei die Industrievertreter Mitglieder des Bundesverbands KOMMUNAL 4.0 e.V. sind. Bei den kommunalen Vertretern sind vorwiegend Partner aus dem Projekt KOMMUNAL 4.0 vorgesehen.

Der zentrale Punkt im Lehrgang ist die Vermittlung eines systemischen Verständnisses von Digitalisierung in der Wasserwirtschaft. Abbildung 18 zeigt die systemisch aufeinander abgestimmten Lern- und Transferziele. Dazu werden unterschiedliche Methoden eingesetzt und je nach

Teilnehmer:innen-Kontext ausführlich und an praktischen Beispielen der Teilnehmer ausgerichtet eingesetzt. Folgende Methoden sind vorgesehen:

- **Fachinput** – Was ist Digitalisierung und wie kann sie zielführend verwendet werden
- **Mehrebenenanalyse** – Exceltool und Methode zur besseren Darstellung komplexer Zusammenhänge (siehe Abbildung 19)
- **Kompetenzenbilanzanalyse** – Welche Kompetenzen braucht es, das Portfolio auf Schwammstadt auszurichten? Was ist bei den Mitarbeitern vorhanden, was zu ergänzen?
- **Transferstärkeanalyse und Transferstärkungstraining** – Wie groß ist die Umsetzungsstärke? Welche Wege gibt es, Hürden und Defizite zu überwinden und Kompetenzen effizient und effektiv einzusetzen?
- **SOWIESO-Strategie** – Lösungsentwicklungen in den Anwenderalltag integrieren als Erfolgsfaktor

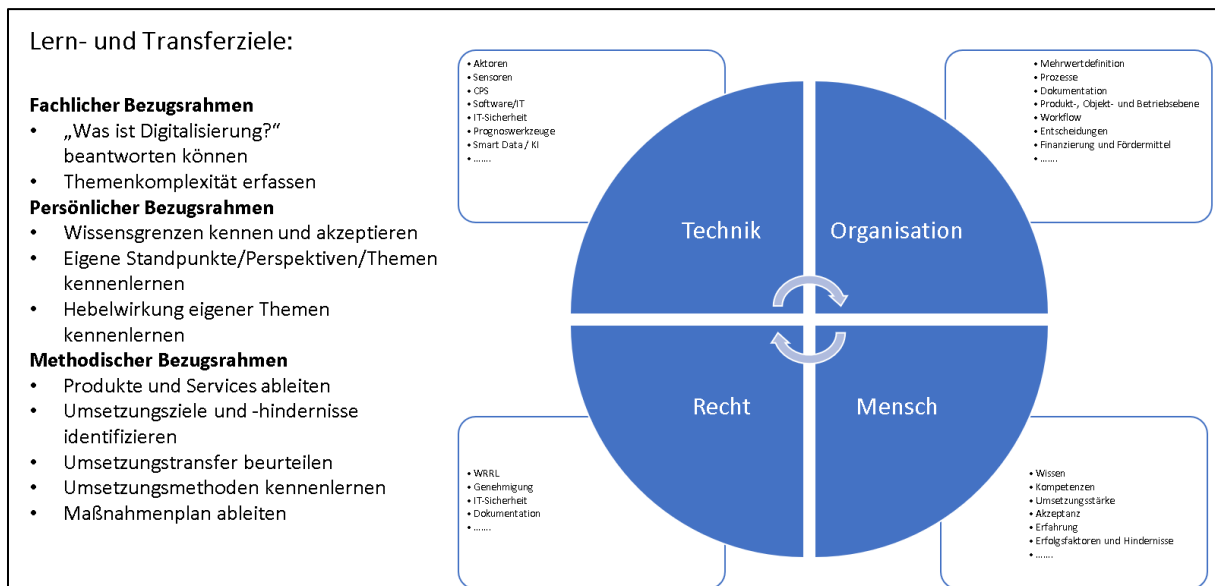


Abbildung 18 Lern- und Transferziele (Quelle: Hochschule Hof)

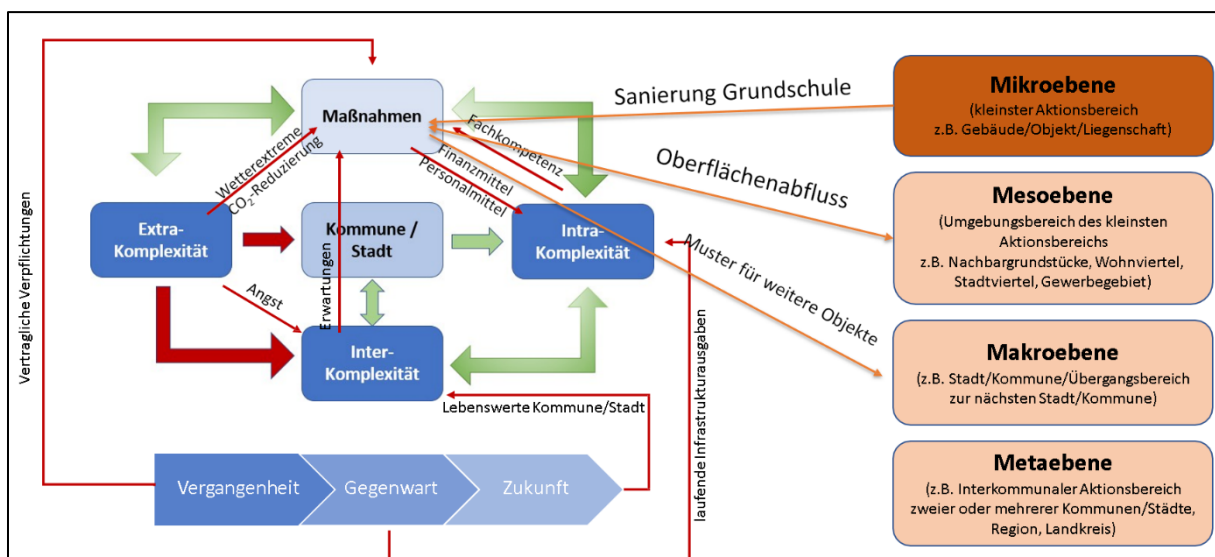


Abbildung 19 Mehrwertanalyse am Beispiel eines digitalen Regenwassermanagements (Quelle: Hochschule Hof)

Lernziele	Anteil	Kennen (Plenum)	Können (Plenum und Gruppen)	Verstehen und Anwenden (Gruppen und Individuum)
Fachlich	40 %	30 %	5 %	5 %
Methodisch	30 %	5 %	10 %	15 %
Sozial	ist nicht geplant, passiert automatisch			
Persönlich	30 %		10 %	20 %
	100 %	35 %	25 %	40 %

Abbildung 20 Kursdidaktik (Quelle: Hochschule Hof)

Um die verschiedenen systemischen Aspekte zu berücksichtigen, die insbesondere aus den Erfahrungen der Projekte KOMMUNAL 4.0 sowie den Metastudien WaterExe4.0 und DigiNaX stammen (siehe (Müller-Czygan, 2018), (Müller-Czygan, Tarasyuk, Wagner, & Wimmer, 2022-1)), wurde auf eine ausgewogene Aufteilung der fachlichen, methodischen, sozialen und persönlichen Lernziele geachtet (siehe Abbildung 20). Des Weiteren wurden die diaktischen Anforderungen an den aktuellen Stand der Forschung angelehnt und das sog. Constructive Alignment gemäß Abbildung 21 berücksichtigt. Für jedes Einzelmodul wurde darauf aufbauend eine eigene Modulbeschreibung erstellt, die in Abbildung 22 bis Abbildung 34 dargestellt sind. Die Module sind so aufgebaut, dass sie von unterschiedlichen Dozent:innen gegeben werden können.

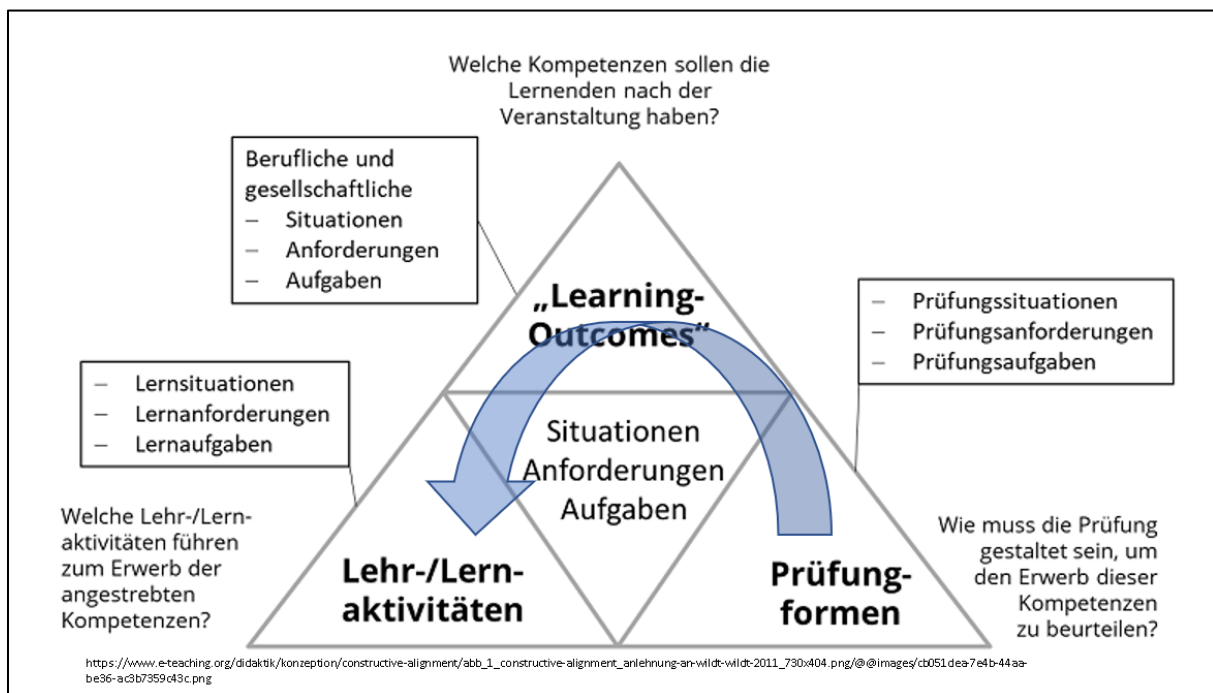


Abbildung 21 Didaktische Anforderung: Constructive Alignment (Quelle: Hochschule Hof)

