

Niederste-Hollenberg, Jutta et al.

Research Report

Innovationen in der Wasserwirtschaft: Patent-, Publikations-, Außenhandelsanalyse zur technologischen Leistungsfähigkeit der deutschen Wasserwirtschaft. (Innovations-)Ökonomische Betrachtungen von Wasserverschmutzung und Wasserknappheit

Studien zum deutschen Innovationssystem, No. 9-2025

Provided in Cooperation with:

Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI)

Suggested Citation: Niederste-Hollenberg, Jutta et al. (2025) : Innovationen in der Wasserwirtschaft: Patent-, Publikations-, Außenhandelsanalyse zur technologischen Leistungsfähigkeit der deutschen Wasserwirtschaft. (Innovations-)Ökonomische Betrachtungen von Wasserverschmutzung und Wasserknappheit, Studien zum deutschen Innovationssystem, No. 9-2025, Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI), Berlin

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/312420>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

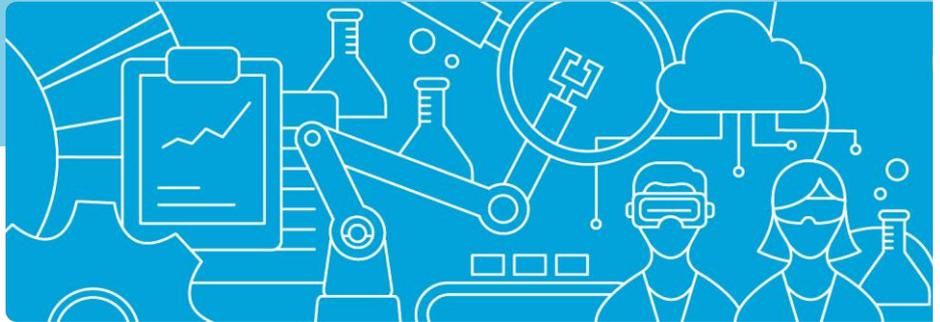
Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

Studie zum deutschen Innovationssystem | Nr. 9-2025



Jutta Niederste-Hollenberg, Thomas Hillenbrand, Jan Greiwe, Sonia Gruber, Frank Marscheider-Weidemann, Oliver Rothengatter, Christian Sartorius, Joachim Schleich, Rainer Walz

Innovationen in der Wasserwirtschaft

Patent-, Publikations-, Außenhandelsanalyse zur technologischen
Leistungsfähigkeit der deutschen Wasserwirtschaft

(Innovations-)Ökonomische Betrachtungen von Wasserverschmutzung und
Wasserknappheit



Diese Studie wurde im Auftrag der Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI) erstellt. Die Ergebnisse und Interpretationen liegen in der alleinigen Verantwortung der durchführenden Institute. Die EFI hat auf die Abfassung des Berichts keinen Einfluss genommen.

Durchführendes Institut

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI
Breslauer Straße 48, 76139 Karlsruhe
www.isi.fraunhofer.de

Studien zum deutschen Innovationssystem

Nr. 9-2025
ISSN 1613-4338

Stand

Februar 2025

Herausgeberin

Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI)

Geschäftsstelle

Pariser Platz 6 | 10117 Berlin
www.e-fi.de

Alle Rechte vorbehalten, insbesondere das Recht auf Vervielfältigung und Verbreitung sowie Übersetzung. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung der EFI oder der Institute reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme gespeichert, verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Kontakt und weitere Informationen

Dr. Jutta Niederste-Hollenberg
Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI
Breslauer Straße 48, 76139 Karlsruhe
T +49 (0) 721 6809-115
M jutta.niederste-hollenberg@isi.fraunhofer.de

Impressum

EFI-Schwerpunktstudie: Innovationen in der Wasserwirtschaft

Projektleitung

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI

Breslauer Straße 48, 76139 Karlsruhe

Dr. Jutta Niederste-Hollenberg, jutta.niederste-hollenberg@isi.fraunhofer.de

Verantwortlich für den Inhalt des Textes

Dr. Jutta Niederste-Hollenberg, jutta.niederste-hollenberg@isi.fraunhofer.de, Dr. Thomas Hillenbrand, thomas.hillenbrand@isi.fraunhofer.de, Dr. Jan Greiwe, jan.greiwe@isi.fraunhofer.de, Sonia Gruber, sonia.gruber@isi.fraunhofer.de, Dr. Frank Marscheider-Weidemann, frank.marscheider-weidemann@isi.fraunhofer.de, Oliver Rothengatter, oliver.rothengatter@isi.fraunhofer.de, Dr. Dr. Christian Sartorius, sartoc@posteo.de, Prof. Dr. Joachim Schleich, joachim.schleich@isi.fraunhofer.de; Prof. Dr. Rainer Walz, rainer.walz@isi.fraunhofer.de

Verfasst im Auftrag von

Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI)

Zitierempfehlung

Niederste-Hollenberg, J.; Hillenbrand, T.; Greiwe, J.; Gruber, S.; Marscheider-Weidemann, F.; Rothengatter, O.; Sartorius, C.; Schleich, J.; Walz, R.; (2025): EFI-Schwerpunktstudie: Innovationen in der Wasserwirtschaft Patent-, Publikations-, Außenhandelsanalyse zur technologischen Leistungsfähigkeit der deutschen Wasserwirtschaft sowie (Innovations-)Ökonomische Betrachtungen von Wasserverschmutzung und Wasserknappheit; Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Karlsruhe

Veröffentlicht

Februar 2025

Hinweise

Dieser Bericht einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Die Informationen wurden nach bestem Wissen und Gewissen unter Beachtung der Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis zusammengestellt. Die Autorinnen und Autoren gehen davon aus, dass die Angaben in diesem Bericht korrekt, vollständig und aktuell sind, übernehmen jedoch für etwaige Fehler, ausdrücklich oder implizit, keine Gewähr. Die Darstellungen in diesem Dokument spiegeln nicht notwendigerweise die Meinung des Auftraggebers wider.

Inhalt

Impressum	2
Abbildungsverzeichnis	5
Tabellenverzeichnis	7
Hintergrund und Struktur	8
Teil 1: Patent- und Publikationsanalyse zu Technologien in der Wasserwirtschaft im internationalen Vergleich sowie Marktpotenzial und Adoption dieser Technologien	9
1 Methodisches Vorgehen	10
1.1 Darstellung der Analysemethoden	10
1.2 Untersuchte Technikbereiche.....	11
2 Patentanalyse	14
2.1 Dynamik der Patentanmeldungen.....	14
2.2 Patentanteile.....	15
2.3 Patentspezialisierung	19
2.4 Patentanalyse: Anmelder.....	21
3 Bibliometrische Analyse	26
3.1 Dynamik der Publikationen	27
3.2 Publikationsanteile.....	29
3.3 Publikationsspezialisierung Deutschlands RLA	32
3.4 Länder unter Wasserstress	34
4 Außenhandelsanalyse	36
4.1 Dynamik des Außenhandels	36
4.2 Welthandelsanteile	38
4.3 Außenhandelsspezialisierung.....	39
4.4 Regionale Ausrichtung des Handels.....	41
Teil 2: (Innovations-)Ökonomische Betrachtung von Wasserverschmutzung und Wasserknappheit bezogen auf Deutschland	42
5 Problemfeld Wasserverschmutzung	44
5.1 Abwasserabgabe	44
5.1.1 Aufkommen der Abwasserabgabe.....	45
5.1.2 Minderungsmöglichkeiten der Abwasserabgabe.....	46
5.1.3 Höhe des Abgabensatzes	47

5.1.4	Reformoptionen für die Abwasserabgabe.....	49
5.1.5	Verwendung der Abgabe: Zweckbindung.....	51
5.2	Pestizidabgabe.....	52
6	Problemfeld Wasserknappheit.....	55
6.1	Wasserentnahme für die landwirtschaftliche Bewässerung.....	55
6.1.1	Wasserentnahmerechte.....	55
6.1.2	Wasserentnahmeentgelt.....	56
6.1.3	Bedeutung der Bewässerung in der Landwirtschaft.....	57
6.1.4	Wirtschaftlichkeit der Bewässerung.....	60
6.1.5	Nachfragewirkung des Wasserentnahmeentgeltes für die Bewässerung.....	62
6.1.6	Innovationswirkung des Wasserentnahmeentgeltes.....	62
6.2	Steuerung der Wassernachfrage über Wasserpreise.....	64
6.2.1	Preiselastizitäten der Wassernachfrage.....	66
6.2.2	Möglichkeiten der Preisdifferenzierung.....	71
6.3	Institutionelle Innovationen: Wasserhandel.....	74
6.4	Fernwasserversorgung.....	78
6.5	Wasserbedarf Industrie.....	82
7	Innovationsförderung durch Subventionen / Förderprogramme.....	85
Teil 3: Übergreifend. Problemaufriss, Zusammenfassung, Ausblick.....		88
8	Patent-, Publikations- und Außenhandelsanalyse.....	90
9	(Innovation-)Ökonomische Betrachtungen: Zusammenfassung der betrachteten Ansätze und weitergehende Schlussfolgerungen.....	92
9.1	Wasserverschmutzung.....	92
9.2	Wasserknappheit.....	94
Quellenverzeichnis.....		98
A.1	Übersicht der untersuchten Wasserhandelssysteme (WHS).....	107

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Dynamik der Patententwicklung I: in Deutschland für die verschiedenen Bereiche der Wassertechnologien (2000=100).....	14
Abbildung 2:	Vergleich der Patentanteile der wichtigsten Länder im Bereich Wassertechnologien 2017-2021 und 2007-2011.....	15
Abbildung 3:	Veränderungen der Anteile wasserwirtschaftlich relevanter Patentanmeldungen 1980 - 2021	16
Abbildung 4:	Patentanteile der wichtigsten Länder in den Bereichen der Wassertechnologien (Cluster) und aller Technologien 2017-2021	17
Abbildung 5:	Patentanteile der wichtigsten Länder differenziert in Technikbereiche von Wassertechnologien und aller Technologien 2017-2021	18
Abbildung 6:	Entwicklung der Spezialisierung Deutschlands in den verschiedenen Technikbereichen der Wassertechnologien und der Patente im Wasserbereich insgesamt.....	20
Abbildung 7:	Patentspezialisierungen im Ländervergleich (2007-2021).....	21
Abbildung 8:	Dynamik der Publikationsentwicklung in den verschiedenen Clustern der Wassertechnologien (Jahr 2000 = 100)	28
Abbildung 9:	Dynamik der Publikationsentwicklung in den verschiedenen Bereichen der Wassertechnologien (Jahr 2000 = 100)	28
Abbildung 10:	Vergleich der Anteile von Publikationen der wichtigsten Länder im Bereich Wassertechnologien und aller Technologien 2018-2022.....	29
Abbildung 11:	Vergleich der Anteile von Publikationen der wichtigsten Länder im Bereich Wassertechnologien und aller Technologien 2008-2012.....	30
Abbildung 12:	Veränderungen der Anteile wasserwirtschaftlich relevanter Publikationen 1996 - 2022.....	30
Abbildung 13:	Publikationsanteile der wichtigsten Länder an den betrachteten Technikclustern (2018-2022).....	31
Abbildung 14:	Entwicklung der Spezialisierung bei den Feldern von Publikationen der Wassertechnologien in drei Zeitabschnitten 2008-12; 2013-17; 2018-22	32
Abbildung 15:	Entwicklung der Spezialisierung bei den Publikationen der Wassertechnologie-Cluster in drei Zeitabschnitten 2008-12; 2013-17; 2018-22	33
Abbildung 16:	Publikationsanalyse im Ländervergleich (2008-2022).....	34
Abbildung 17:	Dynamik der Exporte von Wassertechnologien im Vergleich zur Welthandelsdynamik.....	37
Abbildung 18:	Exportdynamik der einzelnen Technologiebereiche im Verhältnis zur Dynamik aller Wassertechnologieexporte	37
Abbildung 19:	Welthandelsanteile der wichtigsten Exportnationen für wasserwirtschaftlich relevante Technologien 2011 und 2021.....	38

Abbildung 20: Welthandelsanteile Deutschlands bei den einzelnen Segmenten wasserrelevanter Technologien im Jahr 2021	38
Abbildung 21: Spezialisierung von Wassertechnologien im Außenhandel	40
Abbildung 22: Anteile an den Exporten in die EU und OECD-Länder sowie in die restlichen Länder.....	41
Abbildung 23: Standard-Preis-Ansatz zur Festlegung der Höhe einer Abgabe.....	48
Abbildung 24: Grundwasserentnahmeentgelte der Bundesländer für die öffentliche Wasserversorgung und die landwirtschaftliche Bewässerung im Vergleich	57
Abbildung 25: Bewässerte landwirtschaftliche Fläche in Bundesländern im Jahr 2019 (in 1000 ha).....	58
Abbildung 26: Häufigkeit des Auftretens trockener Böden (Bodenfeuchte <50 % nFK, Winterweizen, leichter Boden) in verschiedenen Regionen Deutschlands im Mittel der Jahre 1981 bis 2010.....	59
Abbildung 27: Regionale Differenzierung des Anteils des Beregnungswassers an der Grundwasserneubildung.....	60
Abbildung 28: Jahreskosten für die Bewässerung mit verschiedenen Techniken.....	61
Abbildung 29: Trinkwasserverwendung im Haushalt in 2023.....	65
Abbildung 30: Entwicklung des personenbezogenen Wassergebrauches in Deutschland (in Liter pro Einwohner:in und Tag).....	66
Abbildung 31: Räumlicher Bezug der im Zeitraum 1970-2019 veröffentlichten Literatur zu Wassermärkten.....	76
Abbildung 32: Gebietsmittelwerte der volumenbezogenen Wasserausgaben (Ausgaben / Verbrauch) für einen typischen Zwei-Personen-Haushalt im Jahr 2022.....	81
Abbildung 33: Vergleich der Wasserausgaben für einen typischen Zwei-Personen-Haushalt und des Wasserverbrauchs zwischen Landkreisen mit und ohne Strukturen der Fernwasserversorgung (FWV).....	82
Abbildung 34 a, b: Darstellung von a) Anzahl der Forschungsprojekte und b) Fördervolumen im Wassersektor, unterteilt nach Förderinstitutionen.....	86

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Clusterung der untersuchten Technikbereiche.....	13
Tabelle 2:	Patente - Absolute Zahlen zu Digitalisierung.....	19
Tabelle 3:	Anmelderländer und -firmen mit ≥ 50 weltweiten Patent-Anmeldungen in den Wassertechnologien 2017-2021	22
Tabelle 4:	Deutsche Unternehmen bei den weltweiten Patentanmeldungen (2017- 2021).....	23
Tabelle 5:	Clusterung der untersuchten Wassertechnologien (Publikationen).....	27
Tabelle 6:	Länder unter Wasserstress - Patente und Publikationen als Spezialisierungsmaß.....	35
Tabelle 7:	Spezialisierung wichtiger Exportländer (gemessen als RCA, Relativer Exportanteil) in wasserwirtschaftlich relevanten Technikbereichen 2017- 2021	40
Tabelle 8:	Für die Berechnung der Abwasserabgabe auf Schmutzwasser maßgebliche Schadsstofffrachten im Jahr 2019 und Faktoren zur Berechnung der Schadeinheiten	45
Tabelle 9:	Beschreibung der verwendeten Variablen sowie deskriptive Statistiken für finalen Datensatz (N=590).....	68
Tabelle 10:	Ergebnis nichtlineare Schätzung der Wassernachfrage für Stone-Geary Spezifikation.†	69
Tabelle 11:	Übersicht der untersuchten Wasserhandelssysteme.....	107

Hintergrund und Struktur

Sauberes Wasser ist eine unabdingbare Ressource für die Menschheit und elementarer Bestandteil einer intakten Umwelt. Zugleich ist die Verfügbarkeit von Wasser ein wichtiger Standortfaktor, der die wirtschaftliche Entwicklung von Regionen entscheidend beeinflusst. Infolge des Klimawandels kommt es regional unterschiedlich - wobei alle Regionen betroffen sein können, zu Veränderungen von Temperatur- und Niederschlagsregimen. Damit steht die Wasserwirtschaft weltweit vor großen Herausforderungen.

Die Herausforderungen sind auch in Deutschland inzwischen deutlich spürbar. Ausprägungen von Extremwetterereignissen können sich sowohl in längeren Dürreperioden mit teils starker Hitze als auch in extremen Regenereignissen mit Sturzfluten oder Überflutungsrisiken niederschlagen. Für beide Extreme muss die Wasserwirtschaft Lösungen bereithalten. Hinzu kommen inzwischen teils massive Qualitätseinschränkungen von Grund- und Oberflächenwässern. Vor dem Hintergrund der Versorgungssicherheit mit Wasser, aber auch mit Blick auf weitere große Herausforderungen wie den Erhalt der Artenvielfalt, ist die Verbesserung der Wasserqualität ein ebenso drängendes Thema. Die Studie gliedert sich in drei Abschnitte: Im ersten Teil werden in vier Kapiteln die Ergebnisse der Patent-, Publikations- und Außenhandelsanalyse beschrieben. Der zweite Teil beschäftigt sich mit der (innovations-)ökonomischen Betrachtung von Wasserverschmutzung und Wasserknappheit. Im dritten Teil werden die Ergebnisse noch einmal zusammenfassend bewertet, und es wird ein übergreifendes Fazit gezogen.

Teil 1: Patent- und Publikationsanalyse zu Technologien in der Wasserwirtschaft im internationalen Vergleich sowie Marktpotenzial und Adoption dieser Technologien

Um die Leistungsfähigkeit und die internationale Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen und Forschungsinstitutionen auszuloten und eine Einschätzung zu bekommen, wie die deutsche Unternehmens- und Forschungslandschaft im Bereich von Wassertechnologien aufgestellt ist, werden verschiedene Indikatoren herangezogen.

Die auf der Anzahl von Patentanmeldungen und Publikationen fußenden Indikatoren erlauben es, die Innovationsdynamik in den jeweiligen Technologiebereichen sowie eine entsprechende Spezialisierung verschiedener Länder auf diese Technikbereiche zu erfassen. Außenhandelsdaten ermöglichen die Darstellung der Außenhandelsaktivitäten Deutschlands im Vergleich zu anderen Ländern.

1 Methodisches Vorgehen

1.1 Darstellung der Analysemethoden

In der Patent- und Publikationsanalyse wird ein Überblick zur technologischen Leistungsfähigkeit Deutschlands im Bereich der Wasserwirtschaft gegeben. Die internationalen Patent- und Publikationsaktivitäten werden analysiert und durch eine Marktanalyse und Untersuchungen zu nicht-patentfähigen Innovationen ergänzt.

Bei den Analysen werden folgende Länder als Wettbewerber betrachtet:

FR Frankreich, DE Deutschland, SE Schweden, DK Dänemark, NL Niederlande, FI Finnland, CH Schweiz, GB Großbritannien, IT Italien, ES Spanien, CN China, JP Japan, KR Südkorea, US USA, CA Kanada, IN Indien, AU Australien, IL Israel, SG Singapur, ZA Südafrika, BR Brasilien.

Zusätzlich werden noch Länder unter Wasserstress untersucht:

AF Afghanistan, AL Albanien, DZ Algerien, AM Armenien, AZ Aserbaidschan, BE Belgien, BH Bahrain, CL Chile, DO Dominikanische Republik, EE Estland, GR Griechenland, HT Haiti, ID Indonesien, IR Iran, IQ Irak, JO Jordanien, KZ Kasachstan, KW Kuwait, KG Kirgisistan, LY Libyen, MK Nord Mazedonien, MX Mexiko, MN Mongolei, MA Marokko, OM Oman, PK Pakistan, PS Palästina, PT Portugal, QA Katar, SA Saudi-Arabien, LB Libanon, LK Sri Lanka, SY Syrien, TJ Tadschikistan, TN Tunesien, TR Türkei, TM Turkmenistan, UA Ukraine, AE Vereinigte Arabische Emirate, UZ Usbekistan und YE Jemen.

Außerdem wurden die EU-27 (27 EU-Länder) und die Welt als Referenz herangezogen.

In diesem Bericht wird die ganzzahlige Zählmethode (im Englischen: whole count) verwendet. Bei der ganzzahligen Zählweise der Länder wird jedem in einem Patent oder einer Publikation genannten Land der Wert 1 zugewiesen, das mehrmalige Erscheinen eines Landes wird nicht berücksichtigt. Summiert man die Länderanteile der ganzzahligen Zählweise, so liegt die Summe der Anteile über der Anzahl der weltweiten Gesamtpublikationen. Das bedeutet hier, dass Publikationen mehrfach gezählt werden, wenn es eine internationale Kooperation gibt.

Patentanalyse

Für die Patentrecherche nutzt das Fraunhofer ISI die Patentdatenbank des Europäischen Patentamtes "EPO Worldwide Patent Statistical Database" (PATSTAT). Diese Datenbank bildet die Grundgesamtheit aller veröffentlichten Patente aus mehr als 80 Patentbehörden weltweit ab. Sie umfasst bibliografische Angaben wie Namen und Adressen der Anmelder (Unternehmen) und der Erfinder (Personen) sowie detaillierte Informationen zum technischen Inhalt wie beispielsweise eine Zusammenfassung, Klassifikationen nach der internationalen Klassifikation IPC, aber auch nach der europäischen Klassifikation ECLA, die die Klassen der Y02 explizit Nachhaltigkeitstechnologien adressiert.

Die Patentrecherchen knüpfen vorrangig bei den Patentanmeldungen über das PCT-Verfahren an, mit welchem Anmeldungen bei der WIPO hinterlegt werden können. Zusätzlich werden Patentanmeldungen am Europäischen Patentamt hinzugerechnet, wobei Doppelzählungen von identischen Erfindungsmeldungen ausgeschlossen werden. Damit wird eine Methode zur Abbildung der "internationalen Patente" herangezogen, die nicht auf einzelne Märkte wie Europa abzielt, sondern einen stärker transnationalen Charakter aufweist. Als Beobachtungszeitraum wird die Entwicklung seit 1980 betrachtet.

Die Anmeldungen werden den Ländern entsprechend dem Wohnort der Erfinder zugeordnet, was gegenüber der Nutzung des Wohnlandes der Anmelder Verzerrungen minimiert. Bei Zählung der

Länder, in denen die Erfinder eines Patentes wohnen, wird die sogenannte „whole count“-Zählweise genutzt¹. Dabei wird jedem in einem Patent genannten Land der Wert 1 zugewiesen, das mehrmalige Erscheinen eines Landes wird nicht berücksichtigt. Beispielsweise wird ein Patent mit drei französischen und einem deutschen Erfinder einmal für Frankreich und einmal für Deutschland gezählt (im Grunde als deutsch-französisches Patent). Summiert man die Länderanteile der „whole count“-Zählweise, so liegt die Summe der Anteile über der Anzahl der weltweiten Gesamtpatente.

Bibliometrische Analyse

Als Datengrundlage für die bibliometrischen Analysen wird die Datenbank Scopus von Elsevier genutzt. Die Datenbank liegt über das Kompetenz-Netzwerk Bibliometrie (KB) am Fraunhofer ISI in einer Rohdatenversion² vor. Scopus bietet Informationen zu Artikeln in mehr als 23.000 Zeitschriften (Serientitel) und über 210.000 Büchern sowie Buchkapiteln.³ Es vereint mehr als 77 Millionen Publikationsdatensätze ab 1970 und verfügt über etwa 16 Millionen Autorenprofile. Es umfasst hauptsächlich Zeitschriften aus den Bereichen Naturwissenschaften, Technik und Medizin, aber auch Sozial- und Geisteswissenschaften.

In bibliometrischen Datenbanken werden verschiedene Dokumententypen erfasst. Hier werden nur die sogenannten "zitierbaren" Dokumenttypen – Artikel, Briefe, Notizen und Reviews in den Analysen berücksichtigt. Auch bei den Publikationen wird die oben beschriebene „whole count“-Zählweise genutzt. Der Zeitraum der Publikationen wurde beschränkt sich auf die Jahre 1996 bis 2023, wobei die Zahlen erst ab 2000 und bis 2022 stabil sind.

Außenhandelsanalyse

Als Datengrundlage für die Außenhandelsanalyse dienen Handelsstatistiken zum Im- und Export von Wassertechnologien. Hierzu wird eine Klassifikation von relevanten wasserwirtschaftlichen Produkten in der HS-Klassifikation der UN-Comtrade herangezogen. Mit diesen Analysen lässt sich auch feststellen, ob die in Walz et al. (2019) für Mitte der 2010er Jahre festgestellte hohe positive Außenhandelsspezialisierung Deutschlands bei Wassertechnologien (RWA von 51) und das Ausmaß der Konzentration auf die Exportzielländer (HHI für die Top-6-Exportländer von 37 %) weiterhin bestehen.

1.2 Untersuchte Technikbereiche

Basierend bzw. aufbauend auf den Untersuchungen des TAB-Berichts zu Innovationen in der Wasserwirtschaft (Hillenbrand et al. 2016) werden die ebd. untersuchten Technikbereiche für die Untersuchungen in dieser Studie übernommen und aufbereitet bzw. aktualisiert. Die relevanten Technologiebereiche wurden bereits in Hillenbrand et al. (2016) charakterisiert und in die entsprechenden Klassifikationen der Patent- und Außenhandelsstatistik übersetzt. Diese Einordnung wurde überprüft und im Bedarfsfall angepasst. Im Folgenden sind die Technikbereiche und die zugehörigen Suchstrategien kurz beschrieben. Die zugehörigen Suchstrings der Publikationsanalyse sind Kapitel 3 genauer definiert.

¹ https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/ccp/2016/5_Indikatorbericht_PFI_Monitoring_Bericht.pdf

² Es handelt sich dabei um einen Datenbankabzug mit Stand KW 17/2022. Ca. Ende April eines Jahres sind die zitierfähigen Veröffentlichungen des jeweiligen Vorjahres im Wesentlichen (>95%) enthalten, so dass über die Zeit statistisch stabile Analysen durchgeführt werden können.

³ www.elsevier.com/_data/assets/pdf_file/0007/69451/Scopus_ContentCoverage_Guide_WEB.pdf

Wasserleitungen und **Kanalisationen** sind integrale Bestandteile einer zentralen Wasserinfrastruktur und wichtig für die Versorgung mit gesundheitlich unbedenklichem Trinkwasser und der Ableitung von Abwasser zur Kläranlage, ohne dass Umwelt oder menschliche Gesundheit beeinträchtigt werden.

Bestandteile der zentralen Kanalisation als **Abwasserableitung** sind im Wesentlichen Rohre, Schächte, Pumpen, Schieber und Heber. Die Wasserverteilungsinfrastruktur durch **Wasserleitungen** umfasst ähnliche Elemente, i.d.R. aus anderen Materialien und in anderer Dimensionierung.

Angesichts des Dauerbetriebs, der Relevanz für das Funktionieren der gesamten Infrastruktur und der häufig maroden Leitungsnetze sind Bau und Instandhaltung für beide Bereiche wichtige Größen, die einer permanenten technischen Weiterentwicklung unterliegen. Leckagedetektion, Reinigungs- und Befahrungssysteme oder wirtschaftliche Sanierungsverfahren sind wichtige Elemente.

Ziel der **Abwasserbehandlung** ist es, das Abwasser so zu reinigen, dass es gefahrlos in die Umwelt abgegeben oder wiederverwertet werden kann. Die Abwasserbehandlung umfasst mechanische, biologische und chemische Reinigungsverfahren und ist inzwischen zunehmend geprägt noch weitergehende Behandlungsverfahren zur Entfernung von Spurenstoffen⁴ und zur Hygienisierung.

Die **Schlammbehandlung**, also die Behandlung und Entsorgung des dabei entstehenden Klärschlammes, ist ein wichtiger Bestandteil der Abwasserbehandlung.

Phosphorrecycling ist mit der Änderung der Klärschlammverordnung in den Fokus gerückt und wird aktuell in einer BMBF-Fördermaßnahme erforscht. Es müssen weitergehende Lösungen für den wirtschaftlich und ökologisch sinnvollen Umgang mit dem anfallenden Klärschlamm gefunden werden und die Rückgewinnung der im Abwasser enthaltenen Ressourcen ist eine zunehmend wichtige Aufgabe.

Als **Semi-Dezentrale Wasserbehandlung** sind alternative Sanitär- und Abwasserkonzepte; sie können zur Steigerung von Wirtschaftlichkeit und Ressourcenschonung des Gesamtsystems beitragen.

Membrantechnologien sind ein Baustein in der Wasseraufbereitung. Sie sind in den letzten Jahren zu einer bedeutenden Technologie im Bereich der Wasserwirtschaft geworden und durch stetige Weiterentwicklung zu technisch zielgerichteten und wirtschaftlich sinnvollen Lösungen avanciert.

Eine hochwertige **Wasseranalytik** ist die Voraussetzung für die Erkennung der Handlungsbedarfe und Erfolgskontrolle der Maßnahmen. Dabei sind die routinemäßigen Kontrollen ebenso wichtig das Auffinden spezieller Schadstoffe. Wichtige Komponenten sind eine kostengünstige aber zuverlässige Probenahme, die eigentliche Analyse mit Sensoren, Photometern, Chromatografen u.a. sowie die Automatisierung der Analyse und der Übermittlung gewonnener Daten.

Mikroschadstoffe oder Spurenstoffe sind seit einiger Zeit in den Fokus der Betrachtungen gerückt. Der Einfluss von Industrie- und Haushaltschemikalien, von Arzneistoffen und aus der Verwendung von Pestiziden, bspw. in Landwirtschaft, Baustoffen und Privatgärten.

Hochwasserschutz: Häufiger auftretende Extremwetterereignisse stellen zunehmende Anforderungen an das Management aller Bestandteile der Wassersysteme. Das gilt für Talsperren und Polder ebenso wie für Kanalnetze, Wasserläufe, Landschaftswasserhaushalt oder Stadtklimatisierung. Im Sinne des Hochwasserschutzes sind Instrumente zur Messung von Durchflussvolumina, Datenübermittlung, Vorhersagen und Frühwarnung sowie zur Steuerung von Wasserströmen und Rückhaltevolumina relevante Komponenten. Dazu gehören z.B. Simulationsmodelle ebenso wie Wetterprognosen- und durchflussabhängige Steuerungen von Infrastrukturelementen.

⁴ die Begriffe Spurenstoffe, Mikroschadstoffe und Micropollutants / micro-pollutants werden in dieser Studie synonym verwendet.

Blau-grüne Infrastrukturen: Durch zunehmende Hitzeperioden und langandauernde Trockenzeiten ist die Anpassung von Städten an den Klimawandel und damit die Relevanz von Stadtgrün und einhergehendem Wasserbedarf ins Blickfeld gerückt. Die blau-grünen Infrastrukturen sollen sowohl die Effekte von Starkregenereignissen als auch die Belastungen langer heißer Trockenperioden abmildern helfen.

Die Steigerung der **Wassernutzungseffizienz** ist ein entscheidendes Element eines proaktiven Wassermanagements und unterstützt bei der Herausforderung der Versorgung mit ausreichenden Mengen Wasser hoher Qualität. Dabei geht es sowohl um Haushaltsgeräte also auch Industrie oder bspw. Feuerlöschtechnologien.

Für Länder mit geringem Wasserdargebot, aber Zugang zum Meer können die **Meerwasserentsalzung** mittels Destillation, Membranfiltration und/oder Elektrophorese sowie Kombinationen dieser Verfahren der Wasseraufbereitung einen wichtigen Beitrag zur Wasserversorgung leisten.

Die Landwirtschaft ist inzwischen auch in Deutschland mindestens regional oder temporär auf eine gute Wasserversorgung angewiesen. Durch eine Steigerung der Effizienz der **Bewässerung** kann der Wasserbedarf und damit der Wasserstress für die natürliche Umwelt reduziert werden.

Regenwassergewinnung und -nutzung kann ein weiteres Element eines ressourcenschonenden Umgangs mit Wasser sein.

Digitalisierung spielt als übergreifendes Thema für alle betrachteten Bereich der Wasserwirtschaft eine relevante Rolle. Automatisierte Abläufe, die Erfassung und Optimierung von Systemzuständen oder die Steuerung und Regelung von Wasserströmen und Infrastrukturkomponenten zum nachhaltigen Umgang mit Extremereignissen sind wesentliche Treiber.

Für die bessere Übersichtlichkeit werden die Technikbereiche wie in Tabelle 1 dargestellt zusammengefasst.

Tabelle 1: Clusterung der untersuchten Technikbereiche

Clusterung	Technikbereich
nachhaltige Wasserinfrastruktur	Regenwassergewinnung, Wassernutzungseffizienz Semi-dezentrale Wasserbehandlung, blau-grüne Infrastrukturen
Abwasserentsorgung	Abwasserbehandlung, Schlammbehandlung, Abwasserableitung
Wasserversorgung	Wasseraufbereitung, Wasserverteilung
Bewässerung und Hochwasserschutz	Bewässerung, Hochwasserschutz
Gewässergüte	Wasseranalytik, micro-pollutants Schutz der Wasserressourcen
Digitalisierung in der Wasserwirtschaft	Digitalisierung in der Wasserwirtschaft
innovative Einzelverfahren	Membranen, Meerwasserentsalzung, Phosphorrecycling

Quelle: eigene Darstellung

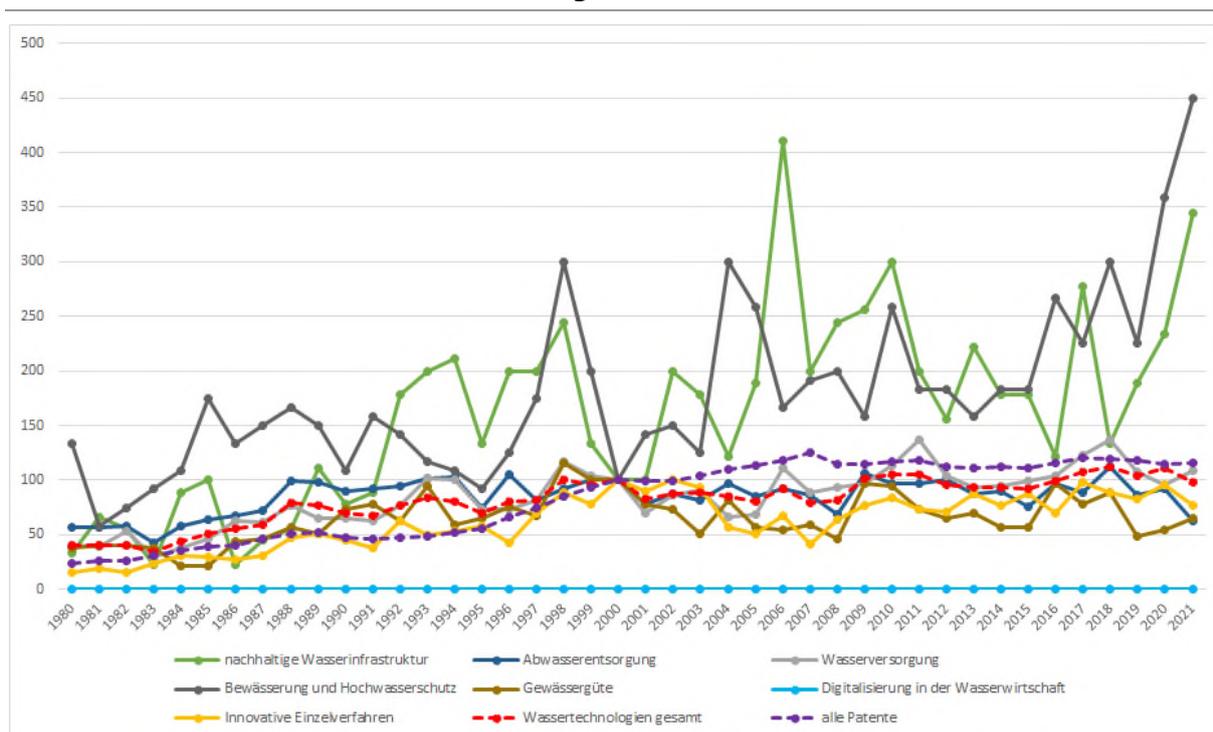
2 Patentanalyse

2.1 Dynamik der Patentanmeldungen

Die Veränderung der Anzahl der Patentanmeldungen im Zeitverlauf beschreibt die Innovationsdynamik und gibt Hinweise auf die Intensität der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten sowie die Erneuerung der Wissensbasis innerhalb eines Technologiebereiches. Für die wasserwirtschaftlich relevanten Technikbereiche sind diese Verläufe in Abbildung 1 dargestellt.

Dabei beziehen sich die aufgeführten Anmeldungszahlen auf alle Anmelder weltweit und stellen dar, wie intensiv die Forschungsaktivitäten im jeweiligen Technologiebereich im Vergleich zur Technologieentwicklung insgesamt sind. Bei dieser Betrachtung wird die Innovationsneigung innerhalb eines Technologiebereiches in den Blick genommen. Nationale Ausprägungen werden in dieser Darstellung nicht untersucht, da sie zum einen durch die Eigenarten und leitenden Randbedingungen einzelner Länder stark beeinflusst sind und zum anderen bspw. bei geringen Patentanmeldungen schnell zu starken Schwankungen führen, die eine hohe Dynamik nur vortäuschen und schwer zu interpretieren sind.

Abbildung 1: Dynamik der Patententwicklung I: in Deutschland für die verschiedenen Bereiche der Wassertechnologien (2000=100)



Zahlen sind auf das Jahr 2000 (=100) indiziert; Entwicklung aller Patentanmeldungen (in allen Technologiebereichen) zum Vergleich

Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Erhebung und Berechnung

Aus Abbildung 1 lässt sich ablesen, dass die mittlere Patentdynamik im Wasserbereich unter der Gesamtentwicklung liegt. Eine höhere Dynamik als im Durchschnitt der Gesamtentwicklung in Deutschland weisen die Bereiche "Bewässerung und Hochwasserschutz" sowie "nachhaltige Wasserinfrastruktur" (hier besonders seit 2018) auf.

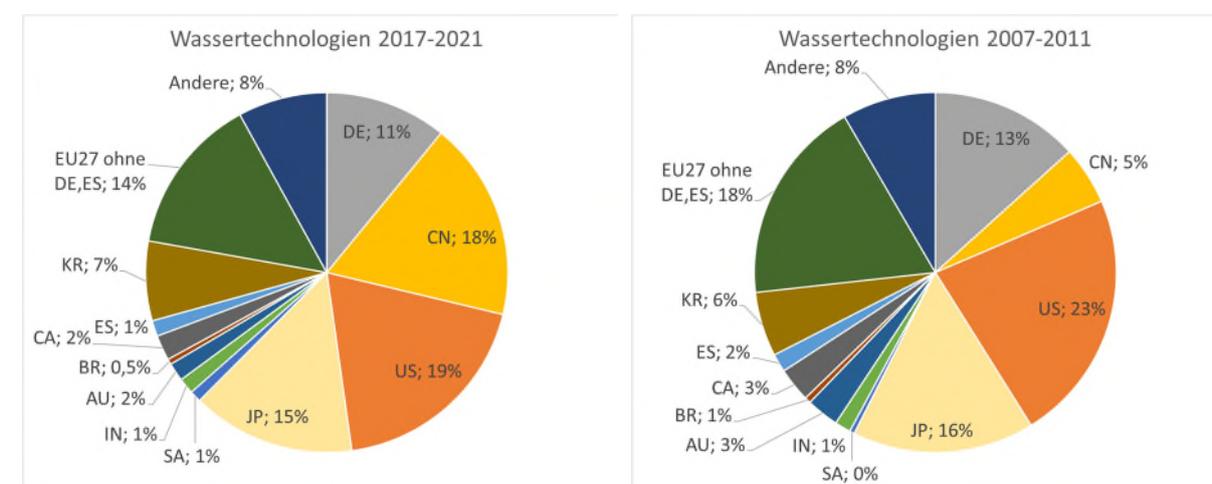
Auffällig ist, dass Deutschland keine Dynamik bei der Digitalisierung in der Wasserwirtschaft aufweist. Allerdings liegen die absoluten Werte in diesem Bereich insgesamt sehr niedrig, und in Deutschland verteilen sich die absoluten 17 Patente seit 1980 regelmäßig über die Gesamtzeit.

2.2 Patentanteile

Die Dynamik, d.h. die Veränderung der Patentanzahlen, (vgl. Kap. oben) muss immer im Zusammenhang mit ihrer absoluten Anzahl zu einem bestimmten Zeitpunkt betrachtet werden, da die absolute Anzahl zum Ausgangszeitpunkt entscheidend für die Aussage der dynamischen Entwicklung ist. Der Vergleich verschiedener Länder auf Basis ihrer jeweiligen Innovationsdynamiken ist daher schwierig. Die unterschiedlichen und sich verändernden Rahmenbedingungen beeinflussen die Dynamik zusätzlich.

Der Vergleich der Länder und die Bestimmung ihres Beitrags zur Wissensgenerierung im Bereich der wasserwirtschaftlich relevanten Technologien erfolgt daher anhand ihres jeweiligen Anteils an den Patentanmeldungen. Um die Wirkung kurzfristiger und auf der Wirkung kleiner Zahlen beruhender Schwankungen auszuschließen, erfolgt in Abbildung 2 die Darstellung dieser Anteile auf der Basis der Summe der Anmeldungen im Zeitraum von 2017 bis 2021 und zum Vergleich für den Zeitraum 2007-2011.

Abbildung 2: Vergleich der Patentanteile der wichtigsten Länder im Bereich Wassertechnologien 2017-2021 und 2007-2011



DE: Deutschland, CN: VR China, US: USA, JP: Japan, SA: Saudi-Arabien, IN: Indien, AU: Australien, BR: Brasilien, CA: Kanada, ES: Spanien, KR: Südkorea

Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Erhebung und Berechnung

Wie Abbildung 2 zeigt, liegt die Triade USA, China und Japan mit einigem Abstand vorne, gefolgt von Deutschland und Südkorea.

Schlüsselt man die EU27 (ohne DE, ES) für einige relevante Länder auf, erkennt man z. B. für Frankreich einen Anteil von 3,5 %, die Niederlande vertreten 2,2 %, es folgen Dänemark mit 1,1 %, Finnland mit 1%, Belgien mit 0,9 % und Italien mit 0,2 %.

In Abbildung 3 wird die zeitliche Entwicklung der Patentanteile der relevanten Länder dargestellt. Diese Verteilung hat sich seit 1980 bis heute deutlich verändert.

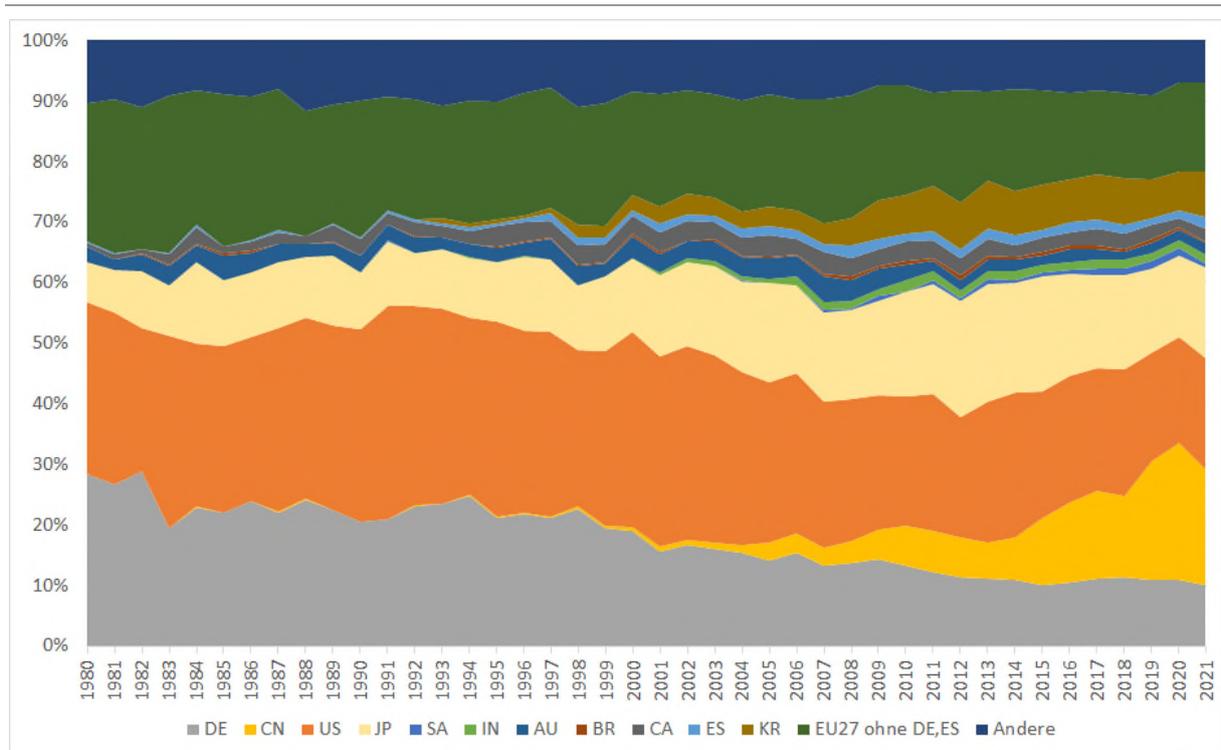
Der Anteil Deutschlands hat sich in diesem Zeitraum mehr als halbiert. Ebenso gehen die Anteile der EU27 (ohne Deutschland und Spanien) zurück. Auch die Anteile der bis in die 2010er Jahre

führenden USA hat sich deutlich verringert. Ebenso kann Japan die bis Mitte der 2010er Jahre stetigen Steigerungsraten nicht bis in die Gegenwart durchziehen.

Während Südkorea bereits Anfang der 1990er Jahre mit ersten Patenten in Erscheinung tritt, taucht China um die Jahrtausendwende auf. Beide weisen wachsende Anteile auf, wobei die Anteilssteigerung der chinesischen Patentanmeldungen ab Mitte der 2010er Jahre auffällig hoch ist. Insgesamt halten die vier großen China, USA, Japan und Deutschland aber relativ konstant einen Anteil von 60 %.

Die Anteile der "Anderen" bleiben über den Betrachtungszeitraum relativ konstant bei etwa 10 %.

Abbildung 3: Veränderungen der Anteile wasserwirtschaftlich relevanter Patentanmeldungen 1980 - 2021



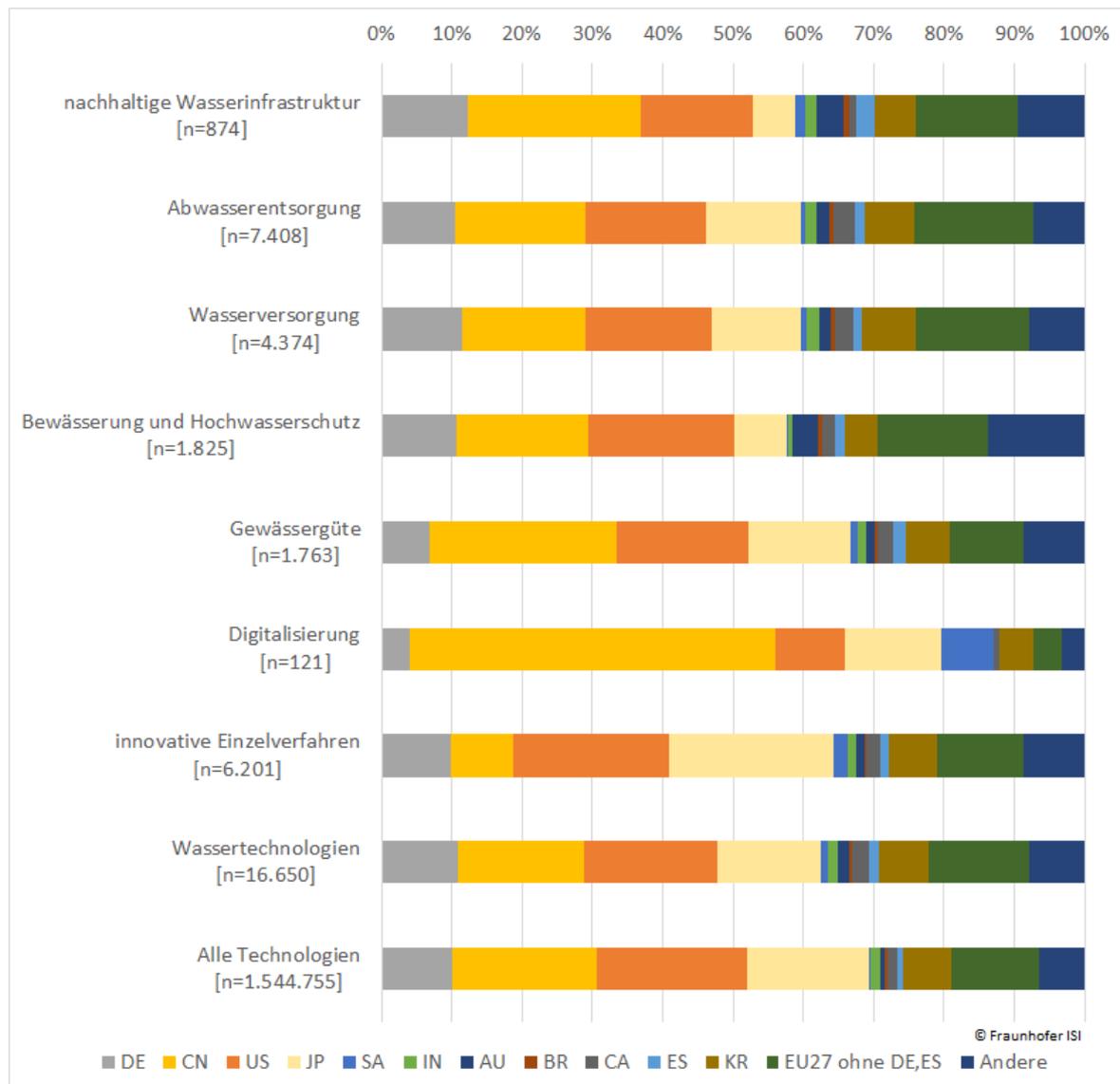
DE: Deutschland, CN: VR China, US: USA, JP: Japan, SA: Saudi-Arabien, IN: Indien, AU: Australien, BR: Brasilien, CA: Kanada, ES: Spanien, KR: Südkorea

Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Erhebung und Berechnung

In Abbildung 4 werden die (durchschnittlichen) Patentanteile im Bereich wasserwirtschaftlich relevanter Technologien auf die einzelnen Technologiebereiche heruntergebrochen. Dabei zeigen sich für die verschiedenen Bereiche deutlich unterschiedliche Verteilungen der Anteile. In Abbildung 5 wird zusätzlich nach den Technologiebereichen differenziert (vgl. Tabelle 1), um genauere Aussagen treffen zu können.

Der Anteil der deutschen Patente liegt für alle Cluster in einer Größenordnung von ca. 10 %, bei der "nachhaltigen Wasserinfrastruktur" etwas darüber, bei "Digitalisierung" und bei "Gewässergüte" etwas darunter.

