

TEXTE

29/2020

Chancen und Herausforderungen der Verknüpfungen der Systeme in der Wasserwirtschaft (Wasser 4.0)

Abschlussbericht

TEXTE 29/2020

Ressortforschungsplan des Bundesministerium für
Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Forschungskennzahl 3717 21 327 0
FB000118

Chancen und Herausforderungen der Verknüpfungen der Systeme in der Wasserwirtschaft (Wasser 4.0)

Abschlussbericht

von

Prof. Dr.-Ing. Robert Holländer, M. Sc. Lukas Stumpf
Institut für Infrastruktur und Ressourcenmanagement
(IIRM), Universität Leipzig, Leipzig

Dr.-Ing. Sabine Lautenschläger
InfraRes GmbH, Leipzig

Eduard Interwies, Stefan Görlitz
InterSus – Sustainability Services, Berlin

Prof. Dr. jur. Joh.-Christian Pielow
Bochum

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

 [umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)

 [umweltbundesamt](https://twitter.com/umweltbundesamt)

Durchführung der Studie:

InfraRes GmbH
Coppistraße 82
04157 Leipzig

Abschlussdatum:

März 2019

Redaktion:

Fachgebiet III 2.5 Überwachungsverfahren, Abwasserentsorgung
Dr. Julia Vogel

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, Februar 2020

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung: Chancen und Herausforderungen der Verknüpfungen der Systeme in der Wasserwirtschaft (Wasser 4.0)

Digitalisierung hat sich zu einem Schlagwort entwickelt, sie wird in der Politik sowie dem öffentlichen und dem privaten Sektor bzw. der Gesellschaft allgemein zu weitgreifenden Veränderungen führen. In der Wasserwirtschaft werden ihr Potenziale zugesprochen, den anstehenden Herausforderungen wie Klimawandel und demographischen Veränderungen effektiver, effizienter bzw. qualitativ verbessert gerecht werden zu können. Das Forschungsvorhaben diente vor diesem Hintergrund einer umfassenden Bestandsaufnahme der aktuellen Entwicklungen, Problemstellungen und Herausforderungen des Aufbaus einer „Wasserwirtschaft 4.0“. Es liefert eine Begriffsdefinition, Übersichten zu vorhandenen Datenportalen sowie Arbeitsgruppen und Netzwerken mit Bezug zur Thematik und arbeitet Handlungsbedarf heraus. Die Potenziale einer „Wasserwirtschaft 4.0“ werden aus der Perspektive des erzielbaren Nutzens für Umwelt und Bürger dargestellt sowie strukturelle Defizite und Hemmnisse, die ihrer Überwindung entgegenstehen, herausgearbeitet. Es zeigt sich, dass eine „Wasserwirtschaft 4.0“ bisher nur in Ansätzen und / oder einzelnen 4.0-Anwendungen umgesetzt ist. Initiativen zielen bisher vordergründig auf betriebliche Vorteile, vorhandene Potenziale im Sinne von Nutzen für Umwelt und Bürger werden nicht ausgeschöpft. Entwicklung und Wachstum wirtschaftlicher Aktivitäten jenseits wasserwirtschaftlicher Kernaufgaben werden kaum unterstützt. Als zentrales Thema bei der Weiterentwicklung hin zu einer „Wasserwirtschaft 4.0“ erweist sich eine stärker standardisierte und harmonisierte Datenerfassung, -haltung und -nutzung.

Abstract: Chances and Challenges of linking Systems in Water Management (Water Management 4.0)

Digitisation has become a buzzword and will lead to far-reaching changes in politics as well as in the public and private sectors or society in general. In the water sector, the potential is to be able to meet the challenges of climate change and demographic changes in a more effective, efficient and qualitative way. Against this background, the research project served to take a comprehensive inventory of current developments, problems and challenges of building a "Water Management 4.0." It provides a definition of the term, an overview of existing data portals as well as working groups and networks related to the topic and works out needs for action. The potential of a "Water Management 4.0" is presented from the perspective of the achievable benefit for the environment and citizens, as well as structural deficits and obstacles that stand in the way of overcoming them. It turns out that a "Water Management 4.0" has so far only been implemented in approaches and / or individual 4.0 applications. Initiatives have so far been ostensibly aimed at operational advantages, and existing potentials in terms of benefits for the environment and citizens are not being exploited. The development and growth of economic activities beyond core water tasks are hardly supported. A more standardised and harmonised data collection, -storage and – use is proving to be a central theme in the further development towards a "Water Management 4.0".

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	8
Tabellenverzeichnis	8
Abkürzungsverzeichnis.....	9
Zusammenfassung.....	13
Summary	19
1 Hintergrund und Zielsetzung.....	25
1.1 Hintergrund des Projekts	25
1.2 Zielsetzung und Ablauf des Projekts	27
2 Charakterisierung des Status Quo.....	30
2.1 Definition „Wasser(-wirtschaft) 4.0“	30
2.2 Kurzcharakterisierung der aktuellen Entwicklungen	30
2.2.1 Bestandsaufnahme	31
2.2.2 Datenportale.....	34
2.2.3 Netzwerke und Arbeitsgruppen.....	40
2.3 Zwischenfazit.....	46
3 Charakterisierung der Potenziale und Herausforderungen	48
3.1 Potenzialbereiche – Nutzen für Umwelt und Bürger.....	48
3.1.1 Schutz vor Wasser bzw. verbessertes Hochwasserrisikomanagement	49
3.1.2 Gewässerschutz (Stoffeinträge durch Punktquellen)	52
3.1.3 Wasserressourcenmanagement, Bereitstellung von Wasser, Wasserwiederverwendung.....	55
3.1.4 Schnittstellen, Sektorenkopplung.....	56
3.1.4.1 Wasser und Landwirtschaft	56
3.1.4.2 Wasser und Energie	60
3.1.4.3 Wasser in der Smart City	61
3.1.4.4 Wasser und Naturschutz.....	62
3.1.5 Nachhaltigkeit der Bereitstellung wasserwirtschaftlicher Dienstleistungen.....	63
3.1.6 Öffentlichkeitsbeteiligung und Partizipation	67
3.1.7 Sonstiges	68
3.2 Ansatzpunkte zur Erschließung der Potenziale.....	68
3.3 Herausforderungen.....	74
4 Defizitanalyse und Gestaltungsbedarf	80
4.1 Defizitanalyse	80

4.2	Notwendige Rahmenbedingungen, Anforderungen an Politik und Verwaltung	84
4.3	Vernetzungsbedarf.....	91
5	Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen.....	95
5.1	Schlussfolgerungen	95
5.2	Handlungsempfehlungen.....	97
A	Anhang	113

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Tätigkeitsfelder ausgewählter, aktiver Netzwerke und Arbeitsgruppen mit Bezug zur „Wasserwirtschaft 4.0“	92
--	----

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ausgewählte Portale zum Austausch von Daten und / oder Informationen.....	34
Tabelle 2: Ausgewählte Arbeitsgruppen und Netzwerke im Bereich Digitalisierung / Wasserwirtschaft	41
Tabelle 3: Laufende wasserbezogene Standardisierungsinitiativen (Europäische Kommission 2018, S. 37-38)	77

Abkürzungsverzeichnis

AG	Arbeitsgemeinschaft
AIOTI	Alliance for Internet of Things Innovation
AK	Arbeitskreis
API	Application Programming Interface
ARVIDA	Angewandte Referenzarchitektur für virtuelle Dienste und Anwendungen
AUKM	Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen
B.A.U.M.	Bundesdeutscher Arbeitskreis für Umweltbewusstes Management e. V.
BAW	Bundesanstalt für Wasserbau
BBSR	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
BDEW	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V.
BDSG	Bundesdatenschutzgesetz
BfG	Bundesanstalt für Gewässerkunde
BIBB	Bundesinstitut für Berufsbildung
BIM	Building Information Modeling
BImSchV	Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes
BLE	Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
BNetzA	Bundesnetzagentur
BSI	Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik
BSIG	Gesetz über das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI-Gesetz - BSIG)
BSI-KritisV	Verordnung zur Bestimmung Kritischer Infrastrukturen nach dem BSI-Gesetz (BSI-Kritisverordnung - BSI-KritisV)
BUBE	Betriebliche Umweltdatenberichterstattung
BWB	Berliner Wasserbetriebe
CEN	European Committee for Standardization
CENELEC	European Committee for Electrotechnical Standardization
CH	Confoederatio Helvetica - Schweiz
CODE-DE	Copernicus Data and Exploitation Platform - Deutschland
CPPS	Cyber-Physisches Produktionssystem
CTRL	Cloud Technologies & Real time monitoring
D	Deutschland
DBU	Deutsche Bundesstiftung Umwelt
DECHEMA	Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e. V.

DIN	Deutsches Institut für Normung e. V.
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V.
DSGVO	Datenschutzgrundverordnung
DVGW	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V.
DVW	Deutscher Verein für Vermessungswesen e. V. – Gesellschaft für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
DWD	Deutscher Wetterdienst
EFTA	European Free Trade Association
EG DMR	Expertengruppe Datenmanagement/Reporting
EGovG	Gesetz zur Förderung der elektronischen Verwaltung (E-Government-Gesetz - EGovG)
EIONET	European Environment Information and Observation Network
EIP	European Innovation Partnership
EIP-SCC-MoU	European Innovation Partnership on Smart Cities and Communities – Memorandum of Understanding
E-PRTR	European Pollutant Release and Transfer Register
ETSI	European Telecommunications Standards Institute, Sophia Antipolis
EU	Europäische Union
FH	Fachhochschule
FIM	Föderales Informationsmanagement
FREEWAT	FREE and open source software tools for WATER resource management
GAP	Gemeinsame Agrarpolitik
GDI	Geodateninfrastruktur
GDI-DE	Geodateninfrastruktur - Deutschland
GDWS	Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt
GIS	Geoinformationssystem
GPS	Global Positioning System
GVO	Grundverordnung
GW	Grundwasser
GWP	German Water Partnership e. V.
HWRM-RL	Hochwasserrisikomanagementrichtlinie
HWschutz	Hochwasserschutz
ICT	Information and Communications Technology
IEC	International Electrotechnical Commission
IFC	Industry Foundation Classes
IGB	Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei im Forschungsverbund Berlin e. V.
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie

INSPIRE	INfrastructure for SPatial InfoRmation in Europe
InVeKoS	Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem
IoT	Internet of Things
IS	Infrastruktur
ISO	International Organization for Standardization
ISO/TC	Technical Committee of the International Organization for Standardization
IT	Informationstechnik
IT-SicherheitsG	IT-Sicherheitsgesetz
ITU-T	ITU Telecommunication Standardization Sector
ITZBund	Informationstechnikzentrum Bund
IWG	Informationsweiterverwendungsgesetz
IWRM	Integriertes Wasser-Ressourcen-Management
KA	Kläranlage
KRITIS	Kritische Infrastruktur
LABO	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz
LAWA	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser
MDI-DE	Marine Dateninfrastruktur Deutschland
MONERIS	MOdelling Nutrient Emissions in Rlver Systems
NGO	Non-Governmental Organization
OGC®	Open Geospatial Consortium
OZG	Onlinezugangsgesetz
PSA	(WITS) Protocol Standards Association
PSI	Public Sector Information
PSBM	Pflanzenschutz- und Behandlungsmittel
RAMI	Referenzarchitekturmodell Industrie
SAGA	Standards und Architekturen für E-Government-Anwendungen
SEIS	Shared Environmental Information System
SPACE-O	Space Assisted Water Quality Forecasting Platform for Optimized Decision Making in Water Supply Services
SWAN	The Smart Water Networks Forum
Telekommunikations G	Telekommunikationsgesetz (TKG)
TelemedienG	Telemediengesetz (TMG)
UBA	Umweltbundesamt
UFZ	Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V.
VKU	Verband Kommunaler Unternehmen e. V.
W3C	World Wide Web Consortium
WaWi	Wasserwirtschaft

WFD	EU Water Framework Directive
WHG	Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz - WHG)
WISE	Water Information System for Europe
WITS	Worldwide Industrial Telemetry Standards
WRRL	EU-Wasserrahmenrichtlinie
WssTP	Water Supply and Sanitation Technology Platform
WSV	Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes
WVG	Gesetz über Wasser- und Bodenverbände

Zusammenfassung

Digitalisierung hat sich zu einem Schlagwort entwickelt, sie wird alle Bereiche der Gesellschaft - Politik, Wirtschaft, Privatleben - wie auch die Verwaltung beeinflussen. Die Art und Weise der Aufgabenerfüllung und Bereitstellung von Dienstleistungen, der Umgang mit und die Nutzung von Daten sowie Organisationsstrukturen werden sich weitgehend verändern. Die Aktivitäten zur Gestaltung des digitalen Wandels sind auf Bundes-, Landes- und kommunaler Ebene vielfältig. Diese Aktivitäten wirken auch in der Wasserwirtschaft, wo der Digitalisierung Potenziale zugesprochen werden, den anstehenden Herausforderungen effektiver, effizienter bzw. qualitativ verbessert gerecht werden zu können. Diese anstehenden Veränderungsprozesse werden in der Wasserwirtschaft unter "Wasserwirtschaft 4.0" zusammengefasst.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurden die „Chancen und Herausforderungen der Verknüpfungen der Systeme in der Wasserwirtschaft“ („Wasserwirtschaft 4.0“) näher untersucht. Dabei standen die folgenden Fragestellungen im Fokus:

- Wie und in welchem Umfang kann „Wasserwirtschaft 4.0“ in Deutschland zu Zielen des Umwelt- und Gewässerschutzes sowie der Nachhaltigkeit beitragen? In welchen Bereichen sind die größten Potenziale für vermehrten Umwelt- und Bürgernutzen zu erwarten?
- Wie können der fachliche Austausch sowie die Entwicklung eines gemeinsamen Verständnisses der Problemstellungen und Herausforderungen von „Wasserwirtschaft 4.0“ unterstützt werden? Welcher Vernetzungsbedarf besteht und wie könnte er organisiert werden?
- Welche politischen, administrativen und juristischen Rahmenbedingungen sind für die Gestaltung von „Wasserwirtschaft 4.0“ erforderlich? Was sind die zentralen Fragestellungen, die es zu adressieren gilt? Worin liegen die aktuellen, zentralen Herausforderungen im Umgang mit der Digitalisierung?

Der vorliegende Endbericht zum Forschungsvorhaben liefert eine Bestandsaufnahme sowie erarbeitete Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen. Dabei wird ein besonderes Augenmerk auf die Wasserwirtschaft als Überschneidungsbereich gelegt, der sowohl durch technische Dienstleistungen und Prozesse bestimmt wird als auch durch administrative und regulative Aufgaben, sodass aus der Perspektive von Planung, Verwaltung und Behörden resultierende Anforderungen an Politik und Verwaltung abgeleitet werden.

Auftragsgemäß liegt der Schwerpunkt des Berichtes auf der Situation in Deutschland. Ebenfalls auftragsgemäß werden Fragen der IT-Sicherheit, des Datenschutzes und des Personalwesens nicht näher betrachtet. Der Redaktionsschluss der Bearbeitung datiert auf den 31. August 2018.

Arbeitsdefinition „Wasserwirtschaft 4.0“

„Wasserwirtschaft 4.0“ adressiert die komplexen Anforderungen an die Wasserwirtschaft, wie anhaltender Klimawandel, strukturelle und demographische Veränderungen sowie die Entwicklung integrierter Lösungsansätze zu deren Handling. Die vielfältigen und komplexen Entwicklungen im Wassersektor verlaufen parallel zu anderen Bereichen, in denen ebenfalls 4.0-Entwicklungen begonnen haben. Zur Unterstützung der Entwicklung eines einheitlichen Begriffs- und Problemverständnisses wurde im Laufe des Vorhabens eine Arbeitsdefinition des Begriffs „Wasserwirtschaft 4.0“ entwickelt:

„Wasserwirtschaft 4.0“ beinhaltet die Nutzung von Digitalisierung und Automatisierung in Verwaltung, Planung und allen physikalisch-chemischen Prozessen zum Schutz und der nachhaltigen Nutzung der Ressource Wasser, zur Versorgung von Haushalten, Industrie und Landwirtschaft und zum Schutz vor wasser- und gewässerbedingten Risiken.

Digitalisierung, Modellierung, Automatisierung und Visualisierung ermöglichen in Ver- und Entsorgung sowie im Hochwasserschutz über die Kopplung von Sektoren und die Integration verschiedener Prozesse eine Erhöhung von Kosteneffizienz, Servicequalität, Sicherheit und Zuverlässigkeit und damit eine deutliche Verbesserung in der Daseinsvorsorge.

Potenziale – Nutzen für Umwelt und Bürger

Die Potenziale der Digitalisierung in der Wasserwirtschaft wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens aus der Perspektive des generierbaren Nutzens für Umwelt und Bürger betrachtet (vgl. Kapitel 3.1).

Nutzen stiften können Entwicklungen unter dem Stichwort „Wasserwirtschaft 4.0“ durch i) ihren Beitrag zur Beibehaltung und Verbesserung der Wasserqualität sowie zum Schutz von Grund- und Oberflächengewässern in Deutschland, die Gewährleistung der Verfügbarkeit ausreichender Wassermengen in für die jeweiligen Anwendungen erforderlichen Wasserqualitäten und zum Schutz von Leben, Gesundheit und Eigentum bei der Bewältigung von Hochwasserereignissen. Parallel können Nutzen ii) in angrenzenden Bereichen wie der Landwirtschaft, dem Naturschutz oder der Stadtentwicklung generiert werden. Zusätzlich ist davon auszugehen, dass iii) Daten der Wasserwirtschaft die Basis neuer Dienstleistungen und Produkte bilden, die einen volkswirtschaftlichen Nutzen durch Unterstützung der Entwicklung und des Wachstums wirtschaftlicher Aktivitäten generieren.

Potenziale werden national gemäß dem Ergebnis der im Rahmen des Forschungsvorhabens durchgeführten Online-Befragung kurz- bis mittelfristig in den Bereichen Schutz vor Wasser bzw. verbessertes Hochwasserrisikomanagement und Reduzierung von Stoffeinträgen in Gewässer gesehen. Ebenso wurden mögliche Beiträge zur Umsetzung von Maßnahmen im Zusammenhang mit der Klimaanpassungsstrategie sowie einer stärkeren Öffentlichkeitsbeteiligung genannt. Der Aktionsplan für einen digitalen Binnenmarkt für Wasserdienstleistungen der Europäischen Kommission identifiziert insbesondere Verbesserungen in der Bewirtschaftung von Wasserressourcen (z. B. durch Qualitätssteigerungen im Bereich Monitoring und Berichtswesen), Wasserwiederverwendung, Umgang mit Extremereignissen (Hochwasser, Wasserknappheit), Entscheidungsunterstützung sowie Bewusstsein der verschiedenen Akteure zu Wert und Notwendigkeit einer nachhaltigen Bewirtschaftung von Wasserressourcen (Europäische Kommission 2018).

Darüber hinaus finden sich in Deutschland keine Überblicksdarstellungen zu besonders relevanten Potenzialbereichen.

Aktivitäten in Bezug zu einer „Wasserwirtschaft 4.0“ zielen bisher vordergründig auf betriebliche Vorteile und das Berichtswesen (INSPIRE). Direkte und indirekte Nutzen für Bürger und Umwelt werden bisher wenig adressiert, transparent gemacht und kommuniziert.

Die Potenziale der Fernerkundung (Satelliten- und Radardaten) sind bisher nur zu einem geringen Umfang erschlossen. Dies betrifft auch Satellitendaten des Copernicus-Programms, zu denen im Rahmen der Befragung / des durchgeführten Workshops ein erleichterter Zugang gefordert wurde. Schon heute könnte mehr Gebrauch von Satellitendaten gemacht werden, anlassbezogen oder in Form periodischer Auswertungen im Rahmen der Bewirtschaftung natürlicher Ressourcen oder der (behördlichen) Überwachung ihres Zustandes in qualitativer und quantitativer Hinsicht.

Die Erschließung von möglichen Potenzialen steht in engem Zusammenhang mit der Generierung und Verwendung neuer Informationen für Entscheidungsunterstützung, Planungsprozesse, behördliche Kontrollen etc. Die Bereitstellung dieser Informationen basiert auf der Verfügbarkeit neuer Daten bzw. verbesserten Verarbeitungs- und Visualisierungsmöglichkeiten vorhandener Daten. So können u. a. aus der engeren Abdeckung des Siedlungsraums durch unterschiedliche mathematische Simulationsmodelle auf verschiedenen Zeit- und Raumskalen zur Berücksichtigung der vielfältigen Wechselwirkungen Auswirkungen von Ereignissen auf Wasserqualität und –quantität besser und schneller erkannt werden. Es ergeben sich Vorteile im operativen Bereich wie auch für Planungen. Nicht gehobene Potenziale existieren bezüglich der Erschließung neuer Datenbestände, der Vernetzung und Automatisierung von Anlagen und Prozessen sowie der Datenbereitstellung und des – austauschs.

Umsetzungsstand

Die aktuellen Entwicklungen erscheinen einerseits weitgehend technologiegetrieben (Europäische Kommission 2018), moduliert durch spezifische Anwendererfahrungen. Andererseits wirken neue rechtliche Vorgaben auf nationaler und EU-Ebene wie INSPIRE (Europäisches Parlament und Europäischer Rat 2007), das E-Government-Gesetz (EGovG) (Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz 2017) die Informationsfreiheits- und Transparenzgesetze des Bundes und der Länder (E-Government, Open Data) (Gov Data 2016), sowie andere Initiativen auf europäischer Ebene (Europäische Kommission 2010, 2015, 2016, 2017) als Treiber für die Entwicklung und Umsetzung von 4.0-Anwendungen.

Im Vergleich zu anderen Sektoren wird die Wasserwirtschaft als „mittelmäßig digitalisiert“ eingestuft (vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2017, Wimmer und Hübner 2017). Doch das Thema „Wasserwirtschaft 4.0“ ist in der wasserwirtschaftlichen Praxis angekommen. Allerdings scheinen noch nicht alle Akteure gleichermaßen an den aktuellen Entwicklungen beteiligt zu sein. Dies betrifft u. a. Planer, Untere Wasserbehörden, kleine Verbände und Unternehmen. Entwicklung und Einsatz von 4.0-Anwendungen sowie zugehöriger Komponenten ist unterschiedlich weit fortgeschritten bzw. verbreitet und entwickelt sich mit unterschiedlicher Geschwindigkeit weiter.

Zur Kopplung neuer technischer Prozesse mit Verwaltungsprozessen ist bisher wenig bekannt. Dies gilt auch für die Definition von Produkten und Diensten auf kommunaler Ebene wie sie von der LAWA für Bund und Länder beschrieben werden. Neue Prozesse im Sinne neuer Geschäftsmodelle und der Überwindung von Sektorengrenzen bleiben nach wie vor von untergeordneter praktischer Bedeutung. Auch scheint die Kooperationsbereitschaft in der Wasserwirtschaft ausbaufähig.

Die Entwicklung von 4.0-Anwendungen erfolgt derzeit noch zu isoliert und teilweise ohne die Nutzung bereits verfügbarer Standards und Referenzarchitekturen. Eine Ausweitung der Zusammenarbeit der verschiedenen wasserwirtschaftlichen Akteure bis hin zur Entwicklung weiterer Standards ist notwendig. Die LAWA / INSPIRE-Aktivitäten (vgl. Steckbrief 7: LAWA-Strategierahmen) fokussieren auf bestehende Prozessgestaltungen, orientieren sich am jetzigen System und aktuellen Berichtspflichten. „Wasserwirtschaft 4.0“ erfordert darüberhinausgehende Aktivitäten (vgl. Kapitel 3.1.7) und eine Adressierung der kommunalen Ebene (vgl. Kapitel 3.1.4.3).

Eine „Wasserwirtschaft 4.0“ ist bisher nur in Ansätzen und / oder einzelnen 4.0-Anwendungen umgesetzt. Sowohl physisch als auch informationsbezogen sind viele Verknüpfungen noch nicht realisiert oder angestoßen. Einzelne Komponenten sind unterschiedlich weit entwickelt. Konkrete, auch in der Praxis bereits umsetzbare weitere 4.0-Anwendungen im Bereich der

Anlagensteuerung, bei Starkregenereignissen oder im Bereich der behördlichen Kontrolle und Überwachung (z. B. zur Reduzierung von Stoffeinträgen in Gewässer) werden noch nicht ausgeschöpft.

Rechtliche Rahmenbedingungen und deren Implementierung sind noch in der (Weiter-) Entwicklung befindlich und Detailfragen unzureichend und häufig uneinheitlich (Bundesländer) geregelt. Ein allgemeiner Rechts- und Handlungsrahmen fehlt derzeit. 4.0-Anwendungen erfordern dementsprechend bislang noch fallspezifische, vertragliche Regelungen.

Die Realisierung von Potenzialen für Bürger und Umwelt wird außerdem erheblich durch die Komplexität und den Aufwand des Nachweises der Vorteilhaftigkeit, hohe Anfangsinvestitionen einschließlich Personalqualifizierungsbedarf erschwert.

Die Entwicklung und Implementierung von 4.0-Anwendungen über die Effizienzsteigerung bestehender Prozesse hinaus hat gerade erst begonnen. Die Hebung von Potenzialen erfordert teilweise die Reorganisation von Arbeitsprozessen bis hin zu neuen Organisationsformen. Personal, betriebliche und behördliche Organisationsformen und Verantwortlichkeitsstrukturen müssen an die sich verändernden Rahmenbedingungen angepasst werden. In welchem Umfang sich die Management- bzw. administrativen Prozesse restrukturieren und anpassen müssen, ist zurzeit nicht absehbar und bedarf weiterer Untersuchungen für die jeweiligen Anwendungsbereiche.

Generell wird der Qualifizierungs-, Aus- und Weiterbildungsbedarf in allen Bereichen der Verwaltung aber auch in den Unternehmen thematisiert. Weitere Ergänzungen von Inhalten der Aus- und Weiterbildung erscheinen notwendig.

Der Fortschritt in den Ländern im Bereich der Digitalisierung ist sehr unterschiedlich. Unterschiedlich sind auch der Stand und der Umfang der Digitalisierung bei den kommunalen Wasserdienstleistern. Letzteres ist nicht nur eine Folge der geringeren finanziellen Mittel, die für Innovation und Investition zur Verfügung stehen, sondern auch eine Folge der unterschiedlichen Kompetenz, die für komplexe Digitalisierungsaufgaben (Entwicklung, Einführung, Betrieb und Weiterentwicklung) beim Aufgabenträger verfügbar ist. Ob hier der Keim für gänzlich neue Dienstleistungsmodelle gelegt ist, die aus Gründen der Daseinsvorsorge ebenso wie aus nationalem strategisch-wirtschaftlichem Interesse die fördernde oder regelnde Einflussnahme der Bundesebene rechtfertigen, ist aber heute noch nicht absehbar.

Der festgestellte unterschiedliche Entwicklungsstand der Länder in der Digitalisierung im Wassersektor führt – soweit vorläufig ersichtlich – auch zu unterschiedlichen Lösungen. Hier stellt sich die Frage, ob für den Datenaustausch und die Zusammenarbeit in Flussgebieten und Koordinierungsräumen nicht größere Anstrengungen zur Harmonisierung zwischen den Ländern überfällig sind, um die Potenziale der Digitalisierung in Form von Effizienzgewinnen zu erschließen. Allerdings gibt es auch positive Beispiele für gelungene Kooperation wie die gemeinsame Richtlinie für Pegel und das System Pegelonline (vgl. Steckbrief 4: PEGELONLINE), die Marine Daten Infrastruktur (MDI-DE) oder – nicht direkt wasserwirtschaftsbezogen – die länderübergreifende Zusammenarbeit in gemeinsamen Datenzentren (vgl. Steckbrief 8: Dataport).

Entscheidende Ansatzpunkte zur Unterstützung der Entwicklung einer „Wasserwirtschaft 4.0“ (Perspektive: Nutzen für Umwelt und Bürger) sind in der Zusammenführung von Daten verschiedener Quellen auf Plattformen sowie der Weiterverwendung von Daten für Modellierungen und Simulationen mit Integration von Live- und Echtzeitdaten zu sehen. Dabei sind die Organisation der Datenbereitstellung und -haltung sowie die Vernetzung bestehender

Datenbestände zu verbessern. Ebenso bedeutsam ist mehr Standardisierung und / oder Harmonisierung bei der Bereitstellung und Nutzung von Daten.

Portale oder Plattformen, die für die Wasserwirtschaft relevante Daten und Informationen zur Verfügung stellen, wurden ohne Anspruch auf Vollständigkeit im Rahmen des Forschungsvorhabens überblicksartig zusammengestellt (vgl. Kapitel 2.2). Es stehen verschiedene, umfangreiche Datenbestände unterschiedlicher Art verteilt auf verschiedene Akteure und / oder Datenspeicherorte zur Verfügung. Bekanntheit (vgl. Kapitel 2.2) und Zugriffsmöglichkeiten (vgl. Kapitel 3.1.4.3 und 4.3) auf die einzelnen Datenbestände sind unterschiedlich und beschränkt. Für die Erschließung verfügbarer Datenbestände wird auf die Bedeutung von Metadaten hingewiesen.

Zukünftig bedarf es der Identifizierung und Entwicklung von Anwendungen, um das erweiterte Datenangebot zur Nutzengenerierung für Umwelt und Bürger bzw. die Wasserwirtschaft einsetzen zu können. Hierfür sind die für die jeweilige 4.0-Anwendung notwendigen Informationen zu beschreiben und die dafür notwendigen Daten zu identifizieren. Möglich ist auch die Entwicklung integrierter Datenprodukte, die direkt für verschiedene Anwendungen genutzt werden können. Von Bedeutung sind dabei geeignete Konzepte zur Datenhaltung.

Die Auswirkungen der Digitalisierung auf die Daseinsvorsorge, hier die Bereitstellung wasserwirtschaftlicher Dienstleistungen im Besonderen, sind bisher erst in Ansätzen erfasst. Zu adressieren sind Fragen wie die Sicherung des Zugriffs auf relevante Daten, die wirtschaftliche Betätigung von Kommunen und Unternehmen der Ver- und Entsorgung, die Abgrenzung gebührenrelevanter Tätigkeiten und Aufgaben sowie Pflichten und Rechte des öffentlichen Sektors in digitalen Märkten und sog. Datenräumen. Eine Positionierung der Wasserwirtschaft zu Form und Umfang der Beteiligung an der Hebung wirtschaftlicher Potenziale im Zusammenhang mit der Entwicklung sog. Urbaner Datenräume existiert nicht. Die zu erwartende Datennutzung durch neue Dienstleister mit neuen Geschäftsmodellen wird Auswirkungen auf (kommunale) Unternehmen der Ver- und Entsorgung und Effekte für Umwelt und Bürger haben.

Die zunehmende Digitalisierung eröffnet der Wasserwirtschaft neue Möglichkeiten ihre Dienstleistungen nachhaltig bereitzustellen und wasserwirtschaftliche Herausforderungen wie den Klimawandel zu adressieren. Gleichzeitig stellt sie die wasserwirtschaftlichen Akteure selbst vor neue Herausforderungen. Digitalisierung beeinflusst alle Lebens- und Wirtschaftsbereiche bis hin zu grundlegenden strukturellen Veränderungen. Der digitale Wandel bedarf einer aktiven Gestaltung sowie der Begleitung diesbezüglicher Aktivitäten durch Politik und Verwaltung.

Voraussetzung ist die Verfügbarkeit einer entsprechenden Infrastruktur - ohne schnelles Internet in ländlichen Räumen sind viele „4.0-Innovationen“ nicht realisierbar. Darüber hinaus wurde im durchgeführten Projektworkshop darauf hingewiesen, dass ein unterbrechungsfreier Internetbetrieb noch nicht mit der nötigen Zuverlässigkeit gewährleistet sei.

Handlungsempfehlungen und Vernetzung

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung hat sich das Thema *Datenerzeugung und Datennutzung* als zentrales Thema für die Weiterentwicklung einer „Wasserwirtschaft 4.0“ in Deutschland herauskristallisiert. Hier besteht aus Sicht der Autoren eine umfangreiche politische Koordinierungsaufgabe, um die politischen, administrativen und rechtlichen Rahmenbedingungen in geeigneter Weise weiterzuentwickeln. Innerhalb der Wasserwirtschaft sind Organisationsstrukturen und Handlungsmaxime sowie Branchenstandards zu überprüfen und ggf. weiterzuentwickeln.

Gesetzliche Flankierungen kommen je nach Regelungszuständigkeit auf EU-, nationaler oder Länderebene in Betracht und es empfehlen sich sachgebietsspezifische Absichtungen, etwa bezüglich notwendiger Datenerhebungen und -sicherungen, des Zugangs zu und Umgang mit Daten über einheitliche Schnittstellen / Plattformen (mit einheitlichen technischen Standards) sowie konkreter Datenaustauschprozesse / Geschäftsmodelle. Anzusetzen ist zweckmäßiger Weise bei den Spezialgesetzen zum Wasserrecht (WHG, Landeswassergesetze), bevor über horizontale Lösungen im allgemeinen und sachgebietsübergreifenden Verwaltungs-, Planungs- und insbesondere im Kommunalrecht (mit Blick auf immer intensivere Vernetzungen im Bereich Daseinsvorsorge) nachgedacht wird. Zur Wissensgenerierung unter den Akteuren und Experten in der Wasserwirtschaft empfehlen sich des Weiteren „selbstregulative“ Verfahren, u. U. mittels Zertifizierung oder dergleichen.

Die Erkenntnis, dass Datenbestände auch bereichsübergreifend und quer zu den gewachsenen Organisationen und Verwaltungsstrukturen genutzt werden sollten, um damit Vorteile für verschiedene Nutzer zu generieren, hat sich bereits in anderen Zusammenhängen bestätigt. Wichtig ist hier, dass der Wassersektor und angrenzende Sektoren nicht ausgeklammert, sondern in weitem Umfang mit einbezogen werden. Damit ist anzustreben, i) die Leistungen der Wasserwirtschaft effizienter zu erbringen, sie zu erweitern und zu verbessern, ii) mit wasserwirtschaftlichen Daten Verbesserungen in anderen Bereichen zu unterstützen und iii) auch Beiträge zu innovativen Entwicklungen zu leisten und neue Dienstleistungen zu ermöglichen.

Die Untersuchungen zeigen, dass national verschiedene Netzwerke und Arbeitsgruppen mit Bezug zur „Wasserwirtschaft 4.0“ aktiv sind. Es existiert eine große Zahl von Initiativen, Arbeitsgruppen und Entwicklungen, die unmittelbar oder mittelbar die weitere Entwicklung der Digitalisierung in der Wasserwirtschaft berühren. Dennoch stellt sich die Frage, ob die personellen Vernetzungen über die verschiedenen Ebenen und in den verschiedenen Aktivitätsfeldern so ausgeprägt sind, dass darauf vertraut werden kann, dass ein Auseinanderlaufen der Aktivitäten nicht eintritt. Grundsätzlich wird eine noch näher zu bestimmende Netzwerkaktivität als Koordinierungsaufgabe des BMU im Institutionengeflecht als sinnvoll erachtet. Mögliche Ansatzpunkte hierzu wurden im Laufe des Vorhabens entwickelt.

Vernetzung von Aktivitäten und ggf. deren Koordinierung erscheint förderlich für die gemeinsame Definition und Beantwortung übergreifender rechtlicher Fragen, die Leistungsanforderungen für 4.0-Anwendungen und der dafür erforderlichen Daten(-produkte), die Unterstützung der Verbreitung von Standards und technikoffener Werkzeuge, die gemeinsame Positionierung der Wasserwirtschaft zu wichtigen wasserwirtschaftlichen Fragen gegenüber Dritten z. B. bzgl. der Generierung und Nutzung wirtschaftlicher Potenziale oder der Stärkung der Position zur Integration wasserwirtschaftlicher Belange in Smart-City-Strategien. Nicht zuletzt sind beide Voraussetzung für die Erschließung und Realisierung sektorenübergreifender Potenziale.

Summary

Digitalisation is rapidly becoming a buzzword, expected to lead to significant changes in large parts of society - politics, economics and the day-to-day life of ordinary citizens. The so-called "digital transformation" is regarded as a structural change, influencing all aspects of life and the economy, as well as public administrations. It will lead to fundamental changes in the way on how public services will be organised, offered and conducted, and how private information will be handled. There are multiple and various activities to deal with the digital transformation, on the federal, *Länder* and local levels. Such activities also impact on water management, where potential capacities are seen to tackle imminent challenges facing the sector in a more effective and efficient way. In water management, the processes of digitalisation are summarised under the headline "Water Management 4.0".

The research project analysed the "Chances and Challenges of linking Systems in Water Management (Water Management 4.0)". The following specific research questions were being assessed:

- ▶ How and to which degree can "Water Management 4.0" in Germany contribute to objectives regarding sustainability, environmental protection and, specifically, water protection? In which sectors / areas are the biggest potential capacities for increasing benefits to the environment and the general public?
- ▶ What can facilitate exchanges between concerned sectors and the evolution of a common understanding of the challenges surrounding "Water Management 4.0"? Is there a need for an expert network, and how could such a network be organised?
- ▶ Which are the political, administrative and legal conditions necessary to effectively shape "Water Management 4.0" processes? Which are the central questions that need to be posed and discussed? Which are the most important challenges facing the transformation to a „Water Management 4.0“?

The present final report contains an assessment of the current situation and presents conclusions and policy recommendations based on it. The focus is on water management, which is regarded as a sector of overlapping influences, determined by developments of water technology and services as well as administrative and regulatory frameworks. Policy recommendations address issues situated in the public domain and are mainly issued from the perspective of public administrations public authorities and planners.

Due to the interest of the client, the focus is on Germany. Similarly, questions concerning IT / cyber security, privacy policy, and human resources are not analysed in detail. Deadline for the publication was August 2018.

Working definition "Water Management 4.0"

"Water Management 4.0" has the potential capacities to address the imminent challenges facing the sector, such as climate change and demographic transformation, through developing integrated solutions. The complex developments in the water management sector are running parallel to other developments in neighbouring sectors, where 4.0-processes have started already. To support the evolution of a common understanding of the term "Water Management 4.0" and the surrounding challenges, a "working definition" of the term was proposed and discussed in the frame of the project:

"Water Management 4.0" describes the utilisation of the processes of digitalisation and automation in administration and planning as well as in all physic and chemical processes with the objectives of

protecting and sustainably using water resources, supplying households, industry and agriculture with water, and protection against water-related hazards and risks.

Digitalisation, modelling, automation and visualisation enable - through sector coupling and the integration of processes - the central water management tasks water supply, sewage and flood protection better services for the public through enhancing efficiency, service and security of supply.

Potential capacities for increasing benefits to the environment and the general public

In the frame of the research project, the potential capacities of "Water Management 4.0" have been analysed from the perspective of increasing the benefits to the environment and the general public (see chapter 3.1).

Such benefits of "Water Management 4.0" could consist of i) contributions to the conservation or improvement of water quality, to the protection of ground- and surface water resources, the security of water supply in sufficient amount and quality for society and economic uses as well as in the case of flood events, the protection of life and property. In parallel, benefits can arise ii) in neighbouring sectors such as agriculture, nature protection and urban planning. In addition, it can be assumed that iii) water management data can serve as the basis of new services and products, generating economic growth and national income.

According to the results of an online questionnaire distributed in the course of the project, potential short- and medium-term capacities are seen mainly in improving flood protection / flood risk management and reducing substance emissions into water bodies¹. Further activities with high potential mentioned are the support of measures planned in the frame of the national climate change adaptation strategy and the strengthening of public awareness and participation. Similarly, the Digital Single Market for Water Services Action Plan of the European Commission (Europäische Kommission 2018) identifies as areas of interest the improvement of the management of water resources (e. g. through improvements in monitoring and reporting), water reuse, management of extreme events (floods, water scarcity), decision support and awareness raising with regard to the value of healthy water resources and a sustainable management (Europäische Kommission 2018).

Apart from those documents, there are no additional surveys for particular relevant potential areas in Germany.

Present activities with regard to "Water Management 4.0" are mostly focussing on companies' efficiency and EU reporting (e. g. INSPIRE, WFD). Direct and indirect benefits to the environment and the general public have not yet been addressed and communicated transparently.

The potential of remote sensing technologies (satellite and radar data), including data provided by the Copernicus Programme, is not yet fully realised. An easier access to this data source has been demanded by stakeholders interviewed in the course of the project. If access were more easily, satellite data could already be utilised a lot more today, be it for specific periodic assessments in the frame of natural resource management or compliance checking in terms of quality and quantity by public authorities.

¹ According to the online questionnaire, the sectors / activities

- Flood protection resp. improved flood risk management,
- water protection/diffuse emissions/nutrient emissions originating from agriculture, and
- water protection/sewage and water treatment

are regarded to have the highest potential capacity in the short- to medium-term (15 years) for increasing the benefits to the environment and the general public. More information on the results of the questionnaire are provided upon request.

The realisation of potential capacities is closely related to the collection and utilisation of new data for decision support, planning, administrative controls etc. Of course, the possibility to utilise such new data depends on their availability, but also on improved integration and visualisation of existing data. For example, through a spatially and temporarily more detailed coverage of inhabited areas with mathematical simulation modelling, impacts of events of water quality and quantity can be much better recognised with positive impacts in both operation as well as planning. Hence, non-realised potential capacities exist in the exploitation of new data sources, the linking and automation of installations and processes as well as the provision and integration of data.

Status of implementation

Momentarily, the developments seem mostly driven by technology (Europäische Kommission 2018) and some specific user applications. National and international / EU legal frameworks such as INSPIRE (Europäisches Parlament und Europäischer Rat 2007), the German E-Government Law (EGovG)(Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz 2017), the freedom of information and transparency regulations and laws on federal and *Länder* level (E-Government, Open Data) (Gov Data 2016) and several other initiatives on EU level (Europäische Kommission 2010, 2015, 2016, 2017) act as additional drivers for the development of 4.0 applications.

In comparison to other sectors, water management is regarded as "medium digitalised" (see Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2017, Wimmer und Hübner 2017). Nonetheless, the issue "Water Management 4.0" arrived in water management practices. However, the degree of how involved different actors are in 4.0 developments and processes varies. The development and utilisation of 4.0 appliances and components is different and evolves with different speed. Planners, local / communal water administrations and water boards, small water associations, and SMEs are less involved.

Furthermore, knowledge regarding the integration of 4.0 technical processes with administrative processes is still limited. This is also true for the definition of new municipal products and services as described by the German LAWA² for the federal and *Länder* levels. New processes in terms of new business models and the integration of data and processes between different sectors / areas do not play a significant practical role as well. The willingness to cooperate seems not fully developed in the water management sector.

The development of 4.0 applications presently happens isolated and partly without using already available standards and reference architectures. An expansion of the cooperation between different water management actors is necessary for the development of new standards. The activities of the LAWA with regard to INSPIRE (see Steckbrief 7: LAWA-Strategierahmen) focus on existing processes and are oriented towards the present day system and reporting obligations. "Water Management 4.0" needs activities widening these boundaries (see section 3.1.7) and addressing the municipal level (see section 3.1.4.3) instead.

"Water Management 4.0" is still limited to individual approaches or isolated applications. With regard to data and information as well as physical processes, integrated approaches are not yet implemented or even foreseen. Individual components are at varying stages of development. Specific workable 4.0 applications, e. g. in physical installation management, urban floodings or in administrative compliance checking and controls (e. g. with regard to nutrient emissions), are not being exhausted.

² LAWA: German Working Group on water issues of the Federal States and the Federal Government.

This is partly due to legal frameworks being in development, sometimes heterogeneously (between different *Länder*), and insufficiently for detailed questions meaning that a reliable legal framework for action is presently missing. Many 4.0 appliances need, therefore, case specific contracts.

The realisation of increased benefits to the environment and the general public is furthermore hampered by the high complexity and the difficult demonstration of such benefits as well as the initial investment, including the need for qualified personnel.

The development and implementation of 4.0 applications that go beyond increasing the efficiency of technical processes has just begun. But the realisation of potential capacities to some extent needs the reorganisation of work flows up to complete new forms of organising work processes. Personnel, public and private management structures have to adapt to the changing overall framework. To which degree such adaptations have to be realised is not yet foreseeable, needing individual assessments per sector / area.

Consequently, the need for continuing education and training of personnel in all areas of public administrations and private companies was identified as an important topic over the course of the project in interviews and workshops.

Progress in digitalisation in the water sectors of the German *Länder* differs extensively, similarly to the level of implementation of 4.0 applications in municipal water supply / sewage companies. Both is due to limited financial resources available for innovation and investments and the different competencies at hand for the highly complex tasks (such as development, implementation, operation and maintenance). Whether herein lies the potential for wholly new business / service models, facilitated and supported by the federal government due to the high relevance from a strategic and economic point of view, is not yet foreseeable.

The different status in the *Länder* with regard to digitalisation in the water sector also leads to different solutions and pathways taken. This raises the question of whether greater efforts in exchanging and integrating data and information are necessary to realise potential capacities for greater efficiency in planning and managing water resources in spatial planning units such as river basins. However, there actually are positive examples of successful cooperation on the *Länder* level, for example the common directive for water gauges and the online system "Pegelonline" (see Steckbrief 4: PEGELONLINE), the "Marine Daten Infrastruktur" (MDI-DE) or - indirectly connected to water management - the *Länder* cooperation in shared data centres (see Steckbrief 8: Dataport).

Important issues in supporting the development of "Water Management 4.0" applications with the perspective of increasing benefits to the environment and the general public are i) the integration and fusion of data originating from different sources on a single platform and ii) the utilisation of data for modelling and simulation with integrated live data. To accomplish this, the organisation of storing and providing data as well as the linking of existing data clusters have to be improved, including standards for harmonising these processes.

Without claiming to be complete, the present project report assesses and compiles data portals and platforms providing data and information relevant to water management. In the course of the project, it became obvious that several different and comprehensive portals and platforms exist, spread over various actors and servers (see chapter 2.2) with different possibilities / restrictions for accessing the data (see chapters 3.1.4.3 and 4.3). Participants emphasised on the importance of metadata for exploiting existing data in interviews and workshop.

In the future, it will be necessary to identify and develop 4.0 applications to fully realise the potential capacity of existing data for increasing benefits to the environment and the general public in water management. To accomplish this, the needed information and respective data requirements have to be clearly identified. Alternatively, integrated data products could be developed for directly using these in the respective applications. Crucial for such integrated data products are concepts for data storage and provision.

The effects of digitalization on the provision of public services, especially water management, are not yet fully foreseeable. Questions to be addressed are the provision and security of relevant data, the economic activities of municipalities and municipal water supply and sewage disposal companies, and the clear definition of public services - tasks, rights, obligations - in digital markets and so-called "data spaces". A common position of the water management sector addressing topics such as the economic exploitation of the development of "urban data spaces" does not yet exist. However, the expected widespread utilisation of data through new service companies with new business models will most likely have a strong impact on municipal service companies, and through these on the environment and the general public. Due to the widespread changes expected, the "digital transformation" is in need of an active - not passive - organisation through politics and public authorities.

Nevertheless, the digitalisation presents the water management sector with new possibilities to providing its services sustainably and to better tackle the upcoming challenges like climate and demographic changes. At the same time, actors in water management themselves are confronted with a new set of challenges.

A basic requirement to realise potential capacities of 4.0 applications is an infrastructure that is up to the task - many cannot be realised without fast and reliable internet access in rural areas. This was also emphasised during the project workshop and in several interviews.

Policy recommendations and networking

In the frame of the research project, one issue with regard to data has been identified as central to the development of a "Water Management 4.0" in Germany: the generation and utilisation of data. According to the authors, a great need for political coordination exists in this regard, to shape and develop the political, administrative and legal frameworks necessary for actively organising the future generation and utilisation of data. In addition, the water management sector itself needs to critically assess and probably adapt organisational structures, company lines and sectoral standards.

Legal frameworks to flank the process of digitalisation are to be implemented on EU, national or *Länder* level, depending on the responsibility. Here, topic-specific regulations are to be preferred, e. g. with regard to the necessary collection of data, the security of public data, the access to data, the provision of data via dedicated platforms and interfaces with common standards, and to new data exchange and business models. In Germany, possible "access points" for legal changes would be the specialised laws regulating water management (federal and *Länder* water laws), to later seek horizontal and cross-cutting solutions for more general topics, such as changes to administrative, planning and municipal law codices. Besides, actors and experts in the water management sector should also seek non-legal solutions, for example self-regulation through standards and certification schemes.

The fact that available data and information should be utilised over sector boundaries and cross-cutting through long established organisational structures, especially in public administration, to better realise benefits for various users has already been confirmed in other sectors outside the water management. Of crucial importance is here that the water management sector is

integrated with and within neighbouring sectors. Through this, these three objectives can be achieved i) to deliver water management services in a better and more efficient way, ii) to use water management data to also support similar improvements in other sectors, and iii) to contribute to innovation and the development of new services and business models.

The project has shown that in Germany a number of different working groups and networks are active with a link to "Water Management 4.0". Furthermore, a great number of initiatives, networks and working groups exist which directly or indirectly touch the "digital transformation" in water management. Nevertheless, it is questionable whether these existing initiatives suffice to prevent a "drifting apart" or to guarantee harmonised approaches. A suitable network / activity located at the Federal Ministry of the Environment is deemed useful, aiming at harmonisation and coordination of the developments in water management. Several proposals for foci and objectives were developed in the course of the research project.

Such a coordination network seems supportive to finding common definitions, addressing questions surrounding legal frameworks, performance requirements for 4.0 applications and the necessary data (products), developing and disseminating common standards and tools and positioning the water management sector in important issues towards third parties (e. g. with regard to the collection of new data and their utilisation in new business models through commercial actors, or the integration of water management issues in smart city strategies). Finally, coordination and networking are required for realising potential capacities with and within neighbouring sectors.

1 Hintergrund und Zielsetzung

Nach wie vor steht die Wasserwirtschaft vor vielfältigen, komplexen Herausforderungen, die sich aus den Folgen des Klimawandels, demographischer Veränderungen (wie verdichtete urbane und entsiedelte ländliche Gebiete), technologischen Entwicklungen, weiter steigenden Reinigungsanforderungen und gesellschaftlichen Veränderungen allgemein ergeben. Der Digitalisierung wird in diesem Zusammenhang einerseits das Potenzial zugesprochen wesentliche Beiträge zur Begegnung dieser Herausforderungen leisten zu können. Gleichzeitig herrscht Unklarheit und Unsicherheit darüber, welche Potenziale, d. h. welcher Nutzen für Umwelt und Bürger tatsächlich generiert und wie Risiken adäquat erfasst und adressiert werden können. Der vorliegende Endbericht zum Forschungsvorhaben befasst sich vor diesem Hintergrund mit den Chancen und Risiken der Verknüpfung der Systeme sowohl innerhalb der Wasserwirtschaft als auch mit anderen Sektoren und Bereichen. Aufbauend auf einer umfassenden Bestandsaufnahme werden Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen erarbeitet. Dabei wird ein besonderes Augenmerk auf die Wasserwirtschaft als Überschneidungsbereich gelegt, der sowohl durch technische Dienstleistungen und Prozesse bestimmt wird als auch durch administrative und regulative Aufgaben, sodass auch aus der Perspektive von Planung, Verwaltung und Behörden resultierende Anforderungen an Politik und Verwaltung abgeleitet werden.

1.1 Hintergrund des Projekts

Wasserwirtschaft in Deutschland wird im Allgemeinen als zuverlässige und sichere Infrastruktur wahrgenommen. Dies ist auch und gerade nötig, da Teile der Wasserwirtschaft zu den kritischen und damit zu den unverzichtbaren Infrastrukturen zählen, für die in hohem Maß Betriebssicherheit garantiert werden muss. Wasser wird in Deutschland darüber hinaus nicht als knappe Ressource angesehen, Wassermangel in der Industrie oder den Privathaushalten ist kein zentrales Thema.

Dennoch sieht sich die Wasserwirtschaft Veränderungen und Herausforderungen ausgesetzt: längere und häufigere Dürreperioden wie zuletzt im Sommer 2018 können mit anhaltendem Klimawandel verstärkt auftreten und damit den Druck auf beispielsweise die effizientere Bewässerung in der Landwirtschaft erhöhen. Des Weiteren liegt der Nitratspiegel im deutschen Grundwasser an 28 % der Messstellen nach wie vor oberhalb der zulässigen Grenzwerte, was neben schädigenden Effekten für Mensch und Umwelt auch ein Vertragsverletzungsverfahren der EU-Kommission gegen Deutschland nach sich gezogen hat (Keppner et al. 2017). Auch der demographische Wandel und die damit verbundenen Herausforderungen für die Daseinsvorsorge sowie deren wasserwirtschaftliche Komponente stellt die wasserwirtschaftlichen Akteure vor neue Herausforderungen, die in den kommenden Dekaden Anpassungen erfordern werden.

Gleichzeitig wird sich die Wasserwirtschaft – wie auch alle anderen Wirtschafts- und Verwaltungsbereiche – in den kommenden Jahren zunehmend mit dem Thema Digitalisierung auseinandersetzen, um aktuellen Entwicklungen Rechnung zu tragen. Damit verbunden ist die Frage, welche Antworten die Digitalisierung, Automatisierung sowie 4.0-Anwendungen auf die oben genannten Herausforderungen der Wasserwirtschaft haben, und wie die zunehmende Digitalisierung des Sektors zu einer auch zukünftig nachhaltigen und zuverlässigen Bereitstellung wasserwirtschaftlicher Dienstleistungen beitragen kann.

Erste Praxisbeispiele sind hierbei sogenannte „Smart Meter“, intelligente Wasserzähler, die für eine bequemere Abwicklung der Verbrauchsmessung sorgen und die Verbraucher zu einem effizienteren Wasserverbrauch veranlassen könnten. Aber auch weiter greifende systemische

Veränderungen sowie sektorenübergreifende Datenerfassung und -nutzung werden in diesem Zuge diskutiert. So könnten beispielsweise integrierte Datenarchitekturen im Bereich der Landwirtschaft für detailliertere Erkenntnisse bzgl. Nährstoffeinträge ins Grundwasser sorgen. Diese unterschiedlichen und teils mehrdimensionalen Lösungen, die die Digitalisierung in diesem Bereich ermöglichen kann, stecken noch in ihrem Anfangsstadium, und können dementsprechend gegenwärtig nicht als reife Technologien bezeichnet und eingesetzt werden.

Die zunehmende Digitalisierung wird nicht nur in der Wasserwirtschaft zu grundlegenden Veränderungen der Art und Weise der Aufgabenerfüllung und Bereitstellung von Dienstleistungen, dem Umgang mit und der Nutzung von Daten sowie der Organisationsstrukturen in der Wasserwirtschaft führen. Der sog. digitale Wandel „ist ein Strukturwandel, der alle Lebens- und Wirtschaftsbereiche“ (Landesregierung Nordrhein-Westfalen 2015, S. 1) wie auch die Verwaltung beeinflusst. Die Aktivitäten zur Gestaltung des digitalen Wandels sind auf Bundes-, Landes- und kommunaler Ebene vielfältig. Diese Aktivitäten wirken auch in der Wasserwirtschaft und sind bei der Ableitung von Handlungsempfehlungen und Schlussfolgerungen zur Thematik „Wasserwirtschaft 4.0³“ zu berücksichtigen.

Im englischsprachigen Raum wird mit „Water 4.0“ nach Sedlak (2014) die zunehmende Komplexität der in der Wasserwirtschaft adressierten Anforderungen und die Entwicklung integrierter Lösungsansätze zu deren Handling angesprochen. In Deutschland wird mit dem Begriff „Wasserwirtschaft 4.0“ speziell auf die Digitalisierung mit ihren vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten in der Wasserwirtschaft Bezug genommen.

- Digitalisierung kann zur Effizienzsteigerung von Prozessen, der Erhöhung der Sicherheit von Prozessabläufen, verbesserten Entscheidungsgrundlagen durch höhere Datenverfügbarkeit, Kosteneinsparungen durch bessere Steuerung, besserer Produkt- und Umweltqualität oder verbesserter Kommunikationsfähigkeit mit den Kunden beitragen.
- Zur Digitalisierung gehört die physische und / oder informationsbezogene Integration von Prozessen horizontal (z. B. in der Fläche, über den gesamten Bereich der Wertschöpfung, auch in Wertschöpfungsnetzwerken) oder / und vertikal (z. B. über unterschiedliche Hierarchieebenen vom einzelnen Schritt des physischen Produktionsprozesses bis hinein in die Strategieentwicklung).
- Die zielgerichtete Vernetzung virtueller und physischer Systeme in sog. Cyber-Physical-Systems⁴ bedarf geeigneter Datenerfassung, Schnittstellen und IT-Infrastruktur. Grundlegende Technologien umfassen Sensoren und Aktoren in vielfältigen Ausprägungen mit lokalen autonomen Regelkreisen.
- Fundamental ist die Nutzung zentraler Datenspeicherung (Cloud) und drahtloser Datenübertragung mit hoher Kapazität sowie die Fähigkeit große Datenmengen schnell zu verarbeiten (Big Data).

³ Die Bezeichnung „Wasser 4.0“ knüpft in Deutschland an die Bezeichnung „Industrie 4.0“ an, nach der die derzeitige Digitalisierungs- und Automatisierungswelle gleichbedeutend mit einer vierten industriellen Revolution ist. Die erste industrielle Revolution stellte demnach die Mechanisierung dar, die zweite bestand in der Einführung von Fließbändern und Taylorisierung für industrielle Fertigungsprozesse und die dritte wurde durch die Einführung elektronischer Steuerungen ausgelöst.

⁴ Cyber-Physical-Systems: „System, das reale (physische) Objekte und Prozesse verknüpft mit informationsverarbeitenden (virtuellen) Objekten und Prozessen über offene, teilweise globale und jederzeit miteinander verbundene Informationsnetze“. (Diesner et al. 2017, S. 10)

- Zum Einsatz kommen schließlich auch diverse komplexe Programme zur Entscheidungsunterstützung (z. B. „Digitaler Zwilling“, Neuronale Netze, Augmented Reality).

Die Digitalisierung schreitet mit einer hohen Dynamik voran. Prognosen der Gestalt der digitalen Zukunft in Gesellschaft, Wirtschaft und Verwaltung können kaum gemacht werden. Dies bezieht sich allgemein auf den Umgang mit sich weiterentwickelnder Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) einerseits und ihrem fachgerechten, nachhaltigen Einsatz in der Wasserwirtschaft andererseits. Über beide Bereiche integriert gilt es einen dynamischen Prozess der Strategieent- und weiterentwicklung im Umgang mit den Chancen und Risiken einer verstärkten Digitalisierung bzw. einer „Wasserwirtschaft 4.0“ zu etablieren.

1.2 Zielsetzung und Ablauf des Projekts

Das Vorhaben diente einer ausführlichen Bestandsaufnahme einschließlich der Darstellung der aktuellen Entwicklungen, der Problemstellungen und Herausforderungen im Bereich der Digitalisierung in der Wasserwirtschaft.

Dazu wurden eine Literaturanalyse und ergänzende Interviews mit Experten durchgeführt.

Die Experteninterviews erfolgten in zwei Stufen. Zu Beginn des Projekts wurden 14 Experten anhand eines einheitlichen Fragenkatalogs per Telefoninterview zur Relevanz der Thematik bei der täglichen Arbeit und einzelnen Prozessen sowie Herausforderungen, Regelungs- und Förderbedarf sowie Best-Practice-Beispielen befragt, um ein breites Meinungsbild zu erfassen. Zur Vorbereitung des Workshops und fachlichen Vertiefung ausgewählter Fragestellungen wurden zusätzliche Telefoninterviews mit 10 Experten durchgeführt. Insgesamt fanden somit 24 Interviews statt. Davon entfallen fünf Interviews auf nachgeordnete Behörden des Bundes (BfG, WSV, UBA, BBSR), acht auf Vertreter der Landesebene (Umweltministerium oder Umwelteroberbehörde, zentrale EDV-Einrichtungen, LAWA), vier auf Versorger, zwei auf Unternehmen, drei auf Vertreter auf Verbandsebene aus dem Bereich Ver- und Entsorgung, Stadtentwicklung und Landwirtschaft sowie zwei auf Forschungsinstitute.

Die Ergebnisse dieser Bestandsaufnahme wurden auf einem Status-Workshop zur Diskussion gestellt, der dem fachlichen Austausch sowie der Entwicklung eines gemeinsamen Verständnisses der Problemstellungen und Herausforderungen der Thematik „Wasserwirtschaft 4.0“ diente. Zur Vorbereitung des Workshops und Untersetzung der Ergebnisse der Bestandsaufnahme fand außerdem eine Online-Befragung⁵ statt.

An der Online-Befragung „Von Daten zu Informationen – Beiträge der Digitalisierung für eine nachhaltigere Wasserwirtschaft“ nahmen 24 von 104 angeschriebenen Personen teil. Sie vertraten Bundes- und Landesbehörden, Forschungseinrichtungen sowie (kommunale) Unternehmen zu unterschiedlichen Anteilen. Neben Abteilungs- und Ressortleitern sowie Leitern von Fachausschüssen und Expertengruppen beteiligten sich Forschende und Praktizierende. Die Befragung umfasste fünf Fragenkomplexe zu den Themen persönlicher Bezug, Relevanz der Thematik in Deutschland, einschließlich Potenziale und Hemmnisse, Handlungsfelder und -bedarf, Mitarbeit in und Bekanntheit von Arbeitsgruppen / Netzwerken und Datenportalen, Vernetzungsbedarf und Best-Practice-Beispiele.

Darauf aufbauend wurden Schlussfolgerungen (vgl. Kapitel 5.1) und Handlungsempfehlungen (vgl. Kapitel 5.2) aus gewässer- und umweltschutzpolitischer Perspektive abgeleitet sowie

⁵ Auf Anfrage werden interessierten Personen die Ergebnisse der Online-Befragung zur Verfügung gestellt.

Bedarf und Möglichkeiten der Organisation einer stärkeren Vernetzung bzw. eines Netzwerks „Wasserwirtschaft 4.0“ beschrieben (vgl. Kapitel 5.3).