Aspekt	Beschreibung
Dozent	Prof. Günter Müller-Czygan, Hochschule Hof; Martin Frigger, HST Systemtechnik, Dr. Rolf Schwen, Kommunal 4.0 e.V.
Umfang	4 UE
Art der Durchführung	Präsenz/Online
Lernziele	Die Teilnehmer erhalten einen Überblick über den Stand der Digitalisierung in der Wasserwirtschaft. Sie erfahren auf Basis der Ergebnisse der Metastudie WaterExe4.0 sowie der Nachfolgestudie DigitNaX die Vielfältigkeit der digitalen Angebote in der Wasserwirtschaft, was Erfolgsfaktoren und Hemmnisse in der Umsetzung sind. Sie sind mit Abschluss des Moduls in der Lage die wesentlichen Trends zur Digitalisierung in der Wasserwirtschaft einzuordnen und für den eigenen Anwendungsfall zu bewerten, auch in Hinblick auf Erfolgsfaktoren und Hemmnisse. Wege der Daten, Schwankungen, Unsicherheit sicher machen
Lehrinhalte	Vortragsform und Diskussionsforum sowie arbeiten mit dem Webportal „Digitaler Wasser Lotse“, der u.a. die Ergebnisse der Studien WaterExe4.0 und DigitNaX beinhaltet.
Kompetenzbildung	Fachliche und Methodische Kompetenzen
Medienform	Moodle, Beamer, Zoom, Miro, Flipchart, Pinwand
Literaturliste	Wird mit Unterrichtsmaterial benannt

Abbildung 22 Teilmodul 1: „Einführung in die Digitalisierung der Wasserwirtschaft“ (Quelle: Hochschule Hof)

Aspekt	Beschreibung
Dozent	Endress + Hauser (Anfrage Gutknecht, Uwe Heimann) Nivus (Kay Miller)
Umfang	4 UE = je 2 x 45 Minuten
Art der Durchführung	Präsenz/Online
Lernziele	Die Teilnehmer erhalten einen Überblick über die Einsatzmöglichkeiten von Sensortechnik in der Wasserwirtschaft inkl. Darstellung alternativer Informationserfassung und Sensorenkombinationen, Datenerfassung und Datenweitergabe. Sie lernen zudem die Einsatzgrenzen, Mindestanforderungen und Auswahlkriterien kennen. Ergänzend erfahren sie, was bei der Anbindung der Sensoren in webbasierte System zu beachten ist.
Lehrinhalte	Vortragsform und Diskussionsforum sowie arbeiten mit einem beispielhaften webbasierten Sensorkonfigurator und Bezugnahme zum Webportal „Digitaler Wasser Lotse“.
Kompetenzbildung	Fachliche und Methodische Kompetenzen
Medienform	Moodle, Beamer, Zoom, Miro, Flipchart, Pinwand
Literaturliste	Wird mit Unterrichtsmaterial benannt

Abbildung 23 Teilmodul 2: „Feldinstrumentierung und Kontrolle“ (Quelle: Hochschule Hof)

Aspekt	Beschreibung
Dozent	Tobias Wiese, HST Systemtechnik
Umfang	2 UE
Art der Durchführung	Online
Lernziele	Die Teilnehmer erhalten einen Überblick über die technischen Möglichkeiten der Datenerfassung und Datenkommunikation von der Feldebene bis in die Datenzentrale. Sie lernen die für die Wasserwirtschaft relevanten Datenformate, -protokolle und Sicherheitsanforderungen kennen.
Lehrinhalte	Vortragsform und Diskussionsforum und Bezugnahme zum Webportal „Digitaler Wasser Lotse“.
Kompetenzbildung	Fachliche und Methodische Kompetenzen
Medienform	Moodle, Zoom, Miro, digitales Whiteboard
Literaturliste	Wird mit Unterrichtsmaterial benannt

Abbildung 24 Teilmodul 3: „Datensammlung & Kommunikation“ (Quelle: Hochschule Hof)

Aspekt	Beschreibung
Dozent	Uwe Frigger, HST Systemtechnik
Umfang	2 UE
Art der Durchführung	Online
Lernziele	Die Teilnehmer erhalten einen Überblick über den Stand der Technik zum Datenmanagement und User-freundlichen Visualisierungslösungen allgemein und Anwendungsbeispiele aus der Wasserwirtschaft. Es werden die Anforderungen und Gestaltung von Zielformulierungen an ein effizientes Datenmanagement und eine User-freundliche Visualisierungslösung vermittelt.
Lehrinhalte	Vortragsform und Diskussionsforum inkl. Vorstellung von Beispiellösungen unter Bezugnahme zum Webportal „Digitaler Wasser Lotse“.
Kompetenzbildung	Fachliche und Methodische Kompetenzen
Medienform	Moodle, Zoom, Miro, digitales Whiteboard
Literaturliste	Wird mit Unterrichtsmaterial benannt

Abbildung 25 Teilmodul 4: „Datenmanagement & Visualisierung“ (Quelle: Hochschule Hof)

Aspekt	Beschreibung
Dozent	Ulrich Ahle (Fiware Foundation)
Umfang	2 UE
Art der Durchführung	Online
Lernziele	Die Teilnehmer erhalten einen Überblick über wichtigsten im Infrastrukturmanagement und insbesondere in der Wasserwirtschaft verwendeten Schnittstellen und Standards und deren Einordnung zu den Inhalten der Teilmodule 2, 3 sowie 4.
Lehrinhalte	Vortragsform und Diskussionsforum inkl. Vorstellung von Beispielanwendungen.
Kompetenzbildung	Fachliche und Methodische Kompetenzen
Medienform	Moodle, Zoom, Miro, digitales Whiteboard
Literaturliste	Wird mit Unterrichtsmaterial benannt

Abbildung 26 Teilmodul 5: „Schnittstellen und (internationale) Standards“ (Quelle: Hochschule Hof)

Aspekt	Beschreibung
Dozent	Viktoriya Tarasyuk, Hochschule Hof
Umfang	2 UE
Art der Durchführung	Online
Lernziele	Die Teilnehmer lernen, heterogene Datenquellen an Beispielen aus der Wasserwirtschaft zu ordnen, um diese anschließend strukturiert und vergleichbar analysieren zu können bzw. erstellte Analysen zu verstehen und zu bewerten. Es wird das Verständnis zur Überführung von Big Data zu Smart Data vermittelt.
Lehrinhalte	Vortragsform und Gruppenarbeit mit der Anwendung von Beispielanalysen.
Kompetenzbildung	Fachliche, Methodische und Soziale Kompetenzen
Medienform	Moodle, Zoom, Miro, digitales Whiteboard
Literaturliste	Wird mit Unterrichtsmaterial benannt

Abbildung 27 Teilmodul 6: „Datenfusion und -analyse“ (Quelle: Hochschule Hof)

Aspekt	Beschreibung
Dozent	Prof. Günter Müller-Czygan, Hochschule Hof Luming Shi, HST Systemtechnik Wilo SE
Umfang	4 UE
Art der Durchführung	Online
Lernziele	Die Teilnehmer erfahren anhand aktueller Beispiele, wie Sensordaten und analoge Daten z.B. aus Laboranalysen oder Erfahrungsdokumentationen zur Prozessoptimierung eingesetzt werden können. Dabei wird ein enger Bezug zum Teilmodul 6 hergestellt und die hier vorgestellten Kenntnisse in den Beispielen verwendet.
Lehrinhalte	Vortragsform und Gruppenarbeit mit der Anwendung von Beispielanalysen.
Kompetenzbildung	Fachliche, Methodische und Soziale Kompetenzen
Medienform	Moodle, Zoom, Miro, digitales Whiteboard
Literaturliste	Wird mit Unterrichtsmaterial benannt

Abbildung 28 Teilmodul 7: „Prozessoptimierung“ (Quelle: Hochschule Hof)

Aspekt	Beschreibung
Dozent	Prof. Günter Müller-Czygan
Umfang	2 UE
Art der Durchführung	Hybrid
Lernziele	Die Teilnehmer lernen anhand der multikriteriellen Bewertung komplexer Sachzusammenhänge den Mehrwert von Digitalisierungsprojekten einzuschätzen. Neben allgemeingültigen Basiskriterien werden individuelle Kriterien der Teilnehmer aufgenommen und in die Beispielbewertungen integriert, wobei insbesondere die verschiedenen Zielperspektiven, die in einem Digitalisierungsprojekt zu beachten sind, erörtert und bearbeitet werden und auch die Rolle der Eigenperspektive reflektiert wird. Die Mehrwertanalyse erfolgt mit dem Tool SokratesMap.
Lehrinhalte	Vortragsform und Gruppenarbeit inkl. Vorstellung von Beispielanwendungen.
Kompetenzbildung	Fachliche, Methodische, Soziale und Persönliche Kompetenzen
Medienform	Moodle, Zoom, Miro, digitales Whiteboard
Literaturliste	Wird mit Unterrichtsmaterial benannt

Abbildung 29 Teilmodul 8: „Mehrwertanalyse von Digitalisierungsprojekten“ (Quelle: Hochschule Hof)

Aspekt	Beschreibung
Dozent	Dr. Julia Frank, Hochschule Hof
Umfang	2 UE
Art der Durchführung	Hybrid
Lernziele	Die Teilnehmer lernen anhand der Methode Kompetenzenbilanzen, Digitalisierungsvorhaben nach den erforderlichen Kompetenzen zu analysieren, um Vorhaben erfolgreich umzusetzen. Mithilfe der Methode können aus den Zielkriterien eines Digitalisierungsvorhabens die für Planung, Umsetzung und Betrieb erforderlichen Kompetenzen der involvierten Organisationen und Personen abgeleitet werden, um entscheiden zu können, welche eigenen Mitarbeiter oder externe Experten einzubeziehen sind. Gleichzeitig lernen die Teilnehmer, mit der Methode die vorhandenen Kompetenzen in Frage kommender Mitarbeiter zu überprüfen und notwendige Lerninhalte zu bestimmen.
Lehrinhalte	Vortragsform und Gruppenarbeit inkl. Erstellung einer projekt- sowie einer anwenderorientierten Kompetenzenbilanz.
Kompetenzbildung	Fachliche, Methodische, Soziale und Persönliche Kompetenzen
Medienform	Moodle, Zoom, Miro, digitales Whiteboard
Literaturliste	Claas Triebel. „Wer bin ich? Was kann ich? Was will ich?“, Klett-Cotta Verlag, 2022

