



FLEXIBLE UTILITY – MIT SOZIO-TECHNISCHER
FLEXIBILISIERUNG ZU MEHR KLIMARESILIENZ UND
EFFIZIENZ IN DER STÄDTISCHEN INFRASTRUKTUR
(FLEXITILITY)

Gemeinsamer Verbundschlussbericht für die F+E-Phase

erstellt: März 2023
Förderkennzeichen Verbund: 01LR1710
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2019 - 30.09.2022 (nach kostenneutraler
Verlängerung um 2 Monate)
Berichtszeitraum: 01.08.2019 - 30.09.2022
Herausgeber: Forschungsverbund „FLEXITILITY“ F+E-Phase

Projektpartner (jew. FKZ): inter 3 GmbH (01LR1710A1), Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg (BTU) Fachgebiet Stadttechnik (01LR1710B1), Energieavantgarde Anhalt e.V. (01LR1710C1), co2online gemeinnützige Beratungsgesellschaft mbH (01LR1710E), Fraunhofer Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE (01LR1710G), Stadtentwicklungsgesellschaft Bitterfeld-Wolfen mbH (STEG Bitterfeld-Wolfen mbH) (01LR1710H),

Das diesem Abschlussbericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen der Förderbekanntmachung zur Umsetzung der „Leitinitiative Zukunftsstadt“ (Themenbereich 2.1.1 Klimaresilienz durch Handeln in Stadt und Region) unter dem Förderkennzeichen 01LR1710 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Ansprechpartner/ Verbundleitung: inter 3 GmbH – Institut für Ressourcenmanagement
Shahrooz Mohajeri 030-34347440
Otto-Suhr-Allee 59, 10585 Berlin

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Der FLEXILITY-Verbund und Autorenschaft des Berichts

Projektpartner	Projektbeteiligte/ Autor:innen
inter 3 Institut für Ressourcenmanagement GmbH Otto-Suhr-Allee 59, 10585 Berlin	Dr. Shahrooz Mohajeri (Verbundleitung), Sven Wurbs, Axel Dierich, Dr. Özgür Yildiz, Safaa Mohajeri
Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg (BTU), Fachgebiet Stadttechnik Konrad-Wachsmann-Allee 4, 03046 Cottbus	Prof. Dr. Matthias Koziol, David Hoffmann, Johan-Friedrich Kirchner, Jörg Walther
co2online gemeinnützige Beratungsgesellschaft mbH Hochkirchstr. 9, 10829 Berlin	Laurenz Hermann, Dr. Nadine Walikewitz
Energieavantgarde Anhalt e.V. Albrechtstr. 127, 06844 Dessau-Roßlau	Michel Schnitz, Anna Hülle, Felix Drießen
Stadtentwicklungsgesellschaft Bitterfeld-Wolfen mbH (STEG Bitterfeld-Wolfen mbH) Rathausplatz 3 (Westturm), 06766 Bitterfeld-Wolfen	Bianca Bennemann, Heiko Kaaden
Fraunhofer Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE Joseph-Beuys-Straße 8, 34117 Kassel	Dr. Kaspar Knorr, Pedro Giron, Dr. Martin Wiemer



Inhalt

Teil I: Kurze Darstellung	3
1 Aufgabenstellung und wissenschaftlicher Stand, an den angeknüpft wurde	3
2 Ablauf des Vorhabens und zentrale Projektergebnisse	3
TEIL II: Eingehende Darstellung	1
3 Zielsetzung	2
4 Durchgeführte Arbeiten und Projektergebnisse	4
4.1 Sozio-technische Flexibilitätsoptionen (BTU Cottbus-Senftenberg)	4
4.1.1 Entwicklung von Flexibilitätsoptionen zur Reduzierung der Auswirkungen von Extremwetterereignissen auf Infrastrukturen	4
4.1.2 Auswirkungen von Flexibilitätsoptionen in der Trinkwasserversorgung.....	7
4.1.3 Auswirkungen der Aktivierung ausgewählter Flexibilitätsoptionen in Haushalten auf die haushaltsbezogene Stromnachfrage.....	17
4.1.4 Umsetzung und Sicherheit flexibilisierter Trinkwasserversorgung bei Trinkwasser-Versorgungsunternehmen	21
4.2 FlexStrat I - Geschäftsmodelle, Anreizsysteme und regulatorische Steuerung (inter 3) 24	
4.2.1 Geschäftsmodellentwicklung.....	24
4.2.2 Entwicklung von zeitvariablen Tarifmodellen und deren Potenzial	35
4.2.3 Technische Steuerungsmaßnahmen sowie Entwicklung von verhaltensökonomischen Anreizen und deren Potenzial	37
4.3 FlexStrat II – Verbraucherinformationen, -akzeptanz und -befragung (co2online) ..	40
4.3.1 Endverbraucher*innen und Flexibilisierung	40
4.3.2 Zielstellung.....	41
4.3.3 Digitales Reallabor mit 1.000 Teilnehmenden.....	41
4.3.4 Analoge Befragung in Bitterfeld-Wolfen	53
4.3.5 Bewertung und Ausblick.....	55
4.4 FlexStrat III – städtische Infrastrukturpolitik und Stadtplanung (EAA).....	56
4.4.1 Grundlagen für eine klimaresiliente Stadtplanung im Rahmen einer integrierten Stadtentwicklung.....	57
4.4.2 Handlungsfeld A Starkregenvorsorge	61
4.4.3 Handlungsfeld B Heizvorsorge	62
4.4.4 Beteiligung und Wissenskommunikation zwischen Stadtgesellschaft, Stadtpolitik, Stadtverwaltung und übergeordneten Planungsbehörden für eine klimaresiliente Quartiersentwicklung am Beispiel des Resilienzlabors in Wolfen-Nord (AP 7)	62
4.5 Integrierte Simulationen und Ergebnisinterpretation (Fraunhofer IEE).....	68
4.5.1 Modellierung der Trinkwasserversorgung.....	69
4.5.2 Strompreise	73
4.5.3 Optimierung des Flexibilitätseinsatzes	74

4.6	Bewertungsschema „Klimaresilienz“ (BTU Cottbus-Senftenberg)	77
4.6.1	Operationalisierung des Begriffes (Klima)-Resilienz Fähigkeiten	77
4.6.2	Analyse der Akteurskonstellation.....	78
4.6.3	Operationalisierung der Fähigkeiten Erstellung eines aktorspezifischen Resilienzbewertungsmodelles.....	81
4.6.4	Ableitung einer Bewertungsmatrix zur Beurteilung der Klimaresilienz	83
5	Handlungsempfehlungen für die Trinkwasserversorgung (alle Autoren).....	85
6	Innovationsmanagement, Öffentlichkeitsarbeit und Koordination (AP 7, inter 3, co2online).....	88
7	wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	88
8	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	88
9	Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans	90
9.1	öffentlicher Nutzen.....	90
9.2	Wissenschaftlich-technische Verwertbarkeit.....	92
9.3	Wirtschaftlicher Nutzen.....	94
9.4	Anschlussnutzungen/ Folgeprojekte	95
10	Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	95
11	Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse	96
12	Literaturverzeichnis	98

Teil I: Kurze Darstellung

1 Aufgabenstellung und wissenschaftlicher Stand, an den angeknüpft wurde

Im Betrieb von Versorgungsinfrastrukturen werden Potenziale nachfrageseitiger Flexibilisierung für die Stabilisierung der Versorgung in vielen Fällen übersehen. In diesem Sinne war Aufgabe der F+E-Phase von FLEXITILITY, neue Erkenntnisse für technologische, betriebliche und tariflich-rechtliche Ansätze der Flexibilisierung zu liefern. Es hat sich gezeigt, dass Verbraucher*innen und Kund*innen sowie Planungsakteure als Partner der Versorger durch flexibles Konsumverhalten und intelligente technologisch-bauliche Lösungen eine aktive Rolle übernehmen können.

Die Frage, wie **Flexibilität in technischen Infrastrukturen** als operative Alternative zum kapitalintensiven Ausbau genutzt werden kann, wird im Strom- und Wärmesektor bereits seit vielen Jahren diskutiert, mit Schwerpunkt auf der Integration und Vernetzung erneuerbarer Energien (Pappala et al. 2008, Franz/ König 2013), der Marktintegration von Speichern (Genoese et al. 2013; Kanngießler 2014, Brunner/Heyder 2015, BMWi 2015) und von dezentralen, flexiblen Kapazitäten (z.B. Styczynski/ Sauer 2015, Holzhammer 2015) sowie der flexiblen Gestaltung von Tarifen in Abhängigkeit von Zeit und Leistung (Schreiber et al. 2015). Ein vergleichsweise neues Feld ist der Einsatz von verhaltensökonomischen Anreizen/Nudging zur Beeinflussung von Stromverbräuchen (vgl. Andor et al. 2017, Andor/ Fels 2017, Engel et al. 2018), mit Fokus jedoch bislang auf der Reduktion anstatt einer Flexibilisierung. Mit dem BMBF-Förderprogramm „ERWAS“ wurde diese Denk- und Herangehensweise auch auf die *Wasserversorgung und Abwasserentsorgung* zur Optimierung des Energiemanagements übertragen (Gardian et al. 2017; Hensel et al. 2017; Wencki et al. 2017). Zur Beurteilung von Flexibilisierungsmaßnahmen im Wasserverbrauch bieten internationale Erkenntnisse Orientierung: a) zur Wirksamkeit von nicht-preislichen Anreizen (House, L./ House, J. 2012, Lowe et al. 2015, Kouroupetroglou et al. 2015, Beal et al. 2016, Heierli/Ackermann 2017) sowie b) flexiblen Tarifen (Cole et al. 2012, Vašak 2014, Sahin et al. 2017, Sahin et al. 2018, Rougé et al. 2018, Lopez-Nicolas et al. 2018).