Inhaltliche Breite und Umfang der Thematik „Wasserwirtschaft 4.0“ erforderten im Laufe der Projektbearbeitung eine Schwerpunktsetzung. Basierend auf den Zwischenergebnissen der Bestandsaufnahme und nach Abstimmung zwischen AN und AG wurde der Fokus des Projekts nachjustiert und die Thematik danach überwiegend aus der Perspektive von Planung, Verwaltung und Behörden betrachtet. Dementsprechend wurde auch der abzuleitende Handlungsbedarf identifiziert. Die aktuellen Entwicklungen wurden ferner hinsichtlich ihres Potenzials zur Generierung von Nutzen für Umwelt und Bürger untersucht. Dabei wurde deutlich, dass der Thematik „Datenbereitstellung und -nutzung“ eine besondere Rolle beim Aufbau einer „Wasserwirtschaft 4.0“ zukommt. Somit konzentrierte sich die weitere Projektbearbeitung auf diese Thematik.

Im Fokus des Forschungsvorhabens standen die folgenden Fragestellungen:

1. Wie und in welchem Umfang kann „Wasserwirtschaft 4.0“ in Deutschland zu Zielen des Umwelt- und Gewässerschutzes sowie der Nachhaltigkeit beitragen? In welchen Bereichen sind die größten Potenziale für vermehrten Umwelt- und Bürgernutzen zu erwarten?
2. Wie können der fachliche Austausch sowie die Entwicklung eines gemeinsamen Verständnisses der Problemstellungen und Herausforderungen von „Wasserwirtschaft 4.0“ unterstützt werden? Welcher Vernetzungsbedarf besteht und wie könnte er organisiert werden?
3. Welche politischen, administrativen und juristischen Rahmenbedingungen sind für die Gestaltung von „Wasserwirtschaft 4.0“ erforderlich? Was sind die zentralen Fragestellungen, die es zu adressieren gilt? Worin liegen die aktuellen, zentralen Herausforderungen im Umgang mit der Digitalisierung?

Relevant und vielfach im Zusammenhang mit der Digitalisierung in der Wasserwirtschaft diskutiert aber nicht Gegenstand detaillierter Untersuchungen waren demgegenüber:

- ▶ eine abschließende Übersicht zu relevanten Regelungen, Gesetzen und Normen mit Bezug zur Digitalisierung in Wasserwirtschaft und Verwaltung,
- ▶ eine abschließende Übersicht zu technischen Fragen bezüglich erforderlicher Hardware, Software-Kompatibilität in Bund, Ländern und Kommunen („Schnittstellenformate“) etc.,
- ▶ eine Aufarbeitung der Thematik aus Perspektive der IT-Sicherheit,
- ▶ eine Analyse der Auswirkungen auf das Personalwesen / die Beschäftigten in der Wasserwirtschaft, ethische Fragen,
- ▶ eine Untersuchung zu Umsetzungsstand und weiterem Handlungsbedarf im Bereich INSPIRE / EU-WRRL-Berichterstattung,
- ▶ eine Untersuchung zu Umsetzungsstand und weiterem Handlungsbedarf im Bereich der Verwaltungsmodernisierung,
- ▶ eine detaillierte Analyse der auf Basis wasserwirtschaftlicher Daten generierbaren wirtschaftlichen Potenziale sowie

- eine Abschätzung von Bedeutung und Umsetzungsstand aus internationaler Perspektive und der Exportfähigkeit deutscher Technologieanbieter.

Die Ergebnisse werden im Folgenden vorgestellt. Die Darstellungen fokussieren dabei auf die Ableitung von Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen.

2 Charakterisierung des Status Quo

Die Thematik „Wasserwirtschaft 4.0“ beschreibt die zunehmende Komplexität der in der Wasserwirtschaft adressierten Anforderungen und die Entwicklung integrierter Lösungsansätze zu deren Handling. Vielfalt und Komplexität äußern sich auch in den Ansprüchen der Gesellschaft und der Interessengruppen an die Wasserwirtschaftsverwaltungen und die Politik, die es im Rahmen der Bestandsaufnahme zu adressieren galt. Kapitel 2 fasst die Ergebnisse der Bestandsaufnahme zusammen. Dies beinhaltet auch die Vorstellung einer Definition des Begriffs „Wasserwirtschaft 4.0“.

2.1 Definition „Wasser(-wirtschaft) 4.0“

Vielfalt und Komplexität der Thematik „Wasserwirtschaft 4.0“ zeigen sich auch in verschiedenen Definitionsansätzen. Die Entwicklungen im Wassersektor verlaufen parallel zu anderen Bereichen, in denen ebenfalls "4.0 – Entwicklungen" begonnen haben, in denen technische und administrative Prozesse digitalisiert und integriert werden. Es bestehen gegenseitige Beeinflussungen. Daher sind vielfältige Aktivitäten mit dem Begriff „Wasserwirtschaft 4.0“ verbunden, die bisher noch nicht zu einem einheitlichen Begriffs- und Problemverständnis konvergiert sind.

Im Laufe des Projekts wurde eine Arbeitsdefinition entwickelt (siehe unten) und zum Workshop im Rahmen des Vorhabens zur Diskussion gestellt. Als Ergebnis dieser Diskussion wird der Begriff „Wasserwirtschaft 4.0“ anstatt „Wasser 4.0“⁶ verwendet. Die Definition eines Arbeitsbegriffes „Wasserwirtschaft 4.0“ wurde mit dem Ziel der Verbindlichkeit, Transparenz und Interoperabilität von den TeilnehmerInnen des Workshops als wichtig erachtet. Darüber hinaus käme es – abgesehen von Begriffsdefinitionen - auf eine mit Bedacht gewählte weitere Vorgehensweise aller Akteure bei Auswahl und Umsetzung von Maßnahmen mit Bezug zur Digitalisierung an.

Arbeitsdefinition „Wasserwirtschaft 4.0“

Arbeitsdefinition „Wasserwirtschaft 4.0“

„Wasserwirtschaft 4.0“ beinhaltet die Nutzung von Digitalisierung und Automatisierung in Verwaltung, Planung und allen physikalisch-chemischen Prozessen zum Schutz und der nachhaltigen Nutzung der Ressource Wasser, zur Versorgung von Haushalten, Industrie und Landwirtschaft und zum Schutz vor wasser- und gewässerbedingten Risiken.

Digitalisierung, Modellierung, Automatisierung und Visualisierung ermöglichen in Ver- und Entsorgung sowie im Hochwasserschutz über die Kopplung von Sektoren und die Integration verschiedener Prozesse eine Erhöhung von Kosteneffizienz, Servicequalität, Sicherheit und Zuverlässigkeit und damit eine deutliche Verbesserung in der Daseinsvorsorge.

2.2 Kurzcharakterisierung der aktuellen Entwicklungen

Die folgenden Ausführungen geben einen Überblick zu den Erkenntnissen aus der Literaturanalyse und den Experteninterviews, ergänzt um Beiträge der TeilnehmerInnen des Workshops. Separat herausgearbeitet und vorgestellt werden bestehende Initiativen zur Bereitstellung bzw. zum Austausch von Daten und Informationen (vgl. Kapitel 2.2.2) sowie

⁶ Im Gegensatz zur ursprünglichen Leistungsbeschreibung und dem Titel des Forschungsvorhabens.

aktive Netzwerke und Arbeitsgruppen mit Bezug zur Thematik „Wasserwirtschaft 4.0“ (vgl. Kapitel 2.2.3).

2.2.1 Bestandsaufnahme

Die Literaturanalyse erfolgte zunächst strukturiert nach acht Themenkomplexen:

- ▶ Effizienz- und Effektivitätsverbesserung bestehender Prozesse,
- ▶ Effizienz- und Effektivitätsverbesserung durch neue Prozesse,
- ▶ Nutzenstiftung durch Kopplung von Sektoren bzw. bisher nicht gekoppelter Bereiche,
- ▶ Neue Perspektiven durch Nutzung bestehender oder neuer Datenbestände,
- ▶ Bürgernutzen, neue Perspektiven für Natur und Umwelt,
- ▶ Schnittstellenprobleme,
- ▶ Etwaige Eingriffsnotwendigkeiten, Förder- und Regelungsbedarfe sowie
- ▶ Generelle Betrachtung.

Eine Übersicht der erfassten Literatur ist dem Anhang zu entnehmen.

Als Ergebnis der Bestandsaufnahme lässt sich der Status-quo folgendermaßen einschätzen:

- ▶ Die aktuellen Entwicklungen erscheinen einerseits weitgehend technologiegetrieben (Europäische Kommission 2018), moduliert durch spezifische Anwendererfahrungen. Andererseits wirken neue rechtliche Vorgaben auf nationaler und EU-Ebene wie INSPIRE (Europäisches Parlament und Europäischer Rat 2007), das E-Government-Gesetz (EGovG) (Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz 2017), die Informationsfreiheits- und Transparenzgesetze des Bundes und der Länder (E-Government, Open Data) (Gov Data 2016), sowie andere Initiativen auf europäischer Ebene (Europäische Kommission 2010, 2015, 2016, 2017) als Treiber für die Entwicklung und Umsetzung von 4.0-Anwendungen.
- ▶ Die Digitalisierung wird mehrheitlich als Katalysator und Impuls für die Identifizierung von Möglichkeiten zur Steigerung der Effektivität, Effizienz und Qualität der Leistungserbringung in der Wasserwirtschaft gesehen. So würden viele Wasserver- und Abwasserentsorgungsunternehmen ihre betrieblichen Prozesse überprüfen und ggf. anpassen.
- ▶ Zum Einsatz kommen sollte Digitalisierung jedoch nur dort, wo sie gezielt auch zu Erhalt oder Steigerung von Sicherheit und Qualität beitragen kann.
- ▶ Der vermehrte Einsatz von IKT verändert ggf. Gestalt und / oder Auslegung wasserwirtschaftlicher Anlagen. Dies wirkt sich auch auf die Genehmigungsverfahren, den Betrieb und die Überwachung aus. Es ist zu prüfen, inwiefern daraus Anpassungs- und Unterstützungsbedarf bei zuständigen Behörden resultiert.

- ▶ Dies umfasst z. B. den Einsatz von Planungswerkzeugen wie das Building Information Modeling (BIM) (vgl. Steckbrief 6: BIM) mit entsprechenden Anforderungen (Software, Know-How etc.) an alle an der Planung beteiligten Akteure.
- ▶ Auch bisher waren numerische Abfluss- und Strömungsmodelle, Baukonstruktions- und Baustatikprogramme eine Erkenntnisquelle bei der Auslegung von wasserwirtschaftlichen Anlagen. Die neuen Entwicklungen im „Machine Learning“ und „Deep Learning“ führen hier aber zu einer neuen Qualität. Es ist deshalb ebenfalls zu thematisieren, inwiefern zukünftig verstärkt auch Ergebnisse aus solchen Modellierungen und Simulationen anstelle oder in Ergänzung zu Messwerten für die Anlagenauslegung und -genehmigung herangezogen werden können, inwieweit sie den Betrieb steuern können (sollen) und ob mit ihrer Anwendung den jeweiligen Überwachungspflichten genüge getan ist.
- ▶ In diesem Zusammenhang ist auch zu diskutieren, in welchem Maße und welcher Form das automatische Auslösen von Handlungen zulässig sein soll.
- ▶ Zur Kopplung neuer technischer Prozesse mit Verwaltungsprozessen ist bisher wenig bekannt. Dies gilt auch für die Definition von Produkten und Diensten auf kommunaler Ebene wie sie von der LAWA für Bund und Länder beschrieben werden. Die LAWA / INSPIRE-Aktivitäten (vgl. Steckbrief 7: LAWA-Strategierahmen) fokussieren auf bestehende Prozessgestaltungen, orientieren sich am jetzigen System und aktuellen Berichtspflichten. „Wasserwirtschaft 4.0“ erfordert darüberhinausgehende Aktivitäten (vgl. Kapitel 3.1.7) und eine Adressierung der kommunalen Ebene (vgl. Kapitel 3.1.4.3).
- ▶ Die Kooperation zwischen Bund und Ländern wurde durchgängig als gut bezeichnet. Benannt wurden hier die verschiedenen bestehenden Kooperationsmöglichkeiten in Arbeitsgruppen (z. B. LAWA) und Koordinierungskreisen (z. B. der Lenkungsgruppe der Präsidenten der Landesumweltämter). Als besonders positives Beispiel für die Zusammenarbeit von Bund und Ländern wurde die Kooperation bei der Erarbeitung von Pegelvorschriften hervorgehoben und die jetzt erreichte Verfügbarkeit der Pegeldata über das System Pegelonline (vgl. Steckbrief 4: PEGELONLINE).
- ▶ Teilweise wurde beklagt, dass sowohl der organisatorische Aufbau als auch die Abläufe in den Wasserwirtschaftsverwaltungen (und anderen Verwaltungszweigen) der Länder weiter auseinanderlaufen. Probleme werden weniger auf Seiten der Technik gesehen (also z. B. die Bereitstellung besserer Daten) als bei den Verwaltungsabläufen und den Schnittstellen (z. B. beim Austausch von Daten).
- ▶ Übereinstimmend wurde festgestellt, dass der Stand der Länder bei der Digitalisierung in der Wasserwirtschaft unterschiedlich ist. So wurde beispielsweise deutlich, dass alle Länder bemüht sind, wasserwirtschaftliche Verwaltungsvorgänge durch Verlinkung mit Flächendaten (elektronische Kataster, Kartenmaterial etc.) zu erleichtern. Im erreichten Stand sind sie unterschiedlich weit fortgeschritten. Durchgängig ist aber offenbar eine positive Kooperation der für die Flächendaten zuständigen Behörden mit den Wasserbehörden innerhalb der einzelnen Länder gegeben.

- ▶ Deutlich wurde der Bedarf des Austausches von Informationen, Wissen, Erfahrungen und Daten, auch nationenübergreifend und in Anknüpfung an Entwicklungen auf EU-Ebene. Der Bekanntheitsgrad (sowie die Nutzung) bestehender Datenportale (vgl. Kapitel 2.2.2) und Netzwerke / Arbeitsgruppen (vgl. Kapitel 2.2.3) mit Bezug zur Thematik „Wasserwirtschaft 4.0“ erwies sich demgegenüber (gemäß Ergebnis der Online-Befragung) als eingeschränkt. Hingewiesen wurde auf das auf Bundesebene im Aufbau befindliche Portal „WASSER-DE“ (vgl. Steckbrief 1: WASSER-DE).
- ▶ Obwohl Bedarf für zentrale Datenportale, Plattformen und eine stärkere Vernetzung kommuniziert wurde, blieb offen, in welcher Form und mit welchem Inhalt genau deren Ausgestaltung vorangetrieben werden sollte. (vgl. Kapitel 4.3 und 5.3)
- ▶ Die Thematik „Wasserwirtschaft 4.0“ stellt auch bei den Branchenvertretern ein hoch aktuelles Thema dar. Die Verbände (Unternehmensvertretungen) beschäftigen sich mit der Bereitstellung geeigneter IT-Infrastruktur, Schnittstellen und Sicherheitsanforderungen, Potenzialen für Anlagenpark und Ressourcenbewirtschaftung sowie Smart Services. Es werden dabei verschiedene Forderungen an die Politik u. a. im Bereich der Datenbereitstellung / -plattformen oder der Schaffung von Referenzarchitekturen (vgl. Kapitel 3.2) angebracht (Voigt et al. 2017). Die Verbände thematisieren ebenfalls den Personalbedarf für die Umsetzung IKT-basierter Lösungen. Teilweise wird speziell die Kundenperspektive adressiert (insbesondere im Zusammenhang mit dem Einsatz von Smart Meter) (BDEW 2017).
- ▶ Eine gezielte Untersuchung und Adressierung von Kundennutzen findet bisher jedoch kaum statt.
- ▶ Im Vergleich zu anderen Sektoren wird die Wasserwirtschaft als „mittelmäßig digitalisiert“ eingestuft (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2017, Wimmer und Hübner 2017). Die kommunalen Unternehmen der Branche sehen sich teilweise jedoch durchaus als Vorreiter in diesem Bereich (Wimmer und Hübner 2017). Das Thema „Wasserwirtschaft 4.0“ ist in der wasserwirtschaftlichen Praxis angekommen, wird jedoch nicht von allen Akteuren gleichermaßen aktiv aufgegriffen und die damit verbundenen Gestaltungspotenziale ausgelotet. Es scheinen noch nicht alle Akteure gleichermaßen an den aktuellen Entwicklungen beteiligt zu sein. Dies betrifft u. a. Planer, Untere Wasserbehörden, kleine Verbände und Unternehmen.
- ▶ Neue Prozesse im Sinne neuer Geschäftsmodelle und der Überwindung von Sektorengrenzen bleiben nach wie vor von untergeordneter praktischer Bedeutung. Auch scheint die Kooperationsbereitschaft in der Wasserwirtschaft ausbaufähig. Dies könnte die Nutzung von Potenzialen an der Schnittstelle zu anderen Sektoren unterstützen und die Suche nach gelungenen Lösungsansätzen aus anderen Bereichen zur Übertragung auf die Wasserwirtschaft anregen. (vgl. Kapitel 3.1.4.3 und 3.1.7)
- ▶ Vor dem Hintergrund der Komplexität der Thematik „Wasserwirtschaft 4.0“ erscheint nicht zuletzt die Förderung der Herausbildung eines gemeinsamen Verständnisses zur Thematik wichtig. Zusätzlich werden Pilotprojekte und „Feldversuche“ gefordert, um Best-Practice-

Beispiele zu unterstützen aber auch Raum für Lernprozesse zu haben, so dass auch „lessons learned“ an andere weitergegeben und Fehlerwiederholung vermieden werden können. Darüber hinaus wurde eine unzureichende finanzielle Ausstattung in den Ländern zur Umsetzung von 4.0-Anwendungen wiederholt angesprochen.

- Generell wird der Qualifizierungs-, Aus- und Weiterbildungsbedarf in allen Bereichen der Verwaltung aber auch in den Unternehmen thematisiert. Weitere Ergänzungen von Inhalten der Aus- und Weiterbildung seien notwendig.
- Wichtig bleibe das Hinterfragen des Beitrags zu Umwelt- und Gewässerschutzzielen und / oder sonstigem Nutzen für den Bürger. In diesem Zusammenhang sollten verstärkt auch die bisher wenig adressierten sozialen Aspekte, Personalbedarf, Personalweiterbildung für Kompetenzsteigerung und Umgang mit komplexeren Herausforderungen, bis hin zu Partizipationsprozessen stärkere Beachtung finden.
- Außerdem müsse die Infrastruktur vorhanden sein - ohne schnelles Internet in ländlichen Räumen sind viele „4.0-Innovationen“ nicht realisierbar. Darüber hinaus wurde darauf hingewiesen, dass ein unterbrechungsfreier Internetbetrieb noch nicht mit der nötigen Zuverlässigkeit gewährleistet sei.

2.2.2 Datenportale

Als übergeordnetes Handlungsfeld ist aktuell insbesondere der Zusammenführung von Daten mehrerer vormals separater Datenquellen auf einer Plattform („Integration von Daten“) großer Bedarf beizumessen. Tabelle 1 gibt einen Überblick zu einer Auswahl bestehender und in Entwicklung befindlicher Portale und Datenbanken mit Bezug zur „Wasserwirtschaft 4.0“. Der Bekanntheitsgrad erwies sich in der Online-Befragung als gering.

Tabelle 1: Ausgewählte Portale zum Austausch von Daten und / oder Informationen

	Name	Initiator/Betreiber	Beschreibung/Fokus	Abdeckung
Datenportale	CODE-DE	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur	deutscher Zugang zu den Daten des Copernicus-Programmes	unterschiedliche Services bezogen auf Satellitendaten, auch im Bereich Wasser; v. a. im Bereich Monitoring
	E-PRTR	Europäische Umweltagentur	wie thru.de, auf europäischer Ebene	wie thru.de, auf europäischer Ebene
	EU Open Data Portal	Europäische Union	Zugang zu veröffentlichten Daten von EU Institutionen und anderer EU Körper; verschiedene Visualisierungsmöglichkeiten; Vernetzung mit nationalen Portalen (in Deutschland: govdata)	Abdeckung verschiedener Themenfelder, von sozialen Fragen über EU-spezifische; teilweise Verknüpfung mit Anwendungsmöglichkeiten oder interaktiven Graphen

	Name	Initiator/Betreiber	Beschreibung/Fokus	Abdeckung
	GDI-DE	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie	Vorhaben von Bund, Ländern und Kommunen; raumbezogene Daten (Geodaten) werden vernetzt über das Internet zur Verfügung gestellt	zentralisierte Bereitstellung von Geodaten, kein Wasserfokus, Nutzung der Geodateninfrastruktur der Länder
	Geoportal der BfG	Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG)	Digitaler und online zugänglicher gewässerkundlicher Datenbestand der BfG	gewässerbezogene Daten verbunden mit Geoinformationen
	Global Earth Observation System of Systems	Europäische Raumfahrtagentur	Zugang zu koordinierten, unabhängigen, Erdobservierungs- informations- und - verarbeitungssystemen	Monitoring des Erdzustandes unter Einbezug von Umweltdaten und unterschiedlichen Datensystemen; im Bereich Wasser spielt Gewässerzustand dabei eine besondere Rolle
	GovData	Geschäfts- und Koordinierungsstelle GovData, Anwendung des IT-Planungsrates	Informationen und Dokumente rund um das Thema „Open Government“; Gesetzestexte, Studien oder Leitfäden, aber auch Links zu anderen Organisationen und Projekten; beschäftigt sich neben Datenbereitstellung auch mit dem Thema Standardisierung	kein spezifischer Wasserfokus (wasserbezogene Informationen allerdings integriert); langfristiger Fokus: zentrale, umfassende Informationssammlung zu den Themen „Open Government“, „Open Data“, „Bürgerbeteiligung“ etc. Fokus auf Verwaltung, inklusive Felddaten
	INSPIRE Geoportal	Europäische Kommission	zentraler europäischer Zugangspunkt von EU Mitgliedsstaaten sowie weiterer EFTA Länder unter der INSPIRE-Richtlinie	sektorenübergreifende Datensätze unter dem Schirm der INSPIRE-Richtlinie, evtl. Möglichkeit zur Datenintegration
	Länderfachportale	divers	Fachportale einzelner Bundesländer; Beispiele hierfür sind das Geoportal Wasser des Landes Rheinland-Pfalz oder das Geodateninformationssystem Wasser, Wasserwirtschaft des Freistaates Sachsen	Abdeckungsbereiche unterschiedlich, je nach Datenqualität und -quantität in den einzelnen Ländern; teilweise Fokus auf Geodaten, teilweise erweitert

	Name	Initiator/Betreiber	Beschreibung/Fokus	Abdeckung
	Thru	UBA	Daten zu Schadstoffausstoß sowie Abfall- und Umweltbelastungen von Industriebetrieben spezieller Sektoren; Einbezug der großen Kläranlagen sowie der Abwasserbelastung industrieller Unternehmen; Grundlage E-PRTR-Verordnung von 2006	industrielle Anlagen, (noch) keine diffusen Einträge (für Wasser), sektorale und größenbedingte Abgrenzung; anlagenbezogene Informationen, dadurch keine flächendeckende, sondern punktuelle Analyse auf Mikroebene möglich; Verbindung zu allen Industriesektoren
	Wasser-DE	Bund / Länder Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA)	einheitliche Bereitstellung verwaltungstechnischer Aspekte in der Wasserwirtschaft auf verschiedenen Ebenen	wasserrelevante Informationen auf nationaler und verwaltungstechnischer Ebene
	WasserBLiCK	Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG)	Das Berichtsportal dient u. a. der Unterstützung der internationalen Berichtspflichten der Bundesrepublik Deutschland. Nutzung zur Information und Kommunikation innerhalb der Verwaltungen	ausgewählte Inhalte öffentlich zugänglich (über Geoportal der BfG)
Austausch- und Informationsplattformen	WISE - Water Information System for Europe	Europäische Kommission Europäische Umweltagentur	Portal zu Informationen bzgl. europäischer Wasserthematiken	Unterteilung in WISE Freshwater und WISE Marine; Zusammenführung von Quellen wasserbezogener Daten und Statistiken, meist auf Makroebene; Fokus auf Gewässerzustand
	BDEW Projektgruppe Digitalisierung WaWi	Mitgliedsunternehmen im BDEW sowie deren Vertreter, Projektleiter	Sammlung und Darstellung verschiedener Projekte innerhalb des Themenfeldes, Bereitstellung einer Webseite mit Aufklärung über Chancen und Risiken	einzelne, konkrete, praxisnahe Projektbeispiele von Mitgliedsunternehmen; keine systemische oder organisatorische Perspektive, eher zoom-in

	Name	Initiator/Betreiber	Beschreibung/Fokus	Abdeckung
	ICT4WATER	keine Mitglieder in engerem Sinne, sondern Plattform für EU-geförderte Forschungsprojekte	übergeordnete Betrachtung unterschiedlicher Nutzen von IKT im Wasserbereich; Projektförderung	breite Abdeckung der relevanten Themen im Bereich „Wasserwirtschaft 4.0“; eher Plattform für Projektförderung und -bündelung als Netzwerk; enge Kooperation mit CTRL & SWAN
	Kommunal Digital	kommunale Unternehmen, Digitalisierungs- und Innovationsexperten verschiedener kommunaler Sektoren	VKU-Serviceplattform, Zusammenführung kommunaler Unternehmen mit Digital- und Innovationsexperten u. a. für den Bereich Wasser	Digitalisierung und Geschäftsfelder für kommunale Unternehmen erschließbar und erreichbar machen; Schnittstelle zu Start-Ups
	Open Government Partnership	NGO Funding v. a. von Privatstiftungen, bilateralen Agenturen, Länderregierungen	eine Plattform mit dem Ziel, Regierungen und deren Daten transparenter und offener zu machen und Bürgerbeteiligung zu ermöglichen	richtet sich an Regierungen, die sich zu Open Government Initiativen verpflichten sowie Aktionspläne entwerfen (auch Deutschland ist Mitglied der Initiative)

Die identifizierten Daten- und Austauschportale (vgl. Tabelle 1) fokussieren auf unterschiedliche Ebenen⁷. Bei der Analyse ist aufgefallen, dass sich im Vergleich zu den identifizierten Netzwerken (vgl. Tabelle 2) viele Datenportale per Aufbau mit Schnittstellen zu anderen Sektoren befassen. So werden beispielsweise die verschiedenen Geodatenportale (z. B. CODE-DE, GDI-DE, Global Earth Observation System of Systems) durch Satellitendaten mit Informationen bestückt, die einen intersektoralen Zugang erlauben. Auch andere Datenportale (Thru.de und das europäische Äquivalent E-PRTR, das INSPIRE Geoportal, GovData) geben sowohl wasserwirtschaftlich relevante Daten als auch Daten anderer Sektoren aus, inklusive Schnittstellen (beispielsweise im Bereich Schadstoffeintrag in Gewässer durch industrielle Applikationen). Gleichzeitig gibt es strikt wasserbezogene Datenportale, wie beispielsweise WISE, wo wasserbezogene Daten unterschiedlicher europäischer, aber auch nationaler Institutionen zusammengeführt werden.

Im Bereich der Austausch- und Informationsplattformen wurden Plattformen aus allen Ebenen gefunden (von kommunal bis global). Zwei dieser Plattformen haben darüber hinaus einen speziellen Fokus auf die Wasserwirtschaft und verbinden Digitalisierung speziell mit wasserwirtschaftlichen Thematiken. Beide Portale informieren über spezifische Projekte im Bereich der Wasserwirtschaft im Zusammenhang mit der Digitalisierung. Es werden individuelle Lösungen und Innovationen aufgezeigt, die als Inspiration genutzt werden können. Während dieser Blick zweifellos notwendig ist, so besteht bei einer isolierten Betrachtung schnell die

⁷ Darüber hinaus existieren Datenportale auf globaler Ebene (beispielsweise GEMS Water der UNEP oder die Global Runoff Data Base). Diese wurden für das vorliegende Vorhaben jedoch nicht näher betrachtet. Sie erlauben statistische Auswertungen, stützen sich auf ausgewählte Messstellen und decken unterschiedliche Zeiträume ab.

Gefahr, lediglich isolierte Insellösungen wahrzunehmen und den Blick auf die strukturellen und systemisch notwendigen Anpassungen zu verlieren.

Im Zuge fortschreitender Integration und erhöhter Notwendigkeiten bzgl. Standardisierung (für vertikale, horizontale, aber auch intersektorale Datenintegration) wird eine erweiterte Vernetzung unterschiedlicher Initiativen und mehr Abstimmung als notwendig erachtet. Hier ergibt sich für die unterschiedlichen Portale folgendes Bild: Besonders auf europäischer Ebene findet eine Vernetzung unterschiedlicher Portale und Initiativen statt. So sind beispielsweise das ICT4WATER, WISE, EIP Water sowie WssTP (und somit die W3C working group) über die Koordination der EU-Kommission verbunden. Dies hat eine koordinierende Funktion, da Entwicklungen in Teilbereichen schneller in anderen Bereichen aufgenommen werden. Eine vergleichbare Vernetzung im Bereich nationaler oder regionaler Initiativen ist im Verlauf der Recherche nicht offensichtlich geworden. Zwar ist sowohl eine vertikale als auch horizontale (aus Ebenenperspektive) Integration teilweise sichtbar, beispielsweise durch die Bündelung von Daten der Länder in GovData oder durch die von Thru.de und E-PRTR. Ein systematischer Ansatz zur Kopplung und Vernetzung ist auf nationaler Ebene und darunter jedoch nicht sichtbar. Auch der Einbezug externer Sektoren – beispielsweise Vernetzung spezifischer landwirtschaftlicher und wasserwirtschaftlicher Daten - spielt bei dieser Vernetzung nur eine untergeordnete Rolle. Dieser Ansatz wird höchstens durch die Vernetzung mit übergeordneten Portalen sichtbar (beispielsweise verlinkt WISE auf E-PRTR und andere Umweltdatenquellen).

Eine verbesserte Vernetzung oder Verknüpfung von Datenportalen (unter Umständen auch mit Netzwerken und Arbeitsgruppen) zur besseren Abdeckung wasserwirtschaftlich relevanter Aspekte sowie mit anderen Sektoren (beispielsweise Landwirtschaft) könnte zu einer verbesserten Aufnahme von Entwicklungen führen, sowie zu einem verbesserten Austausch untereinander, der Standardisierungsprozesse sowie eine schnellere sowie bessere Nutzbarmachung datengetriebener Anwendungen unterstützen kann.

Steckbrief 1: Wasser-DE

Handlungsfeld	Zusammenführung und Bereitstellung von Daten mehrerer vormals separater Datenquellen auf einer Plattform
Kurzbeschreibung/ Abstract	• Zusammenfassung von Aktionen und Informationen verschiedener Ebenen (europäisch, national, regional) und deren geordnete Bereitstellung • Zusammenführung der Implikationen aus EU-Rechtsakten und übergreifenden Strategien (EIF, IT-Bund / SAGA, WISE / Reportnet) mit dem fachlichen Kontext der LAWA • kooperatives Informationsmanagement in der Wasserwirtschaft
Zielgruppe/ Anwender	• Forschungseinrichtungen; Verwaltung (z. B. im Bereich Umwelt auf verschiedenen Ebenen); Bürger; Praktizierende (z. B. Stadtwerke, Kläranlagenbetreiber) • breites Feld an potenziellen Nutzern
Anlass/ Problembeschreibung	• Quantität an Informationen für verwaltungstechnische Aspekte erhöht Schwierigkeit, Relevantes von Irrelevantem zu unterscheiden → zeitaufwändiges Suchen relevanter Richtlinien, wassertechnischer Vorgaben auf verschiedenen Leveln (regional, national, europäisch) • unterschiedliche beteiligte Akteure verfügen über verschiedene Bedürfnisse sowie Ressourcen zur Informationsbeschaffung und –verarbeitung • Umsetzung kooperativer Lösungen bei Föderalismus und dezentralen Zuständigkeiten erschwert

	• unterschiedlich gestaltete (Fach-) Portale von Bund und Ländern und der Flussgebietsgemeinschaften
Umwelt- bzw. Bürgernutzen/ Mehrwert	• gebündelte und standardisierte Bereitstellung verfügbarer fachspezifischer Informationen verschiedener Ebenen • Schaffung von Schnittstellen • Erleichterung der Verwaltung und der Übersicht, auch sektorenübergreifend für andere Sektoren
Ansprechpartner/ Beteiligte (evtl. Kontaktinformationen)	LAWA (Bund / Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser); http://www.lawa.de Ministerium für Umwelt, Energie, Ernährung und Forsten (MUEEF, RLP)
Risiken	-
Anwendungsbeispiel(e)	-
Entwicklungsstand/ Zugang	• Zugang zum System voraussichtlich zweite Hälfte 2019. • Derzeit kein direkter Zugang zum Portal bekannt.
Projektlaufzeit und Kosten	keine Angaben
Zukünftige Weiterentwicklung und Handlungsempfehlungen	• Weiterentwicklung des E-Reporting zur Berichterstattung an die EU • Verbesserung und Vereinfachung von Möglichkeiten zur Information der Bevölkerung • Harvesting von RL-Daten durch die EU • Unterstützung der kontinuierlichen Weiterentwicklung der Digitalisierung in der Wasserwirtschaft
Weitere Informationen	www.wasser.rlp.de www.geoportal-wasser.rlp.de https://www.geoportal.de/SharedDocs/Newsletter/DE/Newsletter%202018/10_2018_GDI-DE_NEWS.pdf;jsessionid=425CC0A7E80BBB5FF45CFAF7CCD76207?__blob=publicationFile

Von ähnlicher Bedeutung wie die oben genannten Datenportale sind Schnittstellen, die es einerseits Bürgern und vor allem Unternehmen ermöglichen, ihre Kommunikation mit den staatlichen Stellen zu vereinfachen. Solche Initiativen bergen darüber hinaus erhebliche Effizienzpotenziale für den staatlichen Vollzug in der Wasserwirtschaft. Dieses große Potenzial zur beidseitigen Erleichterung und Effizienzsteigerung von Kommunikationsprozessen findet sich zurzeit vielfältig in Initiativen, die nicht wasserspezifisch sind.

BUBE

So existiert in Deutschland ein elektronisches bundeseinheitliches Verfahren, das nicht nur zur Erfassung der Daten für das europäische „Pollutant Release and Transfer Register“ (PRTR) (vgl. Tabelle 1, thru.de), sondern seit 2015 auch zur Erfüllung betrieblicher Berichtspflichten nach der 11. BImSchV (Emissionserklärung), 13. BImSchV (Großfeuerungsanlagen) und der 17. BImSchV (Verordnung über die Verbrennung und die Mitverbrennung von Abfällen) eingesetzt wird. Dieses Online-Erfassungssystem für die **Betriebliche Umweltdatenberichterstattung** (BUBE-Online) bietet perspektivisch die Möglichkeit, weitere Umweltdaten zu integrieren und könnte trotz länderspezifischer Unterschiede einen Ansatz für höher aufgelöste Daten im Wassersektor auch über die im PRTR bereits erfassten großen betrieblichen und kommunalen Kläranlagen hinaus bieten.

P23R

Ein noch breiterer Ansatz wurde vom Bundesministerium des Innern mit dem Projekt „Prozess-Daten-Beschleuniger (P23R)“ verfolgt. Ursprünglich entwickelt auf der Grundlage eines erfolgreichen Forschungsvorhabens, sollte der Prozessdatenbeschleuniger sämtliche Berichtspflichten eines Unternehmens gegenüber staatlichen Einrichtungen erleichtern, ganz gleich ob es sich um fiskalische, soziale oder Umweltdaten handelt (Gottschick et al. 2015). Ein solches Instrument sollte Daten aus betrieblichen Formaten in die Formate des Systems der empfangenden Behörde übersetzen und gleichzeitig eine Qualitätskontrolle beinhalten. Nach einer erfolgreichen proof-of-concept-Phase unter Beteiligung der BASF SE ist die Federführung für das Vorhaben im Jahr 2015 auf das Umweltbundesamt übergegangen. Die Qualität eines solchen Systems hängt allerdings entscheidend auch von der Qualität und Aktualität ab, mit der rechtliche Regeln in solch einem System hinterlegt (repository) sind. Ziel ist es, das System im Zuge weiterer Anwendungen zunächst für den Umweltbereich zu komplettieren und zu ertüchtigen und es dann den berichtspflichtigen Unternehmen direkt zur Verfügung zu stellen oder den Anbietern von betrieblichen Informationssystemen.

Statt eines Instruments, das es Unternehmen erleichtert, die vielfältigen Berichtspflichten gegenüber verschiedenen staatlichen Einrichtungen zu erfüllen, wäre auch denkbar, im Rahmen eines one-stop-shop-Konzepts die behördlichen Datenanforderungen an einer Stelle zu bündeln. In einem solchen Fall wäre dann das Prinzip des Prozessdatenbeschleunigers innerhalb der Verwaltungsbereiche erforderlich, um die empfangenen Daten für die verschiedenen Ziele der einzelnen Verwaltungsbereiche nutzbar zu machen.

Im Verlauf der Untersuchung wurde mehrfach der Wunsch aufgenommen, dass in Gesetzen und Verordnungen formulierte materielle Pflichten im Umweltbereich, insbesondere Berichtspflichten, so in elektronischer Form vorliegen sollten, dass sie von Betreibern direkt implementiert und auch in Systeme wie P23R direkt übernommen werden können.

Formularsysteme und FIM

Bund und Länder sind um Vereinheitlichung von Verwaltungselementen bemüht, sei es durch Verfügbarmachung von E-Government-Basiskomponenten, durch Verfahrensregeln oder Bündelung von IT-Dienstleistungen (z. B. Dataport, s. u.). Vom IT-Planungsrat (vgl. Tabelle 2 s. u.) wurde in diesem Sinne 2012 das **Föderale Informationsmanagement (FIM)** als gemeinsames Steuerungsprojekt von Bund und Ländern begonnen. Mit dem FIM soll die Ausfüllung und Nutzung von Formularen verbessert und deren Portierbarkeit zwischen verschiedenen Systemen erleichtert werden. Damit soll FIM auch im Sinne des Onlinezugangsgesetzes (Gesetz zur Verbesserung des Onlinezugangs zu Verwaltungsleistungen (OZG)) beitragen, bis Ende 2022 Verwaltungsdienstleistungen online anzubieten und Verwaltungsportale in einem Portalverbund mit einander zu verknüpfen.

2.2.3 Netzwerke und Arbeitsgruppen

Die Bestandsaufnahme (vgl. Kapitel 2.2.1) zeigte bedingt Bedarf für weiterführende Vernetzung auf. Konkrete Ansatzpunkte (Anlass, Inhalt und Ausgestaltung) einer weiterführenden Vernetzung blieben sowohl zum Workshop als auch in der Online-Befragung diffus. Grundsätzlich bedarf der Aufbau einer „Wasserwirtschaft 4.0“ jedoch des Informationsaustauschs zwischen Akteuren, Kooperationen sowie einer gemeinsamen Definition, Entwicklung und Umsetzung von 4.0-Anwendungen. Tabelle 2 zeigt überblicksartig eine Auswahl zu aktiven Arbeitsgruppen und Netzwerken mit Bezug zur Digitalisierung in der Wasserwirtschaft.

Tabelle 2: Ausgewählte Arbeitsgruppen und Netzwerke im Bereich Digitalisierung / Wasserwirtschaft

	Name	Mitglieder/Partner	Beschreibung	Abdeckung
Bereich Wasserwirtschaft	Branchenarbeitskreis Wasser/ Abwasser (im UP KRITIS)	vier Verbände, BSI, BBK und mehrere Unternehmen	Arbeitskreise auf Branchenebene zur Cyber- und IT-Sicherheit im Bereich Wasser-/Abwasserwirtschaft	Fokus auf Sicherheit und Datenschutz sensibler Daten der KRITIS; kein Einbezug anderer Wasserwirtschaftsbereiche; wirtschaftliche Prägung
	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft LAWA, EG Datenmanagement / Reporting	Mitglieder aus den für die Wasserwirtschaft zuständigen Ministerien von Bund und Ländern	wasserwirtschaftliche und wasserrechtliche Fragestellungen werden erörtert, Lösungen erarbeitet und Empfehlungen zur Umsetzung initiiert	Umfangreiche Aktivitäten im Zusammenhang mit INSPIRE / Vereinheitlichung von Plänen bzw. Programmen und Dokumenten bzgl. EU-WRRL-Berichterstattung, Fachpolitisch / administrative AG; nicht direkt bezogen auf Digitalisierung, vielmehr wird die Gesamtheit der Wasserwirtschaft in Betracht gezogen
	CTRL & SWAN	50 Einzelpersonen als Mitglieder aus den Bereichen Forschung und Wirtschaft / Ingenieurwesen	Smarte und innovative Sensorenentwicklung; politische Handlungsempfehlungen	Fokus auf Sensorik und Softwaresystemen (keine politische Ebene); eher Expertengruppe als Netzwerk; enge Kooperation mit ICT4WATER und EIP Water
	DWA Arbeitskreis Geodaten	10 Forschende sowie Praktizierende aus dem Bundesgebiet, 1 Obmann, und 1 Fachreferent	ebenen- sowie fachübergreifende Vernetzungen schaffen, um bislang ungenutzte Möglichkeiten im Bereich GIS und GDI darzustellen	Fokus auf elektronischer Datenverarbeitung; kein holistischer Anspruch, eher als Gegenpol zu Fachliteratur um Möglichkeiten praxisnah aufzuzeigen
	DWA: KA-13.5: Konzepte der Industrie 4.0 für die Abwassertechnik	11 Mitglieder aus Forschung und Praxis aus D und CH, 1 Sprecherin, 1 Fachreferent	Recherche, Analyse sowie Strukturierung von Informationen bzgl. Industrie 4.0 auf mögliche Anwendungen	Fokus auf Abwasser und Prozessdigitalisierung, keine holistische Betrachtung der Wasserwirtschaft;

Name	Mitglieder/Partner	Beschreibung	Abdeckung
		innerhalb der Abwasserwirtschaft, Arbeitshilfe für Abwasserbetriebe	kleiner AK mit befristetem AK
EIP Water	Teil der Innovation Union; Steuerungsgruppe (6 Mitglieder), Expertenpool (48 Mitglieder), Partner (andere Netzwerke / Partnerschaften)	unterstützt die Entwicklung innovativer Lösungsansätze vor dem Hintergrund der europäischen und globalen wasserwirtschaftlichen Herausforderungen, denen nicht mit vorhandenen Ansätzen begegnet werden kann	8 Schwerpunktbereiche (ganzheitlicher Zugang); smarte Technologien als Befähiger für alle Bereiche angesehen und dementsprechend zentraler Bestandteil und Schnittstelle
GWP (German Water Partnership)	ca. 350 private und öffentliche Unternehmen aus dem Wasserbereich, Fachverbände und Institutionen aus Wirtschaft und Forschung	Initiative der Exportförderung, Bündelung von Aktivitäten, Informationen und Innovationen des deutschen Wassersektors; ein AK beschäftigt sich explizit mit „Wasserwirtschaft 4.0“	potenziell breite Abdeckung aller technischen Aspekte der „Wasserwirtschaft 4.0“
ICT4WATER	keine Mitglieder im engeren Sinne, sondern Plattform für EU-geförderte Forschungsprojekte in diesem Bereich	übergeordnete Betrachtung unterschiedlicher Nutzen von IKT im Wasserbereich; Projektförderung	breite Abdeckung der relevanten Themen im Bereich „Wasserwirtschaft 4.0“; eher Plattform für Projektförderung und -bündelung als Netzwerk; enge Kooperation mit CTRL & SWAN
Kommunal 4.0	3 Unternehmen und Wissenschaftspartner, zusätzlich Gründung eines Vereins mit weiteren Mitgliedern aus Industrie, Kommunen und Wissenschaft	BMW-gefördertes Projekt bzgl. Digitalisierung kommunaler Infrastruktursysteme	ganzheitliches Projekt im kommunalen Digitalisierungsbereich; kein Netzwerk an sich (Vernetzung ist aber Teil des Projektes)
SWAN - The Smart Water Networks Forum	Wasserversorger, Lösungsanbieter, Akademiker, Investoren, Berater und andere Industrieexperten	Globales non-profit für Promotion datenbasierter Technologien in Wasser und Abwassernetzen	Vernetzung auf globaler Ebene; Veranstaltungen und Austausch zu verschiedenen Aspekten von „Wasserwirtschaft 4.0“;

	Name	Mitglieder/Partner	Beschreibung	Abdeckung
				kein vergleichbares Angebot in Deutschland
	Water Innovation Circle	DWA und DVWG	Forschungsbedarf aus der Praxis soll abgebildet werden und Transfer von Forschungsergebnissen in die Praxis eingeleitet werden	nur Mitglieder der Verbände direkt betroffen; gesamte Wasserwirtschaft, breiter Innovationsbegriff, kein Digitalisierungsfokus
	Water & ICT	Leitung: Technologiezentrum Wasser (CETaqua); keine Informationen bzgl. Mitgliedern	Arbeitsgruppe der European Water Supply and Sanitation Technology Platform (WssTP)	Verknüpfung von Wasser und IKT auf europäischem Level, Ziel: Expertise zeigen und generieren, Standardisierung vorantreiben
	Deutschland intelligent vernetzt	Fokusgruppe d. Digital-Gipfels; ca. 200 Experten aus Unternehmen/ Institutionen	Begleitung/Beratung d. Umsetzung u. Weiterentwicklung der Strategie „Intelligente Vernetzung“ als Bestandteil der Digitalen Agenda der Bundesregierung	ausschließlich Vernetzung; Wasser kein konkretes Thema
	DVW AK 2	Deutscher Verein für Vermessungswesen e. V.	Der Arbeitskreis "Geoinformation und Geodatenmanagement" evaluiert deutsche und europäische Open Data Initiativen.	Fokus auf Geoinformation, Geodatenmanagement, 3D-Geoinformation; Verbindung zu Wasser über Geoportale (siehe Datenportale)
	IT Planungsrat	Beauftragter d. Bundesregierung für IT und Zuständige für IT der Länder	Koordinierung der Zusammenarbeit von Bund und Ländern in Fragen der IT; auch Steuerung von E-Government-Projekten	infrastrukturell relevant, Kompetenz zur Standardsetzung, kein Branchenfokus; fachpolitische Ebene (Vertreter von Bund und Ländern)
Bereich Digitalisierung	Kompetenzzentrum Öffentliche IT	Fraunhofer FOKUS (mit Mitteln des Bundesministeriums des Innern, für Bau und Heimat)	Kommunikation und Vernetzung zukünftiger Lebensbereiche und Infrastrukturen	Digitalisierung in der Verwaltung / öffentlichen Kommunikation; auch KRITIS thematisiert, Wasser nicht zentral; systemisch-gesellschaftlicher Fokus

Name	Mitglieder/Partner	Beschreibung	Abdeckung
nachhaltig.digital	Projekt- und Koordinationsbüro für Informations- und Austauschveranstaltungen im Bereich Digitalisierung (Projekt des B.A.U.M. e. V. und der DBU)	Ziel: verschiedene Akteure im Dialog zusammenbringen (v. a. Mittelstand, dessen Geschäftspartner, Politik, Medien); Ziel (Eigenbeschreibung): Digitalisierung zum besten Instrument einer lebenswerten Zukunft machen	explizite Meta-Perspektive bzgl. Digitalisierung in der Gesellschaft; Fokus auf den Mittelstand und Inklusion verschiedenster Themenbereiche (technisch, ökonomisch, ökologisch, sozial, ethisch, kulturell)
Plattform Industrie 4.0	VertreterInnen aus Unternehmen, Verbänden, Betriebsräten und Wissenschaft sowie des BMWi und des BMBF	Trends im Bereich der produzierenden Industrie sollen identifiziert und zu einem einheitlichen Verständnis von Industrie 4.0 gebündelt werden, Entwicklung und Promotion einer Rahmenstruktur	Fokus auf produzierende Industrien sowie Technologien; Wassersektor indirekt betroffen; auch Standardisierung und Koordinierung
W3C - Web of things working group	40 Organisationen v. a. aus den Bereichen Wissenschaft (Institute, Universitäten), Wirtschaft (Technologie, Internet)	Versuch, der Fragmentierung des IoT durch standardisierte Bausteine (Metadaten, APIs) zu begegnen, die Integration über IoT Plattformen und spezifische Applikationen ermöglichen	Metadatenperspektive und Vernetzung über Sektorengrenzen hinweg; keine politischen Organisationen teilnehmend

Die in Tabelle 2 benannten Arbeitsgruppen und Netzwerke umfassen Initiativen in den Bereichen Digitalisierung und Wasserwirtschaft sowie im Einzelbereich Digitalisierung (mit einem Fokus auf nationaler sowie EU-Ebene). Daraus lassen sich die folgenden, ersten Einschätzungen zur Sinnhaftigkeit eines erweiterten Netzwerkes ableiten (vgl. Kapitel 4.3): Es wird sichtbar, dass bereits Netzwerke an der Schnittstelle zwischen Digitalisierung und Wasserwirtschaft existieren. Genauso fällt jedoch auf, dass sich ein Großteil der Initiativen auf spezifische Sachverhalte fokussiert (z. B. CTRL & SWAN), bedeutende Stakeholder nicht einbezieht (z. B. LAWA) oder auf einem internationalen Level agiert (z. B. SWAN). Auf der anderen Seite gibt es bei den Digitalisierungsnetzwerken bis dato keinen ausgeprägten (Teil-) Fokus auf wasserwirtschaftliche Konzepte, mit Ausnahme von AIOTI, das v. a. auf europäischer Ebene agiert. Ein ganzheitlicher sowie detaillierter Ansatz unter Einbezug verschiedener Stakeholder im Bereich Digitalisierung in der Wasserwirtschaft ist in diesem Sinne auf nationaler Ebene noch nicht sichtbar. Zwar existieren Ansätze in Arbeitsgruppen und Forschungsvorhaben, jedoch mangelt es jeweils entweder an inhaltlicher Breite oder an Zahl und Repräsentativität der teilnehmenden Akteure. So ist aus Kommunal 4.0, einem vom BMBF geförderten Forschungsprojekt von zwei Unternehmen und einer Forschungseinrichtung, ein Verein mit interessierten weiteren Unternehmen, Kunden und Unterstützern hervorgegangen, der den Fokus auf die kommunalen wasserwirtschaftlichen Aufgaben legt. Die GWP hat einen

Arbeitskreis im Bereich „Wasserwirtschaft 4.0“ aufgesetzt. Das zentrale Ziel dieses Vereins besteht allerdings in der Exportförderung und umfasst überwiegend wasserwirtschaftliche Aufgaben im internationalen Umfeld, in denen Digitalisierung noch nicht im Vordergrund steht. Weitere Teilaspekte werden im Bereich der LAWA und in DWA-Arbeitsgruppen erörtert und abgestimmt. Schließlich wirken sich die allgemeinen Aktivitäten zur Verwaltungsmodernisierung durch Digitalisierung auch im Bereich der Wasserwirtschaft aus.

Letztlich befassen sich die genannten Netzwerke aber mit Teilaspekten einer holistisch betrachteten Wasserwirtschaft. Schnittstellen zu anderen Bereichen, vor allem im Bereich Geoinformatik, Landwirtschaft oder Meteorologie, die für Gewässermanagement oder resiliente Strukturen in Zeiten des Klimawandels von Relevanz wären, sind auf nationaler Ebene nicht explizit vorhanden und werden insgesamt nur in einem Zusammenschluss auf europäischer Ebene – AIOTI – auf struktureller Ebene angesprochen. Ein nationales Netzwerk mit der Kernaufgabe, die Digitalisierung im Wassersektor inklusive seiner Schnittstellen und verschiedener Teilaspekte (von Verwaltung zu technologischen Aspekten) zu kommunizieren und anzutreiben, ist derzeit in der Bundesrepublik nicht vorhanden. Es besteht verbreitet eine bereichsweise Überlappung durch Mitwirkung von individuellen Akteuren oder Institutionen in zwei oder mehreren Netzwerken. Ob dies ausreicht, eine weitgehend kohärente Entwicklung sicherzustellen, kann aufgrund der beobachteten Dynamik zurzeit nicht abschließend beurteilt werden. Demgegenüber könnte eine zusätzliche Netzwerkstruktur mit ausreichender organisatorischer Kapazität und politischer Promotion dem Feld insgesamt und in jedem Falle Teilbereichen zu einer weiteren Dynamisierung verhelfen, s. u. Kapitel 4.3.

Steckbrief 2: SWAN (Smart Water Networks Forum)

Handlungsfeld	Internationale Vernetzung von unterschiedlichen Akteuren im Bereich intelligente Wasserversorgungsnetze
Kurzbeschreibung/ Abstract	• SWAN ist eine globale Non-Profit-Organisation für den Einsatz datengetriebener Technologien in Wasserversorgungs- und Abwasserentsorgungsnetzen⁸ • Verbindung zwischen Industrie, Forschung, Verwaltung
Zielgruppe/Anwender	• Wasserversorger sollen von den smarten Wasserversorgungsnetzen profitieren • Forum richtet sich als Plattform an verschiedene Stakeholder, um Datennutzung zu optimieren und zu vereinfachen
Ansprechpartner/ Beteiligte (evtl. Kontaktinformationen)	• Kontakt: info@swan-forum.com; https://www.swan-forum.com • Beteiligte: Wasserversorger, Forschungseinrichtungen, Industrieexperten (aus Deutschland: TÜV Süd)
Anlass/ Problembeschreibung	• steigender Einsatz datenfähiger Komponenten • fehlende Nutzenmaximierung dieser Fähigkeiten
Umwelt- bzw. Bürgernutzen/ Mehrwert	• durch smarte Wasserversorgungsnetze: • Steigerungen der Effizienz von Wasserversorgungsnetzen, deren Langlebigkeit, sowie deren Zuverlässigkeit • langfristige Preisvorteile, sowie Verbrauchsoptimierung mit Auswirkungen auch auf Energieverbrauch • durch das Forum: • Vernetzung von Akteuren • Ermöglichung kollaborativer Partnerschaften und von internationalem Austausch • Zugang zu Forschungsergebnissen und Analysen anderer Mitglieder
Risiken	keine
Anwendungsbeispiel(e)	• Evaluierung des Grades der Intelligenz von Wasserversorgungsnetzen

⁸ Für eine Definition smarter Wasserversorgungsnetze siehe: <https://www.swan-forum.com/about/>.

	- und Vergleichsmöglichkeiten - Konferenzen und Events für den Austausch unterschiedlicher internationaler Akteure
Entwicklungsstand/ Zugang	erreichbares und aktives Forum mit Veranstaltungen, aktivem Austausch, Portalen und aktiver Forschung
Projektlaufzeit und Kosten	keine Angaben
Zukünftige Weiter- entwicklung und Handlungs- empfehlungen	- Gründung regionalspezifischer Allianzen - darüber hinaus keine konkreten Planungen bekannt
Weitere Informationen	https://www.swan-forum.com

2.3 Zwischenfazit

Generell gilt gemäß den Leitlinien für Smart Cities der Smart City Charta (Bundesinstitut für Bau- Stadt- und Raumforschung; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau- und Reaktorsicherheit (Hg.) 2017):

- ▶ digitale Transformation braucht Ziele, Strategien und Strukturen,
- ▶ digitale Transformation braucht Transparenz, Teilhabe und Mitgestaltung,
- ▶ digitale Transformation braucht Infrastrukturen, Daten und Dienstleistungen,
- ▶ digitale Transformation braucht Ressourcen, Kompetenzen und Kooperationen.

Die Ergebnisse der Bestandsaufnahme zeigen, dass die Entwicklung von 4.0-Anwendungen bzw. einer „Wasserwirtschaft 4.0“ in Deutschland erst am Anfang steht.

Der breite Aufbruch in die Digitalisierung parallel in Industrie, Infrastruktur, Verwaltung und Politik bringt eigene (Schnittstellen-)Probleme mit sich, die der Koordinierung und Abstimmung bedürfen. 4.0-Anwendungen nicht nur in der Wasserwirtschaft, sondern in vielen anderen Bereichen führen jeweils zu eigenen Erfahrungen, die zurückgespielt werden und in die weitere Technologieentwicklung einfließen. Diese Dynamik ist im Grundsatz sehr positiv, sie kann aber zur Ausbildung gegenläufiger Tendenzen führen. Sie kann Standardisierungsprozesse zur Folge haben, die wichtige staatliche Grundprinzipien vernachlässigen, bisherige Governance-Prozesse einerseits erschweren oder andererseits erübrigen. Durch die elementare Bedeutung des Wassersektors und seine Verbindung zu anderen Infrastruktursektoren ergibt sich die Notwendigkeit, die Entwicklung sorgfältig zu beobachten und abzuwägen, in welcher Form Politikentwicklung, Governance- und Standardisierungsprozesse zu begleiten und ggf. zu fördern oder zu reglementieren sind. Dabei sollten auch Chancen für Verbesserungen im eigenen Zuständigkeitsbereich ergriffen werden können.

Initiativen im Themenfeld "Wasserwirtschaft 4.0" zielen bisher vordergründig auf betriebliche Vorteile durch effizientere Prozesse. Direkte Nutzen für den Bürger und die Umwelt stehen bisher nicht im Vordergrund. Hier besteht ein Themenfeld, in dem vermehrt auf Nutzenstiftung auch in diesem Bereich hinzuwirken wäre. Grundsätzlich wird mit einer qualitativen Verbesserung in den Wasserdienstleistungen und der Wasserwirtschaftsverwaltung im Besonderen sowie der Umweltverwaltung allgemein natürlich auch ein Zusatznutzen für den Bürger erreicht, der im Gegensatz zu dem oben genannten direkten Nutzen als indirekter Nutzen zu bezeichnen ist. Dabei ist auch zu fragen, ob eine sehr enge Fokussierung auf einen ausschließlichen Wassernutzen dem Charakter als öffentliches Gut von Umweltschutz,

Wasserwirtschaft und Daseinsvorsorge gerecht wird und ob nicht durch die Integration vielfältiger Datenquellen und Datenverarbeitungen ein deutlicher Zusatznutzen in der Daseinsvorsorge insgesamt erreicht wird.

Die Ergebnisse der Bestandsaufnahme verweisen auf das Vorhandensein bisher ungenutzter Potenziale der Nutzenstiftung für Umwelt und Bürger, die im Zusammenhang mit dem Einsatz von IKT, der weitergehenden Nutzung von Daten oder neuen Instrumenten der Planung, der Entscheidungsunterstützung oder des Monitorings generiert werden könnten. Dabei steht bisher eine Bewertung / Quantifizierung bzw. ein Rückbezug auf wasserwirtschaftliche und nachhaltigkeitsbezogene Zielstellungen aus. Das folgende Kapitel 3 wird diese Potenziale näher charakterisieren (Kapitel 3.1). Außerdem werden Ansatzpunkte (Kapitel 3.2) und Herausforderungen (Kapitel 3.3) für die Realisierung von Nutzen für Umwelt und Bürger thematisiert.

3 Charakterisierung der Potenziale und Herausforderungen

Die Potenziale der Digitalisierung in der Wasserwirtschaft werden im Rahmen des Forschungsvorhabens aus der Perspektive des generierbaren Nutzens für Umwelt und Bürger betrachtet. Im Folgenden werden als besonders relevant identifizierte Potenzialbereiche überblicksartig beschrieben (Kapitel 3.1). Diese Potenziale beruhen auf neuen Gestaltungsmöglichkeiten durch Digitalisierung bzw. der Integration von IKT in die Bereitstellung wasserwirtschaftlicher Dienstleistungen (Kapitel 3.2). Der Realisierung der identifizierten Potenziale stehen verschiedene Herausforderungen (Kapitel 3.3) gegenüber.

3.1 Potenzialbereiche – Nutzen für Umwelt und Bürger

Dem breiteren Einsatz von IKT werden vielfältige Potenziale zugesprochen. Im Aktionsplan für einen digitalen Binnenmarkt für Wasserdienstleistungen der Europäischen Kommission werden insbesondere Verbesserungen in der Bewirtschaftung von Wasserressourcen (z. B. durch Qualitätssteigerungen im Bereich Monitoring und Berichtswesen), Wasserwiederverwendung, Umgang mit Extremereignissen (Hochwasser, Wasserknappheit), Entscheidungsunterstützung sowie Bewusstsein der verschiedenen Akteure zu Wert und Notwendigkeit einer nachhaltigen Bewirtschaftung von Wasserressourcen (Europäische Kommission 2018) benannt. Ein Schwerpunkt aktueller Projekte im Bereich digitaler oder smarter Lösungsansätze bei ICT4WATER liegt auf dem Thema Monitoring (teilweise ist Monitoring Teil eines größer angelegten Projektes zur Validierung von Technologien⁹, teilweise ist smartes Monitoring der Forschungs- oder Projektgegenstand¹⁰). Andere Projekte bei ICT4WATER widmen sich der Einrichtung digitaler Plattformen (sowohl für Nutzer als auch für Betreiber, beispielsweise mit Managementfokus oder zur Entscheidungsunterstützung sowie um Prozesse effizienter zu machen), unterschiedlichen digitalen Technologien im Bereich Abwasserbehandlung, Cybersicherheit, Präzisionsbewässerung, flexibler Preispolitik oder der Entwicklung von Geschäftsszenarien für smarte Applikationen in Wassernetzen¹¹.

National wird der Thematik der Wasserwiederverwendung weniger Bedeutung beigemessen¹². Potenziale werden gemäß dem Ergebnis der Online-Befragung kurz- bis mittelfristig den Bereichen Schutz vor Wasser bzw. verbessertes Hochwasserrisikomanagement und Reduzierung von Stoffeinträgen in Gewässer zugesprochen¹³. Es wurden ebenso mögliche Beiträge zur Umsetzung von Maßnahmen im Zusammenhang mit der Klimaanpassungsstrategie sowie einer stärkeren Öffentlichkeitsbeteiligung gesehen. Darüber hinaus finden sich in Deutschland keine Überblicksdarstellungen zu besonders relevanten Potenzialbereichen. Die folgenden Ausführungen zu Potenzialen stammen von den jeweiligen betroffenen Akteuren, und wurden vor allem über Interviews und den Workshop eingeholt. Hier nicht erwähnt und auch

⁹ Ein Beispiel ist die auf Wertstoffrückgewinnung basierende Abwasserbehandlung im Projekt INCOVER, die mit smarter Technologie überwacht wird: <https://incover-project.eu>.

¹⁰ Ein Beispiel ist das Projekt Ground Truth 2.0, das im Bereich der ‚offenen‘ bzw. ‚Bürgerwissenschaft‘ anzusiedeln ist und bei dem Bürger zur Überwachung von Flora, Fauna, sowie Wasserqualität beitragen: <http://gt20.eu>.

¹¹ Z. B. in SmartWater4Europe: <https://sw4eu.com>

¹² Dies gilt nicht für die industrielle Wasserwirtschaft.