Abbildung 30 Teilmodul 9: „Anwenderkompetenzen“ (Quelle: Hochschule Hof)

Aspekt	Beschreibung
Dozent	Prof. Günter Müller-Czygan
Umfang	4 UE
Art der Durchführung	Hybrid
Lernziele	Die Teilnehmer lernen anhand der Methode der SOWIESO-Strategie, wie insbesondere neuartige und komplexe Digitalisierungsvorhaben mit sog. Sowieso-Projekten ideal in den Arbeitsalltag integriert werden können und gleichzeitig ein schnelles Lernen der erforderlichen Zusammenhänge gelingt. Anhand verschiedener Beispiele lernen sie die unterschiedlichen Perspektiven kennen, aus denen Sowieso-Projekte identifiziert und optimal für den Einstieg in ein schnell erlernbares Verständnis komplexer Digitalisierung genutzt werden können. Ergänzend werden sog. Anwendungsstandards und die Digitalisierung von Erfahrungswissen als Bestandteil von Sowieso-Projekten vorgestellt.
Lehrinhalte	Vortragsform und Gruppenarbeit inkl. Reflexionsübung und Erstellung einer SOWIESO-Strategie.
Kompetenzbildung	Fachliche, Methodische, Soziale und Persönliche Kompetenzen
Medienform	Moodle, Zoom, Miro, digitales Whiteboard
Literaturliste	Wird mit Unterrichtsmaterial benannt

Abbildung 31 Teilmodul 10: „Umsetzungsverstärker SOWIESO-Projekte“ (Quelle: Hochschule Hof)

Aspekt	Beschreibung
Dozent	Prof. Ferger, Aachen
Umfang	4 UE
Art der Durchführung	Hybrid
Lernziele	Die Teilnehmer erlernen die Grundlagen des Building Information Modelling (BIM), verfügbaren Systemen und deren Rolle für die Wasserwirtschaft. Anhand von Beispielen aus Infrastrukturprojekten des öffentlichen Tiefbaus erhalten die Teilnehmer die Einsicht, die Möglichkeiten und Grenzen des BIM kennenzulernen und in Übungen anzuwenden. Die Teilnehmer sind nach dem Teilmodul in der Lage, den Einsatz von BIM bezogen auf wesentliche Aufgaben in der Wasserwirtschaft einzuordnen und passende Systeme zu bewerten.
Lehrinhalte	Vortragsform und Gruppenarbeit inkl. Reflexionsübung und Erstellung eines BIM-Basismodells
Kompetenzbildung	Fachliche, Methodische Kompetenzen
Medienform	Moodle, Zoom, Miro, digitales Whiteboard
Literaturliste	Wird mit Unterrichtsmaterial benannt

Abbildung 32 Teilmodul 11: „BIM“ (Quelle: Hochschule Hof)

Aspekt	Beschreibung
Dozent	Hochschule Hof
Umfang	2 UE
Art der Durchführung	Online
Lernziele	Die Teilnehmer werden über den aktuellen Stand der KRITIS-Anforderungen und das IT-Sicherheitsgesetz informiert. Zudem erhalten Sie einen Überblick über aktuelle Bedrohungspotenziale, insbesondere für die Wasserwirtschaft. Zudem wird der Nutzen und die Anwendung eines ISMS am Beispiel des KANIO-ISMS vorgestellt. Die Teilnehmer lernen die Einschätzung des Bedrohungspotenzials für die Wasserwirtschaft und den Umgang mit einem ISMS-System.
Lehrinhalte	Arbeiten an Gesetzestexten und Beispielvorgängen.
Kompetenzbildung	Fachliche, Methodische Kompetenzen
Medienform	Moodle, Beamer, Zoom, Miro, Flipchart, Pinwand, Metawand
Literaturliste	keine

Abbildung 33 Teilmodul 12: „Überblick Cybersicherheit KRITIS“ (Quelle: Hochschule Hof)

Aspekt	Beschreibung
Dozent	Prof. Müller-Czygan, Hochschule Hof
Umfang	8 UE
Art der Durchführung	Präsenz Workshop
Lernziele	Die Teilnehmer erstellen anhand der Lerninhalte der Teilmodule 1-10 auf Basis eines Beispiels aus ihrem Arbeitsalltag ein komplettes Digitalisierungsvorhaben mit dem Ziel, ein Lastenheft für ein Sowieso-Projekt als Start der eigenen Digitalisierungsziele zu erstellen. Das Lastenheft wird so ausgerichtet, dass es eine hohe Umsetzungswahrscheinlichkeit hat.
Lehrinhalte	Einzel- und/oder Gruppenarbeit auf Basis der jeweils eigenen Digitalisierungsvorhaben der Teilnehmer unter Verwendung aller Methoden und Tools der Teilmodule 1-10 mit coachingbasierter Begleitung der Dozent:innen.
Kompetenzbildung	Fachliche, Methodische, Soziale und Persönliche Kompetenzen
Medienform	Moodle, Beamer, Zoom, Miro, Flipchart, Pinwand, Metawand
Literaturliste	keine

Abbildung 34 Teilmodul 13: „Praxisphase“ (Quelle: Hochschule Hof)

3.4. Erhöhung der Transferwirkung

Der Lehrgang wird neben den aktuellen Trends und Themen der Digitalisierung in der Wasserwirtschaft auch die neuesten Erkenntnisse der Lern- und Transferforschung berücksichtigen, um einen sehr hohen Umsetzungstransfer zu erzielen. Dies ist nur möglich, wenn Inhalte und Methoden sowohl die Makro-, die Meso- und die Mikroebene des Lernens berücksichtigen (siehe Tabelle 1).

Tabelle 10: Mehrebenenmodell der Transferwirkung (eigene Darstellung)

Ebene	Adressat	Lern- und Transferziele
Makro	Branche	Trends, Best-Practices, Netzwerke bilden, Lernpartner finden
Meso	Organisation	Kompetenzbedarf ermitteln, Technologiebedarf, Aufgabenbedarf, Nutzendefinition, Hebelwirkung eingesetzter Technologien, Kosten-Nutzen-Bewertung
Mikro	Teilnehmer	Kompetenzbedarf ermitteln, eigene Lerngeschwindigkeit erkennen, Lerngrenzen ermitteln (= Transferstärke) und erweitern

Letztendlich zielen Weiterbildungen zur Digitalisierung in der Wasserwirtschaft in erster Linie auf die Mesebene ab. Unternehmen bieten Digitallösungen an, die in kommunalen Organisationen eingesetzt werden können und sollen. Damit Angebot und Nachfrage in idealer Weise zueinander finden, müssen die Perspektiven auf die Makro- und Mikroebene erweitert werden. Dazu werden drei Bezugsrahmen im Lehrgang beachtet.

Erstmals werden in Lehrgängen der Wasserwirtschaft die Methoden Kompetenzenbilanzanalyse (Abbildung 35) und SOWIESO-Strategie (Abbildung 36) eingesetzt.

Personale Kompetenz	Soziale Kompetenz	Fachliche Kompetenz	Methodische Kompetenz	Werte
Kreativität			(praktische) Dinge planen / organisieren	Verantwortung haben
Verbindlichkeit & Zuverlässigkeit	Empathie Vertrauen schaffen und leben	Fachwissen Formulieren	Dokumentieren	Entscheidungsrahmen haben, freiheitsliebend
Neue Herausforderungen annehmen	Mit Anderen auf Augenhöhe kommunizieren	Beraten	Wissen weitergeben*	Gefragt werden, Wertschätzung erhalten
Aktivität / initiativ sein	Anderere einbeziehen	Auswählen & Entscheiden Analysieren*	Einer Sache auf den Grund gehen*	Engagiert & motiviert sein (bei interessanten Themen)
Für eine Sache einstehen*				Routinearbeit ist schwierig für mich → neue Ideen, Abwechslung ist wichtig

Abbildung 35 Kompetenzenanalyse (Quelle: Hochschule Hof)

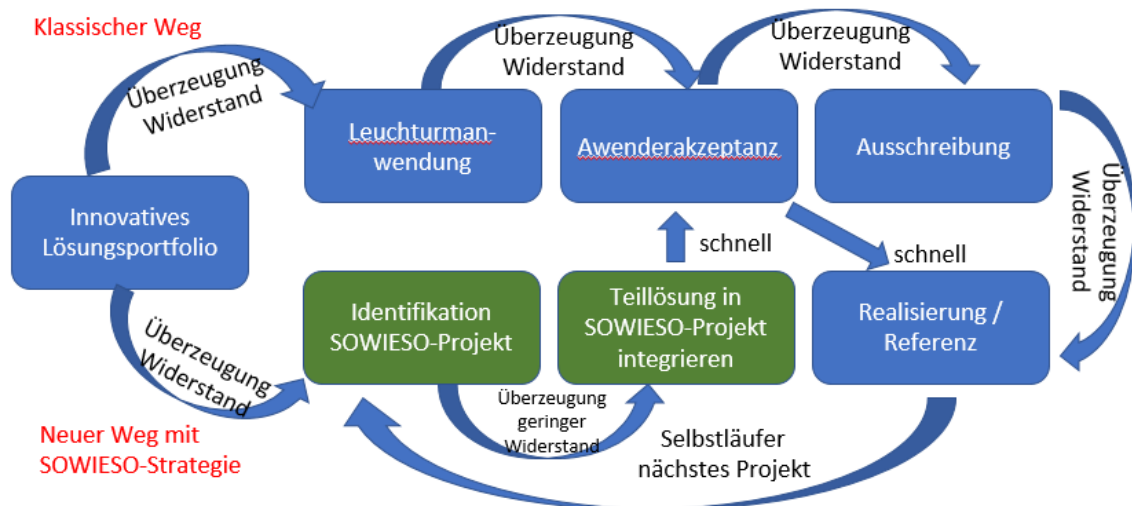


Abbildung 36 SOWIESO-Strategie (Quelle: Hochschule Hof)

Damit diese Methoden zielführend mit den Fachinhalten gekoppelt werden können, wurde eine spezielle Modulabfolge entwickelt (siehe Abbildung 37). Die Lern- und Transferforschung zeigt, dass eine vor- und nachbereitende Begleitung essenziell ist, damit Weiterbildungsinhalte ins Langzeitgedächtnis übergehen und die Umsetzung nicht beim guten Willen verbleibt. Ebenso ist auf der didaktischen Ebene darauf zu achten, dass Inhalte und Methoden stärker im Bereich Können, Verstehen und Anwenden angesiedelt sind.