Dickert et al (2011) beschreiben in ihrer Arbeit zu **synthetischen Lastprofilen der Stromversorgung** gerätespezifische Einschaltwahrscheinlichkeiten in Abhängigkeit von der Tageszeit. Untersuchungen von Kippert (2017) erlauben die Ableitung genereller Ansatzpunkte für die Flexibilisierung der Nachfrage. Baba (2021) ermöglicht Rückschlüsse für die Wirkung von dynamischen Haushaltsstromtarifen aus einem Modellprojekt in Norderstedt.

Die **Berücksichtigung von Klimarisiken und Extremwetter** in Stadtplanung und Infrastrukturbetrieb unterstützt seit 2008 die Bundesregierung mit der Strategie zur Anpassung an den Klimawandel (BMUV 2020). Zudem berücksichtigte das Projekt die Möglichkeiten des BauGB (§9) zur Durchsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen und orientierte sich an Erkenntnissen aus Stadtentwicklung und -planung. Dabei wurde ein Rückstand in der Aktivierung der Bevölkerung zur Klimaanpassung deutlich, denn „die meisten analysierten Beteiligungsprozesse hatten [...] nicht das Ziel, die Beteiligten zum Klimaanpassungshandeln zu motivieren“ (Grothmann 2020, S.5).

Ergebnisse aus dem vorhergehenden Forschungsprojekt „DEMAPLAN“ flossen als Datengrundlage für die Modellierung von Flexibilisierungsmaßnahmen im Wasserbereich ein (inter 3 2015; Mohajeri/ Nuñez von Voigt 2017).

Für die Zuspitzung von Forschungsfragen und den Abgleich von Zwischenergebnissen wurden auch **Ergebnisse aus parallelen oder abgelaufenen Forschungsprojekten** berücksichtigt, so z.B. des bis 2020 laufenden BMWi-Förderprogramms „Schaufenster intelligente Energie – Digitale Agenda für die Energiewende (SINTEG)“ (Projekte *enera*, *C/sells*, *NEW 4.0*). Alle drei Projekte fokussierten bei der Einbindung von privaten Stromkund*innen als potenzielle Flexibilitätspartner auf technische Lösungen. Weitgehend offen blieben dabei Fragen der Wirksamkeit von Maßnahmen zur verhaltensökonomischen Steuerung. Ansätze der verbraucherseitigen Flexibilisierung in den Bereichen Wasserwirtschaft und Stadtplanung wurden zuvor noch nicht ausgiebig erforscht, hierzu konnte jedoch auf Praxisbeispiele und Forschungsergebnisse aus anderen Regionen der Welt zurückgegriffen werden. Zudem wurden (Zwischen)ergebnisse laufender Forschungsprojekte wie ExTass (vgl. Thieken 2018) berücksichtigt.

2 Ablauf des Vorhabens und zentrale Projektergebnisse

Inhaltlich ist das Projekt – trotz Einschränkungen aufgrund der Corona-Lage – weitgehend plangemäß abgelaufen. Im Fokus von FLEXITILITY standen technologische und betriebliche Flexibilisierungsansätze in den Bereichen Wasser- und Energieversorgung. Gemeinsam mit Vertretern von vier kommunalen

Versorgungsunternehmen und einer städtischen Entwicklungsgesellschaft wurden Lösungen und Geschäftsmodelle entwickelt:

- für dezentrale Wärme- und Speicherkonzepte in Tiny Houses,
- für tageszeitabhängige Tarifmodelle und verhaltensökonomische Strategien (sog. „Nudges“) zur Lenkung von Wasser- und Stromverbräuchen,
- für die flexible Wiederverwendung von gereinigtem und hygienisiertem Abwasser,
- zur dezentralen Trinkwasser-Zwischenspeicherung bei Mehrfamilienhäusern und anderen Wasser-Großkunden,
- zur Modellierung der Effekte einer Flexibilisierung von Trinkwasserversorgungen und
- zur Resilienzbewertung von Versorgungsunternehmen.

Für Kleinstgebäude – sogenannte **Tiny Houses** – haben die Energieavantgarde Anhalt (EAA) und die Stadtentwicklungsgesellschaft Bitterfeld-Wolfen (STEG) gemeinsam mit dem Wolfen-Nord e.V., interessierten Bürgerinnen und Bürgern, Expert:innen aus Wissenschaft und Praxis und der Stadt Bitterfeld-Wolfen integrierte Ansätze für eine klimaneutrale Wärmeversorgung sowie für dezentrale Wasserwiederverwendung in verschiedenen Formaten thematisiert. Im Fokus stand dabei, Potentiale für flexiblen Infrastruktur- und Ressourceneinsatz zu identifizieren, z.B. durch angepasste Speicherlösungen.

Mit dem Ziel, Spitzenlasten in Trinkwasser- und Stromnetzen zu verringern, haben inter 3 und co2online **Anreize zur Verschiebung von Verbräuchen** untersucht und dazu in mehreren Befragungen und Reallaboren die Wirksamkeit von flexiblen Tarifmodellen, Verbraucherinformation und gezieltem Nudging erhoben und plausibilisiert. Über 1.000 beteiligte Haushalte haben in einem digitalen Reallabor in zwei Szenarien über jeweils eine Woche ihre Wasser- und Stromverbräuche entsprechend Vorgaben des Projektpartners co2online erfolgreich angepasst.

Zur **Flexibilisierung der Stromnachfrage** hat inter 3 in Zusammenarbeit mit den Stadtwerken Bitterfeld-Wolfen Grundzüge einer Informationsplattform entwickelt. Sie soll Kunden besser in das Lastmanagement einbinden, indem Live-Infos zu Betriebszuständen im Stromnetz, Spartipps, Beratungsangebote und tarifliche Angebote vermittelt werden.

In Zusammenarbeit mit dem Herzberger Wasser- und Abwasserzweckverband HWAZ sowie der Stadt Herzberg und lokalen Behörden hat inter 3 ein Geschäftsmodell zur landwirtschaftlichen **Wasserwiederverwendung** ausgestaltet. Unter den Marktbedingungen von Anfang 2021 konnte die Wirtschaftlichkeit des Geschäftsmodells nachgewiesen werden. Zudem wurde ein Risikomanagementplan skizziert, welcher zur Prävention von Verunreinigungen von Wasser, Boden, Luft und landwirtschaftlichen Erzeugnissen mit Keimen oder Schadstoffen dient.

Zur Resilienzsteigerung von Wasserversorgungsnetzen in heißen Trockenheitsperioden hat die BTU Cottbus-Senftenberg in Zusammenarbeit mit inter 3 und Praxispartnern ein Konzept für **Trinkwasser-Zwischenspeicher** entwickelt: Mit ihnen kann die Vorhaltung kostenintensiver Versorgungskapazitäten für nur wenige Tage mit hohen Spitzenbedarfen umgangen werden. Die Speicher werden mit eigener Druckhaltung ausgestattet und mit einem nur geringen, kontinuierlichen Volumenstrom befüllt, so dass sie die Spitzenbedarfe nicht an das Netz weitergeben.

Zur **Wirkungsanalyse der Flexibilisierungsmaßnahmen** im Trinkwasserbereich hat das Fraunhofer IEE in Abstimmung mit den Partnern eine Simulationsumgebung aufgebaut, welche den stündlichen Trinkwasserverbrauch eines Versorgungsgebietes und eine mögliche Erhöhung aufgrund von Trockenheit und Hitze abbildet. Auf Grundlage der Ergebnisse der o.g. Umfragen wurden für sieben unterschiedliche Verbrauchsarten Flexibilitätspotenziale bestimmt und Optimierungsvarianten hinsichtlich Minimierung von Spitzenlasten und Pumpkosten berechnet.

Schließlich hat die BTU Cottbus-Senftenberg ein indikatorbasiertes „**Bewertungstool Klimaresilienz**“ für Trinkwasserversorgungsunternehmen entwickelt und gemeinsam mit den beteiligten Versorgern getestet. Es dient dazu, diese kommunalen Versorgungsinfrastrukturen im Hinblick auf ihre Widerstandsfähigkeit beziehungsweise Bewältigungsfähigkeit bei Extremwetterereignissen zu bewerten.

Das Projekt begleitend fanden eine **stetige Öffentlichkeitsarbeit und Publikationstätigkeit** statt, zum Wissenstransfer an breite potenzielle Anwenderkreise.

TEIL II: Eingehende Darstellung

"Der Ausbau der erneuerbaren Energien und der stärkere Einsatz von Elektroautos im Verkehrsbereich und Wärmepumpen in Gebäuden erfordern eine intelligente Verknüpfung von Stromerzeugung und -verbrauch. Unser zukünftiges Energiesystem wird wesentlich flexibler und damit auch komplexer werden und dafür brauchen wir Smart Meter und eine Digitalisierung der Energiewende."