Abbildung 4: Patentanteile der wichtigsten Länder in den Bereichen der Wassertechnologien (Cluster) und aller Technologien 2017-2021

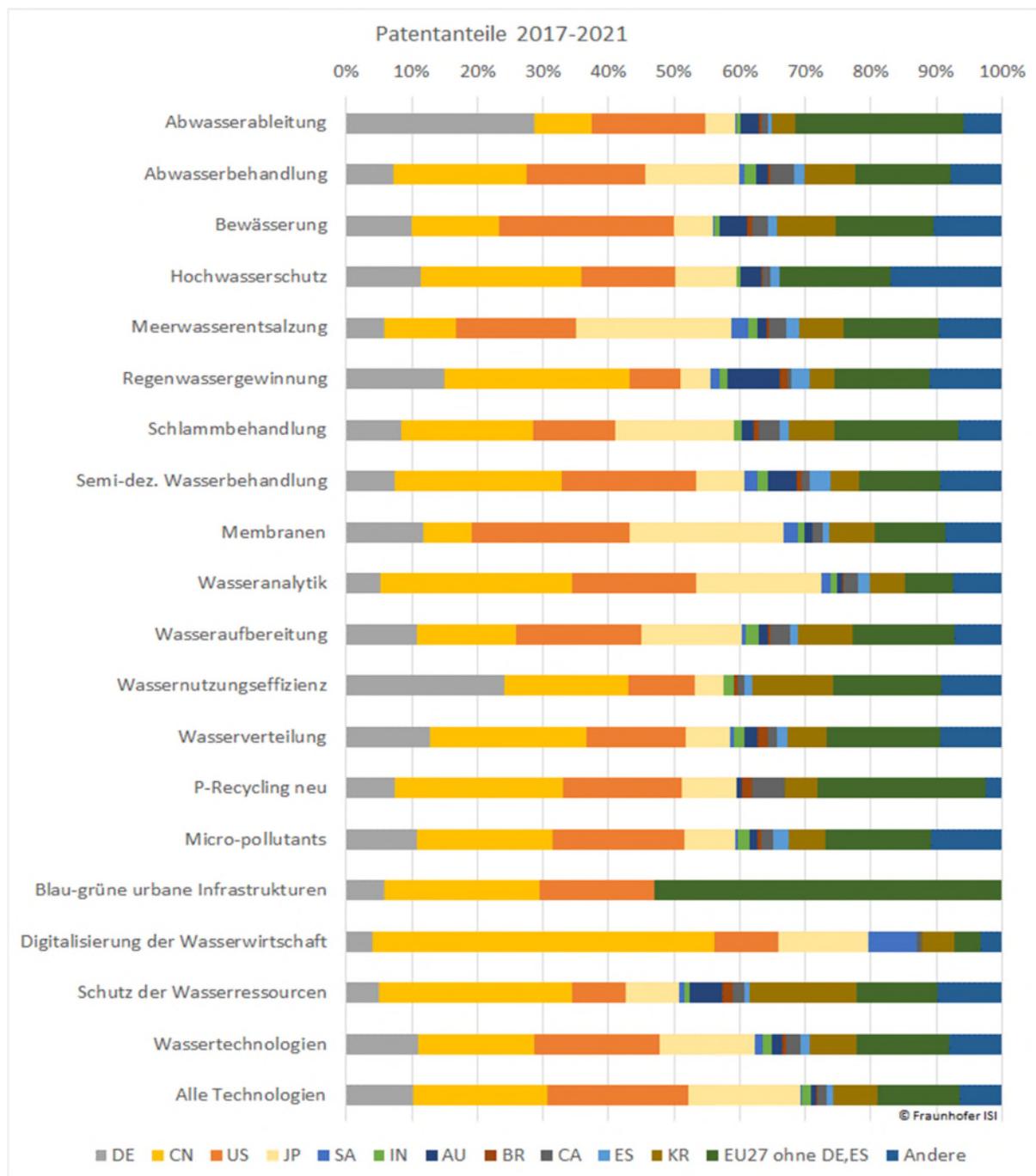


DE: Deutschland, CN: VR China, US: USA, JP: Japan, SA: Saudi-Arabien, IN: Indien, AU: Australien, BR: Brasilien, CA: Kanada, ES: Spanien, KR: Südkorea

Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Erhebung und Berechnung

In der differenzierteren Darstellung (Abbildung 5) weist Deutschland hohe Anteile in den Bereichen Abwasserableitung und Wassernutzungseffizienz auf. Die USA haben einen großen Anteil bei Bewässerungstechnologien, sind aber zusammen mit Japan auch in den Bereichen Membrane und Meerwasserentsalzung führend.

Abbildung 5: Patentanteile der wichtigsten Länder differenziert in Technikbereiche von Wassertechnologien und aller Technologien 2017-2021



DE: Deutschland, CN: VR China, US: USA, JP: Japan, SA: Saudi-Arabien, IN: Indien, AU: Australien, BR: Brasilien, CA: Kanada, ES: Spanien, KR: Südkorea

Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Erhebung und Berechnung

China hat große Patentanteile bei der Regenwassergewinnung, im Hochwasserschutz und in der Wasseranalytik. Auch bei dezentralen Technologien besitzt China den größten Anteil an Patenten.

Bei Digitalisierungstechnologien sticht China mit ungefähr der Hälfte aller Patente hervor. Allerdings sind die absoluten Zahlen und damit die Aussagekraft in diesem Feld sehr gering (vgl. Tabelle 2).

Tabelle 2: Patente - Absolute Zahlen zu Digitalisierung

Feld	Digitalisierung in der Wasserwirtschaft			
	World	EU27	CN	DE
2007-2011	72	18	0	4
2012-2016	97	23	5	5
2017-2021	121	10	64	5

Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Erhebung und Berechnung

2.3 Patentspezialisierung

In den vorangegangenen Abschnitten wurde bereits herausgearbeitet, dass es schwierig sein kann, die technische Leistungsfähigkeit kleiner Länder anhand von Patentanteilen zu beurteilen. Allerdings kann gerade ein kleineres Land in einem oder mehreren Technologiebereichen eine Spezialisierung aufweisen, ohne bei der Betrachtung der entsprechenden Patentanteile besonders in Erscheinung zu treten.

Um auch in diesen Fällen die technologische Leistungsfähigkeit einschätzen zu können, greifen wir auf das Spezialisierungsmaß des relativen Patentanteils (RPA) zurück. Als Spezialisierungsmaß für die nationale Wissensbasis setzt er den Patentanteil des betrachteten Landes beim jeweiligen Technikbereich in Relation zu den Patentanteilen des Landes über alle Technologien hinweg. Diese Relation wird anschließend so transformiert, dass der RPA Werte zwischen -100 und +100 annimmt:

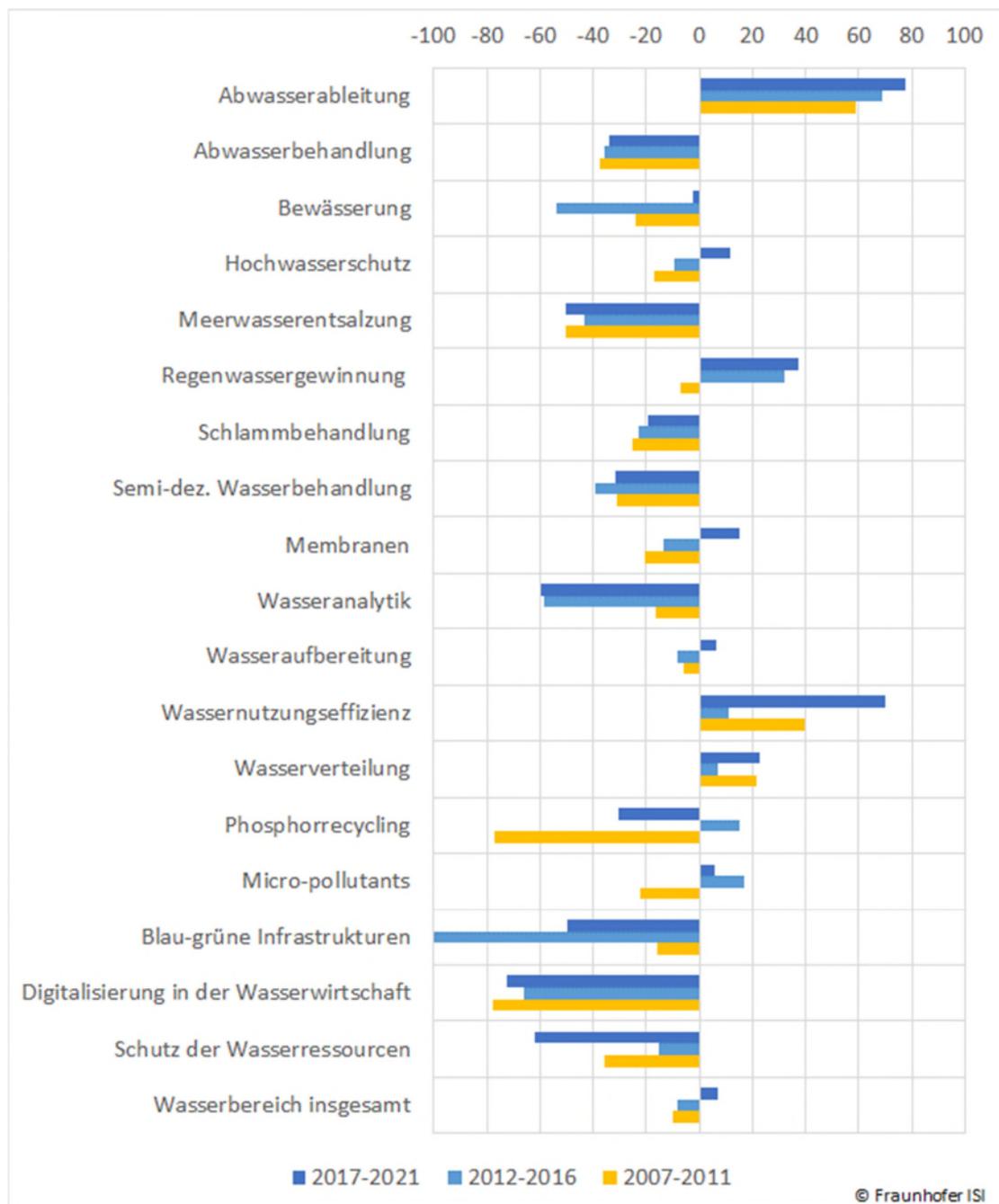
$$RPA_{ij} = 100 \cdot \tanh \ln \left[\frac{p_{ij} / \sum_i p_{ij}}{(\sum_j p_{ij} / \sum_{ij} p_{ij})} \right]$$

p_{ij} : Zahl der Patentanmeldungen des Landes i im Technikbereich j

Ist der Patentanteil eines Landes für das Kompetenzfeld überdurchschnittlich hoch, dann nimmt der RPA einen positiven Wert an. Dies bedeutet, dass innerhalb des betreffenden Landes überproportional viel im Technikbereich patentiert wird und daher – verglichen mit der nationalen Wissensbasis insgesamt – überdurchschnittliche nationale Kenntnisse bestehen. Diese Kompetenz nimmt in dem Profil des Landes wird dann noch ins Verhältnis der weltweiten Aktivitäten gesetzt.

Von einer Stärke im Sinne einer positiven Spezialisierung (bzw. einer Schwäche) spricht man im Allgemeinen, wenn der RPA den Wert +20 übersteigt (bzw. den Wert -20 unterschreitet (Gehrke et al. 2019). Für die Spezialisierung Deutschlands in wasserwirtschaftlich relevanten Technikbereichen sind die entsprechenden RPA-Werte in Abbildung 6 aufgeführt. Hier bestätigen sich die Spezialisierungen in der Abwasserableitung und der Wassernutzungseffizienz, zunehmend auch in der Regenwassergewinnung. In vielen anderen Bereichen ist der RPA Deutschlands eher im negativen Bereich. Allerdings ist dieser Index bei niedrigen Patentanmeldungen weniger aussagekräftig.

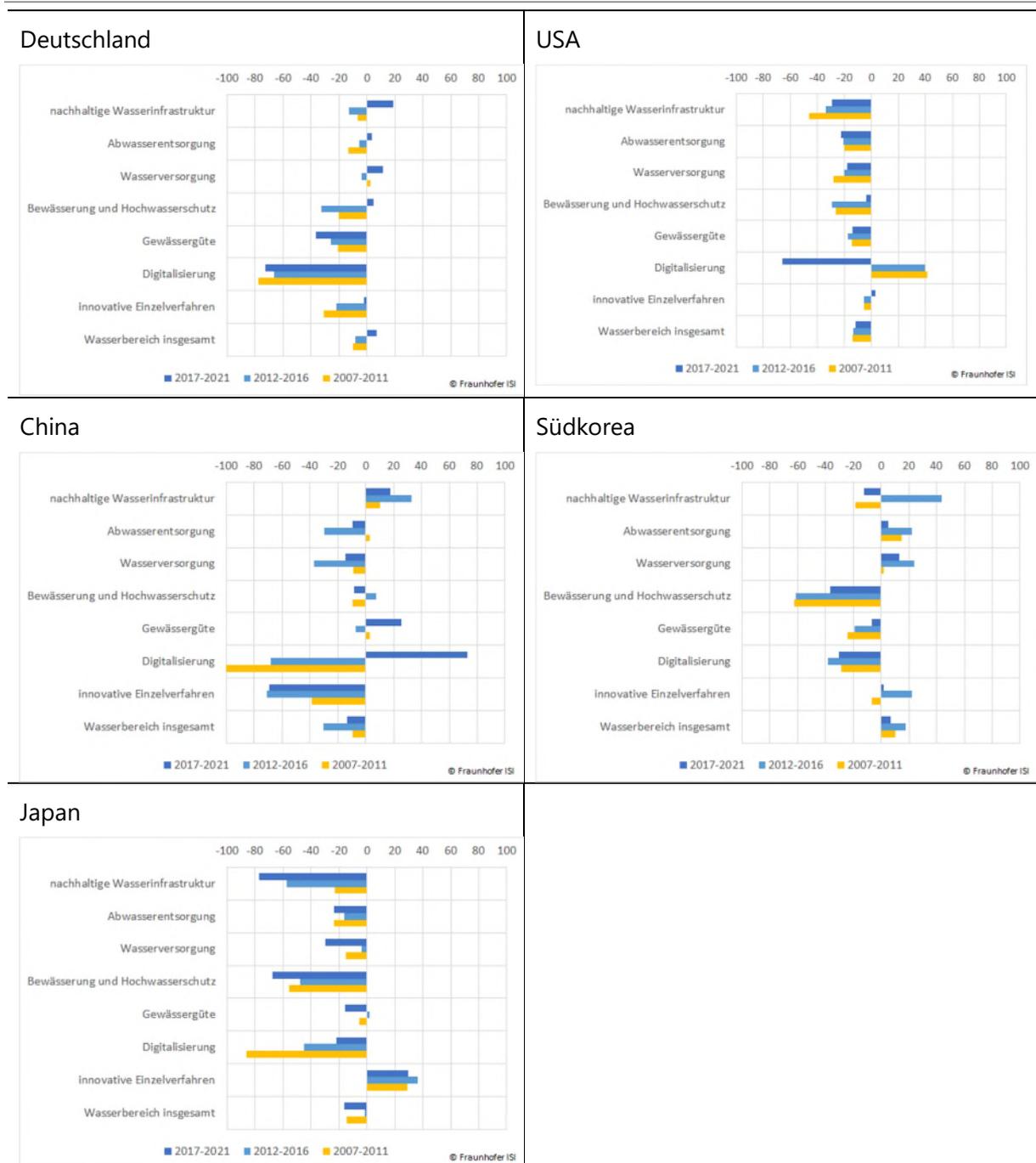
Abbildung 6: Entwicklung der Spezialisierung Deutschlands in den verschiedenen Technikbereichen der Wassertechnologien und der Patente im Wasserbereich insgesamt



Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Erhebung und Berechnung

Für den Vergleich mit der Patentspezialisierung der Wettbewerber wurde die Patentspezialisierung für die zusammenfassenden Cluster durchgeführt.

Abbildung 7: Patentspezialisierungen im Ländervergleich (2007-2021)



Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Erhebung und Berechnung

2.4 Patentanalyse: Anmelder

In Tabelle 3 sind die Anmelder mit mehr als 49 weltweiten Patent-Anmeldungen aufgeführt. Unter diesen 26 Anmelder sind 9 aus Japan, 4 aus den USA, 3 aus Deutschland, je 2 aus Saudi-Arabien, China, Süd-Korea und Frankreich, sowie je einer aus Schweden und Singapur.

Insgesamt gab es in dem Zeitraum (2017-2021) mehr als 7.600 weltweite unterschiedliche Anmelder in den Wassertechnologien. Die Länder der Anmelder sind nicht immer auch Länder der Erfinder, daher gibt es hier nur eine eingeschränkte Vergleichbarkeit.

Tabelle 3: Anmelderländer und -firmen mit ≥ 50 weltweiten Patent-Anmeldungen in den Wassertechnologien 2017-2021

	Anmelder-land	Unternehmen	Patentan-meldungen
1	JP	KURITA WATER IND	201
2	JP	PANASONIC INTELLECTUAL PROPERTY	140
3	JP	TORAY INDUSTRIES	120
4	SA	SAUDI ARABIAN OIL COMPANY	101
5	JP	ORGANO	98
6	US	ARAMCO SERVICES COMPANY	90
7	CN	MIDEA	83
8	JP	NITTO DENKO CORPORATION	81
9	JP	FUJIFILM	79
10	KR	LG ELECTRONICS	78
11	SE	GAMBRO LUNDIA	73
12	US	3M INNOVATIVE PROPERTIES COMPANY (MINNESOTA MINING AND MANUFACTURING INNOVATIVE PROPERTIES COMPANY)	70
13	US	EVOQUA WATER TECHNOLOGIES	64
14	FR	SUEZ GROUPE	63
15	DE	SARTORIUS STEDIM BIOTECH	58
16	KR	KOLON INDUSTRIES	57
17	CN	CHINESE ACADEMY OF SCIENCES	56
18	SA	KING ABDULLAH UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY	56
19	JP	mitsubishi electric corporation	55
20	JP	NGK INSULATORS	54
21	JP	ASAHI KASEI	52
22	DE	BASF (BADISCHE ANILIN & SODA FABRIK)	52
23	US	ECOLAB	51
24	SG	NATIONAL UNIVERSITY OF SINGAPORE	51
25	FR	VEOLIA WATER SOLUTIONS & TECHNOLOGIES SUPPORT	51
26	DE	ROBERT BOSCH	50

Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Erhebung auf Basis der Daten der UN-COMTRADE

In Tabelle 4 sind die deutschen Unternehmen bei den weltweiten Patentanmeldungen dokumentiert.

Tabelle 4: Deutsche Unternehmen bei den weltweiten Patentanmeldungen (2017-2021)

Unternehmen	Patentanmeldungen
SARTORIUS STEDIM BIOTECH	58
BASF	52
ROBERT BOSCH	50
FRESENIUS MEDICAL CARE DtlD	32
BAUER SPEZIALTIEFBAU	30
NEOPERL	29
BRITA	27
BOSCH UND SIEMENS HAUSGERAETE	27
EVONIK OPERATIONS	22
MERCK PATENT	19
SIEMENS	19
VIEGA TECHNOLOGY & COMPANY	19
KSB SE & CO. KGAA	18
PUTZMEISTER ENGINEERING	18
COVESTRO DEUTSCHLAND	17
LINDE	17
WILO SE	17
GROHE	16
MANN + HUMMEL	15
ACO SEVERIN AHLMANN & COMPANY	14
ACO SEVERIN AHLMANN& CO	12
MAHLE INTERNATIONAL	12
REHAU & COMPANY	12
ACO Ahlmann SE & Co. KG	11
KESSEL	11
BAYER	10
DWI - LEIBNIZ-INST. INTERAKT. MATRLIEN	10
FRAUNHOFER	10
KRONES	10
B. BRAUN AVITUM	9
GEBR. KEMPER & COMPANY METALLW	9
HELMHOLTZ-ZENTRUM GEESTHACHT	9
HENKEL IP & HOLDING	9
DMK DEUTSCHES MILCHKONTOR	8
LIEBHERR-MISCHTECHNIK	8
VITESCO TECHNOLOGIES	8
VOGELSANG	8
AUDI	7

Unternehmen	Patentanmeldungen
FUNKE KUNSTSTOFFE	7
HANS SASSERATH & COMPANY	7
MEMBION	7
RWE RENEWABLES	7
SCHWING	7
VOLKSWAGEN	7
DAMANN, VOLKER	6
EVCON	6
HACH LANGE	6
HUBER SE	6
IPEK INTERNATIONAL	6
JUDO WASSERAUFBEREITUNG	6
AACHEN UNIVERSITY (RWTH AACHEN)	5
ACO AHLMANN SE & CO. KG	5
ARDEX ANLAGEN	5
BAUER RESOURCES	5
DALLMER & COMPANY	5
E.G.O. ELEKTRO-GERAETEBAU	5
ENREGIS	5
FORSCHUNGSZENTRUM JUELICH	5
GEBR. KEMPER & COMPANY	5
INSTRACTION	5
INVENT UMWELT- U VERF.TECHN.	5
NIDEC GPM	5
TECHNISCHE UNIVERSITAET DA	5
VOITH PATENT	5
BAUER MASCHINEN	4
CNM TECHNOLOGIES	4
EINHELL GERMANY	4
EVONIK DEGUSSA	4
IGAS ENERGY	4
INNOSPIRE TECHNOLOGIES	4
KELLER HOLDING	4
KRINNER INNOVATION	4
MITTEMITTE	4
PACKAGING- & CUTTING SYSTEMS VON DER WEIDEN	4
PERMA-TRADE WASSERTECHNIK	4
PREDL	4
REHAU Industries SE & Co. KG	4
SCHEUGENPFLUG	4

Unternehmen	Patentanmeldungen
SCHOTT	4
STEINHARDT	4
TU DRESDEN	4
ventUP GmbH	4
WEIDEMANN	4
AGRILUTION	3
ALFRED KAERCHER & COMPANY	3
BETTE KG	3
BLUE SAFETY	3
GEBR. KEMPER & COMPANY	5
INSTRACTION	5
INVENT UMWELT- U VERF.TECHN.	5
NIDEC GPM	5
TECHNISCHE UNIVERSITAET DA	5
VOITH PATENT	5
BAUER MASCHINEN	4
CNM TECHNOLOGIES	4
EINHELL GERMANY	4
EVONIK DEGUSSA	4
IGAS ENERGY	4
INNOSPIRE TECHNOLOGIES	4
KELLER HOLDING	4
KRINNER INNOVATION	4
MITTEMITTE	4
PACKAGING- & CUTTING SYSTEMS VON DER WEIDEN	4
PERMA-TRADE WASSERTECHNIK	4
PREDL	4
REHAU Industries SE & Co. KG	4
SCHEUGENPFLUG	4
SCHOTT	4
STEINHARDT	4
TU DRESDEN	4
ventUP GmbH	4
WEIDEMANN	4
AGRILUTION	3
ALFRED KAERCHER & COMPANY	3
BETTE KG	3
BLUE SAFETY	3

Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Erhebung auf Basis der Daten der UN-COMTRADE

3 Bibliometrische Analyse

Patentanmeldungen dokumentieren eher die technologische Leistungsfähigkeit bei der Entwicklung innovativer Produkte und Verfahren. Dahingegen legt die Wissenschaft mittels der von ihr erarbeiteten Erkenntnisse die Grundlage für die entsprechende Forschungs- und Entwicklungsarbeit. Da sich wissenschaftliche Tätigkeit i. d. R. in wissenschaftlichen Publikationen niederschlägt, wäre zu erwarten, dass die Publikationstätigkeiten um wenige Jahre vor den Patentanmeldungen liegen, insgesamt aber eine Korrelation festzustellen ist.

Die Publikationstätigkeit wird im Folgenden genauer betrachtet. Im ersten Schritt wurden die Publikationen nach verschiedenen Wassertechnologien identifiziert. Dazu wurden die folgenden Stichworte in dem Titel, Abstract und den Autorenkeywords der Publikationen durchsucht.

* Abwasserbehandlung:	("wastewater*" AND "*treatment*")
* Bewässerung:	(irrigation)
* Hochwasserschutz:	("flood*" AND "forecast*" OR "early warning system")
* Meerwasserentsalzung:	(desalination)
* Regenwassergewinnung:	("rainwater*" AND "*harvesting*" OR "*supply*")
* Schlammbehandlung:	("*sludge*" AND "treatment*")
* Semi-dez. Wasserbehandlung:	("water recycling")
* Membranen:	("wastewater*" AND "*membrane*")
* Wasseranalytik:	("water analysis")
* Wasseraufbereitung:	("water purification") AND NOT ("Pollut*")
* Wassernutzungseffizienz:	("*water efficien*")
* Wasserverteilung:	("drinking water" AND "distribution*")
* Phosphorrecycling:	(phosphorus AND "*recovery*" AND "*wastewater*")
* Micro-pollutants:	(micropollutants AND "*water*")
* Blau-grüne Infrastrukturen:	((blue OR green) AND infrastructure AND "*water"*)
* Digitalisierung i.d. Wasserwirtschaft:	(digital* OR smart AND "*water*")
* Schutz der Wasserressourcen:	("water protection")

Der Zeitraum der Publikationen wurde beschränkt auf die Jahre 1996 bis 2023, wobei die Zahlen erst ab 2000 und bis 2022 stabil sind.

Für die bessere Übersichtlichkeit werden die Technikbereiche für einige der Abbildungen analog zu den Patentanmeldungen geclustert (vgl. Tabelle 5).

Tabelle 5: Clusterung der untersuchten Wassertechnologien (Publikationen)

Clusterung	Technikbereich
nachhaltige Wasserinfrastruktur	Regenwassergewinnung, Wassernutzungseffizienz Semi-dez. Wasserbehandlung, Blau-grüne Infrastrukturen
Abwasserentsorgung	Abwasserbehandlung, Schlammbehandlung,
Wasserversorgung	Wasseraufbereitung, Wasserverteilung
Bewässerung und Hochwasserschutz	Bewässerung, Hochwasserschutz
Gewässergüte	Wasseranalytik, Micro-Pollutants Schutz der Wasserressourcen
Digitalisierung in der Wasserwirtschaft	Digitalisierung in der Wasserwirtschaft
innovative Einzelverfahren	Membranen, Meerwasserentsalzung, Phosphorrecycling

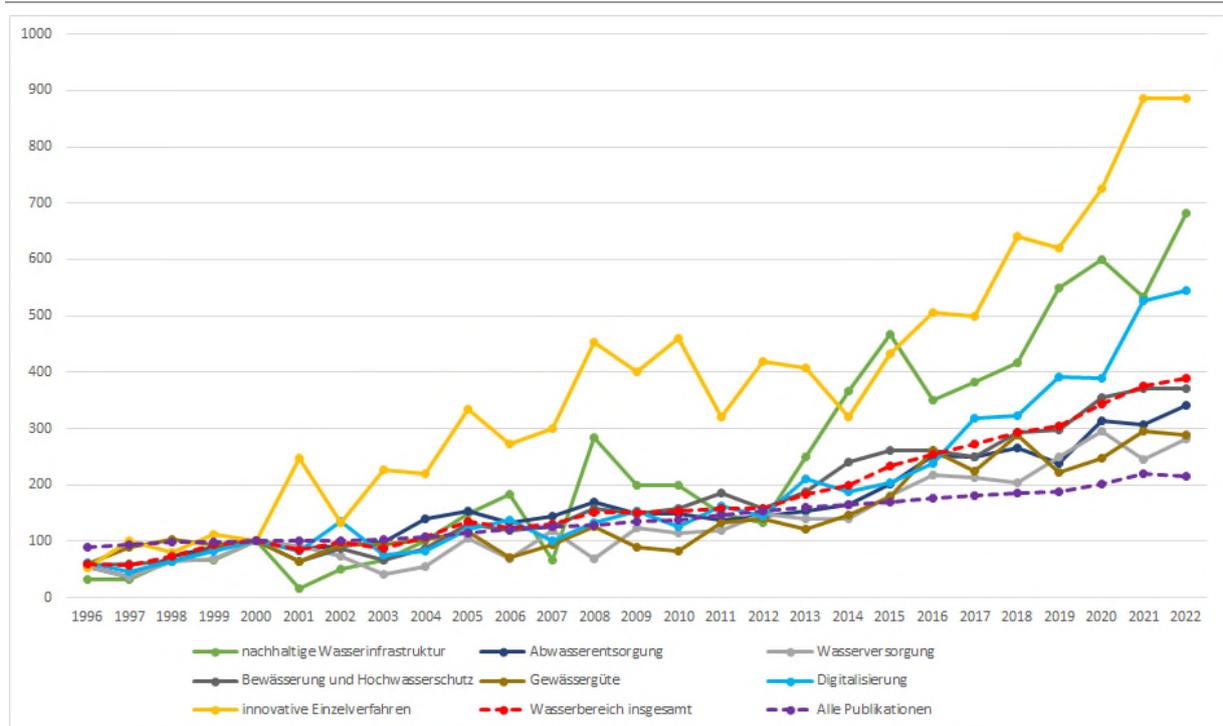
Quelle: eigene Darstellung

3.1 Dynamik der Publikationen

Die Publikationsdynamik der betrachteten Technikbereiche in Relation zur Publikationsdynamik aller Themen ist für Deutschland in Abbildung 8 und Abbildung 9 dargestellt. Die Darstellungen sind auf das Jahr 2000 normiert, d.h. die Anzahl der Publikationen im Jahr 2000 bildet die 100 % ab. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass kleine Publikationszahlen zum Bezugszeitpunkt in dieser Logik zu hohen Dynamiken auch bei absolut gar nicht zwingend großen Zahlen führen. Wenn es im Bezugsjahr gar keine Publikation gab, wird auch die entsprechende Dynamik hier bei null angezeigt.

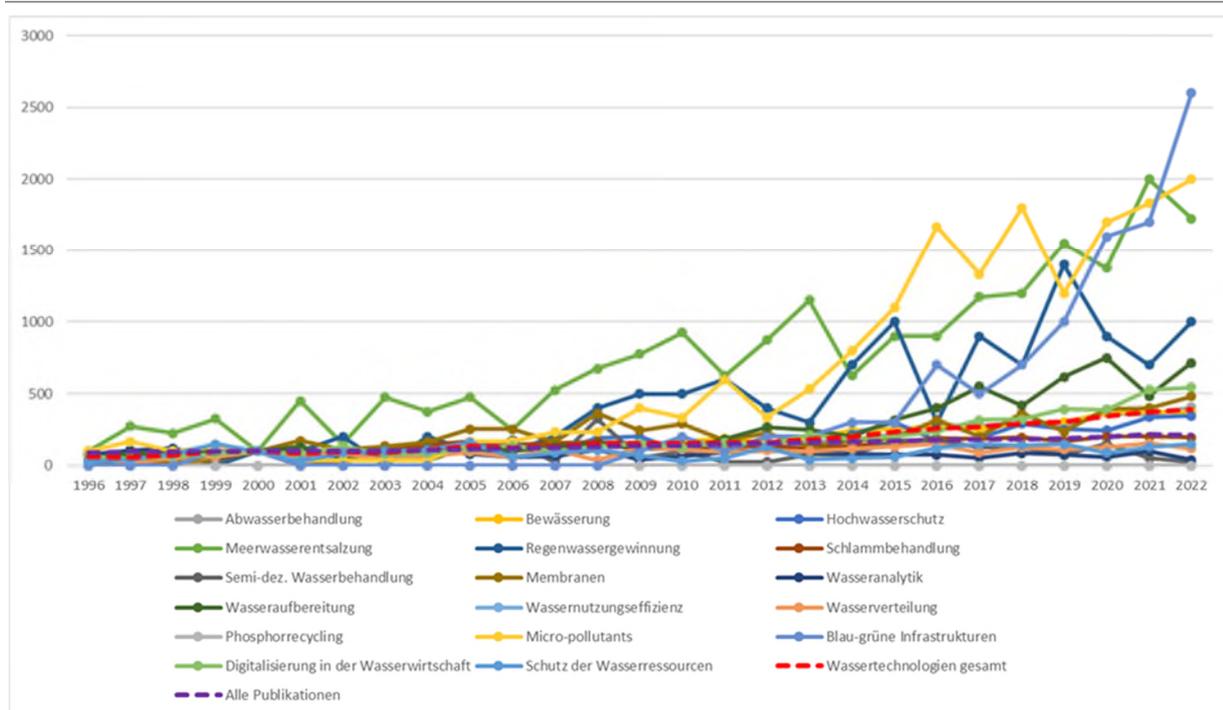
Für Deutschland zeigt sich eine hohe Dynamik im Cluster "innovative Einzelverfahren", hier insbesondere im Bereich der Meerwasserentsalzung. Hier war die Dynamik auch bereits vor dem Bezugsjahr hoch und hat sich bis 2022 kontinuierlich deutlich gesteigert. Diese Dynamik wird nur durch die Publikationsdynamik bei den Mikroschadstoffen übertroffen. Hier steigt die Dynamik seit 2010 deutlich an. Deutlich sticht auch die Dynamik bei den blau-grünen Infrastrukturen hervor. Ebenso zeigt die Regenwassergewinnung eine hohe Dynamik mit tendenzieller Steigung.

Abbildung 8: Dynamik der Publikationsentwicklung in den verschiedenen Clustern der Wassertechnologien (Jahr 2000 = 100)



Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Erhebung und Berechnung

Abbildung 9: Dynamik der Publikationsentwicklung in den verschiedenen Bereichen der Wassertechnologien (Jahr 2000 = 100)



Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Erhebung und Berechnung

3.2 Publikationsanteile

In Abbildung 10 sind die Anteile der verschiedenen Länder an der Gesamtzahl der Veröffentlichungen in den Themenfeldern dargestellt. In der Grafik sind alle Länder dargestellt, die im Betrachtungszeitraum mehr als 10.000 Publikationen im Wasserbereich hatten. Deutschland liegt mit 3 % im Wasserbereich unter den durchschnittlich 5 % seines Gesamtpublikationsanteils. China liegt im Wasserbereich mit 28 % Anteil an allen Publikationen mit großem Abstand vor dem zweiten Protagonisten USA mit 11 %. Beim Vergleich mit der Auswertung für "Alle Technologien" bleibt die Reihenfolge der großen Länder erhalten. China liegt mit 21 % deutlich knapper vor den USA mit 18 %. In dieser Auswertung sticht auch Indien mit 8 % in den Wassertechnologien und 5 % über alle Technologien hervor.

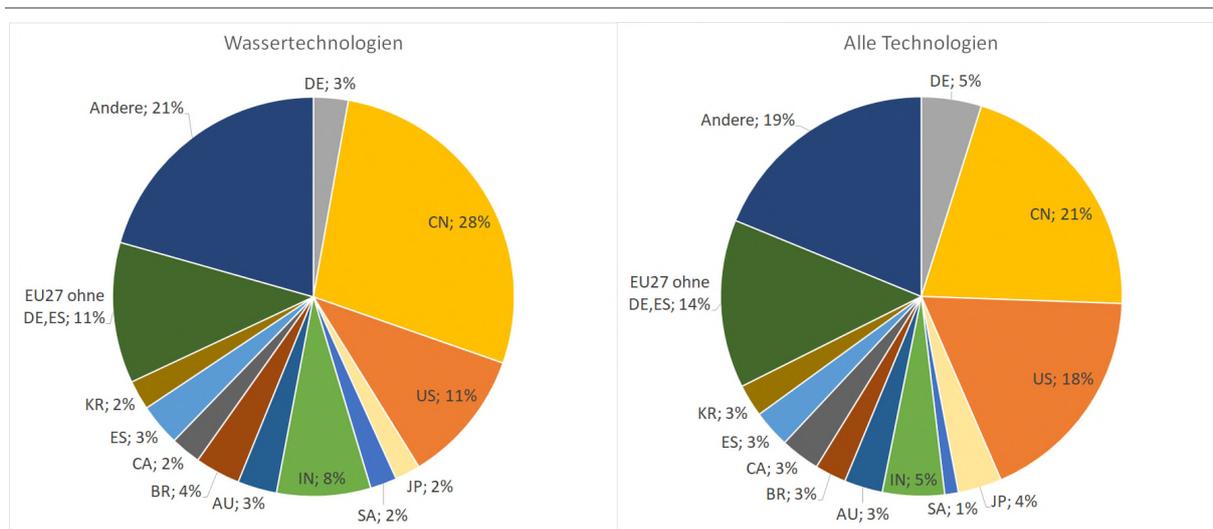
Neben den Ländern mit den in der Grafik explizit dargestellten Anteilen treten unter "Andere" hier u. a. die folgenden Länder (mit ihren absoluten Publikationen dargestellt) in Erscheinung:

- Großbritannien: 5.076, Saudi-Arabien: 3.633, Türkei: 2.903, Pakistan: 2.882, Südafrika: 2.225, Mexiko: 1.818, Portugal: 1.654, Indonesien: 1.528, Iran: 1.505, Singapur: 1.250, Marokko: 1.098, Tunesien: 958, Israel: 909, Chile: 799, Ukraine: 594, Katar: 534, Jordanien: 483, Oman: 367

In der Gruppe der EU27 verteilen sich die Publikationen auf die hier wichtigsten Länder wie folgt:

- Irland: 6.478, Italien: 4.637, Frankreich: 3.273, Niederlande: 2.263, Schweden: 1.470.

Abbildung 10: Vergleich der Anteile von Publikationen der wichtigsten Länder im Bereich Wassertechnologien und aller Technologien 2018-2022

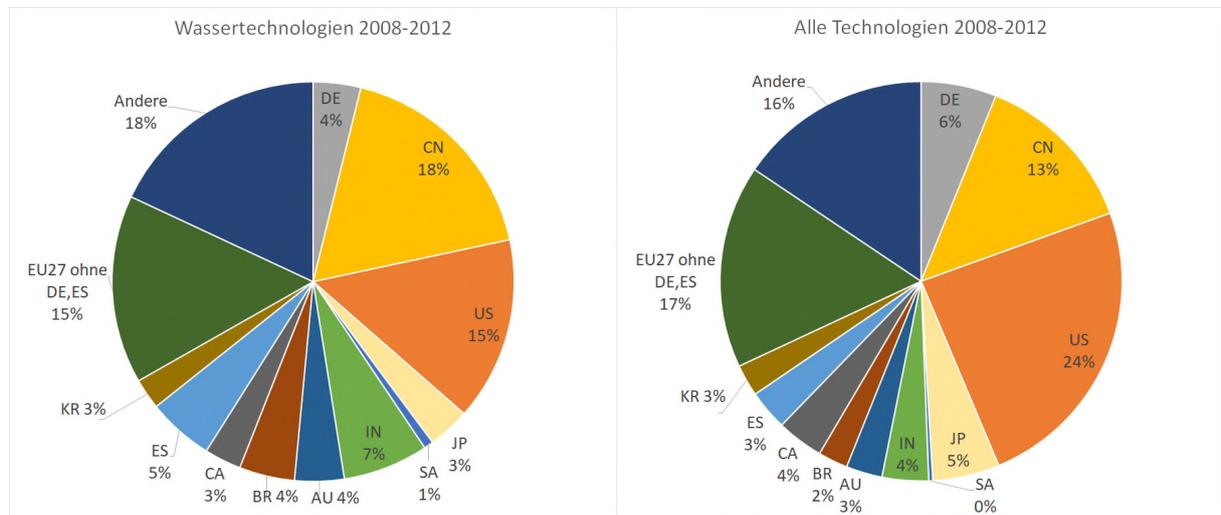


DE: Deutschland, CN: VR China, US: USA, JP: Japan, SA: Saudi-Arabien, IN: Indien, AU: Australien, BR: Brasilien, CA: Kanada, ES: Spanien, KR: Südkorea

Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Erhebung und Berechnung

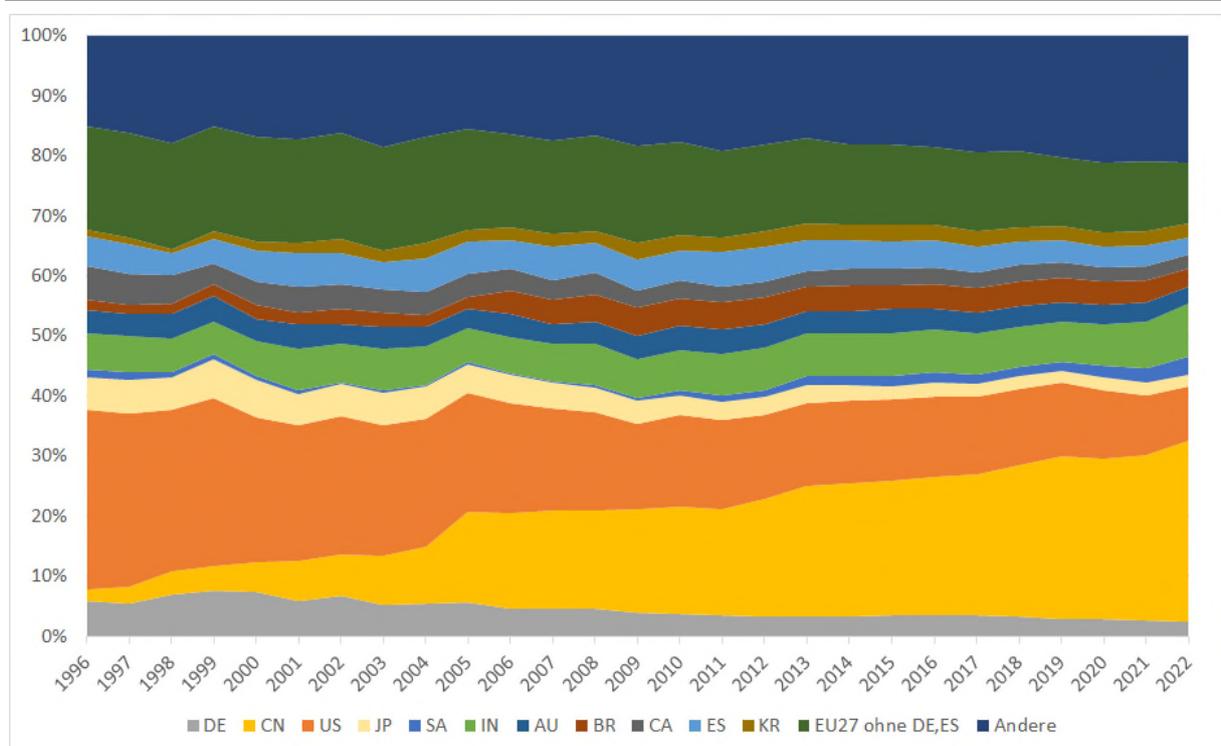
In Abbildung 11 ist der Vergleich im historischen Zeitraum 2006-2011 dargestellt. Die Publikationsentwicklung über die Zeit ist in Abbildung 12 dargestellt.

Abbildung 11: Vergleich der Anteile von Publikationen der wichtigsten Länder im Bereich Wassertechnologien und aller Technologien 2008-2012



DE: Deutschland, CN: VR China, US: USA, JP: Japan, SA: Saudi-Arabien, IN: Indien, AU: Australien, BR: Brasilien, CA: Kanada, ES: Spanien, KR: Südkorea
 Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Erhebung und Berechnung

Abbildung 12: Veränderungen der Anteile wasserwirtschaftlich relevanter Publikationen 1996 - 2022



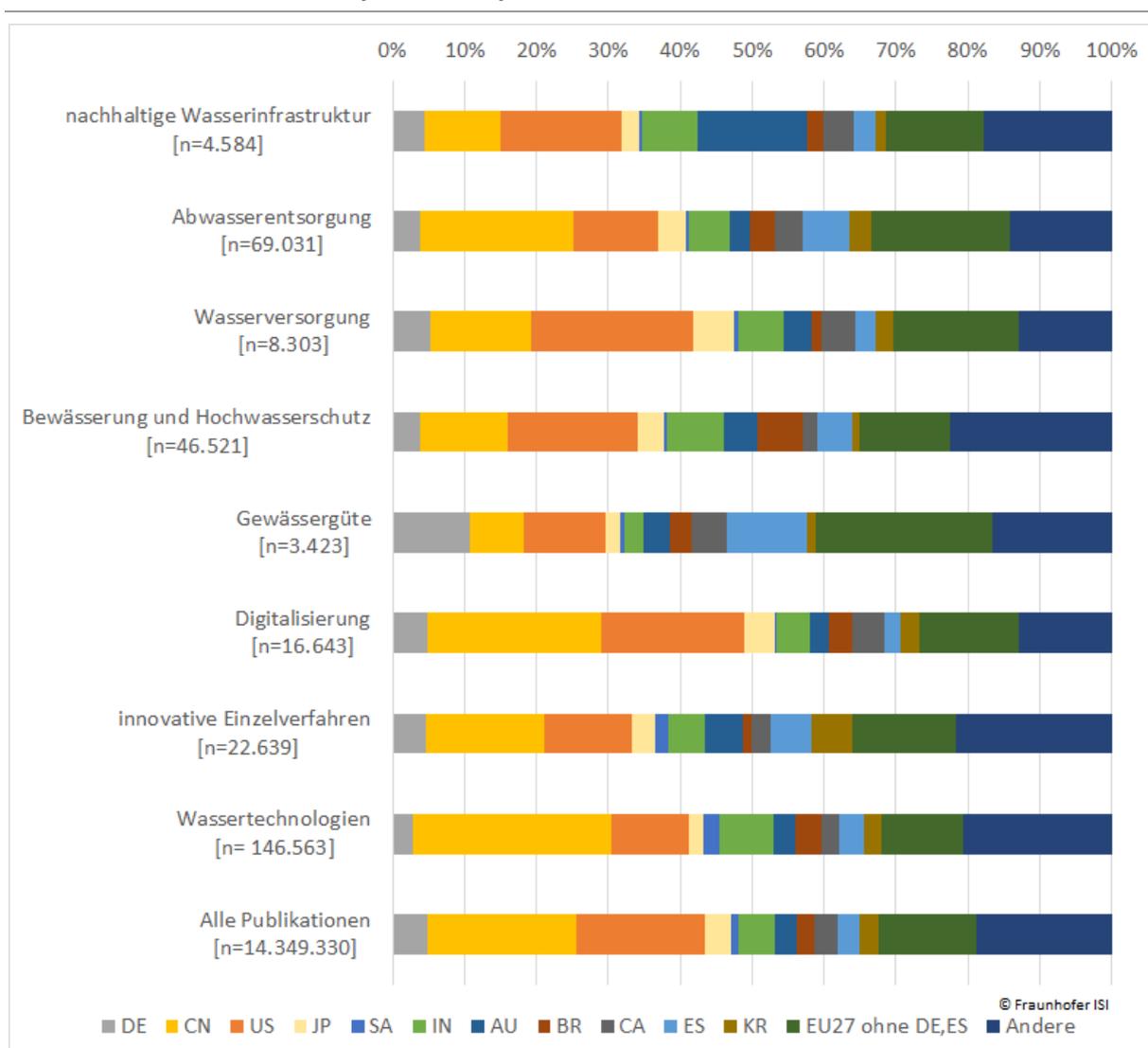
DE: Deutschland, CN: VR China, US: USA, JP: Japan, SA: Saudi-Arabien, IN: Indien, AU: Australien, BR: Brasilien, CA: Kanada, ES: Spanien, KR: Südkorea
 Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Erhebung und Berechnung

Auffällig ist, dass die stark angestiegenen chinesischen Publikationen hauptsächlich zu Lasten der Anteile von USA, Deutschland und Japan gehen. Indien ist über die gesamte Zeit relativ konstant.

Wenn man die absoluten Zahlen ansieht, nehmen aber alle Publikationen im Themenfeld Wasser zu: So haben Deutschland und die USA ihre Anzahl der Publikationen seit dem Jahr 2000 vervierfacht. China hat im selben Zeitraum allerdings seinen Anteil von ca. 180 auf ca. 13.000 Publikationen um etwa den Faktor 75 erhöht.

In Abbildung 13 sind die Anteile der wichtigsten Länder für den Zeitraum 2018-2022 dargestellt. Deutschland weist durchgängig ca. 5 % der Publikationsanteile auf. Ausnahme ist die Gewässergüte, mit ca. 10 %.

Abbildung 13: Publikationsanteile der wichtigsten Länder an den betrachteten Technikclustern (2018-2022)



Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Erhebung und Berechnung

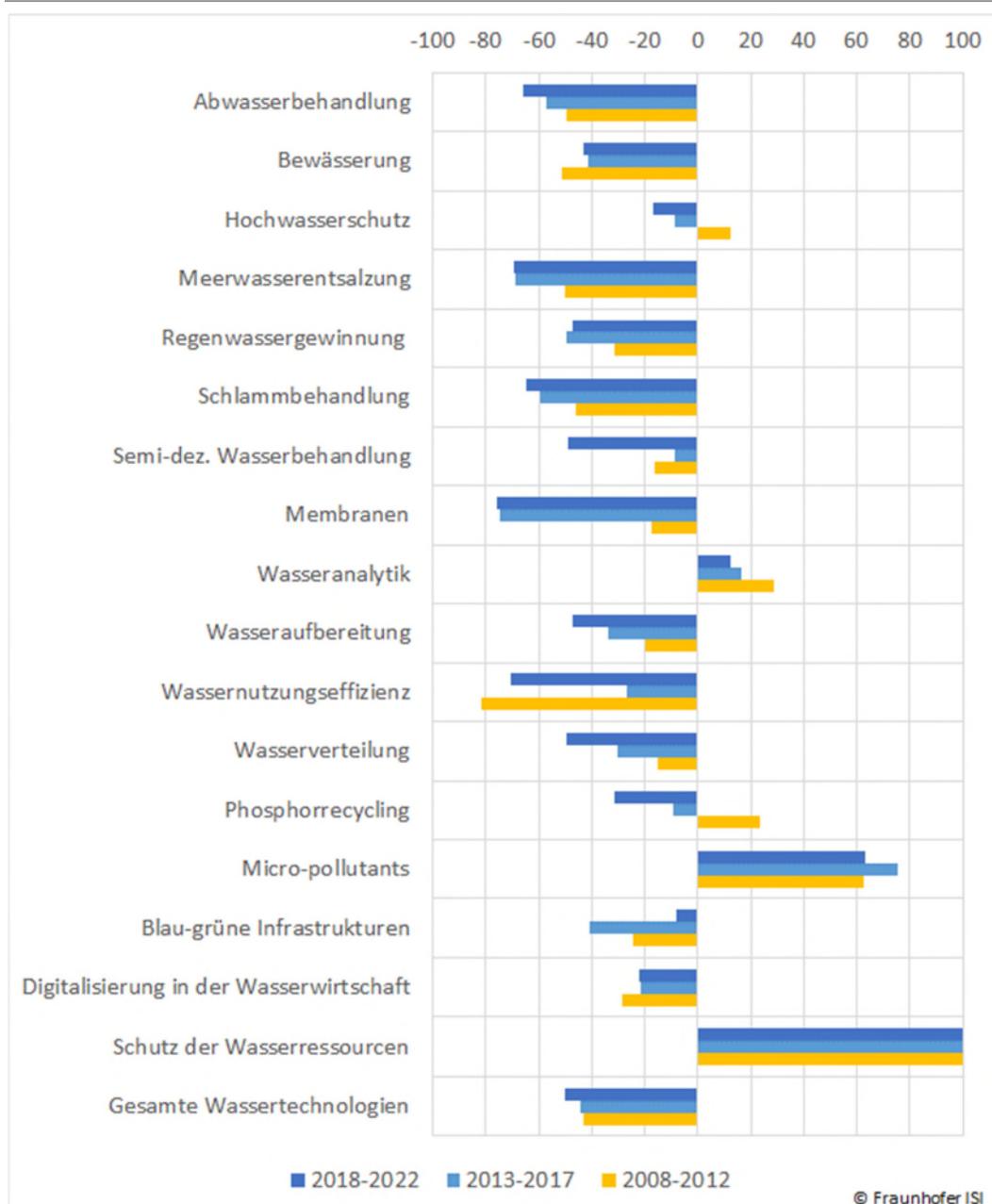
Die größten Anteile aller Länder hat China bei Digitalisierungstechnologien, der Abwasserentsorgung und innovativer Einzelverfahren. Die USA publiziert vor allem im Bereich Wasserversorgung, Bewässerung und Hochwasserschutz sowie nachhaltige Wasserinfrastruktur. Im letztgenannten Bereich ist auch Australien stark engagiert. Im Bereich Gewässergüte hat Spanien viel veröffentlicht, aber auch die restlichen EU27-Länder sind gut vertreten.

Betrachtet man Wassertechnologien insgesamt, ist der Anteil Deutschlands mit 3 % geringer als in den einzelnen Technologiebereichen (durch die Eliminierung von Doppelzählungen in den Bereichen) und aller Publikationen.

3.3 Publikationsspezialisierung Deutschlands RLA

Die Publikationsspezialisierung ist kein unmittelbarer Leistungsindikator. Vielmehr kann durch das Spezialisierungsprofil – in diesem Fall für Deutschland in den ausgewählten Themenfeldern – lediglich die Abweichung der Bedeutung einzelner Themenfelder bezogen auf den Weltdurchschnitt dargestellt werden. Der RLA wird analog zum RPA berechnet (vgl. Kapitel 2.3).

Abbildung 14: Entwicklung der Spezialisierung bei den Feldern von Publikationen der Wassertechnologien in drei Zeitabschnitten 2008-12; 2013-17; 2018-22



Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Erhebung und Berechnung

Das Spezialisierungsprofil Deutschlands ist in Abbildung 14 für unterschiedliche Themenfelder im Bereich der Wasserwirtschaft dargestellt.