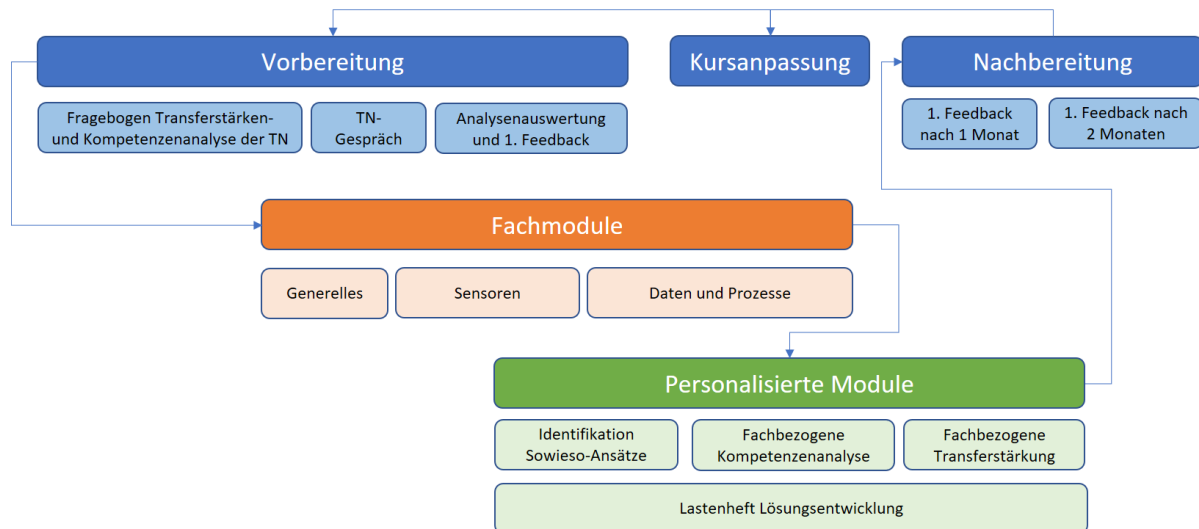


Abbildung 37 Modulabfolge (Quelle: Hochschule Hof)

4. Lehrgangsevaluation

Während der Entwicklungszeit des Kurses wurde parallel an mehreren Stellen das Meinungsbild der potenziellen Teilnehmer befragt und das Interesse geprüft. Ziel war es, erste Erkenntnisse über die Wirksamkeit und Akzeptanz des Lehrgangs zu gewinnen. Trotz der begrenzten Teilnehmerzahl liefern die Ergebnisse einen Einblick in die initiale Stimmung und ermöglichen Ansatzpunkte für zukünftige Optimierungen.

TausendWasser 2023 Berlin

Die Fachmesse TausendWasser in Berlin fungierte als initiiender Schnittpunkt mit potenziellen Teilnehmern und markierte den Auftakt für die Bekanntmachung des Zertifikatslehrgangs. Der Bundesverband KOMMUNAL 4.0 präsentierte sich auf der Messe durch einen Messestand und durch fundierte Vortragsinhalte unter dem Titel "Wie werde ich Digitalisierungsexperte?". Die Resonanz auf das Thema des Zertifikatslehrgangs war überwiegend positiv. Die Aufmerksamkeit auf den Messestand war ebenfalls hoch.

Es sei anzumerken, dass die Meinungen der Messebesucher teilweise stark voneinander abwichen. Einige Besucher zeigten wenig Begeisterung für das Thema Digitalisierung in der Wasserwirtschaft und offenbarten einen noch nicht konkretisierten Zugang zu diesem Bereich. Andererseits standen einige Messebesucher dem Thema äußerst aufgeschlossen gegenüber und äußerten explizites Interesse. Es ist zu betonen, dass diese Erfahrungen auf subjektiven Meinungen basieren, weshalb sie nicht pauschal verallgemeinert werden können. Eine diversifizierte Haltung gegenüber der Digitalisierung in der Wasserwirtschaft spiegelt die Varianz der Meinungen und die Vielschichtigkeit der Herausforderungen wider.

Schnupperkurs

Ebenso erfolgte eine Untersuchung des Interesses am Kurs durch die Bereitstellung eines kostenfreien Einführungskurses. Auf Basis eines versandten Einladungsschreibens per E-Mail meldeten sich 58

Teilnehmer für den Online-Kurs unter der Leitung von Professor Müller-Czygan der Hochschule Hof an. Die Teilnehmeranzahl sowie die nachfolgende Umfrage deuten darauf hin, dass ein grundlegendes Interesse am Zertifikatslehrgang besteht und dieser als potenzielles Instrument zur Vertiefung der Digitalisierungskompetenz betrachtet wird. Diese Teilnehmerresonanz reflektiert eine anfängliche Akzeptanz des Lehrangebots und signalisiert das Vorhandensein einer vielversprechenden Basis für die Förderung digitaler Kompetenzen in der Wasserwirtschaft.

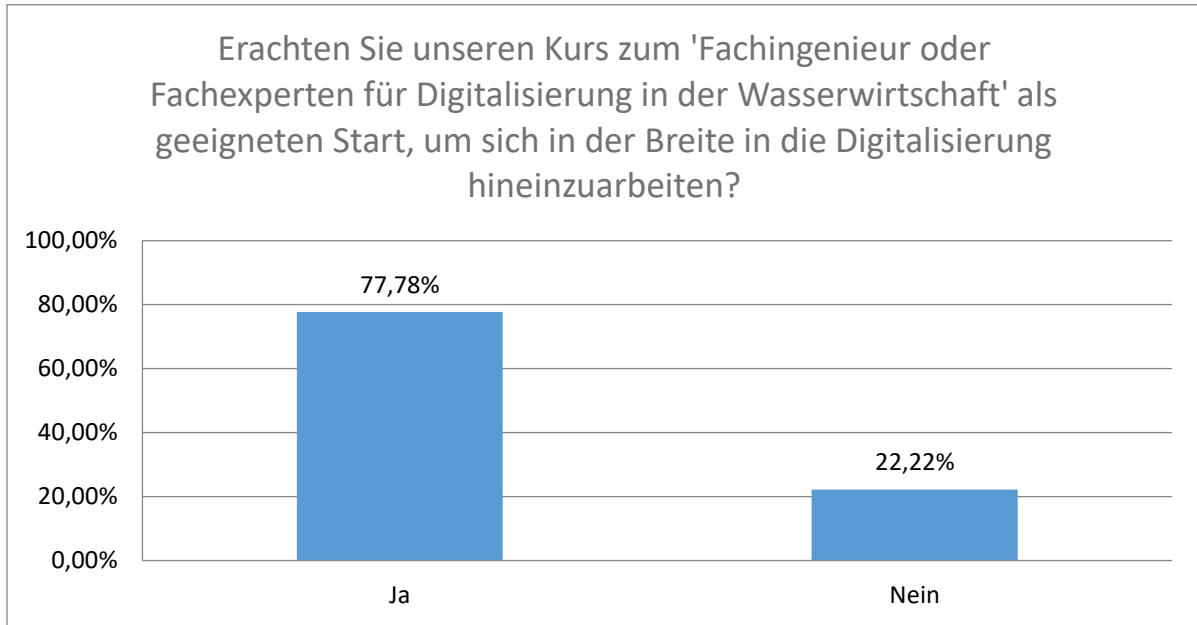


Abbildung 38: Auswertung Lamapoll Umfrage „Erachten Sie unseren Kurs zum 'Fachingenieur oder Fachexperten für Digitalisierung in der Wasserwirtschaft' als geeigneten Start, um sich in der Breite in die Digitalisierung hineinzuarbeiten?“ (eigene Darstellung) N=9

Evaluationskurs Q3 2023

Im Verlauf des Entwicklungsprozesses wurde den Mitgliedsunternehmen des Verbandes das Angebot unterbreitet, ihre Mitarbeiter zum geplanten Evaluationskurs im 3. Quartal 2023 „Fachingenieur | Fachexperte für Digitalisierung in der Wasserwirtschaft“ anzumelden. Auf dieses Angebot meldeten sich zehn Teilnehmer aus den verschiedenen Mitgliedsunternehmen. Ziel war es dabei die erarbeiteten Inhalte mit dem Konzept zu verschmelzen, die Akzeptanz der Inhalte sowie das kritische Feedback der Teilnehmer einzuholen und einen ersten Durchlauf auch auf organisatorischer Seite durchzuführen. Um das Meinungsbild der Teilnehmer zu erfahren wurde nach jedem Teilmodul eine Umfrage mithilfe des Umfragetools „Lamapoll“ durchgeführt. Dieses Tool ermöglicht es einen vorher angefertigten Fragebogen online durchzuführen und somit ein strukturiertes Meinungsbild zu erarbeiten. So konnte bereits zu Beginn herausgefunden werden, wie die Teilnehmer ihr Wissen in den einzelnen Teilbereichen einschätzen.