So äußerte sich Bundeswirtschafts- und Klimaschutzminister Robert Habeck am 11.01.2023 anlässlich der Verabschiedung des BMWK-Gesetzesentwurfes zum Neustart der Digitalisierung der Energiewende durch das Bundeskabinett (zitiert nach <https://www.energie-experten.org/news/ab-2024-soll-strom-fuer-waermepumpen-und-e-autos-rationiert-werden>). In diesem Artikel wird auch über einen Präzedenzfall in Deutschland berichtet, in dem der Übertragungsnetzbetreiber TransnetBW über seine App alle im Versorgungsgebiet liegenden Kunden dazu aufgerufen hat, Stromverbräuche zu verschieben. Die Flexibilisierung des Strombereichs auf Seiten der Haushaltskunden hat demnach seit Beginn der Definitionsphase von FLEXITILITY in 2017 Fahrt aufgenommen und ist nun bereits politisches Programm und wirtschaftliche Realität geworden. Für die Umsetzung mangelt es jedoch noch an Strategien und Handlungswissen. Und in der Wasserversorgung stehen Ansätze der Flexibilisierung noch ganz am Anfang. Dementsprechend relevant waren und sind die Zielsetzungen von FLEXITILITY.

Auch vor dem Hintergrund verschiedenlicher aktueller Herausforderungen wie Siedlungswachstum, Wasserknappheit, Klimaanpassung, spezifische Kundenbedarfe, Energiewende, Kapazitätsengpässe etc. erscheint ein Demand-Side-Management durch die



Abbildung 1: Herausforderungen für Versorgungsunternehmen (Abb.: inter 3 GmbH)

Versorgungsbetriebe, das Verbraucher*innen in die Versorgungssicherheit mit einbindet, als Kosten sparende Unterstützung oder gar Alternative zum Ausbau von Versorgungskapazitäten.

Bei der Strom- wie auch bei der Trinkwasserversorgung ist der Netzbetrieb an einem Gleichgewicht von Einspeisung und Nachfrage orientiert – wenn auch mit deutlich geringerer Sensitivität in der Trinkwasserversorgung. Die Vorhaltung dieses Leistungsausgleiches verursacht in beiden Systemen Kosten. Bei der Trinkwasserversorgung muss die dynamische Nachfrage innerhalb eines Versorgungsgebietes technisch durch Reinwasserspeicher und Pumpen vollständig und permanent abgedeckt sein. Mechanismen zur zeitlichen Steuerung der Nachfrage sind deshalb grundsätzlich auch für die Wasserversorgung von Interesse, insbesondere wenn extremwetterbedingt zusätzliche Nachfragespitzen zu erwarten sind, die eine Überschreitung dieser Ausgleichskapazitäten oder der Verteilungskapazität des Leitungsnetzes erwarten lassen.

3 Zielsetzung

Das übergeordnete Ziel des Vorhabens FLEXITILITY war es, „Flexibilität als Prinzip“ in städtischen Versorgungsinfrastrukturen für einen besseren Umgang mit den Risiken des Klimawandels zu etablieren. Hierfür sollten sozio-technische Flexibilisierungspotenziale betrachtet und aus der Perspektive der Zielkriterien Klimaresilienz und Wirtschaftlichkeit bewertet werden.

Die Forschungs- und Entwicklungsphase von FLEXITILITY zielte auf die Analyse von möglichen Ansätzen und herrschenden sowie erforderlichen Rahmenbedingungen für den resilienten Betrieb von Versorgungsinfrastrukturen unter Extremwetterbedingungen ab. Dazu wurden in sechs Arbeitspaketen technische Flexibilitätsoptionen entwickelt, Strategien für die Umsetzung ausgewählter Optionen konzipiert, die Wirkung dieser Optionen modelliert und dazu ihr Umsetzungs- und Wirkungspotenzial in Reallaboren mit Bevölkerung und Praxisakteuren erhoben bzw. getestet. Je nach Infrastrukturbereich wurden dabei unterschiedliche wetterbedingte Herausforderungen zugrunde gelegt, durch die die Infrastrukturen an ihre Kapazitätsgrenzen oder darüber hinaus geraten oder die die Kosten in die Höhe treiben. Im Fokus standen die Wasser- und die Stromversorgung, für die am Beispiel der Untersuchungsregionen Anhalt und südwestliches Brandenburg Lösungen entwickelt und erprobt wurden.

Die Arbeiten bauten auf vorhergehenden Analysen aus der Definitionsphase von FLEXITILITY (Laufzeit 4/2017 bis 3/2018, siehe Yildiz/Ansmann 2019, Yildiz et al. 2018, Ansmann/Yildiz 2018, Yildiz/ Ansmann 2018, Ansmann/Yildiz 2017) sowie aus abgeschlossenen Forschungsprojekten, insbesondere dem Projekt DEMAPLAN (Mohajeri/Nunez von Voigt 2017, inter 3 2015), auf.

Das Forschungsprojekt griff dabei verschiedene thematische Schwerpunkte der Fördermaßnahme Leitinitiative Zukunftsstadt auf. Akteure auf kommunaler sowie kommunalwirtschaftlicher Ebene wurden befähigt, mit Risiken des Klimawandels umzugehen und die Klimaresilienz ihrer Stadt und Region zu stärken. Hierfür wurden in den einzelnen Teilvorhaben sozio-technische Innovationen untersucht. Außerdem haben sich die Partner in ihren jeweiligen Kontexten an der Einbindung von Bürger*innen im Rahmen von Reallaboren und Befragungen beteiligt, um nicht nur ihre Akzeptanz für und Mitwirkungsbereitschaft an einer Flexibilisierung von Versorgungsinfrastrukturen zu erheben, sondern auch ihre Kapazitäten im Umgang mit den zukünftigen Herausforderungen von Klimawandel und Energiewende zu stärken.

Die Koordination des Verbunds durch inter 3 zielte darauf ab, einen stetigen und engen Austausch unter den Forschungspartnern über die aktuellen Fortschritte in allen Arbeitspaketen zu gewährleisten. Auf diese Weise konnten die Ergebnisse aus den jeweiligen Arbeitspaketen gut aufeinander abgestimmt werden. Durch eine enge Zusammenarbeit mit den assoziierten Praxispartnern waren eine gute Umsetzbarkeit und Praxisnähe der Ergebnisse gewährleistet. Dank eines kontinuierlichen Praxisdialogs konnten von Beginn an weitere interessierte projektexterne Akteure aus Wasserwirtschaft, Landwirtschaft, Behörden, Forschung und Verbänden in die Forschung und Lösungsentwicklung eingebunden werden, um die Diffusion und Implementation der Lösungen zu fördern.

4 Durchgeführte Arbeiten und Projektergebnisse

Dieses Kapitel stellt den Hauptteil des Berichts dar und ist nach den verschiedenen Arbeitspaketen gegliedert. In den folgenden Unterkapiteln werden jeweils die Ergebnisse der Forschungsarbeiten in den 6 Arbeitspaketen dargestellt. Die Verantwortung für die Inhalte dieser Unterkapitel liegt jeweils bei den federführend zuständigen Institutionen.

4.1 Sozio-technische Flexibilitätsoptionen (BTU Cottbus-Senftenberg)

Die Arbeiten im Arbeitspaket 1 hatten zum Ziel, Handlungs- bzw. Verhaltensoptionen zur Veränderung der Nutzungszeit und/oder Nutzungsintensität leitungsgebundener Infrastrukturen zu entwickeln (Flexibilitätsoption, kurz FlexOpt), deren Potenzial in Hinblick auf eine Nachfragelastglättung zu berechnen und die Umsetzbarkeit (bei Extremwetterereignissen) zu bewerten. Betrachtet wurden das Handeln des Anbieters (Betreibers) oder des Nachfragers (Kunden) bei den Infrastrukturen Regenwasserableitung, Schmutzwasserableitung und -reinigung, Trinkwasser-, Strom- und Wärmelieferung. Aus den Arbeiten sollten 1-2 Optionen mit hohen Umsetzungschancen abgeleitet werden.

Im Detail waren damit folgende Arbeiten verbunden:

- Analyse und Bewertung der Auswirkungen von Extremwetterereignissen auf Infrastrukturen und Entwicklung von Optionen zur Verschiebung der Nachfragezeitpunkte/-räume nach Infrastrukturdienstleistungen
- Entwicklung von synthetischen Lastprofilen für die tägliche Trinkwassernachfrage von Haushalten
- Berechnung und Beschreibung der Auswirkungen von Flexibilitätsoptionen in der Trinkwasserversorgung
- Berechnung und Beschreibung der Auswirkungen von ausgewählten Flexibilitätsoptionen in der Stromversorgung
- Durchführung und Auswertung einer Umfrage zur Systemsicherheit flexibilisierter Trinkwasserversorgung bei TW-Versorgungsunternehmen
- Bearbeitung der Schnittmengen zu anderen Arbeitspaketen im Verbundprojekt.