¹³ In der Online-Befragung wurde vor allem den Bereichen

- Schutz vor dem Wasser bzw. verbessertes Hochwasserrisikomanagement,
- Gewässerschutz / diffuse Quellen/Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft sowie
- Gewässerschutz / Abwasserentsorgung

kurz- bis mittelfristig (innerhalb der kommenden 15 Jahre) Potenzial zur Generierung von Nutzen für Umwelt und Bürger zugesprochen. Weiterführende Informationen zu den Ergebnissen der Online-Befragung werden auf Anfrage zur Verfügung gestellt.

nicht Schwerpunkt des Forschungsprojekts ist die wirtschaftliche Verwertung wasserwirtschaftlicher Daten durch nicht direkt mit der Bereitstellung wasserwirtschaftlicher Dienstleistungen verbundene 4.0-Anwendungen.

3.1.1 Schutz vor Wasser bzw. verbessertes Hochwasserrisikomanagement

Nutzen für Umwelt und Bürger ergeben sich hinsichtlich des verbesserten Schutzes von Gesundheit und Eigentum durch Verbesserungen im operativen Hochwasserschutz. Dazu tragen verbesserte risiko- und sensorgestützte Frühwarnsysteme, erweiterte Möglichkeiten der Datenverarbeitung und Visualisierung von Informationen und ein erhöhtes Prozessverständnis sowie nicht zuletzt eine erhebliche Erleichterung und Unterstützung eines integrierten Managements bei. Außerdem sind zahlreiche Folgeanwendungen für verfügbare Daten (wirtschaftliche Verwertung wasserwirtschaftlicher Daten) denkbar.

Verbesserungen im Bereich des operativen Hochwasserschutzes können durch die Verfügbarmachung und Visualisierung raumzeitlich hochaufgelöster Informationen für den Ereignisfall und in hoher Genauigkeit für Planungsprozesse erreicht werden. Neben Informationen zu Wasserständen könnten zukünftig Informationen zum Zustand wasserbaulicher Anlagen (z. B. Deiche) in risiko- und sensorgestützte Frühwarnsysteme einfließen (www.earlydike.de). Verschiedene Geosensoren und Modellierungswerkzeuge (u. a. hydronumerische Vorhersagemodelle) sind praxisbereit und können in Kombination eingesetzt werden. Das Monitoring von Schutzeinrichtungen kann erleichtert werden, die Detektion von Schwachstellen kann möglichst frühzeitig erfolgen und die Ausbreitung von Überschwemmungen (online-Simulation oder szenarienbasiert) kann besser vorhergesagt werden. (Kutschera et al. 2016)

Neue und / oder raumzeitlich höher aufgelöste Daten können in zahlreichen Arbeitsprozessen (z. B. Instandhaltung, Betriebsführung, operativer Hochwasserschutz) zur Anwendung kommen und diese unterstützen. Zusätzliche bzw. besser visualisierte Informationen tragen zu einem verbesserten Prozessverständnis bei. Als eine umfassende, implementierte Anwendung wird an dieser Stelle beispielhaft auf das Hochwasserportal des Wupperverbandes verwiesen (vgl. Steckbrief 3: Hochwasserportal des Wupperverbandes).

Zur Hebung der genannten Potenziale ist eine Erweiterung der vorhandenen Datengrundlagen erforderlich, um relevante Informationen generieren zu können. So liegen beispielsweise umfassende Informationen zu Gewässern (u. a. hydromorphologisch, chemisch, physikalisch) nicht strukturiert / digitalisiert vor (vgl. www.river-view.de). Verschiedene Anwendungen befinden sich in Entwicklung. Eine Verstetigung der hierfür noch notwendigen Forschung und Entwicklung wurde gefordert. Die Überführung in die breite Praxis steht noch aus.

Eine ganzheitliche Berücksichtigung aller Phasen des Hochwasserrisikomanagementkreislaufes oder flächendeckende gebietsbezogene sowie eine umfassende akteursspezifische Informationsbereitstellung im Sinne einer „Wasserwirtschaft 4.0“ gilt es erst aufzubauen. Die Bewirtschaftung von Flusseinzugsgebieten erfordert eine Zusammenarbeit über Verwaltungs- und Landesgrenzen hinweg. Diesbezüglich scheinen, auch international betrachtet, Optimierungspotenziale im operativen Hochwasserschutz zu bestehen. Außerdem gelte es bei der Entwicklung von Mess-, Simulations- und Steuerungswerkzeugen auf deren Kompatibilität und Anschlussfähigkeit (Kutschera et al. 2016) über Gebietsgrenzen sowie Anbieter von Technik und Software hinweg zu achten.

Steckbrief 3: Hochwasserportal des Wupperverbandes

Handlungsfeld	Flussgebiets- und Hochwassermanagement
Kurzbeschreibung/ Abstract	Das Hochwasserportal des Wupperverbandes informiert rund um die Uhr an 7 Tagen die Woche über die hydrologische Situation im Zuständigkeitsgebiet des Wupperverbandes. Das Portal vernetzt und integriert dabei Daten unterschiedlicher Herkunft - Pegelstände, Grenzwerte, Genese/Ausgangslage, Witterung, Prognosen, lokale Hydrologie, Hydraulik, Talsperrensteuerung - und generiert über einen Hydrologen vom Dienst eine Situationsanalyse, abgestimmt auf die jeweiligen User - in Städten, an Gewässern und für Talsperren. Dabei kommen automatisierte Prozesse zum Einsatz wie Wiedervorlagen, vorgeschlagene Warnungen, Datenprozesse und Datenchecks. Die "4.0"-Komponenten bestehen vor allem in der Integration und Aufbereitung der vielen unterschiedlichen Daten / Informationen, sowie der Datenverarbeitung, der Bereitstellung von Informationen, den interne Automatismen und der Usability.
Zielgruppe/Anwender	Öffentlichkeit, Fachpersonal (z. B. Talsperrenverwaltung)
Anlass/ Problembeschreibung	Informationen über hydrologische bzw. Hochwasserrisiken sind nicht über rein technische Informationen wie Ganglinien oder Pegelstände zu vermitteln (quantitative und qualitative Einordnung schwierig, da keine Perspektive und kein Zusammenhang geliefert wird). Stattdessen bedarf es einer umfassenden Aufarbeitung hydrologischer Daten mit einer korrekten und klar kommunizierbaren Botschaft.
Umwelt- bzw. Bürgernutzen/ Mehrwert	Klare und aufbereitete Kommunikation von (individuellen) Hochwasserrisiken.
Ansprechpartner/ Beteiligte (evtl. Kontaktinformationen)	Wupperverband (www.wupperverband.de), Marc Scheibel (schei@wupperverband.de)
Risiken	keine
Anwendungsbeispiel(e)	https://hochwasserportal.wupperverband.de/
Entwicklungsstand/ Zugang	Zugang frei, Entwicklung abgeschlossen
Projektlaufzeit und Kosten	• bereits umgesetzt / Laufzeit nicht terminiert • Kosten unbekannt, Finanzierung über den Wupperverband.
Zukünftige Weiter- entwicklung und Handlungs-empfehlungen	Ggf. nach weiteren Anwendererfahrungen
Weitere Informationen	https://hochwasserportal.wupperverband.de/

Parallel zum Aufbau ganzheitlicher Risikomanagementkonzepte werden von verschiedenen Anbietern nutzer- bzw. anwenderbezogene Dienste entwickelt. Sie können Beiträge zur rechtzeitigen Warnung von Bürgern und Einsatzkräften vor Gefährdungen leisten (z. B. App Pegelalarm) und sind anschlussfähig an andere Anwendungsdienste z. B. für Warnung und Prognosen. Diese Anwendungen greifen u. a. auf (öffentliche) Daten der Wasserwirtschaft zurück (vgl. Steckbrief 4: Pegelonline), bereiten diese auf und kombinieren sie teilweise mit weiteren Datensätzen. Nutzen entsteht hier in der Aufbereitung von Daten zur Generierung von Informationen für Dritte wie die Schifffahrt (beispielsweise wird die Verwendung für

Optimierungen im Bereich Logistik / Frachtkosten genannt). Inwiefern solche Anwendungen, die i.d.R. für andere Zwecke von Privaten bzw. privatwirtschaftlichen Akteuren erhobene Daten beinhalten, durch staatliche Einrichtungen nutzbar sind und neuen Nutzen generieren und / oder zur Verbesserung staatlicher / kommunaler Dienstleistungen beitragen können (und dürfen) wird in Literatur und Praxis noch nicht ausreichend diskutiert.

Steckbrief 4: PEGELONLINE

Handlungsfeld	Sammlung von Daten auf unterschiedlichen Ebenen und zentralisierte Bereitstellung für die Öffentlichkeit (freie private und kommerzielle Nutzung, Open Data)
Kurzbeschreibung/ Abstract	• allgemeine Zugänglichmachung gewässerkundlicher Parameter von Binnen- und Küstenpegeln der Wasserstraßen des Bundes annähernd in Echtzeit • bis 30 Tage rückwirkend • verschiedene Dienste stellen die Parameter zur Verfügung
Zielgruppe/Anwender	• BürgerInnen, die sich über die jeweiligen Pegelstände informieren wollen (beispielsweise bei Hochwasser) • Binnenschifffahrt • private Unternehmen, die zur Verfügung gestellte Parameter und Daten in ihr Geschäftsmodell integrieren können (Medien, Apps, etc.) • Forschungseinrichtungen • öffentliche Verwaltungseinheiten (auf verschiedenen Ebenen)
Ansprechpartner/ Beteiligte (evtl. Kontaktinformationen)	• Service der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) • Host und Betreiber: ITZ Bund
Anlass/ Problembeschreibung	• Open Data von Gemeingütern und öffentlicher Zugang zu Daten • fehlende Nutzarmachung dieser Daten
Umwelt- bzw. BürgerInnen Nutzen/ Mehrwert	• BürgerInnen können sich über die Pegelstände von Binnengewässern und Küstengebieten informieren (speziell in Hochwassersituationen) • Steigerung der Resilienz durch Frühwarn- und Alarmsysteme • erhöht Sicherheit (z. B. im Kraftwerks- oder Kanubetrieb) • geringerer interner Verwaltungsaufwand
Risiken	• Bereitstellung weitgehend ungeprüfter Daten durch den Datenupload nahezu in Echtzeit
Anwendungsbeispiel(e)	• Pegelstände von Flüssen für Kanuvereine (Feststellung der Befahrbarkeit von Gewässern) • Frühwarnsysteme für Anlagenbetreiber • Bürger können sich selbst über Pegelstände informieren (kein telefonischer Auskunftbedarf)
Entwicklungsstand/ Zugang	• online seit 2006 • öffentlicher Zugriff auf gesamten Datenbestand möglich • ständige Aktualisierung der Daten und Informationen • Zugriff direkt über das Portal von Pegel Online oder über GovData (siehe Datenportale)
Projektlaufzeit und Kosten	keine Angaben
Zukünftige Weiter- entwicklung und Handlungs- empfehlungen	Erhöhung des Datenangebotes (bspw. sind Niederschlagsdaten, Wassertemperatur oder Windgeschwindigkeiten nur für einige Messstellen / Gewässer vorhanden)
Weitere Informationen	https://www.itzbund.de/DE/ITLoesungen/Pegelonline/pegelonline_node.html https://www.pegelonline.wsv.de/gast/start

Bezüglich der weitergehenden Nutzung von Daten zur Hebung von Potenzialen besteht grundsätzlich die Möglichkeit der Integration von Fernerkundungsdaten (d. h. Satellitendaten

oder Radardaten) (Rudolf und Simmer ohne Datum). Über Satellitenmessungen könnten Informationen zur Bodenfeuchte generiert werden, die Vorhersagen zur Entwicklung des Abflussgeschehens nach Regenereignissen unterstützen könnten. Satellitendaten könnten auch die Dokumentation der Ausbreitung von Hochwasser unterstützen (so sind satellitengestützte Informationen zu Wasserständen in Flüssen denkbar). (Rudolf und Simmer ohne Datum) Satellitendaten erlauben Aufschluss über Algenkonzentrationen und weitere Qualitätsdaten. Im Zusammenhang mit Modellrechnungen könnten sich weitere Anwendungsfelder wie z. B. die Optimierung von Messstellenpositionen entwickeln.

Teilweise stößt die Umsetzung der genannten Anwendung von Fernerkundungsdaten (noch) an technische und / oder finanzielle Grenzen. So wäre die zeitlich höher aufgelöste Bereitstellung von Radardaten (≤ 5 Minuten) im Bereich Starkregenereignisse nützlich, jedoch zurzeit noch technisch schwierig und teuer. Starkregenereignisse bleiben ein Präventionsproblem mit nur bedingter Vorwarnbarkeit. Für Maßnahmen nach der HWRM-RL sind sie in Deutschland nicht relevant, weil keine Jährlichkeit für den Abfluss an einem bestimmten Ort bestimmbar ist; so gibt es nach wie vor hinsichtlich Starkregenereignissen nur sog. Gefahrenhinweiskarten (keine HWRM-RL "Gefahrenkarten"). Zur Visualisierung relevanter Informationen stehen verschiedene Produkte und Dienste (hier Karten) zur Verfügung (vgl. u. a. geoportal.bafg.de/hwrmrl/). Ein Zugang zu digitalen Produkten des DWD ist über folgende Zugänge möglich: Wetter- und Klimadaten: <https://opendata.dwd.de/>; Klimadaten (CDC): <ftp://ftp-cdc.dwd.de/pub/CDC> oder als interaktives CDC-Portal: <https://cdc.dwd.de/portal/> (Visualisierung und Statistik in Bearbeitung).

Generell ist für die weitere Entwicklung von 4.0-Anwendungen zu beachten, dass große Datenmengen bzw. Herausforderungen in der Datenverwaltung resultieren können. Dies gilt es durch geeignete Konzepte zur Datenhaltung von Beginn an zu berücksichtigen.

3.1.2 Gewässerschutz (Stoffeinträge durch Punktquellen)

Nutzen für Umwelt und Bürger können durch eine Vermeidung und / oder Verringerung von Stoffeinträgen in Gewässer erreicht werden. Dazu tragen (technische) Maßnahmen ebenso bei wie eine bessere / effizientere Überwachung von Stoffeinträgen. Bessere und billigere Sensoren, Modellierungen und neue Planungswerkzeuge sowie neue Möglichkeiten der Visualisierung erweitern und verbessern die für Entscheidungen zur Verfügung stehenden Informationen. Eine verbesserte Kommunikation sowie Informationsbereitstellung bezieht sich auf innerbetriebliche Prozesse ebenso wie auf die Kommunikation mit Dritten wie Kunden / Bürger, Unternehmen oder Behörden etc. Gleichzeitig wurde bzgl. der Offenlegung von Fachdaten (z. B. Messwerte ausgewählter Parameter zur aktuellen Wasserqualität im Trinkwassernetz und / oder Gewässern) teilweise Zurückhaltung der Unternehmen und Behörden geäußert, da diese Daten bei Laien auch zu Fehlinterpretationen führen könnten.

Vermeidung / Verringerung von Stoffeinträgen in Gewässer

Regen- und Mischwassereinläufe können die Gewässerqualität lokal erheblich beeinträchtigen und beispielsweise der Nutzung urbaner Gewässer als Badegewässer entgegenstehen (Engelke 2017). Durch eine echtzeitgesteuerte Bewirtschaftung des Kanalsystems bzw. eine damit verbundene gekoppelte Bewirtschaftung von Kanalnetz, Kläranlage und Gewässer können erhebliche Reduzierungen von Stoffeinträgen erreicht werden. Gleichzeitig können Investitionskosten für bauliche Anlagen verringert oder vermieden und damit Ziele der EU-WRRL sowie EU-Badegewässerrichtlinie kostengünstiger erreicht werden.

Kanalnetzsteuerungen ermöglichen flexible Anpassungen des urbanen Entwässerungssystems an bzw. Reaktionen auf veränderliche Rahmenbedingungen – zum Beispiel den

demographischen und klimatischen Wandel. Lokale qualitätsabhängige bis hin zu Verbundsteuerungen erlauben – in Abhängigkeit der Gegebenheiten vor Ort - deutliche Reduzierungen der Gesamtemissionen ins Gewässer. Entsprechende Systeme sind grundsätzlich praxisreif und können lokal angepasst sowie durch die Entwicklung neuer Steuerungsstrategien ergänzt und optimiert werden (vgl. z. B. Leitfaden - Qualitätsabhängige Kanalnetzsteuerung-Konzeption und Umsetzung (Fricke et al. 2017). Verbesserte Vorhersagemöglichkeiten von Starkregenereignissen (vgl. Kapitel 3.1.1) können die Wirksamkeit dieser Steuerungs- und Optimierungsansätze weiter steigern. Die Umsetzung in der Praxis konzentriert sich für umfassendere Verbundsteuerungen jedoch auf größere Kommunen.

Die Behandlungsprozesse auf Kläranlagen selbst sind bereits recht weitgehend automatisiert und optimiert. Durch den zentralen Betrieb dezentraler Anlagen und deren Ausstattung mit Fernüberwachungssystemen sind grundsätzlich weitere Reduzierungen von Stoffeinträgen realisierbar sowohl durch verbesserte Steuerung als auch durch Steigerung der Zuverlässigkeit des Anlagenbetriebs. Positive Effekte für den Gewässerschutz sind lokal vor allem für kleinere Kläranlagen relevant und können dazu beitragen, hohen Einleitanforderungen für empfindliche Fließgewässer (in dünner besiedelten Gebieten oder bei dezentralen Behandlungsanlagen im städtischen Bereich) gerecht zu werden. Weiterhin kann die Entwicklung von Sensoren die Leistungsfähigkeit verfahrenstechnischer Konzepte unterstützen – in vielen Forschungs- und Entwicklungsprojekten werden Monitoring, Steuerung und Verfahrenstechnik parallel bzw. integriert entwickelt und so die Leistungsfähigkeit von Behandlungsanlagen gesteigert.

Kontrolle / Überwachung von Stoffeinträgen

Verbesserte Überwachungen von Abwasseranfall und -einleitungen sind auf verschiedene Weise geeignet, Stoffeinträge von behandeltem Abwasser aus Gewerbe- und Industriebetrieben in die Gewässer oder die kommunalen Systeme (Direkt- und Indirekteinleiter) zu reduzieren.

Für die Abwasserbehandlung selbst bzw. den Wassereinsatz in Produktionsprozessen allgemein konnten in der industriellen Wasserwirtschaft bereits erhebliche Effizienzsteigerungen erreicht werden. Ansatzpunkte für erweiterte Maßnahmen einer Industriewasserwirtschaft 4.0 liegen mit dem Positionspapier der DECHEMA vor (DECHEMA 2018) Die Überwachung der Einhaltung qualitativer und quantitativer umwelt- oder satzungsrechtlicher Vorgaben durch die Behörden und / oder Abwasserentsorger vor Ort ist mit erheblichem Aufwand verbunden. Hinzu kommen Berichtspflichten der Direkteinleiter u. a. im Zusammenhang mit der Entrichtung der Abwasserabgabe.

Die Kontrolle und Überwachung von Direkteinleitern könnte anstatt der üblichen Bescheidlösung in Kombination mit behördlichen Kontrollen vor Ort durch eine Messlösung ersetzt werden. Auch wenn Bedenken seitens der Betreiber von Abwasserbehandlungsanlagen bezüglich der kontinuierlichen bzw. regelmäßigen Übermittlung der Ablaufwerte und damit direkte Einblicke in den Betriebsablauf geäußert werden, können sich für beide Seiten (Anlagenbetreiber und Behörde) Vereinfachungen und Kostenersparnisse ergeben (vgl. Gawel et al. 2014).

Nicht den örtlichen Anforderungen entsprechende Einleitungen in die Kanalisation (Indirekteinleiter) können Abwasseranlagen und die biologischen Reinigungsprozesse schädigen bzw. stören. Zur Überwachung von Indirekteinleitern durch den Betreiber der kommunalen Abwasserentsorgung vor Ort können ausgewählte Abwasserkennwerte z. B. mittels Datenloggern automatisch aufgenommen und gespeichert werden. Die Datenerfassung und -verarbeitung akteursbezogener Daten, von Laboranalyseergebnissen, die Zusammenarbeit verschiedener Fachabteilungen des Abwasserentsorgers einschließlich der Außendienstmitarbeiter kann vereinfacht werden sowie historische Daten bedarfsgerecht zur

Verfügung gestellt werden. Dies erfordert entsprechende Datenmanagement- und Verwaltungssysteme sowie Hard- und Software, um den Zugriff der Außendienstmitarbeiter auf relevante Daten zu ermöglichen (Poppe et al. 2017).

Modellierungen und Simulationen können helfen, komplexe raum-zeitliche Analysen des Wasser- und Nährstoffhaushaltes regionaler Gewässereinzugsgebiete durchzuführen. In Kombination mit modellgestützten Projektionsszenarien (Wasser- und Nährstoffhaushalt) können die Festlegung lokaler Einleitgrenzwerte unterstützt oder Kosten-Nutzen-Analysen von Bewirtschaftungsmaßnahmen durchgeführt werden (vgl. Gebel et al. 2017). Eine repräsentative Übersicht über den Umsetzungsstand und die Verbreitung solcher Anwendungen in der Praxis konnte im Rahmen des vorliegenden Projekts nicht erhoben werden. Es war daher auch nicht zu ermitteln, inwiefern die so generierten Daten für andere Anwendungen nutzbar sind. Der Anwendungsbereich dieser Verfahren wird wesentlich durch die Kapazität der auf dem Markt angebotenen Sensoren bestimmt. Diese sind bisher auf gängige Wasserparameter ausgerichtet. Für sehr spezielle Verunreinigungen und Spurenstoffe wurden keine Beispiele identifiziert.

Kommunikation / Informationsbereitstellung

Die Verknüpfung öffentlicher Daten unterschiedlicher Stellen mit Modellierungsergebnissen kann neue Nutzungen generieren. Als Beispiel wurde ein neuer Informationsservice der Berliner Wasserbetriebe (BWB) zur Badegewässerqualität in Berlin genannt: Die niedrige Frequenz von Messung und Analyse der Qualitätsparameter wird nach stärkeren Niederschlagsereignissen durch Modellrechnungen über die Beaufschlagung des Kanalnetzes und zur Wirkung der Regenwasserabschlagsbauwerke ergänzt und überbrückt. Damit stehen aktuelle und zuverlässige Informationen zur Qualität der Oberflächengewässer zur Verfügung. Gegen diese neuen Nutzen bestanden anfangs behördliche Bedenken, weil Bürgerinformationen nicht ausschließlich auf Grundlage von Messungen, sondern wesentlich auf Grundlage von Modellrechnungen herausgegeben werden.

Neue technische Möglichkeiten könnten auch im Bereich der Kommunikation mit den Kunden zum Einsatz kommen. Kundenanfragen können schneller beantwortet und Zählerablesung und Abrechnung vereinfacht und beschleunigt werden. Dies kann mit Kostenvorteilen auf Seiten der Unternehmen sowie der Kunden verbunden sein. Zunächst erfordert der Aufbau entsprechender IT-Systeme zum Kundenmanagement jedoch Investitionen in IKT, Personalaufwand und –weiterbildung etc. Auch für die unternehmensinterne Kommunikation und das Wissensmanagement stehen neue Möglichkeiten zur Verfügung. Durch ihren Einsatz wird der Zugang der Mitarbeiter verschiedener Fachabteilungen zu relevanten Daten und Informationen erleichtert und beschleunigt. Entsprechende Systeme sind letztendlich auch die Basis der Beteiligung an kommunalen Digitalisierungsstrategien (vgl. Kapitel 3.1.4.3).

Vielfältige neue Möglichkeiten eröffnet der Einsatz von IKT zur Information der Bürger, die umfassender für Maßnahmen zur Umweltbildung, Förderung der Akzeptanz von Umweltschutzaktivitäten bzw. der Sensibilisierung der Bevölkerung für die persönlichen Möglichkeiten im Umgang mit wasserwirtschaftlichen Herausforderungen genutzt werden sollten.

Ein direkter Umweltnutzen im Sinne reduzierter Stoffeinträge kann diesen Kommunikationsmaßnahmen kaum zugesprochen werden. Sie können jedoch zur Förderung umweltbewussten Verhaltens beitragen, Transparenzanforderungen unterstützen und schließlich Grundlage für den Aufbau von 4.0-Anwendungen sein.

Zu Stoffeinträgen aus diffusen Quellen / Landwirtschaft siehe Kapitel 3.1.4.1.

3.1.3 Wasserressourcenmanagement, Bereitstellung von Wasser, Wasserwiederverwendung

Der intelligente Einsatz von IKT kann zur Steigerung der Effizienz der Wassernutzung beitragen sowie die Daten- und Informationsgrundlage für ein regionales Wasserressourcenmanagement – hinsichtlich qualitativer und quantitativer Aspekte - verbessern. Sensoren und Fernerkundungsdaten könnten zukünftig dazu beitragen Wasserqualitäten raum-zeitlich höher aufgelöst zur Verfügung zu stellen. Damit können Beiträge zur vorausschauenden Steuerung von Speicher- und Aufbereitungsanlagen (quantitativ), das Ergreifen von Sicherungsmaßnahmen bei Unfällen und die Überwachung von Einleitungen (qualitativ) geleistet werden.

Die Bereitstellung von Wasser ausreichender Qualität und Menge stellt weltweit und in der EU auch weiterhin eine Herausforderung dar. Deutschland gilt grundsätzlich als wasserreiches Land. Dennoch werden in der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel regional begrenzte Engpässe bei der Trinkwasserversorgung und aufwändigere Trinkwasseraufbereitung als wasserwirtschaftliche Herausforderung benannt (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2009). Als Strategie zur Begegnung wird neben der Flussgebietsbewirtschaftung auf eine effizientere Wassernutzung verwiesen: durch bessere Koordination der Nachfrage sowie Alternativen für industrielle und landwirtschaftliche Wassernutzung.

Perspektivisch lassen sich mit Sensoren und Fernerkundungsdaten verbesserte Informationsgrundlagen erzielen und damit Erleichterungen für eine ggf. notwendige Koordinierung der Wassernachfrage. Auch wenn hierfür in Deutschland kein aktueller Bedarf besteht, kann entsprechenden Technologien in wasserarmen Ländern ein hohes Anwendungspotenzial unterstellt werden.

Für die industrielle Wasserwirtschaft 4.0 liegt von DECHEMA ein Positionspapier bzgl. der Übertragung des Konzepts Industrie 4.0, einschließlich der Potenziale und Hemmnisse vor (DECHEMA 2018). Dem Einsatz modellbasierter Optimierungssysteme in der Industrie wird hier das Potenzial zugesprochen bedarfsgerechten Anlagenbetrieb bei flexiblen Rahmenbedingungen zu erlauben und dadurch eine Erhöhung der Wasserversorgungs- und Entsorgungssicherheit zu ermöglichen. Anknüpfungspunkte werden zur öffentlichen Trinkwasserversorgung aufgezeigt, ebenso wie zu relevanten Akteuren des regionalen Wasserressourcenmanagements.

EU-weit wird die Bedeutung der IKT für die Erhöhung der Effizienz des Wassereinsatzes und die Umsetzung von Wasserwiederverwendungskonzepten (Gourbesville 2016) betont. Hierzu sind auch Modelle und Konzepte für eine stärkere Kopplung des regionalen Wasserressourcenmanagements mit der kommunalen Infrastruktur in Entwicklung, jedoch noch nicht in der Praxis verbreitet und für Deutschland weniger beachtet. Für das regionale Wasserressourcenmanagement werden Modelle in (wissenschaftlichen) Fachzeitschriften beschrieben (vgl. Choi et al. 2016), die jedoch noch nicht den Entwicklungsgrad der Modelle im Bereich der kommunalen Infrastruktur (u. a. Automatisierung der Abwasserbehandlung auf Kläranlagen, Kanalnetzsteuerung etc.) haben (vgl. Gourbesville 2016; Jochheim 2018; Ler 2016). Optimierungen und verbrauchssteuernde Maßnahmen sind vor allem in der industriellen Wasserwirtschaft implementiert sowie in Ansätzen in der kommunalen bzw. öffentlichen Wasserversorgung. Die Thematik effiziente Bewässerung in der Landwirtschaft ist demgegenüber national von untergeordneter Bedeutung. Welcher Beitrag zur Realisierung von Wassereinsparpotenzialen allein durch den Einsatz von IKT gegenüber allgemein effizienteren Bewässerungssystemen erreichbar wäre, ist aus den geprüften Quellen nicht deutlich geworden.

Bezüglich der Integration privater Haushalte in ganzheitliche regionale und / oder kommunale bzw. städtische Bewirtschaftungskonzepte werden Smart Meter als integraler Baustein

thematisiert. Standardisierungsprozesse hierzu laufen bereits (vgl. Kapitel 3.2). Diese technisch praxistauglichen Ansätze fügen sich in zahlreiche, laufende Projekte zu Smart Grid in Kombination mit Smart Meter auf EU-Ebene ein¹⁴. Es werden erhebliche Beiträge zur Reduzierung von Wasserverlusten, bedarfsgerechterer Bereitstellung von Wasser einschließlich Koordinierung verschiedener Nutzer sowie der frühzeitigeren Detektion von Wasserrohrbrüchen und damit auch Vermeidung von Schäden an Eigentum erwartet.

Schnittstellen ergeben sich zum regionalen Wasserressourcenmanagement, städtischer Infrastruktur / Smart City (vgl. Kapitel 3.1.4.3) sowie Planung, Bau und Bewirtschaftung von Gebäuden und Grünflächen. Die Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden beinhaltet u. a. die Bilanzierung des Wasserverbrauchs. Wassereffiziente Installationen sind seit Jahren fester Bestandteil. Methodisch / planerisch ergeben sich Schnittstellen beim Einsatz von BIM (s. u. Kapitel 3.1.5 und 3.2), die jedoch noch nicht verknüpft sind (Schnittstelle Wasserwirtschaft / Bauwirtschaft).

3.1.4 Schnittstellen, Sektorenkopplung

3.1.4.1 Wasser und Landwirtschaft

Verstärkte Umwelt- und Bürgernutzen durch Digitalisierungsprozesse sind auch an der Schnittstelle Wasser und Landwirtschaft zu erwarten. Konkret dreht es sich hier um a) die Vermeidung / Verringerung von Stoffeinträgen in Gewässer, b) eine bessere/effizientere Kontrolle von Stoffeinträgen, c) die vereinfachte Implementierung von gewässerschonenden (und anderen) Agrarumweltmaßnahmen wie Gewässerrandstreifen, und d) eine allgemein verbesserte Transparenz von landwirtschaftlichen Nutzungstechniken.

Das Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag beschreibt in seinem Gutachten zur Digitalisierung in der Landwirtschaft¹⁵ die zu erwartenden Entwicklungen wie folgt: „Die Digitalisierung führt zu einer Umgestaltung ganzer Lebens- und Wirtschaftsbereiche. Auch die Landwirtschaft, die sich in Deutschland durch ein hohes Technisierungs- und Automatisierungsniveau auszeichnet, ist davon nicht ausgenommen. Etliche innovative Agrartechnologien (Roboter, Drohnen, automatisierte Fahrzeuge etc.), bei denen digitale Datenverarbeitung ein entscheidendes Element ist, sind bereits praxisreif oder in fortgeschrittener Entwicklung. Digitale Technologien dieser Art erzeugen potenziell riesige Datenmengen (Big Data), die sich wiederum mit externen Datenquellen verbinden lassen (Wetterdaten, Geodaten etc.). Mithilfe geeigneter Analysetools (z. B. Apps, webbasierte Managementsysteme) lassen sich daraus Rückschlüsse für die Optimierung einzelner Produktionsschritte ziehen, ein Vorgang, der als „Smart Farming“ bzw. „Precision Agriculture“ bezeichnet wird. Die Hoffnung ist, digitale Anwendungen auf Betriebsebene zu übergreifenden Produktionssystemen zu vernetzen („Hof 4.0“), sodass sich landwirtschaftliche Produktionsprozesse flexibel steuern und insgesamt transparenter, ressourceneffizienter und nachhaltiger gestalten lassen. Darüber hinaus werden Möglichkeiten diskutiert, digitale Technologien in den der Landwirtschaft vor- und nachgelagerten Stufen entlang der gesamten Wertschöpfungskette (z. B. Landmaschinenhersteller, Lebensmittelindustrie, Einzelhandel) miteinander zu vernetzen („Wertschöpfungskette 4.0“ bzw. „Landwirtschaft 4.0“). Strukturen, Abläufe und Verantwortlichkeiten in der Landwirtschaft könnten sich damit grundlegend ändern.“ (Büro für Technikfolgenabschätzung beim deutschen Bundestag 2018).

¹⁴ Beispiele sind die mit europäischen Fördergeldern finanzierten Projekte SWSS, WADI, smart.met, sowie sw4eu, zu finden bei ICT4WATER: <http://www.ict4water.eu/index.php/projects-partners/>.

¹⁵ Digitalisierung in der Landwirtschaft. <http://www.tab-beim-bundestag.de/de/gutachter/g30701.html>.

Da das Forschungsprojekt die Wasserwirtschaft und somit den Gewässerschutz im Fokus hat, zielen die Ausführungen dieses Kapitels vor allem auf die Generierung von Umweltnutzen in Bezug auf Gewässer. Obwohl nicht explizit erwähnt, haben Maßnahmen, die dem Gewässerschutz dienen, immer auch positive Auswirkungen auf andere Umweltkompartimente wie Boden, Luft / Klima und Biodiversität.

Vermeidung / Verringerung von Stoffeinträgen in Gewässer

Konventionelle landwirtschaftliche Betriebe sind für hohe Einträge umweltschädigender Stoffe verantwortlich, vor allem von Nährstoffen (Stickstoff) und Pestiziden. Digitale Technologien haben das Potenzial, solche Stoffeinträge durch eine präzisere und im Ergebnis effizientere und effektivere Ausbringung zu verringern, und so auch einen Umweltnutzen zu schaffen.

"Intelligente" Landmaschinen können z. B. durch sensorgestützte Ausbringung vorgeschriebene Abstände automatisch einhalten und haben über modernste Sensortechnik die Möglichkeit, hochkomplexe und detaillierte Daten / Informationen zum Boden (Bodenfeuchte, Frost etc.), zum Wetter (Wind, Luftfeuchte etc.), zum Zustand der Pflanzen etc. zu erheben (über GPS verortet). Zu solchen digitalen Technologien gehören z. B. vernetzte Datenmanagementsysteme, die u. a. Wetter- und Bodendaten zusammenführen und so helfen, Boden- und Ernteverfahren zu optimieren. Die Nutzung von Wetter-Apps und anderen Cloudlösungen für die Düngung ermöglichen beispielsweise eine bessere Pflanzenversorgung und geringeren Düngemiteleinsatz.

Verbesserte und dezentral verfügbare Witterungsmodellierung und Bewässerungsbedarfsprognosen sowie Starkregenprognosen können ebenfalls hilfreiche Instrumente zur Verringerung von Stoffeinträgen - über die Verringerung von Erosion - darstellen.

Dabei erscheint es notwendig, Einzeltechniken in den Landmaschinen und vernetzte Datenmanagementsysteme zu digitalen Gesamtlösungen zusammenführen (z. B. Projekt MapApps)¹⁶. Die Verbreitung von solchen „High-Tech“-Maschinen in der Landwirtschaft ist zurzeit noch eher gering, aufgrund von hohen Anschaffungskosten und unklaren Amortisationszeiträumen.

Bessere / effizientere Kontrolle von Stoffeinträgen

Ein höheres Potenzial für verstärkten Umwelt- und Bürgernutzen durch Digitalisierungsprozesse an der Schnittstelle Wasser und Landwirtschaft versprechen Prozesse, die die Kontrolle von Stoffeinträgen durch die zuständigen Behörden besser und effizienter gestalten könnten. Die meisten landwirtschaftlichen Kontrollbehörden können heute u. a. aus Gründen der Ressourcenausstattung (Personal) ihre Aufgaben nicht im notwendigen Maße ausüben.

Der Umweltnutzen solcher Verbesserungen liegt in der geringeren Umweltschädigung, die durch bessere und effizientere Aufsicht zu erwarten ist sowie ggf. in einer besseren Identifizierung von Wirkungspfaden im Falle stofflicher Verunreinigungen von Gewässern und einem besseren Monitoring des Abbaus von bestimmungsgemäß eingebrachten Pflanzenschutz- und Behandlungsmittel (PSBM). Die Verbesserung des Bürgernutzens liegt in einer allgemein effizienteren Verwaltung, die die Aufgaben in ihrem Verantwortungsbereich besser umsetzen kann. Ein weiterer Nutzen von Digitalisierungsprozessen und vermehrter Datengewinnung, der sich auf die Landwirte selber bezieht, und nicht direkt an der Schnittstelle zur Wasserwirtschaft

¹⁶ MapApps – Vernetzte Geoinformationen zur mobilen Nutzung in der Landwirtschaft (FH Bingen): Schaffung der technologischen Grundlagen zur mobilen Geodatennutzung sowie für Precision Farming im überbetrieblichen Einsatz, Aufbau von Strukturen zur dezentralen und ausfallsicheren Datenhaltung, Einführung überbetrieblicher und vernetzter Planungs- und Organisationswerkzeuge für eine Energie- und CO₂-effiziente Logistik und Flächenbewirtschaftung.

angesiedelt ist, ist ein potenzieller Bürokratieabbau bei der EU-Berichterstattung (z. B. GAP/Cross-Compliance).

In einem Interview wurde dezidiert die Forderung erhoben, standardmäßig genaue Daten zum Einsatz von Dünger, Pestiziden und Behandlungsmitteln zeit- und flächenscharf zu erhalten. Dies sei auch bei anderen erlaubten Emissionen und bestimmungsgemäßen Einträgen in die Umwelt üblich. Damit wären (wie etwa in der Medizin) Querschnittsbeobachtungen zu Auswirkungen über Flächenvergleiche und ein verbesserter Input in Modellierungen möglich (vgl. Exkurs 1: Stoffstrommodelle (Beispiel MONERIS)).

Generell gilt: Durch Digitalisierungsprozesse zur Effizienzgewinnung in der Landwirtschaft werden Daten erzeugt, die auch für verschiedene für das Wassermanagement / den Gewässerschutz relevante Informationen genutzt werden könnten. Die Nutzung dieser von landwirtschaftlichen Akteuren gesammelten Daten durch Behörden, z. B. für automatisches Monitoring der Ausbringungsaktivitäten der Betriebe oder aber auch für das Monitoring von Stoffausbreitung von PSBM und Abbauraten, ist von Landwirtschaftsseite derzeit nicht gewünscht. Eine Weitergabe an Dritte, beispielsweise um Transparenz für Bürger zu schaffen, sollte laut Landwirtschaft nur kontrolliert für „unkritische“, ausgewählte Datensätze stattfinden.

Exkurs 1: Stoffstrommodelle (Beispiel MONERIS)

MONERIS ("Modelling of Nutrient Emissions in River Systems") als Beispiel für ein typisches Stoffstrommodell ist ein Nährstoffeintragsmodell zur Durchführung von Studien zur Wasserqualität in Flusseinzugsgebieten. Es wurde am Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) entwickelt, zur Identifizierung der Quellen und Eintragspfade von Nährstoffen, der Analyse des Transports und der Retention von Nährstoffen in Flusssystemen und zur Bereitstellung eines Untersuchungsrahmens für Managementalternativen (Szenarien). Das Modell berechnet Nährstoffeinträge von Punkt- und diffusen Quellen in Oberflächengewässer. Dafür integriert es punktförmige (z. B. Kläranlagendaten), flächenhafte (z. B. Bodendaten) und administrative (z. B. statistische Daten) Informationen mit Geographischen Informationssystemen (GIS).

Stoffstrom- bzw. Eintragsmodelle wie MONERIS liefern keine rechtsverbindlichen Ergebnisse, also Ergebnisse, die z. B. Vor-Ort-Kontrollen ersetzen könnten. Eine solche Funktion ist auch durch 4.0-Prozesse aus heutiger Perspektive nicht absehbar.

Allerdings können präzise und flächenscharfe Analysen / Modellierungsergebnisse die Planung von Kontrollen erheblich erleichtern, indem Risikoanalysen verbessert werden, also eher Betriebe kontrolliert werden, von deren Flächen große Mengen an Nährstoffen / Schadstoffen in Grund- und Oberflächengewässer gelangen.

Potenziele für qualitative Verbesserungen von Stoffstrommodellen liegen vor allem im Dateninput - mehr oder bessere Datenquellen und -punkte, z. B. durch die Nutzung von neuen Datenquellen wie COPERNICUS. Als besonders relevant sind hier Landnutzungsdaten anzusehen, also Daten, die größtenteils in InVeKos verfügbar sind und schwer bzw. zurzeit nicht zu bekommen sind. Weniger relevant, aber nichtsdestotrotz sehr hilfreich sind Daten z. B. zur Lage von Drainagerohren in landwirtschaftlichen, entwässerten Flächen - solche Informationen stehen jedoch zumeist nicht digital, sondern lediglich analog zur Verfügung.

Das Potenzial von qualitativ verbesserten Stoffstrommodellen zur Erhöhung der Effizienz von Kontrollen zu Stoffeinträgen ist vorhanden, und kann teilweise auch realisiert werden (Erschließung neuer Datenquellen, höhere Rechenleistung etc.) - hier fehlt es vor allem an der

Finanzierung / den Ressourcen. Die Nutzung / Integration von InVeKos-Daten zur Landnutzung würde Stoffstrommodelle erheblich verbessern.

Vereinfachte Implementierung von gewässerschonenden (und anderen) Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen (wie Gewässerrandstreifen)

Gewässer- und Naturschutzmaßnahmen wie Gewässerrandstreifen in der Landwirtschaft umzusetzen erfordert einen Ausgleich der Bewirtschaftungskosten, der normalerweise durch die EU Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen (AUKM) realisiert wird. Der Umgang mit solchen EU-Mitteln bedarf einer strengen Kontrolle und führt zu hohen Anforderungen an durchführende Behörden (Kontrollpflichten) und Landwirte (Dokumentationspflichten).

Durch Digitalisierungsprozesse können sowohl Dokumentations- als auch Berichtspflichten erleichtert werden, z. B. durch Live-Dokumentationen von durchgeführten Maßnahmen per App auf mobilen Endgeräten (vgl. Steckbrief 5: NatApp), was zu einer umfangreicheren Nutzung von AUKM durch Landwirte führen und einen verstärkten Umweltnutzen generieren könnte.

Aktuelle Initiativen stehen am Anfang, und nur durch eine stärkere Nutzung können breitenwirksame Effekte erzielt werden. Notwendig sind finanzielle Förderung und die Förderung von Öffentlichkeit / Sichtbarkeit.

Steckbrief 5: NatAPP

Handlungsfeld	Wasser und Landwirtschaft
Kurzbeschreibung/ Abstract	Die Smartphone / Tablet-Applikation „NatApp“ ist ein Tool, das eine rechtssichere, verordnungskonforme Etablierung, Dokumentation und Kontrolle von EU Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen (AUKM) ermöglicht. Der bislang entwickelte Prototyp basiert auf bereits bestehenden und in der Landwirtschaft angewendeten Werkzeugen und Technologien, wie den digitalen Schlagkarteien, der Bewirtschaftung mit Agrar-GPS, Server- und Onlinetechnologien, mobilem Internet (Smartphone / Tablet) sowie der allen Smartphones / Tablets integrierten Kamera. Die Software unterstützt die Planung und korrekte Durchführung der vertraglich vereinbarten Flächenbewirtschaftung / AUKM und dokumentiert die Bewirtschaftung unmittelbar nach Abschluss auf einem zentralen Server. Dort haben die Behörden die Möglichkeit, die korrekte Durchführung im Rahmen der Stichprobenuntersuchungen zu kontrollieren. Sanktions- und Anlastungsrisiken sowie der Behördenaufwand sind minimiert; AUKM sind leichter umsetzbar.
Zielgruppe/Anwender	• Landwirte • Kontrollbehörden (Landwirtschaftsämter)
Anlass/ Problembeschreibung	Naturschutzmaßnahmen mit der Landwirtschaft umzusetzen erfordert einen Ausgleich der Bewirtschaftungskosten, normalerweise durch AUKM. Der Umgang mit solchen EU-Mitteln bedarf einer strengen Kontrolle und führt zu hohen Anforderungen an durchführende Behörden und Landwirte.
Umwelt- bzw. Bürgernutzen/ Mehrwert	vereinfachte Nutzung von Fördermitteln und dadurch breitere Nutzung von AUKM durch Landwirte
Ansprechpartner/ Beteiligte (evtl. Kontakt- informationen)	ZALF (Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e. V. HELM-Software
Risiken	keine (vertrauliche Informationen nicht betroffen, da der Landwirt entscheidet, welche Daten freigegeben werden, bzw. welche Maßnahmen auf welchen Flächen dokumentiert werden)

Anwendungsbeispiel(e)	Flyer und App-Oberfläche: http://www.zalf.de/de/aktuelles/DokumenteMeldungen/LSE/LSE_AKTUELL_2016_AUG_Flyer_NatApp.pdf
Entwicklungsstand/ Zugang	Prototyp (Stand Sommer 2018)
Projektlaufzeit und Kosten	unklar (abhängig von Partnern und Finanzierung)
Zukünftige Weiter- entwicklung und Handlungs- empfehlungen	Fertigstellung und Verbreitung
Weitere Informationen	-

Verbesserte Transparenz und Stärkung des Verursacherprinzips

Die durch Digitalisierungsprozesse in der Landwirtschaft erzeugten Daten können neben den oben erwähnten Effekten auch allgemein die Transparenz von landwirtschaftlichen Maßnahmen / Techniken gegenüber den BürgerInnen und der Öffentlichkeit stärken. Dies würde gleichzeitig auch eine Stärkung des Verursacherprinzips bedeuten.

Eine Weitergabe an Dritte, beispielsweise um Transparenz für Bürger zu schaffen, ist jedoch von Seiten der Landwirtschaft nicht gewünscht, und sollte laut Landwirtschaft nur kontrolliert für „unkritische“, ausgewählte Datensätze stattfinden.

3.1.4.2 Wasser und Energie

Während an der Sektorenkopplung von Energieversorgung und Wasserwirtschaft noch weiter geforscht wird, sind in der Wasserwirtschaft durch Poolbildung bereits einzelne Anbieter von Netzregelleistung auf den Markt gekommen. Hier besteht ein relativ hohes Potenzial für Einflüsse auf die aquatische Umwelt, sei es durch Steuerung von Talsperren und Staustufenkaskaden, durch zeitlich veränderliche Biogasproduktion oder durch Pumpensteuerung in Hochbehältern oder Kläranlagen. An die Einbindung wasserwirtschaftlicher Anlagen in den Energiemarkt wird im Wassersektor die Hoffnung geknüpft, künftig vermehrt Deckungsbeiträge über die Vermarktung von Regelenergie erwirtschaften zu können. Dieses Potenzial wird auf Seiten der Energiewirtschaft zurückhaltender beurteilt, da im Verlauf der Energiewende weitere Anbieter dieser Dienstleistung auf den Markt kommen werden, wie z. B. Elektrofahrzeuge und Stromspeicheraggregate bei Eigenerzeugern. Bei einem deutlich erweiterten Angebot für Regelenergie werden deutlich geringere Preise als heute erwartet.

Umweltnutzen im Sinne der Steigerung von Energieeffizienzpotenzialen wurden u. a. im Rahmen der BMBF-Fördermaßnahme ERWAS untersucht bzw. pilothaft umgesetzt. Trotz bereits realisierter Steigerungen der Energieeffizienz beispielsweise durch verbesserte Steuerung von Pumpaggregaten und Optimierung von Behandlungsprozessen auf Kläranlagen in Verbindung mit dem Einsatz von Messsensoren, Software und Steuereinrichtungen, werden weitere Energieeffizienzsteigerungen durch verfahrenstechnische Neuerungen wie die Kohlenstoffextraktion diskutiert. Nutzen für die Umwelt wird in diesem Bereich vordergründig durch eine gesteigerte Energieeffizienz des Betriebs wasserwirtschaftlicher Anlagen und die Förderung des Anteils erneuerbarer Energien (u. a. Eigenstromversorgung der Kläranlagen, Wasserkraft, Biogasnutzung) generiert. Ökologische Vorteile (bzgl. CO₂-Emissionen) verringern sich, wenn der Strombezug der Kläranlage zunehmend auf erneuerbaren Energien beruht. Die

Automatisierung und Vernetzung des Anlagenbestandes in Verbindung mit verbesserten Datengrundlagen für die kurz-, mittel- und langfristige Vorhersage der Entwicklung relevanter Umgebungsparameter wie Temperatur, Niederschläge etc. trägt zur Hebung dieser Effizienzpotenziale und Optimierung des Anlagenbetriebs bei. Weiterhin sind im Bereich des regionalen Stoffstrommanagements und der Logistik (u. a. Biomasse, Klärschlammentsorgung) Effizienzgewinne denkbar.

3.1.4.3 Wasser in der Smart City

Integrierte Stadtentwicklungskonzepte basieren auf dem Austausch von Daten und Informationen zwischen unterschiedlichen Akteuren, Sektoren und Fachressorts. Integrierte Planungen können durch einen erleichterten Zugang zu planungsrelevanten Daten und den Einsatz von Werkzeugen wie BIM oder ressortübergreifende Modellierungen und Simulationen unterstützt werden. Aus Perspektive der Wasserwirtschaft sind insbesondere die Möglichkeiten der integrierten Bewirtschaftung städtischer Grünflächen (Grün et al. 2016) und der städtischen Wasserinfrastruktur von Interesse. Ebenso können Informationen zu städtebaulichen und wirtschaftlichen Entwicklungen in kleinräumiger Auflösung zur Optimierung der Bewirtschaftung und Beherrschung von Starkregenereignissen, verbessertem Stadtklima und zur Grundwasserneubildung etc. beitragen. Erweiterte Möglichkeiten stehen außerdem zur Information und Beteiligung der Bürger zur Verfügung (Apps, soziale Medien).

Die genannten Erleichterungen und Verbesserungen durch die Digitalisierung relevanter Datengrundlagen, die Vernetzung von Daten oder die Visualisierung bis hin zum Aufbau neuer Prozesse und Dienstleistungen werden bisher nur vereinzelt realisiert. Erste Erfahrungen in Pilotprojekten liegen vor (z. B. Köln, Hamburg), (Schieferdecker et al. 2018). Weitere Pilotvorhaben beschäftigen sich aktuell mit dem Aufbau Urbaner Datenräume (vgl. Leipzig¹⁷). Aber auch hier bedarf es zunächst der Digitalisierung der Planungsgegenstände: Daten der verschiedenen Fachverwaltungen sind noch nicht digital sondern proprietär und nicht schnittstellenfähig verfügbar.

Denkbar sind ferner mit einer umfassenderen Verfügbarkeit und Zugänglichkeit von / zu oben beschriebenen Daten die Öffnung für alternative wasserbezogene Bewirtschaftungsansätze (z. B. dezentrale Regenwasserbewirtschaftung und -nutzung, kreislaforientierte Ansätze¹⁸).

Auch im Zusammenhang mit der Entwicklung von Smart Buildings und EU-weiten Bestrebungen zur Steigerung der Effizienz des Wassereinsatzes sowie der Förderung von Wasserwiederverwendungskonzepten wird der Einsatz von intelligenten Wasseruhren (Smart Meter) diskutiert (s. o. Kapitel 3.1.3). Europäische Kommission (2018) verweist auf den Zusammenhang mit Zielen der Rahmenstrategie für eine krisenfeste Energieunion mit einer zukunftsorientierten Klimaschutzstrategie durch Förderung energieeffizienter, smarter IKT-Technologie im Wassersektor. Eine kritische Würdigung des Kosten-Nutzen-Verhältnisses von Smart Metern im Bereich Wasser in Deutschland steht dabei noch aus. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass dieser Baustein wichtig für weiterführende 4.0-Anwendungen ist und sich darüber die Vorteilhaftigkeit ergibt. Wie bei anderen Big Data- Anwendungen auch werden der Umgang mit Kundendaten, mögliche Rückschlüsse auf natürliche Personen / Bürger und die Möglichkeiten der Weiterverwendung entsprechender Daten kritisch diskutiert. Ebenso angesprochen werden die potenziellen Möglichkeiten der Zwischenschaltung Dritter: so seien die Daten aus der Ver- und Entsorgung (Wasserwirtschaft) interessant für die Allgemeinheit (Daseinsvorsorge und Forschung), aber auch für private Anbieter, die mit den Daten ihr Geld

¹⁷ Im Rahmen des Triangulum Projektes: <http://www.triangulum-project.eu/>.

¹⁸ <https://www.hamburgwatercycle.de>.

verdienen würden, oder als intermediäre Dienstleister mit größerer Verhandlungsmacht alle Versorgungsdienstleistungen zum jeweils günstigsten Tarif aus einer Hand anbieten könnten.

Eine Quantifizierung des Potenzials für Umwelt und Bürger mit direktem Bezug zur Digitalisierung gestaltet sich vor diesem Hintergrund schwierig. Es sind theoretisch Kosteneinsparpotenziale in der gemeinsamen Nutzung und Schaffung von Planungsgrundlagen und –instrumenten vorhanden. Dem stehen notwendige Investitionen, Personalaufwand und nach wie vor notwendige Abstimmungsprozesse zwischen den verschiedenen Akteuren gegenüber. Inwiefern langfristig Kostensenkungen realisierbar sind oder ob vordergründig Qualitätssteigerungen der Leistungserbringung generiert werden, lässt sich derzeit nicht abschließend beurteilen. 4.0-Anwendungen gewinnen jedoch vor dem Hintergrund der allgemeinen Entwicklungen auch im Bereich der Wasserwirtschaft zunehmend an Bedeutung. So bedarf die Anbindung an die Entwicklung und Umsetzung von Digitalisierungsstrategien der Städte und der Aufbau sog. Urbaner Datenräume (vgl. Schieferdecker et al. 2018). auch in der Wasserwirtschaft weitergehender Bemühungen der Digitalisierung, Automatisierung und Prozessoptimierung sowie des Kundenmanagements. Dies gilt sowohl für den technischen Bereich und die Bewirtschaftung des Anlagenbestandes als auch die Kommunikation mit den Kunden, der Mitarbeiter untereinander und dem Wissensmanagement in der jeweiligen Institution.

Digitalisierung führt vielfach zu einer Beschleunigung – gefordert in der Berichterstattung, der Fähigkeit Auskünfte zu erteilen etc. Diesen Anforderungen können Unternehmen und Behörden nur durch entsprechend digitalisiert vorliegende Informationen und einen automatisierten Zugriff hierauf gerecht werden. Ein direkter Umweltnutzen lässt sich hieraus nicht ableiten. Entsprechende Systeme sind jedoch Bestandteil und Voraussetzung von 4.0-Anwendungen, bspw. des zentralisierten Angebots der gemeinsamen An-, Ab- und Ummeldung eines Gas-, Wasser-, Abwasser- und Stromanschlusses als Angebot für die Bürger in Smart Cities.

Wasserwirtschaftliche Belange sollten dabei noch expliziter und zielgerichteter in Digitalisierungsstrategien von Kommunen adressiert werden. Hier sind auch die wasserwirtschaftlichen Akteure aufgefordert ihre eigenen Belange stärker zu vertreten und zu kommunizieren.

3.1.4.4 Wasser und Naturschutz

Verstärkte Umwelt- und Bürgernutzen durch Digitalisierungsprozesse können auch an der Schnittstelle Wasser und Naturschutz auftreten. Konkret dreht es sich hier um a) eine bessere Koordinierung von wasserbaulichen Aktivitäten mit den Belangen des Naturschutzes, und b) weitere Nutzen durch verbesserte Kartierungs- und Messmethoden in gewässerbegleitenden oder -abhängigen Ökosystemen / Biotopen.

Koordinierung von wasserbaulichen Aktivitäten mit den Belangen des Naturschutzes

Der Unterhalt und die Pflege von wasserbaulichen Anlagen der Landwirtschaft, also von Kanälen, Vorflutern, Schöpfwerken und ähnlicher Infrastruktur, unterliegt in Deutschland zumeist einem der zahlreichen Wasser- und Bodenverbände. Wasser- und Bodenverbände sind Organisationen, die im öffentlichen Interesse und zum Nutzen ihrer Mitglieder Aufgaben der Wasser- und Bodenwirtschaft wahrnehmen. In Deutschland gibt es mehrere tausend Wasser- und Bodenverbände. Ihre Rechtsgrundlage haben sie im Gesetz über Wasser- und Bodenverbände (WVG) des Bundes. Darin sind unter "zulässigen Aufgaben" auch die "Herrichtung, Erhaltung und Pflege von Flächen, Anlagen und Gewässern zum Schutz des Naturhaushalts, des Bodens und für die Landschaftspflege", sowie die "Förderung der

Zusammenarbeit zwischen Landwirtschaft und Wasserwirtschaft und Fortentwicklung von Gewässer-, Boden- und Naturschutz" geführt.

Die Belange des Naturschutzes sind also zulässige Aufgaben von Wasser- und Bodenverbänden, finden in der Praxis aber wenig Beachtung, oft aus Mangel an Informationen über naturschutzfachlich wertvolle Arten und / oder Biotope, die sich im Verbandsgebiet befinden.

Solche Informationen sind häufig auf Ebene der Unteren Naturschutzbehörde oder des Landes angesiedelt, und liegen als Ergebnisse von Biotopkartierungen oder als Biotopkataster vor, allerdings nicht in allen Fällen als digitale Daten. Im Falle von Pflege- und Unterhaltungsmaßnahmen kann es aufgrund eines solchen Informationsmangels zu Schädigungen an schützenswerten Biotopen / Arten kommen.

Durch Digitalisierungsprozesse können hier Verbesserungen erreicht werden, indem zum einen die Daten der Wasser- und Bodenverbände mit denen der Biotopkataster integriert werden, und indem diese zum anderen über Apps / mobile Endgeräte denjenigen, die die Pflege- und Unterhaltungsmaßnahmen letztendlich durchführen, während der Arbeit zur Verfügung gestellt werden. Auch Warnhinweise, ausgelöst durch Positionsbestimmung per GPS, sind denkbar.

Durch verhältnismäßig geringen Aufwand und ohne dass neue Technologien entwickelt werden müssen, können durch Digitalisierungsprozesse reale Verbesserungen an der Schnittstelle Wasser und Naturschutz erreicht werden. Ähnliche Anwendungen, ermöglicht durch die Integration von Informationen aus Biotopkatastern mit anderen Datensätzen, sind auch in anderen Bereichen denkbar (z. B. Bau und Planung).

Weitere Nutzen an der Schnittstelle Wasser und Naturschutz

Weitere Umwelt- und Bürgernutzen an der Schnittstelle Wasser und Naturschutz sind durch verbesserte Kartierungs- und Messmethoden in gewässerbegleitenden oder -abhängigen Ökosystemen / Biotopen denkbar. Im Rahmen von Flora-Fauna-Habitat- und Vogelschutzrichtlinie der EU sind Monitorings bzw. Kartierungen vorgeschrieben, u. a. in Biotoptypen, die in enger funktionaler Verbindung zur Wasserwirtschaft stehen. Stellvertretend seien hier Feuchtgrünland, Feuchtgebiete und Auen genannt.

Der Erhaltungszustand solcher Habitats und Lebensräume wird u. a. über Indikatorarten bestimmt, die auch die Feuchtigkeit des Bodens anzeigen, was wiederum Auswirkungen auf die Bewirtschaftung der Wasserressourcen durch die Wasserwirtschaft haben kann. Die Verbesserung von Kartierungsmethoden, entweder über Sensoren, Drohnen oder mobile integrierte Applikationen (wie die GIS-basierte Software GSKmobil der Firma ConTerra), kann hier vor allem den Arbeitsaufwand reduzieren.

Ein kleiner Umwelt- und Bürgernutzen ist durch die verbesserte Effizienz von Kartierungen und Monitorings zu erwarten.

3.1.5 Nachhaltigkeit der Bereitstellung wasserwirtschaftlicher Dienstleistungen

Wasserwirtschaft folgt einem multifunktionalen und multiakteursbezogenen Zielsystem. Siedlungshygiene, Gewässerschutz, Versorgung verschiedener Nutzergruppen mit Wasser ausreichender Qualität und Menge etc. gilt es flächendeckend zu gewährleisten. Die Bereitstellung dieser Dienstleistungen der Daseinsvorsorge bedarf der Koordination und Partizipation relevanter Akteure und sollte sich durch a) Anpassungsfähigkeit an veränderte Rahmenbedingungen, b) Ressourcen- und Kosteneffizienz sowie c) Sicherheit und Zuverlässigkeit auszeichnen.

Die Steigerung der Effizienz von Prozessen allein wird dabei den umfassenden Anforderungen der Wasserwirtschaft nicht gerecht. Effizienzsteigerung und / oder Flexibilisierung der Bereitstellung wasserwirtschaftlicher Dienstleistungen stehen Zuverlässigkeit des Anlagenbetriebs, Resilienz etc. gegenüber.

Anpassungsfähigkeit an veränderte Rahmenbedingungen (Klimawandel und demographischer bzw. struktureller Wandel)

Im Zusammenhang mit dem Klimawandel wird von zunehmender Hochwassergefahr, längeren sommerlichen Dürreperioden, vermehrten Schadstoffeinträgen ins Grundwasser durch Starkregen oder Hochwasser sowie regional begrenzten Engpässen bei der Trinkwasserversorgung und aufwändigere Trinkwasseraufbereitung ausgegangen. Zur Begegnung der Herausforderungen werden die ganzheitliche Bewirtschaftung von Flussgebieten (über Monitoringprogramme hinaus), Anpassungsmaßnahmen an wasserwirtschaftlicher Infrastruktur, Steigerung der Effizienz der Wassernutzung, Vorsorgemaßnahmen gegen Hochwasser, Einrichtungen von Schutzgebieten im Bereich Meeresschutz sowie die Bedeutung der Kooperation und transdisziplinären Zusammenarbeit im Bereich wassersensible Stadtentwicklung oder konkurrierende Wassernutzungen benannt. Überlappungen ergeben sich auch zu Handlungsbereichen anderer Sektoren (u. a. Bausektor: Anlagenbau für die Wasserwirtschaft (Asset Management), Boden: Wasserrückhalt, Landwirtschaft: Wasserrückhalt und Bewässerungsinfrastruktur, Energiewirtschaft: Notwasseranschlüsse zur Sicherstellung der Kühlung bei niedrigem Wasserstand, Verkehr: Hochwasser auf Straße und Schiene, Wasserstände für Binnenschifffahrt) (vgl. Schieferdecker et al. 2018).