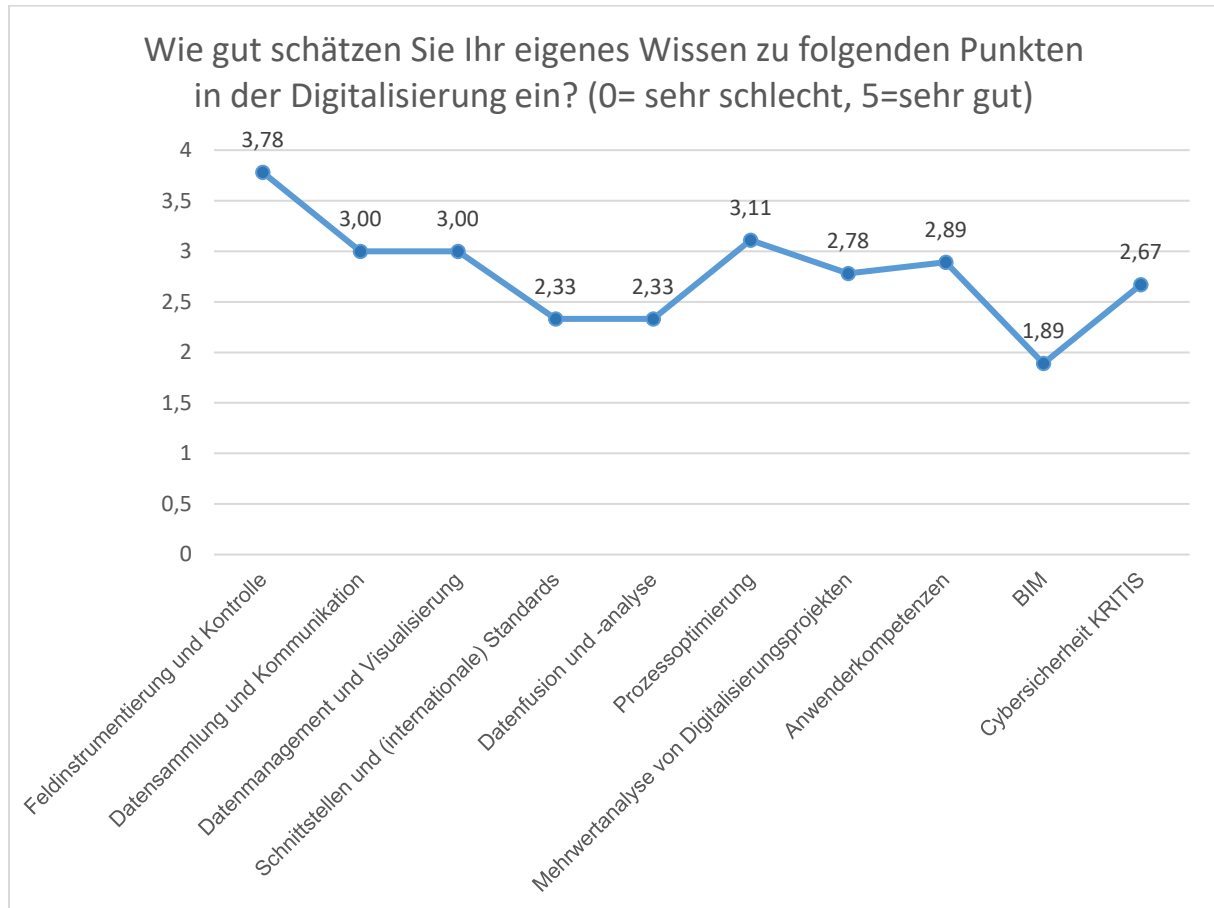


Abbildung 39: Auswertung Lamapoll Umfrage „Wie gut schätzen Sie Ihr eigenes Wissen zu folgenden Punkten in der Digitalisierung ein?“ (eigene Darstellung) N=9

Das Ergebnis zeigt, dass die Teilnehmer in einigen Teilbereichen noch Potenziale haben ihr Wissen auszubauen. So ist beispielsweise das Querschnittsthema BIM, ein noch sehr unbeleuchteter Bereich. Hingegen ist das Thema der Feldinstrumentierung und Kontrolle bei den Teilnehmern des Evaluationskurses am besten ausgeprägt. Auch wenn andere Teilnehmer voraussichtlich andere Schwerpunkte haben, lässt es darauf schließen, dass es viel Spezialwissen bei den Teilnehmern gibt und das Breitenwissen weniger ausgebaut ist. Dies ist ein Indiz dafür, dass der strukturelle Aufbau des Kurses zur Stärkung des Breitenwissens richtig gewählt wurde.

Ebenfalls wird durch den Aufbau des Breitenwissens und durch die Verknüpfung der einzelnen Themenbereiche ein systemisches Denken entwickeln. Eine weitere Umfrage zeigt, dass den Teilnehmern diese systemische Denkweise in Bezug auf Digitalisierung sehr wichtig ist. So haben 89% der Teilnehmer ein übergreifendes Systemwissen und -denken als sehr wichtig erachtet. 11% hingegen haben dies als unwichtig erachtet.

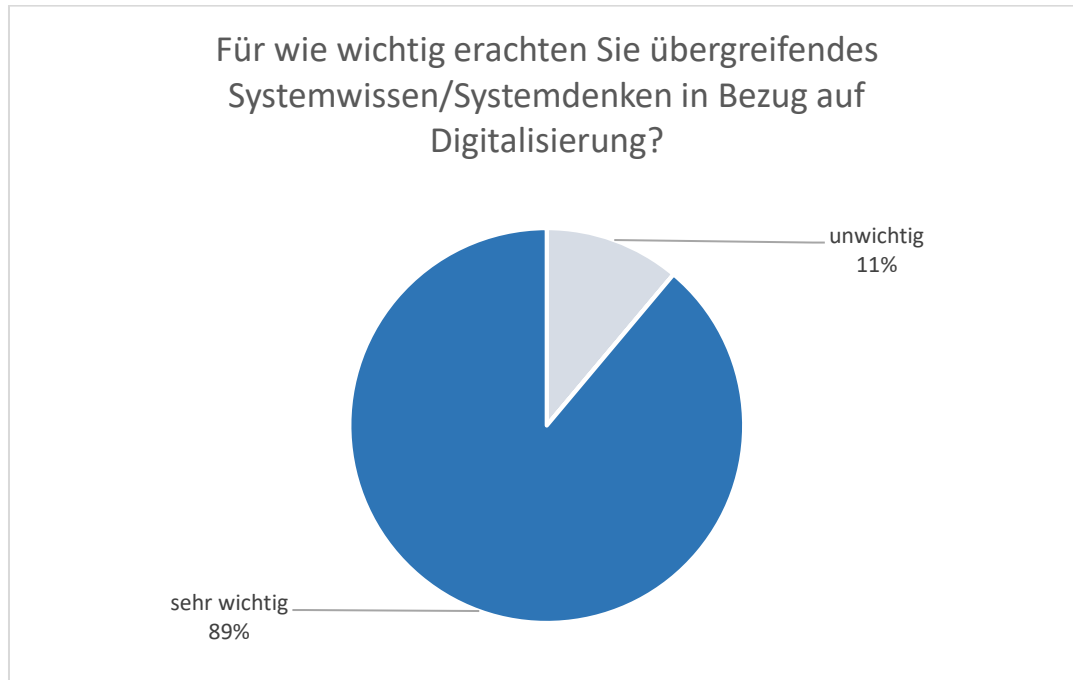


Abbildung 40: Auswertung Lamapoll Umfrage „Für wie wichtig erachten Sie übergreifendes Systemwissen/Systemdenken in Bezug auf Digitalisierung?“ (eigene Darstellung) N=9

Somit zählt der Zertifikatslehrgang nicht nur auf die gesellschaftlichen Ziele der Digitalisierung ein, sondern auch auf die individuellen Ziele der Teilnehmer.

Um die Effektivität der einzelnen Module noch konkreter zu beleuchten wurde ab Modul 5 die Frage gestellt „Wie sehr hat sich Ihr Wissen durch die Modulinhalte erweitert?“. Die Grafik zeigt, dass hier noch an den einzelnen Modulinhalten gearbeitet werden muss. Einige Module konnten jedoch bereits starke bis sehr starke Veränderungen im subjektiven Empfinden des Wissensstands erreichen.

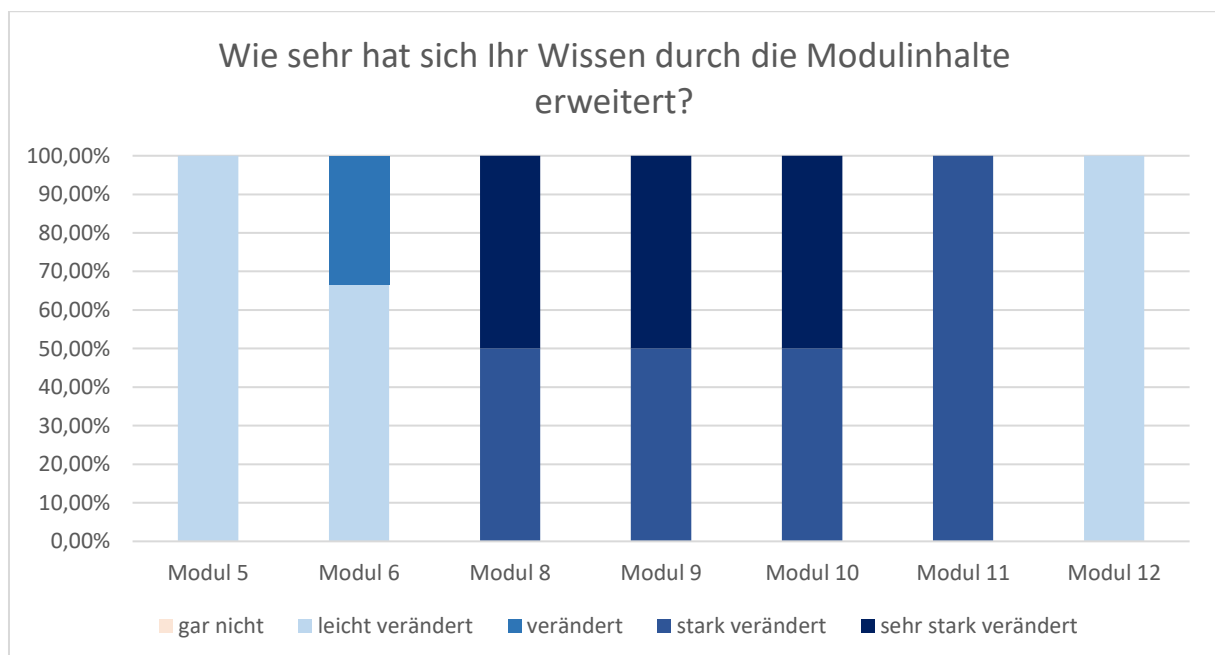


Abbildung 41: Auswertung Lamapoll Umfrage „Wie sehr hat sich Ihr Wissen durch die Modulinhalte erweitert?“ (eigene Darstellung)