4.1.1 Entwicklung von Flexibilitätsoptionen zur Reduzierung der Auswirkungen von Extremwetterereignissen auf Infrastrukturen

Der Forschungsansatz von FLEXITILITY zielt auf eine Stärkung der Resilienz von Infrastrukturen. Ausgangspunkt war deshalb eine Analyse der Vulnerabilität technischer Infrastrukturen in Hinblick auf die unmittelbare Wirkung von Extremwetterereignissen. Untersucht wurden die Auswirkungen der Extremwetterereignisse „Lang anhaltende Trockenperiode“, „Hitzeperiode“, „Sturm“ und „Starkregen“¹ auf die Funktion der Infrastrukturen Trinkwasserversorgung,

¹ Die in der Definitionsphase ebenfalls als Folge von Extremwettern untersuchte Hochwasser wurde nicht weiter vertieft. Die damit verbundenen Wirkungen treten räumlich stark eingegrenzt ein und sie weisen eine hohe

Schmutzwasserableitung- und -reinigung, Regenwasserableitung, Wärmeversorgung (Fernwärme und Gas) sowie Stromversorgung. Zusätzlich wurde mit der sogenannten „Dunkelflaute“ eine Wetterkombination betrachtet, die bei weiterem Ausbau von EE-Anlagen und dem Rückbau konventioneller Erzeugungsanlagen eine infrastrukturübergreifende Relevanz und Wirkungen auf die Vulnerabilität entwickeln wird.

Für Vulnerabilitäten wurden Ideen entwickelt, die zu einer Problemvermeidung beitragen können. Aktuell gültige Regulierungen oder andere Beschränkungen wurden in Hinblick auf die angestrebte Lösungsvielfalt bei diesem Schritt ausgeklammert. Die darauf basierenden FlexOpt bilden die Maßnahme bzw. Handlung, die eine Lösungsoption aktiviert. Redundante Lösungen und Optionen wurden in der weiteren Betrachtung zusammengefasst.

In einem Workshop im Januar 2020 und bei Einzelgesprächen im März 2020 wurden Praxispartner zu weiteren Ideen für FlexOpt befragt. Die Vorschläge wurden nachträglich in die Systematik aufgenommen.

4.1.1.1 Systematik der FlexOpt

Durch das beschriebene Vorgehen wurden insgesamt 72 FlexOpt entwickelt. Bei den Infrastrukturen Trink- und Schmutzwasserentsorgung und hier insbesondere beim Extremwetterereignis „längere Trockenperiode“ entstanden die meisten Ideen für FlexOpt. Die Wärmeversorgung, der Fokus lag auf die zentral orientierte Fernwärmeversorgung und die leitungsgebundene Gasversorgung, ist systembedingt technisch resilient gegenüber den untersuchten Extremwettern. Hier werden seitens der Praxispartner ökonomische Auswirkungen und nicht im Kontext von Extremwettern, sondern von generellen klimatischen Veränderungen (z.B. mildere Winter) erwartet.

4.1.1.2 Bewertung der FlexOpt

Die FlexOpt wurden in Hinblick auf ihre Praxisrelevanz durch die Praxispartner sowie durch die Forschungspartner jeweils separat bewertet. Die Bewertung der Praxispartner erfolgte rein qualitativ, die der Forschungspartner entlang eines Kriteriensets. Abbildung 2 zeigt das Ergebnis der Bewertungen.

Standortabhängigkeit auf. Weiterhin ähneln die im Weiteren zu entwickelnden Problemvermeidungsoptionen denen des Starkregens.

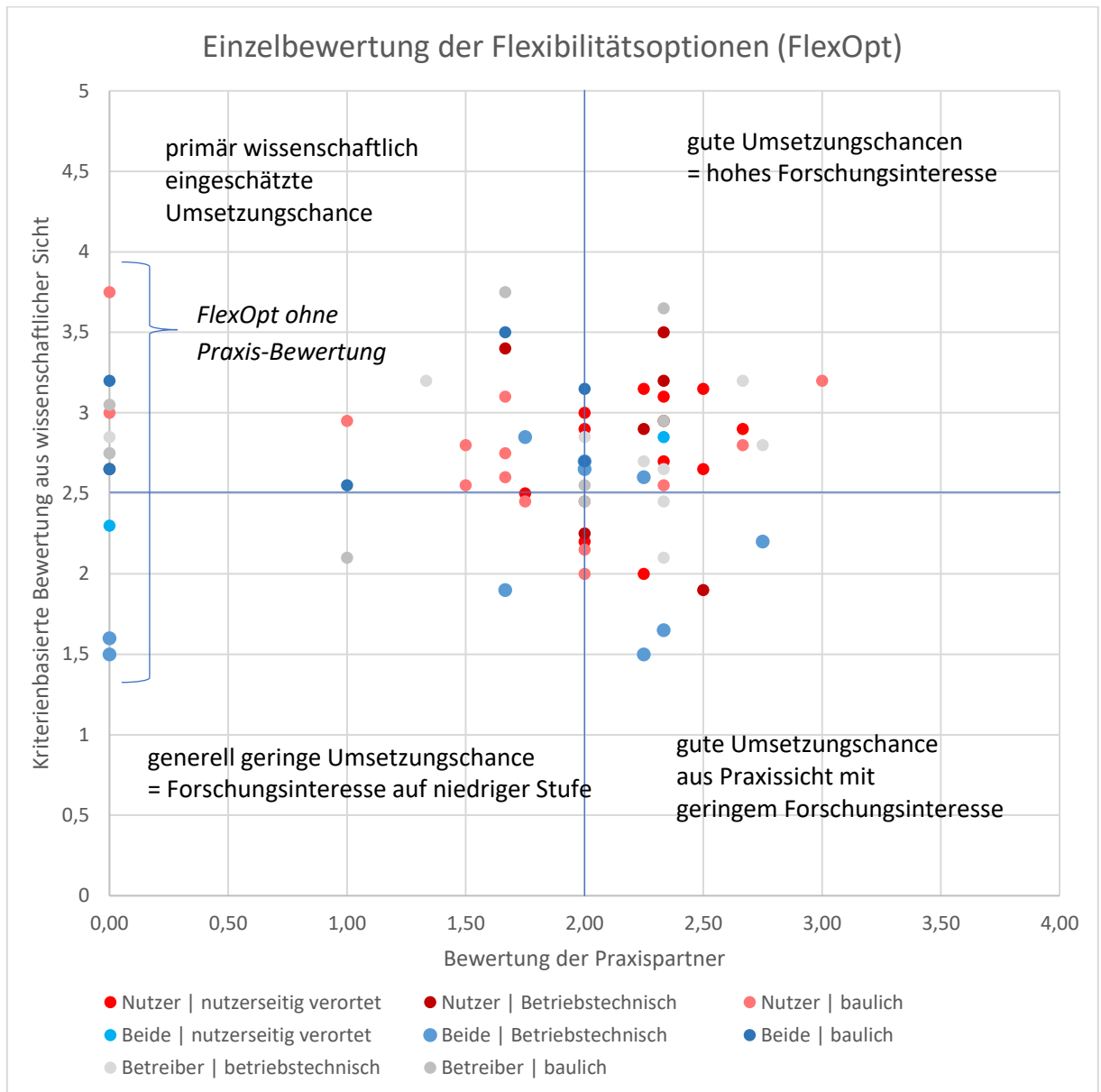


Abbildung 2: Ergebnis der Einzelbewertung der FlexOpt²

21 FlexOpt sind der Systematik folgend von hohem Forschungsinteresse. Die Zuordnung zu Infrastrukturen zeigt Tabelle 3. In Hinblick auf Schnittstellen zu anderen Arbeitspaketen wurden die Optionen nach Verantwortlichkeit (Betreiber der Infrastruktur, Nutzer der Infrastruktur, Beide) sowie Verortung im technischen Kontext (bauliche Maßnahme, betriebstechnische Maßnahme oder nutzerseitiges Verhalten) differenziert.

² Die FlexOpt wurden nach Verantwortlichkeit und technischem Ansatzpunkt unterschieden.

Infrastruktur	TW	SW	RW	W	ST	Summe
FlexOptions-Bündel						
Nutzer nutzerseitig	7				1	8
Nutzer betriebstechnisch	2	2				4
Nutzer baulich			1		2	3
Beide nutzerseitig		1				1
Beide betriebstechnisch	1	1			1	3
Beide baulich	1		1			2
Summe	11	4	2	0	4	

Tabelle 1: Verteilung der FlexOpt mit hohen Umsetzungschancen auf die Optionsbündel und Infrastrukturen

Diese Auswahl bildete die Grundlage für die Berechnung der Wirkungen auf die Nachfrage, die nachfolgend entlang der Infrastrukturen für ausgewählte Optionen vorgestellt wird.

4.1.2 Auswirkungen von Flexibilitätsoptionen in der Trinkwasserversorgung

4.1.2.1 Vorgehen

Die Wirkungen der Flexibilitätsoptionen (FlexOpt) auf den Verlauf des Trinkwasserbedarfes über den Tag wurden anhand synthetischer Lastprofile beschrieben. Diese bilden den 24h- Lastgang des täglichen Wasserbedarfes entlang der Wasserentnahmestellen in Haushalten in einer 10s-Auflösung ab. Aus diesem Modell wurde ein Basislastgang ermittelt, der die Trinkwassernachfrage OHNE FlexOpt abbildet. Er diente zum Vergleich. Darauf aufbauend wurde die Wasserentnahmecharakteristik entsprechend der jeweiligen Wirkung einer FlexOpt verändert.