Digitalisierung erweitert vor diesem Hintergrund die Möglichkeiten auf sich verändernde Rahmenbedingungen zu reagieren bzw. zunächst deren Ausprägung und Auswirkungen transparent zu machen. Beispielhaft seien komplexe raum-zeitliche Analysen des Wasser- und Nährstoffhaushaltes regionaler Gewässereinzugsgebiete durch modellgestützt gekoppelte Projektionsszenarien (Wasser- und Nährstoffhaushalt) (Modellierungen) genannt (vgl. Kapitel 3.1.2). Modellierungen (Szenarien) können helfen die wirksamsten Maßnahmen auszuwählen bzw. Priorisierungen von Maßnahmen vorzunehmen. Kanalnetzsteuerungen können lokal zu kostensparenden Maßnahmen im Umgang mit Starkregenereignissen durch Ergänzung baulicher Maßnahmen um bedarfsgerechte Steuerung beitragen. Nutzen für Umwelt und Bürger resultieren außerdem durch mehr Zeit zur Reaktion auf Extremereignisse wie Hochwasser, da entscheidungsrelevante Situationen eher erkannt werden können. Die Vernetzung und der Austausch von Informationen und zwischen Akteuren kann unterstützt werden. Neue Werkzeuge wie digitaler Zwilling etc. unterstützen die Zuverlässigkeit des Anlagenbetriebs. Die Koordinierung von Planung und Bauausführung städtischer Infrastruktur insgesamt, einschließlich der Vernetzung von planungsrelevanten Daten verschiedener Akteure und Fachverwaltungen kann erleichtert werden. Nicht zuletzt stehen umfangreichere Möglichkeiten zur Information von Bürgern und Unternehmen etc. zur Verfügung bzw. werden entwickelt.

Ressourceneffizienz und Kosten der Bereitstellung wasserwirtschaftlicher Dienstleistungen

Digitalisierung bzw. der Einsatz von IKT kann zur Optimierung technischer Prozesse beitragen. Effizienzverbesserungen bestehender Prozesse werden durch (weitere) Automatisierungsschritte realisiert, also in der Steuerung von Pumpen, Kanalnetzen, Kläranlagen, Wehren und Talsperren bei der Mengen- sowie Qualitätssteuerung und -überwachung in der Wassermengen- und Wassergütwirtschaft und in der kommunalen Wasserverteilung sowie in der Abwassersammlung und -behandlung. Hierzu zählt auch der zentrale Betrieb dezentraler Anlagen. In Verbindung damit können Steigerungen der Energieeffizienz wasserwirtschaftlicher Anlagen, wie Pumpen, stehen.

Für die Planung können zukünftig verstärkt neue Planungsinstrumente zum Einsatz kommen, die eine umfassendere Perspektive auf den Anlagenbestand (umfängliche Betriebsdaten, Kapazität, Zustand, Auslastung, Lebenszykluskosten, Entwicklung relevanter Rahmenbedingungen etc.) ermöglichen. Eine Anpassung des Anlagendesigns an veränderte Rahmenbedingungen einschließlich der Berücksichtigung des Einbezugs von Ressourcen benachbarter Bereiche / Sektoren (vgl. Kapitel 3.1.4.3) wird erleichtert. Eine virtuelle Inbetriebsetzung kann so zu Kosteneinsparungen beitragen (DECHEMA 2018). In diesem Zusammenhang ist der Einsatz von Instrumenten wie Building Information Modeling denkbar (vgl. Steckbrief 6: BIM). Angepasste Auslegungsparameter der technischen Anlagen (resultierend in reduziertem Bauvolumen) kann zu Kostenersparnissen führen.

Hier ergeben sich Anwendungsmöglichkeiten für Werkzeuge wie das Building Information Modeling (vgl. Steckbrief 6: BIM). Notwendig sind hierfür die Ent- bzw. Weiterentwicklung geeigneter Nomenklaturen, die elektronische Bereitstellung von Planungs-, Konstruktions- und Ausführungsdaten der Bauwerke sowie deren Betriebsdaten und Wartungspläne für alle relevanten Akteure. Verknüpfungsmöglichkeiten bestehen hier nicht nur in Bezug auf technische und administrative Belange, sondern auch zur Unterstützung des Asset Managements für einen wirtschaftlichen Betrieb.

Wasserwirtschaftliche 4.0-Anwendungen erfordern die Digitalisierung physischer Bestandteile und der betrieblichen Prozesse der Dienstleistungsbereitstellung. Dadurch werden Verknüpfungen mit Managementprozessen erleichtert und die Identifizierung weiterer Optimierungspotenziale im Bereich Anlagenwartung und Instandhaltung unterstützt. Dies kann zu Kosteneinsparungen führen und Nachjustierung von Instandhaltungsstrategien anregen. Eine Kopplung an umweltbezogene Kriterien wie Materialeinsatz, Transportaufwand etc. wird erleichtert. Die intensive Auseinandersetzung mit dem Anlagenbestand kann Modernisierungsimpulse setzen. Dem stehen notwendige IKT-Komponenten sowie ein zunächst hoher Aufwand der Digitalisierung des Anlagenbestandes gegenüber. Ein generelles Einsparpotenzial lässt sich hier nicht beziffern bzw. ist einzelfallspezifisch zu bestimmen. Auch hier gilt, dass entsprechende Maßnahmen, 4.0-Anwendungen nicht kurzfristig mit einem direkten Nutzen für Umwelt und Bürger verbunden sind. Dies erschwert ggf. die Finanzierung notwendiger, zugehöriger Maßnahmen. Für die in vielen deutschen Kommunen anstehenden umfangreichen Kanalsanierungsmaßnahmen unterstützt ein digitalisiert vorliegender Anlagenbestand Planung und Koordinierung der Bau- und Instandhaltungsmaßnahmen maßgeblich. Synergieeffekte sog. Mehrspartenstrategien können unterstützt werden. Der Einsatz von IKT ermöglicht ein umfassenderes Bild und beschleunigt ggf. die Ausarbeitung von Planungsalternativen, auch die Bauausführung kann ggf. unterstützt werden – insgesamt bedarf es jedoch nach wie vor der Errichtung der technischen infrastrukturellen Anlagen und der Bereitstellung entsprechender finanzieller Mittel für Investition und Betrieb.

Beispielhaft arbeitet das Unternehmen VERBUND am Beispiel des Murkraftwerks Rabenstein (vgl. <https://www.verbund.com/de-at/ueber-verbund/kraftwerke/unsere-kraftwerke/rabenstein>) in der Steiermark am ersten umfassend digitalen Wasserkraftwerk Europas. Dazu wurden in einem ersten Schritt die Lage aller Komponenten und Anlagenteile, egal ob zu Luft oder unter Wasser, mittels Laserscan digitalisiert und über eine eigene Datenplattform systematisiert abgelegt. Diese Daten werden in Folge über zu entwickelnde Algorithmen mit den bestehenden Informationen und der Vielzahl anfallender Messwerte aus dem Kraftwerk vernetzt. Um ein wirklich umfassendes Bild von der Gesamtanlage zu erhalten, werden im Rahmen des laufenden Digitalisierungsprogramms darüber hinaus weitere digitale Hilfsmethoden zur Generierung ergänzender wichtiger Daten geprüft. Dazu werden sowohl aus anderen Branchen bekannte als auch gemeinsam mit der Wissenschaft und Industrie neu zu

entwickelnde Systeme erprobt, z. B. neuartige Sensoren. Dank neuartiger Analysemethoden und dem Einsatz von selbstlernenden Programmsystemen sollen aus der dann vorliegenden Datenmenge neue Erkenntnisse über den jeweils aktuellen Anlagenzustand gewonnen werden. Über eigene Computersimulationen werden aus den Zustandserfassungen und -prognosen - gekoppelt mit der „Geschichte“ einer Anlage - Stillstands- und Reparaturzeiten optimiert.

Entsprechende Anwendungen (prädiktive Instandhaltung) sind auch im Bereich des Asset Managements der Wasserver- und Abwasserentsorgungsnetze relevant und vor dem Hintergrund des anstehenden Investitionsumfangs /-bedarfs geboten. Auch zur Abstimmung mit anderen städtischen Baumaßnahmen.

Solche Digitalisierungsprozesse haben aber keinen zusätzlichen Umwelt- oder Bürgernutzen, sondern steigern lediglich die Effizienz, mit der ein Wirtschaftsunternehmen seine Anlagen verwaltet. Inwiefern sich Einsparungen an Material und Energie über den gesamten Lebenszyklus der Anlage generieren lassen, kann derzeit nicht abgeschätzt werden. Für Wasserver- und Abwasserentsorgungsnetze könnten entsprechend optimierte Instandhaltungsstrategien zur Reduzierung von Wasserverlusten, Vermeidung von Schäden durch Wasserrohrbrüche oder Verringerung unerwünschter Stoffeinträge ins Gewässer aus undichten Kanälen beitragen.

Grundsätzlich ermöglicht Online-Sensorik die Verfügbarkeit von Prozessdaten in Echtzeit, eine erhöhte Transparenz des Anlagenbetriebs bis hin zu einer bedarfsgerechten, dynamischen Fahrweise von (Ab-)Wasserbehandlungsanlagen. Wie groß die Optimierungspotenziale bspw. im Vergleich zur industriellen Wasserwirtschaft 4.0 am Ende sind, ist, wenn überhaupt, nur einzelfallbezogen quantifizierbar.

Im kommunalen Bereich findet der Aufbruch in die Digitalisierung an vielen Stellen statt. Städte sind aufgerufen, ihre Urbanen Datenräume zu gestalten und neben der Steigerung der Lebensqualität in Städten verstärkt wirtschaftliche Folgenutzungen anzustoßen bzw. zu unterstützen (Schieferdecker et al. 2018). Dazu werden Referenzarchitekturen entwickelt und Datenbestände der Verwaltung zugänglich gemacht bzw. erst digitalisiert. Hier sollten Akteure der Wasserwirtschaft auf Anschlussfähigkeit achten bzw. prüfen, inwieweit städtische Ressourcen und Aktivitäten zur Gestaltung wasserwirtschaftlicher Belange genutzt werden können.

Potenzial zur Kostensenkung ist nicht zuletzt durch reduzierten Aufwand im Zusammenhang mit Berichterstattung und behördlichen Kontroll-, Überwachungs- und Zahlungsverpflichtungen zu erwarten. Für Berichtspflichten auf behördlicher Seite im Zusammenhang mit INSPIRE und E-Government sind umfangreiche Veränderungen in Entwicklung. An der Schnittstelle Bürger / Unternehmen / Behörden im fachlich / wasserwirtschaftlichen Bereich sind jedoch keine Anwendungen bekannt. Dies gilt ebenso für die Umsetzung von Planungen im Zusammenhang mit integrierten Stadtentwicklungskonzepten.

Es ist jedoch davon auszugehen, dass nicht erschlossene Potenziale in der Zusammenarbeit innerhalb der Verwaltung, zwischen verschiedenen Ebenen der Verwaltung sowie an der Schnittstelle Verwaltung / Unternehmen / Bürger existieren.

Hinsichtlich der Qualität und des Aufwands der Kommunikation mit Behörden (Genehmigung, Überwachung etc.) besteht das Potenzial, dass neue Formen der Datenerhebung und -verarbeitung die Zusammenarbeit zwischen Ebenen erleichtern, und zwar durch den großen Nutzen, den diese den beteiligten Behörden bringen (Arbeitserleichterung). Ein Beispiel stellt die bessere/zentralisierte Überwachung von Cross-Compliance-Regelungen durch den Bund, per Satellitendaten dar. Bei der zentralen Anfrage von Daten (geteilte Zuständigkeiten der

Datenbereitstellung Bund / Länder) seien darüber hinaus erhebliche Potenziale zur Einsparung von Zeit und Kosten für die Datenanfragenden möglich.

Sicherheit und Zuverlässigkeit der Bereitstellung wasserwirtschaftlicher Dienstleistungen

Einerseits stehen im Zusammenhang mit dem Einsatz von IKT durch verbesserte Informationsgrundlagen (qualitativ, räumliche und zeitliche Auflösung, Virtualisierung und Visualisierung) Möglichkeiten für eine verbesserte Vorausschau auf Ereignisse, Reaktion auf eingetretene Ereignisse und Kommunikationsmöglichkeiten zwischen Anlagen und Akteuren zur Verfügung. DECHEMA bescheinigt Potenziale bei der „Erhöhung der Ausfallsicherheit von Betriebsmitteln und Produktionsanlagen durch simulationsgestützte Optimierung und prädikative Zustandsüberwachung der Einzelkomponenten bis hin zum industriellen Internet der Dinge“, wodurch eine „höhere Verfügbarkeit, Leistung und Lebensdauer von Anlagen“ ermöglicht werden (DECHEMA 2018, S. 31). Ökonomische und ökologische Vorteile können sich wie von der DECHEMA für die industrielle Wasserwirtschaft 4.0 beschrieben durch die bessere Bewältigung unvorhergesehener Zustände „durch selbstlernende Steuerungen“ einstellen. Dabei verkürzen sich Reaktionszeiten „durch frühzeitige Reaktion auf Produktionswechsel“, und „Echtzeitmonitoring von Wassermengen und -qualitäten ermöglicht Frühwarnsysteme“ (DECHEMA 2018, S. 31).

Dabei ist darauf zu achten, Sicherheit, Zuverlässigkeit und Resilienz der Systeme zu steigern. Dem stehen derzeit noch unausgereifte technische Entwicklungen, noch weiterzuentwickelndes Know-How und Erfahrungen im Einsatz mit entsprechenden Systemen gegenüber. Klassisch-konventionell wasserwirtschaftliches Know-How behält seine Bedeutung. Neue Prozesse sind auch additiv z. B. zur Qualitätsverbesserung denkbar. Im Rahmen von Industrie 4.0 arbeiten manche Unternehmen mit einem sog. digitalen Zwilling, einem elektronischen Simulationsmodell, das im Hintergrund läuft und es ermöglicht, frühzeitig Gefahren zu identifizieren. Vereinzelt arbeiten Wasserversorger auch schon mit solchen kontinuierlich laufenden Programmen zur Qualitätssicherung (z. B. Zürich). Nicht nur im kommunalen Bereich, auch in der regionalen Wasserwirtschaft (Flussgebietsmanagement) können sich in Bezug auf Wasserqualität und Abflussdynamik durch solche Modellanwendungen Vorteile ergeben. Bestehende Strömungs- und Transportmodelle können dafür eine Grundlage sein.

3.1.6 Öffentlichkeitsbeteiligung und Partizipation

Verschiedene EU-Richtlinien adressieren die Beteiligung der Öffentlichkeit zum Beispiel an der Ausarbeitung umweltbezogener Pläne und Programme (Europäisches Parlament und Europäischer Rat 2003a). Dies beinhaltet auch den Zugang zu relevanten Informationen. Durch die erweiterte Bereitstellung von Daten bzw. einen erleichterten Zugang zu relevanten Daten könnten wichtige Beiträge hinsichtlich (Kosten-)Transparenz und Förderung der Akzeptanz von Maßnahmen geleistet werden. Die diesbezüglichen Potenziale würden derzeit jedoch nicht ausgeschöpft. Unter <https://www.govdata.de/open-government> sind wesentliche Informationen und Dokumente zum Thema Open Government zusammengestellt. Neben relevanten Gesetzen auf Bundes- und Länderebene wird beispielsweise auf Handbücher verwiesen, die Praxisempfehlungen und Werkzeuge für die Einbeziehung von BürgerInnen z. B. in konkrete Planungs- und Genehmigungsverfahren geben. Es wird auf vorhandene Open Data Portale verlinkt und Informationen zur Umsetzung der PSI-Richtlinie (Europäisches Parlament und Europäischer Rat 2003b) (vgl. Kapitel 4.2) angeboten.

3.1.7 Sonstiges

Neben Potenzialen im Sinne eines direkten Nutzens für Umwelt und Bürger werden im Zusammenhang mit der Digitalisierung folgende Aspekte adressiert:

Die Weiterentwicklung der Geschäftsmodelle wasserwirtschaftlicher Unternehmen und die Erweiterung ihres Leistungsportfolios wird thematisiert. Ein direkter Nutzen für Umwelt und Bürger in Bezug auf das heutige Verständnis von Daseinsvorsorge ist zurzeit nicht erkennbar. Es bleibt ferner zu untersuchen und zu beobachten, inwiefern Unternehmen der Wasserver- und Abwasserentsorgung sich zukünftig aktiv an der wirtschaftlichen Verwertung von Daten beteiligen werden.

Der Themenbereich „neue Produkte und Dienstleistungen“ wurde nur als mittelmäßig relevant im Rahmen der Online-Befragung eingestuft, gleichwohl seine Thematisierung auf dem Workshop gefordert. Der Themenbereich scheint von Interesse, jedoch sind die Auswirkungen, jedenfalls aus Sicht der überwiegend wasserwirtschaftlichen Akteure, noch nicht abseh- und bewertbar. Der Nutzen neuer Produkte und Dienstleistungen wird offenbar eher außerhalb der direkten wasserwirtschaftlichen Leistungen und des damit zusammenhängenden Umwelt- und Bürgernutzens verortet. Auf dem Workshop wurde hier beispielsweise der mögliche Mehrwert für Bürger durch frühzeitigere Erkennung von Leckagen in Wohnungen und Häusern genannt. Dass hier mit dem Fokus auf die Bürger oder auf spezifische Nutzergruppen weitere, möglicherweise noch bedeutsamere Dienstleistungen entwickelt werden, erscheint nicht ausgeschlossen. Weil diese im Ansatz dezentral sind und möglicherweise erst durch Mitnutzung anderer Daten entstehen, liegen sie außerhalb des Blickfelds der traditionellen Wasserwirtschaft.

Anzubinden sind die Aktivitäten der Unternehmen der Wasserver- und Abwasserentsorgung an Digitalisierungsstrategien der Kommunen (Smart City). Die diesbezügliche Rolle der Wasserwirtschaft ist zu diskutieren und das Aufgabenverständnis städtischer Unternehmen ggf. weiterzuentwickeln.

Freiräume für wirtschaftliche Betätigung ergeben sich in Verknüpfung zur Wasserwirtschaft auch für Dritte, private Unternehmen. Ihnen wurde das Potenzial zugesprochen als Disruptoren zu wirken. Die Rolle der Unternehmen der Wasserver- und Abwasserentsorgung bzw. die damit verbundenen Auswirkungen auf sie sind zu thematisieren und zu diskutieren. Inwiefern daraus Handlungsbedarf für Politik, Verwaltung und Behörden resultiert, kann zum jetzigen Zeitpunkt nicht abgeschätzt werden.

Insgesamt wurde deutlich, dass neue Nutzengenerierung durch Hebung von Effizienzpotenzialen in den traditionellen technischen und administrativen wasserwirtschaftlichen Prozessen zu erwarten ist. Weitere Nutzen im Sinne einer qualitativen Verbesserung kann sich aus den Daten ergeben, die in angrenzenden Bereichen heute schon oder perspektivisch in neuer Qualität und Quantität erzeugt und genutzt werden (können). Schließlich ist weiterer Nutzen durch die Kopplung unterschiedlicher Sektoren oder Bereiche zu erwarten, der heute außerhalb der traditionellen wasserwirtschaftlichen Aufgaben liegt und möglicherweise dezentral auf die Bürger oder sogar auf spezifische Nutzergruppen fokussiert ist.

3.2 Ansatzpunkte zur Erschließung der Potenziale

Die Erschließung der skizzierten Potenziale steht in engem Zusammenhang mit der Generierung und Verwendung neuer Informationen für Entscheidungsunterstützung, Planungsprozesse oder behördliche Kontrolle etc. Die Bereitstellung dieser Informationen basiert auf der Verfügbarkeit

neuer Daten bzw. verbesserten Verarbeitungs- und Visualisierungsmöglichkeiten vorhandener Daten. So können u. a. aus der engeren Abdeckung des Siedlungsraums durch unterschiedliche mathematische Simulationsmodelle auf verschiedenen Zeit- und Raumskalen zur Berücksichtigung der vielfältigen Wechselwirkungen auf Wasserqualität und –quantität Auswirkungen besser und schneller erkannt werden. Es ergeben sich Vorteile im operativen Bereich wie auch für Planungen. Nicht gehobene Potenziale existieren bezüglich der Erschließung neuer Datenbestände, der Vernetzung und Automatisierung von Anlagen und Prozessen sowie der Datenbereitstellung und des –austauschs.

Aus der bisherigen Bestandsaufnahme wurden die folgenden Handlungsfelder abgeleitet und in der Online-Befragung und zum Workshop zur Diskussion gestellt:

- ▶ Zusammenführung von Daten mehrerer vormals separater Datenquellen auf einer Plattform („Integration von Daten“),
- ▶ Weiterverwendung von Daten für Modellierungen und Simulationen,
- ▶ Bereitstellung von Live- und Echtzeitdaten,
- ▶ Weiterentwicklung des Stands der Technik in der Wasserwirtschaft,
- ▶ Verbesserung von Datenquellen durch verbesserte Technik und Übertragung,
- ▶ Datenaustausch zur direkten Verwendung durch Nutzer („Open Data“) sowie
- ▶ Neue Produkte und Dienstleistungen, Big Data.

Dabei zeigte sich, dass die Zusammenführung mehrerer vormals separater Daten auf einer Plattform in der Auswertung der Online-Befragung als das bedeutendste Handlungsfeld eingestuft wurde. Demgegenüber wurde der Schaffung neuer Plattformen als Mittel zur Überwindung von Hemmnissen geringere Bedeutung beigemessen. Als zweites Handlungsfeld wurde von den Teilnehmern die Weiterverwendung von Daten für Modellierungen und Simulationen angesprochen (vgl. Exkurs 2: Modellierung), worauf aufbauend Potenziale erfolversprechender ausgeschöpft werden könnten. Erwähnenswert in diesem Zusammenhang ist auch die Zurückhaltung der Teilnehmenden im Bereich „neue Produkte und Dienstleistungen“, und dem Schlagwort Big Data (dennoch bestand großes Interesse daran, auch letzteres auf dem Workshop zu thematisieren). Eine weitergehende Interpretation der Ergebnisse der Online-Befragung ist nicht zweifelsfrei möglich. Allerdings lässt sich allgemein feststellen, dass keines der genannten Handlungsfelder als insgesamt eher unwichtig betrachtet wurde.

Entscheidende Ansatzpunkte zur Unterstützung der Entwicklung einer „Wasserwirtschaft 4.0“ (Perspektive: Nutzen für Umwelt und Bürger) sind dementsprechend in der Zusammenführung von Daten verschiedener Quellen auf Plattformen sowie der Weiterverwendung von Daten für Modellierungen und Simulationen mit Integration von Live- und Echtzeitdaten zu sehen. Dabei sind die Organisation der Datenbereitstellung und –haltung sowie die Vernetzung bestehender Datenbestände zu verbessern. Ebenso bedeutsam ist mehr Standardisierung und / oder Harmonisierung bei der Bereitstellung und Nutzung von Daten.

Portale oder Plattformen, die für die Wasserwirtschaft relevante Daten und Informationen zur Verfügung stellen, wurden in Tabelle 1 (vgl. Kapitel 2.2) zusammengestellt. Es stehen verschiedene, umfangreiche Datenbestände unterschiedlicher Art verteilt auf verschiedene Akteure und Datenspeicherorte zur Verfügung. Bekanntheit (vgl. Kapitel 2.2) und

Zugriffsmöglichkeiten (vgl. Kapitel 3.1.4.3 und 4.3) auf die einzelnen Datenbestände sind unterschiedlich und beschränkt. Für die Erschließung verfügbarer Datenbestände wird auf die Bedeutung von Metadaten hingewiesen. Zukünftig bedarf es der Identifizierung und Entwicklung von Anwendungen, um das erweiterte Datenangebot zur Nutzengenerierung für Umwelt und Bürger bzw. die Wasserwirtschaft einsetzen zu können. Hierfür sind die für die jeweilige Anwendung notwendigen Informationen zu beschreiben und ebenso die dafür notwendigen Daten zu integrieren. Möglich ist auch die Entwicklung integrierter Datenprodukte, die direkt für verschiedene Anwendungen genutzt werden können. Von Bedeutung sind dabei geeignete Konzepte zur Datenhaltung.

Exkurs 2: Modellierung

Steigende Sammlung von Daten verschiedenster Art führt gleichzeitig zu einem höheren Potenzial in der Verarbeitung dieser Daten und somit zu besseren Möglichkeiten im Bereich der digitalen Modellierungen. Durch größere Datendichte können Einflussgrößen besser modellhaft nachgezeichnet werden. Durch Kopplung mit Daten aus angrenzenden Bereichen kann deren Einfluss auf das modellierte Geschehen geprüft und ggf. berücksichtigt werden. Modellierungsansätze gibt es in verschiedenen Bereichen. Sie können beispielsweise als Grundlage gesehen werden für wasserwirtschaftliches Risikomanagement, welches v. a. durch die Veränderungen durch den Klimawandel und den daraus entstehenden Folgen für die Bewirtschaftung von Gewässern begründet ist. Beispiele für solche Modellierungen sind...

- das Projekt KliWES (Klimawandel und Wasserhaushalt in Sachsen – Kopplung Nährstoffhaushalt), in dem die Auswirkungen des Klimawandels auf den regionalen Stoff- und Wasserhaushalt unter Berücksichtigung von Managementoptionen im Rahmen der Wasserrahmenrichtlinie untersucht wurden;
- Gewässergütemodellierung am Umweltforschungszentrum (UFZ) oder
- Niederschlags-Abfluss-Modelle für verbessertes Hochwasserrisikomanagement.

Modelle und erhöhte Datenquantität und -qualität können jedoch auch verwendet werden, um den Wassersektor überschreitende Modellierungen durchzuführen. Beispiele hierfür sind

- das FUSE-Projekt, in dem der Nahrung-Wasser-Energie Nexus in einer urbanen Umgebung betrachtet und modelliert wird, unter Berücksichtigung zukünftiger Entwicklungen wie beispielsweise Veränderungen in der Bevölkerungsstruktur oder des Klimas;
- Projekte im Bereich der Stickstoffeinträge aus der Landwirtschaft.

Darüber hinaus können Modellierungen mit wasserbezogenen Daten in einem urbanen und übergeordneten System eingesetzt werden, beispielsweise

- um Strategien und Maßnahmen zu entwickeln im Bereich Regenwassermanagement gegen urbane Sturzfluten und überhitzte Städte;
- in allgemeinen Klimaanpassungskonzepten;
- um die Folgen veränderter Landnutzung besser zu verstehen oder
- um den Wasserverbrauch in Haushalten besser einschätzen und um Potenziale zur Einsparung von Energie- und Wassernutzung – und damit von CO₂-Emissionen zu untersuchen.

Die verbesserte und standardisierte Datenbereitstellung wird dementsprechend parallel zu den entstehenden Netzwerken und Datenportalen wichtiger, um die gesteigerte Menge an Daten effizienter und besser verarbeiten zu können und letztlich um sicherere Modelle mit genaueren Vorhersagen bzgl. zukünftiger Entwicklungen im Wassersektor (und gekoppelten Sektoren) erschaffen zu können.

Die Umsetzung entsprechender Anwendungen sowie der zugehörigen Organisation der Datenbereitstellung und –haltung bedarf der Mitwirkung vieler Akteure und Institutionen. Ein gemeinsames Verständnis der komplexen Thematik „Wasserwirtschaft 4.0“ ist notwendig. Viele Prozesse und physische Komponenten (u. a. Anlagenbestandteile, Gewässereigenschaften) sind noch nicht digitalisiert und / oder in standardisierter Form erfasst. In einer Vielzahl an Forschungs- oder Pilotprojekten werden Anwendungen entwickelt. Die Datenerfassung / -haltung erfolgt überwiegend noch projektbezogen, mit teilweise erheblichem Aufwand zur Datenerfassung und –speicherung.

Die Bereitstellung von Standardanwendungen bedarf zukünftig der vermehrten Entwicklung und Verbreitung von Standards zum Datenaustausch (z. B. für die Generierung, Übertragung und Nutzung von Sensordaten wie WaterML2.0 (DWA 2018, Open Geospatial Consortium 2012), von Werkzeugen (z. B. BIM), die eine Zusammenarbeit verschiedener Akteure und / oder Integration von Daten unterschiedlicher Herkunft für eine bestimmte Anwendung ermöglichen sowie interoperable Datenprodukte und –dienste, die entsprechende Anwendungen unterstützen. Nicht zuletzt muss die Bekanntheit und Zugänglichkeit zu diesen Datenprodukten und Diensten deutlich verbessert werden (vgl. Steckbrief 1: WASSER-DE). Die Verbreitung von Standards kann u. a. durch entsprechende Vorgaben in öffentlichen Ausschreibungen unterstützt werden.

Als Voraussetzung für die Entwicklung von 4.0-Anwendungen steht in vielen Fällen die Digitalisierung von Prozessen und physischen Komponenten noch aus. Standardisierte oder harmonisierte, interoperable konzeptionelle Ansätze zur Strukturierung dieser Digitalisierung vorhandener Daten (u. a. der wasserwirtschaftlichen Unternehmen und Fachverwaltungen) stehen nur projekt- und / oder akteursspezifisch zur Verfügung. Aktivitäten zur Strukturierung solcher Digitalisierungsprozesse, u. a. um darauf aufbauend die Entwicklung von Standardanwendungen zu erleichtern, beziehen sich auf den Aufbau sog. Referenzarchitekturen^{19,20} (vgl. Exkurs 3: Referenzarchitekturen).

Exkurs 3: Referenzarchitekturen

Definitionen:

Referenzarchitektur: Modell für eine Architekturbeschreibung, die allgemein genutzt wird und als zweckmäßig anerkannt ist (Referenzcharakter hat).

Referenzmodell: Modell, das allgemein genutzt wird und als zweckmäßig anerkannt ist (mit Empfehlungscharakter), um spezifische Modelle abzuleiten.

Speziell im Bereich der 4.0-Anwendungen werden Referenzarchitekturen und –modelle dazu verwendet, eine erhöhte Standardisierung und Normierung zu erreichen, was aufgrund der Interdisziplinarität der Digitalisierung von zentraler Bedeutung für einen effizienten Ablauf digitalisierter und zu digitalisierender Prozesse ist.

¹⁹ Referenzarchitekturen sind einheitliche Begriffs- und Methodenstrukturen. Sie schaffen eine gemeinsame Struktur und Sprache für die einheitliche Beschreibung und Spezifikation konkreter Systemarchitekturen (Plattform Industrie 4.0 2018).

²⁰ Zur Strukturierung von Konzepten der Industrie 4.0 in der Abwasserwirtschaft schlagen bspw. (Pachaly und Jumar 2017) ein Ordnungsschema vor.

In Deutschland wurden unterschiedliche Beispiele für Referenzarchitekturen gefunden:

- RAMI4.0 (Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0): Standardisiertes Referenzarchitekturmodell, dient der Darstellung technischer Gegenstände mit allen relevanten Aspekten von seiner Erzeugung über Fertigung und Nutzung bis zu seiner Entsorgung. Den Zugriff auf seine datentechnische Beschreibung ermöglicht die ihn virtuell repräsentierende Industrie-4.0-Komponente.
- Industrial Data Space: eine dezentrale Software-Architektur spezialisiert auf I-4.0 Anwendungen (aber auch allgemein einsetzbar).
- Referenzarchitektur elektronische Verwaltungsarbeit: Eine modulare Architektur, die elektronische Verwaltung über den Lebenszyklus des Schriftguts weitgehend und bruchfrei unterstützen soll. Hierbei werden internationale Standards der Schriftgutverwaltung berücksichtigt.
- Standards und Architekturen für E-Government-Anwendungen (SAGA): regelt den Aufbau von E-Government-Dienstleistungen in der deutschen Verwaltung auf technischer Ebene.
- Referenzarchitektur der VKU-IT-Roadmap: soll Herausforderungen der IT an die Energiewirtschaft formulieren und mögliche strategische Handlungsoptionen aufzeigen.
- Referenzarchitektur Virtual Reality für die Industrie 4.0 (ARVIDA): ergänzende Referenzarchitektur für virtuelle Techniken in der Industrie 4.0.
- Triangulum IKT-Referenzarchitektur für Smart Cities integriert drei unterschiedliche Ebenen (technisch, informatorisch, organisatorisch) einer Smart City und möchte so eine Blaupause schaffen für alle Anwendungen innerhalb einer Smart City, von der Datenbeschaffung- über verarbeitung und -nutzbarmachung, bis zur Erstellung von Rechnungen und Geschäftsmodellen.
- EIP-SCC-MoU-Referenzarchitektur für offene und interoperable urbane Plattformen (ergo der kommunalen Ebene), unter Einbezug von Kommunen, Infrastrukturbetreibern, Dienstbetreibern, Telekommunikationsunternehmen, kommunalen Unternehmen und Stadtwerken.

Die Schaffung von Referenzarchitekturen spielt eine wichtige Rolle für die vertikale und horizontale Datenintegration und die Schaffung einer gemeinsamen Sprache. Eine speziell auf die Bedürfnisse der WaWi zugeschnittene Referenzarchitektur wurde nicht gefunden. Des Weiteren ist die Vielfalt der WaWi – von Flussgebietsmanagement bis zur Wasserver- und entsorgung wohl schwierig in einer Referenzarchitektur darzustellen. Gleichzeitig spielen für die WaWi relevante Aspekte in verschiedenen Referenzarchitekturen (RAMI4.0, Industrial Data Space, SAGA, Triangulum, EIP-SCC-MoU) bereits eine Rolle – so sind dort auch Informationen bzgl. Schadstoffeintrag in Gewässer oder Wasserverbrauch und Wasservorkommen einbezogen. Aus diesen zwei Gründen scheint es derzeit plausibler, wasserwirtschaftlich relevante Aspekte innerhalb der Referenzarchitekturen zu verankern, in deren System das Medium Wasser eine Rolle spielt, wobei ein starker Fokus dabei auf der Datenintegration und Interoperabilität und dementsprechend einer vorausschauenden Standardisierung (bspw. unter INSPIRE) liegen sollte.

Die Datenverarbeitung und Informationsbereitstellung für konkrete Anwendungen wie die Planung des Baus einer wasserwirtschaftlichen Anlage sollte die Integration von Daten verschiedener Herkunft und die Beteiligung verschiedener Akteure am Planungsprozess ermöglichen. Dies bedarf der Entwicklung und Bereitstellung geeigneter Werkzeuge.

Beispielsweise könnte zukünftig BIM eine größere Bedeutung erlangen. Weitere Werkzeuge für Verwaltung, Behörden, Unternehmen und Forschungseinrichtungen zur Unterstützung von 4.0-Anwendungen sind notwendig. Es ist darauf zu achten, dass mit der Entscheidung für den Einsatz eines solchen Werkzeugs bzw. einen bestimmten Anbieter / Dienstleister keine sog. Vendor-lock-in-Effekte entstehen.

Steckbrief 6: Building Information Modeling (BIM)

Handlungsfeld	Werkzeuge / Planung, Gebäudeplanung und -instandhaltung
Kurzbeschreibung/ Abstract	BIM bezeichnet eine kooperative Arbeitsmethodik, mit der auf der Grundlage digitaler Modelle eines Bauwerks die für seinen Lebenszyklus relevanten Informationen und Daten konsistent erfasst, verwaltet und in einer transparenten Kommunikation zwischen den Beteiligten ausgetauscht oder für die weitere Bearbeitung übergeben werden. ²¹
Zielgruppe/ Anwender	• alle am Bau Beteiligten, von der Idee, über die Planung, die Bauausführung, die Nutzungsphase bis zum Abriss • zurzeit Einführung auf Bundesebene für alle Infrastrukturbauwerke im Geschäftsbereich des Bundesverkehrsministeriums • in Bezug auf Wasser IT-Beratung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes²² • Bereitstellung und Beratung vor allem für Bundesbehörden
Anlass/ Problembeschreibung	• viele am Bau beteiligte Akteure • komplexes Monitoring im Bau sowie im Betrieb • unübersichtliche Kostenstrukturen, sowie aufwändige Mechanismen bei Projektanpassungen, komplizierte Wartungs- und Erneuerungspläne
Umwelt-, bzw. Bürgernutzen, Mehrwert	• Vernetzung aller am Bau beteiligten Akteure - Verbesserung von Informationsflüssen • Modellierung baulich relevanter Daten (digitales Life Cycle Management anhand von Modellen möglich) • Monitoring (frühere Erfassung baulicher Schäden oder Konstruktionsfehler) • gesteigerte Effizienz sowie Planbarkeit • Vernetzung unterschiedlicher baurelevanter Daten innerhalb eines Systems
Ansprechpartner/ Beteiligte (evtl. Kontaktinformationen)	• ITZ Bund (Informationstechnikzentrum Bund) • https://www.itzbund.de/DE/Home/home_node.html • für Pilotprojekt im Bereich WaWi: GDWS (Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt) • https://www.wsv.de/Wir_ueber_uns/Dienststellen/GDWS/Kontakt/index.html
Risiken	• in Deutschland wenig Erfahrungswerte und mühsamer Einstieg (bis dato nur Pilotprojekte) • Datenintegration externer Daten begrenzt möglich • keine Informationen über Inkludierung umwelttechnisch relevanter Daten im WaWi-Bereich²³
Anwendungsbeispiel(e)	• Pilotprojekt: Instandsetzung Schleuse Wedtlenstedt (durchgeführt durch Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt GDWS) • Pilotprojekt: Ersatzneubau einer Schleuse in Lüneburg- Scharnebeck • BDVI (Stufenplan für die Einführung von BIM)
Entwicklungsstand / Zugang	• Integration von Daten beschränkt (Schnittstellen und Standards, z. B. IFC-Schnittstelle fangen erst an, WaWi-Daten zu integrieren)

²¹ Vgl.: https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/stufenplan-digitales-bauen.pdf?__blob=publicationFile.

²² Siehe auch <https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2017/12/2017-10-23-BIM-WSV.pdf>.

²³ Siehe auch: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/bate.201700065>.

	• reduzierte Erreichbarkeit von Anwendungen von außen • zur Nutzung innerhalb des Bausektors und Gebäuden keine verlässlichen Zahlen
Projektlaufzeit und Kosten	Wedtlenstedt: zunächst bis 31.12.2020
Zukünftige Weiterentwicklung und Handlungsempfehlungen	• Ausweitung der Pilotprojekte auf den Bereich der kommunalen Wasserwirtschaft • Asset Management (Investitionssteuerung, Leitungsüberwachung)
Weitere Informationen	• https://izw.baw.de/publikationen/kolloquien/0/10_Bödefeld_BIM-WInDundCo....pdf • https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2017/12/2017-10-23-BIM-WSV.pdf • https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/bate.201700065 • https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/stufenplan-digitales-bauen.pdf?__blob=publicationFile • https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/bim-umsetzung-stufenplan-erster-fortschrittsbe.pdf?__blob=publicationFile

Grundlage einer „Wasserwirtschaft 4.0“ sind Daten verschiedener Herkunft und Qualität. Dazu zählen auch Daten aus wasserfremden und nicht öffentlichen Bereichen wie Telekommunikation und Kfz-Individualverkehr, offene Anwendungen wie OpenStreetMap oder Satellitendaten. Auch die Nutzung von i.d.R. für andere Zwecke von Privaten bzw. privatwirtschaftlichen Akteuren erhobenen Daten durch staatliche Einrichtungen kann zusätzlichen Nutzen generieren und / oder zur Verbesserung staatlicher / kommunaler Dienstleistungen beitragen. Derzeit diskutierte Beispiele umfassen die Erzeugung von Echtzeit-Niederschlagsdaten dezentral durch Regensensoren in modernen Kraftfahrzeugen, privaten Wetterstationen und Mobilfunkmasten. Viele weitere Beispiele sind denkbar. Solche Nutzungen sind vom Grundsatz her regelungsbedürftig. Zu beachten ist, dass Geschäftsmodelle der ursprünglichen privaten Investoren nicht geschädigt bzw. entwertet werden.

Grundsätzlich ist die engere Abdeckung des Siedlungsraumes durch unterschiedliche mathematische Simulationsmodelle auf verschiedenen Zeit- und Raumskalen zur Berücksichtigung der vielfältigen Wechselwirkung auf Wasserqualität und -quantität gut geeignet, negative Auswirkungen besser und schneller zu erkennen und ihnen zu begegnen. Damit steigen für die Bevölkerung sowohl die Umweltsicherheit als auch die Versorgungssicherheit. Die kontinuierliche Erfassung oder periodisch enge Erhebung der dafür notwendigen Daten sowie deren Verarbeitung in Modellen kann nicht als Effizienzsteigerung im Sinne der Automatisierung bestehender Prozesse interpretiert werden. Generiert wird vielmehr mit neuem Aufwand, umfangreicheren Daten und umfangreicherer Datenverarbeitung ein neuer, zusätzlicher Nutzen aus der Digitalisierung weiter Lebensbereiche für den Schutz der Umwelt, der angesichts einer kleiner werdenden Welt, vielfältigerer Belastungen und zunehmender Verflechtungen wichtig und notwendig erscheint. Die Bewertung des generierbaren Nutzens ist komplex und aufwändig sowie vielfach nur fall- bzw. anwendungsspezifisch möglich.

3.3 Herausforderungen

Entwicklungen im Zusammenhang mit der Thematik „Wasserwirtschaft 4.0“ stoßen teilweise an Grenzen vorhandener Organisationsstrukturen und Handlungsmaxime. Im Rahmen der Online-Befragung im Vorfeld des Workshops wurde als Hemmnis für die Ausschöpfung von Potenzialen vor allem die Organisation der Datenbereitstellung und -haltung, fehlende Fachkräfte und unzureichende Ausbildungsprofile der Beschäftigten in der Wasserwirtschaft benannt. Im Zusammenhang mit der Organisation der Datenbereitstellung und -haltung ist auch die hemmend wirkende unzureichende Standardisierung und / oder Harmonisierung bei der

Bereitstellung und Nutzung von Daten zu nennen. Vereinzelt wurde außerdem auf eine unzureichende Verfügbarkeit von digitalen Produkten und Diensten (z. B. Karten, INSPIRE-Datensätze) hingewiesen. Von größerer Bedeutung sei jedoch die Zusammenführung von Daten vormals separater Datenquellen und die Vernetzung von Daten.

Weiterhin wurden rechtliche Zuständigkeiten und Unwägbarkeiten sowie Aspekte des Datenschutzes im Allgemeinen als bedeutende Hemmnisse eingestuft. Zu nennen sind u. a. unzureichend geregelte Aspekte bzgl. Zugang zu und Eigentum an Daten, die unzureichende Regelung der Nachnutzung von Daten sowie unterschiedliche Regelungen im Bereich Open-Data in den einzelnen Bundesländern. Umfassende Datenschutzanforderungen (wie DSGVO, EGovG und nur teilweise vorhandene und / oder nicht einheitliche entsprechende Länderregelungen) werden teilweise als Hemmnis für die weitere Verbreitung und Vernetzung angesehen, die Risiken weiterer Datenkonzentration und Sammlung sind allerdings auch weithin anerkannt worden. (vgl. Kapitel 4.2)

Der Umsetzungsstand der Digitalisierung bzw. „Wasserwirtschaft 4.0“-gerechter Angebote ist in den einzelnen Bundesländern, auf den verschiedenen Verwaltungsebenen, im Vergleich der Kommunen sowie der vielen wasserwirtschaftlichen Unternehmen und Verbände sehr unterschiedlich. Die DECHEMA beschreibt für die industrielle Wasserwirtschaft 4.0 Defizite bezüglich der Anpassung betrieblicher Organisationsformen und Verantwortlichkeitsstrukturen an „eine digitale Umwelt“ (DECHEMA 2018, S. 32). Sie sieht Verbesserungspotenziale in den Organisationsstrukturen, Kommunikation sowie der Aus- und Weiterbildung. Die „Anforderungen an Bedienpersonal und Organisationsstruktur [würden] in Bezug auf Flexibilität, Lernbereitschaft und Verständnis des Gesamtprozesses [...] steigen“ (DECHEMA 2018, S. 32). Entsprechende Aussagen lassen sich auch für Dienstleister der Wasserver- und Abwasserentsorgung treffen. So werden Kopplungen / Integration neuer technischer Prozesse mit Verwaltungsprozessen erst entwickelt, befinden sich bestenfalls am Beginn des Aufbaus. Dies gilt auch für die Kopplung neuer technischer Prozesse mit Managementprozessen. Die Schnittstellen zwischen Behörden / Verwaltung und Bürgern / Unternehmen sind auf kommunaler Ebene noch unzureichend ausgestaltet. Der Einsatz von IKT-basierten Lösungen in der Wasserwirtschaft kann bis hin zur Reorganisation von Arbeitsprozessen und Organisationsformen führen. Dies kann auch den Aufbau neuer Geschäftsmodelle umfassen, die vielfach angesprochen aber im Bereich der Wasserwirtschaft in der Praxis wenig ausgeprägt und umgesetzt sind (Wimmer und Hübner 2017). Generell scheinen Kommunikation und Kooperation der Akteure der Wasserwirtschaft sowie Schnittstellen zu anderen Sektoren unterentwickelt, auch im Vergleich zu anderen Sektoren.

Die Bedeutung der Schaffung interoperabler Schnittstellen findet sich auch im Strategiepapier der DECHEMA. Auch im Bereich der industriellen Wasserwirtschaft 4.0 werden in diesem Zusammenhang Defizite benannt: „Simulations- und Modellierungswerkzeuge [seien] weder durchgängig verfügbar noch integriert, Organisationseinheiten im Unternehmen [würden] abhängiger voneinander, die Komplexität der entstehenden Systeme [führe] zu langen Anlaufzeiten, verbunden mit erheblichen Investitions- und Personalkosten“ (DECHEMA 2018). Entsprechende Beschreibungen des Status-quo sind auch für die Schnittstelle Unternehmen / Verwaltung / Behörden zutreffend. Digitalisierung und die Gestaltung interoperabler Schnittstellen sind im industriellen, kommunalen Bereich und im regionalen Wasserressourcenmanagement unterschiedlich weit fortgeschritten und entwickeln sich nicht mit gleicher Geschwindigkeit weiter.

Trotz der weitgehenden Arbeiten zur Harmonisierung, Interoperabilität und Konnektivität wasserwirtschaftlicher Daten (z. B. INSPIRE, LAWA) werden auch im Bereich des E-Government die Umsetzung und Nutzung von „Wasserwirtschaft 4.0“-Lösungen durch uneinheitliche

Vorgehensweisen der zuständigen Behörden eingeschränkt. Die Arbeiten auf Ebene von Bund und Ländern zur Harmonisierung im Zusammenhang mit INSPIRE (vgl. Steckbrief 7: LAWA-Strategierahmen) sind im Vergleich zur kommunalen Ebene dabei weit fortgeschritten.

Der parallele Aufbruch in die Digitalisierung in mehreren Bereichen und Politikfeldern birgt die Gefahr der Entstehung inkompatibler nicht anschlussfähiger Lösungen. Deshalb sind einerseits technisch-inhaltliche Fragen zu bearbeiten, z. B. ob im Rahmen eines integrierten Managements gewisse Mindestanforderungen zu entwickeln sind, um die Aggregation und Nutzung neuer Informationen auch tatsächlich zu ermöglichen. Zum anderen sind wesentliche Zuständigkeitsfragen berührt, sowohl zwischen Bund und Ländern als auch auf den jeweiligen Ebenen zwischen unterschiedlichen Ressorts. Damit verbunden ist ein Kommunikations- und Koordinierungsbedarf verschiedener Akteure auf verschiedenen Verwaltungsebenen. Auf der Sachebene könnten sich weitere Eingriffs- und Fördernotwendigkeiten im Bereich „Wasserwirtschaft 4.0“ aus der Verbindung mit der Dezentralisierung (z. B. unterstützt durch dezentrale Regelkreise), dem Klimawandel und dem Fortschreiten des demographischen Wandels ergeben.

Steckbrief 7: LAWA-Strategierahmen ("STRATEGIERAHMEN ZENTRALE DIGITALE PRODUKTE DER WASSERWIRTSCHAFT")

Handlungsfeld	Übergreifend
Kurzbeschreibung/ Abstract	Der LAWA-Strategierahmen zielt auf die Erarbeitung nationaler (Daten-)Produkte, aus denen die Daten zur Umweltberichterstattung und Bereitstellungsanforderungen nach der INSPIRE-Richtlinie abgeleitet werden. Der Strategierahmen fungiert als Brücke zwischen den Anforderungen der Fachseite sowie den dezentralen und zentralen IT-Dienstleitern. Es wird angestrebt eine einheitliche Plattform für den Datenaustausch, die Datenbereitstellung und soweit erforderlich für die Datenhaltung zu nutzen.
Zielgruppe/Anwender	• Ersteller von gemeinsamen Produkten: Bund, Länder • Nutzer von gemeinsamen Produkten: EU, Bund, Länder, Dritte
Anlass/ Problembeschreibung	Die Zusammenarbeit in der Wasserwirtschaft wird zunehmend von der Digitalisierung beeinflusst. Das Aufbereiten, Recherchieren und Teilen von Daten / Informationen wird immer wichtiger. Der Datenaustausch und die Abgabe / Bereitstellung von Produkten (Auswertungen, Karten, Diensten) haben deutlich zugenommen. Die Kommunikation verläuft teilweise bilateral oder auch unmittelbar über beteiligte Personen. Darunter leiden die Transparenz der Abläufe und die Nachhaltigkeit der Produkte. Die Herausforderungen der Digitalisierung sind in der föderal strukturierten IT- und Verwaltungslandschaft (Bund / Bund, Bund / Länder) nur in Abstimmung und enger Zusammenarbeit zu bewältigen. Kommunikation und Kooperation zwischen den beteiligten staatlichen Verwaltungen ist die wesentliche Grundvoraussetzung, um die Chancen, die Technologien bieten, im Rahmen der verfügbaren Ressourcen nachhaltig nutzen zu können. Um die digitalen Anforderungen effizient, effektiv und im Sinne einer gemeinsamen IT-Governance zu bewältigen, bedarf es der Fortführung und der weiteren Verbesserung des horizontalen und vertikalen Zusammenwirkens.
Umwelt- bzw. Bürgernutzen/ Mehrwert	bessere Verfügbarkeit von Datensätzen aus Wasserwirtschaft und Meeresschutz
Ansprechpartner/ Beteiligte (evtl. Kontaktinformationen)	LAWA: http://www.lawa.de/Kontakt.html

Risiken	keine
Anwendungsbeispiel(e)	noch nicht vorhanden
Entwicklungsstand/ Zugang	abgestimmter Entwurf, gültig bis 2020
Projektlaufzeit und Kosten	• Zeit nach 2020 nach Bedarf (Die Anpassung / Fortschreibung des Strategierahmens erfolgt bei Bedarf aufgrund der Anforderungen aus dem LAWA-Arbeitsprogramm und der Fortschreibung / Weiterentwicklung der EU-Rechtsakte, EU-Reportinganforderungen und übergreifenden Strategien.) • Kosten nicht spezifiziert, Finanzierung über LAWA
Zukünftige Weiterentwicklung und Handlungsempfehlungen	Aufbau gemeinsamer Plattform (siehe auch Wasser-DE)
Weitere Informationen	-

Schieferdecker et al. gehen davon aus, „dass eine innovative technische Dateninfrastruktur als Datenaustauschsystem als Grundvoraussetzung für einen florierenden Urbanen Datenraum in den meisten deutschen Kommunen fehlt [...]. Das Vorhandensein einer technischen Dateninfrastruktur bildet [jedoch] die wichtigste Voraussetzung einer erstarkenden urbanen Datenwirtschaft.“ (2018, S. 26-27), (vgl. Steckbrief 8: Dataport).

Zum Aufbau weiterer 4.0-Anwendungen bzw. integrierter Bewirtschaftungskonzepte auf kommunaler und regionaler Ebene bedarf es vor diesem Hintergrund u. a. der Entwicklung und Verbreitung weiterer Standards. Tabelle 3 gibt einen Einblick in aktuelle Initiativen in der Wasserwirtschaft.

Tabelle 3: Laufende wasserbezogene Standardisierungsinitiativen (Europäische Kommission 2018, S. 37-38)

Organisation	Kurzbeschreibung und weiterführende Links
CEN / CENELEC / ETSI	<i>Funktionale Referenzarchitektur für die Kommunikation in intelligenten Messsystemen.</i> Ein europäischer Standard, der eine offene Architektur für Soft- und Hardware für intelligente Messsysteme umfasst. Durch standardisierte Schnittstellen und Datenaustauschformate wird eine sichere, bidirektionale Kommunikation unterstützt; erweiterte Informations-, Management-, und Kontrollsysteme für Konsumenten und Dienstleistungsunternehmen ermöglicht. ftp://ftp.cen.eu/cen/Sectors/List/Measurement/Smartmeters/CENCLCETSI_TR50572.pdf
Open Geospatial Consortium (OGC)	<i>HY_FEATURES.</i> Referenzmodell für reale, wasserbezogene Objekte und ihren Bezug zueinander gemäß Wasserwesen, definiert durch Semantik und Netzwerktopologie. http://www.opengeospatial.org/projects/groups/hydrofeatswg
ETSI	<i>SAREF Investigation for Water (DTR/SmartM2M-103547).</i> Bestimmung der Anforderungen eines initialen semantischen Modelles für den Wassersektor, basierend auf einem limitierten Set von Anwendungsfällen und existierenden und verfügbaren Datenmodellen.
ETSI	<i>Industry Specification Group „City Digital Profile“ (ISG CDP).</i> Vision der Gruppe ist: Eine schnellere Bereitstellung integrierter Services für Bürger sowie eines Entwicklungsplans für Technologien für Stadtregierungen durch die Promotion der Nutzung von Standards in replizierbaren Lösungspaketen. Städten den Kauf intelligenter Lösungen zu ermöglichen mit der Zuversicht, dass diese erweiterbar und konfigurierbar sind sowie interoperabel mit ähnlichen Services anderer Städte. Einen Entwicklungsplan für Standards in Smart Cities vorlegen, der das gesamte Technologiepaket berücksichtigt. Diese sollen von den kommunalen und nationalen Führungsebenen genutzt werden, um den Einsatz innovativer kommunaler Services zu beschleunigen. Erste bereichsübergreifende kommunale Anwendungen beinhalten: Gesundheits- und Sozialwesen (Anspruch auf Invaliditätsleistungen; Wohnbeihilfe; Wohnbedingungen; betreutes Wohnen)

	Gebäudemanagement und vernetztes Zuhause städtische Beleuchtung Wasser- und Abfallmanagement und Energie Transport und Mobilität umweltrelevante Themen wie Verschmutzung und Ressourcenoptimierung https://portal.etsi.org/Portals/0/TBpages/CDP/Docs/ISG_CDP_ToR_DG_Approved_20171011.pdf
OGC	<i>WaterML2.0</i> . Standardisiertes Informationsmodell zur Darstellung wasserbezogener Beobachtungsdaten mit der Absicht der Ermöglichung des Austauschs solcher Datensätze mit existierenden OGC Standards über Informationssysteme hinweg. http://www.opengeospatial.org/projects/groups/waterml2.0swg
INSPIRE	<i>INSPIRE Richtlinie</i> . EU-weite Referenzarchitektur für den Austausch von Datensätzen zwischen EU-Ländern http://inspire.ec.europa.eu
ISO/IEC	<i>Sensornetze: Allgemeine Anwendungsschnittstelle zum Sensornetz (ISO/IEC 30128)</i> . Internationaler Standard, der operative Anforderungen für die allgemeine Anwendung von Sensornetzwerken abbildet, sowie Fähigkeiten von Sensornetzwerken und vorgeschriebene und optionale Schnittstellen zwischen den Anwendungen beschreibt.
ITU-T	Ubiquitous Sensor Network (USN) Middleware, Anwendungen, Identifizierung (<i>F.744 Standard</i>). Leistungsbeschreibung für USN sowie Anforderungen an USN Middleware.
ISO/TC	<i>ISO/TC 282</i> . Standardisierung von Wasseraufbereitung und -wiederverwendung aller Art und für alle Zwecke. Deckt zentralisierte, dezentralisierte, vor-Ort-Aufbereitung, direkte und indirekte, sowie zielgerichtete und unbeabsichtigte Aufbereitung ab. Beinhaltet technische, ökonomische, wirtschaftliche und soziale Aspekte der Wasseraufbereitung. Umfasst einen Teil der Schritte und Operationen für Aufnahme, den Transport, Verarbeitung, Speicherung, Verteilung, Nutzung, Entwässerung sowie anderer Handlungsschritte im Umgang mit Abwasser, einschließlich mehrmaliger und kaskadenhafter Wasseraufbereitung. https://iso.org/committee/4856734.html
PSA	<i>WITS Standard Protocol</i> . Standardisierte Methode für die Wasserindustrie im Bereich Controlling und Monitoring mit Fernmesstechnik. Das Standardprotokoll macht Ausrüstung unterschiedlicher Hersteller durch die Nutzung von Funktionen des DNP3 Protokolls interoperabel. Hierdurch sollen die spezifischen funktionalen Anforderungen der Wasserwirtschaft erfüllt werden. http://www.witsprotocol.org
AIOTI	<i>Referenzarchitektur</i> . Referenzarchitektur für IKT und semantisches Datenmodell basierend auf dem ISO/IEC/IEEE 42010 Standard zur Repräsentation von IoT-Einheiten und Services. Die Referenzarchitektur verläuft quer durch eine Reihe von Sektoren, einschließlich Wasser. https://aioti.eu/wp-content/uploads/2017/06/AIOTI-HLA-R3-June-2017.pdf
W3C	<i>Arbeitsgruppe Internet der Dinge</i> . Resource Description Framework (RDF) und Linked-Data Vokabular zur Reduzierung der Fragmentierung durch IoT-Geräte. Außerdem Bereitstellung von best Practices sowie dazugehörige Programmschnittstellen um semantische Interoperabilität innerhalb der Smart City zu ermöglichen. <i>IoT-Schema.org</i> . Erweiterung des Schema.org Datenmodells zur Modellierung von IoT-Einheiten mit einem Fokus auf Energie, Transport und Wasserinfrastrukturen.

Für eine fachgerechte, nachhaltige Umsetzung ist die Unterstützung des Ausbaus der Kompetenzen aller beteiligten Akteure im Umgang mit der Thematik von herausragender Bedeutung. Den Akteuren vor Ort kommt die Aufgabe zu, Gestaltungspotenziale zu nutzen und Risiken adäquat zu adressieren. Dabei ist „eine eindeutige Definition des Integrations- / Optimierungsziels [...] aufwändig“ und die Bewertung der Wirtschaftlichkeit von Maßnahmen komplex. Die wirtschaftliche Quantifizierung des Werts der Daten fehlt. Viele der größeren Wasserver- und Abwasserentsorger haben Instrumente zur Strategieentwicklung und / oder Bewertung konkreter Vorhaben (Reichert 2016), (Althoff und Holtmeier 2017), (Wulf 2017) im Zusammenhang mit dem Einsatz von IKT entwickelt und implementiert. In der Regel wird hierbei eine systemisch ausgerichtete, auf kontinuierliche Anwendung und Weiterentwicklung ausgerichtete Vorgehensweise gewählt. Dadurch soll die Auswahl und nachhaltige Gestaltung und Umsetzung IKT-bezogener Maßnahmen gewährleistet werden. Dabei werden die verschiedenen Unternehmensbereiche, -ebenen und -prozesse integriert betrachtet. Einen Branchenstandard diesbezüglich gibt es jedoch noch nicht.

Fachlicher und finanzieller Unterstützungsbedarf insbesondere für kleinere Kommunen und wasserwirtschaftliche Unternehmen und Verbände scheint verbreitet notwendig. Für die Umsetzung konkreter Maßnahmen und Projekte der Verwaltung besteht finanzieller Unterstützungsbedarf.

Im folgenden Kapitel wird untersucht, inwiefern die skizzierten Potenziale ausreichend adressiert sowie durch welche politischen, administrativen und juristischen Rahmensetzungen die beschriebenen Herausforderungen und Risiken bei der Erschließung von Potenzialen begleitet werden sollten.

4 Defizitanalyse und Gestaltungsbedarf

4.1 Defizitanalyse

Entwicklungen unter dem Stichwort „Wasserwirtschaft 4.0“ sollten zuerst vor dem Hintergrund ihres Beitrags für das Erreichen wasserwirtschaftlicher Zielstellungen analysiert und bewertet werden (A). Beiträge in diesem Sinne können sich auf die Beibehaltung und Verbesserung der Wasserqualität sowie des Schutzes von Grund- und Oberflächengewässern in Deutschland, die Gewährleistung der Verfügbarkeit ausreichender Wassermengen in für die jeweiligen Anwendungen erforderlichen Wasserqualitäten und den Schutz von Leben, Gesundheit und Eigentum bei der Bewältigung von Hochwasserereignissen beziehen. Heute bestehende Defizite im Erreichen wasserwirtschaftlicher Ziele können durch Herausforderungen wie Klimawandel oder Nutzungskonflikte um verfügbare Wasserressourcen auch in Europa verschärft werden.

In zweiter Linie ist „Wasserwirtschaft 4.0“ in Bezug auf weitere Nutzenstiftung in angrenzenden Bereichen zu bewerten (B). Dies kann wie bereits beschrieben in verbesserten Informationen für die Landwirtschaft bestehen, in besseren Planungsgrundlagen für den Naturschutz oder die Stadtentwicklung oder in anderen Verbesserungen, die günstigstenfalls direkt den Bürgernutzen erhöhen. In beiden Themenfeldern A und B kann eine „Wasserwirtschaft 4.0“ zu nachhaltigkeitsbezogenen Zielen beitragen.

Darüber hinaus sind auch Beiträge wasserwirtschaftlicher Daten im weiteren Sinne zu neuen Dienstleistungen oder Produkten denkbar, die einen volkswirtschaftlichen Nutzen im Sinne der Entwicklung und des Wachstums wirtschaftlicher Aktivitäten begründen können (C).

In Kapitel 3 wurde dargestellt, welche Potenziale sich eröffnen bzw. sich aus dem verstärkten Einsatz von IKT vor diesem Hintergrund ergeben. Der Realisierung können Hemmnisse einerseits sowie Risiken bzw. Nachteile in anderen Kriterien / Zielen gegenüberstehen. National existieren keine Überblicksdarstellungen zu besonders relevanten Potenzialbereichen²⁴. Potenzialangaben im vorliegenden Bericht basieren auf Angaben betroffener Akteure, und wurden vor allem über Interviews und den Workshop eingeholt. Soweit Potenziale aufscheinen, bestehen im aktuell dynamischen Umfeld noch Wissenslücken bezüglich der Realisierbarkeit unter Kosten-Nutzen-Aspekten.