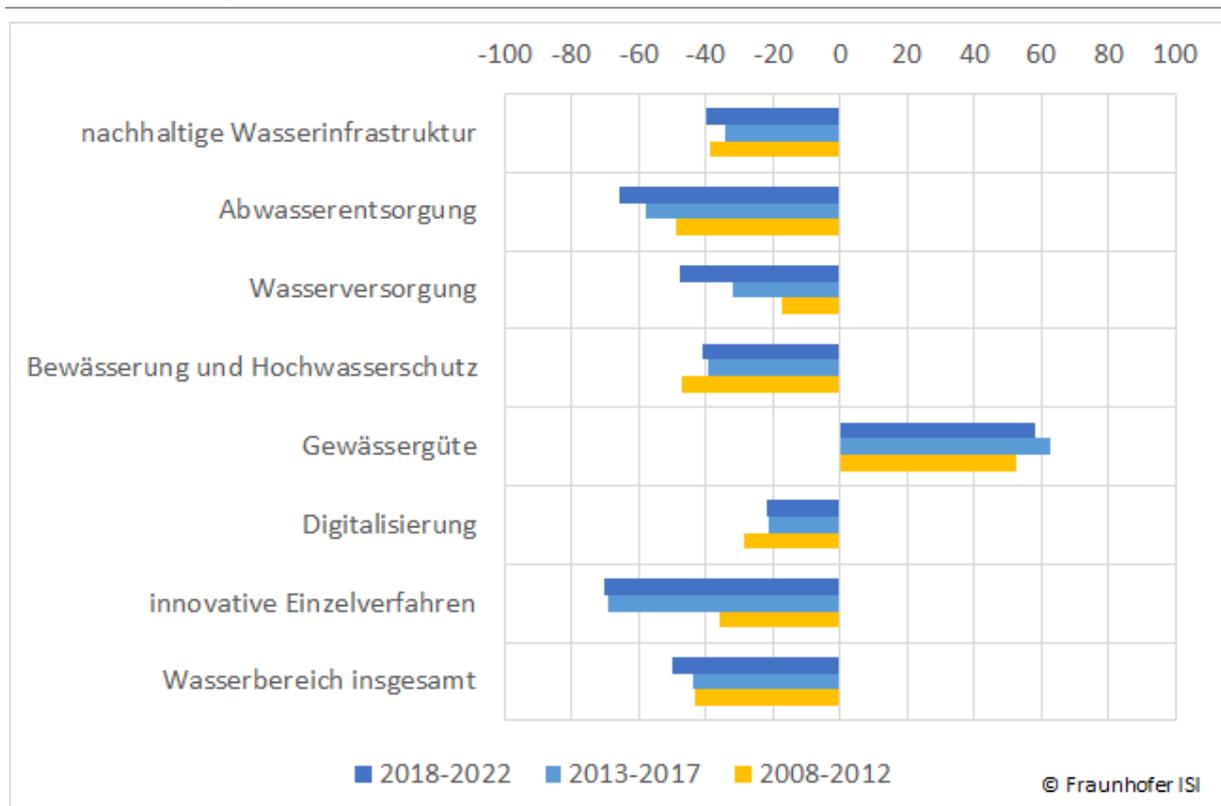
Für die Einzelbereiche ergibt sich insofern ein einheitliches Bild, als die Werte fast durchweg im negativen Bereich liegen, d.h. dass keine Spezialisierung von Deutschland in diesen Themenfeldern vorliegt.

Auffällig ist allerdings die hohe Spezialisierung in den Bereichen "Schutz der Wasserressourcen" und "Micro-Pollutants". Dazu passt auch die leichte Spezialisierung im Bereich der "Wasseranalytik". Im weltweiten Vergleich scheint das Thema Gewässerqualität in Deutschland eine besondere Aufmerksamkeit zu erfahren.

Aus Abbildung 15 wird deutlicher, dass für Deutschland vor allem eine Spezialisierung in den Themen zur Gewässergüte vorliegt.

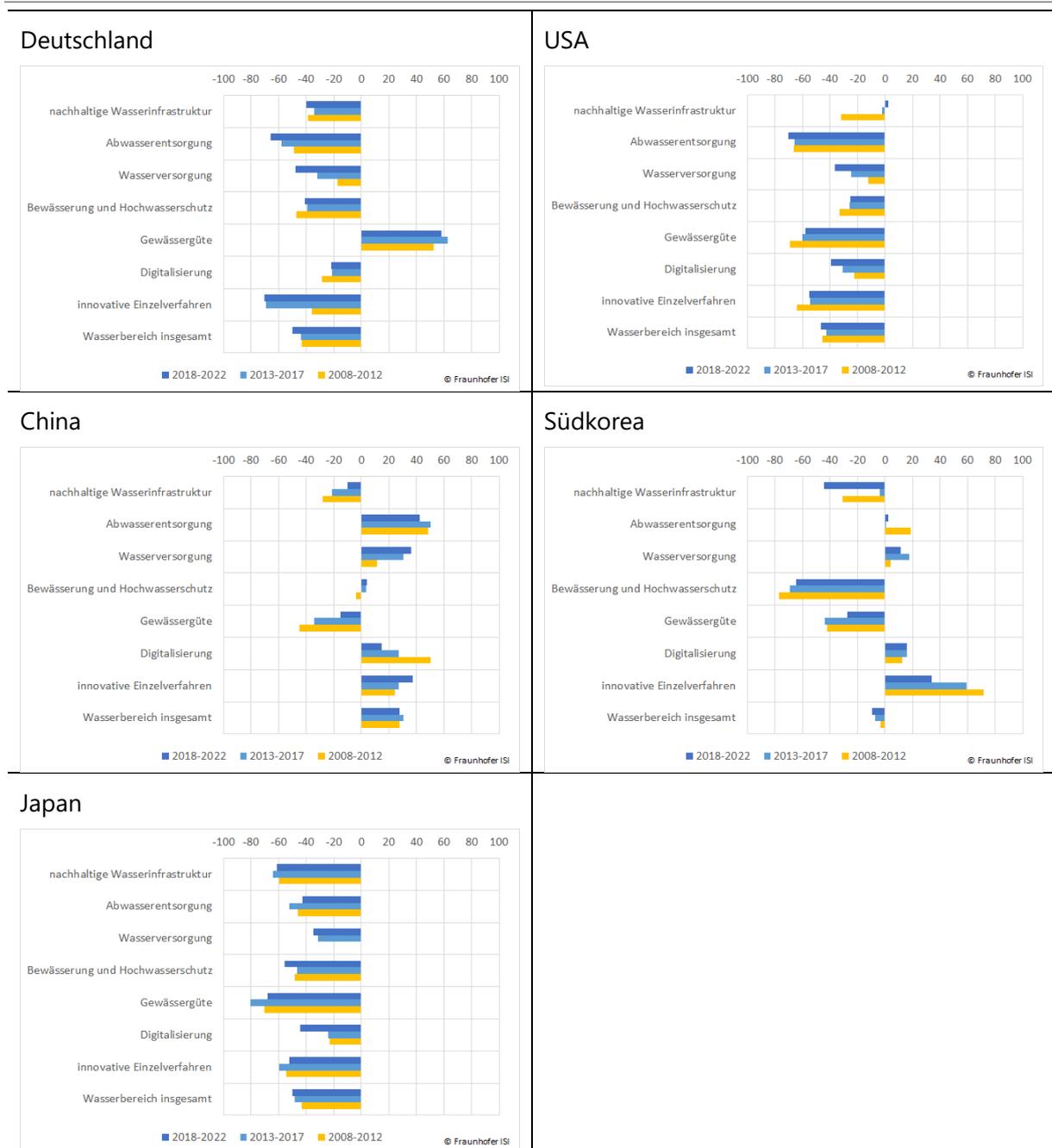
Der Ländervergleich ist in Abbildung 16 dargestellt.

Abbildung 15: Entwicklung der Spezialisierung bei den Publikationen der Wassertechnologie-Cluster in drei Zeitabschnitten 2008-12; 2013-17; 2018-22



Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Erhebung und Berechnung

Abbildung 16: Publikationsanalyse im Ländervergleich (2008-2022)



Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Erhebung und Berechnung

3.4 Länder unter Wasserstress

Gemäß den Auswertungen in Los 1 wurden die identifizierten Länder mit Wasserstress mit den Erkenntnissen aus Los 2 verschnitten (vgl. Tabelle 6). Es lässt sich kein eindeutiger Zusammenhang erkennen.

Tabelle 6: Länder unter Wasserstress - Patente und Publikationen als Spezialisierungsmaß

Country Name	Country Code	Worldbank 2000-2014	Worldbank (2020)	ISOE-10th	ISOE-50th	ISOE-90th	Spezialisierung	
							2017-2021 RPA	2018-2022 RLA
Egypt, Arab Rep.	EGY	121,09	141,17	851,98	1021,47	1268,75		
Kuwait	KWT	2588,28	3850,50	170,53	279,42	563,96	97	66
United Arab Emirates	ARE	1708,37	1587,33	151,35	214,40	487,05	78	59
Pakistan	PAK	111,02	116,31	188,27	232,09	277,40	72	59
Turkmenistan	TKM	140,91	135,21	192,13	215,95	259,87	-100	82
Iraq	IRQ	74,42	79,51	123,53	147,76	170,65	-100	68
Uzbekistan	UZB	145,22	168,92	121,07	133,28	155,33	94	53
Saudi Arabia	SAU	890,95	974,17	56,97	78,78	107,74	91	58
Syrian Arab Republic	SYR	128,34	124,36	70,24	85,03	98,83	-100	75
Netherlands	NLD	19,73	16,80	64,14	68,73	78,56	22	-30
Azerbaijan	AZE	49,77	55,60	58,44	69,41	76,16	-100	-51
Yemen, Rep.	YEM	168,04	169,76	44,95	60,42	74,08	-100	36
Belgium	BEL	74,76	51,58	56,80	61,64	70,80	13	-30
Moldova	MDA	13,25	12,56	38,45	49,21	70,05		
Bulgaria	BGR	45,23	37,52	41,64	50,02	58,77		
Israel	ISR	121,26	110,09	39,79	48,34	56,04	34	-18
Hungary	HUN	9,44	8,07	37,57	49,51	55,95		
Morocco	MAR	58,51	50,75	24,10	36,20	48,35	85	78
Jordan	JOR	93,35	104,31	29,18	38,73	48,17	86	40
India	IND	65,56	66,49	34,11	40,43	46,90	0	39
Serbia	SRB	4,71	6,00	33,46	39,52	43,41		
Iran, Islamic Rep.	IRN	80,65	81,29	35,35	39,10	43,14	84	55
Bangladesh	BGD	5,72	5,72	29,91	36,39	41,38		
Armenia	ARM	49,86	57,09	32,05	37,24	40,89	-100	-65
Germany	DEU	48,04	33,50	24,83	27,36	31,28	7	-50
Italy	ITA	33,50	29,65	24,25	27,14	30,64	19	-25
Spain	ESP	48,35	43,25	18,92	23,52	29,47	35	12
Oman	OMN	99,86	116,71	12,18	19,84	27,22	98	79
Tunisia	TUN	76,35	98,11	15,72	19,20	26,20	48	74
Afghanistan	AFG	54,76	54,76	18,01	21,60	25,62	-100	70
Romania	ROU	6,74	6,01	17,85	21,63	24,08		
Ukraine	UKR	19,38	12,26	17,73	19,98	23,83	65	-23
China	CHN	41,81	41,52	18,99	20,19	21,77	-13	28

Quelle: Mitteilung des ISOE aus den Arbeiten zu Los 1

4 Außenhandelsanalyse

Die technologische Leistungsfähigkeit gilt als Voraussetzung für die Herstellung innovativer Produkte und damit für die Wettbewerbsfähigkeit auch in der Zukunft. Die Außenhandelsposition eines Landes ist dagegen unmittelbar Ausdruck der aktuellen Wettbewerbsfähigkeit der Produkte eines Landes auf dem Weltmarkt.

Die Fähigkeit zur Innovation ist dabei eine wichtige, aber nicht die einzige Möglichkeit zur Erzielung von Wettbewerbsfähigkeit. So können z. B. auch Kostenvorteile aufgrund leicht verfügbarer Ressourcen die Wettbewerbsfähigkeit erhöhen. Dies kann zur Folge haben, dass sich die Länderlisten der exportstärksten Nationen und der aktivsten Patentanmelder in Teilen unterscheiden.

Das Vorgehen der vorliegenden Analyse orientiert sich an Hillenbrand et al. 2013. Die UN-Comtrade und damit die Angaben der Weltzoll-Organisation bilden die Datengrundlage. Hinsichtlich der Klassifikation umfasst der verwendete Potenzialansatz Produktgruppen, die ihrer Art nach in der Wasserwirtschaft zur Anwendung kommen und der Modernisierung der angesprochenen Themenbereiche dienen könnten. Bei diesem Potenzialansatz steht also nicht die (bereits) tatsächlich realisierte Anwendung in der Wasserwirtschaft im Vordergrund. Bei dieser Klassifikation ist zu bedenken, dass die UN-Comtrade nur die Zuordnung einzelner Gütergruppen auf 6-Steller-Ebene zu den Technologieklassen erlaubt. Daher kann auch keine vollständige Kongruenz der hier untersuchten Außenhandelssegmente mit den in Kapitel 2 untersuchten Patentklassen hergestellt werden.

Folgende sieben Technikklassen wasserrelevanter Technologien werden unterschieden:

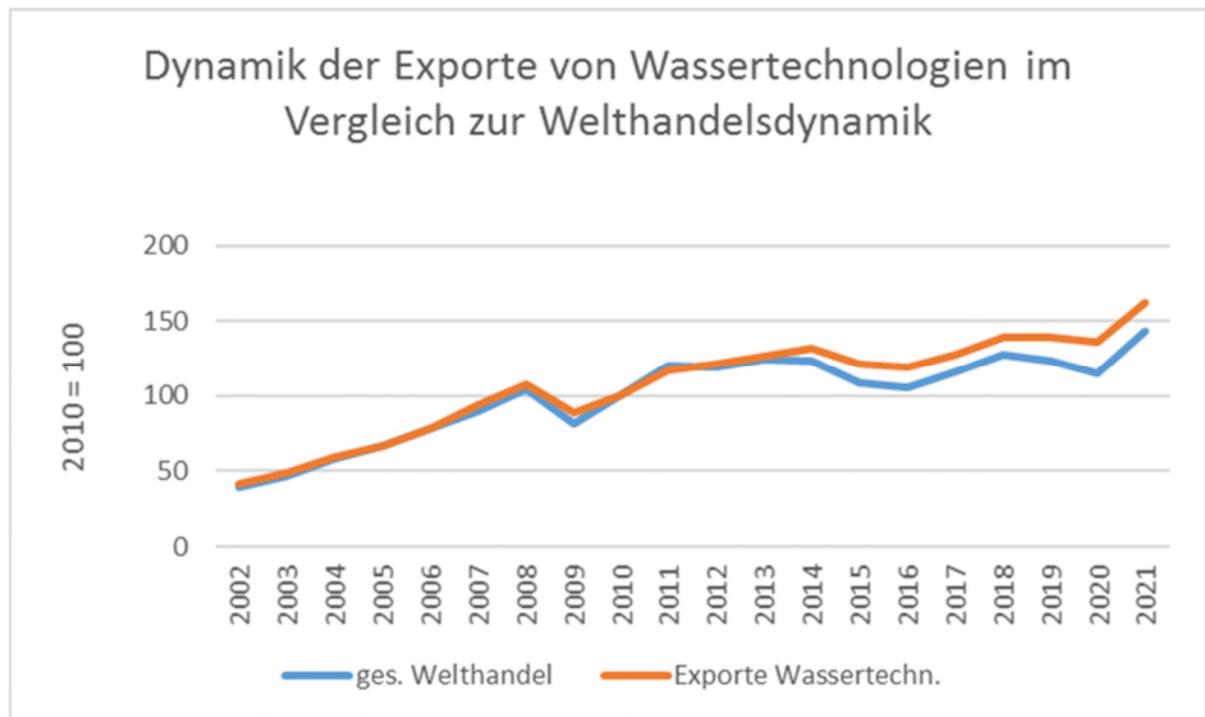
- Abwasserbehandlung,
- Hochwasserschutz,
- innovative Technikansätze,
- Wasseranalytik,
- Wasseraufbereitung,
- Wassernutzungseffizienz,
- Wassertransport.

Die Höhe der Exporte in jedem dieser sieben Segmente ist vergleichbar groß. So beträgt der Anteil jedes Segments an den gesamten Exporten wasserrelevanter Technologien für sechs Segmente zwischen 14 % und 17 %, und auch das kleinste Segment - die innovativen Technikansätze - macht noch 9 % der gesamten Exporte an Wassertechnologien aus. Technologien, die mit Hochwasserschutz zu tun haben, fallen mit 21 % etwas mehr ins Gewicht.

4.1 Dynamik des Außenhandels

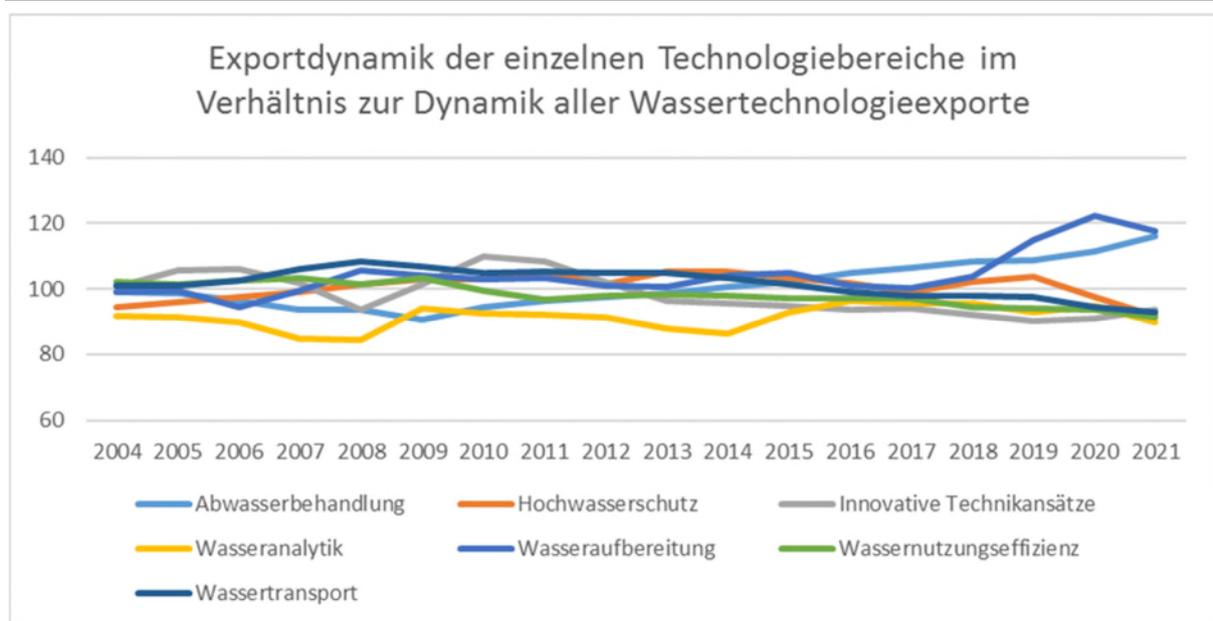
In Abbildung 17 ist die weltweite Dynamik der Exporte von Wassertechnologien im Vergleich zur Welthandelsdynamik abgebildet. Nach 2010 entwickeln sich die Exporte der Wassertechnologien insgesamt etwas dynamischer als der gesamte Welthandel. Die einzelnen Technologiebereiche weichen gegenüber der durchschnittlichen Dynamik aller Wassertechnologien nur wenig ab (Abbildung 18). Lediglich in den letzten Jahren ist zu beobachten, dass die Exportdynamik für die beiden Teilbereiche Abwasserbehandlung und Wasseraufbereitung deutlich stärker zugenommen hat als für die anderen Teilbereiche.

Abbildung 17: Dynamik der Exporte von Wassertechnologien im Vergleich zur Welthandelsdynamik



Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Erhebung und Berechnung auf Basis der Daten der UN-COMTRADE

Abbildung 18: Exportdynamik der einzelnen Technologiebereiche im Verhältnis zur Dynamik aller Wassertechnologieexporte

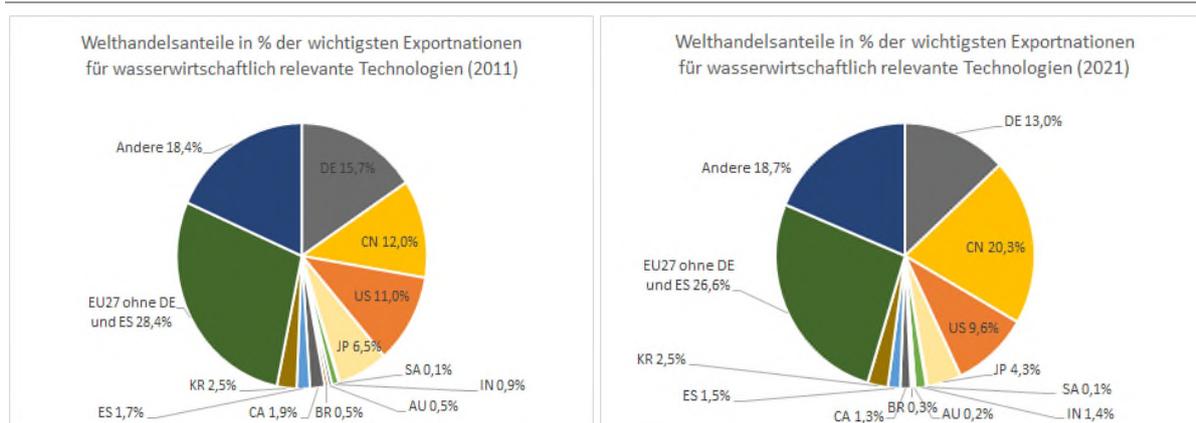


Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Erhebung und Berechnung auf Basis der Daten der UN-COMTRADE

4.2 Welthandelsanteile

Deutschland liegt bei den Daten für das Jahr 2021 mit 13 % der Welthandelsanteile im Wasserbereich an zweiter Stelle hinter China, aber noch deutlich vor den USA (Abbildung 19). Gegenüber 2011 sind die Anteile Deutschlands am Welthandel leicht gesunken. China konnte seitdem seine Marktanteile deutlich erhöhen, was zu Lasten der Marktanteile Deutschlands, der sonstigen EU, der USA und Japans ging.

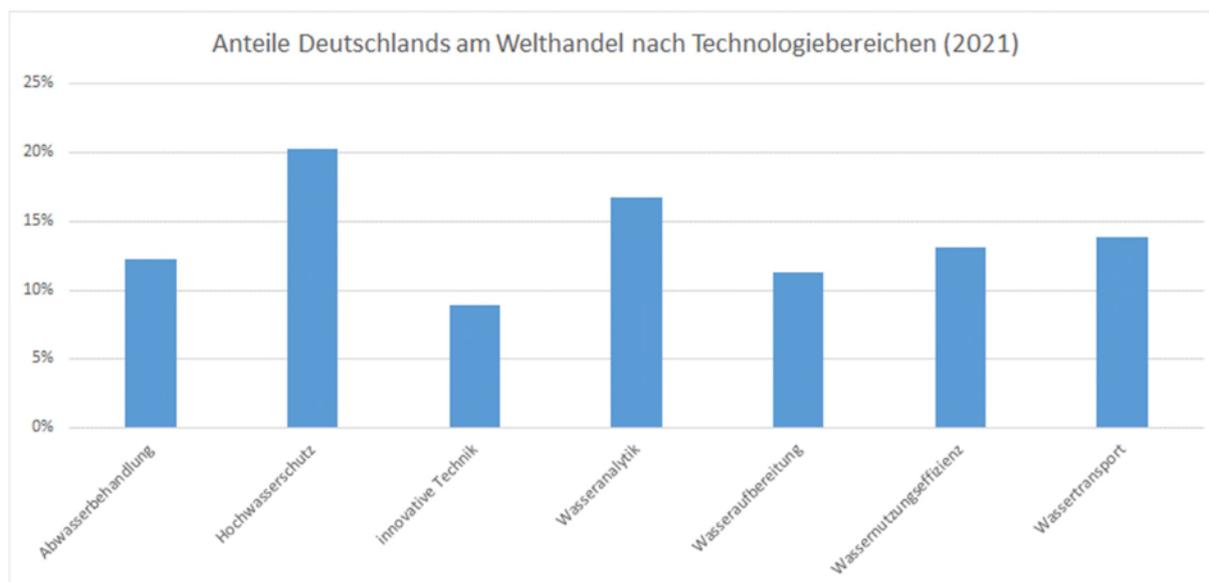
Abbildung 19: Welthandelsanteile der wichtigsten Exportnationen für wasserwirtschaftlich relevante Technologien 2011 und 2021



DE: Deutschland, CN: VR China, US: USA, JP: Japan, SA: Saudi-Arabien, IN: Indien, AU: Australien, BR: Brasilien, CA: Kanada, ES: Spanien, KR: Südkorea

Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Erhebung und Berechnung auf Basis der Daten der UN-COMTRADE

Abbildung 20: Welthandelsanteile Deutschlands bei den einzelnen Segmenten wasserrelevanter Technologien im Jahr 2021



Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Erhebung und Berechnung auf Basis der Daten der UN-COMTRADE

Die Bedeutung Deutschlands innerhalb der einzelnen Segmente schwankt, der Welthandelsanteil liegt zwischen 9 % und 20 % (vgl. Abbildung 20). Besonders stark ist Deutschland bei Technologien im Bereich des Hochwasserschutzes. Hier wird ein Welthandelsanteil von 20 % erreicht. Am geringsten fällt der Welthandelsanteil Deutschlands bei den innovativen Technologieansätzen aus, die v.a. unterschiedliche Arten von Membranen umfassen, z. B. auch diejenigen, die zentral für die Technologien zur Meerwasserentsalzung sind und bei denen Japan einen besonders hohen Welthandelsanteil hält. Hervorzuheben ist, dass bei dem Segment innovativer Wassertechnologien Deutschland auch bei den Patenten vergleichsweise schlechter abschneidet als bei den anderen Segmenten. Hier scheint es sich also um ein strukturell verfestigtes Ergebnis zu handeln.

4.3 Außenhandelsspezialisierung

Ähnlich wie bei den Patenten und Publikationen gibt eine Spezialisierung im Außenhandel an, inwiefern die betrachteten Warengruppen eine Stärke im Warenportfolio des betrachteten Landes darstellen. Um sowohl die Exporte eines Landes den Weltexporten gegenüber zu stellen als auch um das Verhältnis von Ausfuhren und Einfuhren zu berücksichtigen berechnen wir zwei Spezialisierungsmaße: Den relativen Exportvorteil (RXA) sowie den Revealed Comparative Advantage (RCA), jeweils berechnet nach folgenden Formeln (vgl. Schiersch et al. 2014):

$$RXA_{ij} = 100 \tanh \ln [(a_{ij}/\Sigma_i a_{ij})/(\Sigma_j a_{ij}/\Sigma_{ij} a_{ij})]$$

$$RCA_{ij} = 100 \ln [(a_{ij}/e_{ij})/(\Sigma_j a_{ij}/\Sigma_{ij} e_{ij})]$$

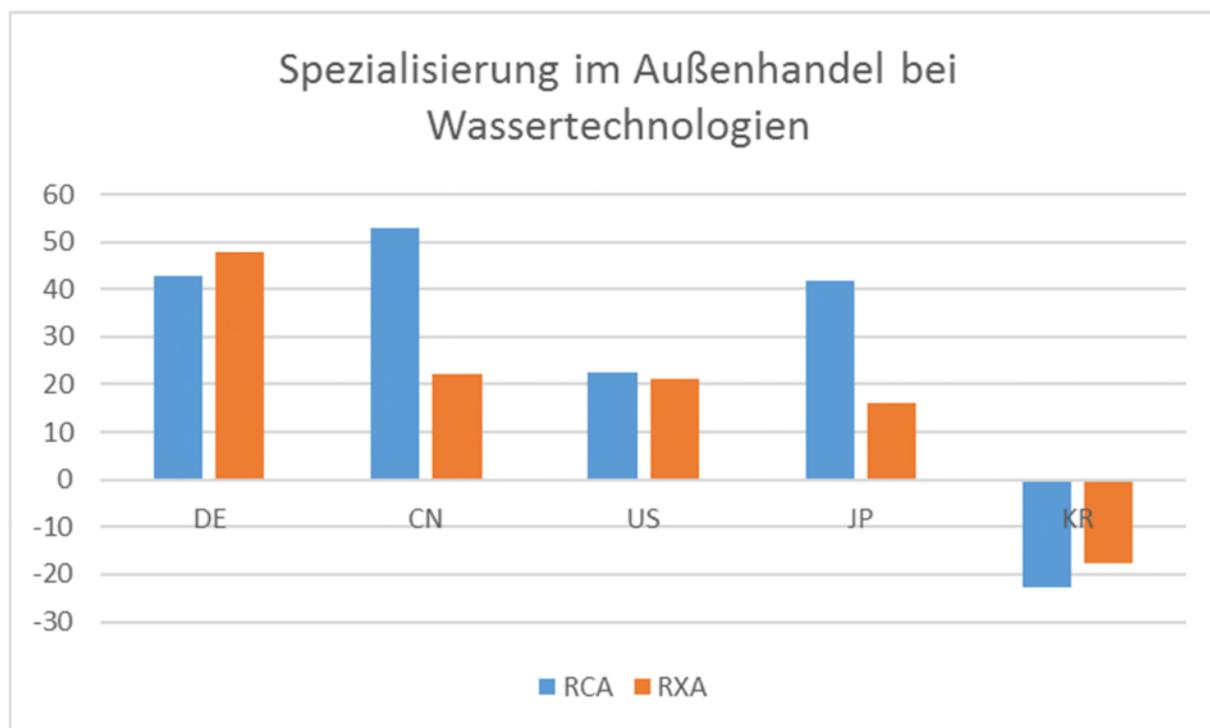
Es bezeichnen: a = Ausfuhr; e = Einfuhr; i = Länderindex; j = Produktgruppenindex.

Ein positiver Wert des RXA bedeutet, dass die Volkswirtschaft komparative Vorteile in der Produktion von Gütern der jeweiligen Warengruppe hat, weil das Land bei dieser Warengruppe relativ stärker auf Auslandsmärkte vorgedrungen ist als bei anderen Waren. Ein negativer Wert bedeutet, dass das Land dort komparative Nachteile aufweist (Schiersch et al., 2014). Ein positiver RCA bedeutet, dass der Außenhandelssaldo eines Landes in der betrachteten Produktmixgruppe positiver ausgeprägt ist als der Außenhandelssaldo dieses Landes bei allen Waren.

Deutschland weist durchgängig eine hohe positive Spezialisierung bei Wassertechnologien auf, sowohl gemessen mit dem RXA als auch dem RCA (Abbildung 21). Eine ähnlich hohe Spezialisierung beim RCA weisen auch China und Japan auf. Allerdings ist in beiden Ländern der RXA deutlich schwächer, bei denen allerdings der RXA zwar auch positiv, aber deutlich schwächer ausgeprägt als in Deutschland. Inwiefern das mit Länderspezifika wie subventionierten Exporten oder protektionistischen Maßnahmen zur Beschränkung von Importen zusammenhängt, kann im Rahmen dieser Studie nicht geklärt werden.

Die durchweg positive Spezialisierung Deutschlands zeigt sich auch bei einer disaggregierten Betrachtung der sieben Teilsegmente (Tabelle 7). Diese legt nahe, dass Wassertechnologien in ihrer gesamten Breite zu den starken Sektoren der deutschen Wirtschaft zählen. Demgegenüber fällt gerade bei China eine starke Zweiteilung auf, mit hohen Importabhängigkeiten insbesondere bei den innovativen Technikansätzen und der Wasseranalytik.

Abbildung 21: Spezialisierung von Wassertechnologien im Außenhandel



Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Erhebung und Berechnung auf Basis der Daten der UN-COMTRADE

Tabelle 7: Spezialisierung wichtiger Exportländer (gemessen als RCA, Relativer Exportanteil) in wasserwirtschaftlich relevanten Technikbereichen 2017-2021

	AU	BR	CA	CN	DE	ES	IN	JP	KR	SA	US	EU27 ohne DE und ES	Andere
Wassertechnik, gesamt	-95	-89	-61	52	42	-7	13	42	-19	-99	24	16	-50
Abwasserbehandlung	-98	-94	-45	79	25	-9	23	-15	-16	-100	22	8	-53
Hochwasserschutz	-93	-75	-73	-9	57	-77	38	29	-81	-100	34	24	-34
Innovative Technikansätze	-58	-69	-64	-55	22	-48	-9	96	-34	33	65	4	-41
Wasseranalytik	-92	-100	-31	-94	59	-74	-98	62	-79	-100	75	23	4
Wasseraufbereitung	-91	-85	18	65	73	58	59	13	83	-90	15	38	-56
Wassernutzungseffizienz	-99	-89	-89	78	48	-7	14	-8	-20	-100	-3	25	-51
Wassertransport	-93	-84	-73	55	52	16	39	66	-23	-100	18	26	-60

Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Erhebung und Berechnung

In allen wasserwirtschaftlichen Technikbereichen besteht im Zeitraum 2017-2021 ein Außenhandelsüberschuss. Er liegt zwischen 33 % (Innovative Technikansätze) und 76 % (Wasseraufbereitung), vgl. Tabelle 7⁵.

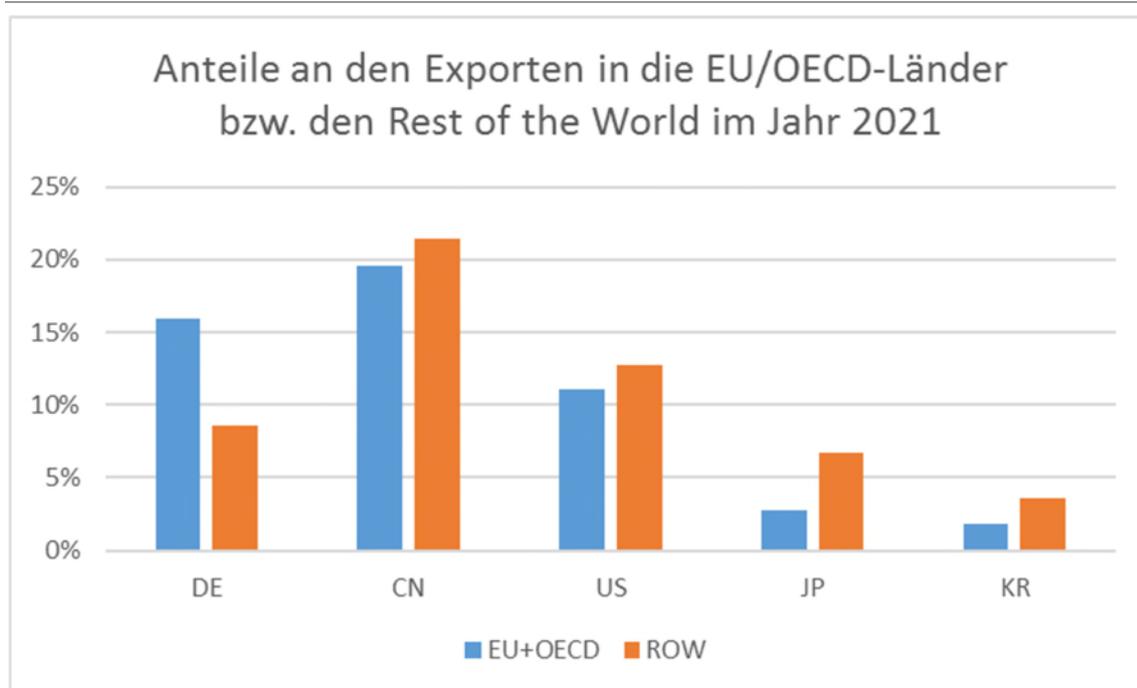
⁵ Einzelne Außenhandelscodes werden in mehreren Definitionen der Technikbereiche benutzt, sodass der Summenwert des Handels der einzelnen Technikbereiche in der Tabelle höher ist als der Wert für Wassertechnik, gesamt.

4.4 Regionale Ausrichtung des Handels

Angesichts der guten Außenhandelsposition Deutschlands ist es von besonderem Interesse, wohin wasserwirtschaftliche Technologiegüter deutschen Ursprungs exportiert werden und in welchem Verhältnis diese Exporte zu denen konkurrierender Länder stehen (Abbildung 22). Die Zielländer Deutschlands liegen vorrangig in den EU- und OECD-Ländern. Hier liegt der Anteil Deutschlands an Exporten in diese Länder mit ca. 15 % deutlich über dem Anteil, den Deutschland bei den Exporten in die restlichen Länder erreicht. Bei den übrigen Hauptwettbewerbern ergibt sich eine andere Situation. Der Anteil Chinas an den Exporten in EU- und OECD-Ländern ist in etwa gleich groß wie der Anteil an Exporten in die restlichen Länder. Hier sind einerseits insbesondere die USA Zielland der chinesischen Exporte, aber auch zahlreiche Länder des Südens. Bei den Exporten der USA sind wichtige Zielländer Lateinamerika. Die hohen Exporte Japans und Südkoreas in die Länder des globalen Südens werden durch hohe Exportzahlen gerade in die asiatischen Nachbarstaaten hervorgerufen.

Der Anteil der sechs größten Zielländer der deutschen Exporte macht 41 % von den gesamten deutschen Exporten an wasserrelevanten Technologien aus. Größtes Zielland ist China, gefolgt von den USA. Die nächsten Plätze sind dann alles europäische Nachbarstaaten. Insgesamt zeigt die Analyse der Zielländer bei den Exporten wasserrelevanter Technologien damit doch einen erheblichen Einfluss der regionalen Proximity als bedeutenden Erklärungsfaktor für die Länderstruktur der Exporte.

Abbildung 22: Anteile an den Exporten in die EU und OECD-Länder sowie in die restlichen Länder



Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Erhebung und Berechnung auf Basis der Daten der UN-COMTRADE

Teil 2: (Innovations-)Ökonomische Betrachtung von Wasserverschmutzung und Wasserknappheit bezogen auf Deutschland

Der wirtschafts- und innovationspolitische Handlungsbedarf in Deutschland hinsichtlich der Wasserthematik wird unter der Leitfrage betrachtet, welche Instrumente nötig sind, um Innovationen zu fördern.

Innovationsökonomische Analysen werden oftmals in Form von ökonometrischen Analysen durchgeführt, in denen statistisch signifikante Treiber von Innovationen herausgearbeitet werden. Gerade im Bereich der Energie- und Klimaproblematik gibt es hier eine Reihe von Untersuchungen, in denen der Einfluss des Einsatzes von Politikinstrumenten auf die Entwicklung von Innovationen – gemessen z. B. mit der Anzahl der Patente – untersucht wird (vgl. auch Popp 2019 und Grubb et al. 2021⁶). Neben der Förderung von F&E-Aktivitäten werden zusätzlich umweltpolitische Instrumente, aber auch weitere Kontextfaktoren untersucht.

Der direkte Einfluss von finanziellen Anreizen (Abgaben oder Subventionen), Ordnungsrecht oder anderen Instrumenten auf die Innovationstätigkeit im Bereich der Wasserwirtschaft ist schwer zu messen. Zwar stehen mit Patenten und Publikationen grundsätzlich Indikatoren von Innovationstätigkeit bereit, aber keine systematisch vergleichenden und den Technikfeldern eindeutig zuordenbaren quantitativen Zeitreihen für den Instrumenteneinsatz und die sonstigen erforderlichen unabhängigen Variablen. Daher kann angesichts der Rahmenbedingungen von Los 3 dieses Vorgehen nicht beschränkt werden.

In Los 3 werden daher die aus der Umsetzung von Instrumenten gewonnen empirischen Erfahrungen ausgewertet bzw. die diskutierten Instrumentenvorschläge hinsichtlich ihrer Innovationswirkungen auf Basis konzeptioneller Überlegungen analysiert. Konzeptionell greifen wir einmal auf die umwelt-ökonomische Instrumentenanalyse zurück, die im Sinne der "theory of induced innovation" die Stärke der Innovationswirkungen (dynamische Effizienz) durch die finanzielle Anreizwirkung des Instruments für Hersteller und Anwender zur Generierung weiterer Innovationen bestimmt sieht. Dabei ist auch zu bedenken, dass die Wasserwirtschaft als wettbewerblicher, durch monopolistische Bottlenecks gekennzeichnete Ausnahmebereich organisiert ist, was die Wirksamkeit der Steuerungsfunktion wettbewerblicher Marktprozesse beeinflusst. Des Weiteren greifen wir auf die im Rahmen der Heuristik des technologischen Innovationsystems entwickelten Wirkungsmechanismen zurück, in denen die Wirkung von Politikinstrumenten auf die Funktionen eines Innovationsystems untersucht werden.⁷ Gerade wenn Politikmaßnahmen eine Erweiterung des Innovationsystems bewirken, z. B. durch Etablierung einer Herstellerverantwortung für bisher außerhalb des Innovationsystems der Wasserwirtschaft stehende Akteure, sind deutliche Innovationswirkungen zu vermuten. Die empirische Evidenz unserer Analysen gewinnen wir durch Auswertung bestehender Studien zu Instrumenten und Instrumentenvorschlägen, ergänzt um konzeptionelle Analysen.

⁶ Vgl. Grubb et al. 2021: Induced innovation in energy technologies and systems: a review of evidence and potential implications for CO2 mitigation; *Environmental Research Letters* 16 (2021) 043007; sowie

Popp 2019: *Environmental policy and innovation: a decade of research*; CESifo Working Papers; 7544/2019; ISSN 2364-1428 (electronic version)

⁷ Vgl. z. B. Hekkert, M.P.; Negro, S.O. (2009): Functions of innovation systems as a framework to understand sustainable technological change: Empirical evidence for earlier claims, *Technological Forecasting and Social Change*, 76, 584-594. oder Bergek, A.; Hekkert, M.; Jacobsson, S.; Markard, J.; Sandén, B.; Truffer, B. (2015): Technological innovation systems in contexts: Conceptualizing contextual structures and interaction dynamics. In: *Environmental Innovation and Societal Transitions* 16, S. 51–64. DOI: 10.1016/j.eist.2015.07.003.

Thematisch konzentrieren wir uns bei der Analyse auf die zentralen Aspekte, die hinsichtlich des politischen Handlungsspielraums und möglicher umsetzungsrelevanter Anknüpfungspunkte von Bedeutung sind (z. B. Nationale Wasserstrategie einschließlich der vorgesehenen Weiterentwicklung der Abwasserabgabe, Aktivitäten auf europäischer Ebene zur Novellierung verschiedener europäischer Regelungen). Entsprechend der Nationalen Wasserstrategie bilden "die Belastungen der Gewässer durch Stickstoff und Phosphor und eine Vielzahl anderer Stoffe (z. B. Spurenstoffe) und Einträge" eine zentrale Herausforderung. Als zweite Herausforderung ist die Ressource Wasser zunehmenden Gefährdungen ausgesetzt, die ihre Ursache insbesondere in der Klimakrise haben, so dass "alle Wassernutzungen in Stadt und Land und deren Wasserbedarf [...] an die möglichen ungünstigsten veränderten Bedingungen angepasst werden" (Nationale Wasserstrategie, S. 7) müssen.

5 Problemfeld Wasserverschmutzung

In diesem Kapitel werden sowohl preisliche Maßnahmen als auch "weiche" Politikinstrumente hinsichtlich ihrer innovationsfördernden Wirkungen untersucht.

Beeinträchtigungen der Wasserqualität durch Wasserverschmutzung können an verschiedenen Stellen Maßnahmen notwendig machen, die auch mit unterschiedlichen ökonomischen Effekten verbunden sind. Entsprechend dem Verursacherprinzip wäre grundsätzlich an der Ursache anzusetzen (z. B. Vermeidung des Eintrags von Schadstoffen), aus unterschiedlichen Gründen (z. B. mangelnde Praktikabilität oder Effektivität) kann jedoch auch Handlungsbedarf bei der Nutzung des Wassers bspw. bei der Abwasser- oder auch bei der Trinkwasseraufbereitung bestehen. Hinsichtlich der Übernahme der dabei jeweils entstehenden Kosten, die auch die Anreizwirkung auf die Generierung von Innovationen beeinflussen, bestehen zusätzlich unterschiedliche Optionen.

Entsprechende Fragestellungen werden aktuell im Zusammenhang mit der Belastung der Gewässer mit Mikroverunreinigungen bzw. Spurenstoffen diskutiert. Ergänzend zu dem vom Fraunhofer ISI koordinierten und wissenschaftlich begleiteten Stakeholder-Dialog zur Spurenstoffstrategie des Bundes⁸ wurde durch das Fraunhofer ISI in 2019 ein "Finanzierungssymposium Spurenstoffe" organisiert⁹. Hier bestand Konsens hinsichtlich einer grundsätzlich bestehenden Hersteller- und Produktverantwortung sowie hinsichtlich des Novellierungsbedarfs der Abwasserabgabe.

Die Novellierung der Abwasserabgabe ist Ziel der aktuellen Legislaturperiode. Außerdem wurde auf europäischer Ebene von der Kommission das Prinzip der erweiterten Herstellerverantwortung durch den aktuellen Entwurf zur Novellierung der EU-Kommunalabwasserrichtlinie (KARL) eingebracht, das aktuell intensiv diskutiert wird. Bereits im Vorfeld wurde durch den BDEW (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V.) ein "Fondsmodell" erarbeitet und vorgeschlagen zur verursachergerechten Finanzierung der Abwasserreinigung und Schaffung von Anreizen im Sinne des Verursacherprinzips¹⁰.

Die verschiedenen Ansatzpunkte für Maßnahmen und Instrumente hinsichtlich des Problemfelds Wasserverschmutzung üben damit sehr unterschiedliche innovationsfördernde Anreize aus, die entweder bei Akteuren an der Quelle der Verschmutzung ansetzen oder stärker Wasseraufbereitung und Wassernutzung betreffen.

Eine erhöhte Abwasserabgabe kann bspw. zu einem erhöhten Abwasserentgelt und damit zu einer Verteuerung der Nutzung der Ressource Wasser führen (s. u.) oder bzw. und - je nach der Ausgestaltung der Abgabe hinsichtlich der Verrechnungsmöglichkeiten mit Maßnahmen zur Abwasserreinigung - zu (zusätzlichen) Anreizen für entsprechende Innovationen bei den Techniken und Konzepten zur Emissionsminderung.

Auch bei der auf europäischer Ebene aktuell diskutierten **erweiterten Herstellerverantwortung** hinsichtlich der Gewässerbelastungen mit Spurenstoffen können durch die Ausgestaltung (einbezogene Branchen, relevante Produkte und Stoffe) gezielt Innovationsanreize ausgelöst werden.

5.1 Abwasserabgabe

Die Abwasserabgabe (AbwA) trat nach Verabschiedung des Abwasserabgabengesetzes (AbwAG) im September 1976 am 1.1.1978 in Kraft. Als umweltpolitisches Lenkungsinstrument wurde mit ihrer

⁸ <https://dialog-spurenstoffstrategie.de/spurenstoffe/>

⁹ <https://www.isi.fraunhofer.de/de/competence-center/nachhaltigkeit-infrastruktursysteme/projekte/finanzierungssymposium-spurenstoffe.html>

¹⁰ https://www.bdew.de/media/documents/20220112_Gutachten_zur_Finanzierung_der_Elimination_von_Spurenstoffen.pdf

Hilfe in Deutschland erstmals der Inanspruchnahme der Natur ein Preis zugeordnet und damit die Möglichkeit eröffnet, die mit der Inanspruchnahme verbundenen externen Kosten zu internalisieren. Dadurch stellen diese Kosten für die Abgabepflichtigen einen Anreiz dar, weniger Schadstoffe zu emittieren und damit die Abgabelast zu reduzieren. Mit dieser Zielrichtung wurden bzw. werden innovative Technologien eingesetzt, so dass die Abgabe grundsätzlich eine innovationsfördernde Wirkung entfaltet. Wie groß diese Wirkung ist, hängt von den Details der Abgabbeerhebung und den spezifischen Umständen seitens der Abgabeschuldner ab.

5.1.1 Aufkommen der Abwasserabgabe

Abgabepflichtig ist zunächst jede/r, die/der Abwasser unmittelbar in ein Gewässer einleitet oder in den Untergrund verbringt – die sogenannten „Direkteinleiter“. Die Höhe der Abgabe bemisst sich im Falle des Schmutzwassers nach den eingeleiteten Mengen („Frachten“) festgelegter, schädlicher Substanzen oder Substanzgruppen, die anhand im Gesetz ebenfalls festgelegter Faktoren in „Schadeinheiten“ umgerechnet werden (vgl. Tabelle 8). Im Falle von Kleineinleitungen und Niederschlagswasser aus öffentlichen Kanalisationen werden die Schadeinheiten auf Basis der Zahl der angeschlossenen Einwohner:innen und bei Niederschlagswasser von gewerblichen Flächen nach der Größe der befestigten Fläche festgesetzt.

Tabelle 8: Für die Berechnung der Abwasserabgabe auf Schmutzwasser maßgebliche Schadschubstanzfrachten im Jahr 2019 und Faktoren zur Berechnung der Schadeinheiten

Schadschubstanzen (Parameter)	Eingeleitete Fracht (Mg)			Fracht pro Schad- einheit (kg)	Anzahl Schad- ein- heiten (in 1000)	Abgabe (Mio. Euro)
	Öffentl. Abwasser- behand- lung	Industriel- le Direkt- einleiter	Gesamt			
CSB (Sauerstoff)	241.504	90.592	332.096	50	6.641,9	237,7
Phosphor	5.249	1.394	6.643	3	2.214,4	79,3
Anorg. Stickstoff (Nges.)	68.752	38.780	107.532	25	4.301,3	153,9
Adsorbierbare organisch geb. Halogene (AOX)	134	186	320	2	160,1	5,7
Quecksilber	0,3	0,1	0,4	0,02	21,6	0,8
Cadmium	2,6	0,4	3,0	0,1	29,8	1,1
Chrom	8,0	15,6	23,6	0,5	47,2	1,7
Nickel	19,2	24,6	43,8	0,5	87,6	3,1
Blei	7,8	4,3	12,1	0,5	24,3	0,9
Kupfer	32,1	39,7	71,8	1	71,8	2,6
Giftigkeit ggü. Fischeiern	n.d.	n.d.				
Insgesamt					13.600,0	486,7

Quelle: eigene Darstellung Fraunhofer ISI auf Basis von DeStatis (2022, 2023), THRU (2024), AbwAG

Pro Schadeinheit ist ein Abgabesatz zu entrichten, der zunächst von 12 DM im ersten Jahr der Fälligkeit 1981, auf 70 DM im Jahr 1997 anstieg und danach, von der Umrechnung in 35,79 Euro abgesehen, unverändert blieb. Die Anwendung dieses Abgabesatzes auf die in Tabelle 8 berechnete Gesamtanzahl von Schadeinheiten ergibt für das Jahr 2019 und für ganz Deutschland ein theoretisches Aufkommen der Abwasserabgabe auf Schmutzwasser in Höhe von rund 487 Mio. Euro. Im Gegensatz dazu betrug das tatsächliche Gesamtaufkommen der Abwasserabgabe im Durchschnitt der Jahre 2014 bis 2018 269,6 Mio. Euro (aktuellster verfügbarer Wert). Davon entfällt auf das Schmutzwasser laut Gawel et al. (2021) mit 84,4 % der Hauptanteil in Höhe von 227,6 Mio. Euro. Das heißt: basierend auf den hier vorgenommenen Abschätzungen werden vom theoretisch möglichen Aufkommen nur 46,7 % realisiert.

5.1.2 Minderungsmöglichkeiten der Abwasserabgabe

Zurückzuführen ist das auf verschiedene, durch das AbwAG eingeräumte Möglichkeiten, die Abgabenlast zu reduzieren. Hauptsächlich zum Tragen kommt hier die Halbierung des Abgabensatzes in allen Fällen, in denen die Anlagenbetreiber den gesetzlichen Anforderungen nach Einhaltung des Standes der Technik genügen. Der Stand der Technik ist hinsichtlich der erlaubten Emissionen für eine Vielzahl von Industriebranchen in den Anhängen der Abwasserverordnung festgeschrieben, diese wurden jedoch zumeist in den letzten Jahren nicht angepasst, so dass er von sehr vielen Einleitern eingehalten wird. Nur in den Fällen, in denen der Stand der Technik erst vor kurzem aktualisiert oder zum ersten Mal festgeschrieben wurde, ist damit zu rechnen, dass nur ein Teil der Direkteinleiter ihn einhält.

Eine weitere Möglichkeit der Abgabeminderung besteht in der Verrechnung der Abgabenlast mit Investitionen in technische Anlagen, die eine Reinigung des Abwassers über den Stand der Technik hinaus ermöglichen. Auch hier ist die Frage entscheidend, wie lange der Stand der Technik schon festgeschrieben ist. In den Fällen, in denen seit längerem keine Aktualisierung stattgefunden hat, dürfte es leichter sein, über den (damaligen) Stand der Technik hinausgehende technische Anlagen zu installieren und die damit verbundene Verrechnungsmöglichkeit zu nutzen, als wenn dies erst vor kurzem geschehen ist. Einigen Einleitern gelingt es mit dieser Verrechnung, ihre Abgabenlast zeitweise auf null zu senken (Gawel et al. 2014). Insgesamt beträgt der Anteil der Verrechnungen nach Abschätzung von Gawel et al. (2021) rund 30 % des theoretischen Gesamtaufkommens der Abgabe.