Die im Zuge der Quantifizierung bei einzelnen FlexOpt notwendigen Festlegungen zur Umsetzung wurden zum Teil durch Setzungen ergänzt, die sich aus den Vorüberlegungen zur Umsetzbarkeit der Option ableiten. Diese Vorgehensweise kommt immer dann zum Einsatz, wenn der Sachzusammenhang qualitativ bekannt ist, Daten nicht vorliegen, deren Erhebungsaufwand nicht in Relation zu der zu erwartenden Genauigkeit der Aussage steht und eine Abbildung der Verhaltenszusammenhänge (Wenn-Dann >>) in der Wirksamkeitsanalyse für eine erste Einschätzung ausreicht.

Die Ergebnisse der Modellierung wurden anhand der Ergebnisse des Projektes DEMAPLAN überprüft. Das Projekt ist eines der ersten Forschungsprojekte, die sich mit der Zusammensetzung der Trinkwasserentnahme in Haushalten auseinandergesetzt haben. Es lieferte in diesem Kontext wertvolle Hinweise zur Zusammensetzung und zeitlichen Verteilung der haushaltsbedingten Trinkwassernachfrage.

4.1.2.2 Basis-Lastgang

Die Abbildung 3 zeigt die nutzungsspezifische Wassernachfrage für 100 Haushalte in kumulierter Form in einer 10s-Auflösung über einen Zeitraum von 24h ohne FlexOpt. Die Modellierung erfolgte für einen Sommer-Tag, d.h. an dem alle Entnahmestellen genutzt werden. Die 10s-Lastspitze beträgt rund 12 l/s in den Morgenstunden und bis zu 25 l/s in den Abendstunden.

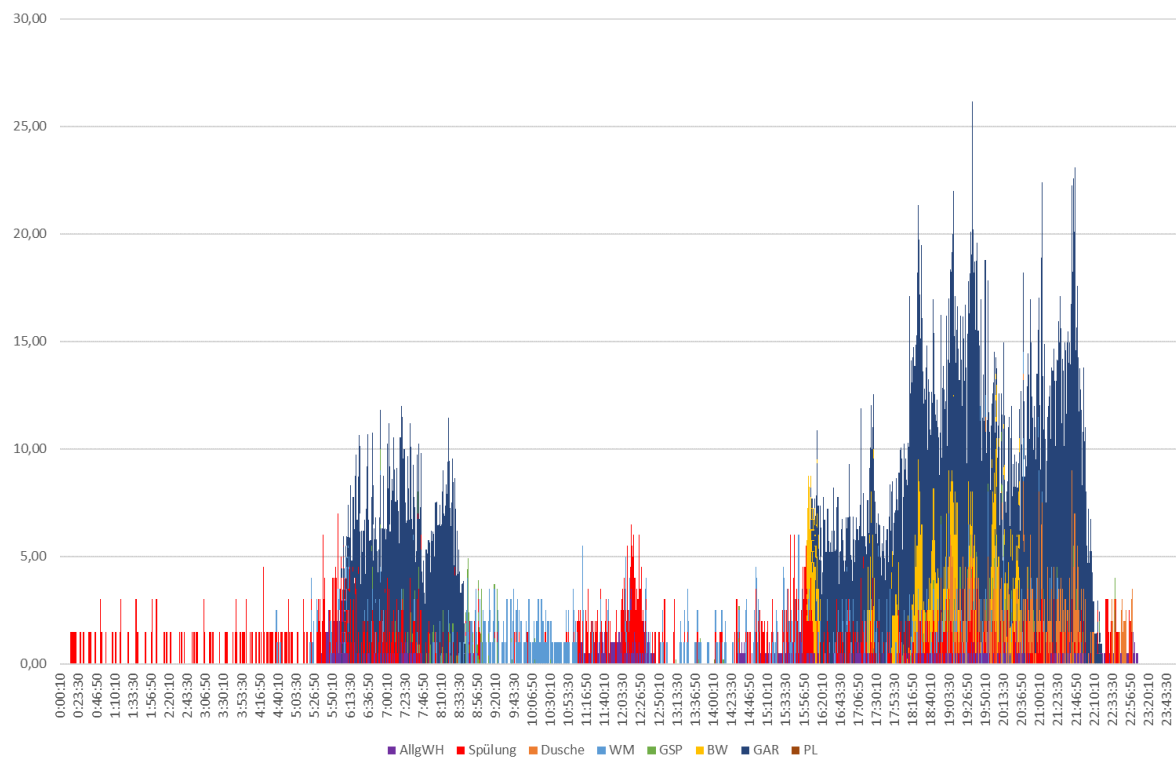


Abbildung 3: Synthetischer Lastgang für 100 Haushalte über 24h an einem Wochentag (Mo-Fr) mit Bewässerungsbedarf

Potenziell wasserintensive Nutzungen, wie z.B. eine Waschmaschine, sind aus zwei Gründen wenig auffällig:

1. Die Entnahme konzentriert sich auf wenige Zeitpunkte innerhalb des Programmablaufes, Überlagerungen der Entnahmen mehrerer Maschinen sind daher aufgrund des zufälligen Eintretens weniger wahrscheinlich, dazu ist die Anzahl der modellierten Haushalte zu gering.
2. Die Höhe der Entnahme in l/s ist aufgrund der Sicherheitseinrichtungen am Wasserhahn begrenzt.
3. Die Nutzung erfolgt haushaltsbezogen entsprechend der Ausstattungsmerkmale.

Deutlich erkennbar ist die Dominanz der Wasserentnahmestellen, die eine kontinuierliche Abnahme über einen längeren Zeitraum generieren. (insb. Bewässerung). Sie bilden damit den Hauptansatz für die Flexibilisierung des Betriebes.

4.1.2.3 FlexOpt im Kontext Bewässerung

Im Basislastgang wurde eine typische Ausstattung der Haushalte mit Garten³ berücksichtigt. Im Modell wurden Tage abgebildet, an denen alle betrachteten Haushalte Bewässerungsbedarf identifizieren (Worst Case). Den Einschätzungen der Praxispartner folgend, liegen übliche Bewässerungszeitpunkte in den Morgen- und Abendstunden. Es wurde eine Entnahme von 0,25 l/s angenommen. Der Bewässerungsvorgang dauert 15 min und benötigt insgesamt 225 l Wasser.

Bei der Anwendung der FlexOpt „Verzicht auf Bewässerung von Grünflächen“ reduziert sich im Modell die Bewässerungszeit in den Gärten. Im Modell sinkt die Lastspitze um 4 l/s im Vergleich zum Basislastgang.

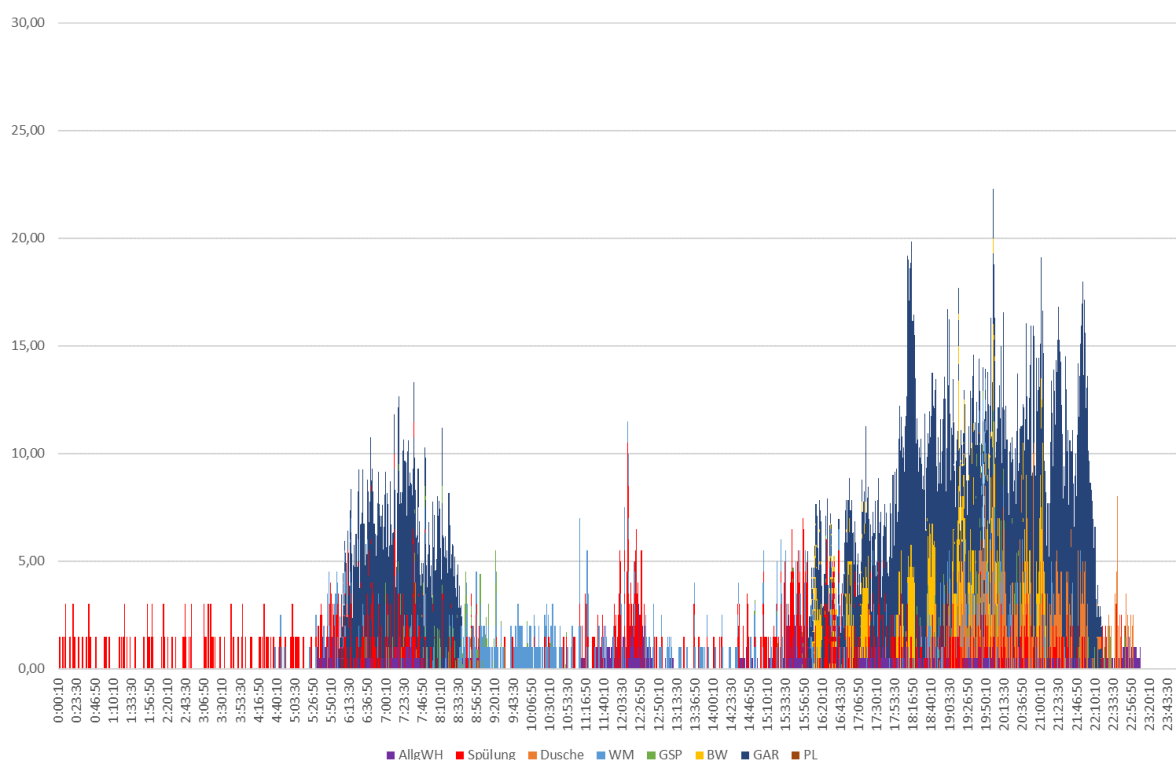


Abbildung 4: Synthetischer Lastgang bei Beschränkung der Bewässerung auf Nutzgärten

Durch eine Veränderung der TW-Entnahmezeitpunkte privater Nutzer durch Verlegung der Bewässerung auf netzunkritische Zeitpunkte mithilfe einer **automatischen Steuerung der Bewässerungszeit** (konventionelle Oberflächenbewässerung) kann mit einer Reduzierung der Lastspitze um rund 10l/s der größte Effekt aller Optionen erreicht werden.