Trotz der geringen Teilnehmerzahl liefert die vorliegende Evaluation einen ersten Einblick in die Reaktionen auf den entwickelten Lehrgang und lässt darauf schließen, dass ein grundsätzliches Interesse an Weiterbildungen im Bereich der Digitalisierung besteht. Die positiven Rückmeldungen sowohl aus der Umfrage als auch von der Messepräsentation deuten darauf hin, dass der Lehrgang Potenzial hat, jedoch bedarf es weiterer Untersuchungen, um belastbare Schlussfolgerungen zu ziehen. Der vorliegende Projektbericht soll als Grundlage für die Weiterentwicklung und Feinjustierung des Lehrgangs dienen, um die Bedürfnisse der Zielgruppe optimal zu erfüllen.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Das Fördermittelprojekt „DigitalDialog4.0“ repräsentiert einen bedeutsamen Schritt in die richtige Richtung der Fachbranche Wasserwirtschaft. Durch die Studien WaterExe4.0 sowie der Folgestudie DigiNax konnten die Faktoren zum Erfolg verschiedener Digitalisierungsprojekte identifiziert werden. Als wesentlicher Erfolgsfaktor für Digitalisierungsprojekte wurde dabei die „Kompetenz von Projektleitungen und Projektmitarbeitenden“ festgestellt. Als Lösung für die fehlende Kompetenz wurde in diesem Projekt der Zertifikatslehrgang „Fachingenieur | Fachexperte für Digitalisierung in der Wasserwirtschaft“ entwickelt und erfolgreich umgesetzt. Nachdem der Fokus in den ersten Monaten des Projekts auf der Identifikation der Zielgruppen sowie der Erstellung des strukturellen und didaktischen Konzepts lag, wurde im Anschluss die Akzeptanz und das grundsätzliche Interesse am Weiterbildungsangebot geprüft. Durch verschiedene Berührungspunkte mit potenziellen Teilnehmern der Branche konnte festgestellt werden, dass ein grundsätzliches Interesse an Weiterbildungen im Bereich der Digitalisierung vorhanden ist. Der Zertifikatslehrgang trägt somit zur Weiterbildung von Kommunalen Organisationen, als auch Unternehmen bei und fördert die Digitalisierung im Entwicklungsprozess. Zeitgleich stärkt es die Mitgliedsunternehmen des Bundesverbands KOMMUNAL 4.0 bei der Verwertung von Digitalisierungslösungen. Insbesondere der Projektpartner HST Systemtechnik konnte während der Entwicklung und Durchführung des Kurses, durch vermittelndes Kernwissen aus ihrem Unternehmen, eigene Denkanstöße setzen und systemisches Denken vermitteln. Die erfolgreiche Entwicklung des Zertifikatslehrgangs ist jedoch nicht das Ende des Weges, sondern markiert einen neuen Anfang. Es ist entscheidend, die gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen zu nutzen, um weitere Entwicklungen und Innovationen in der Wasserwirtschaft voranzutreiben. Die Teilnehmer des Lehrgangs sind nun in der Lage, ihr erworbenes Wissen in ihre täglichen Aufgaben zu integrieren und als Multiplikatoren für die Digitalisierung in ihren Organisationen zu wirken. Für die Zukunft des Zertifikatslehrgangs "Fachingenieur | Fachexperte für Digitalisierung in der Wasserwirtschaft" ist eine kontinuierliche Evaluation und Anpassung des Lehrgangs von großer Bedeutung, um sicherzustellen, dass er stets den aktuellen Anforderungen und Entwicklungen in der Wasserwirtschaft gerecht wird. Darüber hinaus bietet sich die Möglichkeit, das erfolgreiche Modell auf weitere Bildungsniveaus auszuweiten, um einen breiteren Beitrag zur digitalen Transformation leisten. Der Abschluss des Projekts bildet somit den Auftakt zu weiteren Innovationsinitiativen und einem nachhaltigen Beitrag zur digitalen Zukunft der Wasserwirtschaft.

erstellt Hof, Meschede, den 15.12.2021

Prof. Günter Müller-Czygan

David Rzodeczko

Literaturverzeichnis

- Antonacopoulou, E. P., & Gabriel, Y. (2001). Emotion, learning and organizational change: Towards an integration of psychoanalytic and other perspectives. *Journal of Organizational Change Management*, S. 435-451.
- Apitz, T., & Müller, G. (1999). Mangelnde Soziale Kompetenz als Kostenfaktor im Rahmen der Leistungsanforderungen nach HOAI. *Wasser und Boden*, S. 49-56.
- Balint, T., Lamperti, F., Mandel, A., Napoletano, M., Roventini, A., & Sapio, A. (2017). Complexity and the economics of climate change: a survey and a look forward. *Ecological Economics*, S. 252-265.
- Balogun, A. L., Marks, D., Sharma, R., Shekhar, H., Balmes, C., Maheng, D., & Salehi, P. (2020). Assessing the potentials of digitalization as a tool for climate change adaptation and sustainable development in urban centres. *Sustainable Cities and Society*.
- Bateson, G. (1972). Steps to an Ecology of Mind. *The University of Chicago Press edition 2000*, 279-308.
- Bateson, G. (1984). *Systemtheorie*. Frankfurt: Suhrkamp.
- Beck, S., Bösch, S., Kropp, C., & Voss, M. (2013). Jenseits des Anpassungsmanagements. Zu den Potenzialen sozialwissenschaftlicher Klimawandelforschung. *GAIA*(1), S. 8-13.
- Bernard, T., Ziebarth, M., Gonuguntla, N.-M., Canzler, A., Keifenheim, H., Wiese, S., . . . Gnirß, R. (Dezember 2022). W-Net 4.0: eine Cloud-basierte Plattform zur Betriebsoptimierung von Wassersystemen. *energie wasser-praxis*, S. 42-51.
- Bertelsmann. (17. 12. 2017). *Digitale Transformation der Verwaltung - Empfehlungen für eine gesamtstaatliche Strategie*. Studie der Bertelsmann-Stiftung 2017. Von https://www.bertelsmann-stiftung.de/fileadmin/files/Projekte/Smart_Country/DigiTransVerw_2017_final.pdf abgerufen
- Bormann, H., Müller, F., & Vodegel, S. (2022). Thermochemische Verfahren zur Klärschlammverwertung–Übersicht der Entwicklungen in Deutschland. In *Wasser, Energie und Umwelt* (S. 405-469). Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Börzel, T. (2008). Der „Schatten der Hierarchie“ – Ein Governance-Paradox? In G. Schuppert, & M. Zürn, *Governance in einer sich wandelnden Welt* (S. 118-131). Wiesbaden: VS Verlag.
- Brans, M., & Rossbach, S. (1997). The autopoiesis of administrative systems: Niklas Luhmann on public administration and public policy. *Public administration*, S. 417-439.
- Brauch, H. G. (1996). *Klimapolitik. Naturwissenschaftliche Grundlagen, internationale Regimebildung und Konflikte, ökonomische Analysen sowie nationale Problemerkennung und Politikimplementation*. Berlin/Heidelberg: Springer.
- Brunnengräber, A. (2013). Multi-Level Climate Governance: Strategic Selectivities in International Politics. In J. Knieling, & W. (. Leal Filho, *Climate Change Governance* (S. 67-83). Frankfurt: Springer.
- Buhl, O., & Frederking, A. (2016). Herausforderungen der Kommunen und Chancen der Digitalisierung. In V. Wittpahl, *DIGITALISIERUNG – Bildung, Technik, Innovation* (S. 133-140). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Burnside-Lawry, J., & Carvalho, L. (2016). A stakeholder approach to building community resilience: awareness to implementation. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, S. 4-25.

- Burrichter, B., Quirnbach, M., Oelmann, M., & Niemann, A. (2021). Künstliche Intelligenz in der Wasserwirtschaft. *Korrespondenz Abwasser*, 94-101.
- Chen, L., & Unsworth, K. (2019). Cognitive complexity increases climate change belief. *Journal of Environmental Psychology*.
- Chrischilles, E., & Mohammadzadeh, M. (2010). *ANPASSUNG AN DEN KLIMAWANDEL IN KOMMUNEN UND UNTERNEHMEN–VORBEREITUNG EINER EMPIRISCHEN UNTERSUCHUNG*. Governance in der Klimaanpassung-Strukturen, Prozesse, Interaktionen.
- Danielzyk, R., & Lobeck, M. (2014). *Die digitale Stadt der Zukunft*. Düsseldorf: SGK NRW - Sozialdemokratische Gemeinschaft für Kommunalpolitik in NRW e.V.
- De Rivera, J. (1977). *A Structural Theory of the Emotions*. New York: International Universities Press.
- DeCoste, S., & Jyotsna, P. (2019). *Complexity, climate change and evaluation*. IEU Working Paper.
- Deekeling, E., & Arndt, S. (2021). Change-Kommunikation in Unternehmen. In *Handbuch Mitarbeiterkommunikation* (S. 545-563). Wiesbaden: Springer Gabler.
- Desouza, K. C., & Flanery, T. H. (2013). Designing, planning, and managing resilient cities: A conceptual framework. *Cities*, S. 89-99.
- DWA. (2005). *M 180 Handlungsrahmen zur Planung der Abflusssteuerung in Kanalnetzen*. DWA.
- DWA-ES-1. (01 2023). Innovative Verfahren, Prozesse, Technologien bei Zustandserfassung. Planung, Bau, Betrieb und Sanierung von Entwässerungssystemen - Arbeitsbericht DWA Hauptausschuss Entwässerungssysteme. *KA Korrespondenz Abwasser, Abfall*, S. 22-31.
- Dwivedi, Y. K., Hughes, L., Kar, A. K., Baabdullah, A. M., Grover, P., Abbas, R., & Wade, M. (2022). Climate change and COP26: Are digital technologies and information management part of the problem or the solution? An editorial reflection and call to action. *International Journal of Information Management*.
- Elgazzar, R. F., & El-Gazzar, R. (2017). Smart cities, sustainable cities, or both. *Proceedings of the 6th International Conference on Smart Cities and Green ICT Systems*, (S. 22-24). Porto.
- Esmark, A., & Triantafillou, P. (2016). A Macro Level Perspective on Governance of the self and others. *The Politics of Self-Governance*, S. 25-42.
- Fanta, D., Bräutigam, J., Greiff, S., & Rieß, W. (2017). Entwicklung und Validierung eines Messinstrumentes zur Erfassung von systemischem Denken bei Lehramtsstudierenden in ökologischen Kontexten. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, S. 241-259.
- Fauth, H., Suchold, N., & Müller-Czygan, G. (3 2017). Branchenstandard Wasser/Abwasser als Teil von KOMMUNAL 4.0. *Automation Blue*, S. 48-51.
- Fauville, G., Queiroz, A. C., & Bailenson, J. N. (2020). Virtual reality as a promising tool to promote climate change awareness. *Technology and health*, S. 91-108.
- Franz, C., Froschauer, S., Krallinger, T., Nahold, S., & Stumbauer, P. (2019). *Projektplanung: Kosten und Ressourcen*. Von FH Joanneum Graz: <https://www.openpm.info/display/openPM/Projektplanung%3A+Kosten+und+Ressourcen> abgerufen
- Freter, H. (2008). *Markt- und Kundensegmentierung. Kundenorientierte Markterfassung und -bearbeitung*. 2. Auflage. Stuttgart: Kohlhammer.
- Funke, D. (2014). *Innovation im Kontext der öffentlichen Verwaltung: Management von Hindernissen und Blockaden bei Veränderungen*. Diplomica Verlag.
- Gimenez, R., L. L., & Hernantes, J. (2017). A maturity model for the involvement of stakeholders in the city resilience building process. *Technological Forecasting and Social Change*, S. 7-16.