Die Wirkung der Halbierung des Abgabensatzes und der Verrechnung mit den Investitionskosten spiegelt sich auch im zeitlichen Verlauf des Abwasserabgabeaufkommens wider, das sich von rund 540 Mio. Euro im Jahr 1994 bis zum Zeitraum 2014 bis 2018 auf rund 270 Mio. Euro halbiert hat. In den 1990er und zu Beginn der 2000er Jahre dürfte ein nennenswerter Anteil dieses Rückgangs auf die in diesem Zeitraum erfolgte Ertüchtigung von Kläranlagen insbesondere im Osten Deutschlands zum verbesserten Rückhalt von Stickstoff (N) und Phosphor (P) zurückzuführen sein. Danach ist der überwiegende Teil jedoch nicht auf die geringere Belastung der Umwelt (entsprechend der Anzahl der Schadeinheiten) als vielmehr auf die Nutzung der Verrechnungsmöglichkeit mit den Investitionskosten zurückzuführen (Gawel und Schindler 2014).

Eine weitere Minderungsmöglichkeit bzgl. der Abgabe besteht darin, den Bescheidwert für die genehmigten Schadstoffimmissionsfrachten herabzusetzen. Dazu muss man wissen, dass die Veranlagung der Abwasserabgabe nicht auf der Grundlage der tatsächlich in Gewässer eingeleiteten Schadstofffrachten geschieht, sondern i. d. R. auf Basis der im Genehmigungsbescheid festgelegten Frachten. Letzteres hat den Vorteil, dass zur Feststellung der Einhaltung der genehmigten Frachten nur eine begrenzte Zahl von amtlichen Messungen erforderlich ist. Kann ein Einleiter aufgrund bestimmter Umstände absehen, dass er in einem zukünftigen Zeitabschnitt voraussichtlich mindestens 20 % weniger Schadstoffe einleiten wird als genehmigt wurden, kann er für diesen Zeitraum

die Herabsetzung des Bescheidwertes beantragen und muss entsprechend weniger Abwasserabgabe zahlen. Allerdings muss er in diesem Fall die Einhaltung der herabgesetzten Grenzwerte mittels einer lückenlosen Reihe amtlicher Messungen nachweisen, die entsprechend höhere Kosten nach sich ziehen. Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit ist die Herabsetzung des Bescheidwertes daher auf Betreiber von Anlagen mit größeren Schadstofffrachten, insbesondere kommunalen Kläranlagen der Größenklassen 4 und 5, beschränkt.¹¹

Aus innovationsökonomischer Sicht erscheint sowohl die Halbierung des Abgabensatzes als auch die Möglichkeit der Verrechnung mit Investitionen im Falle von Ertüchtigungen, die über den Stand der Technik hinausgehen, grundsätzlich sinnvoll. Damit diese Vergünstigungen die gewünschte Wirkung entfalten und einen Anreiz für eine Ertüchtigung auf oder über den Stand der Technik hinaus bieten, ist es erforderlich, dass sie nur so lange gewährt werden, wie der Stand der Technik noch nicht von der Mehrheit der Emittenten implementiert wurde. Ist eine solche Differenzierung wegen einer mangelnden Datengrundlage oder eines zu hohen Verwaltungsaufwandes nicht möglich, sollten die Vergünstigungen nicht gewährt werden, da sie dann zu Wettbewerbsverzerrungen zwischen verschiedenen Teilmärkten führen, die die Anforderungen an den Stand der Technik besser oder schlechter erfüllen können (siehe auch Gawel et al. 2014).

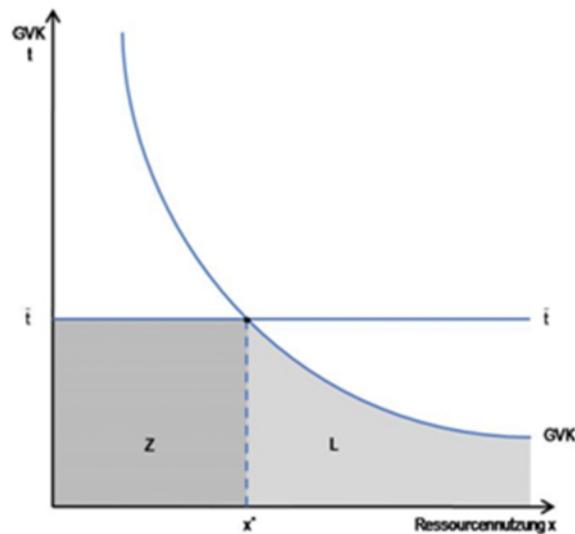
5.1.3 Höhe des Abgabensatzes

Die Höhe des Abgabensatzes ist entscheidend für die Anreizwirkung der Abwasserabgabe zur Reinigung verschmutzter Abwässer und damit der Entlastung der Gewässer. Eine Methode zur Bestimmung des geeigneten Abgabensatzes besteht im „Standard-Preis-Ansatz“. Dabei wird unterstellt, dass ein Umweltziel existiert, das der (gerade noch) erlaubten Immissionsmenge an Schadstoffen entspricht. Zur Erreichung dieses Ziels gelangen zunächst die kostengünstigsten Technologien zum Einsatz und dann zusätzliche in der Reihenfolge zunehmender Kosten. Dies geschieht so lange, bis die Kosten zur Beseitigung einer Schadeinheit den Abgabensatz t überschreiten. Die unter diesen Bedingungen anfallenden Gesamtkosten für die Vermeidung von Schadstoffimmissionen stellen dann aus Abgabensicht die „Lenkungslast“ L dar, die noch verbleibenden Ausgaben für die Begleichung der Abgabe die „Zahllast“ Z (vgl. Abbildung 23 und Gawel 2014)

Aus innovationsökonomischer Sicht geht dabei der primäre Effekt der Abwasserabgabe von den Substitutionseffekten aus, die die Lenkungslast auf die eingesetzte Technologie ausübt und die sich in der verbesserten Reinigung von Schmutzwasser, in Kläranlagenbau und -ertüchtigung, in der vermehrten Kreislaufführung von Wasser, aber bspw. auch im Einsparen von Wasser und dementsprechend geringeren Abwassermengen niederschlägt. Sekundäre Effekte der Abwasserabgabe gehen von der Zahllast aus und können sich in Markteffekten wie Produktionseinschränkungen, Marktaustritten betroffener Unternehmen oder preisbedingten Nachfragerückgängen bei den entsprechenden Produkten niederschlagen. Die Zahllasteffekte sind dadurch nicht auf die abgabepflichtigen Unternehmen beschränkt, sondern können sich durch Überwälzung über die gesamte Wertschöpfungskette ausbreiten. Wichtig ist, dass die Abgabe und die von ihr ausgehenden Lasten bei Erreichen des Umweltziels nicht aufgegeben werden, wie von einigen Kritikern gefordert, sondern erhalten bleiben, damit der Anreiz zum Einsatz der Reinigungstechnologie nicht verloren geht (Gawel 2014).

¹¹ Stellt sich im Zuge der Kontrollmessungen heraus, dass die im ursprünglichen oder herabgesetzten Bescheid angegebenen, zulässigen Maximalfrachten überschritten wurden, muss die Abgabe für ein Mehrfaches der Überschreitungsmenge nachgezahlt werden, was die Einleiter nach Möglichkeit vermeiden wollen. Sie werden daher im Regelbetrieb eine je nach Schwankungsbreite mehr oder weniger deutliche Unterschreitung der Bescheidwerte anstreben. Das hat zur Folge, dass die in Tabelle 8 angegebenen, auf Bescheidwerten beruhenden Frachten höher sind als die tatsächlichen Frachten.

Abbildung 23: Standard-Preis-Ansatz zur Festlegung der Höhe einer Abgabe



t =Abgabenhöhe, GVK=Gesamtvermeidungskosten, Z=Zahllast, L=Lenkungslast

Quelle: Gawel (2014)

Der dauerhafte Erhalt der Abgabe entspricht auch dem Auftrag aus Artikel 9 der EU-Wasserrahmenrichtlinie, dem „Grundsatz der Deckung der Kosten der Wasserdienstleistungen einschließlich umwelt- und ressourcenbezogener Kosten“ Rechnung zu tragen und damit der Nutzung der Natur und ihrer Ressourcen dauerhaft einen Preis zuzuordnen. In der Vergangenheit ist es auch mit Hilfe der Abwasserabgabe gelungen, drängenden gewässer-ökologischen Herausforderungen Genüge zu tun und die Emissionen einiger Schadstoffe in bedeutendem Umfang zu reduzieren. Eine systematische Prüfung, ob mit der Abwasserabgabe tatsächlich alle Umwelt- und Ressourcenkosten internalisiert wurden, hat unseres Wissens aber bislang nicht stattgefunden. Beispielhaft und überschlägig könnte eine solche Überprüfung für die Immission der Nährstoffe Stickstoff (N) und Phosphor (P) in Gewässer durchgeführt werden, indem die in der Methodenkonvention 3.1 des Umweltbundesamtes (Matthey und Bünger 2020) festgelegten Schadenskosten der beiden Nährstoffe mit dem Abgabensatz der Abwasserabgabe verglichen werden. Dem AbwAG zufolge umfasst eine Schadeinheit 25 kg N bzw. 3 kg P und jede Schadeinheit kostet aktuell 35,79 Euro. Das entspricht einem spezifischen Abgabensatz von 1,43 Euro/kg N und 11,93 Euro/kg P. In der Methodenkonvention 3.1 ist dagegen für die mit der Emission von N in Oberflächengewässer verbundenen Schadenskosten ein Wert von 3,63 Euro pro kg angegeben, für die entsprechende Emission von P ein Wert von 76,85 Euro pro kg.¹² Der Vergleich beider Datensätze deutet darauf hin, dass die Abwasserabgabe in beiden Fällen deutlich zu niedrig ist, um die mit der Emission verbundenen Schäden vollständig zu internalisieren. Würde dieser Fehler durch eine entsprechende Anpassung korrigiert, hätte dies auch Auswirkungen auf den Einsatz noch fortschrittlicherer Vermeidungstechnologien. Andererseits würde sich die Abgabenlast zumindest für diese beiden Parameter deutlich erhöhen. Ob und in welchem Umfang dies als akzeptabel erachtet wird, ist unklar. Aktuell schlägt die Abwasserabgabe bei den öffentlichen Abwasserentsorgern nur mit rund zwei Prozent der Kosten zu Buche (DWA 2014). Gawel et al. (2021) gehen daher davon aus, dass „auch nach einer etwaigen nominalen Erhöhung der Abwasserabgabe ... die dadurch ausgelöste Zahllast klar innerhalb eines von anderen Kostenpositionen dominierten Rahmens“ bliebe.

¹² Die in der Methodenkonvention angegebenen Werte sind doppelt so hoch wie die hier ausgewiesenen, weil jeweils nur einer von beiden, der limitierende, zum Ansatz kommt. Im Kontext der Abwasserabgabe kommen N und P gleichzeitig zum Ansatz, daher können, um Doppelzählungen zu vermeiden, beide nur zur Hälfte berücksichtigt werden.

5.1.4 Reformoptionen für die Abwasserabgabe

Nachdem das AbwAG über mehr als drei Jahrzehnte weitgehend unverändert in Kraft war, werden seit mehr als zehn Jahren verschiedene Reformansätze diskutiert, die zwischenzeitlich teilweise Eingang in den Entwurf einer Novelle gefunden haben (siehe Anlage 1 in Gawel et al. 2021). Insbesondere geht es darum, die Lenkungswirkung des AbwAG dahingehend zu überarbeiten, dass der Gewässerschutz gestärkt wird, und dabei mögliche Zusatzbelastungen für die Einleiter und die Vollzugsbehörden zu berücksichtigen (vgl. Gawel et al. 2014). Dabei werden insbesondere die folgenden Ansätze verfolgt:

- **Abgabepflichtige:** Grundsätzlich sollten nicht nur Direkteinleiter abgabepflichtig sein, sondern alle, die in Gewässer einzuleitende Schadstofffrachten erzeugen. Dazu gehören auch die sogenannten Indirekteinleiter, also die Unternehmen, die ihre Abwässer den öffentlichen Abwasserbehandlern zuführen. Von daher wäre es wünschenswert, die Abgabelast von den Direkteinleitern auf die Indirekteinleiter zu überwälzen. Dafür fehlt es aber bislang nicht nur an der erforderlichen Rechtsgrundlage. Es wird außerdem eingewendet, dass die Überwälzung auch mit erheblichem zusätzlichem Kontroll-, Dokumentations- und Durchführungsaufwand verbunden wäre. Außerdem könnten zusätzliche Reinigungskapazitäten der Indirekteinleiter zur Vermeidung der Abgabe zu unwirtschaftlichen Überkapazitäten bei den Abwasserbehandlern führen. Trotz dieser Bedenken räumt der Novellentwurf des AbwAG in § 15 die Möglichkeit ein, dass die Abgabe einschließlich verrechneter Anteile (d.h. verursachergerecht) auf Dritte abgewälzt werden kann.
- **Bemessungsgrundlage:** Die Bemessung der Abgabe erfolgt aktuell nicht anhand der tatsächlich eingeleiteten Schadstofffracht, sondern anhand behördlich zugestandener Schadstoffkontingente (Bescheidwerte). Daraus resultieren verminderte Anreize zu weitergehenden Frachtreduktionen. Auch die Möglichkeit der Heraberkklärung ist hier nur teilweise zielführend, da auch in diesem Fall bei der Bemessung Reserven erforderlich sind, um drohende Strafzahlungen zu vermeiden. Vorzuziehen wäre stattdessen die optionale Messlösung, bei der für genau die Schadstoffemissionen gezahlt würde, die verursacht wurden. Die direkteste, d. h. effizienteste Lenkungswirkung wäre die Folge. Der Kontroll- und Durchführungsaufwand wäre nicht größer als bei der Heraberkklärung, die dadurch obsolet würde und gestrichen werden könnte. Im Novellentwurf des AbwAG werden die Ermittlung aufgrund des Bescheides (§ 7) und die Heraberkklärung (§ 8) weiterhin vorgesehen, mit § 9 wird gleichzeitig die Messlösung als zusätzliche Option eröffnet.
 Problematisch ist bei den Bescheidwerten und der Heraberkklärung auch das Verfahren zur Berechnung der Schadeinheiten im Fall der Überschreitung der Überwachungswerte und das nicht nur aufgrund des damit verbundenen Risikos und der einzukalkulierenden Sicherheitsreserven. Die Regelungen im Vollzug sind darüber hinaus länderspezifisch unterschiedlich und ziehen Wettbewerbsverzerrungen nach sich.
- **Parameterkatalog:** Bei den bestehenden Substanzen oder Substanzgruppen (= Parameter) gibt es keinen Hinweis auf Obsoleszenz. Lediglich aus Praktikabilitätsgründen werden im Fall von CSB (Maß für Gehalt an organischer Substanz) und Stickstoff der Ersatz durch TOC (total organic carbon) bzw. gesamter gebundener Stickstoff (zusätzlich organ. Stickstoff) erwogen. Außerdem sollte der Parameter Fischgiftigkeit bzgl. Salzgehalt und Temperatur des Gewässers verbessert werden. Zusätzlich zu berücksichtigen ist die Gruppe der Mikroverunreinigungen, in der u. a. Arzneimittel, Biozide und Hormone sowie deren Abbauprodukte zusammengefasst werden. Sie werden von der herkömmlichen Abwasserreinigung nur unzureichend erfasst, gelangen aktuell in erheblichem Umfang in die Gewässer und gefährden damit unsere Wasserressourcen. Eine auf Mikroverunreinigungen erhobene Abwasserabgabe dürfte der Erforschung und Entwicklung von Anlagen zu ihrer Eliminierung oder auch von quellenorientierten

Ansätzen zur Vermeidung bzw. Substitution entsprechender Stoffe zusätzlichen Schub verleihen.

Im Novellentwurf des AbwAG wird in Anlage 1 der TOC als Alternative zum CSB zusätzlich aufgenommen, alle anderen Parameter bleiben unverändert. Außerdem wird in § 13 und in Anlage 2 ein Verfahren zur Berücksichtigung der Spurenstoffelimination ergänzt, wobei die Bemessung der Abgabe pauschal in Abhängigkeit von Menge und Herkunft des Abwassers sowie davon erfolgt, ob eine Spurenstoffelimination (sog. 4. Reinigungsstufe) stattfindet (dann keine Abgabe) oder nicht.

- **Abgabensatz:** Bezüglich der Höhe des Abgabensatzes wurde bereits festgestellt, dass die Festlegung steigender Sätze vor 40 Jahren mit Verabschiedung des AbwAG erfolgte und nach 1997 keine weitere Anpassung erfolgte. Folglich hat die reale Abgabenlast seit 1997 infolge Inflation um mehr als 25 % abgenommen. Um eine weitergehende Erosion der Lenkungslast und damit der Innovationsanreize zu verhindern, sollte für die Zukunft eine indexbasierte Inflationsanpassung eingeführt werden. Diese Inflationsanpassung ist in § 16 des Novellentwurfs des AbwAG tatsächlich vorgesehen.
- **Parameterspezifische Faktoren:** Unabhängig von der Höhe des (einheitlichen) Abgabensatzes haben die Ausführungen am Ende von Abschnitt 5.1.3 gezeigt, dass die parameterspezifischen Faktoren, die zur Umrechnung von Frachten in Schadeinheiten verwendet werden, möglicherweise auch hinsichtlich ihrer relativen Größe angepasst werden müssen. Im Novellentwurf des AbwAG sind dazu keine Veränderungen zu verzeichnen. Gleiches gilt für die nachfolgende Option.
- **Abgabeminderungsoptionen:** Am Ende von Abschnitt 5.1.3 wurde dargelegt, warum der Stand der Technik als Maßstab für die Halbierung des Beitragssatzes und die Möglichkeit der Verrechnung mit Investitionen einer genaueren zeitlichen Spezifizierung bedarf. Um eine Erosion der Lenkungswirkung zu vermeiden, erscheint es darüber hinaus sinnvoll, die Verrechnung mit Investitionen dahingehend zu begrenzen, dass Abgabeminderung auf Null ausgeschlossen ist. Stattdessen könnte sie auf maximal 50 % begrenzt werden.
- **Niederschlagswasserabgabe:** Die Anzahl der Schadeinheiten wird zur Reduzierung des Verwaltungsaufwandes nicht in Abhängigkeit von den tatsächlichen Schadstofffrachten, sondern pauschal auf Basis der entwässerten Fläche (nicht-öffentlich) oder der angeschlossenen Einwohnerwerte (öffentliche Kanalisation) bestimmt. Da das Niederschlagswasseraufkommen mit der Größe der entwässerten und versiegelten Fläche steigt, erscheint der Flächenmaßstab in diesem Zusammenhang generell sinnvoller als die Anzahl der angeschlossenen Einwohner. Zusätzlich könnten Abgabeermäßigungen bei nachgewiesenem Einsatz zusätzlicher Behandlungsmaßnahmen sinnvoll sein. Im Novellentwurf des AbwAG wird diesem Einwand Rechnung getragen und die Berechnung der Abgabe erfolgt generell auf Basis der entwässerten Fläche.
- **Kleineinleiterabgabe:** Für Kleineinleiter von bis zu 8 Kubikmeter pro Tag behandelten Schmutzwassers (z.B. Kleinkläranlagen) werden die Schadeinheiten pauschal ermittelt und die Abgabe von der Kommune erhoben. Die Lenkungswirkung erfolgt folglich nicht durch die Abgabe, sondern durch Ordnungsrecht (d.h. für die Genehmigung zu erfüllende Voraussetzungen). Es gibt jedoch altersbedingt große Unterschiede bei der Wirksamkeit der Kleinkläranlagen und der zugrundeliegenden Technologien. Das ist problematisch, da die Gesamtschadstoffbelastung durch Kleineinleiter aufgrund der großen Zahl der Anlagen relativ hoch ist. Um die Wirksamkeit der Kleineinleiterabgabe im Hinblick auf die Lenkungswirkung zu erhöhen, wäre es notwendig, die Kleineinleiterabgabe auf die Betreiber der Anlagen zu überwälzen. Darüber hinaus erscheint eine Befreiung von der Kleineinleiterabgabe sinnvoll, wenn die Anlage den Stand der Technik nachweislich einhält, regelmäßig gewartet wird und eine gesicherte Schlammabfuhr gewährleistet ist. Im Novellentwurf des AbwAG sind keine der für

die Kleininleiterabgabe als sinnvoll erachteten Anpassungen berücksichtigt. Vielmehr wurden sogar die bisher in § 12, Absatz 1 gemachten Vorschriften zur Berechnung der Schadeinheiten gestrichen und dem Länderrecht überantwortet.

Mit Blick auf die erwünschte Innovationswirkung ergibt sich aus den dargestellten Reformoptionen die Forderung, die Abgabe hinsichtlich ihrer Höhe und der Minderungsoptionen noch stärker an den mit den Emissionen verbundenen Umweltbelastungen und damit an den technischen Potenzialen zur Minimierung dieser Belastungen auszurichten.

5.1.5 Verwendung der Abgabe: Zweckbindung

Das Aufkommen der Abwasserabgabe steht nach § 1 AbwAG den erhebenden Ländern zu und kann von ihnen dazu verwendet werden, den „durch den soll dieses Gesetzes ... entstehenden Verwaltungsaufwand“ zu decken. Leider sind keine Angaben darüber verfügbar, wie hoch der Anteil des Aufkommens ist, der dafür verwendet wird.

Darüber hinaus ist die Aufkommensverwendung nach § 13 AbwAG zweckgebunden für Maßnahmen, die der „Erhaltung oder Verbesserung der Gewässergüte dienen“. Zu diesen Maßnahmen zählen laut § 13 Absatz 2 insbesondere

- 1) der Bau von Abwasserbehandlungsanlagen,
- 2) der Bau von Regenrückhaltebecken und Anlagen zur Reinigung des Niederschlagswassers,
- 3) der Bau von Ring- und Auffangkanälen an Talsperren, See- und Meeresufern sowie von Hauptverbindungssammlern, die die Errichtung von Gemeinschaftskläranlagen ermöglichen,
- 4) der Bau von Anlagen zur Beseitigung des Klärschlammes,
- 5) Maßnahmen im und am Gewässer zur Beobachtung und Verbesserung der Gewässergüte wie Niedrigwasseraufhöhung oder Sauerstoffanreicherung sowie zur Gewässerunterhaltung,
- 6) Forschung und Entwicklung von Anlagen oder Verfahren zur Verbesserung der Gewässergüte,
- 7) Ausbildung und Fortbildung des Betriebspersonals für Abwasserbehandlungsanlagen und andere Anlagen zur Erhaltung und Verbesserung der Gewässergüte.

Es geht also einerseits (Maßnahmen 1 bis 4) um die Ertüchtigung der vorhandenen Infrastruktur, wobei der Fokus nicht unbedingt auf dem Einsatz neuester Technologie, sondern vielmehr auf der Absicherung des Bestandes und dem Füllen bestehender Lücken liegt. Hinzu kommt (Maßnahme 5) der Schutz der Einleitgewässer. Dazu zählen auch Maßnahmen zur Gewässerrenaturierung (Selbstreinigungskräfte) und Abwassermengenreduzierung. Andererseits dienen die Maßnahmen 6 und 7 explizit der Erforschung und Entwicklung neuer Technologien, mit deren Hilfe die Gewässergüte verbessert werden kann.

Wie schon bei der Deckung des Verwaltungsaufwandes sind auch hier keine umfassenden Angaben darüber öffentlich verfügbar, welcher Anteil des Aufkommens insgesamt oder in einzelne Maßnahmen nach § 13 fließt. Eine größere Transparenz hinsichtlich der Mittelverwendung dürfte sich sicher positiv auf die Akzeptanz der Abwasserabgabe auswirken. Das gilt umso mehr, wenn in Zukunft Abgabensätze erhöht oder Minderungs- und Verrechnungsmöglichkeiten eingeschränkt oder gestrichen werden sollten. Zu den Reformvorschlägen für ein zukünftiges AbwAG zählt daher die Forderung nach einer (öffentlich einsehbaren) Berichtspflicht gegenüber dem Bund (Gawel et al. 2014). In der Novellierung des AbwAG findet dieser Vorschlag in § 22 Berücksichtigung (Gawel et al. 2021).

Weitere Reformvorschläge umfassen zusätzliche Verwendungszwecke wie bspw. die Sanierung von Kanälen oder Maßnahmen zur Anpassung an den demographischen und Klimawandel. Das Abwas-

serabgabenaufkommen darf aber nicht dafür verwendet werden, sowieso vorgeschriebene (obligatorische) Maßnahmen kostendeckend zu gestalten, da es sich dabei um eine unerwünschte Verschönungssubventionierung handeln würde (Gawel et al. 2014), von der kein Innovationsanreiz ausgeht. Stattdessen sollten nur über obligatorische Maßnahmen subventioniert werden. Während in der Novellierung des AbwAG in § 21 die Liste der förderwürdigen Maßnahmen in einigen Punkten spezifiziert und (insbesondere um Eliminierung von Spurenstoffen)¹³ erweitert wurde, fand der Vorschlag zur Vermeidung von Verschönungssubvention bislang keine Berücksichtigung. Um die Innovationswirkung der Abgabeverwendung zu stärken wäre es wünschenswert, die Maßnahmen 6) und 7) laut § 13 Absatz 2 AbwAG zulasten anderer Optionen mit stärkerem Subventionscharakter zu stärken.

5.2 Pestizidabgabe

Pflanzenschutz ist auf vielfältige Weise möglich: durch vorsorgende und angepasste Bewirtschaftung und mit mechanischen, biologischen und chemischen Maßnahmen zur Minimierung von Schaderregern. Chemische Pflanzenschutzmittel werden dabei als besonders einfach handhabbar und günstig beworben, haben aber auch besonders schwerwiegende Auswirkungen auf die Umwelt und die Gesundheit von Anwendern und anderen Menschen, die mit ihnen in Kontakt kommen. Hervorzuheben sind in diesem Zusammenhang der besorgniserregende Rückgang der biologischen Vielfalt und das zunehmende Auftreten von Pestiziden im Grundwasser und anderen Wasserquellen. Deshalb ist laut der EU-Richtlinie 2009/128/EG ab 2014 ein integrierter Pflanzenschutz vorgeschrieben, der nicht-chemischem Pflanzenschutz Vorrang einräumt. Zudem will die EU-Kommission in ihren 2020 veröffentlichten Strategien zum Green Deal den Einsatz von Pestiziden mit höherem Risiko bis 2030 halbieren. In Deutschland hat außerdem die Bundesregierung einen Nationalen Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (NAP) veröffentlicht, mit dem die Belastung von blütenbestäubenden Insekten sowie das Risikopotenzial für Nicht-Zielorganismen bis 2023 deutlich reduziert werden sollten. Offen bleibt bei diesen Plänen, wie die genannten Ziele erreicht werden können. Ordnungsrechtliche Mittel, d.h. detaillierte Vorschriften für den Einsatz einzelner Pestizide, erscheinen wenig zielführend, weil der notwendige Überwachungsaufwand viel zu groß wäre. Viel geeigneter erscheint dagegen eine Abgabe, die beim Verkauf der Pestizide erhoben wird und deren Höhe sich an den möglichen Schäden orientiert, die durch ihren Einsatz in Ökosystemen und hinsichtlich der menschlichen Gesundheit verursacht werden. Für die Landwirtschaft als primärer Nutznießer des Pestizideinsatzes erhöhen sich durch die Abgabe die Kosten der Bewirtschaftung entsprechend, und es werden Anreize gesetzt, auf andere Pflanzenschutzmaßnahmen umzustellen oder, soweit das nicht möglich ist, einen Produktivitätsrückgang in Kauf zu nehmen, d.h. die Intensität der Bewirtschaftung zu reduzieren (Möckel et al. 2021). Andere, innovative Pflanzenschutzmaßnahmen umfassen hier sowohl die Entwicklung weniger umweltschädlicher Pestizide seitens der Hersteller als auch neuer, umweltschonender Behandlungsstrategien – auf Basis chemischer Pestizide, aber auch ohne Pestizideinsatz – in der Landwirtschaft.

In der EU wird eine Pestizidabgabe in verschiedenen Ländern praktiziert und ein Vergleich der verschiedenen Anwendungsprinzipien kann Hinweise für eine möglichst effektive Umsetzung auch in Deutschland geben. Effektive Umsetzung ist dabei gleichbedeutend mit Wirksamkeit beim Vermeiden ökologischer und gesundheitlicher Schäden. Voraussetzung dafür ist in den meisten Fällen eine Umstellung der anzuwendenden Pflanzenschutzverfahren, woraus sich unmittelbar ein innovationsökonomischer Bezug ergibt. Ein Innovationsanreiz sollte dabei nicht auf inkrementelle Innovationen

¹³ Insbesondere in Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen wurde bereits eine Reihe von kommunalen Kläranlagen zwecks Spurenstoffelimination mit der sogenannten vierten Reinigungsstufe ausgestattet, und eine ebenso große Zahl befindet sich in der Planung. Das Aufkommen aus der Abwasserabgabe spielt bei ihrer Finanzierung eine wichtige Rolle.

bei den Herstellern beschränkt bleiben, sondern auch auf neue Akteure und nicht-Pestizid-basierte Pflanzenschutzverfahren Wirkung ausüben.

Eine Abgabe auf Pflanzenschutzmittel wird aktuell innerhalb Europas in Dänemark, Schweden, Frankreich, Norwegen und der Schweiz erhoben. Schweden erhebt diese Abgabe seit 1984 in Form einer undifferenzierten Mengenabgabe, d.h. eines einheitlichen Zahlbetrages je Kilogramm Wirkstoff im Zuge des Verkaufs der Mittel an die Anwender. Ein Vorteil dieser Erhebungsmethode ist der geringe Verwaltungsaufwand. Durch wiederholte Anhebungen des Abgabensatzes von ursprünglich 4 SEK/kg (0,40 EUR/kg) auf gegenwärtig 34 SEK/kg (3,37 EUR/kg) wurde die Inflation weit mehr als ausgeglichen, so dass der Absatz nach der Einführung und nach jeder Anhebung des Abgabensatzes deutlich zurückging. Problematisch am undifferenzierten Mengenkonzept ist, dass keine Differenzierung zwischen den Wirkstoffen erfolgt, obwohl sich je nach Wirkstoff die maximal zulässige Aufwandmenge je Hektar und Jahr um den Faktor 10 und mehr unterscheiden kann. Dadurch kommt es zu wirtschaftlich motivierten Ausweichreaktionen, die aus ökologischer und humantoxikologischer Sicht unerwünschte Nebenwirkungen nach sich ziehen können (Möckel et al. 2015).

Von 1996 bis 2013 wurde in Dänemark eine wertbasierte Pestizidabgabe erhoben, bei der ein bestimmter Prozentsatz des Verkaufspreises zusätzlich als Abgabe erhoben wurde. Auch wenn aufgrund der Preisbasis die Inflation hier keine Rolle spielt und auch ein Teil der Ausweichreaktionen aufgrund unterschiedlicher Wirkkonzentrationen obsolet wird¹⁴, blieb auch hier das Problem bestehen, dass nicht, wie eigentlich erwünscht, die ökologischen und humantoxischen Wirkungen Basis der Abgabe sind. Außerdem war der Abgabensatz langfristig zu gering, um die erwünschte Reduktion des Pestizidgebrauchs herbeizuführen, im Gegenteil: es kam seit Beginn der 2000er Jahre wieder zu einem signifikanten Anstieg (Nielsen 2019). Wie Feminia und Letort (2016) auf der Grundlage eines Modells für Frankreich berechneten, müsste die Abgabe bis zu 200 % des Verkaufspreises betragen, um die von der EU angestrebte Reduktion des Pestizideinsatzes um 50 % zu erreichen. Unter diesen Bedingungen kann aus Akzeptanzgründen darüber nachgedacht werden, die Belastung der Landwirtschaft durch die erhöhten Abgabensätze dadurch zumindest teilweise auszugleichen, dass bspw. andere Steuern auf die Anbauflächen reduziert werden.

Als Reaktion auf die mangelnde Wirkung der ursprünglichen Pestizidabgabe in Dänemark wurde diese im Jahr 2013 grundlegend reformiert. Sie wurde nun auf eine Mengenbasis gestellt und der Abgabensatz entsprechend der ökologischen und gesundheitlichen Schädlichkeit der Mittel differenziert. Außerdem wurden die Abgabensätze deutlich angehoben. Dadurch konnte bis 2016 tatsächlich eine signifikante Reduktion des Pestizideinsatzes erreicht werden (Nielsen 2019). Um diese Wirkung weiterhin aufrecht zu erhalten und sie, wie angestrebt, noch zu verstärken, müsste der Abgabensatz jedoch auch in Zukunft über die Inflation hinaus erhöht werden.

Die Bewertung der humantoxischen und ökologischen Risiken in der jüngeren Version der dänischen Pestizidabgabe geschieht anhand eines Punktesystems, das eine qualitative Bewertung einer Vielzahl verschiedener Risiken einbezieht. Unberücksichtigt bleiben dabei jedoch die quantitativen Effekte, d.h. die Konzentrationen, bei denen die jeweiligen Pestizide die verschiedenen Wirkungen entfalten. Dieses Defizit wird in einem Vorschlag des Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung (Möckel et al. 2015) mit Hilfe einer risikobasierten Wertabgabe überwunden, bei der die verschiedenen Risiken in Bezug zu den Wirkkonzentrationen der jeweiligen Pestizide gesetzt werden. Damit wird bspw. der Effekt berücksichtigt, dass von dem Herbizid Metsulfuron nur bis zu 8 Gramm pro Hektar und Jahr eingesetzt werden dürfen, wogegen bei Glyphosat bis zu 3,6 kg zulässig sind. Um

¹⁴ Der Unterschied in den Wirkkonzentrationen kommt deswegen nicht (voll) zum Tragen, weil alternative Pestizide hinsichtlich ihrer Wirksamkeit konkurrieren und sich der Preis daher tendenziell eher an der Wirkung orientiert als an der Wirkstoffmenge.

das Verfahren der Abgabenerhebung handhabbar zu halten und den Durchführungsaufwand zu reduzieren, wird dabei die Anzahl der zu berücksichtigenden Parameter reduziert und auf Daten zurückgegriffen, die im Rahmen des für Pestizide obligatorischen Zulassungsverfahrens sowieso erhoben werden und öffentlich zugänglich sind (Möckel et al. 2021).

Die von Möckel et al. (2015) vorgeschlagene Pestizidabgabe kann damit in mehrerlei Hinsicht als effektiv bezeichnet werden: Sie setzt bei den zu vermeidenden Schäden und ihren Verursachern an, sie setzt Anreize zur Vermeidung dieser Schäden durch eine Veränderung der Pflanzenschutzmaßnahmen seitens der Landwirtschaft (= Innovation) sowie, indirekt, der angewendeten Pestizide seitens der Hersteller und sie ist mit relativ geringem Aufwand umsetzbar.¹⁵ Dabei wurde bisher nur die Erhebungsseite der möglichen Abgabe betrachtet. Auf Seiten der Aufkommensverwendung ergeben sich weitere Möglichkeiten, die Akzeptanz der Abgabe für die Zahlungspflichtigen zu steigern und gleichzeitig die Erreichbarkeit der angestrebten Ziele zu erleichtern. Bei relativ hohen Abgabensätzen könnte bspw., wie oben bereits erwähnt, das Aufkommen dafür verwendet werden, andere nicht lenkungswirksame Abgaben der Landwirtschaft zu senken, so dass deren Gesamtbelastung durch die Pestizidabgabe nur dann steigt, wenn sie auf den Einsatz schädlicher Pestizide nicht verzichten wollen. Andererseits lässt sich die Lenkungswirkung der Abgabe dadurch weiter verstärken, dass die Einnahmen dazu genutzt werden, staatliche Beratungs- und Weiterbildungsangebote zum nachhaltigen Pflanzenschutz sowie die Förderung der Umstellung zum nicht-chemischen Pflanzenschutz auszubauen (Möckel et al. 2021). Damit würde Innovationen hin zu einer ökologisch und gesundheitlich nachhaltigeren Landwirtschaft zusätzlich Vorschub geleistet.

Eine Abgabe auf Pestizide kann innovationsfördernde Wirkung entfalten, wenn sie nicht nur zu einem verringerten Einsatz von Pestiziden führt (intendierte Umweltwirkung), sondern gleichzeitig Innovationsanreize bei Landwirtschaft und Herstellern oder auch bei neuen Akteuren setzt. Eine Erweiterung des Innovationssystems ist bspw. durch den Einsatz neuer Technologien (automatisierte, mechanische Verfahren (Robotik), Einsatz von KI.) oder einer Re-Innovation alten Wissens (Einsatz von Nützlingen etc.) denkbar.

¹⁵ Eine abschließende Beurteilung der Vorteilhaftigkeit einer Innovation erfordert hier wie in anderen Bereichen eine Berücksichtigung verschiedener Aspekte im Rahmen einer multikriteriellen Bewertung (Sartorius et al. 2018, 2019).

6 Problemfeld Wasserknappheit

Im Rahmen der ökonomischen Betrachtung des Problemfelds Wasserknappheit werden sowohl die **Bepreisung von Wasser** im Rahmen von Wassertarifen und der Erhebung von Entnahmeentgelten als auch **nicht-preisliche Instrumente** wie Entnahmerechte zur Allokation von Wasser sowie der Wasserhandel als Kombination beider betrachtet. Hinsichtlich der Bepreisung von Wasser stehen vor dem Hintergrund der temporär in einigen Regionen in den letzten Jahren wiederholt aufgetretenen Wassernutzungskonkurrenzen zwei Aspekte im Vordergrund: eine Veränderung des Preisniveaus mit dem Ziel, die Wassernachfrage insgesamt an die mehr oder weniger beschränkte Wasserverfügbarkeit anzupassen (**Wasserentnahmeentgelt**) und die Differenzierung des Wasserpreises als Lenkungsinstrument für unterschiedliche Verwendungen (**Tarife**). In beiden Fällen stellt sich die Frage, inwieweit die Bepreisung zu einer Senkung des (Mehr-)Verbrauchs und damit zu einer Abschwächung vorhandener Konkurrenzsituationen führen kann. Im Hinblick auf mögliches, damit einhergehendes Innovationsgeschehen (d.h. induzierte Innovation) sind dabei Effizienzsteigerungen (d.h. Verbrauch von weniger Wasser für einen gegebenen Zweck) von größerer Bedeutung als der preisgetriebene Nachfrageverzicht (= Suffizienz).

6.1 Wasserentnahme für die landwirtschaftliche Bewässerung

Auch wenn es nicht das einzige Konfliktfeld um die Ressource Wasser in Deutschland ist, so ist in der öffentlichen Diskussion der jüngeren Vergangenheit besonders der Konflikt zwischen öffentlichen Wasserversorgungsunternehmen und der Landwirtschaft in Erscheinung getreten. Das Konfliktpotenzial scheint dabei zunächst weniger in den von der Landwirtschaft insgesamt in Anspruch genommenen Jahreswassermengen begründet. Diese machen für Deutschland aktuell (2019) nur einen Anteil von 2,5 % der gesamten Wasserentnahmen aus (DeStatis 2024a) – weltweit beträgt der Anteil im Vergleich dazu zwei Drittel. Bemerkenswert ist allerdings der Anstieg dieses Anteils von 0,4 % im Jahr 2007 um das Sechsfache innerhalb von 12 Jahren. Selbst wenn man berücksichtigt, dass sich die gesamte entnommene Wassermenge (aller Branchen) aufgrund des Rückgangs der für die Kühlung thermischer Kraftwerke erforderlichen Mengen im gleichen Zeitraum nahezu halbiert hat, ergibt sich immer noch mehr als eine Verdreifachung der Entnahmen durch für die Bewässerung erforderlichen Wassermengen von 113 auf 383 Mio. Kubikmeter. Aus klimatologischer Sicht geht dieser Anstieg einher mit einer Zunahme der Anzahl und Dauer von Trockenperioden und einem Anstieg der Temperaturen in Frühjahr und Sommer, der Vegetationsperiode der meisten landwirtschaftlichen Kulturpflanzen. Folglich treten auch die Engpässe meist zeitlich begrenzt – während oder gegen Ende längerer Trocken- bzw. Dürreperioden – und in Regionen mit begrenzten Wasserressourcen auf. Aufgrund des weiteren Fortschreitens dieser Entwicklung und weil bislang (Stand der verfügbaren Daten: 2019) erst rund 3 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche bewässert werden, ist mit einem weiteren Anstieg des Anteils der bewässerten Fläche und der dafür erforderlichen Wassermenge zu rechnen.

6.1.1 Wasserentnahmerechte

Da ein Ende des Klimawandels in der gerade beschriebenen Ausprägung nicht absehbar ist, stellt sich die Frage, wie einem weiteren Anstieg der Wasserentnahmen zum Zwecke der Bewässerung und damit einer Verschärfung des Konfliktes entgegengewirkt werden kann. Ein Instrument zur Beschränkung der Wasserentnahmen besteht in der behördlichen Genehmigung, die in Deutschland für die Entnahme aus Grund- und Oberflächengewässern erforderlich ist. Sie ist meist an Bedingungen geknüpft, die den quantitativen und qualitativen Zustand der Gewässer und der davon abhängigen Natur sicherstellen. Dazu gehört insbesondere die maximal zulässige Entnahmemenge,

die in der Regel so bemessen ist, dass die Pegel der betroffenen Grund- oder Oberflächengewässer ein bestimmtes Maß nicht unterschreiten. Bei dieser Gelegenheit zeigt ein Blick in die Statistik (Destatis 2024a, b), dass der Anstieg der in Deutschland von 2010 bis 2019 für die Bewässerung verwendeten Wassermengen zu etwa gleichen Teilen auf eine Ausweitung der bewässerten Fläche (um 36 %) und die Intensivierung der Bewässerung (d.h. mehr Wasser pro Fläche: um 38 %) zurückzuführen ist. Seit 2013 weist die Bewässerungsintensität keinen Anstieg mehr auf und schwankt zwischen 60 und 82 mm pro Jahr.¹⁶ Diese Werte liegen etwas unterhalb der Entnahmemengen, die in Deutschland typischerweise genehmigt werden (80 bis 100 mm jährlich) (Teiser 2018). Es ist also auch in Zukunft nicht zu erwarten, dass die (tatsächlichen) Entnahmemengen nennenswert ansteigen werden. Dies gilt umso mehr, als im Zuge des voranschreitenden Klimawandels durch den Temperaturanstieg und die zurückgehenden Niederschläge in Frühjahr und Sommer das Wiederauffüllen der Wasserreservoirs immer schwieriger wird und damit wenig Aussicht auf eine Ausweitung der genehmigten, flächenspezifischen Entnahmemengen besteht.

Die genehmigten Grundwasserentnahmemengen orientieren sich in der Regel an der längerfristigen Wasserverfügbarkeit. Das bedeutet, dass kurzfristige Mehrentnahmen (z.B. im Verlauf einer Dürreperiode) innerhalb eines oder mehrerer Jahre durch Zufluss oder Versickerung von Niederschlägen wieder kompensierbar sein müssen. Das kann auch durch gezielte, zusätzliche Versickerung anderer Oberflächenwasserquellen geschehen (Kruse 2018). Die für die Bewässerung verwendbaren Mengen beziehen sich in der Regel auf die bewässerte Fläche, wobei die erforderlichen Brunnen innerhalb oder in der Nähe dieser Flächen liegen (Hennies 2018). Damit einhergehend sind auch die Veränderungen des Grundwasserspiegels lokal begrenzt. Dadurch ist es möglich, Entnahmegenehmigungen für zusätzliche Flächen auch dann zu erteilen, wenn an zuvor genehmigten Standorten die Entnahmemengen bereits ausgeschöpft sind. Neuanwärter auf Entnahmerechte werden gegenüber bestehenden Inhabern also nicht grundsätzlich benachteiligt. Dennoch ist es angesichts der langen Laufzeiten der Genehmigungen von oftmals 20 Jahren (oder mehr) schwierig bzw. nicht möglich, alle Veränderungen der Rahmenbedingungen zu antizipieren, die sich in diesem Zeitraum vollziehen können. Die Gesamtheit aller genehmigten Entnahmemengen spiegelt die Knappheit der Ressource Grundwasser wider. Sind die genehmigten Mengen richtig bestimmt, wird eine Übernutzung des Grundwassers erfolgreich vermieden. Allerdings können sich die angemessenen Mengen z. B. aufgrund des Klimawandels im Laufe der Zeit ändern. Dementsprechend kann es sich als schwierig erweisen, die angemessenen Entnahmemengen zu allererst zu bestimmen und auf ihrer Grundlage alle Antragsteller, frühe wie späte, gleich zu behandeln. Außerdem ist durch die Zuteilung per Genehmigung nicht sichergestellt, dass das Wasser jeweils in die nützlichsten Verwendungen fließt.

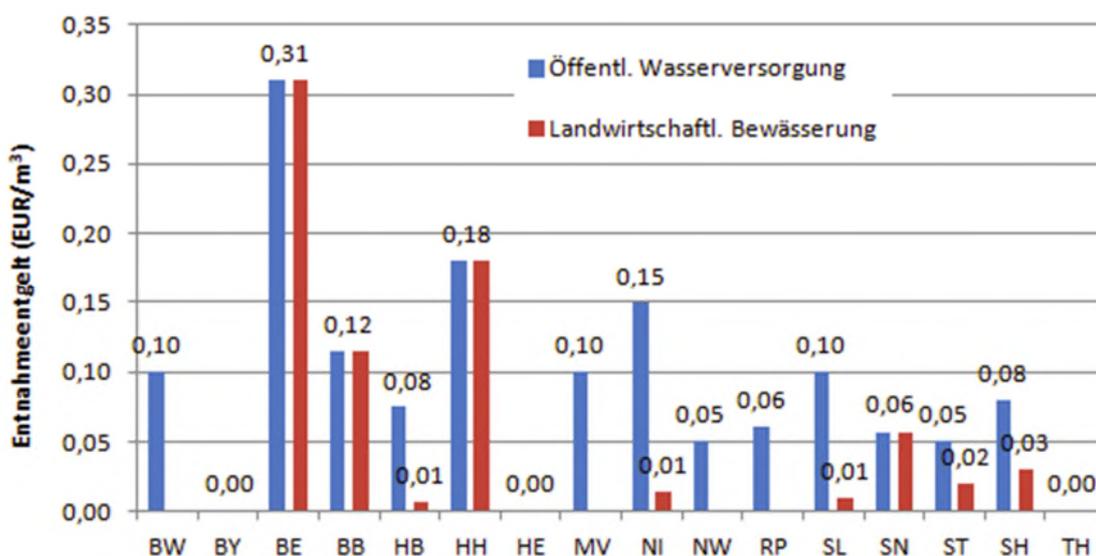
6.1.2 Wasserentnahmeentgelt

Im Gegensatz zur Entnahmegenehmigung ist das Wasserentnahmeentgelt aus ökonomischer Sicht nicht mengen-, sondern preisbasiert. Das bedeutet, dass eine möglicherweise angestrebte (zusätzliche) Reduzierung bzw. Beschränkung der Entnahmemenge indirekt erfolgt: durch die Festlegung des zu zahlenden Entgeltes und damit einhergehenden Nachfrageveränderungen. Ein Vorteil des Entnahmeentgeltes besteht darin, dass es der Ressource Wasser unmittelbar und für alle erkennbar einen Wert beimisst. Hinsichtlich der Nutzung dieses Instruments bestehen allerdings große Unterschiede zwischen den Bundesländern und innerhalb der Bundesländer zwischen verschiedenen Gruppen von Wassernutzern. Dabei ist es unklar, ob die geltenden Entgelte tatsächlich den gewünschten Einfluss auf die angestrebte Entnahmemenge haben.

¹⁶ Eine Bewässerungsintensität von 1 mm entspricht – analog einem entsprechenden Niederschlag – 1 Liter pro Quadratmeter oder 10 Kubikmeter pro Hektar.

Wasserentnahmeentgelte werden aktuell (Anfang 2023) von 13 Bundesländern mit unterschiedlichen Ausgestaltungen hinsichtlich der Höhe, der Zielgruppen und auch der Verwendung erhoben (Gawel und Köck 2023). Hintergrund ist u.a. die von der Wasserrahmenrichtlinie geforderte Einbindung von Umwelt- und Ressourcenkosten und die Internalisierung externer Kosten bei der Nutzung der knappen Ressource Wasser. Nur Bayern, Hessen und Thüringen erheben generell kein Wasserentnahmeentgelt. In Bayern wird die Einführung aktuell diskutiert. Die landwirtschaftliche Bewässerung profitiert in weiteren 9 Bundesländern von gegenüber der öffentlichen Wasserversorgung vergünstigten Entgelten, in vier davon von einer vollständigen Freistellung (vgl. Abbildung 24).

Abbildung 24: Grundwasserentnahmeentgelte der Bundesländer für die öffentliche Wasserversorgung und die landwirtschaftliche Bewässerung im Vergleich

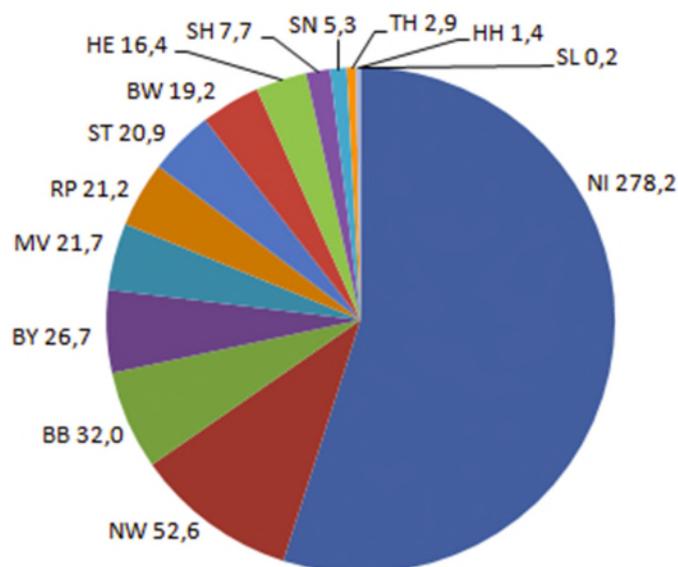


Quelle: Gawel und Köck 2023)

6.1.3 Bedeutung der Bewässerung in der Landwirtschaft

Mit 0,31 bzw. 0,18 EUR/m³ werden die höchsten Entnahmeentgelte – ohne Vergünstigung für die Landwirtschaft – in Berlin und Hamburg erhoben, wobei die Landwirtschaft bzw. die Bewässerung in beiden keine große Rolle spielt. Schaut man umgekehrt, in welchen Bundesländern Bewässerung in der Landwirtschaft eine große Rolle spielt, so ergibt sich folgendes Bild (vgl. Abbildung 25). Mehr als die Hälfte (55 %) der bewässerten landwirtschaftlichen Fläche in Deutschland liegt in Niedersachsen, welches knapp ein Sechstel (15,5 %) der landwirtschaftlichen Fläche umfasst, wo aufgrund noch zu erläuternder besonderer Umstände jedoch fast 11 % der landwirtschaftlichen Fläche bewässert werden. Hier liegt das Entnahmeentgelt für die Landwirtschaft bei 0,014 EUR/m³. Alle anderen Bundesländer weisen im Vergleich dazu nicht nur kleinere landwirtschaftlich genutzte Flächen auf, sondern außerdem teilweise deutlich geringere bewässerte Flächenanteile. Die Entgelte für die Landwirtschaft liegen dort zwischen 0 und 0,12 EUR/m³.