³ <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/171446/umfrage/besitz-eines-gartens/>

<https://www.daserste.de/information/wissen-kultur/w-wie-wissen/sendung/2010/welt-in-zahlen-garten-100.html#:~:text=Jeder%20zweite%20Privathaushalt%20besitzt%20einen,in%20Deutschland%2017%20Millionen%20Gärten.>

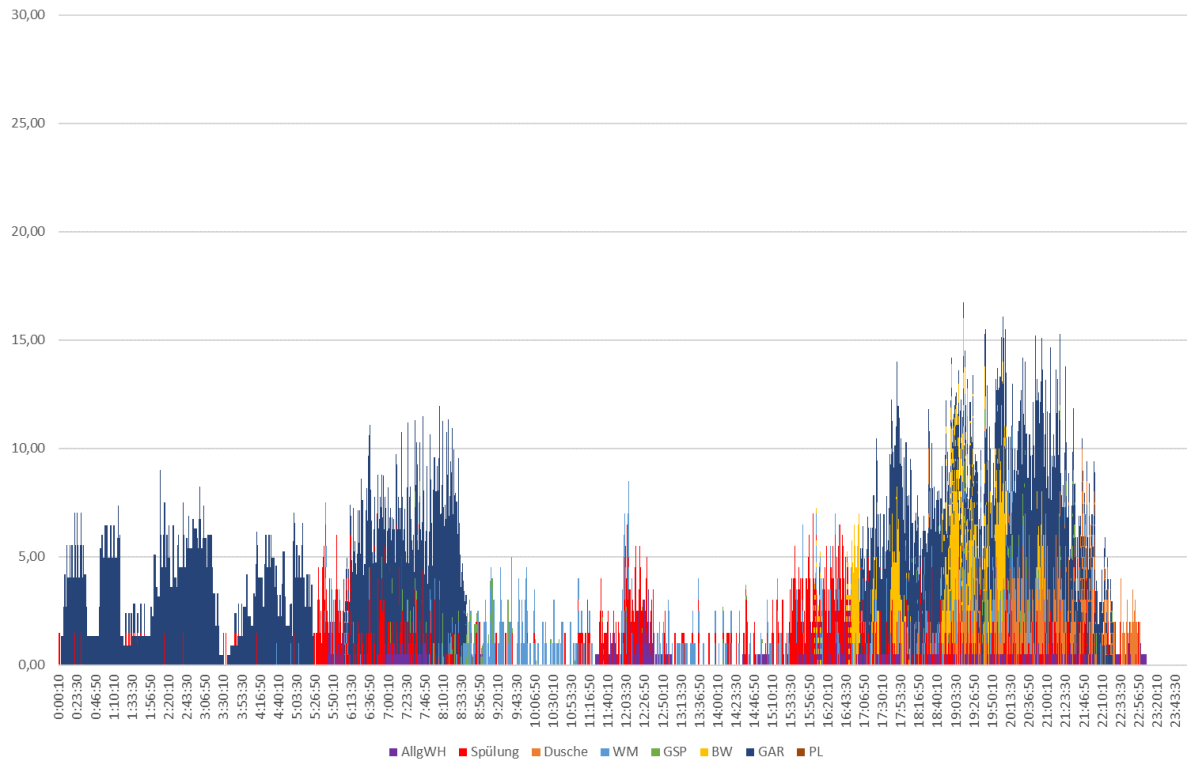


Abbildung 5: Synthetischer Lastgang bei Verlagerung der Bewässerung in die Nachtstunden

Wird die konventionelle Bewässerung durch eine **Tröpfchenbewässerung** ersetzt, reduziert sich die Entnahmeleistung geringfügig und die Bewässerungszeit verlängert sich. Bleiben die Startzeitfenster gleich, führt diese technische Veränderung in der Modellrechnung zu einer Reduzierung der Lastspitze um rund 15%.

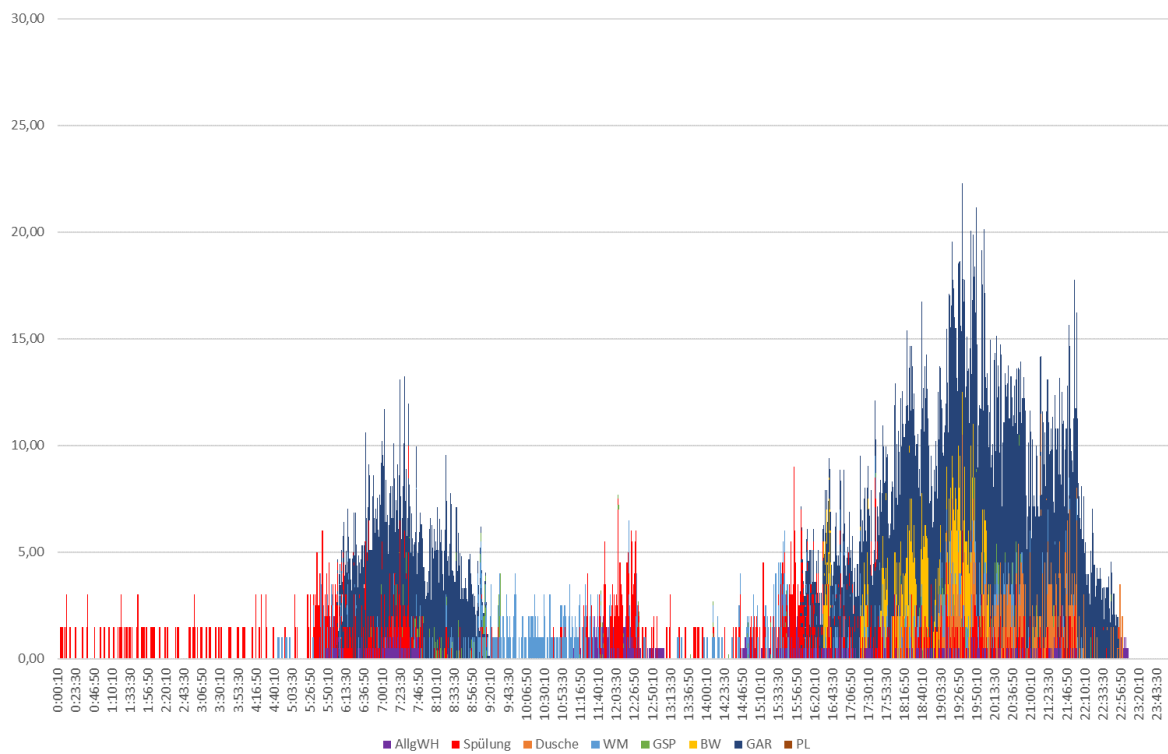


Abbildung 6: Synthetischer Lastgang bei Nutzung abgabereduzierter Bewässerungstechnik

In **Kombination mit zeitlicher Steuerung** kann der Effekt weiter verstärkt werden. Die Bewässerung kann mit einem Bewässerungsautomaten mengengesteuert zufällig über den Tag verteilt durchgeführt werden. Im Modell führt eine derart umgesetzte Bewässerung zu einer Grundlast in Höhe von etwa 3-5 l/s.