In diesem Zusammenhang werden folgende Fragen näher betrachtet:

- Wo zeigen sich Defizite in der bereits jetzt prinzipiell möglichen Realisierung von Nutzen für Umwelt und Bürger?
- Wo zeigen sich darüber hinaus strukturelle Defizite, aus denen sich strukturelle Gestaltungsanforderungen ergeben können?
- Wo zeigen sich Defizite im Umgang mit Risiken?

1. Zuerst wird der Frage nachgegangen, welche Defizite sich in der Realisierung von Nutzen für Umwelt und Bürger zeigen:

In Bezug auf wasserwirtschaftliche Ziele bestehen prinzipiell sehr weitreichende Einsatzmöglichkeiten der Digitalisierung in allen technologischen Prozessen der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung. Diese Möglichkeiten sind jedoch in der Praxis bisher erst zu einem geringen Teil erschlossen. 4.0 – Anwendungen sind derzeit ganz

²⁴ Stand August 2018, Redaktionsschluss des vorliegenden Berichts.

überwiegend punktuell, projekt- oder akteursbezogen. Die Digitalisierung von Teilprozessen mit dem Ergebnis der Automatisierung von Prozessschritten zielt dabei bisher vor allem auf betriebswirtschaftliche Vorteile in der Leistungserbringung. Hier erreichte Effizienzgewinne sind geeignet, die Belastung von Kunden und Gebührenzahlern zu begrenzen. Dabei gilt es, auch solche indirekten Nutzen hinreichend transparent zu machen. Direkte Zusatznutzen, d. h. weitergehende Vorteile für den Bürger und die Umwelt, entstehen bisher dadurch in der Regel nicht.

Begrenzt wird der Einsatz weniger durch die technischen Möglichkeiten als durch die vorhandene technische Ausstattung, die Organisation der technischen Prozesse und die Kompetenz der Mitarbeiter. Wie auch in anderen Sektoren, kann bei den wasserwirtschaftlichen Aufgabenträgern von einem Digitalisierungsreifegrad gesprochen werden, der zurzeit beim größten Teil der Ver- und Entsorger eine umfassende Digitalisierung noch nicht ermöglicht. Hier besteht noch ein strukturelles Defizit, das sich umso schwieriger wird schließen lassen, je kleiner der Aufgabenträger ist und je dünner seine Personaldecke.

Zur umfassenden Digitalkompetenz gehört auch die Software, die die Aufgabenträger der kommunalen Wasserwirtschaft seit langem in Verwaltungs- und Planungsprozessen nutzen. Hier besteht häufig noch ein gewachsenes Nebeneinander verschiedener Systeme für verschiedene Aufgaben, mit der Folge, dass Datentransfers zwischen den Systemen nicht automatisiert erfolgen können, sondern oft genug noch manuelle Eingriffe, den Austausch von Datenträgern oder Umformatierungen erfordern. Auch hier besteht ein hohes Integrationspotenzial.

Auf einer weiteren Integrationsstufe wäre dann an die systemare Verknüpfung der technischen Prozesse mit den Verwaltungs- und Planungsprozessen zu denken.

Auch bei den staatlichen Einrichtungen der Wasserwirtschaftsverwaltung wird der indirekte Nutzen für die Bürger durch die Digitalisierung von Teilprozessen häufig nicht ausreichend transparent. Die staatliche Wasserwirtschaftsverwaltung nutzt seit langem vielfältige Softwareinstrumente. Auch hier besteht ein gewachsenes Nebeneinander und ein Integrationsdefizit. Perspektivisch wird die Integration dieser Instrumente unterstützt durch die weitgespannten Initiativen von Bund und Ländern zur Beschleunigung der Digitalisierung der staatlichen Verwaltung (s. o. Kap. 2.2.2 und 2.2.3). Neben der Integration der Softwareinstrumente könnte auch bereits heute die Datennutzung über die Zuständigkeitsgrenzen von Abteilungen und Organisationseinheiten erleichtert und damit auch beschleunigt werden. Studien über die Höhe des durch den Abbau solcher Barrieren verwaltungsintern erschließbaren Effizienzpotenzials in der Wasserwirtschaft lagen jedoch nicht vor. Zukünftig sollte bei allen neuen Vorhaben verstärkt auf eine integrative Entwicklung von 4.0-Anwendungen geachtet werden.

Die Potenziale der Fernerkundung (Satelliten- und Radardaten) sind bisher nur zu einem geringen Umfang erschlossen. Dies betrifft auch Satellitendaten des Copernicus-Programms, zu denen ein erleichterter Zugang gefordert wurde. Schon heute könnte mehr Gebrauch von Satellitendaten gemacht werden, anlassbezogen oder in Form periodischer Auswertungen im Rahmen der allgemeinen Ressourcenüberwachung.

Die direkte Kopplung eines physischen Messprozesses mit einem Modellierungsprozess und die nachfolgende Nutzung des Ergebnisses in einem weiteren Prozessschritt als Steuerungsgröße ist noch nicht weiter verbreitet, obwohl positive Beispiele einfacher (Wehrsteuerung an Bundeswasserstraßen) oder komplexer Art (Stadtentwässerung Aarhus) vorliegen. In der Kopplung solcher Kombinationsanwendungen mit nachfolgenden Prozessschritten, die automatisch eine physische oder administrative Aktivität auslösen, wird ein weites Potenzial

gesehen (z. B. durch Versand von Push-mails beim Erreichen bestimmter Pegelstände). Grundlagen und Voraussetzungen solcher 4.0-Anwendungen sollten in gemeinsamen Positionierungen definiert werden.

Schließlich eröffnet die Digitalisierung auch vielfältige Möglichkeiten, Stoffeinträge in Gewässer und Umwelt noch effizienter zu überwachen. Hier kann ein unmittelbarer Nutzen für die Gewässer- und Umweltqualität erwartet werden. Vorhandene Gestaltungsmöglichkeiten werden hier bisher zögerlich oder gar nicht genutzt.

Grundsätzlich nützt ein durch Digitalisierung unterstütztes effizienteres und besseres Monitoring des Gewässerzustands und der Gewässerqualität allen Wasser- und Gewässernutzern, die nicht selten konkurrierende Nutzungsansprüche haben. In diesem Zusammenhang wurden bereits sowohl Naturschutz und Landwirtschaft genannt als auch die Stadtentwicklung.

Die Potenziale von „win-win“-Lösungen für die Landwirtschaft und den Gewässerschutz u. a. durch Reduktionen des Austrags von Stickstoff- und Pflanzenschutzmitteln sind bisher grundsätzlich begründet aber wenig konkret. Sie sollten detailliert und quantifiziert werden. Dabei sollte auch festgestellt werden, welche Daten die beteiligten Sektoren oder Institutionen jeweils benötigen.

Die Belange der Wasserwirtschaft sind in der Stadtplanung in der Regel dem Planungsprozess nachgeordnet und nicht integraler Bestandteil. Dies betrifft sowohl die möglichen Angebote und Beiträge einer digitalisierten Wasserwirtschaft zur Schadensvorsorge, zur Energieeffizienz und zum Stadtklima als auch deren Anforderungen in dem Stadtplanungs- und Entwicklungsprozess. Eine stärkere und frühere Berücksichtigung von Wasserthemen im Sinne einer nachhaltigen integrierten Stadtentwicklung ist Gegenstand verschiedener Forschungsprojekte und muss auch beim Aufbau sog. Urbaner Datenräume mehr Beachtung finden.

Grundsätzlich ist bei der Bereitstellung wasserwirtschaftlicher Dienstleistungen auf ein angemessenes Kosten-Nutzen-Verhältnis zu achten. Die hohe Komplexität und der hohe Aufwand für die Bewertung des Kosten-Nutzen-Verhältnisses von Maßnahmen (u. a. durch die Schwierigkeit, den Nutzen zu bestimmen) erschwert die Entscheidung für die Umsetzung von Maßnahmen. Nicht zuletzt sind für Akzeptanz und zur Adressierung der Komplexität und Vielfalt an Akteuren und Interessen geeignete Governance-Strukturen als Rahmensetzung notwendig.

2. Wo zeigen sich strukturelle Defizite, die der Realisierung von Nutzen für Umwelt und Bürger entgegenstehen? Wo bestehen Wissenslücken bzgl. neuer Gestaltungsanforderungen – notwendiger Veränderungen gegenüber dem Status-quo der Bereitstellung wasserwirtschaftlicher Dienstleistungen, der Bewirtschaftung von Gewässern und dem Hochwasserrisikomanagement?

Die Entwicklung und Implementierung von 4.0-Anwendungen über die Effizienzsteigerung bestehender Prozesse hinaus hat gerade erst begonnen. Die Hebung von Potenzialen erfordert teilweise die Reorganisation von Arbeitsprozessen bis hin zu neuen Organisationsformen. Personal, betriebliche und behördliche Organisationsformen und Verantwortlichkeitsstrukturen müssen an die sich verändernden Rahmenbedingungen angepasst werden. In welchem Umfang sich die Management- bzw. administrativen Prozesse restrukturieren und anpassen müssen, ist zurzeit nicht absehbar und bedarf weiterer Untersuchungen für die jeweiligen Anwendungsbereiche.

Digitalisierung beeinflusst weite Bereiche der Gesellschaft und Wirtschaft. Die Auswirkungen auf die Daseinsvorsorge, hier die Bereitstellung wasserwirtschaftlicher Dienstleistungen im Besonderen, sind bisher erst in Ansätzen erfasst. Zu adressieren sind Fragen wie die Sicherung

des Zugriffs auf relevante Daten, die wirtschaftliche Betätigung von Kommunen und Unternehmen der Ver- und Entsorgung, die Abgrenzung gebührenrelevanter Tätigkeiten und Aufgaben sowie Pflichten und Rechte des öffentlichen Sektors in digitalen Märkten und sog. Datenräumen. Eine Positionierung der Wasserwirtschaft zu Form und Umfang der Beteiligung an der Hebung wirtschaftlicher Potenziale im Zusammenhang mit der Digitalisierung sowie der Entwicklung sog. Urbaner Datenräume existiert nicht. Die zu erwartende Datennutzung durch neue Dienstleister mit neuen Geschäftsmodellen wird Auswirkungen auf (kommunale) Unternehmen der Ver- und Entsorgung und Effekte für Umwelt und Bürger haben. Auch hier fehlen Wirkungsabschätzungen.

Daten aus der Ver- und Entsorgung (Wasserwirtschaft) sind interessant für die Allgemeinheit (Daseinsvorsorge und Forschung), aber auch für private Anbieter, die mit den Daten ihr Geld verdienen würden, z. B. indem sie als intermediäre Dienstleister mit größerer Verhandlungsmacht alle Versorgungsdienstleistungen zum jeweils günstigsten Tarif aus einer Hand anbieten könnten. Einfluss und Auswirkungen solcher Entwicklungen sowie eine einheitliche und / oder eindeutige Positionierung der wasserwirtschaftlichen Unternehmen hierzu wurden nicht deutlich.

Datensätze, digitale Produkte und Dienste werden von einer Vielzahl an Akteuren bzw. Institutionen bereitgestellt. Der Bekanntheitsgrad ist gering, Wissen zu Zugangsmöglichkeiten zu wenig verbreitet, teilweise entstehen durch ungünstige Zuständigkeiten unnötiger Kosten- und Zeitaufwand für den Nutzer. Die Qualität der Daten und verwendete Datenformate sind unterschiedlich. Es bedarf der Zusammenführung von Daten mehrerer vormals separater Datenquellen, z. B. auf Plattformen. Auf die Bedeutung von Metadaten wird hingewiesen.

Es stehen zunehmend Datensätze öffentlicher und privater Anbieter zur Verfügung bzw. werden diese miteinander verknüpft und darauf aufbauend Produkte und Dienste angeboten oder die Daten fließen in 4.0-Anwendungen ein. Die notwendigen Rahmenbedingungen und Anforderungen an die Bereitstellung sowohl öffentlicher als auch privater Daten und der Nutzung für 4.0-Anwendungen im privaten aber auch im öffentlichen Bereich sind aktuell nicht ausreichend definiert. Geeignete Schutz-, Governance- und Kontrollmechanismen fehlen derzeit.

Gleichzeitig müssen die Datenbereitstellung und Produktentwicklung stärker von der Perspektive des Nutzers gedacht werden und weniger aus der Perspektive der anbietenden Organisation. Hier bleibt offen, wie die Abstimmung der Bereitstellung öffentlicher Daten auf die Bedürfnisse potenzieller Anwender bzw. 4.0-Anwendungen organisiert werden kann.

Die Aktivitäten zur Zielbestimmung von Digitalisierungsprozessen in der Wasserwirtschaft scheinen in Bezug auf die technologische Entwicklung und organisationale Einbettung auf EU-Ebene weiter vorangeschritten zu sein als in Deutschland. Eine stärkere Anknüpfung an und Vernetzung mit diesen Entwicklungen (angesprochen wurden ICT4water, SEIS/WISE, EIF COM (2017) 134) ist anzustreben.

Für eine nachhaltigere breite Implementierung von 4.0-Anwendungen sind weitere Prozesse, physische Systembestandteile und analog vorliegende Informationen zu digitalisieren. Hierfür sind harmonisierte, interoperable Vorgehensweisen anzustreben. Einen Beitrag hierfür können sog. Referenzarchitekturen leisten. Standardisierung und Harmonisierung der Datenerfassung und -haltung sind weiter voranzutreiben.

Für die Entwicklung und Verbreitung weiterer 4.0-Anwendungen müssen auf die jeweilige Nutzung (z. B. Planungsprozesse) abgestimmte Werkzeuge entwickelt werden, die die Beteiligung verschiedener Akteure, die Einbindung standardisierter Datensätze und die

Verwendung unterschiedlicher IT-Infrastruktur (Interoperabilität und Technikneutralität) unterstützen.

Bezüglich der Bereitstellung und Nutzung von Daten gelte es verstärkt auf die Nutzung von Diensten anstatt der von digitalen Produkten / Daten (Datensparsamkeit, Speicherkapazitäten) zu bauen. Dies erfordere ein Umdenken/Mentalitätswechsel im Umgang mit Daten.

Schließlich können die mit der Digitalisierung zur Verfügung stehenden neuen Gestaltungsmöglichkeiten und Optimierungspotenziale Änderungsbedarf am technischen Regelwerk hervorrufen. Entsprechende Auswirkungen werden bspw. im UBA-Forschungsvorhaben UFOPLAN 2016 FKZ 3716 15 106 0 „Smarte umweltrelevante Infrastrukturen“ näher untersucht.

3. Wo zeigen sich Defizite im Umgang mit Risiken? Wo bestehen Wissenslücken bzgl. zu adressierender Risiken und dem Umgang mit ihnen?

„Wasserwirtschaft 4.0“ umfasst auch kritische Infrastrukturen. Damit in Verbindung stehende Aspekte sind nicht Gegenstand des Forschungsvorhabens. Für weitere Informationen wird auf den Branchenarbeitskreis im UP KRITIS – Wasser / Abwasser, https://www.kritis.bund.de/SubSites/Kritis/DE/Aktivitaeten/Nationales/UPK/UPKOrganisation/UPKBAK/upk_bak_node.html verwiesen. Dies gilt auch für die Sicherheit Cyber-Physischer-Systeme und Fragen der IT-Sicherheit allgemein.

Weiterhin werden einerseits zu umfassende Datenschutzanforderungen und andererseits die unzureichende Auslegung dieser Anforderungen für eine „Wasserwirtschaft 4.0“ als Hemmnis beschrieben. Im Zusammenhang mit dem Aufbau Urbaner Datenräume wird das Ergreifen von Maßnahmen zur Sicherung des Zugangs zu relevanten Daten empfohlen (vgl. Schieferdecker et al. 2018). Der Aufbau ausreichender Schutz-, Regelungs- und Governancestrukturen scheint nur mittelfristig realisierbar. Entsprechende Aktivitäten der Wasserwirtschaft sind zu überprüfen, zu koordinieren und auszubauen.

4.0-Anwendungen bzw. automatisierte Prozesse können teilweise noch zu starr oder unvollständig sein, Übertragungswege ausfallen. Daraus können Fehlentscheidungen, Fehlsteuerungen und / oder Zeitverzögerungen hervorgehen.

Digitale Prozessintegration über verschiedene Ebenen und die Nutzung von Daten aus unterschiedlichen Quellen erhöht die gegenseitige Abhängigkeit, z. B. von Organisationseinheiten innerhalb eines Unternehmens voneinander, und damit die Komplexität des Gesamtsystems. Dies kann Resilienz mindernde Wirkungen haben und erfordert den bewussten Einsatz Resilienz erhöhender Maßnahmen auf den verschiedenen Handlungsebenen der Wasserwirtschaft.

Entwicklung und Einsatz von 4.0-Anwendungen sowie zugehöriger Komponenten ist unterschiedlich weit fortgeschritten bzw. verbreitet und entwickelt sich mit unterschiedlicher Geschwindigkeit weiter. Nicht alle Akteure sind gleichermaßen an diesen Prozessen beteiligt. Es sollten Aktivitäten zum Ausgleich von Unterschieden in Verfügbarkeit von Informationen und Know-How der verschiedenen Akteure unternommen werden.

4.2 Notwendige Rahmenbedingungen, Anforderungen an Politik und Verwaltung

Die zunehmende Digitalisierung eröffnet der Wasserwirtschaft neue Möglichkeiten ihre Dienstleistungen nachhaltig bereitzustellen und wasserwirtschaftliche Herausforderungen wie den Klimawandel zu adressieren. Gleichzeitig stellt sie die wasserwirtschaftlichen Akteure selbst

vor neue Herausforderungen. Digitalisierung beeinflusst alle Lebens- und Wirtschaftsbereiche bis hin zu grundlegenden strukturellen Veränderungen. Der digitale Wandel bedarf einer aktiven Gestaltung sowie der Begleitung diesbezüglicher Aktivitäten durch Politik und Verwaltung. Organisationsstrukturen und Handlungsmaxime sowie Branchenstandards sind zu überprüfen und ggf. weiterzuentwickeln.

Konkret lassen sich folgende Anforderungen identifizieren:

Politisch

- ▶ Die Unterstützung gesellschaftlicher Abstimmungsprozesse allgemein.
- ▶ Die Förderung von politischem Willen zur Kooperation, insbesondere auf Ebene der Fachverwaltungen der Länder.
- ▶ Die Weiterentwicklung des Rechtsrahmens und technischen Regelwerks, Entwicklung von Positionspapieren und Verhaltenskodexen der Branche.
- ▶ Die Bereitstellung von Hardware, IT- und Internetinfrastruktur, besonders in ländlichen Regionen.
- ▶ Personalentwicklung und Unterstützung, Kompetenzauf- und ausbau.
- ▶ Der Aufbau von Schutz-, Governance-, Kooperations- und Kontrollmechanismen.
- ▶ Es besteht außerdem fachlicher und finanzieller Unterstützungsbedarf insbesondere für kleinere Kommunen und wasserwirtschaftliche Unternehmen und Verbände, z. B. für die Umsetzung konkreter Maßnahmen und Projekte der Verwaltung.

Administrativ

- ▶ Der Aufbau eigener und die Beteiligung an der Entwicklung z. B. kommunaler Referenzarchitekturen.
- ▶ Die Digitalisierung analog vorliegender Daten (z. B. der Fachverwaltungen auf kommunaler Ebene).
- ▶ Eine verstärkte Unterstützung von Entwicklung und Verbreitung von Standards, u. a. durch Aufnahme entsprechender Anforderungen in öffentliche Ausschreibungen.
- ▶ Die Evaluierung verfügbarer Datensätze bzgl. der Verwertbarkeit durch Dritte sowie Recherche nach Datensätzen, die für die eigene Aufgabenerledigung hilfreich sein könnten.
- ▶ Bessere Unterstützung der Bereitstellung verfügbarer Datensätze in interoperabler Form.
- ▶ Die Schaffung von Plattformen zur Zusammenführung von Daten unterschiedlicher Quellen.
- ▶ Die Unterstützung einer weiteren Harmonisierung in Verwaltung / Behörden auf und zwischen den verschiedenen Ebenen.
- ▶ Die Analyse und Ausweitung der Realisierung von 4.0-Anwendungen, insbesondere auf kommunaler Ebene.

- ▶ Eine Überprüfung und Umsetzung notwendiger struktureller und Prozessanpassungen in der Verwaltung und an der Schnittstelle zu Bürgern und Unternehmen sowie zwischen verschiedenen Fachabteilungen der Verwaltung.
- ▶ Eine Thematisierung von Akzeptanz und Rechtssicherheit der Verwendung von Modellierungsergebnissen in Planung, Genehmigung und Überwachung.
- ▶ Bereitstellung von Hardware, IT- und Internetinfrastruktur.
- ▶ Personalentwicklung und Unterstützung, Kompetenzauf- und ausbau.
- ▶ Aufbau von Schutz-, Governance-, Kooperations- und Kontrollmechanismen.
- ▶ Ausbau von Beteiligungsmöglichkeiten an der Charakterisierung und Gestaltung von für 4.0-Anwendungen relevanten Schnittstellen, Kommunikations- und Kooperationsaktivitäten.

Juristisch

Die ebenso dynamisch wie zunehmend komplex voranschreitende Digitalisierung nahezu sämtlicher Lebensbereiche stellt auch – wenn nicht insbesondere – das Recht vor Herausforderungen. In gewisser Weise entzieht sich der enorm schnelllebige und zugleich Staats- und Ländergrenzen übergreifende „digitale“ Prozess dem Zugriff des Rechts: Nicht von ungefähr wurde in der Online-Befragung zu dieser Studie herkömmliche Gesetzgebung als zu träge empfunden und wird befürchtet, dass allein nationale Regelungen zu kurz greifen. Andererseits verlangen gerade auch „disruptive“ Prozesse nach juristischer Flankierung bzw. nach Ordnung zentraler Aspekte rund um Aufgaben-, Verantwortungs- und Haftungsverteilungen in neuen Akteurskonstellationen zwischen Staat und Gesellschaft wie zwischen staatlichen und internationalen und / oder supranationalen Instanzen. Absehbar ist freilich auch, dass selbst die Setzung und Anwendung juristischer Regeln in Zukunft und über bereits vorhandene Ansätze zur Automatisierung der öffentlichen Verwaltung (*E-Government*) hinaus zunehmend digital, d. h. automatisiert und auf Initiative nicht nur „öffentlicher“ Stellen (EU, Bund und Länder) sondern zunehmend kooperativ bis „selbstregulativ“, bspw. mittels *blockchain*-Anwendungen durch die Marktakteure selbst, erfolgen wird. Dies dürfte der in der Praxisbefragung zum vorliegenden Projekt wiederholt geforderten „zügigeren“ Setzung von rechtlichen Standards und Rahmenbedingungen entgegenkommen, wirft zugleich aber neue Fragen der Verantwortungsteilung und Prozesskoordination und -kontrolle auf.

Einstweilen bildet die Entwicklung eines Rechtsrahmens für die „Digitalisierung“ im Allgemeinen und im Besonderen für das Thema „Wasserwirtschaft 4.0“ ein *Entdeckungsverfahren* bzw. „lernendes System“, dass nur als schrittweises Vorgehen unter sukzessiver Abarbeitung einzelner Problembereiche und Fragestellungen vorstellbar ist. Im Zuge der Untersuchung wurden insofern die folgenden Problembereiche und nur zum Teil auch denkbare Lösungsansätze – *de lege lata* oder rechtspolitisch und *de lege ferenda* – thematisiert:

(1) Digitale Infrastruktur

„Digitale“ Paradigmenwechsel in der Wasserwirtschaft erfordern zunächst einmal eine hinreichende technische (IT-)Infrastruktur („Hardware“). Dies betrifft, wie oben schon angesprochen, geeignete, d. h. kapazitär und qualitativ angemessene, insbesondere auch allseits kompatible Datenplattformen und -schnittstellen („Datendrehscheiben“). Dazu sind etwa sektorbezogene und im Gesetzes-/ Verordnungswege oder mittels DIN-Normung festzulegende Technikstandards denkbar. Vor allem aber ist – als Basisinfrastruktur für den großvolumigen

Datenaustausch und neben der anstehenden Frequenzversteigerung für die fünfte Mobilfunkgeneration (5G) – der sog. „Breitbandausbau“, u. U. seinerseits „kabellos“ mittels Satelliten- und Funktechnik, voranzutreiben bzw. gilt es, hierzulande weiterhin und im internationalen Vergleich übermäßig bestehende „Breitbandklüften“ – insbesondere auf dem Land und mit Blick auch auf den Datentransfer in und aus der Landwirtschaft – zu schließen. Empfehlenswert erscheinen vor dem Hintergrund bestehender Konkurrenzen (Alleingänge einzelner Länder; Wettlauf um öffentliche Förderungen bzw. zwischen öffentlichen / kommunalen Ausbauprojekten und einem „Rosinenpicken“ privatwirtschaftlicher Netzbetreiber – Stichwort: Vectoring-Streit mit der *Dt. Telekom AG*) verbindliche(re) Vorgaben des Bundesgesetzgebers, bspw. in Form von Mindeststandards für die digitale „Grundversorgung“ eines jeden Bürgers, wie sie etwa in Japan, Finnland und der Schweiz existieren. Zum bevorstehenden 5G-Rollout mit Versteigerung diesbezüglicher Frequenzen sehen die Vergabekriterien der BNetzA (mit Zustimmung der EU-Kommission) längerfristigen „Wettbewerbsschutz“ für Investoren gegenüber Netzzugangsbegehren Dritter vor. Dies wird in der Branche stark kritisiert, dient dies aber der Investitions- und Planungssicherheit zwecks effizienten Aufbaus zukunftstauglicher IT-Infrastrukturen. (Fremd-) Anbieter digitaler Dienstleistungen und deren potenzielle Kunden etwa in der Wasserwirtschaft haben insofern freilich – erst einmal – das Nachsehen.

Auf der Basis einmal vorhandener, quantitativ wie qualitativ angemessener Netzinfrastrukturen sind sodann geeignete Plattformen für den Datenaustausch resp. „Datendrehscheiben“ zu organisieren. Auch insoweit stellt sich, abhängig auch von Eigentum und Nutzungsrechten an Daten, die Frage der Verantwortungsteilung bzw. ist erstens zu entscheiden, *wo* Datenplattformen sinnvoller Weise institutionell anzusiedeln sind (Staat, Verbände, private Dienstleister oder bei den Marktakteuren selbst?). Des Weiteren ist der diskriminierungsfreie Zugang zu den Datenplattformen zu regeln und – durchaus entsprechend altbewährter juristischer Methodik – zu klären, wer von wem welche Daten (und warum?) herausverlangen, bearbeiten („veredeln“) und / oder an Dritte (welche?) weitergeben darf. Modellartig geregelt ist dies etwa für den Bereich der „intelligenten“ Stromnetze (*smart grids*) mit auszubauendem intelligenten Messwesen (*smart meter(ing)*) bereits mit dem sog. „Smart Meter Gateway“ nebst Regelung des „Smart-Meter-Gateway-Administrators“ nach dem Artikelgesetz zur Digitalisierung der Energiewende von 2016 und konkret nach den §§ 19 ff. des Gesetzes über den Messstellenbetrieb und die Datenkommunikation in intelligenten Energienetzen (Messstellenbetriebsgesetz, BGBl. 2016 I S. 2034). Ob und ggfs. inwieweit dieses Modell auch in der Wasserwirtschaft (bei bereits existierenden smarten Wasserzählern), bzw. auch in Kombination mit Energieverbrauchs-messung und -netzen, zur Anwendung gelangen kann, bedarf gewiss noch eingehender technischer, ökonomischer und juristischer Prüfung. Einen Schritt in diese Richtung bildet die vom BMWi geförderte Entwicklung einer Internetplattform „W-Net 4.0“, die der Bereitstellung zugleich von Geoinformations-, Simulations- und von Datenanalyse-Tools für alle Wasserversorgungsunternehmen dienen und damit (weitere) Potenziale der Digitalisierung für die Wasserwirtschaft erschließen soll²⁵.

Zu allem wird auch die Fortentwicklung des europäischen Rechtsrahmens für IT-Infrastrukturen zu beachten sein. Hinzuweisen ist dazu auf den im EU-Gesetzgebungsverfahren befindlichen Entwurf einer Verordnung zur Förderung von Fairness und Transparenz für gewerbliche Nutzer von Online-Vermittlungsdiensten²⁶. Wohlgemerkt soll dieses Regelwerk bislang nur die Transparenz (insbesondere in bezug auf Geschäftsbedingungen von Plattformen) sowie

²⁵ S. dazu Fraunhofer IOSB, Presseinformation v. 15.01.2019 („W-Net 4.0: Neue Web-Plattform soll Wasserversorgern Potenziale der Digitalisierung erschließen“).

²⁶ Nach Mitteilung der EU-Kommission v. 26.04.2018, COM(2018) 238 final.

Streitbeilegungsmechanismen für *kommerzielle* (Handels- bzw. Vermittlungs-) Plattformen regeln. Es sieht in diesem Anwendungsbereich aber auch Vorgaben für den Zugang zu und den Umgang mit personenbezogenen oder sonstigen Daten vor und erscheint es nicht ausgeschlossen, dass ähnliche Regelwerke künftig auch für nicht-kommerzielle bzw. rein informale „Datendrehscheiben“ entwickelt werden.

(2) Eigentum an sowie Schutz / Sicherheit von und Umgang mit Daten / Haftungsfragen

Maßgeblich bedarf es in der Wasserwirtschaft wie in der digitalen Welt im Allgemeinen eines hinreichend verlässlichen und praxistauglichen Rechtsrahmens hinsichtlich des Eigentums bzw. des Verfügungsrechts an Daten wie für deren Weiterverarbeitung („Veredelung“) und ihre Weitergabe an Dritte bzw. des möglichen entgeltlichen Handels mit Daten. Diesbezüglich befindet sich das Recht der Digitalisierung noch in den Anfängen bzw. ist es Gegenstand intensiver juristischer Forschung und Debatten²⁷. Im Besonderen betrifft dies auch den Umgang mit Daten öffentlicher Stellen, wie die Kontroverse um die von der EU-Kommission beabsichtigte Fortschreibung und Erweiterung der Richtlinie 2003/98/EG über die Weiterverwendung von Informationen des öffentlichen Sektors (sog. PSI-Richtlinie)²⁸ zeigt: Im Rahmen der Strategie „Digitaler Binnenmarkt“ und vor dem Hintergrund des Vorschlags zu einer – allgemeineren – Verordnung über den freien Verkehr nicht personenbezogener Daten in der EU²⁹ strebt der Entwurf u. a. an, die Anforderungen an die Datentransparenz³⁰ für gewerbliche und nicht gewerbliche Zwecke auch auf öffentliche Unternehmen im Sinne der (Sektorenvergabe-) Richtlinie 2014/25/EU, sofern die Daten bei der Erbringung von Dienstleistungen in allgemeinem wirtschaftlichem Interesse (Art. 106 Abs. 2 AEUV) anfallen, und damit auch auf (i.d.R. kommunale) Wasserversorgungsunternehmen auszudehnen.³¹ Gleichzeitig schlug die Kommission im Zuge der Überarbeitung der Trinkwasserrichtlinie 98/83/EG Bestimmungen über die gemeinsame Nutzung von Daten über die Wasserparameter im Wassersektor vor.³²

Auf nationaler Ebene existieren mit dem IWG sowie den Verwaltungs- und Umweltinformationsgesetzen von Bund und Ländern zum Teil divergierende bis lückenhafte, gelegentlich auch widersprüchliche Vorgaben über den Umgang mit Daten aus dem öffentlichen Sektor, zu denen sich noch bereichsspezifische Anforderungen an die Offenlegung von Daten im Bereich kritischer Infrastrukturen³³ sowie Sonderrechtsregime selbst auf kommunaler Ebene gesellen. Auch in der Befragung zur vorliegenden Studie wurden die unzureichenden

²⁷ Zur stark umstrittenen Frage nach einem „Eigentum“ an Daten eingehend und dogmatisch etwa das Referat von Marc Amstutz („Dateneigentum“) zur Tagung der Zivilrechtslehrervereinigung 2017, in: Archiv für die civilistische Praxis (AcP) Bd. 208 (2018), S. 438 ff., mit Diskussionsbericht ebda., S. 552 ff. Eher überwiegend wird schon aus technischen Gründen ein zivilrechtliches Eigentum bzw. Verfügungsrecht an digitalen Daten nicht für möglich gehalten, s. etwa Lothar Determann, Gegen Eigentumsrechte an Daten, ZD 2018, S. 503 ff.; im Überblick auch Nicola Jentzsch, Dateneigentum – eine gute Idee für die Datenökonomie?, hrsg. Von Stiftung Neue Verantwortung (Januar 2018), https://www.stiftung-nv.de/sites/default/files/nicola_jentzsch_dateneigentum.pdf.

²⁸ S. Vorschlag zur Neufassung der Richtlinie v. 25.04.2018, COM(2018) 234 final.

²⁹ Kommissionsvorschlag v. 13.09.2017, COM(2017) 495 final.

³⁰ Bislang umgesetzt im Gesetz über die Weiterverwendung von Informationen öffentlicher Stellen (Informationsweiterverwendungsgesetz – IWG) v. 13.12.2006 (BGBl. I S. 2913).

³¹ S. zur Diskussion etwa die Stellungnahme des CEEP v. 28.06.2018 (18SB07), https://www.ceep.eu/wp-content/uploads/2018/07/18SB07-CEEP-Key-Messages-on-PSI-Directive-review_20180629.pdf; ferner: Pressemitteilung des VKU zum Trilog-Verfahren („VKU warnt vor Wettbewerbsverzerrung“) v. 12.12.2018, <https://www.vku.de/presse/pressemitteilungen/psi-richtlinie-zu-daten-vku-warnt-vor-wettbewerbsverzerrung-und-plaedierte-fuer-subsidiaritaetsprinzip/>.

³² S. Mitteilung v. 1.02.2018, COM(2017) 753 final.

³³ Insbesondere nach den §§ 8a ff. BSI-Gesetz i.V.m. der Verordnung zur Bestimmung Kritischer Infrastrukturen nach dem BSI-Gesetz (BSI-KritisV), wohinter wiederum EU-rechtliche Vorgaben zum Schutz Kritischer Infrastrukturen stehen, namentlich in Gestalt der Richtlinie 2008/114/EG über die Ermittlung und Ausweisung europäischer kritischer Infrastrukturen sowie der Richtlinie 2016/1148/EU über Maßnahmen zur Gewährleistung eines hohen gemeinsamen Sicherheitsniveaus von Netz- und Informationssystemen.

Regelungen zur Nachnutzung von Daten bzw. unterschiedliche Open-Data-Regelungen in den Bundesländern („Flickenteppich“³⁴) moniert und wird es maßgeblich von der Fortentwicklung dieses bislang nur rudimentären Regelungsrahmens abhängen, ob und inwieweit Digitalisierungsoptionen im Bereich einer „Wasserwirtschaft 4.0“ umzusetzen sind oder eher nicht. Insonderheit wird es hier auch – bereichsspezifisch – darum gehen müssen, den Umgang mit Daten speziell aus der Wasserwirtschaft zwischen dem öffentlichen Sektor („Behördeninternum“), (Privat-) Unternehmen und ihrer möglichen Weitergabe an Dritte ein- und abzugrenzen. Letzteres soll nach Forderungen aus der Landwirtschaft etwa nur für ausgewählte „unkritische“ Datensätze in Betracht kommen.

Auch in Anforderungen zum Datenschutz und zur Datensicherheit bzw. in auch insoweit zu konstatierenden Regelungslücken und -widersprüchen im Bundes- und Landesrecht wurden bei Befragungen zu dieser Studie Hemmnisse für die Entwicklung neuer Anwendungen in der Wasserwirtschaft ausgemacht. Andererseits werden die Risiken weiterer Datenkonzentrationen und -sammlungen weithin anerkannt. Dementsprechend bilden die bislang vorhandenen – allgemeinen – Regelwerke zum Datenschutz (insbesondere: EU-Datenschutz-GVO, BDSG u. Landesdatenschutzgesetze, daneben auch im TelekommunikationsG und im TelemedienG) und zur Datensicherheit (namentlich: IT-SicherheitsG, BSI-G mit BSI-KritisV) einen Rahmen mit Leitplanken, innerhalb derer sich die Entwicklung digitaler Systeme auch in der Wasserwirtschaft zu bewegen hat. Zusätzlich ist, speziell mit Blick auf die Gestaltung wasserwirtschaftlicher Verwaltungsprozesse, auf die Regelungen zum elektronischen in den Verwaltungsverfahrensgesetzen (s. zentral z. B. § 3a und auch § 71e VwVfG Bund) sowie in den E-Government-Gesetzen von Bund und Ländern hinzuweisen.

Neben dem Zugang zu bzw. dem Umgang mit Daten sowie deren Sicherheit und Schutz werden schließlich Haftungsfragen aufgeworfen sein. Diese können sich entlang der gesamten Wertschöpfungskette einer digitalisierten Wasserwirtschaft stellen, beginnend bei der Datenerhebung und -verarbeitung über die Haftung für Datenverluste oder die Missachtung von Schutz- und Sicherheitsstandards namentlich von Plattformbetreibern bis hin zu Unterlassungs- und Schadensersatzansprüchen unter den Akteuren konkreter digitaler Anwendungsprogramme bzw. Geschäftsmodelle. Gegenstand juristischer Forschung wie rechtspolitischer Debatten sind daneben Haftungsfragen im Zuge von Maschine-Maschine-Kommunikationen (Internet der Dinge) und Künstlicher Intelligenz, bspw. für selbstlernende Algorithmen.³⁵ Potenziert sehen sich Fragen nach zivil- oder auch ordnungs- und strafrechtlichen Verantwortlichkeiten schließlich mit zunehmender Vernetzung unterschiedlicher IT- oder auch Messsysteme, bspw. bei unterschiedlichen Einleitgrenzwerten für Siedlungs- und Industrieabwässer.

(3) Umsetzung de lege ferenda: Entwicklung sektoraler wie horizontaler Regelungen zur Wasserwirtschaft

Geht es um einen künftigen und praxistauglichen Rechtsrahmen für die Digitalisierung im Wassersektor, wird es darauf ankommen, sowohl sektorspezifische aber auch horizontale Lösungen zu entwickeln. Diese haben sich wiederum im Rahmen übergeordneter Vorgaben der europäischen (Digitale Agenda für Europa / Digitaler Binnenmarkt) wie nationalen (Digitale Strategie 2025) Politikprogrammatik zu bewegen. Insgesamt empfiehlt sich eine abschichtende Vorgehensweise nach Regelungsebenen („wer regelt was und wo“) und Sachgebieten einer

³⁴ Dazu allgemein auch Fraunhofer FOKUS / IAIS / IMI, Urbane Datenräume – Möglichkeiten von Datenaustausch und Zusammenarbeit im urbanen Raum, Juni 2018, S. XIV f., 36 ff., 107 ff.; zum gegenwärtigen Regelungsrahmen auch rechtsvergleichend Ralf Schnieders, Die neue Open-(Government)-Data-Gesetzgebung in Frankreich und in Deutschland, DÖV 2018, 175 ff.

³⁵ S. z. B. für Haftungsfragen beim automatisierten Fahren Reiner Freise, VersR 2019, S. 65 ff.; für den Algorithmeninsatz im Gesundheitswesen Jann Ferlemann, NZS 2018, S. 56 ff.

digitalen Wasserwirtschaft, namentlich hinsichtlich infrastruktureller Anforderungen (Datennetze, -schnittstellen, -plattformen) und anwendungsbezogener Regelungen für konkrete Formen des Datenaustauschs (Geschäftsmodelle).

Bereichsspezifisch angezeigt sind namentlich Arrondierungen in den Grund- und Rahmengesetzen zur Wasserwirtschaft, namentlich im WHG und in den Landeswassergesetzen, sowie über dort schon jetzt ermöglichten elektronischen Anzeigen, Berichten und Stellungnahmen, etwa zur Bewirtschaftungsplanung, hinaus, bspw. hinsichtlich Datenschnittstellen, Datenweitergabe usw. sowie wünschenswert auch bezüglich IT-technischer Standardisierungen. Weitergehend mag auch an ein eigenes sowie sukzessiv fortzuschreibendes (Stichwort „lernendes System“) *Stammgesetz zur digitalen Wasserwirtschaft* gedacht werden, etwa nach Art des *Gesetzes zur Digitalisierung der Energiewende von 2016* mit dessen Kernstück in Gestalt des Messstellenbetriebsgesetzes.³⁶ Je mehr eine digitale Wasserwirtschaft über deren angestammte Handlungsfelder (Wasserbewirtschaftung, Trinkwasserver- und Abwasserentsorgung, Be- und Entwässerung) auf andere Wirtschaftssektoren wie namentlich die Land- und Forstwirtschaft ausgreift, erscheinen Anpassungen auch in übrigen einschlägigen Fachgesetzen angezeigt; für flankierende umweltrechtliche Regelwerke (z. B. zum Natur-, Landschafts-, Arten- und Bodenschutz) versteht sich dies von selbst.

Mit absehbar zunehmender Vernetzung digitaler Systeme im Wasserbereich und angrenzenden Wirtschaftssektoren wird auch an gebietsübergreifende *horizontale* Regulierungen zu denken sein. In den Blick zu nehmen ist hier namentlich die Ebene der kommunalen Daseinsvorsorge, schon weil Wasserver- und Abwasserentsorgung einschließlich wasserwirtschaftlicher Zweckverbände seit jeher zahlreiche Querbezüge zu anderen Versorgungssparten („kommunaler Querverbund“) wie zur Bauleitplanung auf Ortsebene aufweisen. Diese Vernetzungen werden im Zuge der Entwicklung „smarter“ Gemeinden, Städte und Landkreise, auch wohl bei der angedachten „Sektorkopplung“ der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien mit der Energieversorgung v. a. im Gebäude- und Verkehrssektor gewiss noch intensiviert werden – und empfehlen sich vor diesem Hintergrund Überlegungen zu einem neuen Regelungsrahmen für die „digitale Daseinsvorsorge“, vorzugsweise unter entsprechender Ergänzungen der Gemeinde- und Kreisordnungen in den Bundesländern, die angesichts um sich greifender Disparitäten insbesondere im kommunalen Wirtschaftsrecht der Länder schon aus Wettbewerbsgründen bundeseinheitlich(er) erfolgen sollten. Horizontale Anpassungen dürften sich des Weiteren im Hinblick auf das Fachplanungs- bzw. Anlagenzulassungsrecht und das Raumordnungsrecht (einschl. kommunaler Bauleitplanung) anbieten, etwa bezüglich der Verwertbarkeit und Nutzung von Live- und Echtzeitdaten bzw. digital erzeugter Modellierungen aus der Wasserwirtschaft in einschlägigen Planungs- und Genehmigungsverfahren. Branchenübergreifende Regelungen erscheinen schließlich und schon aus daten- und IT-technischen Gründen, aber auch angesichts ständig neuer digitaler Geschäftsmodelle in Form von Verbindungen mit dem Telekommunikations- und dem Telemedienrecht indiziert.

Die Gesetz- und Verordnungsgeber in Bund und Ländern verfügen im Übrigen über einen grundsätzlich breiten Gestaltungsspielraum hinsichtlich des zum Einsatz gelangenden Instrumentenmixes. Es reicht von klassisch ordnungsrechtlichen Instrumenten (Ge- und Verbote) über Anreizregulierungen bis hin zu staatlichen (z. B. Forschungs- oder Investitions-) Förderprogrammen. Von ordnungs- und aufsichtsrechtlichen Instrumenten wird im Bereich einer „Wasserwirtschaft 4.0“ umso eher Gebrauch zu machen sein, je mehr es um sicherheitsrelevante und gefahrensensitive Aspekte der digitalen Wasserwirtschaft geht oder

³⁶ S. zu bisherigen Erfahrungen das im Auftrag des BMWi entstandene „Barometer Digitalisierung der Energiewende – Modernisierungs- und Fortschrittsbarometer zum Grad der Digitalisierung der leitungsgebundenen Energiewirtschaft“, Ernst & Young 2018.

(Daten-) Schutzrechte tangiert sind. Bedeutsam erscheint das behutsame Austarieren von Instrumenten eigentlich staatlicher Steuerung mit solchen der gesellschaftlichen Selbstregulierung und / oder der dazwischenliegenden „kooperativen“ Regulierung. Der dynamische Prozess der Digitalisierung ist als lernendes System auch in der Wasserwirtschaft zwingend auf Wissensgenerierung „von allen Seiten“ angewiesen. „Hoheitliche“ Steuerung allein stieße hier schnell, wie schon die Erfahrungen im immer komplexeren Umwelt- und Technikrecht lehren, an den Rand begrenzter Knowhow- bzw. Personal- und Finanzressourcen; wünschenswerte Regulierung käme dann schlicht zu spät oder gar nicht zustande. Der heute so verstandene „Gewährleistungsstaat“ sollte sich insofern zunächst auf zentrale Rahmenvorgaben (namentlich zu Datenschnittstellen und -plattformen, Technikstandards, Datenschutz und -sicherheit) beschränken und die nähere Ausgestaltung insbesondere konkreter Datenaustausch- und Geschäftsprozesse – einschließlich erforderlicher Regelwerke – den involvierten Verwaltungs- und Marktakteuren zu überlassen. Modellhaft mag auch insoweit das Umwelt- und Technikrecht wirken und ist in punkto „kooperative“ Regulierung etwa an Zertifizierungs- und Labellinglösungen (Stichwort „Umweltaudit“) zu denken.

Bei der näheren Ausgestaltung eines Regulierungsinstrumentariums zu einer „Wasserwirtschaft 4.0“ wird schließlich der Bürger- und Öffentlichkeitsbeteiligung breiter Raum einzuräumen sein. Auch dies, wie schon gesagt, aus Gründen erschöpfenderer Wissensgenerierung sowie angesichts der gesamtgesellschaftlichen Herausforderungen, die mit der Digitalisierung einhergehen. Daneben geht es um die Herstellung möglichst breiter gesellschaftlicher Akzeptanz in Bezug auf neue Geschäftsmodelle und digitaler Interaktionen, von denen tendenziell die Masse der Wasserwirtschafts-„Kunden“ (gewerbliche Wirtschaft, Privathaushalte) auf kurz oder lang ganz unmittelbar betroffen sein wird.

4.3 Vernetzungsbedarf

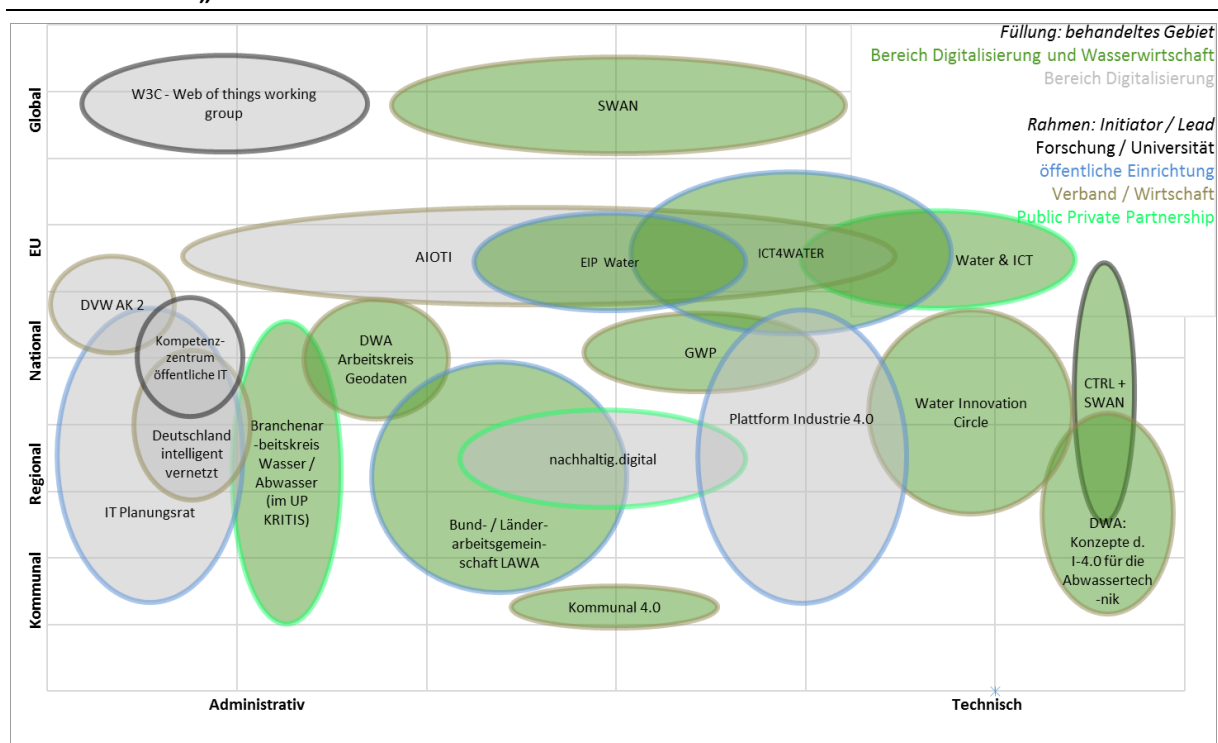
Digitalisierung als Integration von Prozessschritten und Prozessen einhergehend mit der erweiterten Nutzung von umfangreicheren Datenbeständen und / oder Daten aus unterschiedlichen Bereichen erfordert eine Vernetzung auf verschiedenen Ebenen. Zum einen sind Datenbestände maschinenlesbar zu gestalten und zugänglich zu machen. Zum anderen sind technische und administrative Daten enger zu verbinden.

Auf der institutionellen Ebene bedeutet dies – wie oben beschrieben – den Datenzugriff über administrative Grenzen hinweg (gegenseitig) zu ermöglichen. Diese Grenzen können sich innerhalb einer Institution zwischen verschiedenen Organisationseinheiten befinden, die sich zu eigenen „Silos“ entwickelt haben. Sie können auch den Datenaustausch zwischen verschiedenen Institutionen berühren, z. B. zwischen verschiedenen Behörden bzw. Ressorts, auch zwischen verschiedenen Regierungsebenen oder zwischen Unternehmen und staatlichen Einrichtungen. Datenerzeugung, -speicherung und -freigabe seitens staatlicher Stellen benötigen eine rechtliche Grundlage. Für die Offenlegung von Informationen und Rohdaten sind inzwischen umfangreiche Grundlagen gelegt (vgl. juristischer Beitrag, s. o.). Eine aus Sicht der Wasserwirtschaft wünschenswerte weitergehende Datenerhebung bzw. ein erweiterter Datenzugriff auf Daten anderer Verwaltungsbereiche bedarf möglicherweise zusätzlicher administrativer oder sogar rechtlicher Regelungen.

Im nachfolgenden Teil dieses Kapitels wird der Begriff der Vernetzung eher strategisch im Hinblick auf das sich noch sehr dynamisch entwickelnde Feld der Digitalisierung angewendet. Da Digitalisierung von vielen Akteuren mit unterschiedlichen Interessen auf unterschiedlichen Feldern und Ebenen vorangetrieben wird, ist es für die deutsche Wasserwirtschaft und für den erhofften Umwelt- und Bürgernutzen wichtig, nicht zu einem späten Zeitpunkt mit Weichenstellungen konfrontiert zu werden, die widersprüchlich, schwer zu erfüllen, sehr

kostenträchtig oder in anderer Weise unerwünscht sind. Dabei ist zu berücksichtigen, dass einerseits technische Entwicklungen und Standards entstehen, andererseits aber rechtliche und administrative Festlegungen und dass die Entwicklung in beiden Bereichen auch durch Wechselwirkungen geprägt ist. Es ist deshalb ratsam die Entwicklung zu begleiten und eigene Interessen frühzeitig einzubringen. Dabei spielen die Themen der Harmonisierung und Standardisierung sowie Schnittstellen- bzw. Schnittmengendefinition für die Entwicklung von 4.0-Anwendungen eine Rolle. Es sind bereits Netzwerke und Arbeitsgruppen aktiv, die sich thematisch mit Teilaspekten einer „Wasserwirtschaft 4.0“ beschäftigen (vgl. Tabelle 2). In der Online-Befragung wurde Bedarf für weiterführende Vernetzung benannt, blieb aber diffus. Abbildung 1 veranschaulicht vor diesem Hintergrund die durch aktive Netzwerke und Arbeitsgruppen mit Bezug zur Thematik „Wasserwirtschaft 4.0“ (vgl. Kapitel 2.3) abgedeckten Tätigkeitsbereiche.

Abbildung 1: Tätigkeitsfelder ausgewählter, aktiver Netzwerke und Arbeitsgruppen mit Bezug zur „Wasserwirtschaft 4.0“



Quelle: Eigene Darstellung.

Ohne Anspruch auf Vollständigkeit sind in Abbildung 1 die in Tabelle 3 aufgezählten Netzwerke thematisch geclustert. Hierbei wird zwischen einem technischen und administrativen Fokus (horizontale Achse) sowie der Handlungsebene (vertikale Achse) unterschieden. Die Handlungsebene gibt an, ob der Schwerpunkt der Aktivitäten auf kommunaler, Länder- oder Bundesebene liegt oder noch weitergreifend auf der EU- oder internationalen Ebene. Je mehr Ebenen eine Ellipse berührt, desto mehr Akteure aus unterschiedlichen Ebenen sind eingebunden und desto weiter greifen Wirkungsanspruch und Detaillierungsgrad. Die Füllfarben der einzelnen Netzwerke entsprechen der Einteilung in Tabelle 3 in Netzwerke, die sich gezielt mit wasserwirtschaftlichen Themen auseinandersetzen, sowie Netzwerke, die sich in einem breiteren Rahmen mit Digitalisierungsthemen befassen. Die Ränder der Netzwerke-ellipsen zeigen an, welchem Bereich die einzelnen Netzwerke zuzuordnen sind. Es wird ersichtlich, dass Netzwerke auf europäischer und globaler Ebene eher horizontal ausgerichtet sind und auf ihrer jeweiligen Verwaltungsebene stattfinden. Eine Integration in andere Verwaltungseinheiten ist

oft nicht vorhanden. Gleichzeitig dehnen sich die Netzwerke auf nationaler Ebene eher vertikal aus, sie integrieren also Akteure aus unterschiedlichen Regierungsebenen oder haben einen breiteren räumlichen Fokus.

Zwischen den Netzwerken bestehen teilweise institutionelle, in manchen Fällen auch personelle Verflechtungen. Die Arbeitsfelder sind überwiegend komplementär hinsichtlich der Themenfelder und / oder des Detaillierungsgrades, teilweise aber auch überlappend. Dabei erscheinen insbesondere die Weichenstellungen auf europäischer Ebene im Themenfeld Digitalisierung und Wasserwirtschaft als weniger direkt mit den nationalen Aktivitäten verkoppelt.

Auch Hardware, d. h. ein gemeinsamer Betrieb von IKT, und die gemeinsame Entwicklung und / oder Nutzung von Programmsystemen kann Vernetzung, Zusammenarbeit und die Entwicklung abgestimmter oder sogar einheitlicher Formate und Verfahren fördern. Ein besonders interessantes Beispiel ist die Gründung und der Betrieb der DATAPORT AöR (vgl. Steckbrief 8). Auch wenn hier wasserrelevante Themen nur einen geringen Teil der Aufgaben ausmachen, ist damit ein Beispiel gesetzt, das auch an anderer Stelle Wirkung entfalten könnte.

Steckbrief 8: DATAPORT

Handlungsfeld	Dataport AöR
Kurzbeschreibung/ Abstract	gemeinsamer IT-Dienstleister der Länder Hamburg, Bremen, Schleswig-Holstein und Sachsen-Anhalt sowie für die Steuerverwaltungen von Mecklenburg-Vorpommern und Niedersachsen sowie für viele Kommunalverwaltungen in Schleswig-Holstein; gegründet von den Ländern SH und HH in 2004, dann zwei Jahre später Beitritt von MV (nur mit der Steuerverwaltung) und HB, sowie vier Jahre später NI (Steuerverwaltung). 2012 Beitritt der Kommunen in SH und 2014 ST (rückwirkend ab 2013) Quelle: www.dataport.de 04.10.2018
Zielgruppe/ Anwender	• öffentlicher Dienst der beteiligten Länder, einschließlich kommunaler Wasserdienstleister • alle IT-Standardaufgaben sowie spezielle IT-Entwicklungsprojekte der beteiligten Länder
Anlass/ Problembeschreibung	zentraler Dienstleister auf dem Gebiet der Informations- und Kommunikationstechnik (IuK), mit sieben Standorten in den beteiligten sechs Ländern
Umwelt- bzw. Bürgernutzen/ Mehrwert	erwartete Synergieeffekte in Form von Kostensenkungen und Effizienzsteigerungen bei Beschaffung und Betrieb von Hard- und Software und Entwicklung eigener Lösungen einschließlich Schulung, Projektmanagement und Beratung
Ansprechpartner/ Beteiligte (evtl. Kontaktinformationen)	www.dataport.de
Risiken	Zentralisierungsrisiken und zentrale Sicherheitsvorkehrungen sind abzuwägen gegen Dezentralisierungsrisiken und dezentrale Sicherheitsvorkehrungen
Anwendungsbeispiel(e)	vielfältige Anwendungssoftware
Entwicklungsstand/ Zugang	
Projektlaufzeit und Kosten	keine Angaben

Zukünftige Weiterentwicklung	Der Dataport-Staatsvertrag ist für den Beitritt anderer Länder offen.
Weitere Informationen	www.dataport.de

Sowohl die Auswertung der verfügbaren Print- und Internet-Quellen als auch die Befragungen im Vorfeld und im Verlauf des Workshops ergaben eine große Zahl von Initiativen, Arbeitsgruppen und Entwicklungen, die unmittelbar oder mittelbar die weitere Entwicklung der Digitalisierung in der Wasserwirtschaft berühren. Diese finden sich auf der lokalen Ebene, auf Länder- Bundes- und EU-Ebene, auf Seiten der Technologieanbieter, bei Aufgabenträgern, Fachverbänden, Behörden und Forschungseinrichtungen (vgl. Abbildung 1). Wie die Auswertung im Rahmen des vorliegenden Berichts gezeigt hat, wird diese vielfältige und breite Entwicklung von den individuellen Akteuren in der Wasserwirtschaft eher grob wahrgenommen, in der Regel jedoch ohne dass Detailkenntnisse über die komplementären, zum Teil auch überlappenden Aktivitäten vorliegen. So scheint es z. B., dass programmatische Weichenstellungen auf der EU-Ebene in ihrer Bedeutung nur bei wenigen Akteuren in der regionalen Verwaltung und bei den Aufgabenträgern erfasst werden. Neben dem inzwischen allerdings breiter diskutierten Vorschlag für eine PSI-Richtlinie bestehen dort vielfältige weitere institutionelle und technologische Initiativen mit Bedeutung für die Wasserwirtschaft. Darüber hinaus führt die geringere Innovationsgeschwindigkeit der administrativen Prozesse dazu, dass bereits heute zugängliche gewachsene Datenbestände und technologische Möglichkeiten bei weitem nicht ausgenutzt werden. Aber auch Entscheidungsprozesse im Bereich der Wassertechnik leiden unter unzureichenden Kenntnissen über Voraussetzungen und Konsequenzen digitalisierter Prozesse. Auf die direkte Frage, ob angesichts dieser Entwicklung eine weitere Koordinierung, ggf. in Form eines Netzwerks, sinnvoll sei, antworteten die befragten Akteure allerdings negativ bzw. ambivalent.³⁷

Angesichts der Vielfalt der laufenden Aktivitäten (Abbildung 1) stellt sich dennoch die Frage, ob die personellen Vernetzungen über die verschiedenen Ebenen und in den verschiedenen Aktivitätsfeldern so ausgeprägt sind, dass darauf vertraut werden kann, dass ein Auseinanderlaufen der Aktivitäten nicht eintritt. Unabhängig von der ohnehin bestehenden Koordinierungsaufgabe des BMU im Institutionengeflecht kann es deshalb durchaus sinnvoll sein, die weiteren Koordinierungsbemühungen durch eine noch näher zu bestimmende Netzwerk-Aktivität zu unterstützen. Da alle Akteure bereits in vielfältiger Weise eingebunden sind, bedarf es dann eines klaren Zielfokus (vgl. Kapitel 5.3), der die vorhandenen Aktivitäten nicht dupliziert.

³⁷ Weiterführende Informationen zu den Ergebnissen der Online-Befragung werden auf Anfrage zur Verfügung gestellt.

5 Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen

5.1 Schlussfolgerungen

Vorhandene Potenziale werden noch nicht ausgeschöpft, Nutzen für Bürger und Umwelt stehen noch nicht im Fokus

Initiativen im Themenfeld "Wasserwirtschaft 4.0" zielen bisher vordergründig auf betriebliche Vorteile. Direkte Nutzen für den Bürger und die Umwelt stehen bisher nicht im Vordergrund.

Eine „Wasserwirtschaft 4.0“ ist bisher nur in Ansätzen und / oder einzelnen 4.0-Anwendungen umgesetzt. Erfahrung mit diesen punktuellen Initiativen und Einzelprojekten zeigen aber, dass ein erhebliches Potenzial entwickelt und Nutzen für Umwelt und Bürger realisiert werden kann. Potenziale durch prinzipiell verfügbare 4.0-Anwendungen im Bereich der Anlagensteuerung, bei Starkregenereignissen oder im Bereich der behördlichen Kontrolle und Überwachung (z. B. zur Reduzierung von Stoffeinträgen in Gewässer) werden jedoch nicht ausgeschöpft.

An Schnittstellen der Wasserwirtschaft mit anderen Sektoren / Politikfeldern besteht teilweise ebenfalls Potenzial für verstärkten Umwelt- und Bürgernutzen. An der Schnittstelle Wasserwirtschaft - Landwirtschaft zum Beispiel wird von Seiten der Industrie ein hohes Einsparpotenzial an Agrarchemie propagiert, das sich durch modernste Landmaschinentechnik und eine breite Digitalisierung der Landwirtschaft ergeben soll. Dieses Potenzial ist jedoch nicht quantifiziert und durch die hohen Kosten dieser modernen Technik kritisch zu sehen. Anders zu bewerten sind die Potenziale, die sich durch 4.0- bzw. Digitalisierungsprozesse für die Berichterstattung und Kontrolle landwirtschaftlicher Maßnahmen ergeben können. Hier treffen geringe Kosten auf defizitäre Strukturen (komplizierte, arbeitsaufwändige Berichterstattung und unzureichende Kontrollen durch zu wenig Personal und Ressourcen), was in der Summe ein hohes Potenzial für Verbesserung und damit verstärkten Umwelt- und Bürgernutzen nach sich zieht.