Abbildung 25: Bewässerte landwirtschaftliche Fläche in Bundesländern im Jahr 2019 (in 1000 ha)



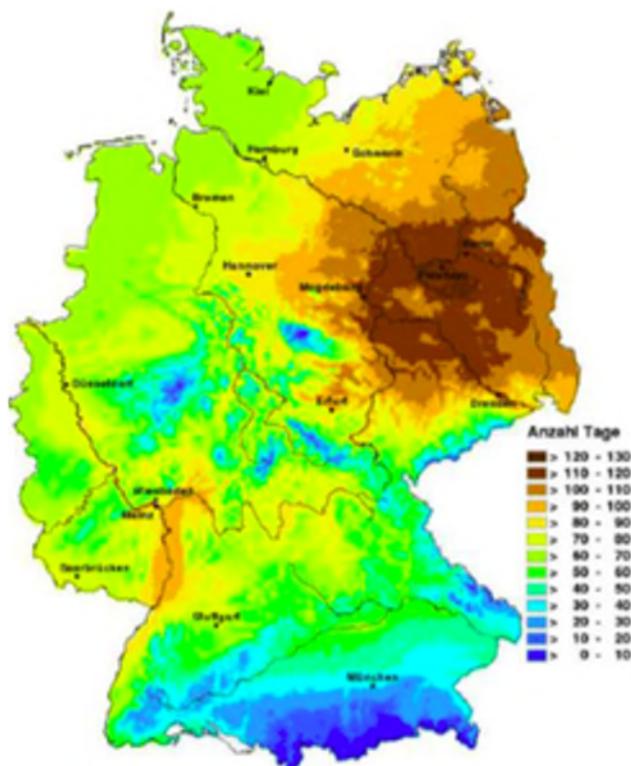
Quelle: Destatis (2024b)

Hinsichtlich der Bewässerung stellt Niedersachsen insofern eine Besonderheit dar, als ein Großteil der landwirtschaftlichen Fläche insbesondere im Nordosten des Landes durch sandige Böden charakterisiert ist. Diese weisen ein geringes Wasserhaltevermögen auf als schwerere Böden und neigen daher bei länger ausbleibenden Niederschlägen dazu auszutrocknen, wodurch die darauf wachsenden Pflanzen in Trockenstress geraten und ihr Wachstum einschränken. In dieser Region wurde daher zwecks Steigerung der landwirtschaftlichen Produktion schon seit Mitte des 20. Jahrhunderts künstliche Bewässerung eingeführt – teilweise auch unter Nutzung von teilgeklärtem Abwasser (Teiser 2018). Wie in Abbildung 26 dargestellt, wurde in dieser Region in der jüngeren Vergangenheit im langjährigen Durchschnitt mehr als 100 Tage mit einer Bodenfeuchte kleiner 50 % nFK registriert.¹⁷ Diese Bodenfeuchte gilt als kennzeichnend für beginnenden Trockenstress bei vielen Kulturpflanzen. Weiter im Osten, vor allem in Sachsen-Anhalt und in Brandenburg, ist die Bodenfeuchte noch geringer. Hier werden bis zu 130 Tage mit geringer Bodenfeuchte erreicht, ohne dass dies freilich bisher eine ähnliche Tendenz zum Einsatz landwirtschaftlicher Bewässerung herbeigeführt hätte. Ihr Anteil liegt mit rund 2 % noch unter dem deutschlandweiten Durchschnitt. Die Gründe dafür dürften vor allem im Fehlen ausreichender Wasserressourcen zu suchen sein. Abbildung 26 weist außerdem trockene Böden im Rhein-Main-Gebiet aus, wo die Situation zusätzlich durch die hohe Siedlungsdichte und den dadurch erhöhten Wasserbedarf verschärft wird.

Da im Zuge des Klimawandels zu erwarten ist, dass trockene Böden in Deutschland in Zukunft häufiger vorkommen werden, wurden in verschiedenen Regionen Untersuchungen über die zu erwartenden Auswirkungen des Klimawandels für die Landwirtschaft in Auftrag gegeben. Ob in Zukunft eine verstärkte Bewässerung sinnvoll sein wird, hängt dabei nicht nur davon ab, ob voraussichtlich ein größeres Feuchtigkeitsdefizit bestehen wird (Bedürftigkeit), sondern ob die Bewässerung wirtschaftlich gestaltet werden kann (Bewässerungswürdigkeit).

¹⁷ Die nutzbare Feldkapazität (nFK) eines Bodens ist der Teil der vom Boden gehaltenen Feuchtigkeit, der für die Pflanzen verfügbar ist. Bei 100 % nFK ist der Boden feuchtigkeitsgesättigt, bei 0 % nFK ist der Boden so trocken, dass daraus für Pflanzen kein Wasser verfügbar ist.

Abbildung 26: Häufigkeit des Auftretens trockener Böden (Bodenfeuchte <50 % nFK, Winterweizen, leichter Boden) in verschiedenen Regionen Deutschlands im Mittel der Jahre 1981 bis 2010

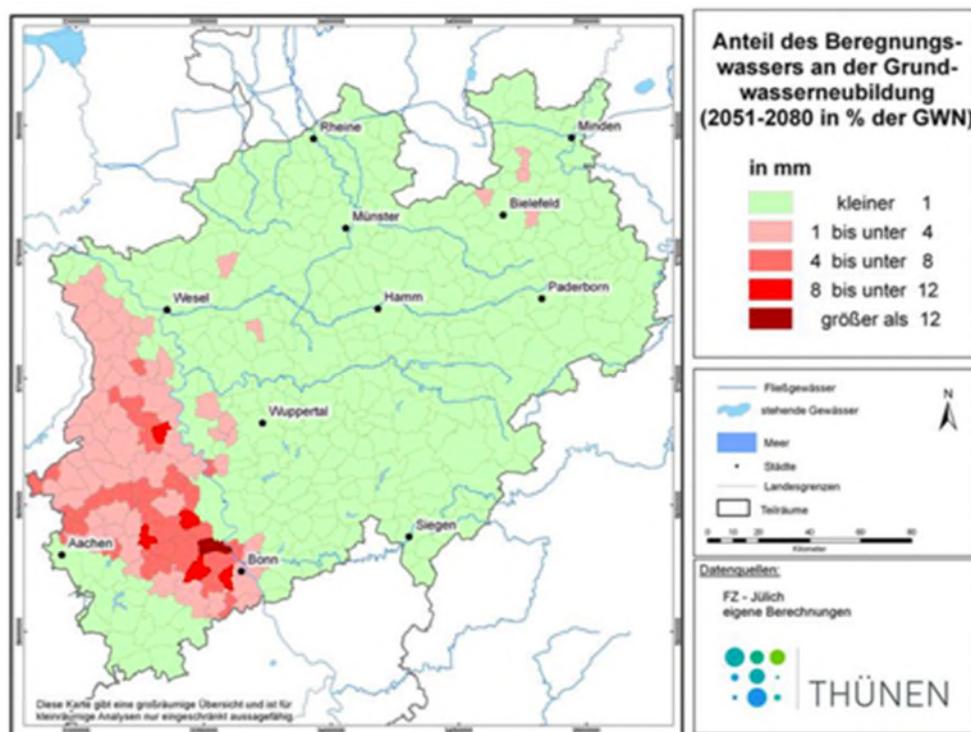


Quelle: DWD-Klimaatlas

Im BMBF-Projekt LandCare wurde die Entwicklung der Bewässerungswürdigkeit am Beispiel von Weizen für ganz Deutschland untersucht (Köstner et al. 2014). Es zeigte sich, dass die Beregnungsbedürftigkeit bis 2060 allgemein um rund 25 mm jährlich, im Nordosten Niedersachsens und Sachsen-Anhalts, in ganz Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern sowie im Nordwesten Bayerns sogar um bis zu 50 mm pro Jahr zunehmen könnte. Bewässerungswürdig, d.h. wirtschaftlich darstellbar wäre der daraus resultierende Bewässerungsbedarf allerdings nur, wenn bspw. der Preis für Weizen gegenüber dem heutigen Niveau deutlich (d.h. um mindestens 50 %) anstiege.

Da Bewässerung aktuell im Obst- und Gemüsebau häufiger als in vielen Ackerkulturen erfolgt, gleichzeitig die Datenlage dazu jedoch deutlich unvollständiger ist, förderte das Land NRW die Studie ERB-NRW (Anter et al. 2018). Darin wurde z.B. für Kartoffeln festgestellt, dass die aktuell geringe Bewässerungsbedürftigkeit in NRW im Vergleich der Zeiträume 1961-1990 und 1991-2020 bereits um rund 25 mm jährlich angestiegen ist und bis zum Zeitraum 2051-2080 voraussichtlich um weitere 50 mm ansteigen wird. Für alle Kulturen in NRW zusammen ergibt sich daraus ein Anstieg des jährlichen Beregnungsbedarfs von 3,4 (1961-90) über 12,6 (1991-2020) bis 101,9 Mio. m³ (2051-2080). Die Verteilung der Defizite über das Bundesland ist dabei sehr unterschiedlich mit deutlichen Schwerpunktregionen entlang des Rheins und im Münsterland. Bemerkenswert ist, dass nur ein Viertel des Beregnungsbedarfs auf reduzierte Niederschläge zurückgeht, drei Viertel dagegen auf höhere Temperaturen und die damit einhergehende Verdunstung. Vereinzelt kann der Beregnungswasserbedarf dann über 10 % der Grundwasserneubildung ausmachen, während er flächendeckend meist unter 1 % liegt (vgl. Abbildung 27).

Abbildung 27: Regionale Differenzierung des Anteils des Beregnungswassers an der Grundwasserneubildung



Quelle: Kreins et al. (2015)

6.1.4 Wirtschaftlichkeit der Bewässerung

Eine Studie, die sich besonders der Bewässerungswürdigkeit, d.h. der Wirtschaftlichkeit der Bewässerung widmet, wurde vom v.Thünen-Institut (de Witte 2018) erstellt. Sie widmet sich den Bedingungen des Ackerbaus in den Regionen Deutschlands mit den trockensten Böden, insbesondere im nördlichen Sachsen-Anhalt und in Brandenburg (siehe Abbildung 26). Zunächst wird am Beispiel der Altmark in Sachsen-Anhalt anhand verfügbarer Modelle die Rentabilität verschiedener Kulturen ohne Bewässerung untersucht. Dazu wird in einem ersten Schritt der Saldo aus dem Markterlös des Erntegutes pro ha und den direkten Kosten (Saatgut, Düngemittel, Pflanzenschutz) und den Arbeitskosten ermittelt. Danach wird berechnet, wie sich die Erlöse durch Bewässerung verändern und davon die Kosten der Bewässerung abgezogen. Dabei werden zwei Fälle unterschieden: optimale Beregnung (sobald nFK 50% unterschreitet) und reduzierte Beregnung (<30% nFK).¹⁸ Das Ergebnis: Bewässerung lohnt sich nur für Hackfrüchte, insbesondere für Kartoffeln und zwar sowohl für die optimale als auch die reduzierte Bewässerung. Die Bewässerung von Raps lohnt sich nicht, weil sich nur eine geringe Ertragswirkung zeigt, die von Getreiden nicht, weil der erlöste Preis zu gering ist. Kartoffeln und Rüben zeigen bei Bewässerung nicht nur einen deutlichen Ertragsanstieg, sondern zusätzlich noch eine bessere Qualität.

Die Kosten der Bewässerung hängen sehr stark von der Bewässerungsmethode bzw. -technik ab. Als wichtigste Techniken sind zu unterscheiden (Fricke 2018):

- **Mobile Beregnungsmaschinen mit Großflächenregnern** (meistens Kreisregner) sind aufgrund ihrer hohen Flexibilität und Mobilität und den vergleichsweise niedrigen Kosten am

¹⁸ Die reduzierte Bewässerung spielt vor allem dann eine Rolle, wenn die verfügbaren Wasserressourcen für eine optimale Bewässerung nicht ausreichen.

weitesten verbreitet. Nachteilig sind aufgrund des erforderlichen Wasserdrucks hohe Energiekosten und ggf. die windbedingte ungleichmäßige Verteilung des Wassers (d.h. verringerte Effektivität der Beregnung).

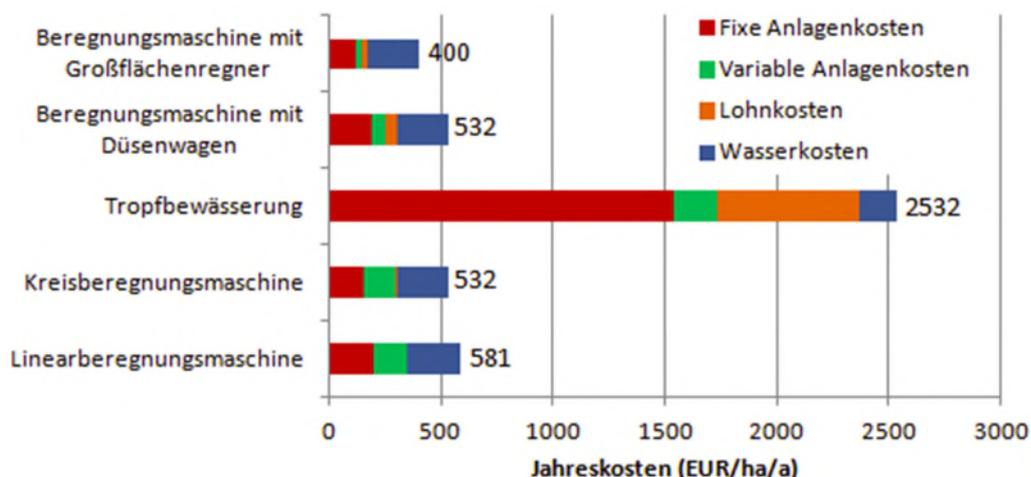
- **Mobile Beregnungsmaschinen mit Düsenwagen** weisen gegenüber Einzelregnern eine deutlich gleichmäßigere Wasserverteilung und aufgrund des geringeren Betriebsdrucks einen geringeren Energieverbrauch auf. Nachteilig wirkt sich der höhere Arbeitsaufwand beim Umsetzen der Maschinen auf andere Betriebsflächen aus.
- **Tropfbewässerung** erfordert den Einsatz von Tropfschläuchen und ist deshalb für den Einsatz in (Reihen-) Kulturen wie Erdbeeren, Spargel, Zucchini oder im Strauchobstanbau prädestiniert. Auch die Kartoffel wäre aufgrund des Anbaus im Damm geeignet. Vorteile bestehen in der zielgenauen Applikation von Wasser und ggf. auch Düngemitteln und im geringen Wasser- und Energieverbrauch. Nachteilig wirken sich der hohe Arbeitsaufwand beim Ausbringen und der Entnahme der Tropfschläuche sowie die geringe Haltbarkeit der Tropfschläuche (meist nur eine Saison) aus.
- **Großflächenbewässerungstechnik** in Form von Kreis- oder Linearberegnungsmaschinen eignet sich für zusammenhängende Flächen ab 25 ha. Da die Anlagen ortsfest installiert sind, entfällt der Arbeitsaufwand für einen Umbau. Durch die abgehängten Düsen ist der erforderliche Druck und damit der Energieaufwand gering und die Verteilgenauigkeit für das Wasser relativ hoch. Nachteilig ist, dass jede Anlage nur eine bestimmte Fläche bewässern kann.

Um die Kosten für die verschiedenen Bewässerungstechniken vergleichen zu können, ist es sinnvoll, folgende Kostenarten zu unterscheiden:

- fixe Anlagenkosten für die Beschaffung und Installation der Bewässerungsanlagen,
- variable Anlagenkosten für Instandhaltung und Betriebsmittel (ohne Wasser),
- Lohnkosten für Einrichtung, Verlegung, Betrieb und Überwachung der Anlagen sowie
- Wasserkosten ab Brunnen/Pumpe oder Verteilknoten einer Versorgungsinfrastruktur.

Die typischen Kosten für die verschiedenen Bewässerungstechniken unter Zugrundelegung dieser Differenzierung sind entsprechend den Berechnungen von Fröba und Belau (2018) in Abbildung 28 dargestellt.

Abbildung 28: Jahreskosten für die Bewässerung mit verschiedenen Techniken



Quelle: Fröba und Belau (2018)

6.1.5 Nachfragewirkung des Wasserentnahmeentgeltes für die Bewässerung

Von Sonderkulturen bzw. der Tropfbewässerung abgesehen betragen die Bewässerungskosten, wie in Abbildung 28 dargestellt, zwischen 400 und 600 EUR/ha/a. Davon machen die Wasserkosten rund 230 EUR/ha/a aus. Dem liegt (pro Hektar und Jahr) eine Menge von 1000 m³/ha (=100 mm) und ein mittlerer Wasserbeschaffungspreis von 0,23 EUR/m³ zugrunde, der je nach Beschaffungsbedingungen auch deutlich nach unten oder oben abweichen kann. Stellen wir diesen Kosten die möglichen Aufschläge durch die Erhebung von Entnahmeentgelten gegenüber, so wird ersichtlich, dass sich die Bewässerung beispielweise in Niedersachsen um 14 EUR/ha/a und in Brandenburg um 120 EUR/ha/a verteuern würde. Angesichts der Gesamtkosten der Bewässerung dürfte sich das niedersächsische Entnahmeentgelt daher nicht nennenswert auf den Verbrauch von Bewässerungswasser auswirken. Das brandenburgische Entgelt hätte dagegen im obigen Beispiel einen Anstieg der Wasserkosten um rund 50 % und der spezifischen Bewässerungskosten insgesamt um rund 25 % zur Folge. Langfristig würde dies unter der Annahme einer Preiselastizität von -0,5 (siehe Schierling et al. 2006) zu einer Reduktion der Bewässerungswassernachfrage um rund 12 % führen. Gleichzeitig würden sich die zusätzlichen Kosten negativ auf die Gewinne der Landwirtschaft (-3 bis -12%) oder, im Falle der erfolgreichen Kostenüberwälzung auf die Abnehmer, auf die Preise der landwirtschaftlichen Produkte auswirken. Wäre aufgrund von Wasserknappheit eine noch höhere Wassereinsparung erforderlich, müsste ein entsprechend höheres Entnahmeentgelt erhoben werden – mit noch gravierenderen wirtschaftlichen Folgen.

In der zuvor (in Kapitel 6.1.3) erwähnten Studie ERB-NRW wurde festgestellt, dass der Bewässerungsbedarf in NRW im Zuge des Klimawandels unter ungünstigen Bedingungen – lokal vereinzelt – bis zur Hälfte der Grundwasserneubildung ausmachen kann, flächendeckend jedoch meist deutlich weniger als 10 %, oft sogar nur rund 1 %. Außerdem kann es zu zeitlichen Knappheitsfluktuationen kommen, je nachdem ob ein Jahr besonders trocken und warm oder feuchter und kühler ausfällt. Das Wasserentnahmeentgelt wird jedoch innerhalb jedes Bundeslandes in einheitlicher und im Zeitverlauf weitgehend gleichbleibender Höhe erhoben. Deswegen und aufgrund der mit seiner Erhebung verknüpften, negativen wirtschaftlichen Konsequenzen scheint es daher für die Bewältigung lokal begrenzter und zeitlich fluktuierender Wasserengpässe eher ungeeignet. Die in Kapitel 6.1.1 behandelte Allokation von Wasserentnahmerechten ist im Vergleich dazu insofern vorteilhaft, dass sie bei korrekter Abschätzung der Wasserverfügbarkeit und der Regenerationsfähigkeit der Wasserquellen zumindest den lokalen Unterschieden besser gerecht werden kann. Aufgrund der langfristigen Zuteilung der Rechte kann auch sie den zeitlichen Fluktuationen nicht gerecht werden.

6.1.6 Innovationswirkung des Wasserentnahmeentgeltes

Die Kosten des für die Bewässerung erforderlichen Wassers stellen für die Landwirtschaft einen Anreiz dar, die Bewässerung möglichst effizient, d.h. mit möglichst geringem Wassereinsatz, zu betreiben. Dazu existiert eine Reihe von Innovationsansätzen, von denen die wichtigsten im Folgenden aufgeführt sind (Fricke 2018):

- web-basierte Steuerung und Kontrolle von Beregnungsmaschinen (Standort, Betriebszustand) zur Vermeidung von unnötigen Verlusten,
- detaillierte Steuerung zur Vermeidung von Beregnung außerhalb der Kulturflächen (z.B. angrenzende Straßen),
- Tropfbewässerung ist besonders wasser- (und energie-)effizient, aber aufgrund des hohen Aufwandes auf bestimmte Reihenkulturen (Erdbeeren, Spargel, Zucchini, Strauchobst, evtl. auch Kartoffeln) beschränkt.

- Die Bewässerung ist am wirksamsten, wenn zum richtigen Zeitpunkt (Art und Stadium der Kultur) und im richtigen Umfang bewässert wird. Innovative Sensoren können dafür durch Messung der Bodenfeuchte in Kombination mit Prognosen einschlägiger Wetterdienste und Nutzung entsprechender Steuerungsmodelle die erforderlichen Informationen liefern.
- Eine weitere wichtige Entscheidungskomponente sind Eigenarten des Standortes (z.B. Bodenfeuchte), die ebenfalls in situ gemessen und web-basiert erfasst werden können.
- Aktuell in der Entwicklung befinden sich Systeme zur Bestimmung des Bewässerungsbedarfs über Infrarotsensoren, die die Wasserverfügbarkeit mittels der Blattemperatur spektroskopisch aus der Luft (via Satellit oder Drohne) ermitteln.
- Eine weitere Möglichkeit zur Einsparung von Bewässerungswasser besteht im Anbau von trockenheitsresistenteren Kulturpflanzen, die Dürreperioden ggf. auch ohne Bewässerung leichter und mit geringeren Ertragseinbußen überstehen.

Die Innovationswirkung, die in diesem Zusammenhang vom Wasserentnahmeentgelt ausgeht, ist im Einzelfall auf den Beitrag des Entgeltes zu den gesamten Wasser- oder Bewässerungskosten beschränkt, der, wie in Abschnitt 6.1.5 dargestellt, gering ist. Auch in der globalen Perspektive wird angesichts eines deutschlandweiten Entgeltaufkommens in Höhe von 7,6 Mio. Euro für die Entnahme von 383 Mio. cbm Wasser deutlich, dass die vom Entgelt ausgehenden Innovationsanreize eher gering sind. Hinzu kommt, dass die Anreize aufgrund der Unterschiede in der Entgelterhebungspolitik der einzelnen Bundesländer sehr unterschiedlich ausgeprägt sind (vgl. Abschnitt 6.1.2).

Neben der direkten Steuerungs- und Innovationswirkung aufgrund der seitens der Landwirtschaft nachgefragten Wasserentnahmemengen gehen zusätzliche Innovationswirkungen von zwei weiteren Ausgestaltungsmerkmalen des Entgeltes aus: Erstens wird auf der Erhebungsseite in verschiedenen Bundesländern im Rahmen der Zahllastgestaltung eine Verrechnung des fälligen Entgeltes mit Investitionskosten zur Schonung der Wasserressourcen ermöglicht.¹⁹ Dazu zählen laut Gawel und Köck (2023) insbesondere folgende Maßnahmen, die aktuell deutlich über den Stand der Technik hinausgehen:

- Einrichtungen zur digitalen Mengenerfassung²⁰ in Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen,
- Maßnahmen zur Substitution von Grund- durch Oberflächenwasser in Baden-Württemberg und Schleswig-Holstein,
- Maßnahmen zur Verbesserung der ökologischen Beschaffenheit der Gewässer in Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz und Sachsen,
- Anlagen zur Kreislaufführung und Wiedernutzung von Wasser in Sachsen.

Ähnlich wie bei der oben diskutierten unmittelbaren Wirkung des Entnahmeentgeltes ist die Innovationswirkung der Verrechnungsmöglichkeit auf die Höhe des im Einzelfall zu zahlenden Entgeltes beschränkt – und damit angesichts der aktuell erhobenen Entgelte begrenzt. Außerdem ist sie auf die Bundesländer beschränkt, in denen die Verrechnungsmöglichkeit besteht. Und das ist nur ein Teil derjenigen Länder, die ein Wasserentnahmeentgelt erheben.

Zusätzliche Innovationswirkungen können sich auf der Verwendungsseite des Entnahmeentgeltes ergeben, das zunächst der Deckung der Verwaltungskosten der Abgabenerhebung dient, darüber hinaus aber in vielen Bundesländern auch der Förderung verschiedener wasserwirtschaftlicher und

¹⁹ Aus wirtschaftstheoretischer Sicht ist die Verrechnungsmöglichkeit nicht effektiv und damit nicht gerechtfertigt, da die im Fall der Zahllastreduktion sich gegenseitig kostensenkenden Tatbestände unabhängig voneinander existieren und ebenso erhoben werden müssten (Gawel und Köck 2023).

²⁰ Die Erfassung und Kontrolle der Strom- oder Wassermenge haben unabhängig vom erhobenen Preis oder Entgelt bereits eine Reduktion der Verbrauchsmenge zur Folge (McClelland und Cook 1979).

ökologischer Belange. Dementsprechend sind für die - über den über die Verwaltungskosten hinausgehenden Teil der erhobenen - Entgelte in den angegebenen Bundesländern folgende Zweckbindungen vorgesehen (Gawel und Köck 2023):

- Nordrhein-Westfalen: Aufgaben der Altlastensanierung und -aufbereitung, Umsetzung WRRL,
- Baden-Württemberg: wasserwirtschaftliche und gewässerökologische Belange,
- Berlin: Schutz von Menge und Güte des vorhandenen Grundwassers, insbes. zur Gefahrenabwehr und Schadensbeseitigung,
- Brandenburg: Erreichung der Bewirtschaftungsziele, für den öffentlichen Hochwasserschutz, zur Sanierung und Unterhaltung der Gewässer, zur Renaturierung und zum Ausbau der Gewässer zur Verfügung sowie für Investitionen, die der Verbesserung der Wassergüte und dem sparsamen Umgang mit Wasser,
- Bremen: Schutz und Sicherung von Umweltressourcen und der öffentlichen Trinkwasserversorgung,
- Mecklenburg-Vorpommern: Erhaltung oder Verbesserung der Gewässergüte oder Gewässerunterhaltung,
- Niedersachsen: Schutz der Gewässer und des Wasserhaushaltes,
- Rheinland-Pfalz: nachhaltige Gewässerbewirtschaftung im Sinne des WHG,
- Saarland: Grundwasserschutz, Umsetzung der WRRL,
- Sachsen: Gewässerökologie, Hochwasserschutz,
- Sachsen-Anhalt: wasserwirtschaftliche Zwecke,
- Schleswig-Holstein: Gewässerbewirtschaftung im Sinne von §6 WHG.

In Hamburg, Baden-Württemberg und Schleswig-Holstein sind die Entgeltüberschüsse nur zur Hälfte zweckgebunden. Wie aus der Liste der Bundesländer ersichtlich ist, handelt es sich nicht nur um solche, in denen Wasserentnahmeentgelt für die landwirtschaftliche Nutzung erhoben wird, sondern für **alle** Nutzungszwecke. Dementsprechend beträgt das für die aufgeführten Innovationen verfügbare Förderbudget vor Abzug der Verwaltungskosten 454 Mio. Euro (VKU 2022), also ein Vielfaches des Aufkommens aus der Landwirtschaft. Allerdings kommt davon der Landwirtschaft nur ein Teil zugute, da sie es mit einer größeren Zahl anderer Förderberechtigter teilen muss.

Inwieweit von diesen Verwendungen tatsächlich Innovationswirkungen ausgehen, hängt davon ab, ob mit dem Entgeltaufkommen neuartige Handlungsansätze gefördert oder lediglich altbewährte Maßnahmen (ko)finanziert werden. Konkrete Zahlen liegen dazu nicht vor, die sehr allgemeinen Formulierungen der Verwendungszwecke lassen aber vermuten, dass der Finanzierungsaspekt den Innovationsförderaspekt überwiegt.

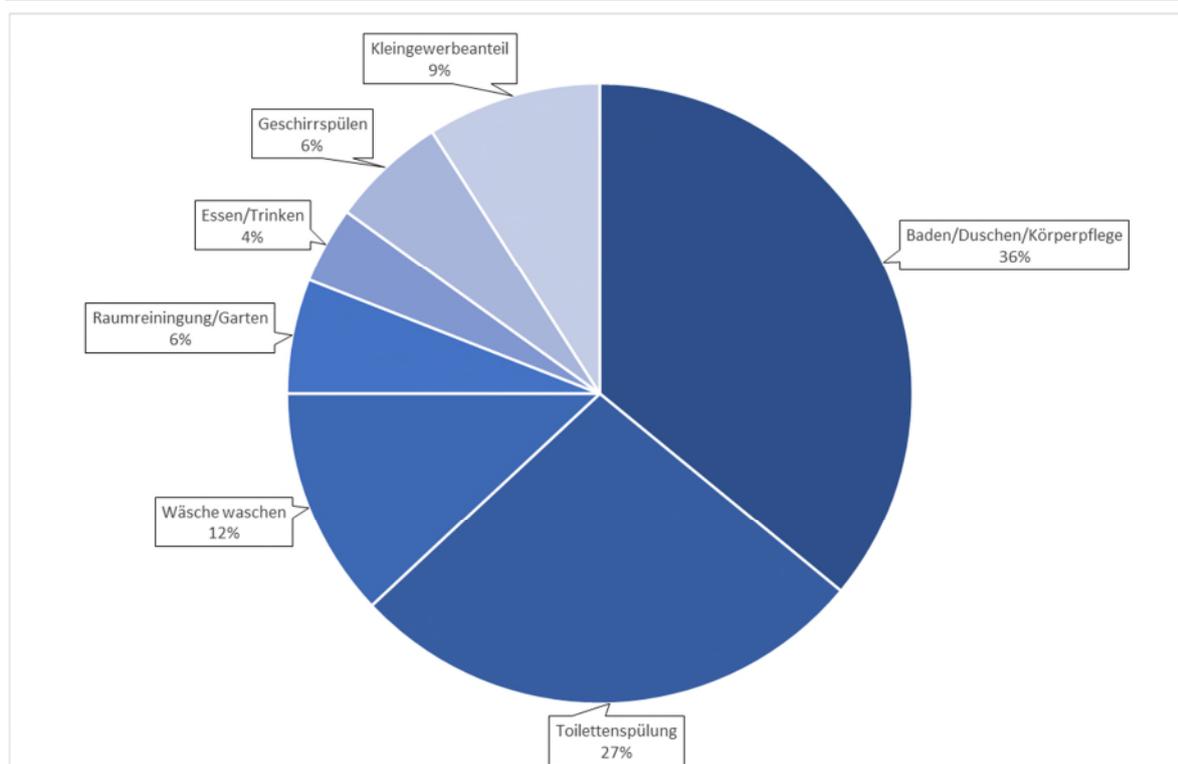
6.2 Steuerung der Wassernachfrage über Wasserpreise

Als Folge des fortschreitenden Klimawandels ist auch für Deutschland damit zu rechnen, dass die Wasserverfügbarkeit in Zukunft tendenziell abnehmen wird, insbesondere während der Sommermonate. Bei zunehmender Wasserknappheit, die ggf. durch einen gleichzeitigen Anstieg der Wassernachfrage (z.B. für Bewässerungszwecke im Agrarbereich) noch verschärft wird, kommt einer effizienten Bewirtschaftung der vorhandenen Wassermengen eine wachsende Bedeutung zu.

Menge und zeitlicher Verlauf der Wassernachfrage lassen sich grundsätzlich über eine entsprechende Gestaltung der Wassertarife beeinflussen. In Deutschland setzt sich der Wassertarif üblicherweise aus einer festen Grundgebühr und einer variablen Verbrauchsgebühr zusammen. Die feste Gebühr ist unabhängig von der tatsächlichen Wassermenge und deckt im Idealfall die fixen Kosten für Bereitstellung und Instandhaltung der Wasserinfrastruktur ab. Die Verbrauchsgebühr wird pro Kubikmeter (m³) verbrauchtem Wasser berechnet. Für die Entsorgung von Abwasser fällt zusätzlich die Abwassergebühr an, die in der Regel ebenfalls pro Kubikmeter Wasser berechnet

wird, teilweise aber auch eine feste Grundgebühr enthalten kann. Wassernetze haben oft eine Lebensdauer von 50 Jahren und mehr und machen etwa 70-80 % der Gesamtkosten für die Bereitstellung von Trinkwasser oder die Entsorgung von Abwasser aus. Konkret sind durchschnittlich etwa 76 % der Gesamtkosten der Wasserversorgung in Deutschland verbrauchsunabhängig (VKU, 2017). Dieser Anteil umfasst hauptsächlich Abschreibungen (20 %), Zinsen (18 %), Personalkosten (18 %) und Konzessionsgebühren (10 %), während die variablen Kosten primär aus den Kosten für Material und Energie bestehen. Dagegen stammen im Durchschnitt etwa 77 % der Einnahmen der Wasserversorgungsunternehmen aus verbrauchsabhängigen Gebühren und 23 % aus festen Gebühren (VKU, 2017).

Abbildung 29: Trinkwasserverwendung im Haushalt in 2023.



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von BDEW (2024).

Prinzipiell können höhere Wasserpreise das Bewusstsein über die Höhe des Verbrauchs und der damit verbundenen Kosten steigern und zu einem sparsameren Umgang anregen. Wasserpreise setzen finanzielle Anreize für Haushalte und Unternehmen, sich Wasser sparend zu verhalten und in effizientere Wassernutzungstechnologien zu investieren. Dies wiederum fördert Innovationsanreize bei den Technologieherstellern. Eine Erhöhung der Wasserpreise kann somit Innovationen in Form von neuen Produkten, Prozessen oder Technologien auslösen, die es ermöglichen gestiegene Preise zu kompensieren bzw. wettbewerbsfähig zu bleiben.

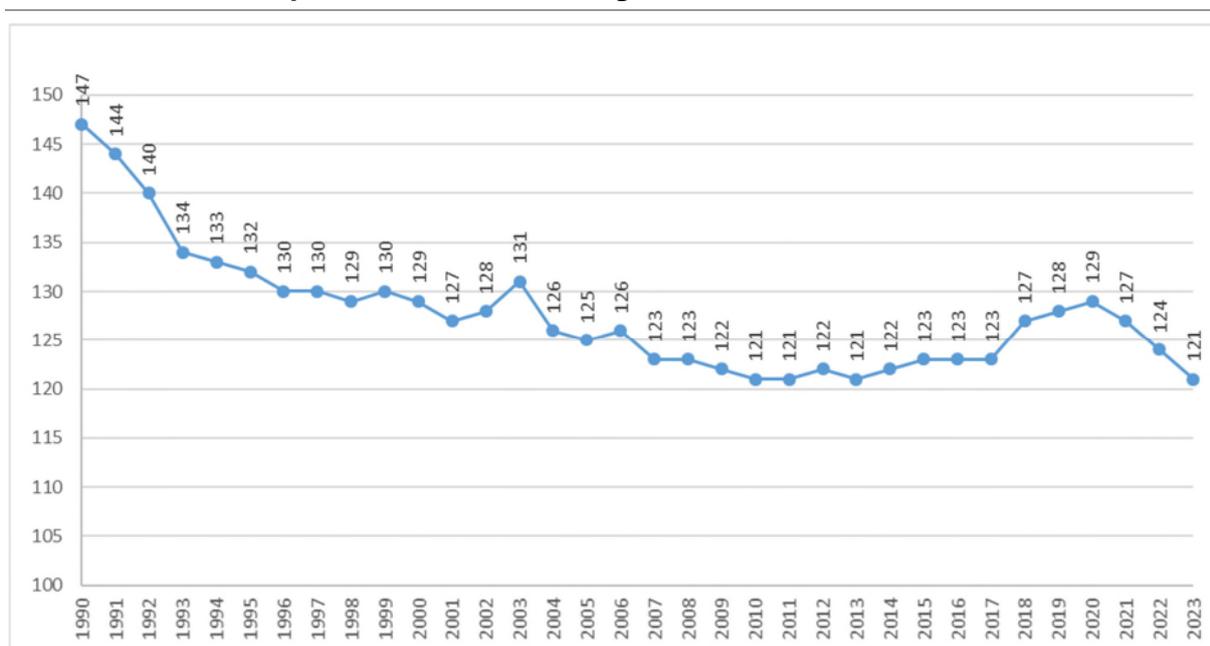
Als Kenngröße für die Veränderung der Wassernachfrage als Reaktion auf eine Veränderung des Wasserpreises wird gemeinhin die (Eigen)Preiselastizität herangezogen, i.e. die prozentuale Veränderung der Wassernachfrage bei einem Anstieg des Wasserpreises um ein Prozent. Die Höhe der Preiselastizität wird auf Basis beobachteter Daten empirisch geschätzt, in der Regel mittels geeigneter ökonomischer Verfahren. Nachfolgend werden auf Grundlage der vorhandenen Literatur die Ergebnisse solcher Schätzungen für Deutschland zusammengefasst und, soweit sinnvoll und möglich, mit den Ergebnissen für andere Länder verglichen.

6.2.1 Preiselastizitäten der Wassernachfrage

Private Haushalte

Für Deutschland gibt es bisher vergleichsweise wenige empirische Arbeiten, die sich mit der Schätzung der Wassernachfrage beschäftigen. Sämtliche Studien beziehen sich auf die Nachfrage privater Haushalte (ggf. inkl. Kleingewerbe). Diese liegt im Durchschnitt zurzeit bei etwa 121 Liter pro Person pro Tag (BDEW, 2024, vgl. Abbildung 30) In Deutschland wird der Wasserverbrauch der privaten Haushalte fast ausnahmslos über analoge Messeinrichtungen kontinuierlich erfasst, einmal pro Jahr abgelesen und an den Wasserversorger übermittelt.

Abbildung 30: Entwicklung des personenbezogenen Wassergebrauches in Deutschland (in Liter pro Einwohner:in und Tag).



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von BDEW (2024).

Basierend auf Querschnittsdaten auf der Ebene der Wasserversorger und unter Verwendung von Durchschnittspreisen für Wasser- und Abwasser schätzen Schleich und Hillenbrand (2009) eine Preiselastizität der Trinkwassernachfrage von privaten Haushalten (inkl. Kleingewerbe) von $-0,24$. Unter Verwendung von Paneldaten und von marginalen Preisen liegen die geschätzten Werte für die kurzfristige Preiselastizität bei etwa $-0,04$ und für die langfristige Preiselastizität bei etwa $-0,13$ (Schleich und Hillenbrand, 2019). Diese Unterschiede zwischen kurz- langfristigen Preiselastizitäten lassen sich beispielsweise dadurch erklären, dass kurzfristig eher Verhaltensänderungen, langfristig jedoch auch technische Veränderungen im Zuge von Modernisierung und Ersatzbeschaffung möglich. Darüber hinaus finden Schleich und Hillenbrand (2019), dass die Nachfrage sowohl kurz- als auch langfristig stärker auf steigende als auf fallende Preise reagiert. Unter Verwendung von Querschnittsdaten auf der Ebene von Landkreisen, schätzt Müller (2015) je nach verwendetem Modell Preiselastizitäten im Bereich von $-0,46$ bis $-0,26$. Anhand von Paneldaten zum Wasserverbrauch auf der Ebene von Landkreisen sowie zu Wasser- und Abwasserpreisen auf der Ebene von Bundesländern schätzt Reynaud (2015) eine kurzfristige Preiselastizität von $-0,45$ und eine langfristige Preiselastizität von $-0,51$.

Für Deutschland lagen bisher nur bei Frondel et al. (2021) Daten auf Haushaltsebene für die Schätzung der Preiselastizität der Wassernachfrage vor (Querschnittsdaten). Demnach liegt die kurzfristige Preiselastizität privater Haushalte, die in einem eigenen Einfamilienhaus leben, bei etwa $-0,1$.

Außerdem scheinen Haushalte, die über ihren Wasserpreis gut informiert sind, eine (betragsmäßig) etwas höhere Preiselastizität aufzuweisen als andere Haushalte.

Die für Deutschland geschätzten Preiselastizitäten der Wassernachfrage liegen betragsmäßig im Bereich der Preiselastizitäten, die für andere Länder geschätzt werden. Beispielsweise liegt in der Meta-Analyse von Marzano et al. (2018) der Durchschnitt der Preiselastizitäten bei - 0,4, während der Median bei - 0,34 liegt. Später publizierte Studien kommen dabei tendenziell zu betragsmäßig kleineren Schätzwerten für die Preiselastizitäten. Im Vergleich dazu schlagen Jegnie et al. (2021), deren Meta-Analyse eine mögliche Veröffentlichungsverzerrung (publication bias) berücksichtigt, vor, für Länder mit mittlerem bis überdurchschnittlich hohem Einkommen - 0,1 für die kurzfristigen und - 0,2 für die langfristigen Preiselastizitäten der Wassernachfrage im Innenbereich zu verwenden. Analog sollten - 0,4 bzw. - 0,5 für Wassernachfrage im Außenbereich (i.e. primär für Gartenbewässerung) angesetzt werden.

Generell ist festzustellen, dass die Schätzwerte für Preiselastizitäten stark variieren. Diese Unterschiede sind unter anderem auf die Verwendung verschiedener Aggregationsniveaus der Daten, unterschiedliche Modelle und Spezifikationen sowie die Verwendung von unterschiedlichen Preisvariablen zurückzuführen. Als Preisvariablen werden entweder marginale oder durchschnittliche Wasserpreise verwendet. Da in Deutschland in der Regel eine Grundgebühr erhoben wird, unterscheiden sich marginale und durchschnittliche Wasserpreise. Die Verwendung von Durchschnittspreisen kann die Schätzung von Preiselastizitäten erheblich verzerren. In der Tat stellen Schleich und Hillenbrand (2019) für Deutschland sowie verschiedene andere Studien für andere Länder (z.B. Dalhuisen et al., 2003) fest, dass Schätzungen von Preiselastizitäten, die auf Durchschnittspreisen beruhen, zu deutlich höheren Absolutwerten führen als Schätzungen, die auf marginalen Preisen basieren.

Originäre empirische Schätzung der Wassernachfrage in Deutschland für private Haushalte

Die überwiegende Mehrheit der empirischen Studien zur Wassernachfrage stützt sich auf funktionale Formen, die davon ausgehen, dass die gesamte Wassernachfrage auf Preisänderungen reagiert. Das gilt auch für die bisherigen Schätzungen der Wassernachfrage für Deutschland (Schleich und Hillenbrand, 2009, 2019; Reynaud, 2015, und Frondel et al., 2021), die auf linearen, log-linearen und doppelt logarithmierten funktionalen Formen basieren. Nur wenige Autoren verwenden die so genannte Stone-Geary-Spezifikation, mit der sich der Anteil der Wassernachfrage schätzen lässt, der nicht auf Preisänderungen reagiert, darunter Al-Qunaibet and Johnston (1985) für Kuwait, Gaudin et al. (2001) für Texas, Martínez-Espiñeira and Nauges (2004) für Sevilla, Dharmaratna und Harris (2017) für Sri Lanka und Balado-Naves and Suárez-Fernández (2023) für Gijón.

Unter Verwendung der Daten von Schleich und Hillenbrand (2009) wird nachfolgend erstmalig für Deutschland der Anteil des Wasserverbrauchs der privaten Haushalte geschätzt werden, der zumindest kurzfristig nicht auf Preisänderungen reagiert. Der Literatur folgend (z.B. Gaudin et al., 2001) wird dazu die Stone-Geary Nachfragefunktion verwendet, die auf folgender Nutzenfunktion basiert:

$$\ln U = \beta^W \ln(Q^W - \gamma^W) + \beta^Z \ln(Q^Z - \gamma^Z) \quad (1)$$

wobei Q^W für die Nachfrage nach Wasser und Q^{WZ} für die Nachfrage nach allen anderen Gütern steht. Die Parameter β^W und β^{WZ} spiegeln die Präferenzen der Nutzenden für Wasser und alle anderen Güter wider, mit $\beta^W > 0$, $\beta^Z > 0$ und $\beta^W + \beta^{WZ} = 1$. Die Parameter γ^W und γ^Z stehen für die Konsumniveaus an Wasser sowie allen anderen Gütern, die nicht auf Preise reagieren, wobei $(Q^W - \gamma^W) > 0$ und $(Q^Z - \gamma^Z) > 0$. Die Stone-Geary Nutzenfunktion in Gleichung (1) impliziert,

dass Konsument:innen ihr vorhandenes Einkommen zunächst für γ^W und γ^Z verwenden und danach das restliche Einkommen zu festen Anteilen β^W und β^Z auf Wasser und alle anderen Güter aufteilen. Normalisiert man den Preis aller anderen Güter auf 1 und setzt $\gamma^Z = 0$, ergibt sich unter Berücksichtigung der Budgetbeschränkung $p^W Q^W + Q^Z = 1$ für die nutzenmaximierende Wassernachfrage folgende Gleichung:

$$Q^W = (1 - \beta^W)\gamma^W + \beta^W \frac{I}{p^W} \quad (2)$$

Für die Preiselastizität der Wassernachfrage erhält man $-\beta^W I / p^W p Q^W$. Der Stone-Geary-Ansatz bedingt, dass die Wassernachfrage preisunelastisch ist, dass diese mit steigendem Einkommen zunimmt, und dass die Preiselastizität betragsmäßig der Einkommenselastizität entspricht. Die Ergebnisse von Schleich und Hillenbrand (2009) legen nahe, dass diese Bedingungen für die Wassernachfrage in Deutschland erfüllt sind.

Analog zu Gaudin (2008) wird γ^W als lineare Kombination von erklärenden Variablen X modelliert, i.e. $\gamma^W = \hat{\alpha}\bar{X}$, wobei α einen Vektor an Koeffizienten widerspiegelt. Als Schätzgleichung für die Nachfragefunktion ergibt sich dann:

$$Q^W = (1 - \beta^W)(\alpha X) \quad (3)$$

Da Gleichung (3) nichtlinear in den Parametern ist, wird diese als nichtlineare Regression geschätzt. Danach lässt sich γ^W durch $\gamma^W = \hat{\alpha}\bar{X}$ berechnen, wobei \bar{X} für den Mittelwert der Variablen steht. Für die Schätzungen stehen Daten für das Jahr 2003 aus Schleich und Hillenbrand (2009) auf Basis von Wasserversorgungsgebieten für ausgewählte Bundesländer zur Verfügung.

Tabelle 9 beschreibt die Variablen und liefert deskriptive Statistiken. Der preisunabhängige Wasserverbrauch γ^W wird als lineare Funktion der strukturellen Größen Brunnenanteil sowie Anteil Einfamilienhäuser sowie der länderspezifischen Dummy Variablen modelliert. Die übrigen Variablen in Tabelle 9 erklären zusätzlich die Wassernachfrage. Als Schätzgleichung ergibt sich damit

$$Q^W = (1 - \beta^W)(\alpha X) + \beta^W \frac{I}{p^W} + \delta Y \quad (4)$$

Der Vektor Y enthält die Variablen Haushaltgröße, Alter, sowie Informationen zu Temperatur und Niederschlag während der Sommermonate.

Tabelle 9: Beschreibung der verwendeten Variablen sowie deskriptive Statistiken für finalen Datensatz (N=590).

Variable	Beschreibung	Mittelwert	Std. Abw.	Min.	Max.
<i>Wasserverbrauch (Q^W)</i>	Wasserverbrauch pro Einwohner und Tag in Litern, berechnet auf Ebene der Wasserversorger aus der Wasserabgabe an Haushalte und Kleingewerbe und der Zahl der versorgten Einwohner	127.22	28.63	67.90	228.70
<i>Preis (p^W)</i>	Durchschnittspreis pro Liter - in Euro, Summe Wasser- und Abwasserpreis	0.004	0.001	0.002	0.007
<i>Einkommen (I)</i>	Durchschnittseinkommen privater Haushalte pro Person pro Jahr auf Kreisebene in Euro	12549	3098	6274	23055
<i>Brunnen</i>	Anteil Haushalte mit privaten Brunnen, berechnet aus Zahl privater Hausbrunnen bzw. Quellen und Zahl der Wohngebäude auf Kreisebene	0.01	0.02	0.00	0.20
<i>Einfamilienhäuser</i>	Anteil Einfamilienhäuser, berechnet aus Zahl der Einfamilienhäuser und Gesamtwohnungszahl	0.51	0.13	0.26	0.91

<i>Haushaltsgröße</i>	Haushaltsgröße, berechnet aus der Bevölkerungszahl und Zahl der Wohnungen auf Gemeindeebene	2.06	0.27	1.49	3.66
<i>Alter</i>	Durchschnittsalter berechnet aus Angaben zum Durchschnittsalter auf Gemeindeebene	42.28	1.56	36.40	47.40
<i>Temperatur</i>	Mittlere Sommerdurchschnittstemperatur einer nahe gelegenen Wetterstation in Grad Celsius	7.91	1.02	5.00	10.80
<i>Niederschlag</i>	Niederschlagsmenge während der Sommermonate in mm	16.63	1.02	13.10	19.80
<i>Dummy Variablen für Bundesländer</i>	Schleswig-Holstein, Niedersachsen, Nord-Rhein-Westfalen, Hessen, Baden-Württemberg, Bayern, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen, Sachsen-Anhalt, Thüringen				

Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Berechnungen

Die Schätzergebnisse sind in Tabelle 10 dargestellt.

Tabelle 10: Ergebnis nichtlineare Schätzung der Wassernachfrage für Stone-Geary Spezifikation.†

<i>Variable</i>	
β^W	0.002*** (0.000)
<i>Brunnen</i>	-114.424*** (31.895)
<i>Einfamilienhäuser</i>	17.611* (9.472)
<i>Haushaltsgröße</i>	-33.549*** (5.301)
<i>Alter</i>	0.465 (0.676)
<i>Temperatur</i>	-0.280 (0.896)
<i>Niederschlag</i>	-3.156*** (0.957)
N	590

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

†Robuste Standardfehler in Klammern.

Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Berechnungen

Daraus ergibt sich eine geschätzte Preis- und Einkommenselastizität in Höhe von -0,17 bzw. 0,17. Im Einklang mit den in 6.2.1 dargestellten Ergebnissen aus der Literatur ist die geschätzte Preiselastizität betragsmäßig gering. Der preisunabhängige Teil der Wassernachfrage (γ^W) sinkt unter sonst gleichen Bedingungen (*ceteris paribus*) mit dem Anteil der Brunnen und steigt mit dem Anteil an Einfamilienhäusern. Letztere spiegeln dabei insbesondere den Wasserbedarf im Außenbereich wider. Über zusätzliche Rechnungen ergibt sich für die betrachteten Bundesländer im Durchschnitt eine geschätzte preisunabhängigere Wassernachfrage pro Person in Höhe von ca. 95 Liter pro Tag bzw.

2.8 m³ pro Monat. Dies entspricht einem Anteil von ca. 74% der Wassernachfrage. Das heißt, nur rund ein Viertel der Wassernachfrage reagiert kurzfristig auf Änderungen der Wasserpreise. Dieser Anteil steht im Einklang mit empirischen Untersuchungen von Gaudin et al. (2001) für die USA (Texas) sowie von Martínez-Espiñeira und Nauges (2004) für Spanien (Sevilla). Längerfristig ist allerdings davon auszugehen, dass Preisänderungen zu Anpassungen im Kapitalstock (z.B. wassersparende Waschmaschinen, Bepflanzung) und ggf. auch im Verhalten (z. B. Duschkauer) führen, so dass der Anteil der Wassernachfrage, der langfristig auf Preisänderungen reagiert, deutlich höher sein dürfte. Da sich die geschätzte Preiselastizität von 0.17 auf die gesamte Wassernachfrage bezieht, aber lediglich 25% der Wassernachfrage auf Preise reagiert, ergibt sich für den Anteil der Nachfrage, der auf Preise reagiert, eine Preiselastizität von ca. -0.68 (i.e. viermal -0.17).

Die Ergebnisse in Tabelle 10 lassen weiterhin darauf schließen, dass jede zusätzliche Person im Haushalt den Verbrauch pro Person senkt, was intuitiv naheliegt, da z.B. der Wasserverbrauch im Außenbereich und für Reinigungszwecke in der Regel kaum von der Haushaltsgröße abhängt. Eine hohe Niederschlagsmenge während der Sommermonate reduziert die Wassernachfrage. Für das Alter der Bevölkerung und die Durchschnittstemperatur während der Sommermonate ließ sich kein statistisch signifikanter Zusammenhang zur Wassernachfrage feststellen.

Industrie

Für den Industriebereich liegen in Deutschland keine empirischen Schätzungen zur Preiselastizität der Wassernachfrage vor. Darüber hinaus haben viele industrielle Wasserverbraucher das Recht Oberflächenwasser oder über private Brunnen Grundwasser zu entnehmen, wofür weder Grund- noch Verbrauchsgebühren anfallen, je nach Bundesland allerdings ein Wasserentnahmeentgelt fällig ist. Außerdem sind die tatsächlich entnommenen Mengen in der Regel nicht öffentlich bekannt. Zudem wird in ausgewählten industriellen Prozessen Wasser nur zur Kühlung genutzt und anschließend in Oberflächengewässer rückgeleitet.

Auch aus anderen Ländern liegen vergleichsweise wenige empirische Schätzungen zu Preiselastizitäten für den Industriebereich vor. Der Median der geschätzten Preiselastizitäten im Industriebereich in der Meta-Analyse von Gracia-de-Rentería und Barberán (2021) liegt bei - 0.57.