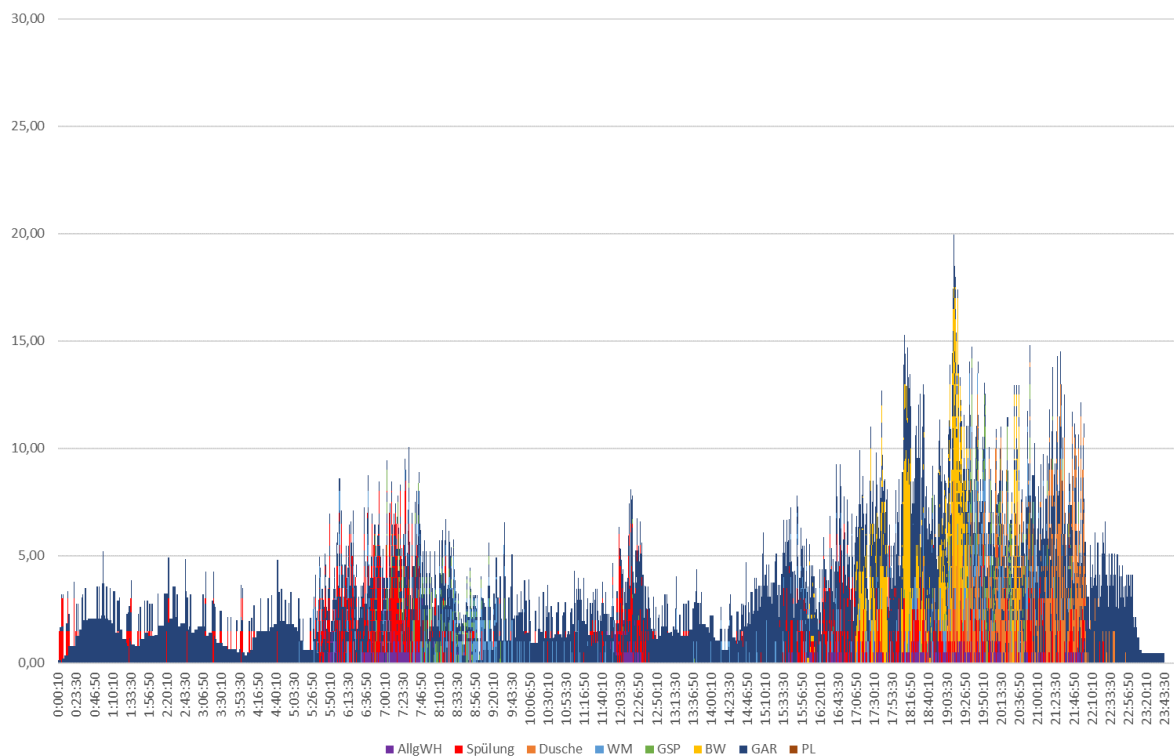


Abbildung 7: Synthetischer Lastgang bei 24h-Bewässerung mit abgabereduzierter Bewässerungstechnik

Über die hier dargestellten Lösungen hinaus wurden weitere Flexibilitätsoptionen in der Bewässerung untersucht. Die Reduzierungen der Lastspitzen bewegen sich innerhalb des Wertebereiches der hier bereits dargestellten Lösungen.

4.1.2.4 FlexOpt im Kontext Haushalt

Im zweiten Schritt wurden anhand synthetisch generierter Lastprofile die Wirkungen einer veränderten Nachfrage von Nutzungen im Haushalt berechnet. Hierzu zählen

- personenbezogene Nutzungen Waschen, Toilette, Dusche und
- haushaltsbezogene Nutzungen Badewanne, Wäsche waschen und Geschirrspüler.

Generell ist das Potenzial zur Veränderung der Tageslastspitze durch diese FlexOpt aufgrund der geringeren Mengen und stark differierenden Nutzungszeiträume geringer. Darunter waren auch FlexOpt, die in der Praxis nur geringe Umsetzungschancen erwarten lassen. Hier diente die Berechnung primär dazu, den potenziellen Nutzen derartiger Überlegungen einschätzen zu können.

Beispielsweise führt **eine höhere Ausnutzung der Waschleistung von Waschmaschinen** zumindest theoretisch zu insgesamt weniger Waschvorgängen.

Basis dieser FlexOpt ist die These, dass durch die programmtechnische Auffächerung und die verschiedenen Stoffqualitäten tendenziell die Kapazität der Waschmaschine durch den Nutzer im Mittel nicht ausgenutzt wird. Für die Modellbetrachtung wird angenommen, dass die Kapazität

der Waschmaschine durch bewusstes Handeln der Nutzer ausgenutzt werden kann. (Waschspezifische Hintergründe, z.B. die Kompatibilität von Gewebe in Hinblick auf Waschttemperaturen oder das Vorhandensein hinreichender Mengen an (schmutziger) Wäsche wurden in der Untersuchung unterstellt).

Die Verbrauchswerte von Waschmaschinen werden unter normierten Bedingungen ermittelt. Moderne Waschmaschinen verfügen neben verschiedenen Programmen über eine Automatik, die unter anderem Unterauslastung oder Verschmutzung erkennt und die Wassermenge anpasst. Das Flexibilisierungspotenzial wird dadurch gemindert.

Zur kumulativen Wirkung dieser Effekte liegen keine Daten vor. Die Überprüfung der FlexOpt erfolgt deshalb vereinfachend unter der Annahme, dass 10% der Waschvorgänge durch Kapazitätsausnutzung entfallen.

Bleiben Waschzeiten erhalten, kann durch die Aktivierung dieser FlexOpt die Tageslastspitze im Modell theoretisch um ca. 15% reduziert werden.

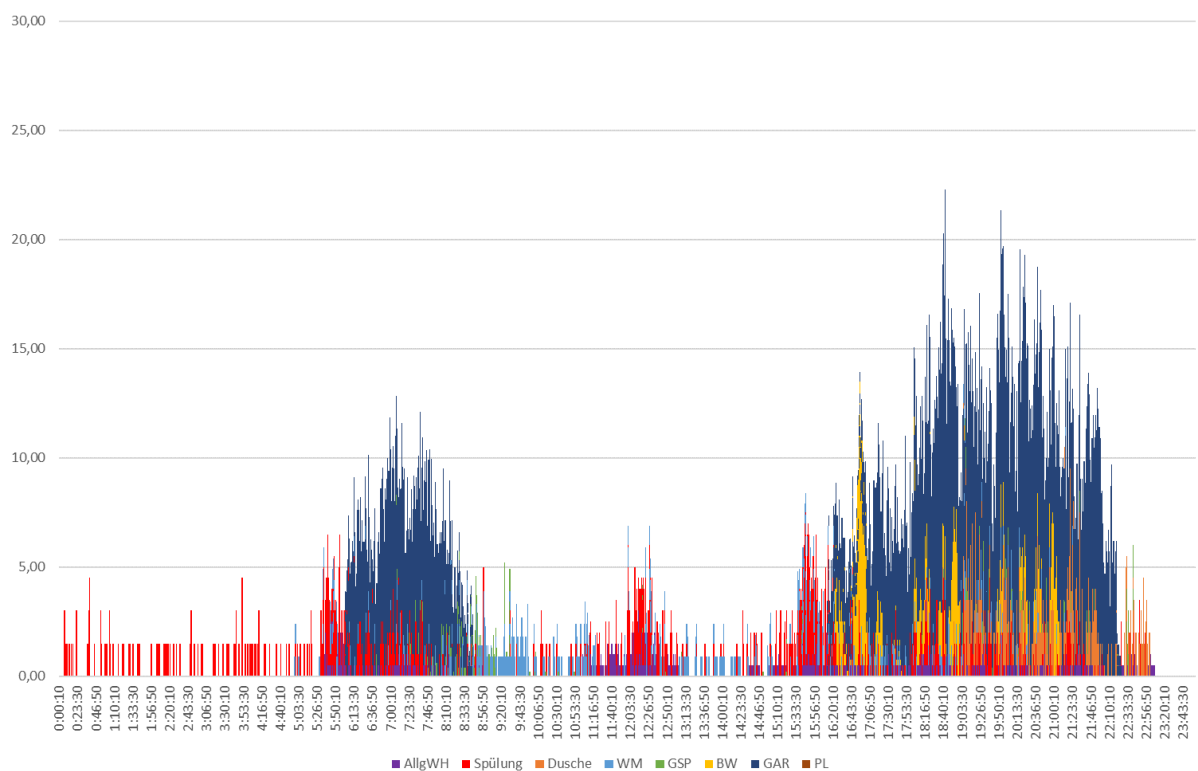


Abbildung 8: Synthetischer Lastgang bei Vollausslastung der Waschmaschinenkapazität (10% weniger Waschvorgänge)

Die Nutzung gebrauchten Trinkwassers (Grauwasser) für sekundäre Nutzungen zeigt eine ähnliche Wirkung auf die Lastspitze. Untersucht wurde beispielhaft die **Nutzung von Wasser aus der Badewanne** für die Toilettenspülung.

Diese Nutzungskaskaden sind in Haushalten dort denkbar, wo a) eine Primärnutzung gering verunreinigtes Abwasser (Qualität) in hinreichender Verfügbarkeit (Menge, Zeitpunkt) als Quelle zur Verfügung stellt und b) Sekundärnutzungen vorliegen, die mit diesem Angebot kompatibel sind.

Für die technische Umsetzung liegen einfache technische Lösungen mit dem Ziel der Lastreduzierung im Fokus (einfaches Speicher-mit-Pumpe-System). Technisch sind komplexe und entsprechend aufwändige Lösungen zur Grauwasseraufbereitung im Haushalt (bzw. Gebäude) verfügbar. Deren Motivation ist die generelle Reduzierung des haushaltsbezogenen Wasserbedarfes. Sie zeigen, dass technische oder hygienische Fragestellungen, die z.B. infolge der längeren Speicherung von genutztem Wasser zu beantworten sind, weitgehend gelöst sind. Wirtschaftlich sind diese Lösungen nur dort darstellbar, wo die Wasserbereitstellung bzw. Abwasserreinigung hohe Kosten verursachen.

Im Modell reichte die Füllmenge einer Badewanne (180 l) für insgesamt 24 Spülvorgänge der Toilette. Der Zeitpunkt der Befüllung der Badewanne wurde innerhalb haushaltsüblicher Nutzungszeitfenster zufällig gewählt, die nachfolgenden 24 Spülvorgänge wurden mit diesem Abwasser durchgeführt. Es wurde eine technische Umsetzbarkeit bei 20% der Haushalte unterstellt.