Zu Potenzialen und deren Hebung an der Schnittstelle Verwaltung (insbesondere kommunale Ebene) und Bürger / Unternehmen liegen detaillierte Untersuchungen nicht vor.

Strukturelle Defizite hemmen die Entwicklung einer „Wasserwirtschaft 4.0“

Sowohl physisch als auch informationsbezogen sind viele Verknüpfungen noch nicht realisiert oder angestoßen. Einzelne Komponenten sind unterschiedlich weit entwickelt. Konkrete, auch bereits in der Praxis umsetzbare weitere 4.0-Anwendungen zur Generierung von Umwelt- und Bürgernutzen sind aber vorhanden.

Es besteht inzwischen ein guter Überblick zu verfügbaren Daten mit Bezug zur Wasserwirtschaft. Potenziale und generierbarer Mehrwert durch deren Nutzung sind derzeit aber vielfach noch schwer zu beschreiben und zu quantifizieren. Der Nutzung dieser verfügbaren Daten stehen vielfach noch rechtliche und technische Hürden entgegen. Auch wo Zugangs- und Verknüpfungsmöglichkeiten bestehen, werden diese noch nicht vollumfänglich genutzt. Hierfür scheinen auch Informationsdefizite verantwortlich zu sein, die innovative Lösungen außerhalb bestehender Organisationsstrukturen und Aufgabenerledigungen erschweren. Rechtliche Rahmenbedingungen und deren Implementierung sind noch in der (Weiter-)Entwicklung befindlich und Detailfragen unzureichend geregelt. Diese Situation wirkt als Hemmnis, gleichzeitig setzt sich aber der digitale Wandel parallel auf breiter Front fort.

Datenerzeugung und -nutzung stellt ein zentrales Thema bei der Weiterentwicklung hin zu einer „Wasserwirtschaft 4.0“ dar

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung hat sich das Thema Datenerzeugung und Datennutzung als zentrales Thema für die Weiterentwicklung der Wasserwirtschaft in Deutschland herauskristallisiert. Hier besteht aus Sicht der Autoren eine umfangreiche politische Koordinierungsaufgabe, um die politischen, administrativen und rechtlichen Rahmenbedingungen in geeigneter Weise weiterzuentwickeln.

Datenbestände, -strukturen und -bedarfe für Verwaltung und Betreiber gestalten sich teilweise sehr unterschiedlich. Es bedarf der Definition konkreter Anwendungskontexte und -fälle, um öffentliche Daten zukünftig zielgerichtet bereitstellen zu können. Dabei könnten auch gemeinsame Ziele über Sparten hinweg hilfreich sein. Ein Expertennetzwerk sollte hier übergreifenden Forschungsbedarf identifizieren. Die Definition weiterer Anwendungskluster zur zielgerichteten Bereitstellung öffentlicher Daten ist notwendig.

Unzureichende Standardisierung und Harmonisierung der Datenerfassung, -haltung und -nutzung hemmen den Aufbau von 4.0-Anwendungen

Der Fortschritt in den Ländern im Bereich der Digitalisierung ist sehr unterschiedlich. Unterschiedlich sind auch der Stand und der Umfang der Digitalisierung bei den kommunalen Wasserdienstleistern. Letzteres ist nicht nur eine Folge der geringeren finanziellen Mittel, die für Innovation und Investition zur Verfügung stehen, sondern auch eine Folge der unterschiedlichen Kompetenz, die für komplexe Digitalisierungsaufgaben (Entwicklung, Einführung, Betrieb und Weiterentwicklung) beim Aufgabenträger verfügbar ist.

Der festgestellte unterschiedliche Entwicklungsstand der Länder in der Digitalisierung im Wassersektor führt – soweit vorläufig ersichtlich – auch zu unterschiedlichen Lösungen. Hier stellt sich die Frage, ob für den Datenaustausch und die Zusammenarbeit in Flussgebieten und Koordinierungsräumen nicht größere Anstrengungen zur Harmonisierung zwischen den Ländern überfällig sind, um die Potenziale der Digitalisierung in Form von Effizienzgewinnen zu erschließen. Allerdings gibt es auch positive Beispiele für gelungene Kooperation wie die gemeinsame Richtlinie für Pegel und das System Pegelonline. (vgl. Steckbrief 4: PEGELONLINE), die Marine Daten Infrastruktur (MDI-DE) oder – nicht direkt wasserwirtschaftsbezogen – die länderübergreifende Zusammenarbeit in gemeinsamen Datenzentren (vgl. Steckbrief 8: Dataport).

Die Entwicklung von 4.0-Anwendungen erfolgt derzeit noch zu isoliert und teilweise ohne die Nutzung bereits verfügbarer Standards und Referenzarchitekturen. Eine Ausweitung der Zusammenarbeit der verschiedenen wasserwirtschaftlichen Akteure bis hin zur Entwicklung weiterer Standards ist notwendig.

Entwicklung und Wachstum wirtschaftlicher Aktivitäten jenseits wasserwirtschaftlicher Kernaufgaben werden kaum unterstützt

Die Entwicklung und Realisierung neuer Geschäftsmodelle stand nicht im Fokus des vorliegenden Projekts, auch hier sind jedoch erhebliche Potenziale zu erwarten (vgl. Schieferdecker et al. 2018, ISO 2018).

Ob mit einer „Wasserwirtschaft 4.0“ der Keim für gänzlich neue Dienstleistungsmodelle gelegt ist, die aus Gründen der Daseinsvorsorge ebenso wie aus nationalem strategisch-wirtschaftlichem Interesse die fördernde oder regelnde Einflussnahme der Bundesebene rechtfertigen, ist aber heute noch nicht absehbar.

Asymmetrien hinsichtlich Beteiligung, vorhandenem Know-How und verfügbaren Ressourcen (personell, finanziell etc.) erschweren die adäquate Adressierung der Chancen und Risiken einer „Wasserwirtschaft 4.0“

Bisher scheinen auch noch nicht alle potenziellen Akteure gleichermaßen an den aktuellen Entwicklungen beteiligt zu sein. Dies betrifft insbesondere Planer. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung war es nicht möglich, Planer in das Thema Wasser und Digitalisierung einzubeziehen und selbst das Thema wassersensible Stadtentwicklung ist im Planungsbereich bisher nur vereinzelt, theoretisch oder im Rahmen von wenigen Forschungsvorhaben verortet. Aber auch an vielen Unteren Wasserbehörden, kleinen Verbände und Aufgabenträgern geht das Thema bisher vorbei. Eine detailliertere Analyse zu Umsetzungsstand und Unterstützungsbedarf wird empfohlen. Dem stehen jedoch auch zahlreiche positive Anwendungen gegenüber, die als Anregung und / oder Vorlage herangezogen werden können.

Die Realisierung von Potenzialen für Bürger und Umwelt wird außerdem erheblich durch die Komplexität und den Aufwand des Nachweises der Vorteilhaftigkeit, hohe Anfangsinvestitionen einschließlich Personalqualifizierungsbedarf erschwert. Nutzenpotenziale für Bürger und Umwelt sind vielfach nicht kurzfristig realisierbar. Oft steht nicht die Orientierung an wasserwirtschaftlichen Zielen im Vordergrund, sondern der Fokus liegt auf kurzfristig realisierbaren Effizienzpotenzialen. Die Hebung von Effizienzpotenzialen erzeugt indirekten Nutzen für die Bürger, jedoch wird der Umfang dieses Nutzens bisher kaum quantifiziert. Hier besteht eine Aufgabe für alle beteiligten Akteure, mehr Transparenz herzustellen.

Politik, Administration und Rechtsetzung werden als zu träge bzgl. einer angemessenen Begleitung des Aufbaus einer „Wasserwirtschaft 4.0“ empfunden

Rechtliche Rahmenbedingungen und deren Implementierung sind noch in der Entwicklung begriffen, Detailfragen unzureichend und häufig uneinheitlich (Bundesländer) geregelt. Diese Situation wirkt einerseits als Hemmnis andererseits setzt sich der digitale Wandel parallel auf breiter Front fort. Ein passives Abwarten der Klärung rechtlicher Fragen scheint nicht möglich. Die Politik wird hier als zu träge empfunden. So werden zwischenzeitlich insbesondere im Bereich der Daseinsvorsorge Maßnahmen zur Sicherung von Datenbeständen bzw. Zugriffsrechten empfohlen; Ansätze in diese Richtung vermittelt der derzeit beratene Kommissionsentwurf zur Reform der PSI-Richtlinie mit Erweiterung ihres Anwendungsbereichs auch auf öffentliche Unternehmen. Da ein allgemeiner Rechts- und Handlungsrahmen derzeit weitgehend fehlt, müssen 4.0-Anwendungen bislang durch entsprechende vertragliche Regelungen fallspezifisch begleitet werden.

Nicht auf die Wasserwirtschaft beschränkt ist der Wunsch, dass materiell- rechtliche Vorschriften im Umweltbereich z. B. zur Emissionsbegrenzung der Wirtschaft von staatlichen Einrichtungen in direkt implementierbarer digitaler Form zur Verfügung gestellt werden.

5.2 Handlungsempfehlungen

Datenerzeugung und -nutzung neu denken

Zentral für die Entwicklung einer „Wasserwirtschaft 4.0“ ist insbesondere das Thema Datenerzeugung und -nutzung. Als das bedeutendste Handlungsfeld wurde im Rahmen der Online-Befragung der vorliegenden Untersuchung die Zusammenführung mehrerer vormals separater Daten auf einer Plattform sowie die Weiterverwendung von Daten für Modellierungen und Simulationen einschließlich der Integration von Live- und Echtzeitdaten hervorgehoben.

Die Erkenntnis, dass Datenbestände auch bereichsübergreifend und quer zu den gewachsenen Organisationen und Verwaltungsstrukturen genutzt werden sollten, um damit Vorteile für den Bürger zu generieren, hat sich bereits in anderen Zusammenhängen bestätigt. Wichtig ist hier, dass der Wassersektor und angrenzende Sektoren nicht ausgeklammert, sondern in weitem Umfang mit einbezogen werden. Damit ist anzustreben, (A) die Leistungen der Wasserwirtschaft

effizienter zu erbringen, sie zu erweitern und zu verbessern, (B) mit wasserwirtschaftlichen Daten Verbesserungen in anderen Bereichen zu unterstützen und (C) auch Beiträge zu innovativen Entwicklungen zu leisten und neue Dienstleistungen zu ermöglichen. (vgl. Kapitel 4.1)

Rechtliche Rahmenbedingungen weiterentwickeln

Gesetzliche Flankierungen kommen je nach Regelungszuständigkeit auf EU-, nationaler oder Länderebene in Betracht und es empfehlen sich sachgebietsspezifische Absichtungen, etwa bezüglich notwendiger Datenerhebungen und -sicherungen, des Zugangs zu und Umgang mit Daten über einheitliche Schnittstellen / Plattformen (mit einheitlichen technischen Standards) sowie konkreter Datenaustauschprozesse / Geschäftsmodelle. Anzusetzen ist zweckmäßiger Weise bei den Spezialgesetzen zum Wasserrecht (WHG, Landeswassergesetze), bevor über horizontale Lösungen in allgemeinen und sachgebietsübergreifenden Verwaltungs-, Planungs- und insbesondere im Kommunalrecht (mit Blick auf immer intensivere Vernetzungen im Bereich Daseinsvorsorge) nachgedacht wird. Zur Wissensgenerierung unter den Akteuren und Experten in der Wasserwirtschaft empfehlen sich des Weiteren „selbstregulative“ Verfahren, u. U. mittels Zertifizierung oder dergleichen.

Forschungs- und Entwicklungsbedarf zu rechtlichen Fragen ergibt sich insbesondere hinsichtlich Regelungszuständigkeiten zwischen EU-, Bundes- und Landesgesetzgebung; Potenziale und Mechanismen der Selbst- und kooperativen Regulierung durch und mit gesellschaftlichen Akteuren; mögliche Schaffung eines „Stammgesetzes“ zur digitalen Wasserwirtschaft bzw. Bereinigung von Regelungslücken und Widersprüchen im bisherigen Rechtsrahmen; Anpassungen kommunalrechtlicher Vorgaben zur Daseinsvorsorge.

Weiterentwicklung sonstiger institutioneller und struktureller Rahmenbedingungen:

...für eine effizientere, ressourcenschonende Erbringung wasserwirtschaftlicher Dienstleistungen (A):

Daten- und Schnittstellenmanagement verbessern:

- ▶ Zu Verbesserung und Erweiterung der Leistungen der Wasserwirtschaft sind Verbesserungen im Datenvernetzungs- und Schnittstellenmanagement grundlegend.
- ▶ Das Datenmanagement (über die Berichterstattung nach Brüssel hinaus) und die damit verbundene Öffentlichkeitsarbeit sind von großer Wichtigkeit und müssen auf einer einheitlichen Basis erfolgen. Da aber Daten mehrerer Hierarchieebenen eingebunden sind (z. B. von unteren Wasserbehörden mit unterschiedlichen Datenformaten) besteht hier Verbesserungspotenzial.
- ▶ Dies setzt mehr Harmonisierung innerhalb der Verwaltung voraus, um den Aufwand der Datenerhebung, -validierung, -verarbeitung und -bereitstellung zu begrenzen. Die dahinterstehenden Strukturen sind unterschiedlich in den einzelnen Bundesländern und dies wird teilweise auch als großes Hemmnis angesehen. Dazu wird Nachjustierungsbedarf bei der Verwaltungsvereinbarung zum Datenaustausch im Umweltbereich zwischen Bund und Ländern genannt. Wo lokale Kompetenzen fehlen, können für grundlegende Datenhaltungen, Modellierungen und Auswertungen übergeordnete Strukturen geschaffen werden, auf die lokale Strukturen dann zurückgreifen bzw. in die lokale Kompetenzen eingebunden werden können.

Referenzarchitekturen entwickeln und nutzen:

- Referenzarchitekturen für Datenhaltung und Datenaustausch werden auf Bundes-, und Länderebene, in Kommunen, bei Aufgabenträgern, in großen Unternehmen und auch in Standardisierungsgremien der Wirtschaft entwickelt und genutzt. Es kommt künftig noch mehr darauf an, den Austausch über offene Schnittstellen auch tatsächlich zu ermöglichen und zu etablieren.

Weitere Daten einbeziehen, einschließlich Daten Dritter:

- Über das Datenmanagement hinaus sind Verbesserungen und Erweiterungen wasserwirtschaftlicher Leistungen durch Einbezug weiterer Daten anzustreben. Dazu sind weitere Datenquellen zu erschließen und zu nutzen. Hier sind zuerst Fernerkundungsdaten und insbesondere Satellitendaten zu nennen, die in Verbindung mit hydraulischen und / oder hydrologischen Modellen zu besserer Information und höherer Effizienz führen können. Sodann ist angesichts der Klimawandelprognosen der Einbezug von Bodenfeuchtedaten in wasserwirtschaftliche Analysen angesprochen und empfohlen worden. Hier ist koordiniert mit der Landwirtschaft Aufbauarbeit zu leisten. Weiterhin sollten die technologischen Möglichkeiten genutzt werden, Einleitungen in Kanalisationen und die Gewässer nach Qualität und Quantität genauer zu erfassen³⁸.
- Schließlich sind auch Daten von Dritten einzubeziehen. So kann auch die Nutzung von i.d.R. für andere Zwecke von Privaten bzw. privatwirtschaftlichen Akteuren erhobenen Daten durch staatliche Einrichtungen zusätzlichen neuen Nutzen generieren und / oder zur Verbesserung staatlicher / kommunaler Dienstleistungen beitragen. Derzeit diskutierte Beispiele umfassen die Wassertiefenmessung an Binnenschiffen, aber auch die Erzeugung von Echtzeit-Niederschlagsdaten dezentral durch Regensensoren in modernen Kraftfahrzeugen, privaten Wetterstationen und Mobilfunkmasten. Viele weitere Beispiele sind denkbar. Solche Nutzungen sind vom Grundsatz her regelungsbedürftig. Zu beachten ist, dass Geschäftsmodelle der ursprünglichen privaten Investoren nicht geschädigt bzw. entwertet werden.

Umsetzung, Standardisierung und Harmonisierung von E-Government und Open-Data in der Wasserwirtschaft vorantreiben bzw. Datenaustausch zwischen Wasserbehörden sowie Bürgern und Unternehmen erleichtern:

- Schließlich darf hier der Datenzugang zu den Wasserbehörden nicht unerwähnt bleiben. Während Versorger und Aufgabenträger sich zunehmend für beidseitige elektronische Kommunikation mit ihren Kunden öffnen, sind entsprechende Zugänge zu den Wasserbehörden für Bürger und Unternehmen noch nicht überall und häufig erst selektiv für wenige Themen eingerichtet. Nachdem sich Bund und Länder mit dem Onlinezugangsgesetz (OZG) vom 14.08.2017 verpflichtet haben, ihre Verwaltungsleistungen mit Ablauf des Jahres 2022 auch elektronisch anzubieten, sind hier weitreichende Änderungen zu erwarten. Es bleibt zu hoffen, dass dann tatsächlich auch alle Anträge,

³⁸ als Grundlage für Modellierungen, zur Information anderer Gewässernutzer und ggf. auch als Basis für eine eventuell veränderte Abwasserabgabe.

Berichte und Erklärungen von Unternehmen an die zuständigen Behörden elektronisch erfolgen können. Wünschenswert wäre auch hier, dass die elektronischen Formate der Länder sich weitestgehend entsprechen.

...für weitere Nutzenstiftung in an die Wasserwirtschaft grenzenden Bereichen (B):

Informationsangebot bzw. Datenverfügbarkeit verbessern, standardisieren und harmonisieren:

- Damit die Wasserwirtschaft zu Verbesserungen in anderen Bereichen noch wirksamer beitragen kann, müssen ihre eigenen Informationsangebote besser werden. Zurzeit wird ein Prototyp zur Bündelung aller Wasser-relevanten Informationen auf Bundesebene (Wasserwirtschaftlicher nationaler Knoten, EU-Richtlinien) erstellt. In der Weiterentwicklung des WasserBLiCK sollen hier alle Informationen in gebündelter Form zur Verfügung stehen und mit einfachen Suchanfragen gefunden werden können (z. B. "alle Managementpläne", oder "alle Hintergrunddokumente" etc.). Im Prinzip geht es darum, vor dem Hintergrund der jetzigen Kompetenzverteilung bzw. der Zuständigkeiten etwas Besseres und Nutzbareres zu erstellen: gleiche Datenformate und eine bessere Organisation und das auf nationaler Ebene. Denn es braucht deutschlandweit harmonisierte Informationsprodukte: alle Organisationen - von NGOs, Ver-, Entsorgern bis zur Bundeswehr - wollen bundesweite Informationen, und keine, die sich an den Landesgrenzen verändern und dann noch mühsam angepasst / zusammengefügt werden müssen. Um die Hindernisse für nutzerorientierte Angebote zu verringern, die nach wie vor durch die inkonsistente Aufbereitung von Daten an Gebietsgrenzen (Flussgebiete, Koordinierungsräume und Ländergrenzen) aber auch an Abgrenzungen zwischen behördlichen Zuständigkeiten entstehen (Fachgebiete, Organisationstrukturen), muss die Harmonisierung von Datenformaten und Semantiken weitergetrieben werden. Die weitere Entwicklung und Verbreitung von Standards ist zu fördern. Hier kann die öffentliche Hand bspw. im Zusammenhang mit der öffentlichen Vergabe von Aufträgen und zugehöriger Ausschreibung unterstützen. Wasserwirtschaftliche Akteure sollten bestärkt werden, Standards für neue Anwendungen gemeinsam zu entwickeln bzw. an schon bestehende Standards anzubinden. Hilfreiche Hinweise können hier die INSPIRE-Anwendungsleitfäden bieten.

Abdeckung in der Fläche erhöhen, Nutzung erleichtern, Plattformen zur Zusammenführung von Daten schaffen, Metadaten

- Die Frage der Nutzeroberflächen für die Informationsangebote ist einerseits eine Frage des Komforts. Sie kann andererseits aber Nutzungen einschränken, wenn Daten nicht auch maschinenlesbar zugänglich sind und / oder wenn Verlinkungen zwar vorhanden aber nur händisch anzusteuern sind. Die über WasserBLiCK verlinkten Angebote der Länder weisen nach der Dichte und dem Umfang heute noch deutliche Unterschiede auf. Neben dem „WasserBLiCK“ sind weitere Auskünfte zu oberirdischen Gewässern über „PEGELONLINE“ und „Undine“ zu erhalten, Niederschlagsdaten über die Portale der meisten Länder, allgemeinere und themenspezifische Informationen über die Webseite des Umweltbundesamtes, EU-weit auch über „WISE“ (und im Rahmen aktueller Forschungsvorhaben auch über „WISER“ und „SMHI riverinfo“). Es wird gewünscht, die Parallelität von Angeboten stärker in einer übergeordneten Struktur zusammen zu führen.

Mit dem geplanten Portalverbund (§ 1 OZG) ist zu erwarten, dass die Einrichtung von nationalen Plattformen zur Bereitstellung von Daten / Metadaten koordinierend unterstützt werden wird. Und auch hier gilt es aber, die auch auf EU-Ebene laufenden Aktivitäten zur Schaffung von Plattformen mit ähnlichen Zielstellungen einzubinden.

...für volkswirtschaftlichen Nutzen im Sinne der Entwicklung und des Wachstums wirtschaftlicher Aktivitäten (C):

Zugang zu Daten der Wasserwirtschaft erleichtern / verbessern:

- Um Beiträge zu innovativen Entwicklungen zu leisten und neue Dienstleistungen zu ermöglichen, ist es erforderlich, Daten in maschinenlesbarer Form bereitzustellen und Metadaten zugänglich zu machen. Bund und Länder haben hier mit dem Gesetz über die Weiterverwendung von Informationen öffentlicher Stellen (Informationsweiterverwendungsgesetz – IWG) europäisches Recht umgesetzt und für den Bund ist damit in Verbindung mit dem Gesetz zur Förderung der elektronischen Verwaltung (EGovernment-Gesetz - EGovG) bereits eine umfassende Grundlage für die Bereitstellung von Daten gelegt. Ein Spannungsfeld bleibt der Datenschutz: Nicht alle Daten können öffentlich gemacht werden. Sicherheitsinteressen der Allgemeinheit, Betriebs- und Geschäftsgeheimnisse sind zu schützen. Dieses Problem entsteht aber nicht in allen Bereichen (z. B. wenn private Akteure keine Rolle spielen, bzw. keine Daten besitzen, oder dort wo Daten auch anonym zur Verfügung gestellt werden können). Manche wasserwirtschaftliche Daten können allerdings in einen Graubereich fallen. Hier sollten Klärungen erfolgen, die die Datenherausgabe und -verwendung nicht übermäßig einschränken. Auch wurde angemahnt, dass entsprechende Regelungen auf Länderebene überfällig sind.

Kosten der Datenbereitstellung bzw. des Bezugs von Daten minimieren:

- Die Kostenerstattung für die Datenbereitstellung wurde ebenfalls thematisiert und die Erwartung geäußert, dass mit fortschreitender Digitalisierung auch eine Reduzierung der Bereitstellungskosten verbunden sein müsse.

Entwicklung neuer Dienste, integrierter Datenprodukte und 4.0-Anwendungen unterstützen:

- Die genannten gesetzlichen Regelungen sehen vor, dass Daten in unbearbeiteter Form zur Verfügung gestellt werden. Der Bedarf innovativer Dienstleister an wasserwirtschaftlichen Daten könnte aber durchaus über Rohdaten hinausgehen. Denkbar sind deshalb auch neue Dienste von Wasserbehörden, mit denen Datensätze nach bestimmten Kriterien kombiniert oder durch Ergebnisse von Analysen oder Modellrechnungen ergänzt werden. Auch die Erweiterung der wasserwirtschaftlichen Auskunftsmöglichkeiten auf Grundwasserverhältnisse und Bodenfeuchten kann die Entwicklung neuer Dienstleistungen befördern.

Pilot- und Demonstrationsprojekte anregen und fördern:

- Im Zusammenhang mit der Entwicklung neuer Dienstleistungen wurde es als notwendig bezeichnet, mehr Pilotprojekte und Forschungsvorhaben auch im öffentlichen Bereich

durchzuführen, um die Bereitstellung neuer Dienste zu erproben und deren Nutzung durch die Bürger auszuwerten und zu kommunizieren.

...generelle Voraussetzungen:

- Dabei stellt der unzureichende Breitbandausbau, insbesondere in ländliche Räumen auch weiterhin ein großes Hemmnis dar. Es sollten Maßnahmen ergriffen werden, um diesen ebenso wie einen unterbrechungsfreier Netzbetrieb zu gewährleisten.

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung weisen darauf hin, dass für die Unterstützung der Entwicklung einer „Wasserwirtschaft 4.0“ verschiedene institutionelle, einschließlich rechtliche Fragen und Hemmnisse, fachlich-wasserwirtschaftliche Aspekte und Kosten-Nutzen-Abwägungen sowie umfangreiche offene Punkte bzgl. der Datenerzeugung, -haltung, -bereitstellung und -nutzung zu klären sind. Dies kann nur im Rahmen eines umfangreichen Dialogs und Diskurses aller beteiligten Akteure erfolgen. Die Zusammenarbeit zur Beantwortung der genannten Fragen ist in vielfältigen Formaten möglich und notwendig und kann von Stakeholder-Dialogen, über Forschungs- und Entwicklungsvorhaben, Pilot- und Demonstrationsprojekten bis hin zum Aufbau von Netzwerken reichen.

Gemäß Leistungsbeschreibung zum Forschungsvorhaben galt es zu untersuchen, ob und in welcher Form die Installation eines Netzwerks zum Aufbau einer „Wasserwirtschaft 4.0“ beitragen kann. Aus diesem Grund werden ausgewählte relevante thematische Schwerpunkte im folgenden Kapitel organisiert in Form eines Netzwerks dargestellt. Andere Formen (s. o.) der Adressierung dieser Themen sind jedoch ebenso denkbar.

5.3 Ausgewählte thematische Schwerpunkte für die Unterstützung der Entwicklung einer „Wasserwirtschaft 4.0“

THEMATISCHER SCHWERPUNKT 1: INNOVATIONSINITIATIVE - MODERNISIERUNG DES WASSERSEKTORS

Begründung:

Angesichts sowohl der globalen Nachhaltigkeitsziele, der digitalpolitischen Aktivitäten der EU als auch der europäischen Wasserforschungsprogramme erscheint es notwendig, eine abwartende Haltung zu verlassen und pro-aktiv die digitale Integration in der Wasserwirtschaft voranzutreiben und die wasserwirtschaftlichen Dienstleistungen entsprechend dem gestiegenen Schutzbedürfnis der Bürger, der Umwelt und der Wirtschaft auszuweiten. Enge finanzielle Spielräume, demographischer Wandel mit tendenziell abnehmender Verfügbarkeit von Fachpersonal und nicht zuletzt eine zunehmende Verlinkung von Problemfeldern mit wachsenden Schadenspotenzialen im sich fortsetzenden Klimawandel erfordern eine nachhaltige Qualitäts- und Serviceoffensive in der Wasserwirtschaft. Diese muss administrative und technische Effizienzpotenziale heben, Fernerkundungsdaten in breitem Umfang einbeziehen, standardmäßig neue Sensoriken in ausreichender Dichte in der Fläche an Gewässern und Böden nutzen und im Ergebnis ihre Dienstleistungen für Umwelt und Bürger weiter verbessern. Angemessen wäre hier auch der Begriff einer Modernisierungsinitiative, wäre dieser nicht als Folge der Liberalisierungsdiskussion Ende der 90er Jahre belegt (vgl. Beschluss Deutscher Bundestag am 21.03.2002 „Nachhaltige Wasserwirtschaft in Deutschland“ (Bundestagsdrucksache 14/7177) und Bericht der Bundesregierung am 16.03.2006 (Bundesregierung 2006).

Potenzieller Themenkreis:

Realisierung von Effizienzpotenzialen, Erschließung und Nutzung von Synergien durch Integration wasserwirtschaftlicher Daten mit Daten aus angrenzenden Sektoren (wie Energieversorgung, Landwirtschaft, Meteorologie, Verkehr, Versicherungswirtschaft, Stadtentwicklung, Zivilschutz), Erweiterung und Erleichterung der Informationsmöglichkeiten für Bürger, Landwirtschaft und Wirtschaft.

Potenzieller Teilnehmerkreis:

Wasserbehörden des Bundes und der Länder, Aufgabenträger, sowie weitere themenadäquate Teilnehmer (z. B. Innenressorts des Bundes- und der Länder, Gebietskörperschaften, Landwirtschaftsverbände und -kammern u. a.)

Organisation:

Durch BMU bzw. BMU-Geschäftsbereich.

Bewertung:

Der Ansatz ist sehr weitgreifend. Mit einem solchen Netzwerk kann der Grundstein für weitere Aktivitäten in den kommenden Jahren gelegt werden, sind Themenkreise zu konkretisieren und Prioritäten zu setzen. Der Ansatz bedarf hochrangiger politischer Unterstützung und des Einsatzes von personellen und finanziellen Ressourcen des BMU-Geschäftsbereiches in signifikantem Umfang.

THEMATISCHER SCHWERPUNKT 2: UNTERSTÜTZUNG KLEINER UND MITTLERER KOMMUNEN

Begründung:

Für kleine und mittlere Kommunen bedeutet die Digitalisierung eine besondere Herausforderung, da vielfach personelle Kompetenz nicht in ausreichendem Maß vorhanden ist. Dies kann sowohl die Planung, die Beschaffung als auch den sicheren Betrieb betreffen. Auch die finanziellen Risiken der Einbindung in die bestehende Technik und des sicheren Betriebs sind dann häufig nicht ausreichend überschaubar. Der Markt wird hier Standardlösungen entwickeln (müssen), da Einzellösungen für kleine Kommunen nicht nur zu teuer, sondern auch zu fehlerträchtig sind. Es ist nicht auszuschließen, dass die hohen Kompetenzanforderungen einerseits und die möglichen Effizienzvorteile andererseits einen neuen Konzentrations-, Privatisierungs- oder Public-Private-Partnership-Impuls auslösen.

Potenzieller Themenkreis:

Unterstützung von Entscheidungsverfahren bei der Auswahl von digitalen Technologien und der damit verbundenen Restrukturierung von Prozessen an der Schnittstelle von Administration und Technik in der Wasserwirtschaft. Ein besonderes Augenmerk muss auf der Veränderung von Risikoprofilen und auf möglichen finanziellen Konsequenzen liegen. Ggf. Anregen von – Mitwirkung an Standardisierungsprozessen.

Potenzieller Teilnehmerkreis:

Bund und Länder, Kommunalverbände, Aufgabenträger, Industrie

Organisation:

Soweit bisher ersichtlich, sehen sich kommunale Spitzenverbände hier nicht als Treiber. Das Bundesinnenministerium hat mit seinen Aktivitäten eher die allgemeinen Verwaltungsaufgaben im Blick, eine spezielle Initiative für die Wasserwirtschaftsverwaltungen ist von dort angesichts der Vielzahl der zu lösenden grundsätzlichen Digitalisierungsfragen eher nicht zu erwarten.

Mangels Zuständigkeit ist auch eine direkte Einflussnahme der Umweltbehörden des Bundes nicht angemessen, eine ideelle Förderung oder kompetente Unterstützung von Länder- oder Kommunalinitiativen gleichwohl nicht ausgeschlossen.

Bewertung:

Mit dem DWA AGen KA 13.5 und BIZ 12 und dem DVGW-Forschungsvorhaben zum Reifegrad für den Einsatz der Digitalisierung bestehen bereits Initiativen in dieser Richtung. Während der DWA-AK KA 13.5 sich mit zeitlich eng befristetem Mandat auf die reine Abwassertechnik konzentriert, fokussiert sich das DVGW-Vorhaben auf „ein standardisiertes Bewertungsmodell für Wasserversorgungsunternehmen zum digitalen Reifegrad und den daraus abzuleitenden Handlungsoptionen“ (DVGW-Pressemitteilung v. 29.9.2017), das den Autoren zufolge ebenfalls die technischen Prozesse der Aufgabenträger im Blick hat, im Zeitverlauf aber auch weiterentwickelt werden soll (persönliche Kommunikation auf der Mülheimer Tagung 2018). Damit bleiben der Bereich der staatlichen Wasserwirtschaftsverwaltung und die Schnittstelle zwischen Versorgung und Administration in diesen Vorhaben vorerst weitgehend außer Betracht. Ergänzend haben die Arbeiten der DWA AG BIZ 12 bereits eine gute fachliche Übersicht über für die Wasserwirtschaftsverwaltung geeignete Sensor-Web-Technologien und Datenverwaltungsprogramme ergeben (DWA 2018). Obwohl inzwischen einige Anwendungserfahrungen vorliegen, ist zu bezweifeln, ob dies ausreicht in kleinen Kommunen die Kompetenzlücke zu schließen und fundierte Entscheidungen zu fällen. Das vom BMBF geförderte Forschungsprojekt Kommunal 4.0 (Kommunal 4.0 e. V. 2018) verfolgt neben der Digitalisierung von technischen Einzelaufgaben den notwendigen systemintegrativen Ansatz. Aber auch dort wird es darauf ankommen, die zu erwartenden Ergebnisse zu verallgemeinern und in die Breite zu tragen.

Ein Netzwerk zur Unterstützung von kleinen und mittleren Kommunen kann für dieses Problemfeld einen sehr nützlichen Beitrag leisten zur Vermeidung von Fehlinvestitionen und Aufrechterhaltung von Versorgungssicherheit.

THEMATISCHER SCHWERPUNKT 3: INTEROPERABILITÄT VON DATEN (DICHT, QUALITÄT, VALIDITÄT, ZEITRÄUME)

Begründung:

Abhängig vom weiteren Schicksal des Vorschlags für eine PSI-Richtlinie ist die deutsche Wasserwirtschaft aufgerufen, sich entweder eine Position zur Richtlinie selbst zu erarbeiten oder aber zum Grundanliegen der Richtlinie, nach dem auch die Nutzung öffentlicher Daten zur Entwicklung innovativer Dienstleistungen und zur wirtschaftlichen Dynamisierung beitragen sollte. Um den gesellschaftlichen Nutzen wasserwirtschaftlicher Dienstleistungen zu vergrößern, müssen Daten des Wassersektors ebenso wie Geodaten und Daten anderer Sektoren anschlussfähig und verwendbar sein für Innovationen in angrenzenden Bereichen (McKinsey & Company 2017). Hier ist an Urbane Datenräume zu denken (Schieferdecker et al. 2018), an Smart Cities (Bundesinstitut für Bau- Stadt- und Raumforschung und Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau- und Reaktorsicherheit 2017) in Verbindung mit lokaler Energiewirtschaft, an Smart Homes bzw. eher noch an Smart Buildings, an die Planung wasserintelligenter Stadtentwicklungen und an die Unterstützung von regionalen Planungen.

Potenzieller Themenkreis:

Der Themenkreis umfasst sowohl technische Themen (Datenformate, Datenzugänge, Speicherstrukturen, Datenpflege, Validierung etc.) als auch rechtliche (Nutzungsbedingungen,

Verantwortlichkeiten) und wirtschaftliche Aspekte (Gebührenmodelle für Dienstleistungen bzw. Dienstleistungspakete differenziert nach Umfang und Nutzungsdauer).

Potenzieller Teilnehmerkreis:

Wasserbehörden der Länder, kommunale Aufgabenträger, Umwelt-, Wirtschafts- und Innenressorts, Datenwirtschaft.

Organisation:

Für die Koordinierung einer Position der deutschen Wasserwirtschaft in der europäischen Diskussion über die Nutzung öffentlicher Daten ist eine Zuständigkeit des Bundesumweltministeriums anzunehmen. Eine weitergehende Diskussion innerhalb Deutschlands mit dem Ziel einer einheitlichen Umsetzung etwaiger europäischer Regelungen oder eigener deutscher Initiativen würde den Kreis der potenziellen Teilnehmer deutlich erweitern (s. o.) und eine anspruchsvollere Organisationsform erfordern.

Bewertung:

Die Geodateninfrastruktur Deutschland (GDI-DE) hat hier bereits Grundlagen geschaffen und die Expertengruppe Datenmanagement / Reporting (EG DMR) der LAWA hat mit der Definition von Produkten ebenfalls grundlegende Arbeiten geleistet, allerdings ist die Zielrichtung der LAWA Expertengruppe den derzeit vorliegenden Dokumenten zufolge noch stark auf nationale Berichtspflichten fokussiert und weniger auf Datennutzungen der Zivilgesellschaft und anderer Bereiche der Daseinsvorsorge ausgerichtet. Weitere Grundlagen sind auch in den Ergebnissen der DWA-AG BIZ 12 zu sehen. Auch wenn einige Länderverwaltungen (Bayern, Sachsen) schon weitgehende Angebote machen wie etwa über das Netz abrufbare aktuelle Wasserstände: Noch überwiegen einzelne Bausteine, die in der Mehrzahl auf behördliche Erfordernisse abzielen und weniger auf die Erweiterung des Dienstleistungsspektrums für die Gesellschaft insgesamt mit Direktzugriffen von Bürgern und Wirtschaftsakteuren. Verbände der kommunalen Wasserver- und Abwasserentsorger haben sich bisher überwiegend kritisch zum Vorschlag der PSI-Richtlinie positioniert. Ein moderierter Meinungsbildungsprozess auch mit dem Ziel einer bundeseinheitlichen Position zur Frage, welche Angebote die deutsche Wasserwirtschaft hier perspektivisch machen kann, steht noch aus.

THEMATISCHER SCHWERPUNKT 4: DIGITALE KOOPERATION VON WASSERWIRTSCHAFT UND LANDWIRTSCHAFT

Begründung:

Der Einsatz von digitalen Technologien hat ein großes Nutzenpotenzial für die Zusammenarbeit von Landwirtschaft und Wasserwirtschaft. Zum einen erlauben die Möglichkeiten des „Precision Farmings“ die bessere Steuerung von Dünger- und Pflanzenschutzmittelgaben. Auch die Erstellung von Bilanzen wird damit erleichtert. Auf der anderen Seite zeigen aktuelle Wetterausprägungen, dass die weitere Entwicklung des Klimawandels künftig auch Sommermonate mit signifikant höheren Temperaturen, längeren Sonnenscheinphasen und erheblich unter dem Durchschnitt liegenden Jahresniederschlägen mit sich bringen kann. Dies wird eine deutlich höhere Nachfrage nach Bewässerungswasser gerade dann zur Folge haben, wenn Oberflächengewässer Niedrigwasser führen. Flächenhafte Messungen der Bodenfeuchte, Grundwasserstände, Wasserstände und Abflüsse mithilfe fortgeschrittener digitaler Technologien können dann notwendig werdende Bewirtschaftungsmaßnahmen erleichtern.

Potenzieller Themenkreis:

- a) Nutzung des Einsatzes digitaler Technologien in der Landwirtschaft zur Verbesserung der wasserwirtschaftlichen Verhältnisse (d. h. bessere Steuerung von Dünger- und Pflanzenschutzmittelgaben einschließlich besserer örtlicher Bilanzierung; für den Einsatz digitaler Technologien lediglich für verstärkte bzw. dichtere Kontrollen war hingegen im Rahmen der Untersuchung kein Kooperationsinteresse seitens der Landwirtschaft erkennbar)
- b) Nutzung des Einsatzes digitaler Technologien in der Wasserwirtschaft zur Sicherung und Optimierung landwirtschaftlicher Erträge in Trockenphasen (Messungen an Grund- und Oberflächengewässern sowie der Bodenfeuchte, erforderlichenfalls mit Priorisierung und Abmessung von Bewässerungsgaben.

Potenzieller Teilnehmerkreis:

Wasserbehörden und Landwirtschaftsbehörden der Länder, Landwirtschafts- und Wasserwirtschaftsverbände

Organisation:

Die Bundesebene (BMU und BMEL) könnte eine Initiatoren- und Promotorenrolle einnehmen. Die eigentliche organisatorische Durchführung einer solchen Netzwerkaktivität läge aber zuständigkeitshalber auf der Ebene der Länder.

Bewertung:

Wünschenswert wäre die Entwicklung einer solchen digitalen Kooperation für das ganze Bundesgebiet. Notwendigkeit und Dringlichkeit sind im Bundesgebiet allerdings sowohl auf Landwirtschafts- als auch auf Wasserwirtschaftsseite unterschiedlich ausgeprägt, sodass auch mit lokalen oder regionalen Initiativen begonnen werden könnte.

THEMATISCHER SCHWERPUNKT 5: FORSCHUNGSBEDARF

Begründung:

Alle bisher genannten potenziellen Netzwerkthemen sind mit vielfältigen Fragen verknüpft, die einer weitergehenden Klärung bedürfen bzw. bei denen sich eine wissenschaftliche Begleitung empfiehlt.

Potenzieller Themenkreis:

Thematisch sind rein technische Fragen zu nennen, wie die Erweiterung des Anwendungsspektrums digitaler Nutzungsmöglichkeiten für die Wasserwirtschaft durch weitere Prozessintegration und / oder Nutzung weiterer Datenbestände, aber auch die Datentechnik für die anzustrebenden Verknüpfungen und Zugriffsmöglichkeiten. Daneben stehen Fragen der institutionellen Perspektiven der technischen Entwicklung. Schließlich stehen in erheblichem Umfang rechtliche Fragen zur Klärung an.

Potenzieller Teilnehmerkreis:

Der potenzielle Teilnehmerkreis besteht aus potenziellen Forschungsmittelgebern und potenziellen Forschungsmittelnehmern sowie im Falle anwendungsbezogener Forschung unter Einbezug der Problemträger.

Organisation:

Die Organisation muss nicht notwendigerweise durch die Forschungsmittelgeber selbst erfolgen, eine wesentliche Voraussetzung ist aber, dass (ggf. auch verschiedene) Forschungsmittelgeber eingebunden sind und der Netzwerkprozess auf die thematische Abgrenzung von Forschungsprojekten und die Vergabe von Forschungsmitteln ausgerichtet ist.

Bewertung:

Die Bearbeitung des vorliegenden Berichtes hat auf vielfältige Fragen geführt, die vertieft untersucht werden sollten. Auch die Begleitung der oben genannten anderen Optionen für Netzwerkaktivitäten durch Forschungsvorhaben bzw. durch ein Forschungsnetzwerk erscheint sinnvoll, insbesondere für die dort anstehenden übergreifenden Fragen von grundsätzlicher Bedeutung. Dies werden vermutlich weniger technische Detailfragen sein, die im Rahmen von herstellereigenen Einzelprojekten oder in Standardisierungsrunden gelöst werden können.

6 Fazit

Im Ergebnis der Untersuchungen des Forschungsvorhabens zeigt sich, dass mit dem Aufbau einer „Wasserwirtschaft 4.0“ Potenziale im Sinne eines Nutzens für Umwelt und Bürger vorhanden sind. Diese werden derzeit jedoch nur eingeschränkt genutzt. Eine „Wasserwirtschaft 4.0“ ist bisher nur in Ansätzen umgesetzt. Strukturelle Defizite hemmen die weitere Entwicklung.

Für die gezielte Adressierung der Potenziale im Rahmen des Aufbaus einer „Wasserwirtschaft 4.0“ empfiehlt sich eine neue Herangehensweise an den Umgang mit Daten. Die rechtlichen Rahmenbedingungen müssen weiterentwickelt werden. Datenerzeugung, -haltung und -nutzung sowie der Austausch von Daten müssen stärker harmonisiert und standardisiert werden. Informationsangebote und Datenverfügbarkeit innerhalb der Wasserwirtschaft und über Sektorengrenzen hinweg sind zu verbessern.

Dabei kann die weitere Entwicklung einer „Wasserwirtschaft 4.0“, die den Nutzen für Umwelt und Bürger in den Fokus setzt, durch die Förderung der angemessenen Beteiligung aller Akteure und den Ausbau digitaler Kompetenzen, Stakeholder-Dialoge, Forschungs- und Entwicklungsvorhaben, Pilot- und Demonstrationsprojekte sowie eine stärkere Vernetzung unterstützt werden.

7 Quellenverzeichnis

Althoff, Heiko; Holtmeier, Eberhard (2017): Wasserwirtschaft 4.0 – das neue Infrastrukturnetzwerk bei Emschergenossenschaft und Lippeverband. In: *Korrespondenz Abwasser, Abfall* 6, S. 502–506. DOI: 10.3242/kae2017.06.003.

BDEW (Hg.) (2017): DIGITALISIERUNG AUS KUNDENSICHT. Langfassung der qualitativen Marktforschungsstudie. rheingold institut. Online verfügbar unter [https://vdv-energie.de/internet.nsf/id/3594CD7572FAFC73C12580EC002EA3D0/\\$file/170322_Langfassung%20Studie%20Digitalisierung%20aus%20Kundensicht_final_22.03.2017.pdf](https://vdv-energie.de/internet.nsf/id/3594CD7572FAFC73C12580EC002EA3D0/$file/170322_Langfassung%20Studie%20Digitalisierung%20aus%20Kundensicht_final_22.03.2017.pdf)., zuletzt geprüft am 11.08.2017.

Bundesinstitut für Bau- Stadt- und Raumforschung; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau- und Reaktorsicherheit (Hg.) (2017): Smart City Charta. Digitale Transformation in den Kommunen nachhaltig gestalten. Unter Mitarbeit von Eva Schweitzer, Peter Jakubowski, ralf Schulze, Margit Tünnemann, Antje Grobe und Mikko Rissanen. Bonn.

Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz (2017): Gesetz zur Förderung der elektronischen Verwaltung (EGovernment-Gesetz - EGovG). Online verfügbar unter <http://www.gesetze-im-internet.de/egovg/EGovG.pdf>.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2009): Dem Klimawandel begegnen - Die Deutsche Anpassungsstrategie. 1. Aufl. Unter Mitarbeit von Christine Feix, Almut Nagel, Jürgen Schulz und Thomas Stratenwerth. Hg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Berlin. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/515/dokumente/broschuere_dem_klimawandel_begegnen_bf.pdf, zuletzt geprüft am 02.11.2018.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2017): Monitoring Report Wirtschaft DIGITAL 2017. Berlin. Online verfügbar unter <https://www.tns-infratest.com/wissensforum/studien/pdf/bmwi/monitoring-report-wirtschaft-digital-2017-kompakt.pdf>, zuletzt geprüft am 11.08.2017.

Bundesregierung (2006): Bericht der Bundesregierung zur Modernisierungsstrategie für die deutsche Wasserwirtschaft und für ein stärkeres internationales Engagement der deutschen Wasserwirtschaft. Berlin. Online verfügbar unter <http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/16/010/1601094.pdf>, zuletzt geprüft am 24.11.2018.

Büro für Technikfolgenabschätzung beim deutschen Bundestag (2018): Digitalisierung der Landwirtschaft. Online verfügbar unter <http://www.tab-beim-bundestag.de/de/gutachter/g30701.html>, zuletzt geprüft am 23.11.2018.

Choi, Gye Woon; Chong, Koo Yol; Kim, Sae Jin; Ryu, Tae Sang (2016): SWMI. New paradigm of water resources management for SDGs. In: *Smart Water* 1 (1), S. 4240. DOI: 10.1186/s40713-016-0002-6.

DECHEMA (2018): Positionspapier Industrierwasser 4.0. Potenziale und Herausforderungen der Digitalisierung für die industrielle Wasserwirtschaft. Hg. v. DECHEMA. Frankfurt am Main. Online verfügbar unter https://dechema.de/dechema_media/Downloads/Positionspapiere/Industrierwasser_40_DECHEMA_Positionspapier.pdf, zuletzt geprüft am 23.11.2018.

Diesner, Markus; Pfrommer, Julius; Rauschecker, Ursula; Rieg, Clemens; Schel, Daniel; Schleipen, Miriam et al. (2017): Industrie 4.0 Begriffe / Terms. VDI Statusreport 2017. Hg. v. VDI / VDE Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik. Köln. Online verfügbar unter https://m.vdi.de/fileadmin/vdi_de/redakteur_dateien/gma_dateien/7153_PUB_GMA_-_Industrie_4.0_Begriffe-Terms_-_VDI-Statusreport_Internet.pdf, zuletzt geprüft am 23.11.2018.

DVGW (29.09.2017): Forschungsprojekt entwickelt Reifegradmodell für die Wasserversorgung 4.0. DVGW fördert Studie zur Digitalisierung in der Wasserwirtschaft. Daniel Wosnitzka. Internet. Online verfügbar unter

<https://www.dvgw.de/der-dvgw/aktuelles/presse/presseinformationen/dvgw-presseinformation-vom-29092017-wasserversorgung-40/>, zuletzt geprüft am 24.11.2018.

DWA (2018): Standardisierte Bereitstellung und Nutzung von wasserwirtschaftlichen Messdaten. Eine Heranführung an Sensor Web-Technologien (Kurzfassung). Hg. v. DWA. Hennef. Online verfügbar unter https://de.dwa.de/files/media/content/01_DIE%20DWA/Fachgremien/Bildung%20%7C%20Int.%20Zusammenarbeit/Nutzng_von_wasserwirtschaftlichen_Messdaten_Langfassung_Netz.pdf.

Engelke, Paul (2017): Gute Badewasserqualität durch Echtzeitsteuerung von Kanalnetz, Oberflächengewässern und Kläranlagen in Århus (Dänemark). In: *gwf-Wasser /Abwasser* 06/2017, S. 26–31.

Europäische Kommission (2010): eGovernment Action Plan 2011-2015. Hg. v. Europäische Kommission. Brüssel. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2010:0743:FIN:EN:PDF>, zuletzt geprüft am 23.11.2018.

Europäische Kommission (2015): Roadmap for completing the Digital Single Market. Hg. v. Europäische Kommission. Online verfügbar unter https://ec.europa.eu/commission/publications/roadmap-completing-digital-single-market_en, zuletzt geprüft am 23.11.2018.

Europäische Kommission (2016): EU-eGovernment-Aktionsplan 2016-2020 Beschleunigung der Digitalisierung der öffentlichen Verwaltung. Hg. v. Europäische Kommission. Brüssel. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52016DC0179&from=EN>, zuletzt geprüft am 23.11.2018.

Europäische Kommission (2017): Europäischer Interoperabilitätsrahmen – Umsetzungsstrategie. Hg. v. Europäische Kommission. Online verfügbar unter https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:2c2f2554-0faf-11e7-8a35-01aa75ed71a1.0018.02/DOC_1&format=PDF, zuletzt geprüft am 23.11.2018.

Europäische Kommission (2018): Digital Single Market for Water Services Action Plan. Unter Mitarbeit von Gabriel Anzaldi. Hg. v. Europäische Kommission. Brüssel. Online verfügbar unter <https://ec.europa.eu/futurium/en/system/files/ged/ict4wateractionplan2018.pdf>.

Europäisches Parlament und Europäischer Rat (2003): Richtlinie 2003/35/EG über die Beteiligung der Öffentlichkeit bei der Ausarbeitung bestimmter umweltbezogener Pläne und Programme und zur Änderung der Richtlinien 85/337/EWG und 96/61/EG des Rates in Bezug auf die Öffentlichkeitsbeteiligung und den Zugang zu Gerichten. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=celex%3A32003L0035>, zuletzt geprüft am 27.11.2018.

Europäisches Parlament und Europäischer Rat (23.12.2003): Richtlinie 2003/98/EG über die Weiterverwendung von Informationen des öffentlichen Sektors. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32003L0098&from=DE>, zuletzt geprüft am 27.11.2018.

Europäisches Parlament und Europäischer Rat (2007): Richtlinie 2007/2/EG vom 14. März 2007 zur Schaffung einer Geodateninfrastruktur in der Europäischen Gemeinschaft (INSPIRE). Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=celex:32007L0002>.

Fricke, Katja Ines; Hoppe, Holger; Kutsch, Stefan; Massing, Christian; Ante, Jens; Gigl, Thorsten; Muschalla, Dirk (2017): Weiterentwicklung einer qualitätsabhängigen Kanalnetzsteuerung in Wuppertal. Der Weg von der lokalen Steuerung einzelner Bauwerke zur Verbundsteuerung. In: *Korrespondenz Abwasser, Abfall* (6), S. 507–514. DOI: 10.3242/kae2017.06.004.

Gawel, Erik; Köck, Wolfgang; Kern, Katharina; Schindler, Harry; Holländer, Robert; Anlauf, Katrin et al. (2014): Reform der Abwasserabgabe. Optionen, Szenarien und Auswirkungen einer fortzuentwickelnden Regelung. Hg. v. Umweltbundesamt. Berlin. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_55_2014_reform_der_abwasserabgabe.pdf.

Gebel, Michael; Bürger, Stephan; Uhlig, Mario; Schwarze, Robert; Hauffe, Corinna (2017): Ergebniskopplung KliWES. STOFFBILANZ in Sachsen. Hg. v. Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie des Freistaates Sachsen. Dresden. Online verfügbar unter <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/28010>, zuletzt geprüft am 23.11.2018.

Gottschick, Jan; Baum, Jürgen; Clauder, Frank; Hartenstein, Heiko; Rosenmüller, Rainer; Dutkowski, Simon; Steffens, Petra (2015): P23R: Rahmenarchitektur. Hg. Fraunhofer-Institut für Offene Kommunikationssysteme FOKUS. Berlin.

Gourbesville, Philippe (2016): Key Challenges for Smart Water. In: *Procedia Engineering* 154, S. 11–18. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.412.

Gov Data (2016): Open Government. Online verfügbar unter <https://www.govdata.de/open-government>, zuletzt geprüft am 23.11.2018.

Grün, Emanuel; Lindner, Volker; Sieker, Heiko; Spengler, Brigitte (2016): Grün und Blau zusammen denken – das Kooperationsmodul ZUGABE. In: *Korrespondenz Abwasser, Abfall* 5, S. 369–376.

2018: ISO/DIS 3722: Sustainable cities and communities. Online verfügbar unter <https://www.iso.org/standard/69050.html>, zuletzt geprüft am 24.11.2018.

Jochheim, Lasse (2018): Digitalisierte Wertschöpfung in der Wasserwirtschaft - State of the Art. In: *InfrastrukturRecht Energie, Verkehr, Abfall, Wasser* (1), S. 27–29.

Keppner, Lutz; Grimm, Frauke; Fischer, Dagmar (2017): Nitratbericht 2016. Hg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau- und Reaktorsicherheit und Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Online verfügbar unter https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Binnengewasser/nitratbericht_2016_bf.pdf, zuletzt geprüft am 02.11.2018.

Kommunal 4.0 e.V. (2017): DIGITALISIERUNGSSTUDIE 2017. Digitalisierung und Vernetzung in der Wasserwirtschaft. Unter Mitarbeit von Günter Müller-Czygan und Holger Droste. Hg. v. HST Systemtechnik GmbH & Co KG. Online verfügbar unter https://lamapoll.de/KOMMUNAL_4.0_Interview-Befragung_zur_Digitalisierungsstudie_2017/.

Kutschera, Gesa; Engels, Ralf; Bolle, Friedrich-Wilhelm; Schüttrumpf, Holger; Barneveld, Hermjan; Zethof, Marit (2016): Die Zukunft des Hochwasserschutzes als Teil der Wasserwirtschaft 4.0 - ein erster Blick durch die digitale Brille. In: *Korrespondenz Wasserwirtschaft* 9 (11), S. 674–680. Online verfügbar unter http://www.hkv.nl/upload/publication/Die_Zukunft_des_Hochwasserschutzes_HJB_MZ.pdf, zuletzt geprüft am 11.08.2017.

Landesregierung Nordrhein-Westfalen (2015): "NRW 4.0": Digitaler Wandel in Nordrhein-Westfalen. Fortschrittsbericht der Landesregierung. Hg. v. Landesregierung Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf. Online verfügbar unter https://www.land.nrw/sites/default/files/asset/document/digitaler_wandel_in_nrw_-_fortschrittsbericht_der_landesregierung.pdf.

Ler, Lian Guey (2016): Analysis of Current ICT Solutions in Water Business Processes. In: *Procedia Engineering* 154, S. 3–10. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.410.

McKinsey & Company (2017): Mehr Leistung für Bürger und Unternehmen: Verwaltung digitalisieren. Register modernisieren. Hg. v. Nationaler Normenkontrollrat. Online verfügbar unter https://www.normenkontrollrat.bund.de/Web/NKR/Content/DE/Download/2017-10-06_download_NKR%20Gutachten%202017.pdf?__blob=publicationFile&v=3.

Ministerium für Umwelt, Energie, Ernährung und Forsten Rheinland-Pfalz (2018): Bund/Länder-Kooperation Wasser-DE. Hg. v. GDI-DE. Online verfügbar unter

https://www.geoportal.de/SharedDocs/Newsletter/DE/Newsletter%202018/10_2018_GDI-DE_NEWS.pdf?__blob=publicationFile.

Open Geospatial Consortium (2012): OGC® WaterML 2.0: Part 1- Timeseries. Open Geospatial Consortium. Online verfügbar unter <http://waterml2.org/>.

Pachaly, Uta; Jumar, Ulrich (2017): Konzepte von Industrie 4.0 für die Abwasserwirtschaft. In: *Korrespondenz Abwasser, Abfall* 6, S. 484–495. DOI: 10.3242/kae2017.06.001.

Plattform Industrie 4.0 (2018): Normen & Standards. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Online verfügbar unter <https://www.plattform-i40.de/I40/Navigation/DE/Industrie40/Handlungsfelder/NormenStandards/normen-und-standards.html>, zuletzt geprüft am 23.11.2018.

Poppe, Andrea; Saus, Oliver; Zinck, Alexander (2017): Das digitale Abwasseinstitut. Vom elektrischen Postworkflow bis zur Digitalisierung des Aktenbestandes in der Indirekteinleiterüberwachung. In: *kompetenz Wasser* (November), S. 17–18. Online verfügbar unter <https://www.steb-koeln.de/Redaktionell/ABLAGE/Downloads/Broschüren-Veröffentlichungen/Kompetenz-Wasser/kompetenz-wasser-2017-web.pdf>, zuletzt geprüft am 23.11.2018.

Raith, Katja Ines; Hoppe, Holger; Kutsch, Stefan; Ante, Jens; Massing, Christian (2017): Qualitätsabhängige Kanalnetzsteuerung - Konzeption und Umsetzung lokaler und stadtgebietsweiter Steuerungsstrategien. Leitfaden Version 1 (2017). Hg. v. Samuwa. Online verfügbar unter http://www.samuwa.de/img/pdfs/leitfaden_qualitaetsabhaengige_kanalnetzsteuerung.pdf, zuletzt geprüft am 23.11.2018.

Reichert, Joachim (2016): Die neue Automatisierungsstrategie der Berliner Wasserbetriebe. In: *Korrespondenz Abwasser, Abfall* 9, S. 771–778. DOI: 10.3242/kae2016.09.002.

Rudolf, Bruno; Simmer, Clemens (ohne Datum): Niederschlag, Starkregen und Hochwasser. Hg. v. DWD. Online verfügbar unter https://www.dwd.de/DE/leistungen/wzn/publikationen/Niederschlag_Starkregen_Hochwasser.pdf?__blob=publicationFile&v=2, zuletzt geprüft am 23.11.2018.

Schieferdecker, Ina; Bruns, Lina; Cuno, Silke; Flügge, Matthias; Isakovic, Karsten; Klessmann, Jens et al. (2018): Urbane Datenräume. Möglichkeiten von Datenaustausch und Zusammenarbeit im urbanen Raum. Hg. v. Fraunhofer FOKUS. Bundesministerium für Bildung und Forschung. Berlin. Online verfügbar unter https://cdn0.scrvt.com/fokus/774af17bdc0a18cd/69f7a401c168/UDR_Studie_062018.pdf.

Sedlak, David L. (2014): Water 4.0. The past, present, and future of the world's most vital resource. New Haven: Yale University Press. Online verfügbar unter <http://www.jstor.org/stable/10.2307/j.ctt5vk5m5>.

Voigt, Mario; Thorun, Christian; Sinemus, Kristina (2017): Digital. Kommunal. Deutschland. Smart Nation durch Smart Regions. Hg. v. Quadriga Hochschule Berlin und Verband kommunaler Unternehmen e.V. (VKU). Berlin.

Wimmer, Manuela; Hübner, Mario (2017): Smarte digitale Transformation in der Wasserwirtschaft. In: *Wasserwirtschaft Wassertechnik* 66 (10), S. 40–45. Online verfügbar unter <http://www.wwt-online.de/sites/default/files/fachartikel/wwt1017-tw-huebner.pdf>.

Wulf, Georg (2017): Modernisierungsansätze des Wupperverbands im Hinblick auf Wasserwirtschaft 4.0. In: *Wasserwirtschaft Wassertechnik* 66 (Modernisierungsreport), S. 22–25. Online verfügbar unter <http://www.wwt-online.de/sites/default/files/fachartikel/wwt1117-modrep-fa-wulf.pdf>.

A Anhang

Die Bestandsaufnahme zur Thematik „Wasserwirtschaft 4.0“ orientiert sich an der Gesamtheit des Themas, von technischen bis zu administrativen und sektorenübergreifenden Aspekten. Insgesamt wurden im Zuge der Bestandsaufnahme 385 Dokumente erfasst. Die erfassten Dokumente umfassen u. a. Konferenzbeiträge, graue Literatur, wissenschaftliche Fachzeitschriften und Informationen von Webseiten. Hierbei wurde ein Fokus auf Entwicklungen im deutschen Raum gelegt, ohne europäische und globale Entwicklungen auszuklammern. In Tabelle A-1 sind die systematisch durchsuchten Zeitschriften gelistet. Stichtag für die Literaturrecherche war hierbei der 31.08.2018. Alle in der Tabelle A-1 genannten Zeitschriften wurden dementsprechend bis einschließlich diesen Tages durchsucht.