Fazit

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Nachfrage nach Trinkwasser der privaten Haushalte in Deutschland wie auch in anderen Ländern sowohl kurz- als auch langfristig äußerst preisunelastisch ist. Außerdem reagiert nur ein relativ geringer Teil der Wassernachfrage (zumindest kurzfristig) überhaupt auf Preisänderungen. Dies erscheint nachvollziehbar, da in Deutschland Trinkwasser primär für unverzichtbare tägliche Bedürfnisse genutzt wird (vgl. Abbildung 29). Aktivitäten wie Gartenbewässerung, auf die bei höheren Preisen eher verzichtet werden könnte, fallen hingegen im Durchschnitt weniger ins Gewicht. Berücksichtigt man allerdings, dass zumindest kurzfristig nur ein Teil der Wassernachfrage überhaupt auf Preise reagiert, ergibt sich für die preisreagible Wassernachfrage eine betragsmäßig deutlich höhere Preiselastizität.

Für die industrielle Wassernachfrage in Deutschland liegen keine Schätzungen für Preiselastizitäten vor. Auf Basis von empirischen Untersuchungen für andere Länder ist allerdings davon auszugehen, dass die industrielle Wassernachfrage elastischer ist als die der privaten Haushalte.

Aufgrund der betragsmäßig vergleichsweise geringen Preiselastizitäten der Wassernachfrage in Deutschland ist anzunehmen, dass die durch Wasserpreise induzierten Innovationswirkungen eher moderat ausfallen, wobei sie im industriellen Bereich höher sein dürften als bei privaten Haushalten. Für den preisreagiblen Teil der Wassernachfrage der privaten Haushalte, sind ggf. höhere preis-

induzierte Innovationswirkungen zu erwarten. Da die vorhandenen Daten zur Wassernachfrage keine Aufschlüsselung nach Bereichen (z.B. Garten, Körperpflege, Toilette, Duschen) ermöglicht, sind weitergehende Rückschlüsse empirisch nicht belegbar.

In Deutschland ist der Wasserverbrauch in Folge des technischen Fortschritts und der zunehmenden Verbreitung von wassereffizienten Geräten zurückgegangen, was zu einem Rückgang der Verkaufserlöse geführt hat. Als Folge haben zahlreiche Versorgungsunternehmen Änderungen an der Tarifstruktur gefordert und auch umgesetzt, die die (kurzfristige) Kostenstruktur der Versorger besser abbildet, i.e. eine Erhöhung der Grundgebühr, verbunden mit einer Senkung der Verbrauchsgebühren (vgl. VKU, 2019). Eine solche Tarifstruktur verbessert zwar die ökonomische Effizienz, reduziert allerdings Anreize sich Wasser sparend zu verhalten und wassersparende Techniken zu entwickeln und einzusetzen. Sofern aufgrund des Mehrverbrauchs zusätzliche Investitionen in die Wasserinfrastruktur notwendig werden, kann dies zu einer Erhöhung der langfristigen Grenzkosten führen.

6.2.2 Möglichkeiten der Preisdifferenzierung

Staffeltarife

In Deutschland, wie in den meisten nord- und mitteleuropäischen Ländern, die zumindest in der Vergangenheit kaum unter einem Mangel an Wasser zu leiden hatten, ist die Verbrauchsgebühr pro Kubikmeter Wasser für die gesamte nachgefragte Menge konstant. In einigen südeuropäischen Ländern und Staaten im Südwesten der USA kommen hingegen sogenannte Staffeltarife zum Einsatz. Dabei variiert der Verbrauchspreis pro Kubikmeter Wasser je nach Verbrauchsstufe, wobei der Preis pro Einheit mit zunehmendem Wasserverbrauch typischerweise steigt. Staffeltarife schaffen somit Anreize für eine sparsame Wassernutzung über eine Anpassung des Verhaltens oder Investitionen in wassersparende Technologien. Da Haushalte mit mehr Mitgliedern *ceteris paribus* einen höheren Wasserverbrauch aufweisen, können sie zu sozial unerwünschten Verteilungseffekten führen. Durch Anpassung der Verbrauchsstufen (oder der Preise) je nach Haushaltsgröße, lassen sich diese jedoch prinzipiell abfedern. In der Praxis dient daher der kostengünstigste erste Staffeltarif in der Regel zur Abdeckung des Grundbedarfs.

Dynamische Tarife

a) Steuerung der Stromnachfrage

Im Bereich der Stromversorgung gilt das Festlegen von Strompreisen auf einem Niveau, das zu jedem Zeitpunkt die Grenzkosten der Produktion widerspiegelt, seit langem als Mittel zur Verbesserung der ökonomischen Effizienz (Boiteux 1949, Houthakker 1951, Hirshleifer 1958, oder Kahn 1970), um Preisschwankungen auf Großhandelsmärkten zu reduzieren, die Spitzenlast nachfrageseitig zu senken oder den Bedarf an Reservekapazitäten oder zusätzlichen Investitionen in die Netzinfrastruktur zu verringern (z.B. Borenstein 2005, Faruqui et al. 2010, Faruqui und Palmer 2011, Joskow 2012). Idealerweise spiegeln solche dynamischen Preise die sich im Laufe der Zeit verändernde Echtzeitknappheit in der Kapazität des Systems wider (inkl. Engpässe im Leitungsnetz). Borenstein und Holland (2005) betonen zudem, dass eine dynamische Preisgestaltung die Elastizität der Nachfrage erhöht. Dynamische Preise für Privatkunden umfassen typischerweise Tarifmodelle wie zeitabhängige Tarife (TOU), Echtzeit-Tarife (RTP) und Spitzenlast-Tarife (CPP). Während bei TOU-Tarifen die Tarifpreise je nach einer begrenzten Anzahl von Zeitblöcken variieren (in der Regel Spitzen- und Grundlastzeiten), können sich unter RTP die Preise stündlich (oder auch in noch kürzeren Abständen ändern), in der Regel basierend auf dem day-ahead-Großhandelspreis. Unter CPP bleibt der Tarif für den größten Teil des Tages fest, kann aber während einiger vorab festgelegter

Stunden extrem hoch sein. Die Implementierung dieser dynamischen Tarifmodelle erfordert intelligente Messsysteme, sogenannte "Smart Meter". Smart Meter erfassen die Verbrauchsdaten eines Haushalts auf untertägiger Basis (z. B. alle paar Minuten, viertelstündlich oder stündlich), dank der Installation hochauflösender Sensoren und ihrer Integration in die Datensysteme des Versorgungsunternehmens, was die Übertragung von Daten sowie bi-direktionale Kommunikation ermöglicht.

Der Anteil zeitvariabler Tarife für Strom in Deutschland ist derzeit relativ gering, insbesondere im Vergleich zu anderen Ländern. Ein Grund dafür ist der schleppende Roll-out von intelligenten Messseinrichtungen in Deutschland, der weit hinter dem ursprünglichen Plan liegt (Bundesnetzagentur, 2022). Allerdings sind Energieversorger verpflichtet, ab dem 1. Januar 2025 dynamische oder zeitvariable Stromtarife sowie Netzentgelte für Besitzer:innen steuerbarer Verbrauchseinrichtungen anzubieten, sofern diese über ein intelligentes Messsystem verfügen.

Davis et al. (2013) schätzen auf Basis einer Meta-Analyse zur Wirksamkeit von dynamischen Tarifen in den USA und Kanada und kommen zu dem Ergebnis, dass dynamische Preise in den betrachteten Studien die Spitzenlast um etwa 6 Prozent reduzieren bzw. um 14 Prozent, wenn sie in Verbindung mit Hausautomatisierung (wie programmierbaren Geräten) verwendet werden. Sie finden allerdings keinen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen dynamischen Tarifen und dem Gesamtstromverbrauch. Dynamische Tarife scheinen demnach eher zu einer Kappung der Spitzenlast denn zu einer Verlagerung des Verbrauchs zu führen. Dieser lässt sich über In-Home-Displays, die den Stromverbrauch anzeigen, um etwa 3% verringern (Davis et al., 2013).

Politischer Widerstand gegen zeitlich variable Preise verbunden mit Akzeptanzproblemen und die mangelnde Verfügbarkeit kostengünstiger Technologien zur Ermöglichung solcher Preismodelle (enabling technologies) haben sich als wichtige Hürden für die Umsetzung und Verbreitung von dynamischer Preisgestaltung im Stromsektor erwiesen (z.B. Dutta and Mitra, 2017). Akzeptanzprobleme sind insbesondere in Zusammenhang mit der Einführung von Smart Metern in privaten Haushalten festzustellen. Darunter fallen Kosten für die Installation der Intelligenten Zähler, Bedenken hinsichtlich des Datenschutzes und der Sicherheit (Hacking, Cyberangriffe) der durch Smart Meter gesammelten Daten, der Strahlenbelastung durch drahtlose Kommunikation oder der Angst vor einem Verlust der Kontrolle über den eigenen Stromverbrauch (z.B. bei Zu- oder Abschaltung von Haushaltsgeräten durch den Netzbetreiber). Außerdem verringern auf Seiten der Haushalte zusätzlich erforderliche Bemühungen zur Lastverschiebung (Schlereth et al., 2018) sowie Unsicherheiten über Preisentwicklungen (Ruokamo et al., 2019) den Nutzen von dynamischen Tarifen im Strombereich. Letztendlich haben in der Vergangenheit auch mögliche unerwünschte verteilungspolitische Auswirkungen eine stärkere Diffusion dynamischer Tarife verhindert (Joskow und Wolfram, 2012).

b) Steuerung der Wassernachfrage

Grundsätzlich besitzen die Argumente, die für eine Dynamisierung der Preise im Strombereich angeführt werden hinsichtlich der Kappung von Stromspitzen und der gleichmäßigen Auslastung der vorhandenen Infrastruktur, auch für den Wasserbereich Bedeutung.

Saisonal oder temporär höhere Preise sollen einen zusätzlichen, vorübergehenden Anreiz bieten, Wasser zu sparen, insbesondere in jenen (Jahres-)Zeiten, in denen Wasserknappheit auftritt bzw. mit Wasserknappheit zu rechnen ist. Ein solcher Spitzenpreis kann regelmäßig angewendet werden, in einem zuvor bekannten kritischen Zeitraum im Jahr, oder situationsabhängig, wenn ein oder mehrere Knappheitsindikatoren bestimmte vorher festgelegte Schwellenwerte überschreiten. In Kapstadt, Südafrika, beispielsweise hat eine langanhaltende Dürre den lokalen Wasserversorger in 2018 dazu veranlasst, einen doppelt-progressiven Tarif mit sechs volumetrischen Blöcken und vier Stufen der Wasserknappheit einzuführen, die vom tatsächlichen Wasserstand im Staudamm abhängen, der als Wasserspeicher für die Stadt dient. Je niedriger der Wasserstand und das verbleibende

nutzbare Wasservolumen sind, desto höher ist das Niveau der Knappheit. Und je höher das Knappheitsniveau, desto progressiv teurer wird das Wasser. Neben den Preiserhöhungen führen zunehmende Knappheitsniveaus zu zusätzlichen Einschränkungen bei der Nutzung von Wasser, wie beispielsweise beim Bewässern von Gärten oder Waschen von Autos. Das tatsächliche Knappheitsniveau wurde den Wassernutzern über ein "Dashboard" auf der Website des Wasserversorgers von Kapstadt mitgeteilt.

In Kalifornien haben in der Vergangenheit zahlreiche Kommunen temporär "Dürrezuschläge" auf den Verbrauchspreis erhoben. Je nach Wasserstand können diese Zuschläge z.B. in San Francisco aktuell zwischen 5% und 32% betragen.²¹

Einzelne Wasserversorger haben in Deutschland bereits mit dem Einbau von Smart Metern auch im Haushaltsbereich begonnen, in erster Linie um den Aufwand bei der Zählerablesung zu verringern und die Kundenzufriedenheit zu verbessern.²² Mit dem Aufkommen hochauflösender intelligenter Wasserzähler ist prinzipiell auch die Steuerung der Wassernachfrage mittels dynamischer Tarife mit täglich oder sogar stündlich variablen Verbrauchspreisen möglich (z. B. Vašak et al., 2014). Die hohe zeitliche Auflösung der Wasserverbrauchsdaten ermöglicht die Extraktion und das Speichern von Endverbrauchsdaten und das Erstellen von Verbrauchprofilen als Reaktion auf externe Stimuli wie Tarifänderungen und Informationen (z.B. Wassersparkampagnen, Verbrauch - absolut und im Vergleich zu anderen Haushalten²³). Diese Stimuli können über reguläre Wasserrechnungen oder Echtzeit-Feedback bereitgestellt werden, z.B. über In-House-Anzeigen und/oder Handy-Apps (z.B. Rougé et al., 2018).

Bisher liegen allerdings keine Erkenntnisse zu praktischen Erfahrungen mit dynamischen Tarifen im Wasserbereich vor. Erste Simulationen mit wasser-ökonomischen Modellen für ausgewählte Versorgungsgebiete kommen zu dem Schluss, dass Tarife, die höhere Wasserpreise während Dürreperioden vorsehen, den Wasserverbrauch sowie die Kosten der Wasserversorgung im relevanten Wassereinzugsgebiet deutlich reduzieren können. Beispielsweise finden Lopez-Nicolas et al. (2018), dass sich durch ein solches Preissystem der Wasserverbrauch in Valencia (Spanien) in den trockensten Jahren um 18 % und die Systemkosten im Wassereinzugsgebiet um 34 % verringern lassen.

Fazit

Dynamische Preise, die die Knappheitsverhältnisse auf dem Wassermarkt möglichst zeitnah abbilden, könnten aus ökonomischer Sicht sinnvoll sein. Wenngleich es einige wesentliche Unterschiede zwischen Strommarkt und Wassermarkt gibt (z.B. müssen Angebot und Nachfrage an Strom aus Gründen der Netzstabilität zu jedem Zeitpunkt übereinstimmen; Gebietsmonopole für Wasserver- und -entsorgung während der Strommarkt liberalisiert und der Netzzugang über Gebietsmonopole reguliert ist), so gibt es zahlreiche strukturelle Gemeinsamkeiten (z.B. zeitliche und regionale Schwankungen bei Nachfrage und Angebot, Netz als natürliches Monopol), die den Schluss nahe legen, dass die Argumente, die für eine Dynamisierung der Preise im Strombereich sprechen, auch für den Wasserbereich gelten. Konkretere Erkenntnisse und Handlungsempfehlungen ließen sich aus Kosten-Nutzen-Analysen ableiten.

Im Zuge zunehmender Trockenphasen und damit verbundener lokaler oder regionaler Knappheit wären insbesondere die Einführung von höheren Wasserpreisen während der Trockenphasen, z.B.

²¹ Vgl. https://sfpub.org/sites/default/files/accounts-and-services/Rates_Schedule_Water_Sewer_2023-24.pdf

²² Z.B. verbaut die Mittelmärkische Wasser- und Abwasser GmbH als Dienstleister der Wasser- und Abwasserzweckverbände „Der Teltow“ und „Mittelgraben“ seit 2020 einen elektronischen Ultraschallwasserzähler, der auch über eine optische Schnittstelle verfügt (<https://www.mwa-gmbh.de/infowelt/smart-meter/>)

²³ Studien aus anderen Ländern legen nahe, dass Informationen zum Wasserverbrauch im Vergleich zu anderen Haushalten zu einer zumindest temporären Einsparung des Wasserverbrauchs führen können z.B. (Costa und Kahn, 2013, Ferraro et al., 2011; Ferraro und Price, 2013).

als Funktion der Wasserknappheit und regionaler Faktoren, näher zu untersuchen (ggf. im Zusammenspiel mit informatorischen und stärker regulatorischen Maßnahmen wie Verbote für bestimmte Anwendungen). Dafür müsste unter anderem der Wasserverbrauch auch unterjährig erfasst und an den Wasserversorger gemeldet werden.

Darüber hinaus ist Dank technischer Innovationen bei der Entwicklung hochauflösender intelligenter Wasserzähler auch die Einführung dynamischer Tarife mit täglich oder stündlich variierenden Verbrauchspreisen denkbar. Eine Grundvoraussetzung dafür wäre der Roll-out solcher Zähler. Die Erfahrungen bei der Einführung von Smart Metern und dynamischen Preisen im Strombereich zeigen jedoch, dass dabei mit erheblichen Akzeptanzproblemen zu rechnen ist. Diese könnten sich im Wassersektor als noch höher erweisen, da zeitlich variable Preise als Eingriff in das grundlegende Recht auf Wasser betrachtet werden könnten.

Dynamische Tarife beeinflussen über eine Veränderung der Anreizstrukturen das Verhalten der Marktakteure und können demnach selbst eine institutionelle Innovation darstellen. Inwiefern durch die Einführung dynamischer Tarife im Wasserbereich zusätzliche Innovationswirkungen ausgelöst werden, dürfte von der Höhe und der Spreizung der Tarife abhängen, lässt sich aus der spärlich vorhandenen empirischen Literatur dazu jedoch nicht ableiten. Denkbar sind - analog zur Entwicklung im Strombereich - neben technologischen Innovation vor allem eine Vielzahl von Innovationen in den Geschäftsmodellen. Dazu zählen neben differenzierteren Angeboten an Tarifstrukturen vor allem eine stärkere Dienstleistungsorientierung, Investitionen in Datenanalyse- und Big-Data-Technologien, um die enormen Datenmengen, die von Smart Metern und anderen Sensoren generiert werden, zu verarbeiten. Dies ermöglicht eine genauere Vorhersage von Verbrauchsmustern, eine verbesserte Netzstabilität und eine bessere Kundenbetreuung. Analog zur Entwicklung von Home Energy Management Systems (HEMS) im Energiebereich²⁴, sind im Wasserbereich mit zunehmender Digitalisierung "Home Water Management Systems" (HWMS) denkbar. Über eine stärkere Integration von verschiedenen dezentralen Komponenten wie Regenwassernutzungsanlagen oder Wasserrecycling, einschließlich Sensoren, Steuerungen und Softwareanwendungen könnte damit der Wasserverbrauch in Gebäuden überwacht, kontrolliert und optimiert werden. Zukünftig wäre auch eine Verknüpfung von HWMSs mit HEMs oder Intelligenten Thermostaten vorstellbar. Besondere Potenziale könnten sich bei der Übertragung entsprechender Ansätze auf den Industriebereich ergeben.

6.3 Institutionelle Innovationen: Wasserhandel

Als Folge des fortschreitenden Klimawandels ist auch für Deutschland damit zu rechnen, dass das Wasserangebot in Zukunft tendenziell abnehmen wird, insbesondere während der Sommermonate. Bei zunehmender Wasserknappheit, die durch einen gleichzeitigen Anstieg der Wassernachfrage (z.B. für Bewässerungszwecke im Agrarbereich) noch verschärft wird, kommt einer effizienten Bewirtschaftung der vorhandenen Wassermengen eine wachsende Bedeutung zu.

Im Falle von Wasserknappheit können einerseits Maßnahmen zur Verbesserung des Angebotes ergriffen werden, wie z.B. der Bau von Speicherbecken, Kanälen, etc. Andererseits können Maßnahmen zum Management der Nachfrage umgesetzt werden. Dazu zählen z.B. Informationskampagnen, Technologiestandards, Planungsprozesse und ökonomische Anreize. Je nach regionalen hydrologischen Bedingungen kann die Erhöhung des Angebots an physikalische Grenzen stoßen, sodass entsprechende Maßnahmen mit hohen Kosten (inkl. Umweltschäden) verbunden sein können. Zu den ökonomischen Instrumenten zur Steuerung der Wassernachfrage zählen Wasserpreise und die Schaffung von Märkten für den Handel mit Wasserrechten. Aus ökonomischer Sicht haben

²⁴ Vgl. z.B. Aichele und Doleski (2014), Giordano und Fulli (2012) sowie Glachant (2021).

Märkte für Wasserrechte das Potenzial zu einer effizienten Nutzung begrenzter Ressourcen beizutragen, indem Wasserrechte von niedrigwertigen zu höherwertigen Nutzungen umverteilt werden. Wasserhandelssysteme stellen gegenüber herkömmlichen Regulierungen bei der Wasserbewirtschaftung eine **institutionelle Innovation** dar. Einige Länder haben sich in der Vergangenheit dazu entschlossen, Wasser- bzw. Wasserrechtehandelssysteme als nachfrageseitiges Instrument einzuführen (vgl. Abbildung 31). Bisher gibt es allerdings relativ wenig Erfahrungen damit, unter welchen Bedingungen Wassermärkte ein geeignetes Mittel für den Umgang mit Wasserknappheit sind (Wheeler und Xu 2021).

Funktionsweise

Wasserrechtehandel beinhaltet den Kauf- und Verkauf von Rechten oder Ansprüchen auf die Nutzung von Oberflächen- oder Grundwasserressourcen (vgl. z.B. Delacámara et al., 2013; Wheeler und Xu (2021)). Um den gewünschten Zustand der Wasserressourcen zu erreichen, werden für diese (ggf. in Zusammenarbeit mehrerer betroffener Verwaltungseinheiten) quantitative Beschränkungen für die Wasserentnahme festgelegt und in Eigentumsrechte bzw. Nutzungsrechte von Wasser umgewandelt. Es gibt daher eine Gesamobergrenze für die Verfügbarkeit von Rechten zur Nutzung von Wasser innerhalb eines Wassereinzugsgebietes. Wassernutzer können diese Rechte dann innerhalb der von einer Regulierungsbehörde (z.B. Wasserbehörde) festgelegten Grenzen handeln.²⁵

Bei dem Begriff der Wasserrechte muss zwischen permanenten Rechten ('rights', 'entitlements') und saisonalen Zuteilungen ('allocations') unterschieden werden. Permanente Wasserrechte stellen einen grundsätzlichen Anspruch auf die Nutzung einer bestimmte Menge Wasser dar und orientieren sich an langjährigen Mittelwerten. Je nach Witterungsbedingungen kommt es vor, dass nicht ausreichend Wasser zur Verfügung steht, um den Anspruch aller Wasserrechteinhaber zu decken. Die Zuordnung von tatsächlich verfügbaren Wassermengen zu den Wasserrechten wird als saisonale Zuteilung bezeichnet. Dabei ist die Art und Weise, wie Wasserrechte bei der Verteilung priorisiert werden, abhängig vom jeweiligen Rechtssystem (s. Anhang A.1). Wheeler und Xu (2021) unterscheiden dementsprechend zwischen drei Arten von Wasserhandel: (1) Kurzfristiger Handel mit Wasser, das für eine sofortige Nutzung verfügbar ist (**Zuteilungshandel**); (2) mittelfristiges Leasing von saisonalen Zuteilungen zur Planung eines sicheren Zugriffs auf Wasser für einen vertraglich festgelegten Zeitraum (**Wasser-Leasing**); (3) permanenter Handel von Wasserrechten (**Wasserrechtehandel**). Beim Handel mit Wasserrechten können noch weitere Institutionen und Instrumente eine Rolle spielen. Wasserbanken sind zentrale Institutionen, die als Clearingstelle für Käufer und Verkäufer von Wasserrechten fungieren. Umwelt-Leasing- und Kaufprogramme sollen in der Regel den Wasserfluss zum Schutz der Umwelt erhöhen. Dazu zählen Wasserfonds (engl. trusts), staatliche Leasing- und Kaufrechte sowie Rückkaufprogramme (Delacámara et al., 2013).

Der Handel mit Wasserrechten unterscheidet sich von Wasserübertragungen (z.B. über Fernwasserleitungen, s. Kapitel 6.4). Wasserübertragungen sind Umleitungsprojekte zwischen Wassereinzugsgebieten mittels kapitalintensiver Infrastrukturen. Solche Wasserübertragungen erhöhen das Angebot an Wasser und wirken unter der Annahme, dass alternative Optionen teurer gewesen wären, preissenkend. Sofern der Handel mit Wasserrechten auf lokaler Ebene stattfindet, sind in der Regel keine großen zusätzlichen Infrastrukturen erforderlich.

Der Handel mit Wasserrechten kann grundsätzlich dazu beitragen, die Ressource Wasser aus ökonomischer Sicht effizient zu nutzen (i.e. für Zwecke mit dem höchsten wirtschaftlichen Wert) und

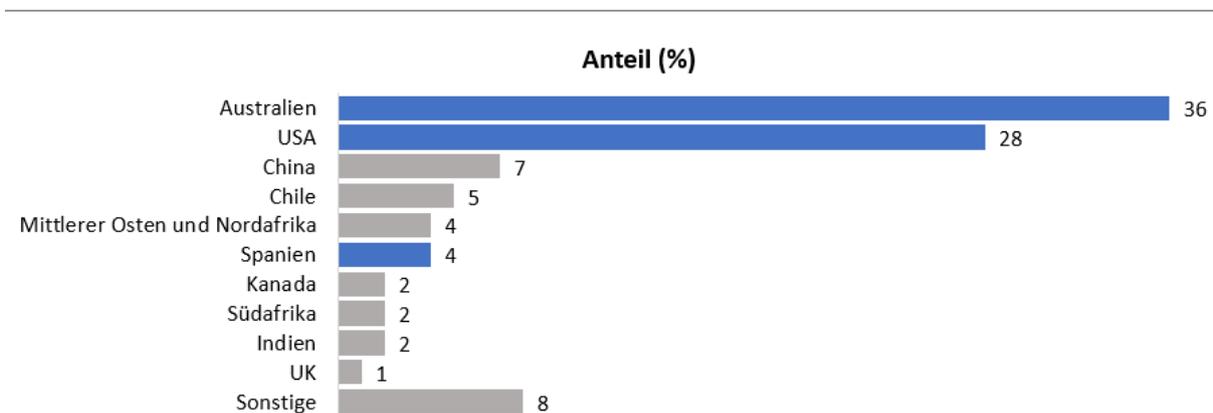
²⁵ Auch der EU-Emissionsrechtehandel, der seit 2005 den Ausstoß an Treibhausgasen (THG) an über 12000 Anlagen in der EU reguliert, ist vom Ansatz her ein solch mengenbezogenes Instrument. Dabei müssen Unternehmen für jede Tonne an THG, die ihre Anlagen emittieren, Emissionsrechte vorweisen. Unternehmen können Rechte am Markt kaufen und verkaufen. Ähnliche Systeme existieren für die Begrenzung des Ausstoßes bestimmter Schadstoffe (SO_x, NO_x) in den USA, für Energieeffizienzmaßnahmen in mehreren EU-Ländern (Energieeffizienzobligationen) und wurden u. a. auch zur Begrenzung des Flächenverbrauchs in Deutschland diskutiert und konzeptionell ausgearbeitet.

die ökologischen und ökonomischen Folgen von Wasserknappheit und Dürren aufzufangen. Im Rahmen eines Instrumentenmixes kann der Handel mit Wasserrechten dazu beitragen, die Wasserressourcen so zu managen, dass sie zu einer gegenüber Krisen widerstands- und anpassungsfähigeren wirtschaftlichen Entwicklung unter Einhaltung ökologischer Rahmenbedingungen führt (vgl. Delacámara et al., 2013).

Der Preis, der sich beim Handel mit Wasserrechten einstellt, spiegelt im Idealfall die Knappheit der Ressource Wasser wider, setzt Anreize zum Wasser sparenden Verhalten sowie für Investitionen in Wasser sparende Technologien und kann schließlich zu preis-induzierten Innovationen führen. Die Stärke der Innovationswirkung hängt zentral von der Höhe des Preises und damit von der Knappheit der Ressource ab.

Systeme zum Handel mit Wasserrechten gibt es u.a. in mehreren US Staaten (z. B. Arizona, Kalifornien, Montana, New Mexiko, Texas, und Washington), Australien, Chile, China, Mexiko, und Südafrika). In der EU hat bisher nur Spanien ein System zum Handel mit Wasserrechten eingeführt.

Abbildung 31: Räumlicher Bezug der im Zeitraum 1970-2019 veröffentlichten Literatur zu Wassermärkten.



Quelle: Wheeler und Xu (2021).

In Deutschland gibt es bisher keine Erfahrungen mit Wasserrechtssystemen. Daher wurden drei bestehende Systeme näher betrachtet - vgl. auch die blau hervorgehobenen Staaten in Abbildung 31:

- Das Wasserhandelssystem im **Murray-Darling-Becken in Australien** wurde in den 1980er Jahren als Teil eines umfassenderen Reformprozesses zur effizienteren Bewirtschaftung der Wasserressourcen in der Region eingeführt. Das Murray-Darling-Becken ist eines der größten Flusssysteme Australiens und umfasst Teile von New South Wales, Victoria, South Australia, Queensland und Australian Capital Territory. Es gilt allgemein als das weltweit ausgereifteste und am besten dokumentierte Wasserhandelssystem.
- In den **USA** gibt es eine lange Tradition des Handels mit Wasserrechten, die bis ins 19. Jahrhundert zurückreicht. Nach der Jahrtausendwende wurden im US **Bundesstaat Colorado** verstärkt verschiedene Institutionen und Mechanismen eingeführt, um den Handel mit Wasserrechten zu erleichtern und zu regulieren. Seitdem hat sich der Handel mit Wasserrechten zu einem wichtigen Instrument zur Bewältigung von Wasserknappheit und sich ändernden Nachfragebedingungen in Colorado entwickelt.
- In **Spanien** wurde Ende der 90er Jahre ein **nationales Wasserhandelssystem** eingeführt, um eine effizientere Nutzung der begrenzten Wasserressourcen zu ermöglichen und den steigenden Wasserbedarf, insbesondere der Landwirtschaft und einiger städtischer Gebiete primär in

Zentral- und Südspanien zu bewältigen. Das System in Spanien ist das einzige formelle Wasserhandelssystem in einem EU Mitgliedsstaat und daher von besonderem Interesse.

Ausgestaltungselemente

Anhang A.1 gibt einen Überblick zu den wesentlichen Ausgestaltungselementen für diese drei Wasserhandelssysteme.

Anlass für die Etablierung von Wasserhandelssysteme waren dabei primär das Ziel, Wasserressourcen unter sich ändernden ökonomische und ökologische Rahmenbedingungen unter Einhaltung ökologischer Kriterien ökonomisch effizient zu nutzen. Dies bedingt die Berücksichtigung regionaler Besonderheiten bei der Ausgestaltung. Teilnehmende sind bei allen hier betrachteten Systemen in erster Linie landwirtschaftliche Betriebe in den Bereichen Ackerbau sowie Obst- und Weinbau. Wasserversorger sowie wasserintensive Industriebetriebe spielen eher eine untergeordnete Rolle, selbst wenn sie Teil des Wasserhandelssystems sind. Mangelnde Heterogenität der Teilnehmer (bzw. der Wassereinsparkosten) beschränkt grundsätzlich die Effizienzgewinne, die sich durch einen Handel mit Wasserrechten erzielen lassen. Auch mögliche Innovationseffekte sind auf die teilnehmenden Sektoren begrenzt.

Alle drei Systeme beziehen sich auf Oberflächen- und Grundwasser, allerdings werden diese beiden Quellen wegen unterschiedlicher Wasserqualitäten nicht immer als (vollkommene) Substitute behandelt. Der Handel mit Wasserrechten basiert je nach historischer Entwicklung der Eigentumsrechte auf öffentlichem Besitz der Wasserressource (nach Antrag auf Konzession) oder auf privatem Besitz (Recht des Erstanliegers, an Landbesitz gebunden). Die Allokation an Wasserrechten ist für eingesessene (Incumbents) Wassernutzer grundsätzlich gratis. Die Höhe der Primärallokation und damit auch die Menge an Wasser, die maximal verkauft werden kann, hängt in der Regel von den hydrologischen Gegebenheiten (Wasserverfügbarkeit) ab. In Zeiten von Dürren kann die Zuteilung gekürzt werden, entweder proportional oder als Funktion von Seniorität oder Priorität. Neue Marktteilnehmer müssen Rechte entweder kaufen oder erhalten diese gratis (auf Kosten der Zuteilung der anderen Teilnehmer). Wenn neue Marktteilnehmer Rechte kaufen müssen, bestehen starke monetäre Anreize, wasser-effiziente Technologien einzusetzen, da diese Technologien weniger Rechte benötigen, *ceteris paribus*. Wenn neue Marktteilnehmer Rechte kostenlos erhalten, sind die Anreize zur Verwendung wasser-effizienter Technologien weniger ausgeprägt und hängen von den jeweiligen Zuteilungsregeln ab²⁶.

Die betrachteten Wasserhandelssysteme unterscheiden sich sehr stark hinsichtlich Liquidität, Transaktionshäufigkeit und Transaktionsvolumina. Das Handelssystem im Murray-Darling-Becken in Australien ist von essentieller Bedeutung für die gesamte Wasserversorgung in dieser Region, während die Handelsaktivitäten in anderen Systemen wie z.B. in Spanien insgesamt gering und auf den Agrarsektor beschränkt sind. Ursachen hierfür sind rechtliche Hemmnisse, hohe Transaktionskosten und fehlende technische Infrastruktur. In allen drei Gebieten sind die Handelsaktivitäten und Preise in Dürrephasen deutlich höher als zu anderen Zeiten. So schwankte z.B. im südlichen Murray-Becken der Median Preis für Wasserzuteilungen im Zeitraum 2008 bis 2022 zwischen 0,01 \$/m³ und 0,69 \$/m³ in Abhängigkeit von den Füllständen der Wasserspeicher in der Region (Bureau of Meteorology (2023)).

Aussagen zu möglichen Innovationseffekte (z.B. bzgl. Speichertechnologien, Anpflanzungen, Bewässerungssysteme) sind auf Basis der vorhandenen Literatur jedoch nicht möglich.

²⁶ Aus ökonomischer Sicht, kann eine Gratiszuteilung für neue Marktteilnehmer dazu führen, dass eine zu große Anzahl von Unternehmen auf den Markt gelangt (siehe Graichen und Requate 2005 oder Spulber 1985)

Fazit

Die Erfahrungen aus den betrachteten existierenden Wasserhandelssystemen lassen darauf schließen, dass der Handel mit Wasserrechten grundsätzlich ein Instrument zur ökonomisch effizienten Nutzung von Wasserressourcen sein kann, insbesondere in Regionen und Zeiten mit geringen Wasserständen (z.B. aufgrund von Dürrephasen). Voraussetzung für Effizienzgewinne durch Handel sind eine hohe Heterogenität bei den Grenzerträgen aus der Wasseranwendung - sowohl zwischen verschiedenen Nutzungen als auch Orten, Infrastrukturen, die Wasser zu wettbewerbsfähigen Kosten übertragen können, sowie angemessen definierte und durchsetzbare Wasserrechte (vgl. auch Delacámara et al., 2013). Über die Zuteilung entsprechender Eigentums- und Nutzungsrechte kann neuen Teilnehmern (z.B. industrielle Neuansiedler) der Marktzugang ermöglicht werden, ohne dadurch die ökologische Integrität der Ressource Wasser zu gefährden.

In den betrachteten Systemen war es grundsätzlich möglich, auf Basis hydrologischer Informationen Wassermengen zu quantifizieren, die aus Oberflächen- und/oder Grundwasser zu bestimmten Zeiten und an bestimmten Orten entnommen und gehandelt werden können, unter Berücksichtigung von Wassermengen, die erforderlich sind, einen guten ökologischen Zustand von Gewässern (z.B. gemäß der WRRL für Spanien) aufrechtzuerhalten oder zu erreichen; das heißt, die Menge an Wasser, die die Natur benötigt, um den guten ökologischen Zustand zu erreichen und die Bereitstellung von Ökosystemleistungen aufrechtzuerhalten (vgl. auch Delacámara et al., 2013). Die Implementierung eines Wasserhandelssystems erfordert bestimmte institutionelle Strukturen (rechtliche Grundlage, Gremien innerhalb von Wasserbehörden, offizielles Register, Schiedsverfahren, etc.) sowie ein adäquates Überwachungssystem inklusive Messeinrichtungen, um den Wasserverbrauch der am Handel teilnehmenden Nutzer zu erfassen. Dabei gilt es die Transaktionskosten der Teilnehmer möglichst gering und die gesellschaftliche Akzeptanz für die Etablierung eines solchen Systems möglichst hoch zu halten.

Um zu beurteilen, inwiefern die Implementierung eines Wasserhandelssystems auf nationaler oder regionaler Ebene auch in Deutschland sinnvoll und praktikabel wäre und welche Ausgestaltung ein solches System im Detail haben sollte, wären weiter- und tiefergehende Untersuchungen notwendig. Analog zu ähnlichen institutionellen Innovationen, z.B. vor Einführung des EU ETS, könnten beispielsweise Planspiele mit ausgewählten Wassereinzugsgebieten durchgeführt werden.

Prinzipiell ist davon auszugehen, dass ein Wasserhandelssystem auch technische Innovationen auslösen kann. Für Anlagenhersteller sind dabei die Größe des Marktes sowie die Einheitlichkeit und Zuverlässigkeit der Preissignale von Bedeutung. Von regional fragmentierten Teilmärkten mit uneinheitlichen und volatilen Preisen wären hingegen kaum Innovationswirkungen zu erwarten.

6.4 Fernwasserversorgung

Fernwasserversorgungssysteme für Trinkwasser sorgen seit der Antike für einen Ausgleich zwischen Wasserüberschuss- und Wassermangelgebieten. In Abgrenzung zum Handel mit Wasserrechten (vgl. Kapitel 6.3) wird die Übertragung von Wasser bei Fernwasserversorgung (FWV) nicht durch einen Markt gesteuert. Anders als in vielen Wasserhandelsgebieten mit einem Gewässersystem, das Ober- und Unterlieger miteinander verbindet, ist für den Wassertransport bei Fernwasserversorgungen eine Leitungsinfrastruktur zwischen dem Quell- und Zielgebiet erforderlich.

In Deutschland spielen FWV aktuell bereits eine elementare Rolle in der öffentlichen Wasserversorgung. Sie werden überwiegend von kommunalen Unternehmen oder Zweckverbänden betrieben. Die Bundesländer mit dem größten Anteil von Fernwasser an der Gesamtwasserabgabe an Letztverbraucher sind Zipperer (2018) zufolge Sachsen-Anhalt (ca. 90 %) und Thüringen (>50 %). Die Fernwasserversorger unterscheiden sich recht stark hinsichtlich ihres Aufgabenspektrums. Während

einige Versorger vom Management des Schutzgebietes, über die Wassergewinnung und -aufbereitung sowie den Transport durch Fern- und Zubringerleitungen bis hin zur Übergabe an ein Ortsnetz und dessen Betrieb alle Schritte abdecken, übernehmen andere nur einen Teil der Lieferkette. Grundsätzlich kann zwischen teilintegrierten Fernversorgern, die ausschließlich als Vorlieferanten auftreten (z.B. Bodensee-Wasserversorgung) und vollintegrierten Versorgern, die auch die örtliche Verteilung übernehmen (z.B. Stadtwerke München) unterschieden werden (Zipperer, 2018).

In Bezug auf die Innovationswirkung von FWV kann vermutet werden, dass je nach der Höhe der damit verbundenen Zusatzkosten entweder Anreize zum Einsparen von Wasser gefördert werden oder entsprechende Innovationen durch die günstige Bereitstellung zusätzlichen Wassers gehemmt werden. Unter der Annahme, dass die Wasserpreise ohne FWV höher gewesen wären, haben FWV eine negative Wirkung auf preis-induzierte Innovationen. Im Folgenden werden Preise, die sich in Gebieten mit FWV eingestellt haben mit Preisen in Gebieten ohne FWV verglichen. Dazu werden Kostenschätzungen für FWV aus der Literatur mit der Regionalstatistik der Wasserentgelte in Landkreisen mit und ohne FWV zueinander in Bezug gesetzt.

Datengrundlage

In Bezug auf den aktuellen Bestand an Fernwassernetzen wurden verschiedene Quellen (Haakh, 2017; Mehlhorn und Weiß, 2009) herangezogen. In diesen Quellen wird der Begriff der Fernwasserversorgung recht eng gefasst, d.h. kleinere Systeme sind mitunter nicht enthalten. Die umfassendste Darstellung der FWV entstammt dem Hydrologischen Atlas von Deutschland (HAD) (BMUV, 2003). Die Kartendarstellung der FWV in Deutschland befindet sich aktuell in Überarbeitung durch das Technologiezentrum Wasser des DVGW, das Projekt wird allerdings erst 2025 abgeschlossen werden. Daher wurde für die vorliegende Auswertung auf die Kartendarstellung aus dem HAD zurückgegriffen. In der Karte aus dem HAD sind Fernleitungen nur bis zu den Übergabepunkten an die örtlichen Netze dargestellt, sodass die Leitungen in einigen Fällen an der Grenze zu urbanen Zentren enden. In solchen Fällen wurde angenommen, dass die urbanen Zentren an die Versorgung angeschlossen sind. Die Karte wurde außerdem um weitere den Autoren bekannte FWV, z.B. der Stadt Lübeck durch Hamburg Wasser, ergänzt.

Daten zum Wasserentgelt (verbrauchsabhängiges Entgelt und verbrauchsunabhängiges Entgelt) werden von den statistischen Landesämtern auf Gemeindeebene sowie auf verschiedenen Aggregationsebenen als bevölkerungsgewichtete Mittelwerte (Landkreise, Bundesländer) online bereitgestellt (RDB, 2024a; 2024b). Die Daten der Landkreise wurden durch einen Vergleich mit den Daten auf Gemeindeebene plausibilisiert. Dabei wurden deutliche Abweichungen im Bundesland Brandenburg festgestellt. Für das Land Brandenburg wurden daher die bevölkerungsgewichteten Mittelwerte der Landkreise aus den Gemeindedaten neu berechnet und für die vorliegende Auswertung verwendet.

Um einen Bezug zwischen den Wasserpreisen und dem Anschluss an eine FWV herzustellen, wurden die Datensätze räumlich miteinander verschnitten und so die Landkreise ermittelt, die potenziell an ein FWV-System angeschlossen sind. Dabei handelt es sich um eine eher grobe Abschätzung, da in der Realität Wasser durch bestimmte Gebiete nur durchgeleitet wird oder nur einzelne Gemeinden eines Landkreises angeschlossen sind und diese nur einen Anteil ihres Trinkwassers über die Fernversorgung beziehen. Zudem wird nicht zwischen Quell- und Zielgebieten der Fernleitungen unterschieden. Eine weitergehende Ermittlung der tatsächlichen Lieferbeziehungen wäre mit einem erheblichen Arbeitsaufwand verbunden und ist im Rahmen des Forschungsprojektes nicht zu leisten.

Ergebnisse

Gemäß eines auf das Wirtschaftsjahr 2016 bezogenen Benchmarkings von 11 Fernversorgern in Deutschland lag der spezifische Gesamtaufwand zwischen 0,42 €/m³ und 1,12 €/m³ (Median: 0,61 €/m³) (Zipperer, 2018). In die genannte Auswertung wurden nur teilintegrierte Fernversorger aufgenommen. Außerdem ist zu beachten, dass die Auswertung keine Rückschlüsse auf die Hintergründe der angegebenen Kosten ermöglicht. Es kann zwar vermutet werden, dass sich Faktoren wie Netzlänge, Energieverbrauch und Wassermenge auf den Gesamtaufwand auswirken, eine Zuordnung zu den Kosten ist aber nicht möglich.

Die Überschneidung der vorhandenen Informationen zu FWV mit den Landkreisen ergab, dass 201 Landkreise Strukturen der FWV enthalten und damit potenziell an eine FWV angeschlossen sein können. Bei den übrigen 199 Landkreisen wird davon ausgegangen, dass kein Anschluss vorliegt. Die Literaturwerte zu den Entgelten von FWV sind in Euro pro Kubikmeter angegeben. Für einen einfachen Vergleich wurde für alle Landkreise die typischen volumenbezogenen Wasserausgaben der Haushalte berechnet. Dazu wurde zunächst aus den statistischen Erhebungen der verbrauchsabhängigen und verbrauchsunabhängigen Wasserentgelte sowie den mittleren Pro-Kopf-Verbräuchen in den Landkreisen die Wasserausgaben für einen typischen Zwei-Personen-Haushalt ermittelt. Zur Herstellung des Volumenbezugs wurde dieser Wert durch den Verbrauch des Haushaltes dividiert. Der potentielle Anschluss an FWV ist in Abbildung 32 zusammen mit den typischen volumenbezogenen Wasserausgaben dargestellt. Die so ermittelten Ausgaben liegen zwischen Werten um 1,40 €/m³ in Nordwestniedersachsen und Südbayern sowie Werten über 5,0 €/m³ in Mitteldeutschland. Es ist zu berücksichtigen, dass für einige relevante Großstädte (inkl. Berlin, Hamburg, Frankfurt a. M.) keine vollständigen Datensätze (insb. zur G) vorlagen, sodass keine typischen Entgelte ermittelt werden konnten.

Für den Vergleich der Wasserausgaben zwischen Landkreisen mit und ohne FWV wurde jedem Landkreis mit FWV der nächstgelegene Landkreis ohne FWV zugeordnet, sodass möglichst Gebiete mit ähnlichen räumlichen Gegebenheiten miteinander verglichen wurden. Um die größtmögliche Nähe der Referenzlandkreise zu gewährleisten, wurde zugelassen, dass Landkreise ohne FWV mehrfach als nächster Nachbar von Landkreisen mit FWV ausgewählt wurden. Aufgrund von unvollständigen Datensätzen konnten die beschriebenen Größen für 196 der 201 Landkreise berechnet werden, die Gruppe der nächsten Nachbarn ohne FWV enthielt 84 verschiedene Landkreise. Abbildung 33 zeigt jeweils für die Landkreise mit FWV und ihre Nachbarn die Verteilung der Wasserausgaben (Grundgebühr + verbrauchsabhängiges Entgelt) pro Jahr (A) und pro Kubikmeter (B) sowie den täglichen Pro-Kopf-Wasserverbrauch (C). Weder bei den typischen Wasserausgaben noch beim Wasserverbrauch sind signifikante Unterschiede (gepaarter t-Test, $p=0,43$; $p=0,53$; $p=0,43$) zwischen den beiden Gruppen festzustellen²⁷.

Fazit

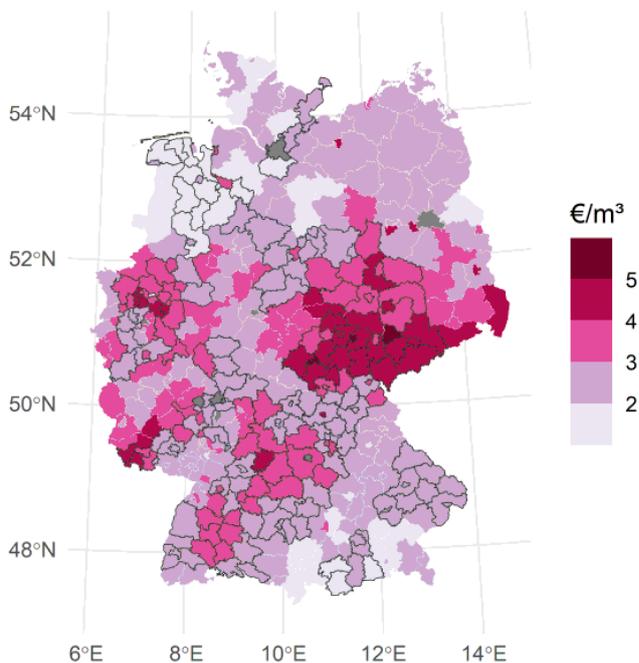
Die hier ermittelten Unterschiede der Wasserentgelte in Landkreisen mit und ohne FWV können als Hinweis gewertet werden, dass FWV dazu beitragen können, Kostenunterschiede der Wasserversorgung zwischen unterschiedlichen Gebieten auszugleichen. Zumindest bei der hier durchgeführten Betrachtung auf Kreisebene ist nicht erkennbar, dass ein Anschluss an eine FWV im Vergleich zu Nachbarlandkreisen ohne FWV zu höheren oder niedrigeren Preisen führt. Tatsächlich sind Wasserpreise von vielen Faktoren abhängig. Insgesamt vermittelt die vorliegende Auswertung zwar ei-

²⁷ Verwendet man als Vergleichsgruppe für die Landkreise mit FWV stattdessen alle Landkreise ohne FWV, also ohne Berücksichtigung der räumlichen Nähe, ergibt sich für die Gruppe der Landkreise mit FWV ein statistisch signifikant höherer Wasserpreis als für die Gruppe ohne FWV.

nen Eindruck der Größenordnungen, erlaubt aber angesichts der räumlichen Unschärfe keine detaillierten Schlussfolgerungen. Um belastbarere Aussagen treffen zu können, wären detaillierte Informationen über die tatsächlichen Lieferbeziehungen der Fernwasserversorger erforderlich. Für die Interpretation der Ergebnisse ist außerdem zu beachten, dass diese Untersuchungen keinen Rückschluss darüber zulassen, ob FWV zu höheren oder niedrigeren Wasserpreisen führen, da die kontrafaktische Höhe der Wasserpreise in Gebieten mit FWV nicht bekannt ist. Möglicherweise liegt ein sogenanntes Endogenitätsproblem vor, d.h. es werden in erster Linie diejenigen Gebiete an eine FWV angeschlossen, in denen die Kosten für die Wasserversorgung besonders hoch gewesen wären. In diesem Fall würde FWV Anreize für preis-induzierte technische Innovationen tendenziell mindern.

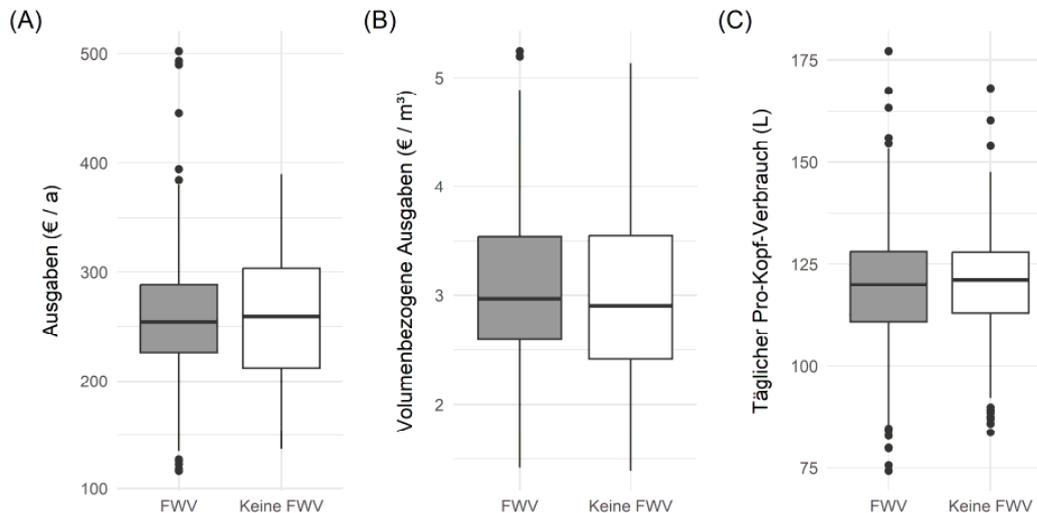
Für eine möglich kosteneffiziente Ausgestaltung des Wassermarktes sind sowohl Optionen auf der Angebots- als auch auf der Nachfrageseite zu betrachten. D.h. ein System zum Handel mit Wasserrechten ist komplementär zu einer FWV. Die Einführung eines solchen Handelssystems kann allerdings je nach Ausgangslage zu sinkenden Wasserpreisen führen und damit die Wirtschaftlichkeit einer bestehenden FWV gefährden.

Abbildung 32: Gebietsmittelwerte der volumenbezogenen Wasserausgaben (Ausgaben / Verbrauch) für einen typischen Zwei-Personen-Haushalt im Jahr 2022



Quelle: Eigene Berechnung aus Daten der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder (RDB, 2024a; 2024b). Bei der Berechnung wurde die jeweilige Tarifstruktur mit verbrauchsabhängigen und verbrauchsunabhängigen Entgeltanteilen berücksichtigt. Die schwarz umrandeten Landkreise enthalten potenziell Strukturen zur Fernwasserversorgung (FWV). Benachbarte Landkreise mit FWV sind nicht notwendigerweise miteinander verbunden.

Abbildung 33: Vergleich der Wasserausgaben für einen typischen Zwei-Personen-Haushalt und des Wasserverbrauchs zwischen Landkreisen mit und ohne Strukturen der Fernwasserversorgung (FWV).



Quelle: Eigene Darstellung. Die Teilabbildungen zeigen die Ausgaben für einen typischen Zwei-Personen-Haushalt pro Jahr (A) und pro Kubikmeter (B), sowie den täglichen Wasserverbrauch pro Kopf (C). Die horizontalen Linien geben das 1. bis 3. Quartil an. Die Länge der vertikalen Linien entspricht dem 1,5-fachen Interquartilsabstand, Werte außerhalb dieses Bereichs sind als Einzelpunkte dargestellt.

6.5 Wasserbedarf Industrie

Bei der Betrachtung des Industrierwasserbedarfs ist eine grundsätzliche Unterscheidung zwischen bestehenden Standorten und Neuansiedlungen sinnvoll.