- Godschalk, D. R. (2003). Urban hazard mitigation: Creating resilient cities. *Natural hazards review*, S. 136-143.
- Goetz, D., & R. E. (2016). *Das Wesen der Kommunikation nähren. In: Selbstführung: Auf dem Pfad des Business-Häuptlings*. Wiesbaden: Springer Gabler.
- Green, K. M., Selgrath, J. C., Frawley, T. H., Oestreich, W. K., Mansfield, E. J., Urteaga, J., & Crowder, L. B. (2021). How adaptive capacity shapes the Adapt, React, Cope response to climate impacts: insights from small-scale fisheries. *Climatic Change*, S. 1-22.
- Hagelstange, J., Rösler, C., & Runge, K. (2020). *Klimaschutz, erneuerbare Energien und Klimaanpassung in Kommunen. Maßnahmen, Erfolge, Hemmnisse und Entwicklungen – Ergebnisse der Umfrage*. Köln: Deutsches Institut für Urbanistik.
- Han, H., & Ahn, S. W. (2020). Youth mobilization to stop global climate change: Narratives and impact. *Sustainability*.
- Hattenbach, S., & Vogel, M. (2015). Das verborgene Vermögen der Kommunen: Entwicklung einer Strategie zum Werterhalt in einer Dorfgemeinde. In DWA, *Tagungsband DWA Landesverbandstagung*. Hennef: DWA.
- Heimerl, S. (11 2022). Inflation der Wetter-Warnmeldungen? *WasserWirtschaft*, S. 3.
- Heinrichs, D., Kuhlicke, C., Meyer, V., & Hansjürgens, B. (2009). Mehr als nur Bevölkerung: Größe, Geschwindigkeit und Komplexität als Herausforderung für die Steuerung von Megastädten. In U. Altrock, D. Schubert, & A. Krüger, *Jahrbuch Stadterneuerung 2009 - Megacities und Stadterneuerung*. Berlin: Arbeitskreis Stadterneuerung an deutschsprachigen Hochschulen.
- Hennicke, P., & Wagner, O. (2017). Lokal handeln, um global zu verändern - Klimaschutz als Fortschrittsmotor. *Die Gemeinde SH*, S. 2-9.
- Holländer, R. (2019). *Chancen und Herausforderungen der Verknüpfungen der Systeme in der Wasserwirtschaft (Wasser 4.0)*. Dessau: Umweltbundesamt.
- Holling, C. S. (2001). Understanding the complexity of economic, ecological, and social . *Ecosystems*, S. 390–405.
- Hulsbeek, J. J., Kruit, J., Roeleveld, P. J., & Van Loosdrecht, M. C. (2002). A practical protocol for dynamic modelling of activated sludge systems. *Water Science and Technology*, S. 127-136.
- Hunecke, M. (2022). Auswirkungen des Klimawandels auf den Menschen. In M. Hunecke, *Psychologie und Klimakrise: Psychologische Erkenntnisse zum klimabezogenen Verhalten und Erleben*. Berlin Heidelberg: Springer.
- Jabareen, Y. (2013). Planning the resilient city: Concepts and strategies for coping with climate change and environmental risk. *Cities*, S. 220-229.
- Kagawa, F., & Selby, D. (2010). Introduction. In F. Kagawa, & D. Selby, *Education and climate change: Living and learning in interesting times*. New York: Taylor & Franci.
- Kaul, G., & Werker, H. (1988). Messungen zur Kanalnetzbewirtschaftung in der Kölner Mischwasserkanalisation. *Korrespondenz Abwasser*, 338-342.
- Kevenhörster, P. (1984). *Politik im elektronischen Zeitalter. Politische Wirkungen der Informationstechnik*. Baden-Baden: Nomos.
- Kickert, W. J. (1993). Autopoiesis and the science of (public) administration: essence, sense and nonsense. *Organization studies*, S. 261-278.
- Kleidorfer, M., Möderl, M., Fach, S., & Rauch, W. (2009). Optimization of measurement campaigns for calibration of a conceptual sewer model. *Water Science and Technology*, S. 1523-1530.

- Klenk, T., Nullmeier, F., & 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).
- Kluge, T., & Schramm, E. (2016-1). Ziel für 2050: Systemlösungen als Chance der deutschen Industrie auf dem Weltmarkt. In T. Kluge, & E. Schramm, *Wasser 2050 – Mehr Nachhaltigkeit durch Systemlösungen*. München: oekom.
- Kluge, T., & Schramm, E. (2016-2). *Wasser 2050 – Mehr Nachhaltigkeit durch Systemlösungen*. München: oekom.
- Klüssendorf, P. (2014). *Structural and Individual Obstacles in Delayed Institutional Adaptation and Implementation of Environmental Policies*. Lund: Lund University Dissertation.
- Koch, A. (2018). *Die Transferstärke-Methode*. Weilheim: Beltz.
- Kooiman, J., & Van Vliet, M. (2000). Applicability of autopoiesis to. *Self-governance as a mode of societal governance*, S. 359-378.
- Krieger, M., Dubsky, A., & Hilbert, P. (2020). Unternehmensinterne Weiterbildung. In *Weiterbildung im Unternehmen* (S. 13-33). Wiesbaden: Springer Gabler.
- Kropp, C. (2014). Climate Change Governance: Möglichkeiten und kollektiver Grenzen Problemlösungsprozesse „von unten“. In R.-J. S. (Hrsg.), *Gesellschaftliche Transformation und neue Governance-Formen. Herausforderungen des Wandels in Richtung nachhaltige Entwicklung*. Berlin: Springer.
- Küppers, U. (2010). Das Bachelor-Studium aus systemischer Sicht. *Qualität in der Wissenschaft QiW*, S. 12-19.
- Lawens, M., Alves, I. K., Boeckmann, J., & Thielen, C. (2022). Application of an optimization system to manage the risks of flash floods. *Urban Drainage Modeling Conference, California*.
- Ludwig, F., & Moench, M. (2012). The impacts of climate change on water. In F. Ludwig, P. Kabat, H. van Schaik, & M. (. van der Valk, *Climate change adaptation in the water sector* (S. 35-50). New York: Earthscan.
- Luhmann, N. (1982). Autopoiesis, Handlung und kommunikative Verständigung. *Zeitschrift für Soziologie*, S. 366-379.
- Luhmann, N. (1989). *Vertrauen. Ein Mechanismus der Reduktion sozialer Komplexität*. Stuttgart: Lucius & Lucius.
- Lv, H. Y., Zhou, J., Zhang, X., Wu, W., Li, Y., & Jiang, D. (2020). Water resource synergy management in response to climate change in China: From the perspective of urban metabolism. *Resources, conservation and recycling*.
- Mah, A. Y., Chapman, D. A., Markowitz, E. M., & Lickel, B. (2020). Coping with climate change: Three insights for research, intervention, and communication to promote adaptive coping to climate change. *Journal of anxiety disorders*.
- Mai, M. (2016). *Regieren in der modernen Gesellschaft*. Opladen, Berlin, Toronto: Verlag Barbara Budrich.
- Martini, M. (2018). Transformation der Verwaltung durch Digitalisierung. *Verwaltungspraxis und Verwaltungswissenschaft*, S. 11-68.
- Mayntz, R. (1996). Politische Steuerung: Aufstieg, Niedergang und Transformation einer Theorie. In K. von Beyme, & C. Offe, *Politische Theorien in der Ära der Transformation* (S. 148-168). Opladen: Sonderheft 26 der Politischen Vierteljahresschrift.
- Mayring, P. (2019). Qualitative content analysis: Demarcation, varieties, developments. *Forum Qualitative Sozialforschung/Forum: Qualitative Social Research*.

- 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.
- Mudersbach, C. (11 2022). Anwendung und Bewertung der saisonalen Hochwasserstatistik in Deutschland - ein Diskussionsbeitrag. *WasserWirtschaft*, S. 34-41.
- Müller-Czygan, G. (2018). Die digitale Wasserwirtschaft ist in einer fortgeschrittenen Orientierungsphase. *wwt Modernisierungsreport 2017/2018*.
- 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. (2018). KOMMUNAL 4.0 - Produkte und Lösungen für eine durchgängige IT- und IoT-Kommunikation für die. *gwf Praxisbuch Wasser 4.0 Vulkan Vrlag*, 24-32.
- Müller-Czygan, G. (2018-1). KOMMUNAL 4.0 - Produkte und Lösungen für eine durchgängige IT- und IoT-Kommunikation für die. *gwf Praxisbuch Wasser 4.0 Vulkan Verlag*, 24-32.
- Müller-Czygan, G. (2018-2). *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). *Schlussbericht (Gesamtvorhaben) KOMMUNAL 4.0*. Meschede: HST.
- Müller-Czygan, G. (2020). *Schlussbericht Teilvorhaben HST Systemtechnik KOMMUNAL 4.0*. Meschede: HST Systemtechnik GmbH & Co. KG.
- Müller-Czygan, G. (2020). Smart Water - How to Master the Future Challenges of Water Management. In *Resources of Water*. DOI: 10.5772/intechopen.90644: Intechopen.
- Müller-Czygan, G. (2020). Smart Water - How to Master the Future Challenges of Water Management. In *Resources of Water*. DOI: 10.5772/intechopen.90644: Intechopen.
- Müller-Czygan, G. (2021). HELIP and "Anyway Strategy" - Two Human-Centred Methods for Successful Digitalization in the Water Industry. *Annals of Social Sciences & Management Studies*.
- Müller-Czygan, G. (2022). Digitalisierung kommunaler Strukturen am Beispiel der Wasserwirtschaft– Kommunal 4.0. In *Wasser, Energie und Umwelt* (S. 813-820). Wiesbaden: Springer.
- Müller-Czygan, G. (2024). *Smart Water Cost-Benefit System - Entwicklung einer Kosten-/Nutzen-Systematik zur Bewertung von Digitalisierungslösungen in der Wasserwirtschaft*. Berlin: TU Berlin (Dissertation noch unveröffentlicht).
- Müller-Czygan, G., & Schmidt, M. (2023). *Abschlussbericht Zertifikatslehrgang "Der Weg zur Schwammstadt"*. Hof: Hochschule Hof.
- Müller-Czygan, G., & Schmidt, M. (2023). Zertifikatslehrgang „Der Weg zur Schwammstadt – Stadtentwicklung in Zeiten des Klimawandels“. *ANLiegen Natur*, S. 17–20.
- Müller-Czygan, G., & Tarasyuk, V. (2022). *Zwischenbericht InSchuKa4.0 Hochschule Hof*. Hof: Hochschule Hof.
- Müller-Czygan, G., Schmidt, M., & Aicher, A. (2023). Die Schwammstadt: Möglichkeiten zum effektiven Wassermanagement in Siedlungsgebieten. *Dresdner Grundwassertage 2023*. Dresden: Dresdner Grundwasserforschungszentrum e.V.
- Müller-Czygan, G., Tarasyuk, V., Wagner, C., & Wimmer, M. (2022). Die deutschsprachige Wasserwirtschaft im Jahr 2020/21 – Metastudie „WaterExe4.0“ zeigt Erfolgsfaktoren und Erwartungen für die digitale Zukunft auf. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*.