Tabelle A-1: Systematisch durchsuchte Zeitschriften

Name der Zeitschrift	Beschreibung	Website	Herausgegeben seit	Rückwärts durchsucht bis einschl.
Automation Blue	Automation Blue - Automatisierungslösungen für Wassersysteme	https://www.automation-blue.de/	Online-Archiv ab 2016	Ausgabe 01/2016
BBU Wasserrundbriefe	Seit 1981 Berichte und Kommentare zu Wasserwirtschaft und Gewässerschutz	http://www.akwasser.de/rundbrief	1981	Ausgabe 01/2017
Behörden-spiegel Newsletter	E-Government, Informationstechnologie und Politik	http://www.behoerden-spiegel.de/Newsletter/E-Government/	Online-Archiv ab 2015	Ausgabe Januar 2015
Energie / Wasser Praxis	offizielles Vereinsorgan des DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V.	http://www.energie-wasser-praxis.de/heftarchiv/	2000	Ausgabe 01/2014
gwf Wasser/ Abwasser	technisch-wissenschaftliche Fachzeitschrift für das Wasserfach	https://www.gwf-wasser.de/	Heftarchiv bis 2008	Ausgabe 01/2014
KA Korrespondenz Abwasser, Abfall	monatliches Organ der DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Wasser und Abfall) und des Güteschutzes Kanalbau e. V.	http://de.dwa.de/ka-korrespondenz-abwasser-abfall.html	Online-Archiv ab 2000	Ausgabe 01/2014
Kommunalwirtschaft	Technisch wirtschaftliche Zeitschrift für Versorgung; Organ des Vereins für kommunale Wirtschaft	http://www.kommunalverlag.de/kommunalwirtschaft.aft.php	Online-Archiv ab 2007	Ausgabe 01/2015
KW Korrespondenz Wasserwirtschaft	Verbands- und Fachorgan der DWA	http://de.dwa.de/kw-korrespondenz-wasserwirtschaft.html	2008	Ausgabe 01/2014

Name der Zeitschrift	Beschreibung	Website	Herausgegeben seit	Rückwärts durchsucht bis einschl.
Smart Water	Selbstbeschreibung: The journal covers emerging domains which overlaps the Information and Communication Technology (ICT) and the Water domain.	https://smartwaterjournal.springeropen.com/about	2016	Volume 1, nr.1
Wasser & Abwasser Technik	Selbstbeschreibung: neueste und innovativste Nachrichten aus der Wasser-/Abwasserwirtschaft	https://wasser-abwassertechnik.com/	2017	Ausgabe 01/2017
Wasserwirtschaft	Zeitschrift über die deutsche Wasserwirtschaft	https://www.springerprofessional.de/wasserwirtschaft/3415344 https://www.springerprofessional.de/archive/journal/35147	2004	Ausgabe 01/2014
Wasserwirtschaft Wassertechnik	Wasserwirtschaft Wassertechnik (wwt)	http://www.wwt-online.de/	1951 (Online-Archiv bis 2008)	Ausgabe 01/2014
Zeitung für kommunale Wirtschaft	Selbstbeschreibung: Leitmedium für die kommunale Wirtschaft in Deutschland	https://www.zfk.de/	1954 (Online-Archiv zwischen 2016 und 2011)	Ausgabe 01/2015

Literaturverzeichnis (Sammlung Bestandsaufnahme)

#beyondpumps: Digitalisierte Lösungen für das Water Management. Wilo auf der IFAT 2016 (2016). In: *Kommunalwirtschaft* (03-04), S. 45–46. Online verfügbar unter http://www.kommunalverlag.de/downloads/pdf/2016/Innen-KoWi_03-04-2016.pdf.

Ahlvers, Pascal (2017): Datenerfassung als grundlegender Bestandteil von Wasser 4.0. In: *AutomationBlue* Vol. 1 (3), S. 28–32. Online verfügbar unter <https://www.di-verlag.de/de/Zeitschriften/Automation-Blue/2017/03/Datenerfassung-als-grundlegender-Bestandteil-von-Wasser-40>.

Alberding, Jürgen (2016): Geomonitoring mit Low-Cost-GNSS-Sensoren. In: *Wasserwirtschaft* 106 (9). Online verfügbar unter <https://www.springerprofessional.de/geomonitoring-mit-low-cost-gnss-sensoren/10653416>.

Albrecht, Martin; Dehne, Peter; Dosch, Axel; Glatthaar, Michael; Gutsche, Jens-Martin; Kaether, Johann (2011): Regionalstrategie Daseinsvorsorge. Denkanstöße für die Praxis. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) und Bundesinstitut für Bau- Stadt- und Raumforschung. Berlin. Online verfügbar unter <http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVBS/Sonderveroeffentlichungen/2011/RegionalstrategieDaseinsvorsorge.html>.

Alex, Jens; Morck, Tobias; Cybulski, Barbara (2017): Simulationsgestützter Entwurf, Analyse und virtuelle Inbetriebnahme von Ammoniumregelungen für Belebungsanlagen Alex. In: *Korrespondenz Abwasser, Abfall* (6), S. 515–525. DOI: 10.3242/kae2017.06.005.

Althoff, Heiko; Holtmeier, Eberhard (2017): Wasserwirtschaft 4.0 – das neue Infrastrukturnetzwerk bei Emschergenossenschaft und Lippeverband. In: *Korrespondenz Abwasser, Abfall* 6, S. 502–506. DOI: 10.3242/kae2017.06.003.

Angermaier, Bernhard; Bräuer, Rolf; Falley, Norbert; Fulger, Daniel; Giern, Sandra; Illigmann, Klaus et al. (2017): Technologie und Mensch in der Kommune von morgen. Impulspapier zu Normen und Standards. Smart City. Hg. v. DIN e.V. Berlin.

AutomationBlue (2017): Forschungsprojekt entwickelt Reifegradmodell für die Wasserwirtschaft 4.0. Online verfügbar unter <https://www.automation-blue.de/nachrichten/wirtschaft-unternehmen/20-10-2017-forschungsprojekt-entwickelt-reifegradmodell-fuer-die-wasserversorgung-40/>, zuletzt aktualisiert am Oktober 2017.

Baller, Silja; Dutta, Soumitra; Lanvin, Bruno (2016): The Global Information Technology Report 2016. Innovating in the Digital Economy. Montreal, QC, CA: World Economic Forum (Insight Report).

Barelmann, Dieter (2017): „Aqua Automation“ für durchgängige Lösungen. In: *AutomationBlue* (1), S. 14–15. Online verfügbar unter <https://www.di-verlag.de/de/Zeitschriften/Automation-Blue/2017/01/Aqua-Automation-fuer-durchgaengige-Loesungen>.

Barelmann, Dieter (2017): Der IT-Sicherheitsleitfaden – aller Anfang ist leicht. In: *AutomationBlue* (3), S. 44–47. Online verfügbar unter <https://www.di-verlag.de/de/Zeitschriften/Automation-Blue/2017/03/Der-IT-Sicherheitsleitfaden--aller-Anfang-ist-leicht>.

Barelmann, Dieter; Menge, Stefan (2017): In der Praxis: Der IT-Sicherheitsleitfaden für die Wasserwirtschaft. In: *AutomationBlue* 1 (4), S. 23–26. Online verfügbar unter <https://www.di-verlag.de/de/Zeitschriften/Automation-Blue/2017/04/In-der-Praxis:-Der-IT-Sicherheitsleitfaden-fuer-die-Wasserwirtschaft>.

Barjenbruch, Matthias; Schüler, Ralf; Mauer, Peter; Mentzel, Josie (2015): Klärschlammnetzwerk Nord-Ost. In: *Wasserwirtschaft Wassertechnik* 10, S. 8–11.

Barjenbruch, Matthias; Donner, Christoph; Ernst, Mathias; Gröschl, Frank; Grünebaum, Thomas; Günther, Wolfgang et al. (2016): Water Innovation Circle. Forschungsbedarf in der Wasserwirtschaft. Hg. v. [DWA] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. und [DVGW] Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches. Bonn, Hennef. Online verfügbar unter <http://www.water-innovation-circle.de/medien/onepager/wic/forschungsbedarf-wasserwirtschaft-wic.pdf>, zuletzt geprüft am 02.08.2017.

Bartschat, Alexandra (2016): Wasser und Beschäftigung - Zukunftsthema ist Schwerpunkt der DWA auf der IFAT. In: *Korrespondenz Abwasser, Abfall* 3, S. 169–172.

Baumgarten, Corinna (2014): Empfehlungen zur koordinierten Anwendung der EG-HWRM-RL und EG- WRRL. 19. Gewässersymposium "Wasserrahmenrichtlinie und Hochwasserrisikomanagementrichtlinie". Umweltbundesamt. Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern. Güstrow, 19.11.2014.

Bayerische Staatskanzlei (Hg.) (2017): Bayern Digital II. Investitionsprogramm für die digitale Zukunft Bayerns. München. Online verfügbar unter http://www.bayern.de/wp-content/uploads/2014/09/17-05-30-masterplan-bayern-digital_massnahmen_anlage-mrv_final.pdf.

BDEW (Hg.) (2017): DIGITALISIERUNG AUS KUNDENSICHT. Langfassung der qualitativen Marktforschungsstudie. rheingold institut. Online verfügbar unter <https://vdv->

energie.de/internet.nsf/id/3594CD7572FAFC73C12580EC002EA3D0/\$file/170322_Langfassung%20Studie%20Digitalisierung%20aus%20Kundensicht_final_22.03.2017.pdf, zuletzt geprüft am 11.08.2017.

BDEW; Ernst & Young (2018): Stadtwerke-Studie 2018. Digitalisierung in der Energiewirtschaft - Quo vadis? Hg. v. Ernst & Young. BDEW. Online verfügbar unter <https://www.bdew.de/service/publikationen/stadtwerkstudie-2018/>, zuletzt geprüft am 23.11.2018.

Becker, Jürgen (2017): Unternehmen der Daseinsvorsorge im Zeichen der Digitalisierung Arbeit 4.0. Daseinsvorsorge der Zukunft: Chancen der Digitalisierung nutzen. StEB - Stadtentwässerungsbetriebe Köln. Kölner Netzwerk der Daseinsvorsorge. Köln, 2017.

Bednarski, Adrian (2018): IoT: LoRa-Netz für München. In: *BehördenSpiegel*, 05.06.2018. Online verfügbar unter <https://www.behörden-spiegel.de/2018/06/05/iot-lora-netz-fuer-muenchen/>, zuletzt geprüft am 09.10.2018.

Bednarski, Adrian (2018): Digitales Kompetenzzentrum notwendig? In: *BehördenSpiegel*, 05.09.2018. Online verfügbar unter <https://www.behörden-spiegel.de/2018/09/05/digitales-kompetenzzentrum-notwendig/>, zuletzt geprüft am 09.10.2018.

Behörden Spiegel (2016): Ist E-Government bereits tot? Berlin/Bonn (Behörden Spiegel Newsletter - E-Government, Informationstechnologie und Politik, 801). Online verfügbar unter <http://www.behörden-spiegel.de/Newsletter/E-Government/binarywriterservlet?imgUid=e2260031-e51e-6951-be74-fa747b988f2e&uBasVariant=11111111-1111-1111-1111-111111111111>.

Behörden Spiegel (2016): Bremen beschließt Verwaltung 4.0. Berlin/Bonn (Behörden Spiegel Newsletter - E-Government, Informationstechnologie und Politik, 803). Online verfügbar unter <http://www.behörden-spiegel.de/Newsletter/E-Government/binarywriterservlet?imgUid=29160031-e51e-6951-be74-fa747b988f2e&uBasVariant=11111111-1111-1111-1111-111111111111>.

Bertschek, Irene; Erdsiek, Daniel; Kesler, Reinhold; Niebel, Thomas; Rasel, Fabienne (2017): Chancen und Herausforderungen der Digitalisierung in Baden-Württemberg. Hg. v. Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW). Mannheim. Online verfügbar unter https://www.digital-bw.de/downloads/ZEW_MetastudieDigitalisierungBaWue2017.pdf.

BILDUNGS | welten. BMAS-Lagebild 2017 zu den Kompetenz- und Qualifizierungsbedarfen bis 2030: Mögliche Zukunftsszenarien der Arbeitswelt 4.0 (2018). In: *energie | wasser-praxis*, 2018 (2), S. 56–58. Online verfügbar unter https://www.energie-wasser-praxis.de/fileadmin/heftarchiv/2018/Inhaltsverzeichnisse/ewp_0218_04-05_Inhalt.pdf.

BILDUNGS | welten. Lernen 4.0 mit allen Sinnen - Smartphones und QR-Codes für Auszubildende auf Kläranlagen (2018). In: *energie | wasser-praxis*, 2018 (5), S. 88–90.

Billerbeck, Götz (2018): Smart Citys aktiv gestalten. In: *Zeitung für kommunale Wirtschaft*, 2018 (02).

Bischoff, Eva (2015): Die smarte Verwaltung – eine Chance für Beamte und Bürger. In: *Kommunalwirtschaft* (10), S. 24–26. Online verfügbar unter http://www.kommunalverlag.de/downloads/pdf/2015/Innen-KoWi_10-2015.pdf.

Bishop, Mike (2017): SWAN 2017 ICT Future. SWAN 7th Annual Conference. Welsh Water. SWAN - The Smart Water Networks Forum. London, 09.05.2017. Online verfügbar unter https://www.swan-forum.com/wp-content/uploads/sites/218/2017/05/SWAN-2017_ICT-Future_Welsh-Water.pdf?x12236.

Bitkom: Themenseite. Digitalisierung in der Landwirtschaft. Unter Mitarbeit von Miriam Taenzer. Online verfügbar unter <https://www.bitkom.org/Themen/Digitale-Transformation-B Branchen/Landwirtschaft/Digitalisierung-in-der-Landwirtschaft.html>, zuletzt geprüft am 02.11.2018.

- Bittermann, Hans-Jürgen; Kempf, Jörg (2017): Wie digital wird die Wasserwirtschaft? In: *process.de*, 06.04.2017. Online verfügbar unter <http://www.process.vogel.de/wie-digital-wird-die-wasserwirtschaft-a-597843/>, zuletzt geprüft am 11.08.2017.
- Blechner, Notker (2017): Digitale Revolution auch in der Wasserbranche. In: *VDI Nachrichten*, 24.06.2017 (25). Online verfügbar unter <http://www.vdi-nachrichten.com/Technik-Wirtschaft/Digitale-Revolution-in-Wasserbranche>, zuletzt geprüft am 02.08.2017.
- Bluhm, Ingo (2016): Wasserzähler fördern interkommunale Zusammenarbeit. In: *AutomationBlue* 1 (1), S. 44–46. Online verfügbar unter https://www.di-verlag.de/plugins/plg_oiv_paywall/scripts/import.article.php?issue=3336&media=43912.
- Bluhm, Ingo (2017): Einfache Auslesung zu 100 % datenschutzkonform. In: *AutomationBlue* (2), S. 36–38. Online verfügbar unter <https://www.di-verlag.de/de/Zeitschriften/Automation-Blue/2017/02/Einfache-Auslesung-zu-100-datenschutzkonform>.
- Blumensaat, Frank; Ebi, Christian; Dicht, Simon; Rieckermann, Jörg; Maurer, Max (2017): Langzeitüberwachung der Raum-Zeit- Dynamik in Entwässerungssystemen mittels Niedrigenergiefunk. Ein Feldexperiment im Großmaßstab. In: *Korrespondenz Abwasser, Abfall* 64 (7), S. 594–603. DOI: 10.3242/kae2017.07.001.
- Boberach, Michael; Moy, Theresa; Neuburger, Rahild; Wolf, Malthe (2013): Zukunftspfade Digitales Deutschland 2020. Hg. v. Cornelia Rogall-Grothe und Franz Josef Pschierer. IT-Planungsrat. Berlin. Online verfügbar unter http://www.zukunftspfade-deutschland.de/fileadmin/uploads/download/ZukunftspfadeDigitalesDeutschland_web.pdf.
- Boberach, Michael; Neuburger, Rahild (2014): Zukunftspfade Digitales Deutschland 2020. In: *HMD* 51 (6), S. 762–772. DOI: 10.1365/s40702-014-0087-z.
- Bothe, Frank (2017): Modernisierung der Fernwirktechnik sichert höchste Verfügbarkeit. In: *AutomationBlue* (2), S. 52–54. Online verfügbar unter <https://www.di-verlag.de/de/Zeitschriften/Automation-Blue/2017/02/Modernisierung-der-Fernwirktechnik-sichert-hoechste-Verfuegbarkeit>.
- Boudon, Jacques (2010): ICT for Water Management? Tentative list of needs. ICT for Water Management. Cirsee - Suez Environment. Europäische Kommission. Brüssel, 11.06.2010. Online verfügbar unter http://ec.europa.eu/information_society/activities/sustainable_growth/docs/water_cons/boudon_presentation.pdf.
- Boussin, Valentin (2017): Fernwirktechnik für Trinkwasser und Abwasser. In: *AutomationBlue* (1), S. 44–46. Online verfügbar unter <https://www.di-verlag.de/de/Zeitschriften/Automation-Blue/2017/01/Fernwirktechnik-fuer-Trinkwasser-und-Abwasser>.
- Brandt, Holger (2016): Fernüberwachung eines Wasserwerks mit dem Smartphone. In: *AutomationBlue* 1 (1), S. 54–55. Online verfügbar unter https://www.di-verlag.de/plugins/plg_oiv_paywall/scripts/import.article.php?issue=3336&media=43912.
- Brenda, Marian; Sonnenburg, Alexander; Urban, Wilhelm (2016): Hybride Schlammmodellierung in der Abwasserreinigung. In: *Korrespondenz Abwasser, Abfall* 6, S. 521–526. DOI: 10.3242/kae2016.06.003.
- Bröker, Stefan (2017): DWA-Expertengespräch Wasserwirtschaft 4.0 am 16.01.2017 in Hennef. Wasserwirtschaft 4.0: Ökonomische Effizienz und neue Möglichkeiten für den Gewässerschutz. DWA-Expertenworkshop zeigt Status Quo, Tendenzen und Handlungsbedarf auf. Hg. v. DWA. Hennef.
- Bröker, Stefan (2017): Schöne neue Welt? Die (digitale) Vernetzung in der Wasserwirtschaft – DWA-Landesverbandstagung NRW in Recklinghausen. In: *Korrespondenz Abwasser, Abfall* 64 (11), S. 962–966.

Buchholz, Thomas (2017): Fernüberwachung mit Drahtlosnetzwerken großer Reichweite. In: *AutomationBlue* (2), S. 46–48. Online verfügbar unter <https://www.di-verlag.de/de/Zeitschriften/Automation-Blue/2017/02/Fernueberwachung-mit-Drahtlosnetzwerken-grosser-Reichweite>.

Buchholz, Thomas (2018): Digitale Lösungen für Wasserwirtschaft und Smart Cities. In: *AutomationBlue* (2), S. 56–59. Online verfügbar unter <https://www.vulkan-shop.de/digitale-loesungen-fuer-wasserwirtschaft-und-smart-cities-2018-02-01>, zuletzt geprüft am 17.09.2018.

Buhr, Daniel (2017): Digitale Partizipation - Mythos oder mehr? Daseinsvorsorge der Zukunft: Chancen der Digitalisierung nutzen. Daseinsvorsorge der Zukunft: Chancen der Digitalisierung nutzen. Universität Tübingen. Kölner Netzwerk der Daseinsvorsorge. Köln, 2017.

Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA); Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein (Hg.) (2014): INSPIRE in der Wasserwirtschaft. Problemaufriss und Handlungsempfehlungen. Kiel.

Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA); Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein (Hg.) (2015): Handlungsempfehlung - Vereinheitlichung der Pläne bzw. Programme und Dokumente der LAWA, Flussgebietseinheiten und Länder. Kiel.

Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe; Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (03.05.2016): Verordnung zur Bestimmung Kritischer Infrastrukturen. BSI-KRITISV. Online verfügbar unter http://www.kritis.bund.de/SubSites/Kritis/DE/Aktuelles/Meldungen/160502_KritisV_Inkrafttreten.html.

Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (2018): Geoportal. Online verfügbar unter <https://www.geoportal.de/DE/Geoportal/Karten/karten.html?lang=de&wmcid=44>, zuletzt geprüft am 02.11.2018.

Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (19.08.2009): Gesetz zur Erhöhung der Sicherheit informationstechnischer Systeme. BSI-Gesetz. Online verfügbar unter https://www.bsi.bund.de/DE/DasBSI/Gesetz/gesetz_node.html.

Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (Hg.) (2017): Schutz kritischer Infrastrukturen. durch IT-Sicherheitsgesetz und UP KRITIS. Bonn. Online verfügbar unter https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/Publikationen/Broschueren/Schutz-Kritischer-Infrastrukturen-ITSig-u-UP-KRITIS.pdf?__blob=publicationFile&v=6.

Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (Hg.) (2017): Die Lage der IT-Sicherheit in Deutschland 2017. Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik. Bonn. Online verfügbar unter https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/Publikationen/Lageberichte/Lagebericht2017.pdf?__blob=publicationFile&v=3.

Bundesinstitut für Bau- Stadt- und Raumforschung; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau- und Reaktorsicherheit (Hg.) (2017): Smart City Charta. Digitale Transformation in den Kommunen nachhaltig gestalten. Unter Mitarbeit von Eva Schweitzer, Peter Jakubowski, ralf Schulze, Margit Tünnemann, Antje Grobe und Mikko Rissanen. Bonn.

Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz (2017): Gesetz zur Förderung der elektronischen Verwaltung (EGovernment-Gesetz - EGovG). Online verfügbar unter <http://www.gesetze-im-internet.de/egovg/EGovG.pdf>.

Bundesministerium des Inneren: Entwurf eines Ersten Gesetzes zur Änderung des E-Government-Gesetzes. Online verfügbar unter https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/gesetztestexte/gesetztesentwuerfe/entwurf-open-data-gesetz.pdf?__blob=publicationFile&v=1, zuletzt geprüft am 23.11.2018.

Bundesministerium des Inneren (2014): Digitale Verwaltung 2020. Regierungsprogramm 18. Legislaturperiode. Hg. v. Bundesministerium des Inneren. Berlin. Online verfügbar unter https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/2014/regierungsprogramm-digitale-verwaltung-2020.pdf;jsessionid=2889980EE434ABE4275D044A8B5374CB.1_cid364?__blob=publicationFile&v=3.

Bundesministerium des Inneren; Bundesministerium für Wirtschaft und Energie; Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hg.) (2014): Digitale Agenda 2014 – 2017. Berlin. Online verfügbar unter https://www.digitale-agenda.de/Content/DE/_Anlagen/2014/08/2014-08-20-digitale-agenda.pdf?__blob=publicationFile&v=6.

Bundesministerium des Inneren; Bundesministerium für Wirtschaft und Energie; Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hg.) (2017): Legislaturbericht Digitale Agenda 2014–2017. Berlin. Online verfügbar unter https://www.digitale-agenda.de/Content/DE/_Anlagen/2017/04/2017-04-26-digitale-agenda.pdf?__blob=publicationFile&v=3.

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: Digitalisierung in der Landwirtschaft: Chancen und Risiken. Online verfügbar unter (https://www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/_Texte/Digitalisierung-Landwirtschaft.html), zuletzt geprüft am 02.11.2018.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2009): Dem Klimawandel begegnen - Die Deutsche Anpassungsstrategie. 1. Aufl. Unter Mitarbeit von Christine Feix, Almut Nagel, Jürgen Schulz und Thomas Stratenwerth. Hg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Berlin. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/515/dokumente/broschuere_dem_klimawandel_begegnen_bf.pdf, zuletzt geprüft am 02.11.2018.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau- und Reaktorsicherheit (Hg.) (2016): Klimaschutzplan 2050: Klimapolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung. Berlin. Online verfügbar unter https://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutzplan_2050_bf.pdf.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2016): Digitale Strategie 2025. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Berlin. Online verfügbar unter <http://www.de.digital/DIGITAL/Redaktion/DE/Publikation/digitale-strategie-2025-broschuere.html>.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2016): Gruenbuch Digitale Plattformen. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Online verfügbar unter <http://www.de.digital/DIGITAL/Redaktion/DE/Publikation/gruenbuch.html>.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2016): Aktionsprogramm Digitalisierung. 12 Punkte für die Digitale Zukunft. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Online verfügbar unter <http://www.de.digital/DIGITAL/Redaktion/DE/Publikation/aktionsprogramm-digitalisierung.html>.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2017): Monitoring Report Wirtschaft DIGITAL 2017. Berlin. Online verfügbar unter <https://www.tns-infratest.com/wissensforum/studien/pdf/bmwi/monitoring-report-wirtschaft-digital-2017-kompakt.pdf>, zuletzt geprüft am 11.08.2017.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2017): Global. Innovativ. Fair. Wir machen Zukunft digital. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Online verfügbar unter <http://www.de.digital/DIGITAL/Redaktion/DE/Publikation/global-innovativ-fair.html>.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2017): Weissbuch Digitale Plattformen. Digitalie Ordnungspolitik für Wachstum, Innovation, Wettbewerb und Teilhabe. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Online verfügbar unter <http://www.de.digital/DIGITAL/Redaktion/DE/Publikation/weissbuch.html>.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie; Bundesministerium für Arbeit und Soziales; Bundesministerium für Justiz und Verbraucherschutz (2017): Digitalpolitik für Wirtschaft, Arbeit und Verbraucher. Trends - Chancen - Herausforderungen. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Bundesministerium für Arbeit und Soziales und Bundesministerium für Justiz und Verbraucherschutz. Online verfügbar unter <http://www.de.digital/DIGITAL/Redaktion/DE/Publikation/digitalpolitik-fuer-wirtschaft-arbeit-und-verbraucher.html>.

Bundesregierung (2006): Bericht der Bundesregierung zur Modernisierungsstrategie für die deutsche Wasserwirtschaft und für ein stärkeres internationales Engagement der deutschen Wasserwirtschaft. Berlin. Online verfügbar unter <http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/16/010/1601094.pdf>, zuletzt geprüft am 24.11.2018.

Büro für Technikfolgenabschätzung beim deutschen Bundestag (2018): Digitalisierung der Landwirtschaft. Online verfügbar unter <http://www.tab-beim-bundestag.de/de/gutachter/g30701.html>, zuletzt geprüft am 23.11.2018.

Busskamp, Ralf; Elvert, Christoph; Prangenberg, Dennis; Förster, Christian; Jirka, Simon; Kappler, Wolfgang et al. (2016): Standardisierte Bereitstellung und Nutzung von wasserwirtschaftlichen Messdaten. In: *Korrespondenz Wasserwirtschaft* (6), S. 357–364.

BWT Wassertechnik GmbH (2017): AQA perla 4.0 Weltsensation. Online verfügbar unter https://www.bwt.de/_layouts/BWT.Design/Download.aspx?Source=09b6075f-4352-49b7-944e-8ac07821c43e, zuletzt geprüft am 11.08.2017.

Cahn, Amir (2014): An overview of smart water networks. In: *Journal - American Water Works Association* (106 (7)), S. 68–74. Online verfügbar unter <https://www.awwa.org/publications/journal-awwa/abstract/articleid/46003654.aspx>.

Cartier, Genest (2017): Water and Resilience. SWAN 7th Annual Conference. Veolia. SWAN - The Smart Water Networks Forum. London, 09.05.2017. Online verfügbar unter https://www.swan-forum.com/wp-content/uploads/sites/218/2017/05/SWAN-2017_Keynote-Veolia_Genest-Cartier.pdf?x12236.

Chauvet, Clara; Dreuzy, Jean-Raynald de; Thomas, Zahra; Carfantan, Gwenaëlle; Andrieu, Hervé (2016): Towards a Robust and Flexible Numerical Framework for Integrated Urban Water System Modeling. In: *Procedia Engineering* 154, S. 757–764. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.580.

Choi, Gye Woon; Chong, Koo Yol; Kim, Sae Jin; Ryu, Tae Sang (2016): SWMI. New paradigm of water resources management for SDGs. In: *Smart Water* 1 (1), S. 4240. DOI: 10.1186/s40713-016-0002-6.

con::lyte - Runderneuertes Terminal für Wasserqualitäts-Parameter (2016). In: *Kommunalwirtschaft* (5), S. 38. Online verfügbar unter http://www.kommunalverlag.de/downloads/pdf/2016/Innen-KoWi_05-2016.pdf.

Dapp, Marcus M.; Balta, Dian; Palmetshofer, Walter; Krcmar, Helmut; Kuzev, Pencho (Hg.) (2016): Open Data. The Benefits. Das volkswirtschaftliche Potential für Deutschland. Konrad-Adenauer-Stiftung. Sankt Augustin, Berlin: Konrad-Adenauer-Stiftung e.V. Online verfügbar unter <http://library.kas.de/?GUID=1573aa10-f706-e611-9a9d-005056b96343>.

Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI) (17.02.2016): Digitale Service-Wüste in deutschen Amtsstuben. Online verfügbar unter <https://idw-online.de/de/news645991>.

Debor, Joachim (2015): Instandhaltungskonzepte und Wartung von Automatisierungssystemen in der Wasserkraft. In: *Wasserwirtschaft* 105 (5). Online verfügbar unter <https://www.springerprofessional.de/instandhaltungskonzepte-und-wartung-von-automatisierungssystemen/3419044>.

DECHEMA (2018): Positionspapier Industrierwasser 4.0. Potenziale und Herausforderungen der Digitalisierung für die industrielle Wasserwirtschaft. Hg. v. DECHEMA. Frankfurt am Main. Online verfügbar unter

https://dechema.de/dechema_media/Downloads/Positionspapiere/Industriewasser_40_DECHEMA_Positionspapier.pdf, zuletzt geprüft am 23.11.2018.

Degel, Christian; Hofmann, Hilmar (2017): Autonome hydrographische Messplattform „Hydrocrawler“. In: *Korrespondenz Wasserwirtschaft* (4), S. 216–220.

Dehnert, Jörg (2006): Quantifizierung von Nitratgehalten in Grundwasserkörpern. FH-DGG-Tagung Cottbus 2006. Freistaat Sachsen. Fachsektion Hydrogeologie e.V. in der DGGV e.V. Cottbus, 2006. Online verfügbar unter https://www.ufz.de/export/data/2/93241_FH_DGG_Tagung_Cottbus_2006_05_26.pdf.

Deutscher Bauernverband: Dokumentation mit Smartphone. Online verfügbar unter <https://www.bauernverband.de/agrarumweltmassnahmen-mit-dem-smartphone-einfach-dokumentieren>, zuletzt geprüft am 02.11.2018.

Deutscher Bauernverband (2015): Situationsbericht 2015/16 - Trends und Fakten zur Landwirtschaft. Kapitel 3 - Agrarstruktur. Berlin. Online verfügbar unter <https://www.bauernverband.de/situationsbericht-2015-16>, zuletzt geprüft am 02.11.2018.

Deutscher Bauernverband (2018): Meine Zukunft - Agrarantrag 4.0. Berlin. Online verfügbar unter <https://media.repro-mayr.de/23/713423.pdf>, zuletzt geprüft am 02.11.2018.

Deutscher Bauernverband (01.03.2018): Datenhoheit der Landwirte sicherstellen. Online verfügbar unter <https://www.bauernverband.de/datenhoheit-branchenempfehlung-2018>, zuletzt geprüft am 02.11.2018.

Deutscher Verein des Gas- und Wasserfachs e.V (DVGW) (August 2017): Technischer Hinweis - Merkblatt DVGW W 1060 (M) IT-Sicherheit - Branchenstandard Wasser/Abwasser, vom Erstfassung.

DHI Group: Wasserwirtschaft 4.0. Digitalisieren, Modellieren und Visualisieren von Wassersystemen. Online verfügbar unter https://worldwide.dhigroup.com/-/media/shared%20content/presences/emea/germany/flyers%20and%20pdf/products/mpbd_water40.pdf, zuletzt geprüft am 02.08.2017.

Die kompakte Leistungskette auf dem Weg zu Wasser 4.0 (2017). In: *W&A WASSER & ABWASSER TECHNIK*, 25.07.2017. Online verfügbar unter <https://wasser-abwasser-technik.com/die-kompakte-leistungskette-auf-dem-weg-zu-wasser-4-0/>, zuletzt geprüft am 02.08.2017.

Die Senatorin für Finanzen der freien Hansestadt Bremen (Hg.) (2016): Verwaltung 4.0 - Freie Hansestadt Bremen, 2016. Bremen. Online verfügbar unter https://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwj1y-e40rHXAhVL_qQKHR_8DRMQFggmMAA&url=http%3A%2F%2Fsenatspressestelle.bremen.de%2Fsixcms%2Fmedia.php%2F13%2F20161111_Verwaltungneu.pdf&usq=AOvVaw3rYnL6QGQvvgE9XBAF_cg8.

Die Zukunft hat begonnen (2017). In: *W&A WASSER & ABWASSER TECHNIK* (01), S. 20–21. Online verfügbar unter <https://wasser-abwasser-technik.com/archiv/>.

Diesner, Markus; Pfrommer, Julius; Rauschecker, Ursula; Rieg, Clemens; Schel, Daniel; Schleipen, Miriam et al. (2017): Industrie 4.0 Begriffe / Terms. VDI Statusreport 2017. Hg. v. VDI / VDE Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik. Köln. Online verfügbar unter https://m.vdi.de/fileadmin/vdi_de/redakteur_dateien/gma_dateien/7153_PUB_GMA_-_Industrie_4.0_Begriffe-Terms_-_VDI-Statusreport_Internet.pdf, zuletzt geprüft am 23.11.2018.

Dietrich, Axel; Hüesker, Frank; Ansmann, Till; Gretzschel, Oliver (2017): Rahmenbedingungen für die Sektorkopplung von Abwasserreinigung und Klärschlammbehandlung mit der Energiewirtschaft. Hemmnisse, Treiber und Chancen. In: *Korrespondenz Abwasser, Abfall* (8), S. 697–706. DOI: 10.3242/kae2017.08.004.

Digital Governance - was ist des Staates? (2016). In: *Behörden Spiegel Newsletter E-Government*, August 2016 (788), S. 7–8. Online verfügbar unter <http://www.behoerden-spiegel.de/Newsletter/E->

Government/binarywriterservlet?imgUid=20760031-e51e-6951-be74-fa747b988f2e&uBasVariant=11111111-1111-1111-1111-111111111111.

Dikomey, Andreas (2017): Digitale Netzbetriebs-führung von Wasser- und Abwassernetzen. In: *AutomationBlue* (1), S. 51–56. Online verfügbar unter <https://www.di-verlag.de/de/Zeitschriften/Automation-Blue/2017/01/Digitale-Netzbetriebs-fuehrung-von-Wasser-und-Abwassernetzen>.

DLG (-): Chancen und Risiken der Digitalisierung. DLG, -. Online verfügbar unter https://www.bvo-saaten.de/sites/default/files/pdf/handelstage/Paetow_Chancen%20und%20Risiken%20der%20Digitalisierung%20für%20die%20Landwirtschaft.pdf, zuletzt geprüft am 02.11.2018.

DLG (2018): Digitale Landwirtschaft. Ein Positionspapier der DLG. DLG. Frankfurt am Main. Online verfügbar unter https://www.dlg.org/fileadmin/downloads/fachinfos/DLG_Position_Digitalisierung.pdf, zuletzt geprüft am 02.11.2018.

Drogosch, Bianca (2017): EU-Digitalunion: Auf dem Weg zum digitalen Binnenmarkt. BVÖD Workshop Digitalisierung. Verband kommunaler Unternehmen e.V. (VKU). Bundesverband Öffentliche Dienstleistungen (BVÖD). Berlin, 15.09.2017.

Droste, Holger (2017): KOMMUNAL 4.0 - Digitalisierung zum Greifen nah. In: *Wasserwirtschaft Wassertechnik* 6, S. 24–26.

Durmaz, Vedad; Weber, Marcus; Meyer, Johannes; Mückter, Harald (2015): Computergestützte Simulationen zur Abschätzung gesundheitlicher Risiken durch anthropogene Spurenstoffe in der Wassermatrix. In: *Korrespondenz Abwasser, Abfall* 3, S. 264–267.

DVGW (29.09.2017): Forschungsprojekt entwickelt Reifegradmodell für die Wasserversorgung 4.0. DVGW fördert Studie zur Digitalisierung in der Wasserwirtschaft. Daniel Wosnitzka. Internet. Online verfügbar unter <https://www.dvgw.de/der-dvgw/aktuelles/presse/presseinformationen/dvgw-presseinformation-vom-29092017-wasserversorgung-40/>, zuletzt geprüft am 24.11.2018.

DWA (2017): IT-Sicherheit – Branchenstandard Wasser/Abwasser. DWA.

DWA (2018): Standardisierte Bereitstellung und Nutzung von wasserwirtschaftlichen Messdaten. Eine Heranführung an Sensor Web-Technologien (Kurzfassung). Hg. v. DWA. Hennef. Online verfügbar unter https://de.dwa.de/files/_media/content/01_DIE%20DWA/Fachgremien/Bildung%20%7C%20Int.%20Zusammenarbeit/Nutzng_von_wasserwirtschaftlichen_Messdaten_Langfassung_Netz.pdf.

Ekundayo, Ema (Hg.) (2011): Environmental Monitoring. InTech. London: InTech.

Emig, Lars (2016): Wie werden bei Ihnen Informationen zu Objekten der Wasserwirtschaft organisiert? Funktioniert der Datenaustausch immer problemlos? – DWA-Umfrage zu raumbezogenen Daten in der Wasserwirtschaft. In: *Korrespondenz Abwasser, Abfall* (2), S. 92–94.

Endress+Hauser Messtechnik GmbH+Co. KG (2016): Wasser ist unser Leben. Ein langfristig verlässlicher Partner zur Optimierung Ihrer Wasserprozesse - die People for Process Automation. Online verfügbar unter <https://www.de.endress.com/de/Branchenoptimierte-L%C3%B6sungen/Wasser-&-Abwasser/wasser-abwasser-highlights>, zuletzt geprüft am 11.08.2017.

Engelke, Paul (2017): Digitalisierte Bewirtschaftung von Kanalnetz und Oberflächengewässern. In: *AutomationBlue* (1), S. 16–20. Online verfügbar unter <https://www.di-verlag.de/de/Zeitschriften/Automation-Blue/2017/01/Digitalisierte-Bewirtschaftung-von-Kanalnetz-und-Oberflaechengewaessern>.

Engelke, Paul (2017): Gute Badewasserqualität durch Echtzeitsteuerung von Kanalnetz, Oberflächengewässern und Kläranlagen in Århus (Dänemark). In: *gwf-Wasser /Abwasser* 06/2017, S. 26–31.

Engelke, Paul; Lynggard-Jensen, Anders (2017): Echtzeitgesteuerte Bewirtschaftung der Gewässer in Århus. In: *Wasserwirtschaft Wassertechnik* 66 (06), S. 27–31. Online verfügbar unter <http://www.wwt-online.de/sites/default/files/fachartikel/wwt0617-engelke.pdf>.

Engels, Ralf; Schüttrumpf, Holger; Blankenbach, Jörg; Schwermann, Raimund (2016): RiverView - Die Digitalisierung der Wasserwirtschaft durch hochaufgelöste raumzeitliche Informationsmodellierung. In: Johannes Pinnekamp (Hg.): 49. Essener Tagung für Wasser und Abfallwirtschaft "Wasserwirtschaft 4.0". 2. bis 4. März 2016 in der Messe Essen Ost. Unter Mitarbeit von Verena Kölling. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft "Wasserwirtschaft 4.0"; RWTH Aachen; Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft. Aachen: Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen e.V (Gewässerschutz, Wasser, Abwasser, 239), 5/1 - 5/15.

Europäische Kommission (2010): eGovernment Action Plan 2011-2015. Hg. v. Europäische Kommission. Brüssel. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2010:0743:FIN:EN:PDF>, zuletzt geprüft am 23.11.2018.

Europäische Kommission (Hg.) (2013): European Innovation Partnership on Smart Cities and Communities. Strategic Implementation Plan. Brüssel. Online verfügbar unter http://ec.europa.eu/eip/smartcities/files/sip_final_en.pdf.

Europäische Kommission (2015): Roadmap for completing the Digital Single Market. Hg. v. Europäische Kommission. Online verfügbar unter https://ec.europa.eu/commission/publications/roadmap-completing-digital-single-market_en, zuletzt geprüft am 23.11.2018.

Europäische Kommission (2016): EU-eGovernment-Aktionsplan 2016-2020 Beschleunigung der Digitalisierung der öffentlichen Verwaltung. Hg. v. Europäische Kommission. Brüssel. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52016DC0179&from=EN>, zuletzt geprüft am 23.11.2018.

Europäische Kommission (Hg.) (2016): Emerging Topics and Technology Roadmap for Information and Communication Technologies for Water Management. Brüssel. Online verfügbar unter http://www.ict4water.eu/wp-content/uploads/2015/10/ICT4WaterRoadmap2016_final.pdf.

Europäische Kommission (2017): Europäischer Interoperabilitätsrahmen – Umsetzungsstrategie. Hg. v. Europäische Kommission. Online verfügbar unter https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:2c2f2554-0faf-11e7-8a35-01aa75ed71a1.0018.02/DOC_1&format=PDF, zuletzt geprüft am 23.11.2018.

Europäische Kommission (Hg.) (2017): Europe's Digital Progress Report (EDPR) 2017. Country Profile Germany. Brüssel. Online verfügbar unter <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/europes-digital-progress-report-2017>.

Europäische Kommission (09.05.2017): The Digital Economy and Society Index (DESI). Online verfügbar unter <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/desi>.

Europäische Kommission (2017): Mitteilung der europäischen Kommission an das europäische Parlament, den Rat, den europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen. über die Halbzeitüberprüfung der Strategie für einen digitalen Binnenmarkt. Ein vernetzter digitaler Binnenmarkt für alle. Hg. v. Europäische Kommission. Europäische Kommission. Brüssel.

Europäische Kommission (2018): Digital Single Market for Water Services Action Plan. Unter Mitarbeit von Gabriel Anzaldi. Hg. v. Europäische Kommission. Brüssel. Online verfügbar unter <https://ec.europa.eu/futurium/en/system/files/ged/ict4wateractionplan2018.pdf>.

Europäisches Parlament und Europäischer Rat (2003): Richtlinie 2003/35/EG über die Beteiligung der Öffentlichkeit bei der Ausarbeitung bestimmter umweltbezogener Pläne und Programme und zur Änderung der Richtlinien 85/337/EWG und 96/61/EG des Rates in Bezug auf die Öffentlichkeitsbeteiligung und den Zugang zu

Gerichten. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=celex%3A32003L0035>, zuletzt geprüft am 27.11.2018.

Europäisches Parlament und Europäischer Rat (23.12.2003): Richtlinie 2003/98/EG über die Weiterverwendung von Informationen des öffentlichen Sektors. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32003L0098&from=DE>, zuletzt geprüft am 27.11.2018.

Europäisches Parlament und Europäischer Rat (2007): Richtlinie 2007/2/EG vom 14. März 2007 zur Schaffung einer Geodateninfrastruktur in der Europäischen Gemeinschaft (INSPIRE). Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=celex:32007L0002>.

Europäisches Parlament und Europäischer Rat (06.07.2016): RICHTLINIE (EU) 2016/1148 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 6. Juli 2016 über Maßnahmen zur Gewährleistung eines hohen gemeinsamen Sicherheitsniveaus von Netz- und Informationssystemen in der Union. Online verfügbar unter <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016L1148&from=DE>.

Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI) (Hg.) (2017): Gutachten zu Forschung, Innovation und technologischer Leistungsfähigkeit Deutschlands. Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI). Berlin. Online verfügbar unter <http://www.e-fi.de/gutachten.html?&L=0>.

Farago, Christian (2016): Einfache und schnelle Verwaltung mit smarten Wasserzählern. In: *AutomationBlue* 1 (2), S. 30–31. Online verfügbar unter https://www.di-verlag.de/plugins/plg_oiv_paywall/scripts/import.article.php?issue=3340&media=43980.

Farnier, Eric (2010): Smart Metering solution. Long Range Automated Meter Reading. ICT for Water Management. Suez Environment, Lyonnais des Eaux. Europäische Kommission. Brüssel, 11.06.2010. Online verfügbar unter http://ec.europa.eu/information_society/activities/sustainable_growth/docs/water_cons/farnier_ict_water_management.pdf.

Fauth, Heiko; Suchold, Nico; Müller-Czygan, Günter (2017): Branchenstandard Wasser/Abwasser als Teil von KOMMUNAL 4.0. In: *AutomationBlue* (3), S. 48–51. Online verfügbar unter <https://www.di-verlag.de/de/Zeitschriften/Automation-Blue/2017/03/Branchenstandard-Wasser-Abwasser-als-Teil-von-KOMMUNAL-40>.

Fehr, Günter; Müller-Czygan, Günter (2017): Die „Digitale Kläranlage Söllingen“ – Pilotprojekt in KOMMUNAL 4.0. In: *AutomationBlue* 1 (4), S. 30–33. Online verfügbar unter <https://www.di-verlag.de/de/Zeitschriften/Automation-Blue/2017/04/Die-Digitale-Klaeranlage-Soellingen--Pilotprojekt-in-KOMMUNAL-40>.

Fell, Christian; Papp, Erich J. (2017): Wasser 4.0 - Viel Lärm um noch fast nichts? In: *Forum Gas Wasser Wärme*, 2017 (3), S. 6–15.

Ferger, Bernd-Dieter (2017): "OpenWater" - Auf dem Weg zum digitalen Wassernetz. In: *energie | wasser-praxis kompakt* (4), S. 19. Online verfügbar unter http://www.wvgw.de/dyn_pdf/ewpKompakt042017/#18.

FiW [Forschungsinstitut für Wasser- und Abfallwirtschaft an der RWTH Aachen e.V.] (2016): Jahresbericht 2015 | 2016. WASSERWIRTSCHAFT IM DIGITALEN WANDEL. Aachen. Online verfügbar unter http://www.fiw.rwth-aachen.de/neo/fileadmin/pdf/jahresberichte/jb_2016_web_neu.pdf, zuletzt geprüft am 11.08.2017.

Frehmann, Torsten; Obenaus, Frank; Kraft, Angelika (2014): Smart Energy in der Wasserwirtschaft. In: *Korrespondenz Abwasser, Abfall* (2), S. 118–123. DOI: 10.3242/kae2014.02.002.

Fricke, Katja Ines; Hoppe, Holger; Kutsch, Stefan; Massing, Christian; Ante, Jens; Gigl, Thorsten; Muschalla, Dirk (2017): Weiterentwicklung einer qualitätsabhängigen Kanalnetzsteuerung in Wuppertal. Der Weg von der

lokalen Steuerung einzelner Bauwerke zur Verbundsteuerung. In: *Korrespondenz Abwasser, Abfall* (6), S. 507–514. DOI: 10.3242/kae2017.06.004.

Frigger, Uwe; Wiese, Tobias; Müller-Czygan, Günter (2017): Sichere Vor-Ort-Anlagenbedienung mit mobilen Geräten. In: *AutomationBlue* (2), S. 26–28. Online verfügbar unter <https://www.di-verlag.de/de/Zeitschriften/Automation-Blue/2017/02/Sichere-Vor-Ort-Anlagenbedienung-mit-mobilen-Geraeten>.

Fromm, Jens; Welzel, Christian; Nentwig, Lutz; Weber, Mike (2015): E-Government in Deutschland: Vom Abstieg zum Aufstieg. Hg. v. Kompetenzzentrum Öffentliche IT und Nationaler Normenkontrollrat. Berlin. Online verfügbar unter <http://www.oeffentliche-it.de/documents/10181/14412/E-Government+in+Deutschland>.

Gahr, Achim; Wazinski, Peter; Andreas, Nils (2017): Wasserwirtschaft 4.0 erobert den Chemiepark Bitterfeld-Wolfen. In: *Korrespondenz Abwasser, Abfall* 6, S. 526–532. DOI: 10.3242/kae2017.06.006.

Gangl, Gerald; Kober, Erwin; Siegle, Ralf (2016): Wasserverlustmonitoring 4.0 – softwaregestützte Leckerkennung. In: *energie | wasser-praxis* (6/7). Online verfügbar unter <http://www.energie-wasser-praxis.de/heftarchiv/67-2016/>.

Gangl, Gerald; Scheible, Michael (2018): Wasserverluste in städtischen Versorgungssystemen. In: *energie | wasser-praxis* (5), S. 38–42.

Gawel, Erik; Köck, Wolfgang; Kern, Katharina; Schindler, Harry; Holländer, Robert; Anlauf, Katrin et al. (2014): Reform der Abwasserabgabe. Optionen, Szenarien und Auswirkungen einer fortzuentwickelnden Regelung. Hg. v. Umweltbundesamt. Berlin. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_55_2014_reform_der_abwasserabgabe.pdf.

Gebel, Michael; Bürger, Stephan; Uhlig, Mario; Schwarze, Robert; Hauße, Corinna (2017): Ergebniskopplung KliWES. STOFFBILANZ in Sachsen. Hg. v. Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie des Freistaates Sachsen. Dresden. Online verfügbar unter <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/28010>, zuletzt geprüft am 23.11.2018.

Geetha, S.; Gouthami, S. (2016): Internet of things enabled real time water quality monitoring system. In: *Smart Water* 2 (1), S. 684. DOI: 10.1186/s40713-017-0005-y.

Gehrt, Guido (2018): VKU startet digitale Serviceplattform "KommunalDigital". In: *BehördenSpiegel*, 24.09.2018. Online verfügbar unter <https://www.behoerden-spiegel.de/2018/09/24/vku-startet-digitale-serviceplattform-kommunaldigital/>, zuletzt geprüft am 09.10.2018.

Georg Wulf; Volker Erbe (2016): Wasserwirtschaft 4.0 - Systemische Weiterentwicklung eines Flussgebietsmanagements. In: Johannes Pinnekamp (Hg.): 49. Essener Tagung für Wasser und Abfallwirtschaft "Wasserwirtschaft 4.0". 2. bis 4. März 2016 in der Messe Essen Ost. Unter Mitarbeit von Verena Kölling. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft "Wasserwirtschaft 4.0"; RWTH Aachen; Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft. Aachen: Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen e.V (Gewässerschutz, Wasser, Abwasser, 239), 4/1 - 4/10.

German Water Partnership e. V. (Hg.) (2016): WASSER 4.0. Online verfügbar unter http://www.germanwaterpartnership.de/fileadmin/pdfs/gwp_materialien/gwp_wasser_40.pdf, zuletzt geprüft am 02.08.2017.

Gestern Wasserwerk 02, heute Wasserwerk 2.0 (2016). In: *Kommunalwirtschaft* (03-04), S. 18–20. Online verfügbar unter http://www.kommunalverlag.de/downloads/pdf/2016/Innen-KoWi_03-04-2016.pdf.

Goldacker, Gabriele; Tiemann, Jens (2017): Zukunft der Internets und der Verwaltungsvernetzung. Hg. v. Kompetenzzentrum Öffentliche IT. Berlin. Online verfügbar unter <http://www.oeffentliche-it.de/publikationen?doc=62657&title=Zukunft+des+Internets+und+der+Verwaltungsvernetzung>.

Gourbesville, Philippe (2011): ICT for Water Efficiency. In: Ema Ekundayo (Hg.): Environmental Monitoring. London: InTech. Online verfügbar unter <http://cdn.intechopen.com/pdfs/22755.pdf>.

Gourbesville, Philippe (2016): Key Challenges for Smart Water. In: *Procedia Engineering* 154, S. 11–18. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.412.

Gov Data (2016): Open Government. Online verfügbar unter <https://www.govdata.de/open-government>, zuletzt geprüft am 23.11.2018.

Graf, Walter (2017): Intelligent Water Systems Research at WE&RF. SWAN 7th Annual Conference. Water Environment Research Foundation. SWAN - The Smart Water Networks Forum. London, 10.05.2017. Online verfügbar unter https://www.swan-forum.com/wp-content/uploads/sites/218/2017/05/SWAN-2017_Water-Quality_WERF.pdf?x12236.

Graumann, Sabine: Energie- und Wasserversorger noch verhalten bei der Digitalisierung. In: *energie | wasser-praxis kompakt* (4/2017), S. 6–9. Online verfügbar unter <https://www.tns-infratest.com/presse/pdf/autorenbeitraege/2017-04-kantartns-graumann-energie-und-wasserversorger-digitalisierung-ewp-kompakt.pdf>, zuletzt geprüft am 11.08.2017.

Großjohann, Gerhard (2018): Königsweg ins Internet der Dinge. In: *Zeitung für kommunale Wirtschaft*, 2018 (01).

Grüger, Martin; Weissbach, Martin; Farago, Christian (2017): ENTEGA optimiert Wassermanagement. In: *AutomationBlue* (1), S. 31–33. Online verfügbar unter <https://www.di-verlag.de/de/Zeitschriften/Automation-Blue/2017/01/ENTEGA-optimiert-Wassermanagement>.

Grün, Emanuel (2016): Wasserwirtschaft 4.0: die Zukunft gestalten. In: Johannes Pinnekamp (Hg.): 49. Essener Tagung für Wasser und Abfallwirtschaft "Wasserwirtschaft 4.0". 2. bis 4. März 2016 in der Messe Essen Ost. Unter Mitarbeit von Verena Kölling. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft "Wasserwirtschaft 4.0"; RWTH Aachen; Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft. Aachen: Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen e.V (Gewässerschutz, Wasser, Abwasser, 239), 1/1 - 1/10.

Grün, Emanuel (2017): Wasserwirtschaft 4.0 - Wo stehen wir? Emschergenossenschaft/Lippeverband, Essen. Online verfügbar unter http://www.wasser-berlin.de/media/global/global_image/global_apps/global_edb/global_edb_upload_2017/global_edb_events_wasser_1/edb_443827.pdf, zuletzt geprüft am 02.08.2017.

Grün, Emanuel (2017): Wasserwirtschaft 4.0 - Wo stehen wir? Wasser Berlin International. Emschergenossenschaft/Lippeverband, Essen. Messe Berlin GmbH. Berlin, 2017.

Grün, Emanuel; Lindner, Volker; Sieker, Heiko; Spengler, Brigitte (2016): Grün und Blau zusammen denken – das Kooperationsmodul ZUGABE. In: *Korrespondenz Abwasser, Abfall* 5, S. 369–376.

Gust, Stephanie (2018): Big Data ist nicht Big Brother. In: *Zeitung für kommunale Wirtschaft*, 2018 (06).

Gutermann, Uri; Hugger, Armin (2018): Automatisierung dank Digitalisierung in der Wasserwirtschaft. In: *AutomationBlue* (1), S. 20–23. Online verfügbar unter <https://www.vulkan-shop.de/automatisierung-dank-digitalisierung-in-der-wasserbranche-2018-01-01>, zuletzt geprüft am 17.09.2018.

Gutknecht, Christian (2016): Brunnenüberwachung intelligent gelöst. In: *AutomationBlue* 1 (1), S. 56–57. Online verfügbar unter https://www.di-verlag.de/plugins/plg_oiv_paywall/scripts/import.article.php?issue=3336&media=43912.

Gutknecht, Christian (2017): Überwachung von Regenüberlaufbecken. In: *AutomationBlue* (2), S. 49–51. Online verfügbar unter <https://www.di-verlag.de/de/Zeitschriften/Automation-Blue/2017/02/Ueberwachung-von-Regenueberlaufbecken>.

gwf Wasser (2017): Reifeprüfung für Wasser 4.0. Hg. v. gwf Wasser. Online verfügbar unter <https://www.gwf-wasser.de/aktuell/forschung-entwicklung/10-11-2017-reifepruefung-fuer-wasser-40/>.

gwf Wasser (2017): BSI-Bericht: IT-Gefahr bleibt akut. Hg. v. gwf Wasser. Online verfügbar unter <https://www.gwf-wasser.de/aktuell/branche/13-11-2017-it-sicherheit-bleibt-gefaehrdet/>.

Hauser, Andreas; Vorobiev, Artem (2017): Industrial Cyber Security. Threats and Counter Measures. SWAN 7th Annual Conference. TÜV Süd. SWAN - The Smart Water Networks Forum. London, 09.05.2017. Online verfügbar unter https://www.swan-forum.com/wp-content/uploads/sites/218/2017/05/SWAN-2017_ICT-Future_Hauser_TUV-SUD.pdf?x12236.

Heckters, Rainer; Hein, Michael; Warmbier, Günter (2017): Problematische Durchflussmessungen mit neuartigem Vielpunktsensor gelöst. In: *AutomationBlue* (1), S. 28–30. Online verfügbar unter <https://www.di-verlag.de/de/Zeitschriften/Automation-Blue/2017/01/Problematische-Durchflussmessungen-mit-neuartigem-Vielpunktsensor-geloest>.

Helmbrecht, Jorge; Pastor, Jordi; Moya, Carolina (2017): Smart Solution to Improve Water-energy Nexus for Water Supply Systems. In: *Procedia Engineering* 186, S. 101–109. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.03.215.

Henk, Jan Top (2010): Smart Grids and Smart Water Metering in The Netherlands. ICT for Water Management. Accenture. Europäische Kommission. Brüssel, 11.06.2010. Online verfügbar unter http://ec.europa.eu/information_society/activities/sustainable_growth/docs/water_cons/henk-jan-top_presentation.pdf.

Hennerkes, Jörg (2016): Erhöhung des Automatisierungsgrades bei einem großen Wasserverband. In: *AutomationBlue* 1 (1), S. 14–19. Online verfügbar unter https://www.di-verlag.de/plugins/plg_oiv_paywall/scripts/import.article.php?issue=3336&media=43912.

Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung (Hg.) (2016): Strategie digitales Hessen. Intelligent. Vernetzt. Für alle. Wiesbaden. Online verfügbar unter https://www.digitalstrategie-hessen.de/img/Digitalstrategie_Hessen_2016_ver1.pdf.

Heymann, Thomas (2016): Rechte an Daten. Warum Daten keiner eigentumsrechtlichen Logik folgen. In: *Computer und Recht* (Oktober), S. 650–657. Online verfügbar unter <https://www.cr-online.de/45705.htm>.

Hillenbrand, Thomas; Londong, Jörg; Steinmetz, Heidrun; Wilhelm, Christian; Sorge, Christian; Söbke, Heinrich et al. (2016): Anpassung an neue Herausforderungen – nachhaltige Wasserinfrastruktursysteme für Bestandsgebiete. In: *Korrespondenz Abwasser, Abfall* 11, S. 992–998. DOI: 10.3242/kae2016.11.005.

Hochwasser-App für Deutschland (2016). In: *Behörden Spiegel Newsletter E-Government*, 08.06.2016 (779), S. 12. Online verfügbar unter <http://www.behoerden-spiegel.de/Newsletter/E-Government/binarywriterservlet?imgUid=e873a885-05d6-551b-e112-3a57b988f2ee&uBasVariant=11111111-1111-1111-1111-111111111111>.

Hoepner, Petra; Weber, Mike; Tiemann, Jens; Welzel, Christian; Goldacker, Gabriele; Stemmer, Michael et al. (2016): Digitalisierung des Öffentlichen. Hg. v. Kompetenzzentrum Öffentliche IT. Berlin. Online verfügbar unter <http://www.oeffentliche-it.de/documents/10181/14412/Digitalisierung+des+%C3%96ffentlichen>.

Hofer, Daniel (2017): Automatisierte Sturzflutwarnung mit dem Internet der Dinge. In: *Wasserwirtschaft* 14 (09). Online verfügbar unter <https://www.springerprofessional.de/automatisierte-sturzflutwarnung-mit-dem-internet-der-dinge/14981848>.

Hofmann, Peter (2017): Digitalisierung und Mobilität bei der KVB. Daseinsvorsorge der Zukunft: Chancen der Digitalisierung nutzen. Kölner Verkehrs-Betriebe KVB. Kölner Netzwerk der Daseinsvorsorge. Köln, 2017.

Holländer, Robert (2016): Daseinsvorsorge 4.0 – Chancen und Herausforderungen der Digitalisierung in der Wasserwirtschaft (Wasser 4.0). WBR - BVÖD Jahrestagung. Universität Leipzig, 10.02.2016. Online verfügbar unter <http://www.bvoed.de/assets/files/downloads/WBR/WBR-Jahrestagung-09.-11.02.16%2C-Leipzig/Wasser-4.0-Hollaender-WBR---BVOED-10.02.2015.pdf>, zuletzt geprüft am 02.08.2017.

Holländer, Robert (2017): Digitalisierung in der Daseinsvorsorge. Stand der Diskussion im WBR des BVÖD. BVÖD Workshop Digitalisierung. Universität Leipzig. Bundesverband Öffentliche Dienstleistungen (BVÖD). Berlin, 15.09.2017.

Hölterhoff, Marcel; Tiessen, Jan; Warmbrunn Kim Bastian; Fulde, Michael (2017): Trendreport Digitaler Staat. Projekt "Digitaler Föderalismus". Die digitale Verwaltung in Bund, Ländern und Kommunen gemeinsam gestalten. Hg. v. ProPress Verlagsgesellschaft GmbH und Prognos AG. Prognos AG; Behörden Spiegel. Berlin/Bonn. Online verfügbar unter <http://www.digitaler-staat.org/wp-content/uploads/2016/09/Trendreport2017.pdf>.

Hölterhoff, Marcel; Tiessen, Jan; Wilkskamp, David; Stuckenholz, Florian; Winter, Miriam; Edel, Friederike (2016): Trendreport Effizienter Staat - Smart Government. Regieren und Verwalten in Deutschland im Jahr 2030. Hg. v. ProPress Verlagsgesellschaft GmbH und Prognos AG. Berlin/Bonn. Online verfügbar unter http://www.digitaler-staat.org/wp-content/uploads/2016/09/160510_Prognos_Behoerden_Spiegel_Trendreport_2016.pdf.

Horten, Stephan (2016): Automatisierung und Fernüberwachung für Wasserzähler. In: *Wasserwirtschaft* 106 (5). Online verfügbar unter <https://www.springerprofessional.de/automatisierung-und-fernueberwachung-fuer-wasserzaehler/10099538>.

HST Systemtechnik GmbH & Co. KG: HST Themenwelt. Online verfügbar unter <https://www.hst.de/themenwelt/kommunal4null.html>, zuletzt geprüft am 11.08.2017.

HST Systemtechnik GmbH & Co. KG (2016): KOMMUNAL 4.0. HST digitalisiert die Wasserbranche und bietet kommunalen Partnern die Möglichkeit zur Teilnahme an Pilotprojekten. In: *KOMMUNAL DIREKT* (09/10), S. 6.

Hubaux, Nathalie; Schachtler, Max; Götz, Christian W. (2017): Eignung von UV/VIS-Sonden zur Überwachung der Spurenstoffelimination. In: *Korrespondenz Abwasser, Abfall* (10), S. 899–904.