An **bestehenden Standorten** gibt es z.T. sehr spezifische Rahmen- und Versorgungs-/Entsorgungsbedingungen. So sind bspw. Kombinationen von Eigen-/Fremd- und öffentliche Wasserversorgung nicht selten. Abwasserseitig sind Industriebetriebe entweder Direkteinleiter mit eigener Kläranlage, oder sie leiten als Indirekteinleiter in die öffentliche Kanalisation und damit über die kommunale Kläranlage in das Gewässer ein.

In wasserrelevanten Industriezweigen gibt es bereits seit längerem Bestrebungen zur Verbesserung der Wassereffizienz aufgrund Kostendruck und abwasserbezogenen Anforderungen. Eine zusätzliche Innovationsdynamik ist aufgrund der Auswirkungen des Klimawandels Wasserknappheit bzgl. Versorgung und Vorfluter, Schadstoff- und Wärmelast, etc. aber notwendig.

Eine **Neuansiedlung** von Industriebetrieben kann indes gerade in Wassermangelgebieten durchaus problematisch sein ("**Newcomer**"-Problematik). Wasserrechte werden über lange Zeiträume vergeben. Ein steigender Wasserbedarf führt bei parallel sinkenden bzw. stark schwankenden Wasserverfügbarkeiten zu einer Verstärkung von Nutzungskonflikten.

Mit § 22 WHG ist bereits jetzt die Möglichkeit des Ausgleichs konkurrierender Gewässerbenutzungen vorgesehen, wenn es das Wohl der Allgemeinheit erfordert.

Über die rechtliche Handhabe zur nachträglichen Schadensbegrenzung hinaus, bedarf es hier zusätzlicher Instrumente und institutioneller Voraussetzungen zum Ausgleich der unterschiedlichen Interessen.

Nach wie vor kann eine gute Wasserverfügbarkeit in Deutschland als grundsätzlicher Standortfaktor gesehen werden.

Beispiel Tesla

Der Autohersteller Tesla hat im März 2022 in der Brandenburger Gemeinde Grünheide eine Großfabrik zur Herstellung von 500.000 Elektroautos eröffnet. Die Ansiedlung wurde aufgrund der befürchteten Auswirkungen auf die Umwelt scharf kritisiert. Zentrale Punkte dieser Kritik beziehen sich auf die Wasserver- und -entsorgung. Der vertraglich gesicherte Wasseranspruch der Fabrik in der aktuellen Ausbaustufe liegt bei 1,4 Mio. m³/a. Zuständig für die Wasserversorgung des Tesla-Werkes in Grünheide ist der Wasserverband Straußberg-Erkner (WSE). Dieser versorgt etwa 170.000 Menschen mit Trinkwasser und fördert dazu jährlich 10,7 Mio. m³ Wasser (WSE, 2024). Der Anteil des Wasserbedarfs von Tesla an der Gesamtfördermenge des WSE beträgt damit etwa 13 Prozent. Nach eigenen Angaben schöpft Tesla mit einem Verbrauch von rund 450.000 m³ bei etwa 300.000 produzierten Fahrzeugen im Jahr 2023 die genehmigte Wassermenge bisher nicht vollständig aus (DLF, 2024).

Ob dieser zusätzliche Wasserbedarf für Tesla den Wasserhaushalt überlastet, ist abhängig vom regionalen Wasserdargebot. In einer Stellungnahme von Forschenden des Berliner Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) zur Ansiedlung des Tesla-Werkes (Goldhammer et al., 2021) wird Brandenburg als gewässerreich, aber wasserarm bezeichnet. Die Jahresniederschläge (Gebietsmittel: 558 mm; DWD, 2019) zählen zu den niedrigsten in Deutschland, und auch die Flüsse der Region (Spree, Dahme und Havel) führen im Vergleich zu anderen großen deutschen Flüssen wenig Wasser. Die Wasserverfügbarkeit für Ökosysteme und menschliche Wassernutzung ist daher begrenzt, und der Nutzungsdruck im Einzugsgebiet der Spree ist bereits vergleichsweise hoch. Insbesondere spielt die Spree eine wichtige Rolle für die Wasserversorgung Berlins, das rund 60 Prozent seines Trinkwasserbedarfs aus Uferfiltrat und weitere 10 Prozent durch Grundwasseranreicherung (mit Oberflächenwasser) deckt. Bereits jetzt führen Trockenperioden, wie z.B. 2018-2020, zur Absenkung der Grundwasserstände sowie zu Qualitätsproblemen bei Fließgewässern und Seen, u.a. aufgrund von erhöhten Wassertemperaturen. Aufgrund des Wachstums der Metropolregion Berlin und als Folge des Klimawandels ist mit einer Zunahme des Nutzungsdrucks zu rechnen (SenUMVK, 2022).

Neben der Wasserversorgung belastet auch die Entsorgung des Abwassers des Tesla-Werkes die Gewässer in der Region. Das Fabrikabwasser wird über das Klärwerk Münchehofe in die Erpe bzw. im weiteren Verlauf unterhalb des Müggelsees in die Spree eingeleitet. Da nicht alle Schadstoffe in Kläranlagen vollständig zurückgehalten werden können, besteht grundsätzlich die Befürchtung, dass es zu negativen Auswirkungen auf die Wasserqualität in der Spree und damit zu Beeinträchtigungen des Berliner Trinkwassers kommen könnte, etwa durch organische Spurenstoffe und Sulfat (Goldhammer et al., 2021). Auch diese Problematik wird sich voraussichtlich durch den Klimawandel verstärken, da in Trockenphasen in den Gewässern weniger Wasser für die Verdünnung des eingeleiteten Klärwassers zur Verfügung steht und so kritische Stoffkonzentrationen schneller erreicht werden.

Der Nutzungsdruck auf die Ressource Wasser führt dazu, dass verschiedene Nutzungen miteinander konkurrieren. Dies betrifft in Bezug auf die für die Tesla-Fabrik erforderlichen zusätzlichen Wasserentnahmen vor allem die 16 Mitgliedsgemeinden des WSE. Dieser bezieht sein Wasser aus dem Grundwasser. Eine Ausweitung der Förderkapazität muss der WSE bei der oberen Wasserbehörde (Brandenburgisches Landesamt für Umwelt, LfU) beantragen. Im Vorfeld der Werkseröffnung in Grünheide hat das LfU in einem umstrittenen Verfahren eine Erweiterung der Wasserförderung durch den WSE geduldet und so den Produktionsbeginn von Tesla im Jahr 2022 ermöglicht. In diesem Zusammenhang weist der WSE darauf hin, dass die Gesamtsituation weiterhin angespannt

bleibe und weitere Gewerbe- und Industrieansiedlungen über die bereits geplanten Vorhaben hinaus aufgrund fehlender Grundwasserentnahmemengen nicht möglich seien (WSE, 2022). Hier besteht also ein Konfliktpotenzial zwischen den Mitgliedsgemeinden des WSE, die sich von der Ansiedlung Teslas Vorteile versprechen und den Gemeinden, die eigene Entwicklungsprojekte verfolgen und nun aufgrund der schwierigen Wasserversorgungssituation um deren Umsetzbarkeit fürchten.

Der Wasserbedarf des Tesla-Werkes wurde in verschiedenen Medienberichten als relativ gering bewertet, etwa im Vergleich mit einem großen Spargelanbaubetrieb südwestlich von Potsdam oder der PCK-Raffinerie in Schwedt. Ohne an dieser Stelle näher auf die einzelnen Fälle einzugehen, ist grundsätzlich darauf hinzuweisen, dass es bei der Beurteilung der Entnahmemengen nicht allein auf die absoluten Entnahmewerte ankommt, sondern auch darauf, wie viel Wasser in einem begrenzten Gebiet zur Verfügung steht, aus welchen Quellen (Oberflächenwasser, Grundwasser, Betriebswasser) das Wasser gefördert wird, und ob das Wasser verbraucht wird oder ob es nach der Nutzung (teilweise) wieder in ein Gewässer eingeleitet wird.

Berücksichtigt man die Bedeutung von Wasserverfügbarkeit für aktuelle und zukünftige Standortentscheidungen vieler Unternehmen, veranschaulicht die Ansiedlung des Tesla-Werkes die Notwendigkeit zu überdenken, nach welchen Kriterien die Zuweisung von Wassernutzungsrechten für neue Nutzungszwecke erfolgen soll. Dies gilt insbesondere für Gebiete in denen bereits Wasserknappheit herrscht bzw. sich für die Zukunft abzeichnet. Unter dem Aspekt der Opportunitätskosten stellt sich dabei beispielsweise die Frage, inwiefern die Nutzung existierender Wasserrechte beschränkt werden sollen, um Raum für neue Nutzungen zu schaffen. Sollte bei der Vergabe von Wasserrechten eine effiziente Wassernutzung bevorzugt werden? Im Rahmen weitergehender Untersuchungen wäre dabei auch zu klären, inwiefern sich diese Ziele im Rahmen bestehender Regulierungen (z.B. Raumordnungsplanung) umsetzen lassen oder ob dafür komplementär neue Instrumente (z.B. Wasserrechtehandel) notwendig sind.

7 Innovationsförderung durch Subventionen / Förderprogramme

Bereits im TAB-Innovationsbericht (Hillenbrand et al., 2013) wurde auf das große Innovationspotenzial hingewiesen, das mit dem Einsatz des Aufkommens aus den Wasserentnahmeentgelten in Förderprogramme der Bundesländer verbunden ist. Die damalige Analyse zeigte, dass die Förderprogramme zwar deutliche Unterschiede hinsichtlich ihrer Zielsetzungen und Anforderungen aufweisen, die Förderung von Innovationen jedoch sehr häufig in besonderem Fokus steht. Die damals verfügbaren Angaben zu den Fördersummen verdeutlichten, dass der Anteil der Förderbeträge an den Gesamtinvestitionssummen bei Wasserinfrastrukturmaßnahmen eine erhebliche Relevanz aufweist und die öffentlichen Förderprogramme ein "hohes Potenzial zur gezielten Förderung innovativer Techniken oder Konzepten" (ebd., S. 164) besitzen.

Die Innovationswirkung von Förderprogrammen auf Bundesebene wurde im Rahmen der FONA-Evaluierung des Fraunhofer ISI untersucht (Bührer et al. 2020). Die Autor:innen stellen darin zusammenfassend fest, dass die gezielte Förderung in FONA folgende Ziele erreicht hat:

- strategischen Neuausrichtung der Forschungsförderung in Richtung einer systemischen, inter- und transdisziplinären Nachhaltigkeitsforschung,
- Veränderungen in der Forschungslandschaft in Richtung Nachhaltigkeitsforschung und neuer Forschungsperspektiven,
- Stärkung der Innovationskraft von Unternehmen und
- Transferwirkung in Politik und Gesellschaft.

Gleichzeitig werden Optimierungspotenziale identifiziert:

- Schwierigkeiten der Fortführung erforderlicher Umsetzungsmaßnahmen nach Auslaufen der Förderung,
- Zielkonflikt zwischen starker Anwendungsorientierung / Verwertungsinteressen und der Suche nach radikalen/disruptiven Lösungen. (Bührer et al. 2020)

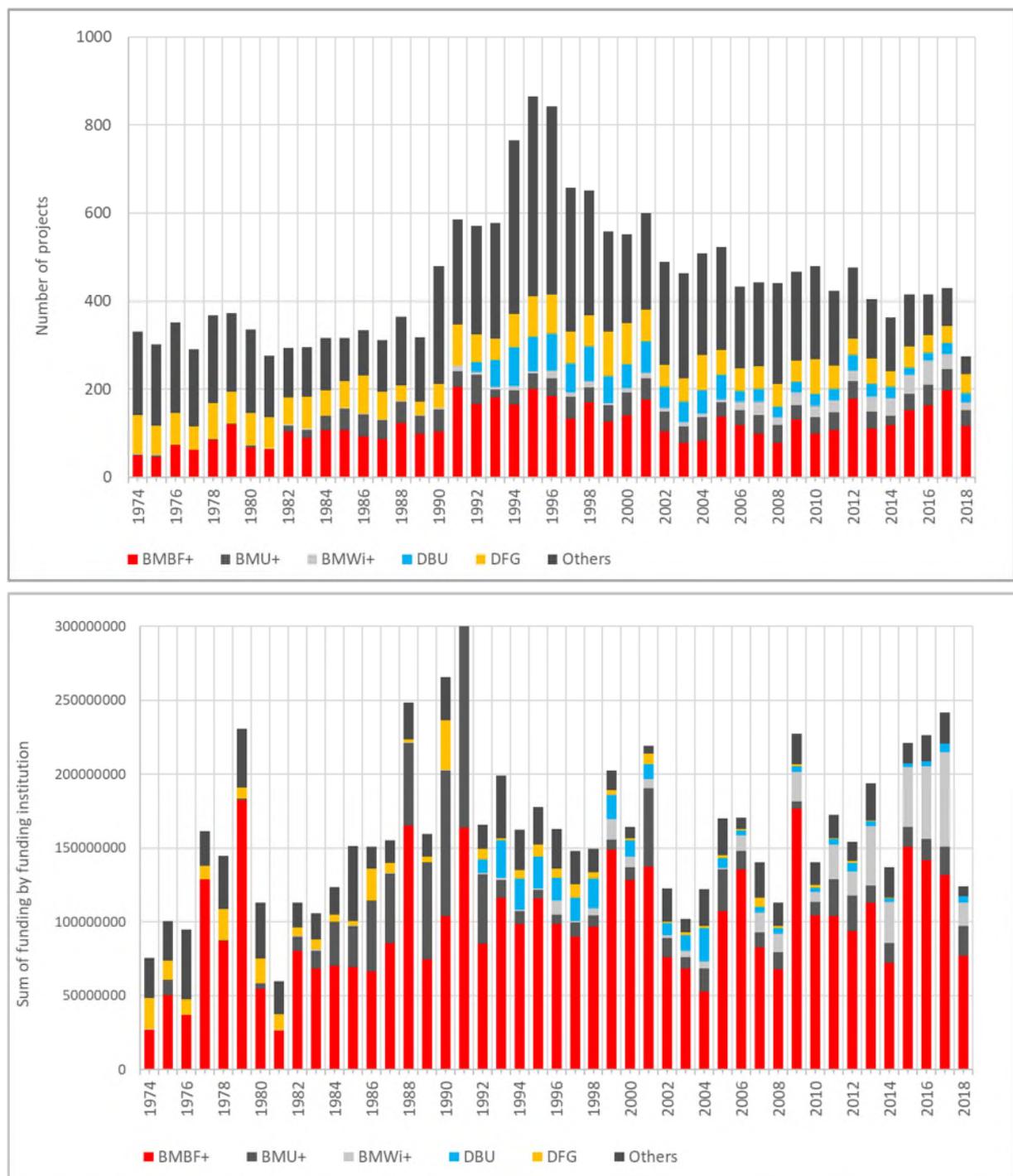
Gezielte Förderprogramme können demnach ihre innovationsfördernden Wirkungen entfalten. Aktuelle Beispiele für solche Programme sind das "Förderprogramm zur Förderung von Maßnahmen zur Verringerung von anthropogenen Spurenstoffen in Gewässern in Niedersachsen" im 2022²⁸ (mit gezielter Förderung innovativer Projektansätze) oder Fördermaßnahmen in Baden-Württemberg zum gezielten Ausbau der kommunalen Abwasserreinigung zur Elimination von Spurenstoffen durch das Förderprogramm zur kommunalen Abwasserreinigung sowie die finanzielle Förderung des Kompetenzzentrums Spurenstoffe (KomS)²⁹.

In Hillenbrand et al. (2024) wurden die Förderprogramme und Fördermittelgeber im Wasserbereich seit den 1970er Jahren analysiert (vgl. Abbildung 34). Danach hat sich mit einer starken Intensivierung der Forschung im Wasserbereich eine Vielfalt an fördernden Institutionen entwickelt, die bis heute prägend ist. Widergespiegelt sind hierin unterschiedliche Interessen und Ziele, die mit der Forschung verbunden wurden. Wichtigste Förderinstitution war im Laufe der Zeit das BMBF, das vor allem größere Forschungsprojekte förderte, während die zahlreichen Forschungsprojekte der Bundesländer in der Regel eher klein waren.

²⁸ <https://www.nbank.de/F%C3%B6rderprogramme/Aktuelle-F%C3%B6rderprogramme/Verringerung-von-Spurenstoffen-in-Gew%C3%A4ssern.html>

²⁹ <https://rp.baden-wuerttemberg.de/themen/wirtschaft/foerderungen/fb87/abwasserbehandlung/>; <https://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/26-millionen-euro-fuer-kompetenzzentrum-spurenstoffe>

Abbildung 34 a, b: Darstellung von a) Anzahl der Forschungsprojekte und b) Fördervolumen im Wassersektor, unterteilt nach Förderinstitutionen



Auswertungen von UFORDAT, ohne EU-Projekte; BMBF+, BMU+, BMWi+: jeweils mit Vorgängerinstitutionen im Betrachtungszeitraum; Sonstige: Bundesländer, Stiftungen, Unternehmen, andere Ministerien etc.; Fördersummen inflationsbereinigt mit Bezugsjahr 2020. Daten für 2018 unvollständig.

Quelle: nach Hillenbrand et al. 2024, Fraunhofer ISI

Die Autor:innen zeigen im Weiteren, dass die Ansätze, die den Handlungsbedarf in den 1970er Jahren mit dem anfänglich stark problemorientierten Fokus auf Technologien und Regulierungen adressierten, zu stärker integrierten Ansätzen entwickelt wurden. Dabei wird die Komplexität des

zugrundeliegenden Innovationssystem durch die Integration von mehr Akteuren und mehr Perspektiven stetig erhöht. Durch den schlechten Umweltzustand motiviert war anfänglich die Forschung auf die Suche nach technische Lösungen fokussiert. Mit zunehmender Einsicht in die Komplexität der Wasserwirtschaft wuchs jedoch die Rolle der Wasserforschung und eines darauf aufbauenden systemischen Ansatzes als Grundlage für die Formulierung und Umsetzung umweltpolitischer Maßnahmen. (Hillenbrand et al. 2024)

Hillenbrand et al. 2024 identifizieren drei Phasen, die aus dem Zusammenspiel zwischen dem Handlungsdruck, ausgelöst durch einen schlechten Umweltzustand, dem durch die Forschungsarbeit gewonnenen Wissen und der Identifizierung und Umsetzung von Regulierung und Politik in Deutschland entstanden sind. Vor allem in den 70er Jahren, teilweise aber auch in den 80er Jahren, lag der Schwerpunkt der Aktivitäten in der ersten Phase in der Etablierung der Umweltpolitik und auf der Verbesserung des schlechten Umweltzustandes im Wasserbereich - **1. Phase: Etablierung**. In den 1990er Jahren bis ca. 2010 wurde aufgrund weiterer Umweltbelastungen und sich stark ändernder Rahmenbedingungen deutlich, dass Wechselwirkungen mit anderen Themen und Handlungsfeldern notwendig waren - **2. Phase: Erweiterung**. Seit etwa 2010 hat sich der Handlungsdruck noch einmal verstärkt, auch und gerade vor dem Hintergrund der nun immer deutlicher werdenden Auswirkungen des Klimawandels. Die Notwendigkeit eines umfassenden, systemischen Wandels im Wassersektor setzt sich inzwischen weitgehend durch - **3. Phase: Transformation**.

Die aktuelle 3. Phase der Transformation geht mit vielfältigen Herausforderungen einher. Naheliegender ist, dass ein ganzheitlicher Ansatz in Kombination mit einer sektorübergreifenden Kopplung mit Bereichen, die ebenfalls vor Herausforderungen stehen (Energiewende, Ressourceneffizienz, Stadtentwicklung, Umbau der Landwirtschaft etc.) diese Phase bestimmen wird. Tragfähige Lösungen werden nur durch systemübergreifende Konzepte möglich sein. (siehe auch Hillenbrand et al. 2024)

Das BMBF hat als wichtigster Fördermittelgeber eine Schlüsselposition für die Wasserforschung inne und kann mit seinen Förderschwerpunkten wichtige Weichenstellungen für die Zukunftsthemen im Wasserbereich stellen.

Die aktuell wichtigsten Herausforderungen sind die Anpassung an die Klimawandelfolgen und die Mikroschadstoff-Problematik, die über die Gewässerqualität sowohl auf Klimawandelfolgen als auch auf ein weiteres Megathema, die Artenvielfalt, wirkt. Technische aber auch institutionelle Pfadabhängigkeiten im Wasser-Innovationssystem können notwendige Transformationen hemmen und eine gewissen Innovationsträgheit befördern.

Hier muss Forschungsförderung ansetzen: Eine verstärkte Förderung transformativer Forschung in einem erweiterten Innovationssystem, um Technologien, vor allem aber auch institutionelle Innovationen gleichermaßen voranzubringen, wäre wichtig, um die elementar wichtige Wasserwirtschaft zukunftsfest weiter zu entwickeln.

Bspw. ist die Forschung zu neuen Aushandlungsprozessen zur Verteilung von Wasser(rechten) vor dem Hintergrund bereits bestehender und weiterhin zu erwartender Nutzungskonflikte ein wichtiger und dringender Schritt.

Teil 3: Übergreifend.

Problemaufriss, Zusammenfassung, Ausblick

Problemaufriss

Die Wasserwirtschaft steht vor großen Herausforderungen, und es bedarf grundsätzlicher Transformationen³⁰, die im Sinne einer nachhaltigen Wasserwirtschaft auch andere Sektoren, eine Vielzahl sehr unterschiedlicher Akteure und zusätzliche Rechtsgebiete betreffen.

Der Klimawandel führt in Deutschland zu einer deutlich spürbaren Verschiebung des Niederschlagsregimes. Dabei zeigt das jährliche Mittel der Niederschlagshöhe nicht unbedingt eine Verringerung des Gesamtniederschlags. Aber: Der Anstieg der Temperaturen führt zu mehr Verdunstung, längere Hitze- und Trockenphasen führen zu höherem Wasserbedarf, und zusätzliche Wasserbedarfsspitzen sowie ggf. zu Nutzungskonflikten und vermehrte Starkregenereignisse führen zu mehr Abfluss und weniger Versickerung des Wassers, so dass die damit verbundenen großen Wassermengen damit nicht oder nur eingeschränkt der Grundwasserneubildung dienen, wie es unter gemäßigten Bedingungen mit besserer Verteilung des Niederschlags über das Jahr der Fall wäre.

Das führt regional teilweise temporär, teilweise sogar permanent zu Problemen mit entweder zu viel oder zu wenig Wasser.³¹ Die letzten Jahre zeigen, dass alle Regionen in unterschiedlichem Maße betroffen sein können. Die Verschmutzung von Oberflächengewässern und Grundwasser durch Nährstoffe und Mikroschadstoffe verschärft die Wassermengenproblematik, u.a. weil immer weniger Wasserressourcen einfach und kostengünstig für die Trinkwasserversorgung zur Verfügung stehen.

Dabei treffen diese sich stark ändernden Umfeldbedingungen auf ein System, das in vielen Bereichen unter einem enormen Innovations- und Modernisierungstau leidet und aufgrund der bisher relativ stabilen Bedingungen wenig Transformationserfahrung hat. Diese Trägheit wird durch systembedingte technische und institutionelle Pfadabhängigkeiten verstärkt.

Sowohl die Herausforderungen als auch die möglichen Lösungsansätze sind komplex und betreffen verschiedene Sektoren, Akteure und Rechtsgebiete. Dazu passend sehen Dütschke et al. (2019) Kommunen als zentrale Akteure für Nachhaltigkeitsinnovationen in den Feldern Energie, Wasser und Wohnen.

Neben technischen Maßnahmen wie verbesserter und an die sich ändernden Umfeldbedingungen angepasster Infrastruktur (bspw. blau-grüne Infrastrukturen), Wasserrecyclingtechnologien oder effiziente Bewässerungssysteme spielen naturbasierte Lösungen, wie die Wiederherstellung von Feuchtgebieten, die Renaturierung von Flüssen und die Förderung nachhaltiger Landnutzung, eine ausgesprochen wichtige Rolle. Daraus resultieren sowohl im ländlichen als auch im urbanen Raum Flächenkonkurrenzen zwischen nachhaltiger Wasserwirtschaft und der Landwirtschaft oder im urbanen Raum mit Wohnraumbedarf und Verkehrsflächen.

Wasser ist wichtigstes Lebensmittel, wichtiges Element für alle unsere Naturräume und zudem unverzichtbar für Industrie, Land- und Energiewirtschaft. Darüber hinaus sind wasserwirtschaftliche Themen Kern fast aller Fragen der Klimafolgenanpassung. Bei allen wasserwirtschaftlichen Themen

³⁰ vgl. Hillenbrand, T.; Eckartz, K.; Hiessl, H.; Hohmann, C.; Niederste-Hollenberg, J. (2018): Transition urbaner Wasserinfrastruktursysteme - notwendig und machbar? In: Korrespondenz Abwasser, Abfall, 2018 (65), Nr. 2. S. 121-129

³¹ So ist der durchschnittliche Grundwasserspiegel in Brandenburg lt. DIW (2022) seit den 1970er Jahren um einen halben Meter gesunken: vgl. https://www.diw.de/de/diw_01.c.860993.de/publikationen/wochenberichte/2022_49_1/wertvolle_ressource_wasser_auch_in_deutschland_zunehmend_belastet_und_regional_uebermaessig_genutzt.html#figure2

sind somit unterschiedliche Sektoren sowie eine Vielzahl von Akteuren und Rechtsgebieten betroffen.

Das erfordert transformative Innovationen in einem übergreifenden Innovationssystem. Die notwendige Beschleunigung der Transformation sowie der systemische Kontext, bei dem auch das Verhalten der Akteure und die Gestaltung der Rahmenbedingungen eine wichtige Rolle spielen, machen eine umfassende und die langfristigen Entwicklungen berücksichtigende Innovationspolitik erforderlich. Notwendig ist u.a. eine stärkere Fokussierung der F&I-Politik auf Herausforderungen durch den Klimawandel und der notwendigen Klimaanpassung, auf die Schadstoff- bzw. Spurenstoffproblematik sowie auf die erforderlichen organisationalen und institutionellen Innovationen.

8 Patent-, Publikations- und Außenhandelsanalyse

Bei den mit der Wasserwirtschaft verbundenen Technologielinien handelt es sich durchaus um dynamische Innovationsfelder. Bei den Patenten ist die weltweite Innovationsdynamik etwas geringer, beim Außenhandel etwas höher als im Durchschnitt aller Patente bzw. dem Welthandel insgesamt. Gerade aber die im Wasserbereich im Vergleich zu allen Publikationsfeldern wesentlich höhere Publikationsdynamik - eine Verdreifachung der jährlichen Publikationen in den letzten 10 Jahren - signalisiert, dass die weltweit steigenden Herausforderungen im Wasserbereich sich bereits auf die Produktion neuen Wissens niederzuschlagen beginnen. Wie bei anderen Bereichen grüner Zukunftstechnologien (vgl. Walz et al. 2017) sind hier insbesondere China und weitere Länder aus dem globalen Süden Treiber dieser Dynamik.

Innerhalb der weltweiten Dynamik ist die Positionierung Deutschlands insgesamt nach wie vor als gut zu bezeichnen. Zwar hat China in den vergangenen Jahren in allen betrachteten Bereichen massiv aufgeholt, was gleichermaßen zu Lasten der Anteile der bisher führenden Länder, darunter auch Deutschland, geht. Hervorzuheben ist aber die nach wie vor deutliche positive Spezialisierung Deutschlands auf wasserrelevante Technologien im Außenhandel. Auch konnte die Verschlechterung der Spezialisierung Deutschlands auf wasserrelevante Patente nach 2000, die im Gutachten von Hillenbrand et al (2013) Anlass zur Sorge der langfristigen Aufrechterhaltung auch der Außenhandelsvorteile gegeben hatte, in jüngster Zeit gestoppt und in eine geringfügig positive Spezialisierung gedreht werden. Nach wie vor eine deutlich negative Spezialisierung weist Deutschland demgegenüber bei den Publikationen auf. Hier reichte die durchaus beträchtliche Publikationsdynamik in Deutschland nicht aus, um mit der sehr stark ansteigenden weltweiten Dynamik Schritt halten zu können.

Beim Außenhandel weisen die betrachteten Teilfelder wasserrelevanter Technologien alle eine positive Spezialisierung (gegenüber allen deutschen Exporten) auf. Dies unterstreicht die Außenhandelsstärke Deutschlands quer über die einzelnen Technologiefelder hinweg. Etwas ausdifferenzierter ist das Bild bei der disaggregierten Betrachtung der Patent- und Publikationsspezialisierung. Zu problematisieren erscheint insbesondere die Positionierung Deutschlands bei den dezentralen Abwasseransätzen und den innovativen Einzelverfahren. Sie sind einerseits gerade für die anstehenden Transformationsprozesse der Wasserwirtschaft von besonderer Bedeutung. Andererseits schneiden beide Teilbereiche bei allen drei untersuchten Indikatoren schlechter ab als der Durchschnitt aller Wassertechnologien. Dies spricht dafür, diese Technologien bei der Priorisierung künftiger Fördermaßnahmen besonders ins Augenmerk zu nehmen.

Für eine Gesamtbeurteilung der Wettbewerbsposition Deutschlands müssen die betrachteten Indikatoren auch in weitere Dimensionen eingebettet werden, die die internationale Positionierung Deutschlands bei wasserrelevanten Technologien gesamthaft beschreiben (vgl. Walz et al. 2019). Die Wasserwirtschaft in Deutschland ist durch eine vergleichsweise kleinteilige Struktur gekennzeichnet. Gerade den kleineren Unternehmen fällt es schwer, finanzielle und personelle Ressourcen für eigene F&E-Vorhaben bereit zu stellen. In Deutschland ist zwar die gesamte Wertschöpfungskette durch heimische Anbieter vertreten, aber im Vergleich zu ausländischen Konkurrenten sind kaum Systemanbieter – also Unternehmen, die neben Komponenten auch ganze Wasserver- oder -entsorgungssysteme vermarkten - vorhanden. Innovationen hängen in vielfältiger Weise von der Regulierung ab, die im Bereich der Wasserwirtschaft sehr stark die Herausbildung einer entsprechenden Nachfrage beeinflusst. In der Vergangenheit hatte Deutschland eine Vorreiterrolle bei der Initiierung von Anforderungen beispielsweise im Bereich der kommunalen oder industriellen Abwasserbehandlung. Der Schwerpunkt neuer Regulierungsansätze hat sich jedoch stärker auf die EU-Ebene verlagert. In Teilbereichen der Wasserwirtschaft beispielsweise hinsichtlich des Umgangs mit

Mikroschadstoffen oder der Verbesserung der Energie- und Ressourceneffizienz kommt Deutschland jedoch immer noch eine wichtige Signalfunktion zu. Hiervon geht eine nicht zu unterschätzende Orientierung für die Innovatoren bezüglich der einzuschlagenden Innovationsrichtung aus (Guidance of Search).

Auf Basis der vorangegangenen Ausführungen lassen sich die Positionierung der deutschen Wasserwirtschaft wie folgt zusammenfassen: Die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Hersteller ist nach wie vor sehr gut, was durch die Exporterfolge aufgezeigt wird. Mit dazu beigetragen hat die Umwelt- und Innovationspolitik der Vergangenheit, die Neuerungen begünstigt und deren Diffusion vorangetrieben hat. Der zwischenzeitliche Rückgang der mit Patenten gemessenen technologische Leistungsfähigkeit wurde gestoppt, anzugehende Defizite verbleiben allerdings bei der Publikationsstärke. Die künftige Entwicklung bietet aber auch erhebliche Chancen. Massiver Reinvestitionsbedarf und gleichzeitiges Angehen der neuen Herausforderungen mit neuen Wasserinfrastruktur-Konzepten sind hier anzuführen, insbesondere in den Bereichen Mikroschadstoffe, Phosphor-Recycling, Verstärkung semi-dezentraler Ansätze, Energie-Wasser-Nexus und der blau-grünen Infrastruktur. Allerdings ist hierfür eine Intensivierung der Nachfrage nach neuen Lösungen erforderlich, um die positive technologische Leistungsfähigkeit Deutschlands in diesen Bereichen durch die Etablierung von Lerneffekten weiterzuentwickeln. Gleichzeitig erfordern die neuen Lösungsansätze auch die Zusammenarbeit mit Akteuren, die bisher eher außerhalb des Innovationssystems der Wasserwirtschaft stehen. Dies unterstreicht die Notwendigkeit, sowohl die Ausrichtung der bisherigen Politikinstrumente auf die neuen Herausforderungen zu untersuchen als auch durch die Vornahme von institutionellen Innovationen die Anreize zur Etablierung neuer Geschäftsmodelle und neue Formen der Zusammenarbeit zu stärken.

9 (Innovation-)Ökonomische Betrachtungen: Zusammenfassung der betrachteten Ansätze und weitergehende Schlussfolgerungen

9.1 Wasserverschmutzung

Das Thema Spurenstoffe/Mikroschadstoffe wird in Deutschland aber auch international seit einigen Jahren intensiv diskutiert und auch politisch adressiert: Aufgrund der großen Zahl an relevanten Stoffen und Produkten sowie der sehr unterschiedlichen Emissionssituationen und Eintragspfade sind in diesem Themenfeld viele Stakeholder und Rechtsgebiete und damit auch verschiedene Innovationssysteme betroffen.

National wurden in den letzten Jahren auf unterschiedlichen Ebenen (Bund, Länder, einzelne Branchen) Dialogprozesse gestartet, in denen gemeinsam mit Stakeholdern ein gemeinsames Verständnis der Problematik sowie darauf aufbauend Maßnahmen zur Reduktion der Spurenstoffemissionen entwickelt werden. Am Umweltbundesamt wurde ein eigenes "Spurenstoffzentrum des Bundes" (SZB) eingerichtet, welches sich vordringlich diesem Thema widmet.

Auf EU-Ebene steuern verschiedene Aktivitäten in Richtung verstärktes Monitoring von Schadstoffen und Emissionsminderung:

Die Novellierung der EU- Urban wastewater treatment directive (EU-UWWTD), deutsch: Kommunalabwasserrichtlinie (KARL), macht neben Vorgaben zur Energie- und Klimaneutralität den Ausbau vieler Kläranlagen zur Entfernung von Mikroschadstoffen zur Pflicht (4. Reinigungsstufe). Als Finanzierungsinstrument für die zumindest teilweise Finanzierung der vierten Stufe wird in KARL die erweiterte Herstellerverantwortung (EPR - extended producer responsibility) eingeführt. Die Liste der Produkte, die unter die EPR fallen, umfassen nach Anhang III die Humanarzneimittel und kosmetische Mittel, denn "...diese stellen derzeit die Hauptquellen für Mikroschadstoffe im kommunalen Abwasser dar." Die Umsetzung dieses grundsätzlich neuen Ansatzes muss nach der noch ausstehenden, formellen Verabschiedung der Novelle durch den Europarat (im Herbst 2024 vorgesehen) von den Mitgliedsstaaten angegangen und konkretisiert werden. Es ist davon auszugehen, dass je nach Ausgestaltung der Umsetzung deutliche Innovationswirkungen hinsichtlich der Umweltrelevanz der unter die EPR fallenden Produkte ausgelöst werden.

Auf nationaler Ebene wird bereits seit einigen Jahren eine Reform der Abwasserabgabe diskutiert, u.a. hinsichtlich der Zielsetzung verstärkte Anreize zur Minderung der Einträge von Spurenstoffen aufzunehmen: Der aktuelle Novellierungsvorschlag für das Abwasserabgabengesetz in Deutschland stellt hinsichtlich der Verursachergerechtigkeit insofern einen Fortschritt dar, als die von den Direktleitern zu zahlende Abgabe auf die Indirektleiter überwält werden kann, sofern diese für die Schadstoffbelastung des Abwassers verantwortlich sind. Dadurch wird die Lenkungswirkung der Abgabe auf diejenigen Akteure übertragen, die die Schadstoffeinleitung ursprünglich verursachen und diese Einleitung bspw. durch den Einsatz innovativer Technologien verhindern oder vermindern können. Dieses Argument betrifft auch die anderen abgaberelevanten Schadstoffe und Schadstoffgruppen. Die angedachte Überwälzung geht inhaltlich/stofflich über die zwei Produktgruppen in KARL hinaus, weil sie hinsichtlich der Art der Indirektleiter keine Branchenzuordnung vornimmt.

Entscheidend für die langfristige Aufrechterhaltung der Lenkungswirkung der Abwasserabgabe ist eine geeignete Bemessung des Abgabensatzes und der schadstoffspezifischen Referenzfrachten.

Die in der Vergangenheit fehlende Anpassung der Abgabenlast an die Inflation sowie die Möglichkeit, die Abgabelast im Fall der Einhaltung bzw. Überschreitung des Standes der Technik zu halbieren und mit entsprechenden Investitionen zu verrechnen führte zu einer unerwünschten Erosion

der Lenkungswirkung der Abgabe. Der Novellierungsentwurf sieht einen indexgesteuerten Inflationsausgleich vor. Die Analyse der Abwasserabgabe hat aufgezeigt, dass die Interaktion von Beseitigung, Halbierungsmöglichkeit des Abgabensatzes und Verrechnungsmöglichkeiten die Innovationsrisiken erhöht. Aus rein innovationsökonomischer Sicht wäre die Begrenzung der Minderungsmöglichkeiten oder auch die Streichung der Halbierungsmöglichkeit daher wünschenswert. Die Implikationen für die Abwasserentsorger müssten allerdings vorher geprüft und ggf. durch entsprechende Instrumente aufgefangen werden. Sowohl die erweiterte Herstellerverantwortung als auch die Überwälzung der Kosten auf Indirekteinleiter würden die Anreize aus der Abwasserabgabe an die potenziellen Innovatoren weitergeben, so dass hiervon eine Innovationswirkung zu erwarten ist.

Herstellerverantwortung und Überwälzung auf Indirekteinleiter sind Ansätze, von den end-of-pipe-Lösungen stärker in Richtung der Emissionsquelle zu wirken. Dieser Fokus auf anwendungs- und quellenorientierte Maßnahmen zur Minderung von Schadstoffeinträgen ist im Sinne des Verursacherprinzips zu intensivieren. Je weiter man mit den Maßnahmen in Richtung der Emissionsquelle geht, desto komplexer werden dabei die Akteursstrukturen mit den damit verbundenen, weitergehenden Effekten. Niederste-Hollenberg et al. (2018) zeigen wie bspw. das Gesundheitssystem als neuer Akteur im Kontext der Spurenstoffthematik auftritt. Neben den - z. B. durch eine Reform der Abwasserabgabe zu vermittelnden Anreizen - sind hier bewusste Verständigungsprozesse erforderlich, die auf die Erweiterung des Innovationssystems abzielen und damit verbundene institutionelle Innovationen wie z. B. die Etablierung von gemeinsamen Zielfindungs- und Strategieprozessen stärker in den Vordergrund rücken.

Ein wichtiger Akteur im Zusammenhang mit Schadstoffeinträgen in Gewässer und Grundwasser ist die Landwirtschaft. Im Green Deal ebenso wie im Nationalen Aktionsplan Pflanzenschutz (NAP) werden ambitionierte Ziele zur Reduktion des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln definiert. In diesem Kontext wird eine Pestizidabgabe als Maßnahme diskutiert.

Pestizidabgaben bzw. -steuern werden in einigen EU-Ländern teilweise schon seit Jahrzehnten erhoben. Der Vorschlag von Möckel et al. (2015 und 2021) für eine solche Abgabe in Deutschland verfeinert das Konzept dahingehend, dass hinsichtlich der Höhe der Abgabe eine stärkere Orientierung an der Schädlichkeit der betroffenen Mittel erfolgt. Für eine ausreichende Lenkungswirkung eventuell zusätzlich notwendige relativ hohe Abgabensätze könnten bei Bedarf durch die Senkung anderer nicht lenkungswirksamer Abgaben der Landwirte oder durch gezielte Förderprogramme (teilweise) kompensiert werden, so dass deren Gesamtbelastung durch die Pestizidabgabe vor allem dann steigt, wenn sie auf den Einsatz schädlicher Pestizide nicht verzichten wollen. Förderprogramme können bspw. Anreize für Nicht-Pestizid-basierten Pflanzenschutz (Robotik, Re-Innovation wie Nützlingseinsatz etc.) setzen, die zu einer Erweiterung des Innovationssystems beitragen. Nach Deckung der Verwaltungskosten können restliche Mittel ggf. auch direkt in die Entlastung der Landwirtschaft und in F&I fließen. Transparenz über Einnahmen und Art und Umfang der Verausgabung der Mittel kann zur effizienten Nutzung der Mittel beitragen.

Gerade bei Maßnahmen, die näher an der Emissionsquelle und damit bei den Stakeholdern angesiedelt sind, können neben den preislichen bzw. abgabebezogenen Ansätzen auch "weiche" Politikinstrumente wie die o.g. Dialogprozesse zur Erarbeitung und Umsetzung von Maßnahmen zur Verringerung der Wasserverschmutzung eine wichtige Rolle spielen. Hintergrund sind die Erfahrungen im Rahmen des Stakeholder-Dialogs zur Spurenstoffstrategie des Bundes: Durch diesen Dia-

logprozess wurden gezielt Anreize gesetzt für Maßnahmen, die auf freiwilliger Basis umgesetzt werden können und gleichzeitig eine Verringerung der Umweltbelastungen mit Spurenstoffen bewirken. Ergebnisse waren bspw.

- Am Runden Tisch zu Benzotriazol wurden die Möglichkeiten zum Verzicht auf diesen in Spülmaschinenreinigern zum Schutz von Silberbesteck eingesetzten Stoff u.a. mit Herstellern und der Stiftung Warentest diskutiert. In den Tests der Stiftung wurde eine neue Bewertungskategorie "Gewässerbelastung" eingeführt, die einen deutlichen Anreiz zum Verzicht auf diesen Stoff bewirkt, so dass viele Rezepturen zwischenzeitlich geändert wurden (vgl. <https://www.umweltbundesamt.de/runder-tisch-1h-benzotriazol>).
- Am Runden Tisch zu jodierten Röntgenkontrastmittel (RKM) wurde der im Rahmen von Forschungsprojekten entwickelte Ansatz zum Rückhalt der RKM durch Urinsammelsysteme hinsichtlich seiner Praktikabilität und breiteren Anwendung geprüft (https://dialog-spurenstoffstrategie.de/spurenstoffe/aktuelles/meldungen/22-03-25-Runder-Tisch_RKM_Erklärung.php). Der Ansatz soll über verschiedene Pilotprojekte fortgeführt und in die Breite getragen werden.

Diese Beispiele verdeutlichen die besonderen Innovationswirkungen durch die Abstimmungen zwischen und das Zusammenwirken von unterschiedlichen Akteuren im Innovationssystem, wie sie unter bestimmten Rahmenbedingungen durch entsprechende Politikinstrumente ggf. erreicht werden können (vgl. Hillenbrand et al., 2023). Aus Sicht eines funktionalen Innovationssystemansatzes wird dadurch insbesondere die Innovationssystemfunktion "Guidance of Search" besser erfüllt und die Voraussetzungen für die Erfüllung der Funktion "Entrepreneurial Experimentation" verbessert.

9.2 Wasserknappheit

Wasserknappheit ist nur eine Ausprägung von zunehmenden Extremwetterereignissen, mit denen wir uns in Deutschland intensiv und schneller als gehofft auseinandersetzen müssen. Die wesentlichen, die Wasserwirtschaft betreffenden Klimawandelfolgen durch Extremwetterereignisse sind

- lange Trockenzeiten mit resultierender **Wasserknappheit**,
- starke **Hitze**, deren wesentliche Auswirkungen zum einen eine verstärkte Evapotranspiration und damit zusätzlicher Druck auf die Wasserressourcen und zum anderen eine starke Gesundheitsgefährdung sind, sowie
- **Starkregenereignisse**.

Die entgegenwirkenden Maßnahmen sind dabei teilweise identisch. So wirkt ein verstärkter Rückhalt von Wasser in Naturräumen, Offenlandschaft und Wald sowohl positiv auf die Grundwasserneubildung als auch abmildernd auf Hochwasserereignisse. Die **Landwirtschaft** hat insofern auch mit Blick auf ein zukunftsfestes Wassermanagement eine Schlüsselposition inne. Im Blick sind dabei Maßnahmen zum Wasserrückhalt in Offenlandschaft mit dem Ziel einer Erhöhung von Grundwasserneubildung, bzw. der Verminderung von Sturmflut- und Hochwasserereignissen. Anreize für ökologischen Landbau, Zurverfügungstellung von Flächen für die Wasserwirtschaft (und den Naturschutz), i. S. v. Renaturierung von Flüssen, Gewässerrandstreifen, Auenflächen sowie effiziente Bewässerung oder der Schutz vor einer Beeinträchtigung der Wasserverfügbarkeit durch Schadstoffeinträge (Nitrate, Pestizide) sind wichtige Strategien. Innovationswirkungen können auch hier insbesondere im Bereich der Schnittstellen erzielt werden. Ökologisch und wasserwirtschaftliche wertvolle Flächen, die gleichzeitig landwirtschaftlich genutzt werden können, bedürfen übergreifenden Systemdenkens und institutioneller Innovationen.

Im **urbanen Bereich** fördern blau-grüne Infrastrukturen Ökosystemleistungen, tragen zu einer Verbesserung des Stadtklimas und damit der Lebensqualität inkl. Gesundheit bei und wirken gleichzeitig positiv auf den kleinräumlichen Wasserhaushalt. Mehr Stadtgrün ist im Sinne der Stadt-Klimatisierung und der Erholungswirkung für die Bewohner:innen in Hitzephasen dringend geboten. Stadtgrün erfordert aber zwingend auch die Verfügbarkeit von Wasser, und gerade in saisonalen Knappheitsperioden zunehmend auch von recycelten Wasserressourcen (Grauwasseraufbereitung, Regenwasserspeicherung und -nutzung etc.). Auch hier sind Flächenkonkurrenzen häufig ein Hemmnis für eine nachhaltige Wasserwirtschaft in der Stadt. Eine Verschiebung der urbanen Flächennutzung hin zu mehr stadtklimatisierenden, blau-grünen Nutzungen wirkt in der Folge positiv auf Lebensqualität und Bevölkerungsgesundheit. Eine angepasste (Regen-)Wasserbewirtschaftung, dezentrale Ansätze oder die Berücksichtigung von Abwasser-Stoffströmen bereits an der Quelle (Abwasserteilstrombehandlung) können Teile eines nachhaltigen Wassermanagements sein. Die notwendigen Innovationen in diesem Bereich sind technischer aber auch institutioneller und organisatorischer Art. Verschiedene Akteure (neue bzw. tradierte Akteure mit neuen Rollen), neue Geschäftsmodelle sowie eine angepasste Collaborative Governance zwischen traditioneller Wasserwirtschaft und weiteren Akteuren aus dem Kommunalbereich müssen adressiert werden.

Wasserknappheit führt zu Nutzungskonkurrenzen zwischen dem Trinkwasserbedarf für die Bevölkerung, industrieller und gewerblicher Wassernutzung und der Bewässerung landwirtschaftlicher Flächen. Ein neuer Akteur in der Nachfrage nach Wasserressourcen ist außerdem die Wasserstoffherstellung. Die daraus resultierenden Konflikte gewinnen mit dem voranschreitenden Klimawandel auch in Deutschland an Relevanz. Dabei sind viele Regionen temporär, einige Gebiete aber eher grundsätzlich von zunehmender Wasserknappheit betroffen. So ist der durchschnittliche Grundwasserspiegel in Brandenburg lt. DIW (2022)³² seit den 1970er Jahren um einen halben Meter gesunken.

Die Wasserentnahmen der verschiedenen Verbraucher sind genehmigungspflichtig und werden als **Wasserrechte** i.d.R. langfristig festgeschrieben. Das kann Anreize zur sparsameren Wassernutzung konterkarieren. Gezielte Maßnahmen, z.B. eine kontinuierliche Steigerung der Wassernutzungseffizienz als Voraussetzung für Entnahmegenehmigungen für die Industrie, könnten Wassernutzungskonflikte hingegen abmildern. Gleiches gilt für kürzere Genehmigungsfristen. Außerdem könnten Wasserrechte bereits in Raumordnungsprozessen Berücksichtigung finden. Generell gilt, dass Wasserrechte gut geeignet sind, regional spezifische Eigenarten der Wasserverfügbarkeit zu berücksichtigen, aufgrund ihrer langfristigen Festlegung dem Management temporärer Knappheiten jedoch nicht gerecht werden. Hier wären vertiefende Arbeiten zu einer Anpassung der Governance-Strukturen und neuen Allokationsmechanismen notwendig.

Wasserentnahmeentgelte werden in den Bundesländern sehr unterschiedlich gehandhabt. In einzelnen Bundesländern gibt es sie gar nicht, in anderen gibt es gravierende Unterschiede hinsichtlich der Höhe und der Einbeziehung des landwirtschaftlichen Bewässerungsbedarfs. Die Landwirtschaft spielt in diesem Zusammenhang eine besondere Rolle, weil der Wasserbedarf für die Bewässerung im Gegensatz zu allen anderen Verbrauchern in den letzten Jahren aufgrund des Klimawandels stark zugenommen hat. Zudem ist der Bedarf in den eher trockenen Jahreszeiten besonders hoch. Dennoch sind die Entnahmeentgelte für die Landwirtschaft häufig niedriger als für andere Bereiche der Wirtschaft. Generell lässt sich kein statistischer Zusammenhang zwischen den länderspezifischen Wasserknappheiten und der Höhe der erhobenen Entgelte feststellen. Das Entnahmeentgelt scheint in seinen aktuellen Ausprägungen also kein Indikator für Wasserknappheit zu sein. Nur in ganz

³² https://www.diw.de/de/diw_01.c.860993.de/publikationen/wochenberichte/2022_49_1/wertvolle_ressource_wasser_auch_in_deutschland_zunehmend_belastet_und_regional_uebermaessig_genutzt.html#figure2

wenigen Bundesländern geht ein hoher Wasserbedarf in der Landwirtschaft mit Entnahmeentgelten in nennenswerter Höhe einher, ohne dass dadurch Verbrauchsreduktionen herbeigeführt werden könnten. Außerdem erfolgt die Festlegung der Entgelte längerfristig und für jedes Bundesland einheitlich. Dadurch ist es nicht möglich, den lokalen und temporären Schwankungen der Wasserverfügbarkeit mit Hilfe des Entnahmeentgeltes Rechnung zu tragen. Die Erhebung des Entgeltes in seiner aktuellen Ausprägung erscheint daher weder als Anreiz zum sparsameren Umgang mit Bewässerungswasser noch als Innovationsanreiz besonders wirksam.

Es gibt aber noch zwei andere mögliche innovationsrelevante Wirkungspfade des Wasserentnahmeentgeltes: Erstens wird auf der Erhebungsseite in verschiedenen Bundesländern im Rahmen der Zahllastgestaltung eine Verrechnung des fälligen Entgeltes mit Investitionskosten zur Schonung der Wasserressourcen ermöglicht. Ähnlich wie bei der oben diskutierten unmittelbaren Wirkung des Entnahmeentgeltes ist die Innovationswirkung der Verrechnungsmöglichkeit auf die Höhe des im Einzelfall zu zahlenden Entgeltes beschränkt – und damit angesichts der aktuell erhobenen Entgelte begrenzt. Außerdem ist sie auf die Bundesländer beschränkt, in denen die Verrechnungsmöglichkeit besteht, was nicht in allen Ländern der Fall ist.

Zusätzliche Innovationswirkungen ergeben sich, zweitens, auf der Verwendungsseite des Entnahmeentgeltes, welches über die Deckung der Verwaltungskosten der Abgabenerhebung hinaus in vielen Bundesländern auch der Förderung verschiedener wasserwirtschaftlicher und ökologischer Belange dient. Hier ist zu berücksichtigen, dass diese Belange sehr breit gefasst sind und bspw. auch Hochwasserschutz und Altlastensanierung umfassen. Außerdem greift die Zweckbindung in manchen Bundesländern nur teilweise, so dass auch hier die Anreize zur Implementierung von Wassersparinnovationen nicht allzu hoch sind.

In diesem Kontext ist auch die Datenlage als schwierig zu bewerten. Die Schaffung einer qualitativ hochwertigen, öffentlich zugänglichen Datenbasis zum Wasserdargebot und zu Wasserbedarfen wird auch von der nationalen Wasserstrategie gefordert. Sie wäre Voraussetzung für einen vorausschauenden Umgang mit Wassernutzungskonflikten. Erst mit einer konsequenten Messung der Wasserentnahmen kann das Instrument auch eine Lenkungswirkung entfalten und damit auch Innovationswirkung erzielen. Entsprechende Anforderungen an Datenerfassung und -verarbeitung können zur Diffusion noch wenig eingesetzter Messtechnologien und -konzepte beitragen (Bsp. smart meter).