- Müller-Czygan, G., Tarasyuk, V., Wagner, C., & Wimmer, M. (2022-1). Die deutschsprachige Wasserwirtschaft im Jahr 2020/21 – Metastudie „WaterExe4.0“ zeigt Erfolgsfaktoren und Erwartungen für die digitale Zukunft auf. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*.
- Müller-Czygan, G., Wiese, J., Fischer, R., Zenke, R., & Frigger, M. (2021). Innovative Steuerung und Energiemonitoring sichert effizienten Kläranlagenbetrieb, auch während Pandemiezeiten. *gwf-Wasser|Abwasser*(11), 59-64.
- Müller-Czygan, G., Wimmer, M., Frank, J. S., & Tarasyuk, V. (11 2023). Mindset changes for dealing with complex climate impacts - experiences with a tool from courses on digitalization and climate-adapted urban development. *Annals of Social Sciences & Management studies (ASM)*.
- Müller-Czygan, G., Wimmer, M., Wagner, C., & Tarasyuk, V. (2021). 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*.
- Müller-Czygan, G., Wimmer, M., Wagner, C., & Tarasyuk, V. (2021). 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.
- Niebert, K., & Gropengießer, H. (2014). Leitfadengestützte Interviews. In *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 121-132). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Oelmann, M., Czichy, C., & Beele, R. (8 2018). Smart Water Teil 3 – Wie die Digitalisierung die Anforderungen an die akademische Ausbildung verändert. *energie | wasser-praxis*, S. 50-57.
- Ofgeha, G. Y., & Abshare, M. W. (2021). Local adaptation and coping strategies to global environmental changes: Portraying agroecology beyond production functions in southwestern Ethiopia. *Plos one*.
- Ort, C., Schaffner, C., Giger, W., & Gujer, W. (2005). Modeling stochastic load variations in sewer systems. *Water science and technology*, S. 113-122.
- Osner, A. (2001). *Kommunale Organisations-, Haushalts- und Politikreform: Ökonomische Effizienz und politische Steuerung*. Erich Schmidt Verlag GmbH & Co KG.
- Parsons, T. (1937). *The Structure of Social Action*. New York.
- Plöger, J., & Lang, T. (2016). Die Resilienz industriell geprägter Städte: Anpassung an Strukturkrisen in Bremen und Leipzig. In R. (. Wink, *Multidisziplinäre Perspektiven der Resilienzforschung* (S. 357-372). Wiesbaden: Springer.
- Power, M. (2009). The risk management of nothing. *Accounting, organizations and society*, S. 849-855.
- Rieß, W., & Mischo, C. (2008). Förderung systemischen Denkens im Bereich von Ökologie und Nachhaltigkeit. *Unterrichtswissenschaft*, S. 346-364.
- Rieß, W., Schuler, S., & Hörsch, C. (2015). Wie lässt sich systemisches Denken vermitteln und fördern? Theoretische Grundlagen und praktische Umsetzung am Beispiel eines Seminars für Lehramtsstudierende. *Geographie aktuell und Schule*, S. 16-29.
- Rimböck, A. (9 2023). Aktuelles zum Hochwasserschutz in Bayern. *WasserWirtschaft*, S. 54-60.
- RKI. (2022). *Hitzebedingte Mortalität in Deutschland 2022*. Berlin: Robert-Koch-Institut.
- Ruth, M., & Coelho, D. (2015). Understanding and managing the complexity of urban systems under climate change. *Integrating Climate Change Actions into Local Development*, S. 317-336.
- Rzodeczko, D. (2022). *Identifikation von Zielgruppen für den Zertifikatslehrgang „KOMMUNAL 4.0 Fachingenieur/in digitalisierte Wasserwirtschaft“ des Bundesverbandes KOMMUNAL 4.0 e.V.* Meschede: FH Südwestfalen.

- Scharpf, F. W. (1988). Verhandlungssysteme, Verteilungskonflikte und Pathologien der politischen Steuerung. In M. G. Schmidt, *Staatstätigkeit* (S. 61-87). Opladen: PVS.
- Schilling, W., & Xantopoulos, C. (1996). Einführung und Ziele der Abflusssteuerung. In W. Schilling, & J. (. Broll-Bickhardt, *Praktische Aspekte der Abflusssteuerung in Kanalnetzen* (S. 1-16). München, Wien, Oldenbourg: Oldenbourg Industrieverlag.
- Schröder, W., & Daschkeit, A. (2002). Ökologische, ökonomische und rechtliche Umweltbewertung. *Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung*, S. 178-186.
- Schuster, O. (2018). *Smarte Digitale Transformation in der Wasserwirtschaft - Ein Kompendium der Projektergebnisse im Projekt SmaDiWa*. Hof: Hochschule Hof.
- Schuster, O., & Wimmer, M. (2018). *Smarte digitale Transformation in der Wasserwirtschaft. Automation Blue*.
- Sieker, H., Steyer, R., Büter, B., Leßmann, D., Tils, R. V., Becker, C., & Hübner, S. (2019). *Untersuchung der Potentiale für die Nutzung von Regenwasser zur Verdunstungskühlung in Städten*. Dessau: Umweltbundesamt Abschlussbericht.
- Singh, C., Madhavan, M., Arvind, J., & Bazaz, A. (2021). Climate change adaptation in Indian cities: A review of existing actions and spaces for triple wins. *Urban Climate*.
- Starke, T., Rottmann, O., Hesse, M., Kratzmann, A., & Mengs, C. (2018). Trinkwasserversorgung: privat gleich teuer?. *Wirtschaftsdienst*, S. 519-527.
- Staus, N. L., & Falk, J. H. (2017). The role of emotion in informal science learning: Testing an exploratory model. *Mind, brain, and education*, S. 45-53.
- Stevenson, R. B., & Stirling, C. (2011). Environmental learning and agency in diverse educational and cultural contexts. In R. B. Stevenson, & J. Dillon, *Engaging environmental education: Learning, culture and agency* (S. 219-238). Rotterdam: Sense Publishers.
- Stevenson, R. B., N. J., & Whitehouse, H. (2017). What is climate change education? *Curriculum Perspectives*, S. 67-71.
- Stickler, C.-O. (2000). *Veränderungsprozesse in der Kommunalverwaltung: Ziele, Inhalte und Methoden*. Wiesbaden: Springer.
- Taubenböck, H., Wurm, M., Esch, T., & Dech, S. (2015). Ohne Limit? Die Expansion von Megacities. In H. Taubenböck, *Globale Urbanisierung* (S. 49-58). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Thamsen, P.-U., Mitchell, R., & Pöhler, M. (7/8 2016). Was versteht man unter Wasser 4.0? *wwt*, S. 16-19.
- Thom, N., & Ritz, A. (2019). Das Innovationsmanagement zur Neuausrichtung öffentlicher Institutionen. In *Public Management* (S. 117-164). Wiesbaden: Springer.
- Triebel, C., Seipel, K., & Thedorff, A. (2015). Die Kompetenzenbilanz. *dvb-forum*, S. 25-31.
- Tyng, C. M., Amin, H. U., Saad, M. N., & Malik, A. S. (2017). The influences of emotion on learning and memory. *Frontiers in psychology*.
- v. Bertalanffy, L. (1969). *General system theory*. New Yor: George Braziller.
- Van Assche, K., B. R., & Duineveld, M. (2012). Performing success and failure in governance: Dutch planning experiences. *Public administration*, S. 567-581.
- Vogtmann, T., Dickel, S., & Theobald, S. (11 2022). Modellbasierte prädiktive Regelung eines Talsperren-Verbundsystems zur Erfüllung von Bewirtschaftungszielen an der Weser. *WassserWirtschaft*, S. 26-33.
- Watzlawick, P. (2010). The use of behavior prescriptions in psychotherapy. *Journal of Systemic Therapies*, S. 35-39.

- Weyand, M. (1999). Kostenreduzierung durch Kanalnetzbewirtschaftung. *Korrespondenz Abwasser*, 478-491.
- Williams, K. (2009). Sustainable cities: research and practice challenges. *International Journal of Urban Sustainable Development*,, S. 128-132.
- Willke, H. (1991). *Systemtheorie*. Stuttgart: UTB.
- Wimmer, M., & Hübner, M. (10 2017). Smarte digitale Transformation in der Wasserwirtschaft. *wwt*, S. 40-45.
- Zhou, Q., Zhu, M., Qiao, Y., Zhang, X., & Chen, J. (2021). Achieving resilience through smart cities? Evidence from China. *Habitat International*,.
- Zhu, S., Li, D., Feng, H., Gu, T., Hewage, K., & Sadiq, R. (2020). Smart city and resilient city: Differences and connections. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*.