Hupfer, Gottlieb: Industrie 4.0 - Wasser 4.0. EINVIROCHEMIE. Online verfügbar unter http://russland.ahk.de/uploads/media/Industrie4.0_Wasser_4.0_G.Hupfer_01.pdf, zuletzt geprüft am 02.08.2017.

INDUSTRIEMAGAZIN Verlag GmbH (Hg.) (2017): Wie EDS 4.0 mit Siemens die Wasserwirtschaft digitalisiert. Siemens AG. Online verfügbar unter <https://factorynet.at/a/wie-eds-4-0-mit-siemens-die-wasserwirtschaft-digitalisiert>, zuletzt geprüft am 11.08.2017.

inter 3 GmbH – Institut für Ressourcenmanagement (2015): Mit Wasser 4.0 und intelligenten Systemlösungen können wir zum Exportschlager für eine Wasserwirtschaft im postfossilen Zeitalter werden“. In: *gwf-Wasser / Abwasser* 156 (6), S. 618–621.

2018: ISO/DIS 3722: Sustainable cities and communities. Online verfügbar unter <https://www.iso.org/standard/69050.html>, zuletzt geprüft am 24.11.2018.

IT-Planungsrat (2015): Nationale E-Government-Strategie Fortschreibung 2015. Hg. v. IT-Planungsrat. Berlin. Online verfügbar unter http://www.it-planungsrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/NEGS/NEGS_Fortschreibung.pdf?__blob=publicationFile&.

Jakubowski, Peter (Hg.) (2017): Die neue Stadtökonomie. Strukturwandel in Zeiten der Digitalisierung : ein Projekt des Forschungsprogramms "Experimenteller Wohnungs- und Städtebau (ExWoSt)" des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), betreut vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR). Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung. Stand März 2017. Bonn: Bundesinstitut für Bau- Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung. Online verfügbar unter <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:hbz:5:2-122566>.

Jakubowski, Peter (Hg.) (2017): Die Weisheit der Vielen. Bürgerbeteiligung im digitalen Zeitalter : ein Projekt des Forschungsprogramms "Experimenteller Wohnungs- und Städtebau (ExWoSt)" des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), betreut vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR). Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung. Stand März 2017. Bonn: Bundesinstitut für Bau- Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung. Online verfügbar unter <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:hbz:5:2-122530>.

Jochheim, Lasse (2018): Digitalisierte Wertschöpfung in der Wasserwirtschaft - State of the Art. In: *InfrastrukturRecht Energie, Verkehr, Abfall, Wasser* (1), S. 27–29.

Kamstrup A/S Germany (2016): Modernisierung der Wasserzähler in Osthessen. Online verfügbar unter [https://www.bdew.de/internet.nsf/id/BEF90F94143341A3C125806E0046D0E4/\\$file/Kachel_5_Osthessenverbund-1.pdf](https://www.bdew.de/internet.nsf/id/BEF90F94143341A3C125806E0046D0E4/$file/Kachel_5_Osthessenverbund-1.pdf), zuletzt geprüft am 11.08.2017.

Kar, Resa Mohabbat; Peters, Stephan; Bieker, Lisa; Fischer, Julian (2017): Digitales Engagement - Analyse der Förderprogramme auf Bundesebene. Hg. v. betterplace lab, Wikimedia Deutschland und Kompetenzzentrum Öffentliche IT. Berlin. Online verfügbar unter <http://www.oeffentliche-it.de/publikationen?doc=69833&title=Digitales+Engagement+-+Analyse+der+F%C3%B6rderprogramme+auf+Bundesebene>.

Kästing, Hauke; Westerwelle, Christoph (2017): Anlagenbezogene IT-Sicherheit in der Wasserwirtschaft. In: *AutomationBlue* (3), S. 52–55. Online verfügbar unter <https://www.di-verlag.de/de/Zeitschriften/Automation-Blue/2017/03/Anlagenbezogene-IT-Sicherheit-in-der-Wasserwirtschaft>.

Keppner, Lutz; Grimm, Frauke; Fischer, Dagmar (2017): Nitratbericht 2016. Hg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau- und Reaktorsicherheit und Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Online verfügbar unter https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Binnengewasser/nitratbericht_2016_bf.pdf, zuletzt geprüft am 02.11.2018.

Kerres, Karsten (2016): Praktische Kanalisationstechnik – Zukunftsfähige Entwässerungssysteme – 28. Lindauer Seminar. In: *Korrespondenz Abwasser, Abfall* 1, S. 12–16.

Kesberg, Harald; Heyde, Steffen (2017): IT-Sicherheit zwischen Regulierung, Technik und Faktor Mensch. In: *AutomationBlue* (3), S. 56–59. Online verfügbar unter <https://www.di-verlag.de/de/Zeitschriften/Automation-Blue/2017/03/IT-Sicherheit-zwischen-Regulierung-Technik-und-Faktor-Mensch>.

Kestin, Mario; Rüdiger, Klaus (2015): Dezentrale Automatisierungslösungen zur sicheren und effizienten Betriebsführung von Abwassernetzen im ländlichen Raum. 19. Abwasserbilanz Brandenburg. Herzberger Wasser- und Abwasserzweckverband. INFRANEU. Wildau, 14.12.2015. Online verfügbar unter http://abwasserbilanz.de/wp-content/uploads/abwasserbilanz-2015_kestin-ruediger.pdf.

Kim, Joong Hoon; Kim, Hung Soo; Yoo, do Guen; Jung, Donghwi; Song, Chang Geun (Hg.) (2016): 12th International Conference on Hydroinformatics (HIC 2016) - Smart Water for the Future. Procedia Engineering 154.

Klein, Norbert; Immel, Sebastian; Kowalczyk, Wojciech; Westermaier, Stefan; Plath, Michael; Kaschulla, Dennis; Fischer, Stefan (2016): Reinigung 2.0: Energieeinsparung durch geringere Druckverluste in der

Wasserverteilung. In: *energie | wasser-praxis* (11). Online verfügbar unter <http://www.energie-wasser-praxis.de/heftarchiv/11-2016/>.

Klingel, Philipp; Knobloch, Alex (2015): Automatisierte Ermittlung und Bewertung von Wasserverlusten. In: *gwf - Wasser/Abwasser* (3). Online verfügbar unter <https://www.gwf-wasser.de/produkte/2015-automatisierte-ermittlung-und-bewertung-von-wasserverlusten/>.

Kölner Netzwerk der Daseinsvorsorge (2016): Digitalisierung der Daseinsvorsorge. Hg. v. Kölner Netzwerk der Daseinsvorsorge. Kölner Netzwerk der Daseinsvorsorge. Köln.

Kommunal 4.0 e.V. (2017): DIGITALISIERUNGSSTUDIE 2017. Digitalisierung und Vernetzung in der Wasserwirtschaft. Unter Mitarbeit von Günter Müller-Czygan und Holger Droste. Hg. v. HST Systemtechnik GmbH & Co KG. Online verfügbar unter https://lamapoll.de/KOMMUNAL_4.0_Interview-Befragung_zur_Digitalisierungsstudie_2017/.

Kommunal 4.0 e.V. (2018): Kommunal 4.0. Kommunal 4.0 e.V. Online verfügbar unter <https://www.kommunal4null.de/>, zuletzt geprüft am 24.11.2018.

Konradin-Verlag Robert Kohlhammer GmbH (2017): Auf dem Weg zu Wasser 4.0. Online verfügbar unter <http://prozesstechnik.industrie.de/aktuell/newsletter/auf-dem-weg-zu-wasser-4-0/>, zuletzt geprüft am 11.08.2017.

Kotthaus, Elisabeth (2017): Die Rolle der Europäischen Kommission bei der Auslegung und Weiterentwicklung des Digitalen Binnenmarktes der EU. BVÖD Workshop Digitalisierung. Europäische Kommission. Bundesverband Öffentliche Dienstleistungen (BVÖD). Berlin, 15.09.2017.

Krause, Alan; Perciavalle, Pete; Johnson, Kevin; Owens, Brandon; Frodl, Debora (2017): The Digitization of Water. Intelligent Water Platforms for Water Abundance. Hg. v. General Electric und MWH Global. Online verfügbar unter <https://www.ge.com/sites/default/files/GE-Ecomagination-Digital-Water.pdf>.

Kruse, Elke (2017): Amsterdam: Eine innovative Art der Zusammenarbeit zur Überflutungsvorsorge. In: *Korrespondenz Wasserwirtschaft* (7), S. 423–428.

Kuhn, Martin (2016): Bakterielle Wasserüberwachung – präzise, online und vor Ort. In: *AutomationBlue* 1 (2), S. 46–49. Online verfügbar unter https://www.di-verlag.de/plugins/plg_oiv_paywall/scripts/import.article.php?issue=3340&media=43980.

Kumar, Bipin Pradeep (2017): Water in the World of Web 3.0. A developing world perspective. SWAN 7th Annual Conference. Gaia Smart Cities. SWAN - The Smart Water Networks Forum. London, 10.05.2017. Online verfügbar unter https://www.swan-forum.com/wp-content/uploads/sites/218/2017/05/SWAN-2017_Emerging-Markets_Bipin-Pradeep-Kumar.pdf?x12236.

Kutschera, Gesa; Engels, Ralf (2016): Wasserwirtschaft 4.0 – Ein inspirierender und erfolgreicher Tag am FiW in Aachen. In: *Korrespondenz Abwasser, Abfall* 6, S. 492–494.

Kutschera, Gesa; Engels, Ralf; Bolle, Friedrich-Wilhelm; Schüttrumpf, Holger; Barneveld, Hermjan; Zethof, Marit (2016): Die Zukunft des Hochwasserschutzes als Teil der Wasserwirtschaft 4.0 - ein erster Blick durch die digitale Brille. In: *Korrespondenz Wasserwirtschaft* 9 (11), S. 674–680. Online verfügbar unter http://www.hkv.nl/upload/publication/Die_Zukunft_des_Hochwasserschutzes_HJB_MZ.pdf, zuletzt geprüft am 11.08.2017.

Lahmer, Tom; Nguyen-Tuan, Long; Könke, Carsten; Bettzieche, Volker (2016): Thermo-hydro-mechanische 3-D-Simulation von Staumauern — Modellierung und Validierung. In: *Wasserwirtschaft* 106 (9). Online verfügbar unter <https://www.springerprofessional.de/thermo-hydro-mechanische-3-d-simulation-von-staumauern-modellier/10653420>.

- Landesregierung Nordrhein-Westfalen (2015): "NRW 4.0": Digitaler Wandel in Nordrhein-Westfalen. Fortschrittsbericht der Landesregierung. Hg. v. Landesregierung Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf. Online verfügbar unter https://www.land.nrw/sites/default/files/asset/document/digitaler_wandel_in_nrw_-_fortschrittsbericht_der_landesregierung.pdf.
- Landesregierung Saarland (Hg.) (2016): Digitalisierung und Technologietransfer. Online verfügbar unter https://www.saarland.de/dokumente/res_wirtschaft/2_Digitalisierung_und_Technologietransfer.pdf.
- Langstädtler, Gerhard (2017): Nutzung der freien DWD-Stations- und Radardaten in einem Messdatenmanagementsystem (MDMS): Exakt zugeschnitten auf das eigene Bewirtschaftungsgebiet. In: *Kommunalwirtschaft* 110 (3), S. 74–76. Online verfügbar unter http://www.kommunalverlag.de/downloads/pdf/2017/Innen-KoWi_03-2017.pdf.
- LAWA (2018): Strategierahmen zentrale digitale Produkte der Wasserwirtschaft. LAWA (LAWA EG DMR 6).
- Lee, Tinlai (2017): Applications for Smart water management in TWC. SWAN 7th Annual Conference. Taiwan Water Corporation. SWAN - The Smart Water Networks Forum. London, 09.05.2017. Online verfügbar unter https://www.swan-forum.com/wp-content/uploads/sites/218/2017/05/SWAN-2017_Maximising-Operational-Resilience_Tinlai-Lee.pdf?x12236.
- Ler, Lian Guey (2016): Analysis of Current ICT Solutions in Water Business Processes. In: *Procedia Engineering* 154, S. 3–10. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.410.
- Lewinski, Kai von (2013): Datenflut und Recht - Informationsrecht als Deich, Kanal, Wasserhahn oder Rettungsring? s.l.: KIT Scientific Publishing. Online verfügbar unter <http://www.doabooks.org/doab?func=fulltext&rid=19474>.
- Lipnizki, Jens (2016): Auslegungssoftware für Umkehrosmose-Anlagen. In: *Wasserwirtschaft Wassertechnik* 6, S. 13–15.
- Loderer, Christian (2016): (AB)WASSER 4.0. Aerzener Maschinenfabrik GmbH. Online verfügbar unter <https://www.aerzen.com/de/aktuelles/kundenzeitung/2016/ausgabe-0416/article/abwasser-40.html>, zuletzt geprüft am 11.08.2017.
- Lohmann, Beate (2017): Open Government: Was ist Mittel, was ist Zweck? Impuls zur Open Government Partnership (OGP) und dem Open Data Gesetz der Bundesregierung. Daseinsvorsorge der Zukunft: Chancen der Digitalisierung nutzen. Bundesministerium des Inneren. Kölner Netzwerk der Daseinsvorsorge. Köln, 2017.
- Lux, Carsten (2018): Datenflüsse im Griff. In: *Zeitung für kommunale Wirtschaft*, 2018 (02).
- Maize, Will (2017): Maximizing Operational Resilience. A look at the competitive landscape. SWAN 7th Annual Conference. Bluefield Research. SWAN - The Smart Water Networks Forum. London, 09.05.2017. Online verfügbar unter https://www.swan-forum.com/wp-content/uploads/sites/218/2017/05/SWAN-2017_Maximising-Operational-Resilience_Will-Maize.pdf?x12236.
- Marquardt, Uwe; Terhart, Ludger (2017): Branchenspezifischer Sicherheitsstandard Wasser/Abwasser gemäß IT-Sicherheitsgesetz anerkannt – Rechtssicherheit für die Betreiber Kritischer Infrastrukturen im Sektor Wasser/Abwasser. In: *energie | wasser-praxis* (8). Online verfügbar unter <http://www.energie-wasser-praxis.de/heftarchiv/08-2017/>.
- Martin, Tobias; Korth, Andreas (2016): Neue Möglichkeiten im Wasser-Energie-Nexus für energieorientierte Pumpen- und Behälterbewirtschaftung. In: *energie | wasser-praxis* (9). Online verfügbar unter <http://www.energie-wasser-praxis.de/heftarchiv/09-2016/>.
- Martini, Mario; Fritzsche, Saskia; Kolain, Michael (2016): Digitalisierung als Herausforderung und Chance für Staat und Verwaltung. Forschungskonzept des Programmbereichs "Transformation des Staates in Zeiten der

Digitalisierung". In: *FÖV Discussion Papers* (85), S. 1–119. Online verfügbar unter <https://dopus.uni-speyer.de/frontdoor/index/index/docId/1462>.

Matalla, Christian; Stephan, Dominik (2016): Kommt jetzt Wasser 4.0? – Visionen für die Wassertechnologie von morgen. In: *process.de*, 14.10.2016. Online verfügbar unter <http://www.process.vogel.de/kommt-jetzt-wasser-40-visionen-fuer-die-wassertechnologie-von-morgen-a-554248/>, zuletzt geprüft am 02.08.2017.

Matthiesen, Reemt; Kaulartz, Markus (2016): Neue EU-Richtlinie zur IT-Sicherheit. In: *Wasserwirtschaft* 106 (5). Online verfügbar unter <https://www.springerprofessional.de/neue-eu-richtlinie-zur-it-sicherheit/10099530>.

Mauer, Gerhard (2016): Chancen der Digitalisierung: Abwasserwirtschaft als Unterstützer der Energiewende. 15. Wasserwirtschaftliche Jahrestagung. EWE Wasser GmbH. BDEW [Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V.]. Berlin, 12.09.2016. Online verfügbar unter [https://www.bdew.de/internet.nsf/id/B85CB53FCD409442C1257F1E0050D9E8/\\$file/08_Gerhard_Mauer.pdf](https://www.bdew.de/internet.nsf/id/B85CB53FCD409442C1257F1E0050D9E8/$file/08_Gerhard_Mauer.pdf).

McKinsey & Company (2015): E-Government in Deutschland. Eine Bürgerperspektive. Hg. v. McKinsey & Company. Online verfügbar unter https://www.mckinsey.de/files/e-government_in_deutschland_eine_buergerperspektive.pdf.

McKinsey & Company (2017): Ergänzende Dokumentation zu „Mehr Leistung für Bürger und Unternehmen: Verwaltung digitalisieren. Register modernisieren.“. Hg. v. Nationaler Normenkontrollrat. Online verfügbar unter https://www.normenkontrollrat.bund.de/Web/NKR/Content/DE/Download/2017-10-06_download_NKR%20Gutachten%202017_Anlage%20Dokumentation.pdf?__blob=publicationFile&v=2.

McKinsey & Company (2017): Mehr Leistung für Bürger und Unternehmen: Verwaltung digitalisieren. Register modernisieren. Hg. v. Nationaler Normenkontrollrat. Online verfügbar unter https://www.normenkontrollrat.bund.de/Web/NKR/Content/DE/Download/2017-10-06_download_NKR%20Gutachten%202017.pdf?__blob=publicationFile&v=3.

McKinsey & Company (2018): Smart Cities. Digital Solutions for a more Livable Future. Hg. v. McKinsey & Company. Online verfügbar unter <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/industries/capital%20projects%20and%20infrastructure/our%20insights/smart%20cities%20digital%20solutions%20for%20a%20more%20livable%20future/mgi-smart-cities-full-report.ashx>.

Meyer, Simon; Runge, Hella (Hg.) (Vulkan Verlag): Wasser 4.0. DIV Deutscher Industrieverlag. Essen: DIV Deutscher Industrieverlag (gwf Edition).

Ministerium für Bauen, Wohnen, Stadtentwicklung und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen (2016): Wasserstraßen-, Hafen- und Logistikkonzept des Landes Nordrhein-Westfalen. Hg. v. Ministerium für Bauen, Wohnen, Stadtentwicklung und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen. Online verfügbar unter http://www.vm.nrw.de/verkehr/_pdf_container/Hafenkonzept2016.pdf.

Ministerium für Inneres, Digitalisierung und Migration Baden-Württemberg (Hg.) (2017): Digitalisierungsstrategie des Landes Baden-Württemberg. Stuttgart. Online verfügbar unter <https://www.digital-bw.de/downloads/DigitalisierungsstrategieBaWue2017.pdf>.

Ministerium für Umwelt, Energie, Ernährung und Forsten Rheinland-Pfalz (2018): Bund/Länder-Kooperation Wasser-DE. Hg. v. GDI-DE. Online verfügbar unter https://www.geoportal.de/SharedDocs/Newsletter/DE/Newsletter%202018/10_2018_GDI-DE_NEWS.pdf?__blob=publicationFile.

Moedas, Carlos (2015): Key challenges for the water Sector. Hg. v. Europäische Kommission. Brüssel. Online verfügbar unter https://ec.europa.eu/commission/commissioners/2014-2019/moedas/announcements/key-challenges-water-sector_en.

Mohajeri, Shahrooz (2016): Wasser 4.0 - Flexibilität als aktuelles Leitbild der Wasserwirtschaft (Inter 3 - Institut für Ressourcenmanagement).

Mohammed Shahanas, K.; Bagavathi Sivakumar, P. (2016): Framework for a Smart Water Management System in the Context of Smart City Initiatives in India. In: *Procedia Computer Science* 92, S. 142–147. DOI: 10.1016/j.procs.2016.07.337.

Monteiro, Manuel; Barbas, Antonios (2010): Expert Consultation on ICT for Water Management. Unter Mitarbeit von ICT for Sustainable Growth. Hg. v. Europäische Kommission. Brüssel. Online verfügbar unter http://ec.europa.eu/information_society/activities/sustainable_growth/docs/water_cons/ict-water-consultation_report_june2010.pdf.

Monteiro, Manuel; Barbas, Antonios (2010): ICT for Water Management – Issues and questions to be discussed with domain experts and stakeholders. Unter Mitarbeit von ICT for Sustainable Growth. Hg. v. Europäische Kommission. Europäische Kommission. Brüssel. Online verfügbar unter http://ec.europa.eu/information_society/activities/sustainable_growth/docs/water_cons/discussion%20paper.pdf.

Möwes, Sabine (2017): Forum 2: Digitale Partizipation und Bürgernutzen. Erfahrungen und Perspektiven der Stadt Köln. Daseinsvorsorge der Zukunft: Chancen der Digitalisierung nutzen. Stadt Köln. Kölner Netzwerk der Daseinsvorsorge. Köln, 2017.

Mühlenkamp, Sabine (2018): Radarsensoren für die Wasserwirtschaft. In: *AutomationBlue* (2), S. 40–43. Online verfügbar unter <https://www.vulkan-shop.de/radarsensoren-fuer-die-wasserwirtschaft-2018-02-01>, zuletzt geprüft am 17.09.2018.

Müller, Andreas; Münzinger, Armin; Pottgiesser, Tanja (2014): Landesweite Gewässerstrukturkartierung in Nordrhein-Westfalen unter Einsatz mobiler Technologien. In: *Korrespondenz Wasserwirtschaft* (3), S. 143–148. DOI: 10.3243/kwe2014.03.001.

Müller, Michael; Schmenger, Fabian; Schröder, Daniel; Zschiesche, Kira (2016): Evaluierung des Laserscannings zur Deformationsanalyse an der Ennepetalsperre. In: *Wasserwirtschaft* 106 (9). Online verfügbar unter <https://www.springerprofessional.de/evaluierung-des-laserscannings-zur-deformationsanalyse-an-der-en/10653442>.

Müller, Uwe (2016): Neues Hochwasserinformations- und -managementsystem für Sachsen. In: *Wasserwirtschaft* 106 (11). Online verfügbar unter <https://www.springerprofessional.de/neues-hochwasserinformations-und-managementsystem-fuer-sachsen/10993570>.

Müller-Czygan, Günter (2016): Digitalisierung öffentlicher Infrastrukturen am Beispiel der Wasserwirtschaft. In: *AutomationBlue* (1), S. 1–6.

Müller-Czygan, Günter (2016): Kanal- und Netzbewirtschaftung: Neue Impulse durch Digitalisierung. In: *AutomationBlue* (2), S. 20–25.

Müller-Czygan, Günter (2016): KOMMUNAL 4.0 – Smarte Maschinen für eine smarte Wasserwirtschaft. In: *gwf-Wasser / Abwasser* 157 (11), S. 998–1001.

Müller-Czygan, Günter (2016): Verknüpfte Daten bieten Mehrwert. In: *Treffpunkt Kommune*, 05.10.2016. Online verfügbar unter <http://www.treffpunkt-kommune.de/verknuepfte-daten-bieten-mehrwert/>, zuletzt geprüft am 02.08.2017.

Müller-Czygan, Günter (2017): KOMMUNAL 4.0. Zentralisierung von Informationen in der kommunalen Wasserwirtschaft. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. HST Systemtechnik GmbH & Co KG. Online verfügbar unter http://www.digitale-technologien.de/DT/Redaktion/DE/Standardartikel/SmartServiceWeltProjekte/smart-service-welt-projekt_kommunal%204.0.html.

- Müller-Czygan, Günter (2017): Smarte Wasserwirtschaft. In: *Zeitung für kommunale Wirtschaft*, 2017 (2), S. 38.
- Müller-Czygan, Günter (2017): Städtisches Hochwassermanagement braucht digitale Niederschlagsdaten. In: *Transforming Cities* (1), S. 48–51. Online verfügbar unter <https://www.kommunal4null.de/aktivitaeten/publikationen.html>.
- Müller-Czygan, Günter; Becker, Christopher (2016): From steel to the chip – intelligent systems as a digital intersection. In: *Water Solutions* (2), S. 1–2. Online verfügbar unter <https://www.kommunal4null.de/aktivitaeten/publikationen.html>.
- Müller-Czygan, Günter; Becker, Christopher (2016): Mit smarten Maschinen in die digitale Wasserwirtschaft starten. In: *Wasser und Abfall* (9), S. 44–48. Online verfügbar unter <https://www.kommunal4null.de/aktivitaeten/publikationen.html>.
- Müller-Czygan, Günter; Becker, Lisa (2016): KOMMUNAL 4.0. Wie die Digitalisierung in kommunalen Infrastrukturen wie der Wasserwirtschaft gelingen kann. In: *Transforming Cities* (4), S. 37–40. Online verfügbar unter <https://www.kommunal4null.de/aktivitaeten/publikationen.html>.
- Müller-Czygan, Günter; Gierse, Dominik (2016): Digitale Niederschlagsdaten und Wasserwirtschaft 4.0. In: *Wasserwirtschaft Wassertechnik* 66 (11-12), S. 8–12.
- Müller-Czygan, Günter; Hellwig, Christian (2015): Wärme aus Abwasser - Die Zukunft einer unterschätzten Energiequelle liegt in der digitalen Transformation zu KOMMUNAL 4.0. In: Wolfram Stodtmeister (Hg.): *Wärmerückgewinnung aus Abwassersystemen: Wärmetauscher - Wärmepumpen- Verbundsysteme*. Essen: PUBLICO, S. 22–31.
- Müller-Czygan, Günter; Steinhilber, Frieder (2017): Pilotprojekt KOMMUNAL 4.0: digitale Erschließung dezentraler Wasserversorgungseinrichtungen. In: *energie | wasser-praxis* (4), S. 18.
- Müller-Czygan, Günter; Stolz, Andreas (2018): Digitalisierung von Entlastungsschwellen. In: *AutomationBlue* (1), S. 45–48. Online verfügbar unter <https://www.vulkan-shop.de/digitalisierung-von-entlastungsschwellen-2018-01-01>, zuletzt geprüft am 17.09.2018.
- Müller-Seitz, Gordon; Seiter, Mischa; Wenz, Patrick (2016): Was ist eine Smart City? Betriebswirtschaftliche Zugänge aus Wissenschaft und Praxis. Wiesbaden: Springer Gabler. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-12642-1>.
- Nationaler Normenkontrollrat (2017): Bürokratieabbau. Bessere Rechtsetzung. Digitalisierung. Erfolge ausbauen – Rückstand aufholen. Jahresbericht 2017 des Nationalen Normenkontrollrates. Hg. v. Nationaler Normenkontrollrat. Online verfügbar unter https://www.normenkontrollrat.bund.de/Web/NKR/Content/DE/Publikationen/Jahresberichte/2017-07-12-nkr-jahresbericht-2017.pdf?__blob=publicationFile&v=4.
- Neidlein, Hans-Christoph (2017): Vernetzt am Hornberg. In: *Zeitung für kommunale Wirtschaft Magazin* (02), S. 8–11.
- Németh, Andreas (2012): Open Government Data Portal der Stadt Zürich. 2. Nationale OGD Konferenz 2012 in Zürich. OIZ. Opendata.ch. Zürich, 28.06.2012.
- Neupert, Michael (2017): Neue Chancen – neue Risiken: Rechtliches zur Wasserversorgung 4.0. In: *AutomationBlue* (1), S. 21–23. Online verfügbar unter <https://www.di-verlag.de/de/Zeitschriften/Automation-Blue/2017/01/Neue-Chancen--neue-Risiken:-Rechtliches-zur-Wasserversorgung-40>.
- Nickel, Jörg (2016): Digitale Agenda Schleswig-Holstein. Hg. v. Der Ministerpräsident des Landes Schleswig-Holstein. Kiel. Online verfügbar unter http://go.iqsh.de/digitale-agenda/digitale_agenda_2016.pdf.
- Niedersächsische Staatskanzlei (Hg.) (2016): digital.niedersachsen. Digitalen Wandel für unser Land gestalten. Online verfügbar unter <https://www.niedersachsen.de/download/112616>.

- Niederste-Hollenberg, Jutta; Hillenbrand, Thomas; Ungermann, Andrea; Lachenmayer, Eberhard (2016): Zentraler Betrieb dezentraler Anlagen. Z*dez. In: *Korrespondenz Abwasser, Abfall* 5, S. 418–428. DOI: 10.3242/kae2016.05.005.
- Ntuli, Nonhlanhla; Abu-Mahfouz, Adnan (2016): A Simple Security Architecture for Smart Water Management System. In: *Procedia Computer Science* 83, S. 1164–1169. DOI: 10.1016/j.procs.2016.04.239.
- Obenaus, Frank (2017): Digitalisierung als Modernisierungsimpuls für Anlagenerneuerung und -betrieb in der Wasserwirtschaft. In: *Korrespondenz Abwasser, Abfall* 6, S. 496–500. DOI: 10.3242/kae2017.06.002.
- Oberdörfer, Stefan (2017): Intelligente Gebäudetechnik – Wasser 4.0. VDMA. Online verfügbar unter <http://arm.vdma.org/viewer/-/article/render/16116425>, zuletzt geprüft am 11.08.2017.
- OECD (2017): OECD Digital Economy Outlook 2017: OECD Publishing.
- Oelmann, Mark; Stuhl, Sarah; Czichy, Christoph (2018): Smart Water Teil 2 – Kundenerwartungen, Kundennutzen und Digitalisierung in der Wasserwirtschaft. In: *energie / wasser-praxis* (5), S. 42–48.
- Oelmann, Mark; Stuhl, Sarah; Czichy, Christoph; Merkel, Wolf; Hein, Andreas (2018): Smart Water Teil 1 – Warum die Digitalisierung auch vor der Wasserwirtschaft nicht haltmacht. In: *energie / wasser-praxis* (4), S. 38–44.
- Open Geospatial Consortium (2012): OGC® WaterML 2.0: Part 1- Timeseries. Open Geospatial Consortium. Online verfügbar unter <http://waterml2.org/>.
- Opiela, Nicole; Tiemann, Jens; Gumz, Jan Dennis; Goldacker, Gabriele; Bieker, Lisa; Weber, Mike (2017): Deutschland-Index der Digitalisierung 2017. Hg. v. Kompetenzzentrum Öffentliche IT. Berlin. Online verfügbar unter <http://www.oeffentliche-it.de/documents/10181/14412/Deutschland+Index+der+Digitalisierung>.
- Pachaly, Uta; Jumar, Ulrich (2017): Konzepte von Industrie 4.0 für die Abwasserwirtschaft. In: *Korrespondenz Abwasser, Abfall* 6, S. 484–495. DOI: 10.3242/kae2017.06.001.
- Peterseim, Svenja; Schlenkhoff, Andreas (2014): Methoden der hydrodynamischen Simulation von Sturzfluten in urbanen Gebieten. In: *Korrespondenz Wasserwirtschaft* (3), S. 164–168. DOI: 10.3243/kwe2014.03.005.
- Petri, Michael; Meggeneder, Marcel (2015): Möglichkeiten und Grenzen für die Wasseranalytik. In: *gwf - Wasser/Abwasser* (07/08). Online verfügbar unter <https://www.gwf-wasser.de/produkte/2015-target-suspected-and-non-target-screening-mit-der-hochauflösenden-massenspektrometrie/>.
- Pielow, Johann-Christian (2017): „Digitale Daseinsvorsorge“: Eckpunkte aus juristischer Sicht. BVÖD Workshop Digitalisierung. Ruhr-Universität Bochum. Bundesverband Öffentliche Dienstleistungen (BVÖD). Berlin, 15.09.2017.
- Pinnekamp, Johannes (Hg.) (2016): 49. Essener Tagung für Wasser und Abfallwirtschaft "Wasserwirtschaft 4.0". 2. bis 4. März 2016 in der Messe Essen Ost. Unter Mitarbeit von Verena Kölling. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft "Wasserwirtschaft 4.0"; RWTH Aachen; Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft. Aachen: Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen e.V (Gewässerschutz, Wasser, Abwasser, 239).
- Plattform Industrie 4.0 (2018): Normen & Standards. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Online verfügbar unter <https://www.plattform-i40.de/I40/Navigation/DE/Industrie40/Handlungsfelder/NormenStandards/normen-und-standards.html>, zuletzt geprüft am 23.11.2018.
- Pohl, Christian; Richter, Markus (2016): Wasserwirtschaft 4.0: Digitalisierung und Automatisierung. In: *Wasserwirtschaft Wassertechnik* 66 (5), S. 28–31.

Pohl, Christian; Spinnreker-Czichon, Dominik; Keilholz, Patrick (2016): Wasserwirtschaft 4.0 - Voraussetzung für eine intelligente Vernetzung von Bestandssystemen. In: *Wasserwirtschaft Wassertechnik* Modernisierungsreport 2016/17, S. 35–39.

Poppe, Andrea; Saus, Oliver; Zinck, Alexander (2017): Das digitale Abwasseinstitut. Vom elektrischen Postworkflow bis zur Digitalisierung des Aktenbestandes in der Indirekteinleiterüberwachung. In: *kompetenz Wasser* (November), S. 17–18. Online verfügbar unter <https://www.steb-koeln.de/Redaktionell/ABLAGE/Downloads/Broschüren-Veröffentlichungen/Kompetenz-Wasser/kompetenz-wasser-2017-web.pdf>, zuletzt geprüft am 23.11.2018.

Pottgiesser, Tanja; Arle, Jens; Bellack, Eva (2018): www.gewaesser-bewertung.de - Informationsplattform zur Bewertung aller Oberflächengewässer gemäß EG-Wasserrahmenrichtlinie. In: *Korrespondenz Wasserwirtschaft* (4), S. 206–211.

Publishing, OECD. (2015): OECD Public Governance Reviews. Estonia and Finland Fostering Strategic Capacity across Governments and Digital Services across Borders. Paris: OECD Publishing (OECD Public Governance Reviews). Online verfügbar unter <http://gbv.ebib.com/patron/FullRecord.aspx?p=3564415>.

Raith, Katja Ines; Hoppe, Holger; Kutsch, Stefan; Ante, Jens; Massing, Christian (2017): Qualitätsabhängige Kanalnetzsteuerung - Konzeption und Umsetzung lokaler und stadtgebietsweiter Steuerungsstrategien. Leitfaden Version 1 (2017). Hg. v. Samuwa. Online verfügbar unter http://www.samuwa.de/img/pdfs/leitfaden_qualitaetsabhaengige_kanalnetzsteuerung.pdf, zuletzt geprüft am 23.11.2018.

Rauch, Christian; Seidel, Adeline (2012): HEAG 2040 - Die Stadtwirtschaft von morgen. Hg. v. HEAG Holding AG – Beteiligungsmanagement der Wissenschaftsstadt Darmstadt (HEAG). Darmstadt. Online verfügbar unter https://www.zukunftsinstitut.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/Auftragsstudien/HEAG-2040-zukunftsstudie_2.pdf.

Reflex Verlag (2017): Die Wasserwirtschaft wird digital. Hg. v. Reflex Verlag. Online verfügbar unter http://reflex2.de/website/download/1709_02_SmartLiving_FOCUS_PRINTklein.pdf.

Reichert, Joachim (2016): Die neue Automatisierungsstrategie der Berliner Wasserbetriebe. In: *Korrespondenz Abwasser, Abfall* 9, S. 771–778. DOI: 10.3242/kae2016.09.002.

Reyes, Gonzalo B. (2017): Migration towards a technology supported integrated network management model. SWAN 7th Annual Conference. ESSBIO - NUEVOSUR. SWAN - The Smart Water Networks Forum. London, 09.05.2017. Online verfügbar unter https://www.swan-forum.com/wp-content/uploads/sites/218/2017/05/SWAN-2017_Keynote-ESSBIO_Gonzalo-Reyes.pdf?x12236.

Rienmüller, Anton; Baader, Jörg (2018): Lackagen frühzeitig erkennen und orten. In: *AutomationBlue* (1), S. 24–27. Online verfügbar unter <https://www.vulkan-shop.de/leckagen-fruehzeitig-erkennen-und-orten-2018-01-01>, zuletzt geprüft am 17.09.2018.

Roclowski, Harald; Knapp, Axel; Geil, Christian; Böhle, Martin; Krieg, Helene; Nowak, Dimitri et al. (2018): H2Opt – Eine Software zur Entscheidungsunterstützung für die Planung und den Betrieb von Trinkwasserversorgungsanlagen. In: *energie | wasser-praxis* (3), S. 30–34.

Rode, Sophia; Müller, Hannes; Schroeder, Kai; Kuchenbecker, Andreas; Haberlandt, Uwe (2014): SYNOPSE - Künstliche Niederschlagsreihen. In: *Wasserwirtschaft Wassertechnik* 11-12, S. 8–11.

Roesler, Stefan (2017): Sparkassen im Zeichen der Digitalisierung. Daseinsvorsorge der Zukunft: Chancen der Digitalisierung nutzen. Sparkassen Finanzportal. Kölner Netzwerk der Daseinsvorsorge. Köln, 2017.

Roos, Eckhard (2016): Industrie 4.0: Chancen für die Wasserwirtschaft. In: Johannes Pinnekamp (Hg.): 49. Essener Tagung für Wasser und Abfallwirtschaft "Wasserwirtschaft 4.0". 2. bis 4. März 2016 in der Messe Essen Ost. Unter Mitarbeit von Verena Kölling. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft "Wasserwirtschaft

4.0"; RWTH Aachen; Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft. Aachen: Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen e.V (Gewässerschutz, Wasser, Abwasser, 239), 2/1 - 2/15.

Rudolf, Bruno; Simmer, Clemens (ohne Datum): Niederschlag, Starkregen und Hochwasser. Hg. v. DWD. Online verfügbar unter https://www.dwd.de/DE/leistungen/wzn/publikationen/Niederschlag_Starkregen_Hochwasser.pdf?__blob=publicationFile&v=2, zuletzt geprüft am 23.11.2018.

Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr (2016): Sachsen Digital. Die Digitalisierungsstrategie des Freistaates Sachsen. Hg. v. Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr. Dresden. Online verfügbar unter <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/25926>.

Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr (Hg.) (2017): Sachsen Digital 2017. Dresden. Online verfügbar unter <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/28672>.

Sahler, Barbara (2017). Check-in für Oberflächenwasser von Verkehrsflächen. In: *Wasserwirtschaft Wassertechnik* 67 (6), S. 32–35. Online verfügbar unter <http://www.wwt-online.de/heftarchiv/wwt-wasserwirtschaft-wassertechnik-62017>.

Samaniego, L.; Thober, S.; Kumar, R.; Wanders, N.; Rakovec, O.; Pan, M. et al. (2018): Anthropogenic warming exacerbates European soil moisture droughts. In: *Nature Clim Change* 8 (5), S. 421–426. DOI: 10.1038/s41558-018-0138-5.

Sampson, David A.; Escobar, Vanessa; Tschudi, Michael K.; Lant, Tim; Gober, Patricia (2011): A provider-based water planning and management model – WaterSim 4.0 – For the Phoenix Metropolitan Area. In: *Journal of Environmental Management* 92 (10), S. 2596–2610. DOI: 10.1016/j.jenvman.2011.05.032.

SCADA und Prozessleitsystem mit speziellen Funktionen für die Wasserwirtschaft. NIVUS bietet seine Automatisierungssoftware jetzt auch als Cloud-Lösung auf Mietbasis an (2017). In: *Kommunalwirtschaft* (3), S. 98–99. Online verfügbar unter http://www.kommunalverlag.de/downloads/pdf/2017/Innen-KoWi_03-2017.pdf.

Schieferdecker, Ina; Bruns, Lina; Cuno, Silke; Flügge, Matthias; Isakovic, Karsten; Klessmann, Jens et al. (2018): Urbane Datenräume. Möglichkeiten von Datenaustausch und Zusammenarbeit im urbanen Raum. Hg. v. Fraunhofer FOKUS. Bundesministerium für Bildung und Forschung. Berlin. Online verfügbar unter https://cdn0.scrvt.com/fokus/774af17bdc0a18cd/69f7a401c168/UDR_Studie_062018.pdf.

Schmidlechner, Bernhard (2017): The long term impact of „Kommunal 4.0“. SWAN 7th Annual Conference. HST Systemtechnik GmbH & Co KG. SWAN - The Smart Water Networks Forum. London, 10.05.2017. Online verfügbar unter https://www.swan-forum.com/wp-content/uploads/sites/218/2017/05/SWAN-2017_Emerging-Markets_HST_Schmidlechner.pdf?x12236.

Schmitt, Theo G. (2017): Forschungsförderung zur Erneuerung der kommunalen Wasserinfrastruktur in Deutschland und USA. BMBF-INIS und NSF-ReNUWI. In: *Korrespondenz Abwasser, Abfall* (5), S. 412–422. DOI: 10.3242/kae2017.05.004.

Schramm, Engelbert; Giese, Thomas; Kluge, Thomas; Kuck, Wolfgang; Voelker, Carolin (2016): Verändertes Kooperationsmanagement für neuartige Sanitärsysteme in Umsetzung und Betrieb. Folgerungen aus dem Beispiel Jenfelder Au in Hamburg. In: *gwf - Wasser/Abwasser* (2). Online verfügbar unter <https://www.gwf-wasser.de/produkte/2016-veraendertes-kooperationsmanagement-fuer-neuartige-sanitaersysteme-in-umsetzung-und-betrieb/>.

Schreiber, Andreas; Deutschmann, Kai (2014): Koordinierung der Erstellung der Hochwasserrisikomanagementpläne mit der Aktualisierung der Bewirtschaftungspläne. Informationsveranstaltung zur fachlichen Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie und der Hochwasserrisikomanagementrichtlinie im Land Brandenburg. Landesamt für Umwelt, Gesundheit und

Verbraucherschutz. Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft des Landes Brandenburg. Potsdam, 21.02.2014.

Schuh, Vera (2016): Energiegewinnung im Wasserverteilungsnetz: Fernwirkssystem für intelligentes Druckmanagement. In: *AutomationBlue* 1 (2), S. 50–53. Online verfügbar unter https://www.di-verlag.de/plugins/plg_oiv_paywall/scripts/import.article.php?issue=3340&media=43980.

Schüler, Ralf (2016): Cybersicherheit. In: *Korrespondenz Abwasser, Abfall* (2), S. 91–92.

Schulz, Oliver; Liehr, Stefan; Grossmann, Jörg (2017): Das integrierte Prognosemodell für den Wasserbedarf von Hamburg – Szenarien, Fortschreibung und Perspektiven. In: *energie | wasser-praxis* (8). Online verfügbar unter <http://www.energie-wasser-praxis.de/heftarchiv/08-2017/>.

Schütz, Lothar (2017): Umsetzung von Wasser 4.0 in der Trinkwasserverteilung. In: *AutomationBlue* 1 (4), S. 42–44.

Schwarze, Michael (2016): Automatisierungsstrategie bei den Wasserwerken Westfalen. In: *AutomationBlue* 1 (2), S. 14–19. Online verfügbar unter https://www.di-verlag.de/plugins/plg_oiv_paywall/scripts/import.article.php?issue=3340&media=43980.

Sedehizade, Fereshte; Deuerlein, Jochen; Korth, Andreas; Bernhard, Thomas (2015): SMaRT-Online - Frühwarn- und Sicherheitsmanagementsystem für die Wasserversorgung. In: *Wasserwirtschaft Wassertechnik Modernisierungsreport 2015/2016*, S. 36–41.

Sedlak, David L. (2014): Water 4.0. The past, present, and future of the world's most vital resource. New Haven: Yale University Press. Online verfügbar unter <http://www.jstor.org/stable/10.2307/j.ctt5vksm5>.

Siemens AG: Digitale Lösungen für die Wasserwirtschaft. Online verfügbar unter <https://www.siemens.com/global/de/home/branchen/wasser/digitalization.html>, zuletzt geprüft am 11.08.2017.

Siemens AG (2016): Wir brauchen neue Geschäftsmodelle. Smart Water. Online verfügbar unter <https://www.siemens.com/customer-magazine/de/home/industrie/smart-water/interview-prange-gwp.html>, zuletzt geprüft am 11.08.2017.

Simon, Jörg (2017): Schon heute profitieren die Unternehmen der Wasserwirtschaft erheblich von der Digitalisierung. In: *energie | wasser-praxis kompakt* (4), S. 16–17. Online verfügbar unter http://www.wvgw.de/dyn_pdf/ewpKompakt042017/#18.

Söbke, Heinrich; Hofmann, Andreas; Kropp, Ingo; Miethke, Anja; Schwarz, Daniel; Hillenbrand, Thomas; Londong, Jörg (2018): Software-TWISTing: Integrierte Systeme für die Planung zukunftsfähiger kommunaler Wasserinfrastruktur. In: *Korrespondenz Abwasser, Abfall* (1), S. 39–46.

Söbke, Heinrich; Londong, Jörg (2017): Schnittstelle Motivation. Spielbasierte Medien für die Wasserwirtschaft. In: *gwf - Wasser/Abwasser* 158 (5). Online verfügbar unter <https://www.gwf-wasser.de/produkte/2017-schnittstelle-motivation-spielbasierte-medien-fuer-die-wasserwirtschaft/>.

SPEZIAL: E-World energy & water 2018 (2018). In: *energie | wasser-praxis*, 2018 (2), S. 61–66.

Spies, Karl-Heinz (2017): Datenaustausch braucht Schnittstellen. In: *Treffpunkt Kommune*, 30.05.2017. Online verfügbar unter <http://www.treffpunkt-kommune.de/datenaustausch-braucht-schnittstellen/>, zuletzt geprüft am 11.08.2017.

Staatskanzlei des Landes Brandenburg (Hg.) (2017): Bericht der Landesregierung - Brandenburg Digital. Distanzen überwinden: Statusbericht zur Zukunftsstrategie digitales Brandenburg. Potsdam. Online verfügbar unter http://www.brandenburg.de/media_fast/1167/Statusbericht_zur_Zukunftsstrategie_Digitales_Brandenburg__20170829.pdf.

- Stadtwerke Köln GmbH (2016): Grundsatzangelegenheiten der kommunalen Daseinsvorsorge. Hintergrundpapier zur Digitalisierung der Daseinsvorsorge. Hg. v. Stadtwerke Köln GmbH. Stadtwerke Köln GmbH. Köln.
- Stemmer, Michael (2016): Digitale Governance - Ein Diskussionspapier. Hg. v. Kompetenzzentrum Öffentliche IT. Berlin. Online verfügbar unter <http://www.oeffentliche-it.de/documents/10181/14412/Digitale+Governance+-+Ein+Diskussionspapier>.
- Stemmer, Michael; Goldacker, Gabriele (2015): IT-Standardisierung in der öffentlichen Verwaltung. Hg. v. Kompetenzzentrum Öffentliche IT. Berlin. Online verfügbar unter <http://www.oeffentliche-it.de/documents/10181/14412/IT+Standardisierung+in+der+%C3%B6ffentlichen+Verwaltung>.
- Stiebel, Benjamin (2018): ITZBund: Nötige Kapazitäten stehen bereit. In: *BehördenSpiegel*, 06.09.2018. Online verfügbar unter <https://www.behörden-spiegel.de/2018/09/06/itzbund-noetige-kapazitaeten-stehen-bereit/>, zuletzt geprüft am 09.10.2018.
- Stierle, Rainer (2017): Digitales Druckmanagement im Netz. In: *Wasserwirtschaft Wassertechnik* 7-8, S. 10–14.
- Stierle, Rainer (2017): Wasserwirtschaft 4.0. In: *Wasser, Luft und Boden* (1), S. 18–19. Online verfügbar unter <http://digital.wasser-luft-und-boden.de/wlb-wasser-luft-und-boden-1-2017/57612339/18>, zuletzt geprüft am 11.08.2017.
- Stodtmeister, Wolfram (Hg.) (2015): Wärmerückgewinnung aus Abwassersystemen: Wärmetauscher - Wärmepumpen- Verbundsysteme. Essen: PUBLICO.
- Stratemann, Joel; Westerwelle, Christoph (2018): Cloud-basierte Automatisierungslösung für die Wasserwirtschaft. In: *AutomationBlue* 2018 (1), S. 32–35. Online verfügbar unter <https://www.vulkan-shop.de/cloud-basierte-automatisierungsloesung-fuer-die-wasserwirtschaft-2018-01-01>, zuletzt geprüft am 17.09.2018.
- Strehmann, Jan (2018): Smarte Welt nimmt Schwung auf. In: *Zeitung für kommunale Wirtschaft*, 2018 (06).
- Tanzmann, Stig; Voß, Bernd: Digitalisierung in der Landwirtschaft. Entwicklungspolitische und bäuerliche Perspektiven auf die Zukunft der Landwirtschaft im globalen Süden und Norden. In: *Der kritische Agrarbericht* 2018, S. 112–118. Online verfügbar unter https://www.kritischer-agrarbericht.de/fileadmin/Daten-KAB/KAB-2018/KAB_2018_112_118_Tanzmann_Voss.pdf, zuletzt geprüft am 02.11.2018.
- Terhart, Ludger; Wagner, Kirsten (2016): IT-Sicherheit in der Wasserwirtschaft – Branchenstandard IT-Sicherheit Wasser/Abwasser. In: *Korrespondenz Abwasser, Abfall* 12, S. 1048–1050.
- Thaler, Sabine (2018): Building Information Modeling - Konsequenzen, Aufwand und Nutzen für die Wasserwirtschaft. In: *Korrespondenz Abwasser, Abfall* (5), S. 372–378.
- Thamsen, Paul Uwe; Mitchell, Raja; Pöhler, Michael (2016): Was versteht man unter Wasser 4.0? In: *Wasserwirtschaft Wassertechnik* 66 (7-8), S. 16–20.
- Theo, George (2017): Tapping into data. The analytics revolution for business and customer. SWAN 7th Annual Conference. Unitywater. SWAN - The Smart Water Networks Forum. London, 09.05.2017. Online verfügbar unter https://www.swan-forum.com/wp-content/uploads/sites/218/2017/05/SWAN-2017_Keynote-Unitywater_George-Theo.pdf?x12236.
- Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Wissenschaft und Digitale Gesellschaft (Hg.) (2017): Grundlagenpapier Thüringer Strategie für die Digitale Gesellschaft. Impulsdokument für den weiteren Strategieprozess. Erfurt. Online verfügbar unter https://www.thueringen.de/mam/th6/pub/grundlagenpapier_digi_strategie_2017.pdf.
- Timmermann, Rolf (2017): Wasserwirtschaft 4.0 – Mehrwert durch Visualisierung von vernetzten Systemen. 14. Sächsisches GIS Forum. DHI Group. Dresden, 31.01.2017. Online verfügbar unter [139](http://gdi-</p></div><div data-bbox=)

sachsen.de/web/2017/Vortraege_Forum/Wasserwirtschaft4.0_Rolf-Timmermann.pdf, zuletzt geprüft am 11.08.2017.

Trabitzsch, Ralf (2017): Quantification of nitrate in a groundwater aquifer. Hg. v. Helmholtzzentrum für Umweltforschung UFZ. Online verfügbar unter <https://www.ufz.de/index.php?en=38826>.

Uecker, Felix; Bukva, Senad (2017): IT-Sicherheit in der Wasserwirtschaft – Anforderungen und Umsetzungswege. In: *AutomationBlue* (3), S. 38–43. Online verfügbar unter <https://www.di-verlag.de/de/Zeitschriften/Automation-Blue/2017/03/IT-Sicherheit-in-der-Wasserwirtschaft--Anforderungen-und-Umsetzungswege>.

Umweltbundesamt (2018): Indikator: Nitrat im Grundwasser. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/indikator-nitrat-im-grundwasser#textpart-3>, zuletzt geprüft am 02.11.2018.

Unabhängige Bauernstimme (2018): Digitalisierung. Online verfügbar unter http://www.bauernstimme.de/news/details/?tx_ttnews%5Btt_news%5D=1661&cHash=14f8b51712ec297cec268875b8afc94f, zuletzt geprüft am 02.11.2018.

Unabhängige Bauernstimme (2018): Wo sind die Daten? Online verfügbar unter https://www.bauernstimme.de/news/details/?tx_ttnews%5Btt_news%5D=1671&cHash=9124397bfb83eda0c57111ed096aff0, zuletzt geprüft am 02.11.2018.

van Kasteren, Jörg; Jantke, Joachim (2015): Mit dem Scanner durch dick und dünn. In: *Wasserwirtschaft Wassertechnik* 6, S. 21–22.

Venkatesen, Mauree (2010): ICT as an Enabler for Smart Water Management. ITU-T Technology Watch Report. Hg. v. ITU Telecommunication Standardization Bureau. Genf. Online verfügbar unter https://www.itu.int/dms_pub/itu-t/oth/23/01/T23010000100003PDFE.pdf.

Verband kommunaler Unternehmen e.V. (VKU) (2016): Fragen und Antworten zur IT-Sicherheitsgesetzgebung Wasser / Abwasser. Hg. v. Verband kommunaler Unternehmen e.V. (VKU). Berlin. Online verfügbar unter https://digital.vku.de/fileadmin/user_upload/vku_fa_q_it-sicherheit_wasser_abwasser.pdf.

Verband kommunaler Unternehmen e.V. (VKU) (2017): Facts and Figures: Digitale Wasserwirtschaft. Hg. v. Verband kommunaler Unternehmen e.V. (VKU). Online verfügbar unter https://www.vku.de/index.php?elD=tx_nawsecuredl&u=0&g=0&t=1507596476&hash=1ea6eccbda628bc6e363c3526c0c9314cbd9fe21&file=fileadmin/media/Dokumente/Wasser_Abwasser/Wirtschaft/170717_FF_Digitale_Wasserwirtschaft.pdf.

Verband kommunaler Unternehmen e.V. (VKU) (2017): IT-Sicherheit: VKU kritisiert Qualifikationsvoraussetzungen für Prüfer. Hg. v. Verband kommunaler Unternehmen e.V. (VKU). Online verfügbar unter <https://www.vku.de/wasser/umwelt/kritis/it-sicherheit-vku-kritisiert-qualifikationsvoraussetzungen-fuer-pruefer.html>.

Verband kommunaler Unternehmen e.V. (VKU) (2017): Kommunale Unternehmen gestalten den digitalen Wandel. Thesenpapier zur Digitalpolitik für die Legislaturperiode 2017-2021. Hg. v. Verband kommunaler Unternehmen e.V. (VKU). Verband kommunaler Unternehmen e.V. (VKU).

Verband kommunaler Unternehmen e.V. (VKU) (2017): Werden Wasser und Abwasser digital? Hg. v. Verband kommunaler Unternehmen e.V. (VKU). Online verfügbar unter <https://www.vku.de/wasser/wirtschaft/werden-wasser-und-abwasser-digital.html>.

Vestner, Richard J.; Keilholz, Patrick (2016): Was bedeutet der "4.0-Ansatz" für die Wasserwirtschaft? In: Johannes Pinnekamp (Hg.): 49. Essener Tagung für Wasser und Abfallwirtschaft "Wasserwirtschaft 4.0". 2. bis 4. März 2016 in der Messe Essen Ost. Unter Mitarbeit von Verena Kölling. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft "Wasserwirtschaft 4.0"; RWTH Aachen; Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft.

Aachen: Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen e.V (Gewässerschutz, Wasser, Abwasser, 239), 7/1 - 7/13.

Vestner, Richard J.; Ziemer, Christian (2018): Exportchance Wasser 4.0. IFAT 2018. German Water Partnership e. V. IFAT. München, 14.05.2018. Online verfügbar unter https://www.germanwaterpartnership.de/fileadmin/pdfs/gwp_messebeteiligungen/ifat_2018/VDMA__Richard_Vestner_Christian_Ziemer.pdf, zuletzt geprüft am 09.10.2018.

VKU [Verband Kommunalen Unternehmen e.V.] (2016): Digitale Transformation. Kommunale Unternehmen als zentrale Akteure. Positionspapier. Berlin. Online verfügbar unter https://www.vku.de/index.php?elD=tx_nawsecuredl&u=0&g=0&t=1502532689&hash=dd0aa364e074ef26f0721deee916919dcdfcc6f9&file=fileadmin/media/Dokumente/Themenseiten/160314_Positionierung_Digitale_Transformation_final.pdf, zuletzt geprüft am 11.08.2017.

VKU Akademie (2017): Workshop "Estonia meets VKU". Die Fortsetzung der VKU Learning journey//The journey continues. Estonia meets VKU. Verband kommunaler Unternehmen e.V. (VKU). Verband kommunaler Unternehmen e.V. (VKU). Berlin, 17.10.2017.

Voigt, Mario; Thorun, Christian; Sinemus, Kristina (2017): Digital. Kommunal. Deutschland. Smart Nation durch Smart Regions. Hg. v. Quadriga Hochschule Berlin und Verband kommunaler Unternehmen e.V. (VKU). Berlin.

Voltz, Thomas; Musche, Fabian; Poetzsch, Ulrich; Haelsig, Ramona; Bahner, Philipp; Jungmann, Claus et al. (2016): Energiemanagementsystem für den Zweckverband Wasserver- und Abwasserentsorgung „Mittleres Erzgebirgsvorland“ (ZWA) Hainichen. In: *gwf - Wasser/Abwasser* (10). Online verfügbar unter <https://www.gwf-wasser.de/produkte/2016-energiemanagementsystem-fuer-den-zweckverband-wasserver-und-abwasserentsorgung-mittleres-erzge/>.

Voß, Bernd (2018): Unter Kontrolle: Bäuerin und Bauer 4.0. Hg. v. Unabhängige Bauernstimme. Online verfügbar unter https://www.bauernstimme.de/news/details/?tx_ttnews%5Btt_news%5D=1672&cHash=3a23e0950c731e4c95dccc73a9deb417, zuletzt geprüft am 02.11.2018.

Wagner, Kirsten; Terhart, Ludger (2016): IT-Sicherheit in der Wasserversorgung – Branchenstandard IT-Sicherheit Wasser/Abwasser. In: *energie | wasser-praxis* (12). Online verfügbar unter <http://www.energie-wasser-praxis.de/heftarchiv/12-2016/>.

Wasserver- und -entsorgung zukunftsfit ausrichten (2016). In: *Kommunalwirtschaft* (5), S. 8–11. Online verfügbar unter http://www.kommunalverlag.de/downloads/pdf/2016/Innen-KoWi_05-2016.pdf.

Wegner, Ralf (2016): Von Daten ... zu Werten! Chancen der Digitalisierung. 15. Wasserwirtschaftliche Jahrestagung. Siemens AG. BDEW [Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V.]. Berlin, 12.09.2016. Online verfügbar unter [https://www.bdew.de/internet.nsf/id/B85CB53FCD409442C1257F1E0050D9E8/\\$file/07_Ralf_Wegner.pdf](https://www.bdew.de/internet.nsf/id/B85CB53FCD409442C1257F1E0050D9E8/$file/07_Ralf_Wegner.pdf).

Wiese, Jürgen; Hilfenhaus, Roland (2016): Ideen statt Beton. Kontinuierliche Optimierung der Kläranlage Neuenhaßlau. In: *Wasserwirtschaft Wassertechnik* Modernisierungsreport 2016/17, S. 19–23.

Wiese, Jürgen; Seick, Ingolf (2018): Optimierung von Kläranlagen und Biogasanlagen durch Mess- und Automationstechnik sowie Computersimulation. In: *Wasserwirtschaft* 108 (1). Online verfügbar unter <https://www.springerprofessional.de/optimierung-von-klaanlagen-und-biogasanlagen-durch-mess-und-au/15339600>.

WIKON GmbH: Wasser 4.0: Waterbox. Online verfügbar unter <https://www.wikon.de/m2m-produkte/metering/wasser-40-waterbox/>, zuletzt geprüft am 11.08.2017.

- Wimmer, Manuela; Hübner, Mario (2017): Smarte digitale Transformation in der Wasserwirtschaft. In: *Wasserwirtschaft Wassertechnik* 66 (10), S. 40–45. Online verfügbar unter <http://www.wwt-online.de/sites/default/files/fachartikel/wwt1017-tw-huebner.pdf>.
- Wood, Martin; Fowler, Marcus (2017): Wessex Water's New Supply Grid and Optimiser. SWAN 7th Annual Conference. Wessex Water; Servelec Technologies. SWAN - The Smart Water Networks Forum. London, 09.05.2017. Online verfügbar unter https://www.swan-forum.com/wp-content/uploads/sites/218/2017/07/SWAN-2017_Maximising-Operational-Resilience_Wessex_Servelec.pdf?x12236.
- Woodward, Kevin (2017): Using Wastewater Network Monitoring effectively to support operational performance. SWAN 7th Annual Conference. United Utilities. SWAN - The Smart Water Networks Forum. London, 10.05.2017. Online verfügbar unter https://www.swan-forum.com/wp-content/uploads/sites/218/2017/05/SWAN-2017_Wastewater_Kevin-Woodward-United-Utilities.pdf?x12236.
- Woronka, Stefan; Pirsing, Andreas (2016): IT-Sicherheit im Industrieumfeld neu bewerten. In: *Wasserwirtschaft Wassertechnik* 1-2, S. 42–44.
- Wulf, Georg (2017): Modernisierungsansätze des Wupperverbands im Hinblick auf Wasserwirtschaft 4.0. In: *Wasserwirtschaft Wassertechnik* 66 (Modernisierungsreport), S. 22–25. Online verfügbar unter <http://www.wwt-online.de/sites/default/files/fachartikel/wwt1117-modrep-fa-wulf.pdf>.
- Ye, Yuntao; Liang, Lili; Zhao, Hongli; Jiang, Yunzhong (2016): The System Architecture of Smart Water Grid for Water Security. In: *Procedia Engineering* 154, S. 361–368. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.492.
- Yuanyuan, Wang; Ping, Liu; Wenze, Shi; Xinchun, Yin (2017): A New Framework on Regional Smart Water. In: *Procedia Computer Science* 107, S. 122–128. DOI: 10.1016/j.procs.2017.03.067.
- ZALF: NatApp - Die Naturschutz-App. Online verfügbar unter http://www.zalf.de/de/aktuelles/DokumenteMeldungen/LSE/LSE_AKTUELL_2016AUG_Flyer_NatApp.pdf.
- Zekri, Slim; Madani, Kaveh; Bazargan-Lari, Mohammad Reza; Kotagama, Hemesiri; Kalbus, Edda (2017): Feasibility of adopting smart water meters in aquifer management. An integrated hydro-economic analysis. In: *Agricultural Water Management* 181, S. 85–93. DOI: 10.1016/j.agwat.2016.11.022.
- ZfK - Zeitung für kommunale Wirtschaft (2016): Die Wasserwirtschaft digitalisieren. Online verfügbar unter <https://www.zfk.de/wasser/artikel/die-wasserwirtschaft-digitalisieren.html>.
- Znanewitz, Thomas; Taudien, Yannick; Kolisch, Gerd (2016): Monitoring und Bewertung von Energiedaten auf kommunalen Kläranlagen. In: *Korrespondenz Abwasser, Abfall* 5, S. 429–435. DOI: 10.3242/kae2016.05.006.