Die Einnahmen, die die Länder aus Wasserentnahmeentgelten und Abwasserabgaben generieren können, wirken aber, bei **zielgerichteter Verwendung als Förderinstrument**, durchaus innovationsfördernd, was sich auch in der Vergangenheit gezeigt hat. Ein Vorteil dieser Gelder ist, dass sie auf Länderebene sehr spezifisch und zielgerichtet eingesetzt werden können.

Wassertarifgestaltung scheint nach den bisherigen Analysen aufgrund der sehr geringen Preiselastizitäten für Privathaushalte in der bislang üblichen Ausgestaltung nur von untergeordnetem Einfluss zu sein. Allerdings reagiert zumindest kurzfristig nur ein vergleichsweise geringer Teil der Wassernachfrage überhaupt auf Preisänderungen. Für den preisreagiblen Teil der Wassernachfrage sind ggf. deutlich höhere preis-induzierte Innovationswirkungen zu erwarten. Für die Industrie stellt sich das anders dar. Hier kann je nach Wasserbedarfen durch Wassertarife durchaus eine lenkende Wirkung erreicht werden. Analog zu den Erfahrungen auch dem Energiebereich ist denkbar, dass eine **dynamische Preisgestaltung**, bei der z.B. zeitnah mit Hilfe intelligenter digitaler Messeinrichtungen (smart meter) Preise an aktuelle Dargebotssituationen angepasst werden können, einen Einfluss auch auf das Verbrauchsverhalten von Unternehmen und privaten Haushalten hat. Diesbezüglich wären weiterführende Untersuchungen lohnenswert.

Die neuen Problemlagen im Bereich der Wasserverfügbarkeit verschärfen die Diskussionen darüber, an wen die immer weniger für alle Verwendungszwecke ausreichenden Wassermengen alloziert

werden sollen. Institutionelle Innovationen im Bereich der Wasserrechte können Ansätze für Wasserverteilungsfragen bieten. Zwar ist nach Auswertung der wenigen bisher bestehenden Ansätze fraglich, ob die Konzeption eines Wasserhandels hier zielgerecht und praxistauglich anwendbar wäre, hierfür bedürfte es zur Beantwortung wichtiger Fragestellungen weiterer Untersuchungen. Aber auch wenn es als institutionelle Innovation zu - absehbar schwierigen - Aushandlungsprozessen über die Vergabe von Wasserrechten kommt, sind die anzulegenden Kriterien zentral. Besonders bedeutsam ist hier die Minimierung der Opportunitätskosten. Sie wird beim Wasserhandel automatisch erreicht, da der Marktmechanismus zu einer effizienten Nutzung der Wasserrechte sorgt. Bei institutionellen Innovationen wie der Etablierung von Aushandlungsprozessen zwischen den beteiligten Akteuren und nachfolgenden Entscheidungen über die Vergabe von Wasserrechten wäre es erforderlich, das Kriterium der Opportunitätskosten bei der Entscheidung darüber, wer Wasserrechte erhalten bzw. für den Verzicht auf Wasserrechte kompensiert werden soll, stärker zu berücksichtigen. Dadurch würde zugleich allen Akteuren ein starkes Signal vermittelt, durch die Generierung von weiteren Innovationen die Opportunitätskosten abzusenken.

Mit Blick auf **industrielle Ansiedlungen** ist festzuhalten, dass Wasser ein zunehmend wichtiger Standortfaktor ist. Maximale Wassereffizienz und Wasserrecyclingkonzepte als Voraussetzung für die Ansiedlung oder auch kontingentierte Wasserrechte als Treiber für Wassereffizienztechnologien könnten Gegenstand weiterer Untersuchungen in diesem Bereich sein.

Grundsätzlich zeigt Deutschland in zukunftsrelevanten Bereichen, wie Mikroschadstoffe und Gewässerschutz sowie nachhaltige Wasserinfrastrukturen eine relativ gute Innovationsdynamik. Die sektorübergreifende Integration mit wichtigen Innovationssystemen wie Digitalisierung/Data Science, ökologischer Landwirtschaft, circular economy oder urbaner Transformation kann wichtige systemische Innovationen voranbringen. Im Sinne systematischer Abwägungsprozesse, zur Aushandlung von Wasserrechten bzw. zur Entwicklung anderer angepasster Allokationsmechanismen sind in diesem Bereich institutionelle Innovationen erforderlich.

Die Auswertungen zeigen, dass das BMBF als wichtigster Fördermittelgeber eine Schlüsselposition für die Forschung im Wasserbereich innehat. Für die Überwindung technischer aber auch institutioneller Pfadabhängigkeiten sind zusätzliche Forschungsanstrengungen zur Berücksichtigung der spezifischen Transformationsbedingungen in einem erweiterten Wasser-Innovationssystem notwendig. Ziel muss sein, sowohl technologische als auch institutionelle Innovationen gleichermaßen voranzubringen.

Im Unterschied bspw. zum Energiebereich hat die Innovationsforschung im Wasserbereich bisher weniger Eingang gefunden (Edler und Walz 2024), weil das Bewusstsein für den Transformationsbedarf und den Handlungsdruck bis vor wenigen Jahren noch nicht ausgeprägt war. Aus strategischer Sicht sollte daher das Nachdenken über die Innovationsbedingungen im Sektor Wasserwirtschaft durch eine Meta-Analyse unterstützt werden, in der die strukturellen Bedingungen für eine höhere Innovationsdynamik im Wasserbereich systematisch und umfassend aus Innovationssystemperspektive ins Augenmerk genommen werden.

Quellenverzeichnis

- Aichele, C. ; Doleski, O. D. (Hrg.), 2014. Smart Market: Vom Smart Grid zum intelligenten Energiemarkt: Springer. Wiesbaden.
- Al-Qunaibet, M.H., Johnston, R.S., 1985. Municipal demand for water in Kuwait: Methodological issues and empirical results. *Water Resources* 2, 433–438.
- Anter, J.; Kreins, P.; Heidecke, C.; Gömann, H. (2018): Entwicklung des regionalen Bewässerungsbedarfs – Engpässe in der Zukunft? In: Schimmelpfennig, S. et al. (Hrsg.): *Bewässerung in der Landwirtschaft. Tagungsband zur Fachtagung am 11./12.09.2017 in Suderburg. Working Paper 85*, Braunschweig: Johann-Heinrich von Thünen-Institut
- Balado-Naves, R., Suárez-Fernández, 2023. Exploring Gender Differences in Residential Water Demand. <https://ssrn.com/abstract=4532770>
- Bergek, A.; Hekkert, M.; Jacobsson, S.; Markard, J.; Sandén, B.; Truffer, B. (2015): Technological innovation systems in contexts: Conceptualizing contextual structures and interaction dynamics. In: *Environmental Innovation and Societal Transitions* 16, S. 51–64. DOI: 10.1016/j.eist.2015.07.003.
- BDEW, 2024. Trinkwasserverwendung im Haushalt 2023. (aufgerufen am 8.5.2024). URL "<https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/trinkwasserverwendung-imhaushalt>"
- BMU/UBA (Hrsg.) (2019): Ergebnispapier - Ergebnisse der Phase 2 des Stakeholder-Dialogs »Spurenstoffstrategie des Bundes« zur Umsetzung von Maßnahmen für die Reduktion von Spurenstoffeinträgen in die Gewässer. Eds.: Hillenbrand, T.; Tettenborn, F.; Bloser, M.; Bonn: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit/Dessau: Umweltbundesamt, 65 S.
https://www.dialog-spurenstoffstrategie.de/spurenstoffe-wAssets/docs/ergebnispapier_stakeholder_dialog_phase2_bf.pdf
- BMUV Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (2003), Hydrologischer Atlas für Deutschland
- Boiteux, Marcel (1949). "La Tarification des Demandes en Point: Application de la Theorie de la Vente au Cout Marginal." *Revue Generale de l'Electricite*, Vol. 58 (August), 321-40.
- Borenstein, Severin, and Stephen Holland (2005): On the Efficiency of Competitive Markets with Time-Invariant Retail Prices. *RAND Journal of Economics* 36(3): 469–93.
- Borenstein, Severin. 2005. "The Long-Run Efficiency of Real-Time Electricity Pricing." *Energy Journal* 26(3): 93–116.
- Bruno, E. M. (2018). *Water Trading on the Colorado River: A History and Review of the Efficiency and Equity Considerations*. ECL 290/GEO 230: Ecogeomorphology University of California, Davis
- Bundesnetzagentur (2022). *Monitoringbericht 2022*. Bonn: Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahn.
- Bührer, S.; Walz, R.; Seus, S.; Astor, M.; Stehnen, T.; Malik, F. (2020): *Evaluation der BMBF-Rahmenprogramme Forschung für die Nachhaltigkeit FONA 1 (2005-2009) & Forschung für Nachhaltige Entwicklungen FONA 2 (2010-2014)*. Karlsruhe / Berlin 2020.

- Bureau of Meteorology (2023). Australian Water Markets Report 2021–22, http://www.bom.gov.au/water/market/documents/The_Australian_Water_Markets_Report_2020-21.pdf
- COAG (2004): Intergovernmental Agreement on a National Water Initiative. Hg. v. Council of Australian Governments, Australian Government (COAG). Canberra.
- Costa, D. L., Kahn, M. E. (2013). Energy conservation "nudges" and environmentalist ideology: Evidence from a randomized residential electricity field experiment. *Journal of the European Association* 11(3), 680–702. <https://doi.org/10.1111/jeea.12011>
- Dalhuisen, J. M., Florax, R. J., De Groot, H. L., Nijkamp, P., 2003. Price and income elasticities of residential water demand: A meta-analysis. *Land Economics* 79 (2), 292–308.
- Davis, A. L., Krishnamurti, T., Fischhoff, B., & Bruine de Bruin, W. (2013). Setting a standard for electricity pilot studies. *Energy Policy*, 62, 401–409. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2013.07.093>
- De Witte, T. (2018): Entwicklung Wirtschaftlichkeit der Feldbewässerung. In: Schimmelpfennig, S. et al. (Hrsg.): *Bewässerung in der Landwirtschaft. Tagungsband zur Fachtagung am 11./12.09.2017 in Suderburg*. Working Paper 85, Braunschweig: Johann-Heinrich von Thünen-Institut
- Delacámara, G., Dworak, T., Gómez, C. M., Lago, M. Maziotis, A., Rouillard, J., Strosser, P., 2013. EPI-Water Deliverable 5.3: Guidance on the design and development of Economic Policy Instruments in European water policy. *EPI-Water - Evaluating Economic Policy Instruments for Sustainable Water Management in Europe*
- Destatis (2022): Öffentliche Wasserversorgung und öffentliche Abwasserentsorgung – Öffentliche Abwasserbehandlung und -entsorgung 2019. Fachserie 19, Reihe 2.1.2, Wiesbaden: Statistisches Bundesamt (Destatis)
- Destatis (2023): Nichtöffentliche Wasserversorgung und nichtöffentliche Abwasserentsorgung 2019. Fachserie 19, Reihe 2.2, Wiesbaden: Statistisches Bundesamt (Destatis)
- Destatis (2024a): Frischwassereinsatz nach Bundesländern, Jahren und Wassernutzung. Statistisches Bundesamt (Destatis), Genesis-Online 32221-0004, Abrufdatum: 09.02.2024; [Datenlizenz by-2-0](#)
- Destatis (2024b): Landwirtschaftliche Betriebe mit Bewässerung, Bewässerte Fläche für Deutschland nach Jahren. Statistisches Bundesamt (Destatis), Genesis-Online 41141-0015, Abrufdatum: 09.02.2024; [Datenlizenz by-2-0](#)
- Dharmaratna, D., Harris, E. (2012). Estimating Residential Water Demand Using the Stone-Geary Functional Form: The Case of Sri Lanka. *Water Resources Management* 26, 2283–2299. <https://doi.org/10.1007/s11269-012-0017-1>
- DIW (2022): Wertvolle Ressource Wasser auch in Deutschland zunehmend belastet und regional übermäßig genutzt, DIW Wochenbericht 49 / 2022, 651-660, 17.07.2024, URL: https://www.diw.de/de/diw_01.c.860993.de/publikationen/wochenberichte/2022_49_1/wertvolle_ressource_wasser_auch_in_deutschland_zunehmend_belastet_und_regional_uebermaessig_genutzt.html#figure2
- DLF (2024): Tesla in Grünheide. Werksausbau kann kommen – Segen oder Fluch?, Deutschlandfunk, 17.05.2024, URL: <https://www.deutschlandfunk.de/tesla-gruenheide-kritik-berechtigt-100.html>

- Dütschke, E.; Köhler, J.; Laws, N.; Hacke, U.; Niederste-Hollenberg, J.; Wesche, J. (2019): Kommunen als Motoren einer Nachhaltigkeitstransformation - Erfahrungen aus den Feldern Energie, Wasser und Wohnen. In: W. Leal Filho (eds), Aktuelle Ansätze zur Umsetzung der UN-Nachhaltigkeitsziele, pp 79-98, Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg; Print ISBN 978-3-662-58716-4; Online ISBN 978-3-662-58717-1; https://doi.org/10.1007/978-3-662-58717-1_16
- Dutta, G.; Mitra, K. (2017): A literature review on dynamic pricing of electricity. *Journal of Operational Research Society* 68 (10), 1131–1145.
- DWA (2014): Wirtschaftsdaten der Abwasserbeseitigung. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA). https://de.dwa.de/files/_media/content/03_THEMEN/Wirtschaft/DWA_Wirtschaftsdaten_2013_fin.pdf (Letzter Zugriff: 28.5.2024)
- DWD (2019). Klimareport Brandenburg. 1. Auflage, Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main, Deutschland, 40 Seiten.
- Edler, J., Walz, R. (2024): Drivers and patterns of change in systems and innovation research. In: Edler, J.; Walz, R. (Hrsg., 2024): *Systems and innovation research in transition. Research questions and trends in historical perspective*. Heidelberg: Springer, erscheint im Oktober 2024
- Faruqi, A., D. Harris, R. Hledik (2010). Unlocking the \$53 billion savings from smart meters in the EU: How increasing the adoption of dynamic tariffs could make or break the EU's smart grid investment. *Energy Policy* 38. 6222-6231.
- Faruqi, A., J. Palmer, J. (2011): Dynamic pricing and its discontents. *Regulation*, Fall 2011.
- Femenia, F.; Letort, E. (2016): How to significantly reduce pesticide use: An empirical evaluation of the impacts of pesticide taxation associated with a change in cropping practice, in: *Ecological Economics* 125, S. 27-37.
- Ferraro, P. J.; Miranda, J. J., Price, M. K. (2011). The persistence of treatment effects with norm-based policy instruments: Evidence from a randomized environmental policy experiment. *American Economic Review*, 101(3), 318–322. <https://doi.org/10.1257/aer.101.3.318>
- Ferraro, P. J.; Price, M. K. (2013). Using Nonpecuniary Strategies to Influence Behavior: Evidence from a Large-Scale Field Experiment. *Review of Economics and Statistics*, 95(1), 64–73. https://doi.org/10.1162/REST_a_00344
- Fricke, E. (2018): Effiziente Bewässerungstechnik und -steuerung – Stand und Trends. In: Schimmelpfennig, S. et al. (Hrsg.): *Bewässerung in der Landwirtschaft. Tagungsband zur Fachtagung am 11./12.09.2017 in Suderburg. Working Paper 85*, Braunschweig: Johann-Heinrich von Thünen-Institut
- Fröba, N.; Belau, T. (2018): Betriebswirtschaftliche Eckdaten zur landwirtschaftlichen Bewässerung. In: Schimmelpfennig, S. et al. (Hrsg.): *Bewässerung in der Landwirtschaft. Tagungsband zur Fachtagung am 11./12.09.2017 in Suderburg. Working Paper 85*, Braunschweig: Johann-Heinrich von Thünen-Institut
- Fronde, Manuel, Niehues, Delia A. and Sommer, Stephan. "Wasserverbrauch privater Haushalte in Deutschland: Eine empirische Mikroanalyse" *Zeitschrift für Wirtschaftspolitik*, vol. 70, no. 3, 2021, pp. 230-254. <https://doi.org/10.1515/zfw-2021-206>

- Fuchs, S.; Scherer, U.; Wander, R.; Behrendt, H.; Venohr, M.; Opitz, D.; Hillenbrand, T.; Marscheider-Weidemann, F.; Götz, T. (2010): Berechnung von Stoffeinträgen in die Fließgewässer Deutschlands mit dem Modell MONERIS. Texte 45/2010, Umweltbundesamt, Dessau
- Gaudin, S., Griffin, R.C., Sickles (2001): Demand specification for municipal water management: evaluation of the Stone-Geary form. *Land Economics* 77, 399–422.
- Gawel, E. (2014): Reform der Abwasserabgabe. Einführung. Präsentation. https://www.ufz.de/export/data/2/81759_1Gawel_Einf%C3%BChrung.pdf (Letzter Zugriff: 28.5.2024)
- Gawel, E.; Köck, W.; Kern, K.; Schindler, H.; Holländer, R.; Anlauf, K.; Rüger, J.; Töpfer, C. (2014a): Reform der Abwasserabgabe: Optionen, Szenarien und Auswirkungen einer fortzuentwickelnden Regelung. Texte 55/2014, Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.
- Gawel, E.; Schindler, H. (2014): Aufkommen und Aufkommensverwendung der Abwasserabgabe. UFZ Discussion Papers 24/2014. Leipzig: Helmholtz Zentrum für Umweltforschung – UFZ.
- Gawel, E.; Strunz, S.; Holländer, R.; Lautenschläger, S.; Stumpf, L.; Jaschke, G.; Spillecke, H. (2021): Reform des Abwasserabgabengesetzes – mögliche Aufkommens- und Zahllasteffekte. Abschlussbericht. Texte 60/2021, Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.
- Gawel, E., Köck, W. (2023): Endbericht zum Vorhaben Internalisierung von Umwelt- und Ressourcenkosten gemäß Vorgaben des Zukunftsplans Wasser, Hessisches Ministeriums für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMUKLV), Wiesbaden
- Gehrke, Birgit; Ingwersen, Kai; Schasse, Ulrich; Ostertag, Katrin; Marscheider-Weidemann, Frank; Rothengatter, Oliver (2019): Innovationsmotor Umweltschutz: Forschung und Patente in Deutschland und im internationalen Vergleich. Aktualisierte Ausgabe 2019. Umwelt, Innovation, Beschäftigung, 06/2019. Dessau-Roßlau, Umweltbundesamt.
- Giordano, V.; Fulli, G. (2012): A business case for smart grid technologies: A systemic perspective. *Energy Policy* 40 (1), 252–259.
- Glachant, J.-M. (2021): Chapter 12: New business models in the electricity sector. In: Jean-Michel Glachant, Paul L. Joskow and Michael G. Pollitt (Hrg.): "Handbook on Electricity Markets". Edward Elgar, Cheltenham, UK. <http://dx.doi.org/10.4337/9781788979955>
- Goldhammer, T.; Höhne, A.; Kleine, L.; Kronsbein, A.L.; Lewandowski, J.; Mehner, T.; Müller, B.M.; Pusch, M.; Reith, Ch. J.; Schulz, H.; Spahr, S. (2021). Die Region Berlin-Brandenburg und die Tesla-Gigafactory, Wissenschaftliche Einschätzung zur Ansiedlung von industriellen Großprojekten in wasserarmen Gebieten, Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB), URL: [Die Region Berlin-Brandenburg und die Tesla-Gigafactory | IGB \(igb-berlin.de\)](https://www.igb-berlin.de)
- Gracia-de-Rentería, P.; Barberán, R. Economic Determinants of Industrial Water Demand: A Review of the Applied Research Literature. *Water* 2021, 13, 1684. <https://doi.org/10.3390/w13121684>
- Graichen, P. und Requate, T. (2005): Der steinige Weg von der Theorie in die Praxis des Emissionshandels: Die EU-Richtlinie zum CO₂-Emissionshandel und ihre nationale Umsetzung, *Perspektiven der Wirtschaftspolitik* 6(1), 41-56.
- Grubb et al. 2021: Induced innovation in energy technologies and systems: a review of evidence and potential implications for CO₂ mitigation; *Environmental Research Letters* 16 (2021) 043007
- Haakh, I. F. (2017), Aktuelle Herausforderungen der Fernwasserversorgung.

- Hekkert, M.P.; Negro, S.O. (2009): Functions of innovation systems as a framework to understand sustainable technological change: Empirical evidence for earlier claims, *Technological Forecasting and Social Change*, 76, 584-594
- Hennies, G. (2018): Wem gehört das Wasser – ein Bericht der Wasserverbände. In: Schimmelpfennig, S. et al. (Hrsg.): *Bewässerung in der Landwirtschaft*. Tagungsband zur Fachtagung am 11./12.09.2017 in Suderburg. Working Paper 85, Braunschweig: Johann-Heinrich von Thünen-Institut
- Hillenbrand, T., F. Tettenborn, S. Fuchs, S. Toshovski, S. Metzger, I. Tjoeng, P. Wermter, M. Kerstin, D. Hecht, N. Werbeck, P. Wunderlin (2016): Maßnahmen zur Verminderung des Eintrages von Mikroschadstoffen in die Gewässer – Phase 2. Umweltbundesamt (Berlin): Texte 60/2016, 235 S.,
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/publikationen/mikroschadstoffen_in_die_gewasser-phase_2.pdf
- Hillenbrand, T.; Hiessl, H.; Klug, S.; Freiherr von Lüninck, B.; Niederste-Hollenberg, J.; Sartorius, C.; Walz, R.(2013): Herausforderungen einer nachhaltigen Wasserwirtschaft - Innovationsreport. TAB-Arbeitsbericht Nr. 158. Berlin 2013, 217 S.;
<https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000131630>
- Hillenbrand, T.; Hiessl, H.; Marscheider-Weidemann, F.; Niederste-Hollenberg, J.; Sartorius C.; Walz, R. (2024): "Understanding the Co-Evolution of Research and Water Protection Policies: From Single Technologies to Systemic Integrated Approaches for the Sustainable Use of Water". In: Edler, J.; Walz, R. (Hrsg., 2024) : *Systems and innovation research in transition. Research questions and trends in historical perspective*. Heidelberg: Springer, erscheint im Oktober 2024
- Hillenbrand, T.; Tettenborn, F.; Bloser, M.; Luther, S.; Eisenträger, A.; Kubelt, J.; Rechenberg, J. (2023): Engaging stakeholders to solve complex environmental problems using the example of micropollutants. *Water*, 2023, 15 (accepted)
- Hillenbrand, Thomas; Eckartz, Katharina; Hiessl, Harald; Hohmann, Claudia; Niederste-Hollenberg, Jutta (2018): Transition urbaner Wasserinfrastruktursysteme - notwendig und machbar? In: *Korrespondenz Abwasser, Abfall*, 2018 (65), Nr. 2. S. 121-129
- Hirshleifer, J. (1958): Peak Loads and Efficient Pricing: Comment. *Quarterly Journal of Economics*, 72 (3), 451-462.
- Hobbs, G. (2021). *Citizen's guide to Colorado water law*. Denver, Colorado: Colorado Foundation for Water Education.
- Houthakker, Hendrik (1951). Electricity Tariffs in Theory and Practice. *The Economic Journal* 61 (241), 1-25.
- Jegnie, A., Fogarty, J. and Iftekhhar, M.S. (2021): Price and income elasticities for urban residential water demand: A publication bias corrected meta-analysis. Working Paper 2101, UWA School of Agriculture and Environment, The University of Western Australia, Crawley, Australia.
- Joskow, P. L. and Wolfram, C. D., 2012. Dynamic pricing of electricity. *American Economic Review* 102, 381–85. <https://doi.org/10.1257/aer.102.3.381>
- Joskow, Paul L., 2012. Creating a Smarter U.S. Electricity Grid." *Journal of Economic Perspectives*, 26(1), 29–48.

- Kahn, Alfred. 1970. Economic Principles. The Economics of Regulation: Principles and Institutions. Volume 1. New York: John Wiley & Sons.
- Köstner B., Wenkel K.O., Berg M., Bernhofer C., Gömann H., Weigel H.-J. (2014) Integrating regional climatology, ecology, and agronomy for impact analysis and climate change adaptation of German agriculture: An introduction to the LandCaRe2020 project, Eur. J. Agron. 52:1-10
- Kreins, P.; Henseler, M.; Anter, J.; Herrmann, F.; Wendland, F. (2015): Quantification of climate change impact on regional agricultural irrigation and groundwater demand, Water Resources Management 29(10): 3585-3600
- Kruse, S. (2018): Rechtliche Aspekte und Konflikte landwirtschaftlicher Wassernutzung. In: Schimmelpfennig, S. et al. (Hrsg.): Bewässerung in der Landwirtschaft. Tagungsband zur Fachtagung am 11./12.09.2017 in Suderburg. Working Paper 85, Braunschweig: Johann-Heinrich von Thünen-Institut
- Lopez-Nicolas, A.; Pulido-Velazquez, M.; C. Rougé, C.; Harou, J.,J.; Escrivá-Bou, A. (2018): Design and Assessment of an Efficient and Equitable Dynamic Urban Water Tariff. Application to the City of Valencia, Spain, Environmental Modelling & Software 101, 137–145.
- Martínez-Espiñeira, R., Nauges, C. (2004): Is all domestic water consumption sensitive to price control? Applied Economics 36, 1697–1703.
- Marzano, R., Rougé, C., Garrone, P., Grilli, L., Harou, J.,J., Pulido-Velazquez, M., 2018. Determinants of the price response to residential water tariffs: Meta-analysis and beyond. Environmental Modelling & Software 101, 236–248.
- Matthey, A.; Bünger, B. (2020): Methodenkonvention 3.1. zur Ermittlung von Umweltkosten. Kostensätze. Stand 12/2020. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.
- McClelland, L; Cook, S.W. (1979): Energy conservation effects of continuous in-home feedback in all-electrichomes. Journal of Environmental Systems, 9: 169-73.
- MDBA (Murray Darlin Basin Authority) (2023). www.mdba.gov.au
- Mehlhorn, H., & Weiß, M. (2009). Fernwasserversorgung und Verbundsysteme in der Wasserversorgung. *gwf Wasser| Abwasser*, 150(Spezial 1), 74-W.
- Möckel, S.; Gawel, E.; Kästner, M.; Knillmann, S.; Liess, M.; Bretschneider, W. (2015): Einführung einer Abgabe auf Pflanzenschutzmittel in Deutschland, Berlin: Duncker&Humboldt.
- Möckel, S.; Gawel, E.; Liess, M.; Neumeister, L. (2021): Wirkung verschiedener Abgabenkonzepte zur Reduktion des Pestizideinsatzes in Deutschland – eine Simulationsanalyse. Studie im Auftrag der GLS Bank und GLS Bank Stiftung.
https://www.gls.de/media/PDF/Presse/Studie_Pestizid-Abgabe_in_Deutschland_2021.pdf
- Müller, C., 2015. Welfare Effects of Water Pricing in Germany. Water Economics and Policy 1 (4), 1550019.
- Nielsen, H.Ø. (2019): The Danish pesticide tax. Content, functions, effects, transferability. Presentation beim Finanzierungssymposium Spurenstoffe. https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/ccn/2019/finanzierungssymposium-spurenstoffe/0203_06_Nielsen_The-Danish-pesticide-tax_presentation_220119.pdf
- Nieuwoudt, W. L. (2000). Water market institutions: Lessons from Colorado. *Agrekon*, 39(1), 58-67.
- Palomo-Hierro, S., Gómez-Limón, J. A., & Riesgo, L. (2015). Water markets in Spain: Performance and challenges. *Water*, 7(2), 652-678.

- Palomo-Hierro, S., Loch, A., & Pérez-Blanco, C. D. (2022). Improving water markets in Spain: Lesson-drawing from the Murray-Darling Basin in Australia. *Agricultural Water Management*, 259, 107224.
- PC (2003): Water Rights Arrangements in Australia and Overseas. Commission Research Paper. Hg. v. Productivity Commission, Commonwealth of Australia.
- Popp 2019: Environmental policy and innovation: a decade of research; CESifo Working Papers; 7544/2019; ISSN 2364-1428 (electronic version)
- RDB, Regionaldatenbank der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder (2024a). Erhebung der öffentlichen Wasserversorgung, Code 32211
- RDB, Regionaldatenbank der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder (2024b). Erhebung der Wasser- und Abwasserentgelte, Code 32271
- Reynaud, A., 2015. Modelling household water demand in Europe – Insights from a cross-country econometric analysis of EU-28 countries. Joint Research Center. JRC Technical Reports. Report EUR 27310 EN.
- Rougé, C.; Harou, J.J.; Pulido-Velazquez, M; Matrosov, E.S.; Garrone, P.; Marzano, R.; Lopez-Nicolas, A.; Castelletti, A.; Rizzoli, A.-E. (2018): Assessment of Smart-Meter-Enabled Dynamic Pricing at Utility and River Basin Scale. *Journal of Water Resources Planning and Management* 144(5), 04018019. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000888](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000888)
- Ruokamo, E., Kopsakangas-Savolainen, M., Meriläinen, T., Svento, R., (2019): Towards flexible energy demand – Preferences for dynamic contracts, services and emissions reductions. *Energy Economics* 84, 104522. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eneco.2019.104522>.
- Sartorius, C.; Hillenbrand, T.; Niederste-Hollenberg, J. (2019): Multikriterielle Bewertung von Wasserinfrastruktursystemen im Kontext der SDGs. In: W. Leal Filho (eds), *Aktuelle Ansätze zur Umsetzung der UN-Nachhaltigkeitsziele*, pp 271-289, Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg; Print ISBN 978-3-662-58716-4; Online ISBN 978-3-662-58717-1; https://doi.org/10.1007/978-3-662-58717-1_15
- Sartorius, C.; Lévai, P.; Niederste-Hollenberg, J.; Nyga, I.; Sorge, C.; Hillenbrand, T. (2018): Comparative multi-criteria performance assessment of alternative water infrastructure systems. *Water Science and Technology: Water Supply* (2018) 18 (6): 2188-2198. <https://doi.org/10.2166/ws.2018.045>
- Schäppi, B.; Weber, F.; Sutter, D.; Sartorius, C. (2019): Ermittlung von Umweltkosten durch den Eintrag von Stickstoff und Phosphor, Sachstandspapier zur Methodenkonvention 3.0., Umweltbundesamt, Oktober 2019
- Scheierling, S.M.; Loomis, J.B.; Young, R.M. (2006): Irrigation water demand: A meta-analysis of price elasticities. *Water Resources Research*, Vol. 42, W01411, doi:10.1029/2005WR004009, 2006
- Schiersch, A., Gehrke, B. (2014): Die Wissenswirtschaft im internationalen Vergleich: Strukturen, Produktivität, Außenhandel. Studien zum deutschen Innovationssystem Nr. 6. Berlin, Hannover.
- Sleich, J.; Hillenbrand, T (2009): Determinants of Residential Water Demand in Germany. *Ecological Economics* 68, 1756-1769.
- Sleich, J.; Hillenbrand, T. (2019): Residential water demand responds asymmetrically to rising and falling prices. *Applied Economics* 51 (45). 4973-4981. <https://doi.org/10.1080/00036846.2019.1606412>

- Schleich, J.; Klobasa, M.; Gölz, S.; Brunner, M. (2013): Effects of feedback on residential electricity demand - Findings from a field trial in Austria. *Energy Policy* 61, 1097–1106.
(<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2013.05.012>)
- Schleich, J.; Walz, R.; Ragwitz, M. (2017): Effects of policies on patenting in wind-power technologies. *Energy Policy* 108, 684–695. doi:10.1016/j.enpol.2017.06.043
- Schlereth, C., Skiera, B., Schulz, F. (2018): Why do consumers prefer static instead of dynamic pricing plans? An empirical study for a better understanding of the low preferences for time-variant pricing plans. *European Journal of Operations Research* 269 (3), 1165–1179.
(<http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2018.03.033>)
- SenUMVK (2022): Masterplan Wasser Berlin, 1. Bericht, Senatsverwaltung Umwelt, Mobilität, Verbraucher- und Klimaschutz. Berlin, Deutschland, 60 Seiten.
- Sioshansi, F. P. (Hrg.) (2017): *Innovation and Disruption at the Grid's Edge: How Distributed Energy Resources Are Disrupting the Utility Business Model*, 1. Auflage, London: Academic Press.
- Spulber, D. F. (1985): Effluent Regulation and Long-Run Optimality, *Journal of Environmental Economics and Management* 12, 103-11
- Teiser, B. (2018): Erfahrungen aus der Abwassernutzung auf landwirtschaftlichen Flächen. In: Schimmelpfennig, S. et al. (Hrsg.): *Bewässerung in der Landwirtschaft*. Tagungsband zur Fachtagung am 11./12.09.2017 in Suderburg. Working Paper 85, Braunschweig: Johann-Heinrich von Thünen-Institut
- THRU (2024): Suche nach der Summe der Schadstoffemissionen aller auf THRU.de registrierten deutschen Industriebetriebe im Jahr 2019. Letzte Abfrage: 20.5.2024
- Vašak, Mario ; Banjac, Goran ; Baotić, Mato ; Matuško, Jadranko (2014): Dynamic day-ahead water pricing based on smart metering and demand prediction // *Procedia Engineering -- Water Distribution System Analysis Conference - Urban Water Hydroinformatics and Strategic Planning, WDSA 2014 / Brunone B. ; Campisano A. ; Giustolisi O. et al. (ur.)*. Elsevier, 2014. str. 1031-1036 doi: 10.1016/j.proeng.2014.11.221
- VKU (Verband kommunaler Unternehmen) (2017): *Wasserpreise und –gebühren. Faktencheck*. VKU Verlag GmbH, Berlin/Munich, December.
- VKU (Verband kommunaler Unternehmen) (2019): *Wasserpreise zukunftsfest ausgestalten - Welches Modell passt? VKU Verlag GmbH* (aufgerufen am 27.05.2024) URL
(https://www.vku.de/fileadmin/user_upload/Verbandsseite/Positionen/Kommunale_Wasserwirtschaft/VKU_Verlag_Leitfaden_Wasserpreiskalkulation_ES.pdf)
- VKU (Verband kommunaler Unternehmen) (2022): *Zahlen – Daten – Fakten 2022* (aufgerufen am 27.05.2024) URL
(https://www.vku.de/fileadmin/user_upload/Verbandsseite/Publikationen/2022/VKU_ZDF_2022_DE.pdf)
- Walz, R.; Pfaff, M.; Marscheider-Weidemann, F.; Glöser-Chahoud, S. (2017): Innovations for reaching the green sustainable development goals – where will they come from? *International Economics and Economic Policy* 14 (3), 684-695.
- Walz, R.; Ostertag, K.; Eckartz, K.; Gandenberger, C.; Bodenheimer, M.; Peuckert, J.; Ramel, F.; Gigli, M.; Doranova, A.; Miedzinki, M. (2019): *Ökologische Innovationspolitik in Deutschland. Bestandsaufnahme und Handlungsempfehlungen*. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt (Umwelt, Innovation, Beschäftigung, 01/2019)

- Wheeler, S. A. (2014). Insights, lessons and benefits from improved regional water security and integration in Australia. *Water Resources and Economics*, 8, 57-78.
- Wheeler, S. A. and Garrick, D. E. (2020). A tale of two water markets in Australia: lessons for understanding participation in formal water markets. *Oxford Review of Economic Policy*, 36(1), 132-153.
- Wheeler, S. A.; Loch, A.; Crase, L.; Young, M.; Grafton, R. Q. (2017): Developing a water market readiness assessment framework. In: *Journal of Hydrology* 552, S. 807–820. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2017.07.010.
- Wheeler, S. A.; Xu, Ying (2021): Introduction to Water Markets: an overview and systematic literature review. In: S. Wheeler (Hg.): *Water Markets. A Global Assessment*. Cheltenham, England, Northampton, Massachusetts: Edward Elgar Publishing.
- Womble, P. and Hanemann, W. M. (2020). Legal change and water market transaction costs in Colorado. *Water Resources Research*, 56(4), e2019WR025508.
- Womble, P., Townsend, A., and Szeptycki, L. F. (2022). Decoupling environmental water markets from water law. *Environmental Research Letters*, 17(6), 065007.
- WSE (2022): Wasserverband Straußberg Erkner, Pressemitteilung: Tesla-Versorgungsvertrag kann erfüllt werden, 17.03.2022, URL: https://www.w-s-e.de/fileadmin/user_upload/04_Aktuelles/pressemitteilungen-pdf-fotos/20220317_PM_Verbandsversammlung_Tesla.pdf
- WSE (2024): Wasserverband Straußberg Erkner, URL: <https://www.w-s-e.de/wasserverband>
- Zipperer, D.; Graf, P.; Fäcks, K.; Danz, B.; Weiß, M. (2018). 10 Jahre Benchmarking Fernwasserversorgung in Deutschland. https://www.bdew.de/media/documents/10_Jahre_Benchmarking_Fernwasserversorgung_BRD.pdf

A.1 Übersicht der untersuchten Wasserhandelssysteme (WHS)

Tabelle 11: Übersicht der untersuchten Wasserhandelssysteme

	Spanien	Colorado (USA)	Australien (Murray-Darling Basin, MDB)
Beginn	1999	Übertragung von Wasserrechten seit dem 19. Jh. (Womble et al., 2022)	Formeller Wasserhandel seit den 1980er Jahren (abhängig vom Bundesstaat/Territorium)
Anlass für Einführung eines WHS	Effizienz, erwartete Produktivitätssteigerungen, Wohlfahrt, hoher Nachfragedruck (der je nach Regionen und Jahreszeiten variiert).	Wasserhandel ist als Teil des "prior appropriation"-Systems schon lange erlaubt.	Bedarf nach nachhaltiger Wasserversorgung; Wassernachfragemanagement; Berücksichtigung von Umweltbelangen (formell seit den 2000er Jahren) (Wheeler 2014)
Regionale Abdeckung	Das gesamte Land, Handel begrenzt durch vorhandene Infrastruktur.	Gesamter Staat Colorado. Für das "Colorado-Big Thompson Project", bei dem Wasser aus dem Einzugsgebiet des Colorados, über die natürliche Wasserscheide hinweg, von der Westseite auf die Ostseite der Rocky Mountains umgeleitet wird, gelten teilweise besondere Regeln (u.a. kein Recht auf return flows).	Wasserhandelszonen existieren an verschiedenen Orten in Australien, der überwiegende Teil findet im MDB statt (94% des gehandelten Volumens in den Wasserjahren 2010–11 und 2011–12)
Sektorale Abdeckung	Gemeinschaft von Bewässerungsbetrieben (community of irrigators CI) - nicht einzelne Bauern, Wasserkraftunternehmen, Versorgung mit Trinkwasser, Flussgebietsbehörde (Palomo-Hierro et al., 2015); nur Inhaber von Wasserrechten dürfen handeln;	Landwirtschaft, Industrie, Gemeinden, Regierung und NGOs.	Hauptsächlich landwirtschaftlich geprägt, aber mit wachsender Rolle der Umwelt und externer Akteure (i.e. Finanzsektor) auf der Grundlage ehemaliger Bewässerungsrechte
Art des Wassers	Oberflächen- und Grundwasser	Oberflächen- und Grundwasser. Bei Grundwasser wird zwischen zuströmendem und unabhängigem (z.B. fossilem) Grundwasser unterscheiden. Letzteres gilt als unabhängige Ressource und unterliegt anderen Regeln.	Oberflächen- und Grundwasser

	Spanien	Colorado (USA)	Australien (Murray-Darling Basin, MDB)
Charakter der Rechte	Grundsätzlich gehören alle Oberflächen- und Grundwasserressourcen der Öffentlichkeit; dauerhafte Wassernutzungsrechte (d. h. keine Eigentumsrechte) sind an das Land gebunden und werden in der Regel für 75 Jahre gewährt, dauerhafte Wassernutzungsrechte dürfen nicht gehandelt werden! Wasserrechte werden auf der Basis von Konzessionen (Genehmigung zur Nutzung der Wasserressource) vergeben.	In Colorado wird "prior appropriation"-Recht angewendet. Wasser ist grundsätzlich eine öffentliche Ressource. Ein Nutzungsrecht für einen Teil der Ressource kann erlangen, wer als Erster eine bisher nicht beanspruchte Wassermenge aus einem Gewässer entnimmt und einem vorteilhaften (beneficial) Nutzen zuführt (Womble & Hanemann, 2020). Dieses Recht wird in einem förmlichen Verfahren (Wassergerichte) anerkannt und ist auf die Art der Nutzung und die tatsächlich genutzte Menge beschränkt. Rückflüsse (return flows) können von jemand anders beansprucht werden.	Das australische Wasserrecht steht in der Tradition des Anliegerrechtes (riparian doctrine) nach britischem Vorbild, d.h. alle Landbesitzer:innen an einem Gewässer erhalten gleichwertige Nutzungsrechte. In den vergangenen Jahrzehnten wurden umfangreiche Wasserrechtsreformen durchgeführt, sodass nun Landbesitz und Wasserrechte unabhängig voneinander gehandelt werden können. Es existieren verschiedene Arten von Wasserrechten: Permanente Wasserrechte (entitlements) berechtigen zum exklusiven Zugriff auf einen Anteil an einer Wasserressource in einem Wasserressourcenplan (überwiegend zeitlich unbegrenzt). Die absolute Wassermenge ist abhängig von der jährlichen Verfügbarkeit. Daneben gibt es Nutzungsrechte wie Beregnungsrechte, Lieferrechte. Diese können sich von Staat zu Staat unterscheiden, sodass es insgesamt mehr als 150 verschiedenen Wasserrechtsprodukte gibt.

	Spanien	Colorado (USA)	Australien (Murray-Darling Basin, MDB)
Primärallokation	<p>Kostenlose Zuteilung von Ansprüchen (entitlements) in absoluten Volumina (in m³/ha) für jeden Nutzer, wie im Flussgebietsbewirtschaftungsplan (river basin management plan - RBMP) festgelegt, der pro hydrologischem Jahr gemäß der spanischen Hydrologieplanungsanweisung (Hydrological Planning Instruction) in Zusammenarbeit mit regionalen Flussgebietsbehörden (River Basin Authorities - RBA) erstellt wird. Die jährliche Zuteilung kann während einer Dürrezeit durch die Flussgebietsbehörden um einen bestimmten Prozentsatz je nach Intensität der Dürre reduziert werden. Im Falle von Knappheit (Dürrejahre) werden verfügbare Wasserressourcen priorisiert, wobei zunächst der Bedarf der privaten Haushalte gedeckt wird. Für wirtschaftliche Zwecke wie Bewässerung oder Industrie werden Wasserressourcen in Zeiten der Knappheit proportional zugeteilt.</p>	<p>Wasser wird ausschließlich nach Seniorität des Rechtes zugeteilt. Ältere Rechte werden zuerst in vollem Umfang befriedigt, bevor jüngere Rechte bedient werden.</p>	<p>Zu welchem Grad bestehende Wasserrechte (entitlements) erfüllt werden können, ist abhängig von der saisonalen Wasserverfügbarkeit und wird von den MDB-Bundesstaaten mithilfe von saisonal zugeteilten Wassermengen (allocations) festgelegt. Die Wasserrechte sind nach der Wahrscheinlichkeit einer vollen Zuteilung in unterschiedliche Klassen eingestuft.</p>
Neue Marktteilnehmer	<p>Neue Wasserrechte (Wasserzulassungen) werden kostenlos für neues bewässertes Land vergeben, wodurch die für andere Benutzer verfügbare Menge an Wasser reduziert wird. Neue Wasserzulassungen werden weiterhin erteilt. Neueinsteiger könnten auch Land (verbunden mit Wasserrechten) kaufen.</p>	<p>Der Bewerber muss nachweisen, dass in einem Gewässer noch unbeanspruchtes Wasser verfügbar ist, auf das er einen Anspruch erheben kann.</p>	<p>Im MDB werden keine neuen Wasserrechte mehr vergeben, neue Marktteilnehmer müssen bestehende Rechte kaufen.</p>

	Spanien	Colorado (USA)	Australien (Murray-Darling Basin, MDB)
Handelsformen	Es ist nur temporärer (Spot-)Handel erlaubt (Dauer \leq verbleibende Dauer des Wasserrechts). Bei extremer Dürre besteht die Möglichkeit, über Börsenplätze zu handeln (Water Exchange Centers). Es handelt sich dabei um Clearingstellen, die vom öffentlichen Sektor betrieben wird. Sie machen Angebote zum temporären Erwerb von Wasserrechten zu einem festen Preis und verteilen dann die Wassermengen unter potenziellen Nutzern neu. Die zeitliche Übertragung von Rechten in die Zukunft (d. h. Speicherung) ist möglich. Der Handel ist auf die tatsächlich genutzte Menge (Entnahme minus Rückflüsse) im Durchschnitt der fünf Jahre vor dem Handel beschränkt.	Der Handel umfasst sowohl die permanente als auch die temporäre Übertragung von Wasserrechten. Die Zwischenspeicherung von Wasser kann ebenfalls durch die Erteilung entsprechender Wasserrechte erlaubt werden (direct flow vs. storage rights). Die Spekulationen mit Wasserrechten ist verboten, was dadurch durchgesetzt wird, dass Wasserrechte aberkannt werden können, wenn sie nicht genutzt werden (Hobbs, 2021)	Der Handel umfasst sowohl die permanente als auch die temporäre Übertragung von Wasserrechten, außerdem die Übertragung von gespeichertem Wasser von einer Saison in die nächste (carry over) und Finanzprodukte wie Forwards, und Optionen (MDBA).
Marktgeschehen	Handel primär innerhalb eines Wassereinzugsgebietes, hauptsächlich während Dürreperioden (variable Kosten zwischen 0,1 und 0,3 €/m ³ in 2005-08), hauptsächlich innerhalb der Landwirtschaft (ICs) oder von ICs zu kommunalen Wasserversorgern typischerweise von Zentralspanien in den Süden; bislang wenige Handelstransaktionen und geringe Anzahl von Nutzern; "illiquider Markt", aber das gehandelte Volumen ist in der Dürreperiode 2005-2008 signifikant (bis zu 5% der Gesamtnachfrage im Becken); Wasserhandel ist ein effektives Instrument zur Umverteilung von Wasserressourcen für diejenigen Verwendungen mit dem höchsten wirtschaftlichen Wert (Palomo Hierro, 2015); im Allgemeinen jedoch erschwert der Mangel an Daten zur Quantifizierung der wirtschaftlichen, sozialen und Umweltauswirkungen von Wassertransfers die Bewertung, inwieweit der Wasserhandel die Ziele der wirtschaftlichen Effizienz erreicht hat.	Northern Colorado Water Conservation District (NCWCD, Zielgebiet des Colorado-Big Thompson Projects): Etwa 70-110 Transaktionen pro Jahr (allotment market) zwischen 2006 und 2010 (Howe, 2015). Im gesamten Bundesstaat Colorado wurden seit 1979 Wasserrechte im Umfang von etwa 35.000 cubic feet per second \sim 1000 m ³ /s übertragen [entspricht etwa 1/3 des Abflusses des Rheins in die Nordsee]. Die Preise für permanente Transaktionen lagen zwischen 1000 und 50.000 \$/AF [ca. 0,75 €/m ³ und 37,3 €/m ³] (2008-2018) (Womble & Hanemann, 2020)	Geschätzter jährlicher Umsatz des australischen Wassermarktes (nicht nur MBD) \$6 Mrd. (2020-21). Die begrenzte Verfügbarkeit von Oberflächenwasser hat zu einer verstärkten Marktaktivität und zu beispiellos hohen Wasserpreisen im MDB geführt. Preise bis zu 0,70 AUD\$/m ³ [ca. 0,40 €/m ³] im südlichen MDB; \sim 30.000 Transfers von saisonalen Zuteilungen \sim 5000 Transfers von Wasserrechten im MDB im Wasserjahr 2020-21 (Bureau of Meteorology, 2023)

	Spanien	Colorado (USA)	Australien (Murray-Darling Basin, MDB)
Rechtliche Handelshemmnisse	Nur Inhaber von Wasserrechten dürfen handeln; es darf maximal die zugeteilte Wassermenge verkauft werden; der Käufer muss mindestens dieselbe Prioritätsstufe wie der Verkäufer haben; während Dürrebedingungen werden die Prioritätsregeln strenger; zentralisierte Genehmigung: alle Transaktionen müssen von einer zentralen Behörde genehmigt werden, die für das öffentliche Interesse verantwortlich ist; Transfers innerhalb desselben Einzugsgebietes müssen von der Flussgebietsbehörde (RBA) genehmigt werden; Transfers zwischen verschiedenen Gebieten müssen vom spanischen Umweltministerium (ME) genehmigt werden; sowohl die RBA als auch das ME haben das Recht, Wasserrechte zurückzukaufen.	Durch den Transfer von Wasserrechten (Änderung der Nutzungsart und des Entnahmeortes) dürfen keine nachteiligen Effekte für andere Besitzer für Wasserrechte entstehen. Insbesondere müssen folgende Bedingungen erfüllt werden: (1) keine unrechtmäßige Ausdehnung der Wassernutzung, (2) nur der tatsächlich verbrauchte Anteil kann übertragen werden, (3) Rückflüsse (return flows) müssen erhalten werden. Innerhalb des Colorado - Big Thompson Projektes müssen keine Rückflüsse berücksichtigt werden, da bereits die ursprüngliche Entnahme aus dem Colorado River als vollständig konsumptive Nutzung ohne Rückflüsse gezählt wird. (Womble & Hanemann, 2020)	Es gibt Handelsregeln auf mind. drei Ebenen: (1) Basin Plan (MDBA), (2) MDB-Bundesstaaten, (3) Betreiber von Beregnungsinfrastruktur
Andere Handelshemmnisse	Hohe Transaktionskosten (z. B. erforderliche Genehmigungen für Handel zwischen Einzugsgebieten durch mehrere Flussgebietsbehörden; Verhandlungen innerhalb der CI; Informationsasymmetrie (Transaktionsdaten sind in der Regel nicht öffentlich bekannt); 'bilaterale' Monopolmacht ('illiquider Markt'); wirtschaftliche Kosten (Mangel an Übertragungsinfrastruktur); Unsicherheit (z. B. aufgrund erforderlicher Genehmigungen; Dürrebestimmungen), psychologische und kulturelle Aspekte (Palomo Hierro, 2015).	Handelsregeln sind unklar, werden nicht konsistent angewendet und verursachen hohe Transaktionskosten (inkl. Anwälte und hydrologische Gutachter) und Risiken (Womble & Hanemann, 2020); Kosten für die Informationsbeschaffung, Verhandlungen, Umsetzung, rechtliche Hindernisse und politischer und sozialer Widerstand (Bruno, 2018)	Im nördlichen MDB gibt es viele unregulierte Wasserrechte und einen Mangel an Monitoring, sodass die tatsächliche Wasserentnahme oft nicht bekannt ist.
Überwachung und Durchsetzung	Die Regeln sind klar, aber die Durchsetzung ist schwach; es gibt Schlupflöcher; kein Register.	Spezialisierte Wassergerichte begutachten Transfers und behandeln Einsprüche Dritter (Womble & Hanemann, 2020).	Deutliche Unterschiede zwischen südlichem MDB (84% der Wassernutzung wird erfasst) und dem nördlichen MDB (nur 25% der Nutzung wird erfasst, außerdem sehr geringe Kontrolle und Durchsetzung durch die Wasserbehörden der Bundesstaaten) (Wheeler, 2020)
Innovationseffekte	Nicht dokumentiert.	Nicht dokumentiert.	Nicht dokumentiert.

	Spanien	Colorado (USA)	Australien (Murray-Darling Basin, MDB)
Vorkehrungen für Handel aus Umweltschutzgründen	Rückkäufe von dauerhaften Wasserrechten zu Umweltzwecken wurden von Wasserhandelszentren (Water Exchange Centers) in Ausnahmefällen durchgeführt	Historisch gesehen hat das "prior appropriation"-System keine Anreize dafür geschaffen, Wasser in Gewässern zu lassen, da nur der Anspruch auf die tatsächlich ausgeleitete und genutzte Menge verteidigt werden konnte. Bei einer Reduktion der Nutzung drohte eine Kürzung der Rechte. Die aquatische Umwelt wurde historisch nicht als vorteilhafte Nutzung anerkannt (Womble et al., 2022). Mittlerweile wurden aber auch spezielle Wasserrechte zum Schutz aquatischer Ökosysteme geschaffen.	Der Basin Plan legt jährlich nachhaltige Entnahmemengen fest (MDBA, 2023); das Wasser wird durch lokale Wasserpläne und Wasserressourcenpläne verwaltet.

Quelle: eigene Darstellung auf Basis der zitierten Literatur