Aufgrund der Komplexität der Zusammenhänge ließ die Modellierung nur eine Abschätzung des Einflusses zu. Diese zeigt eine Reduzierung der Lastspitze um 3- 5 l/s.

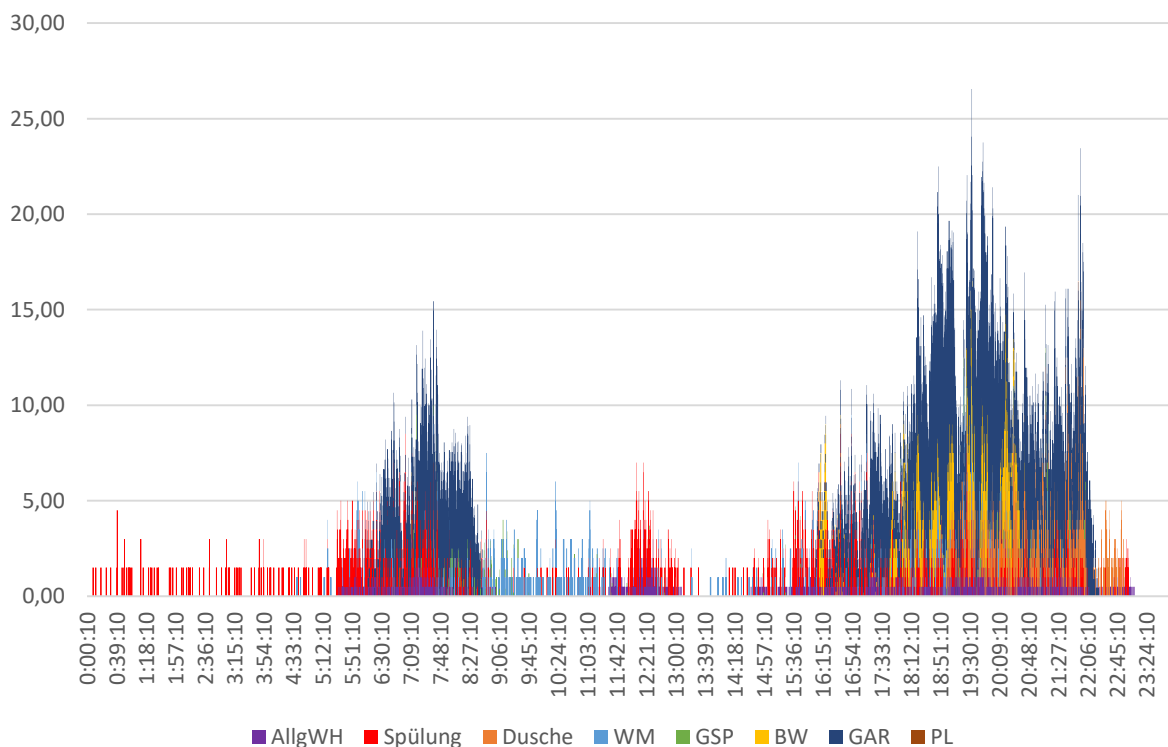


Abbildung 9: Synthetischer Lastgang bei Nutzung des Grauwassers aus Badewannen für die Toilettenspülung in 20% der Haushalte

Untersucht wurden auch experimentelle Denkansätze, wie die **Erhöhung des Speichervolumens von Toilettenspülungen und zeitgesteuerte Füllung**. Die Befüllung des Spülwasserspeichers folgt nicht unmittelbar nach dem Spülvorgang, sondern zeitversetzt. Die Spülmenge bleibt unverändert.

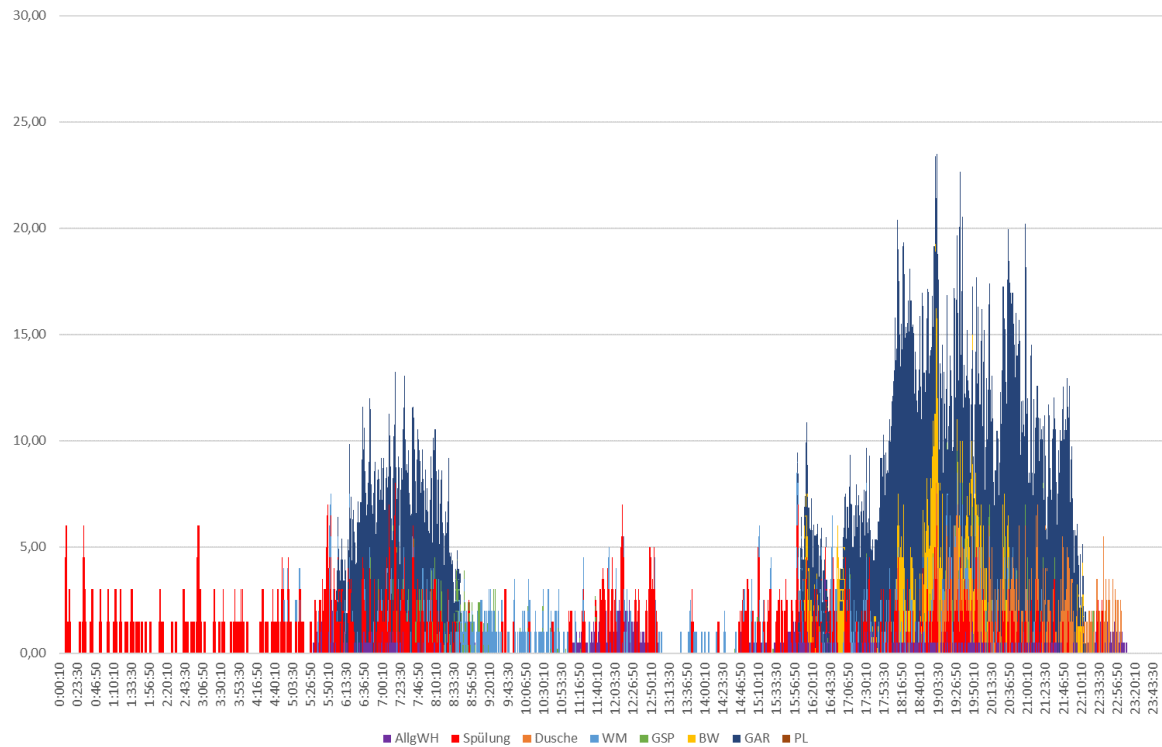


Abbildung 10: Synthetischer Lastgang mit Befüllungsvorgang bei Toiletten außerhalb der Spitzenzeiten

Die Lastspitze kann unter den im Modell getroffenen Annahmen im Vergleich zum Basislastgang um rund 6 l/s reduziert werden. Durch die zufällige Überlagerung von Befüllzeiten können in Schwachlastzeiten neue Lastspitzen entstehen (In Abbildung 10 nach Mitternacht).

Ein vollständiger Ausgleich des Tageslastganges kann durch die **Installation eines Trinkwasserzwichenspeichers** erreicht werden. Der tagsüber entstehende Trinkwasserbedarf eines Haushaltes über alle Entnahmestellen wird in dem Fall über 24/7 durch einen kontinuierlichen Zulauf zur Verfügung gestellt. Der Ausgleich der Tagesschwankungen erfolgt dezentral in einem Hauswasserspeicher (mit Druckhaltung).

Die kontinuierliche Wassernachfrage beträgt je Haushaltsgröße zwischen 0,0011 und 0,0068 l/s.

Das zum Ausgleich der Fluktuation erforderliche Speichervolumen in Liter beträgt rechnerisch pro Haushalt: ... (siehe folgende Tabelle)

Werte pro Haushalt	Haushalt mit (Anz. Personen)					
	1 P jung	1 P alt	2 P	3 P	4 P	5 P
... Ohne Garten (Wasserhahn, Toilette, Dusche, WM, Geschirrspüler, in l)	51	35	159	196	226	276
...Wie oben, mit Garten (wenn vorhanden, in l)	51	226	360	363	387	442

Die Betrachtung erfolgt im Modell haushaltsbezogen. In der Praxis ist eine gebäudebezogene Zusammenfassung aus technischer Sicht praktikabler. Auch Großverbraucher*innen oder Teilnetze sind für eine Umsetzung derartiger Lösungen denkbar.

4.1.2.5 Zusammenfassung und Auswahl

Die anhand eines synthetischen Nachfragemodells durchgeführten Berechnungen zeigen für die untersuchten FlexOpt stark unterschiedliche Wirkungen auf den Tageslastgang der Trinkwassernachfrage und den absoluten Wasserbedarf je Haushalt am Tag (Abbildung 11).

Eine permanente und vollständige Glättung des Tageslastganges lässt sich durch die FlexOpt 7 „Installation eines entsprechend dimensionierten Zwischenspeichers“ erreichen. Diese Option war deshalb sowohl für die Wissenschaftspartner als auch für die Praxispartner von hohem Forschungsinteresse und wurde deshalb für die weitere Untersuchung in den anderen Arbeitspaketen ausgewählt. Die FlexOpt hat unabhängig davon keinen Einfluss auf den Wasserverbrauch.

Durch die Aktivierung von FlexOpt (4 + Pool) bei der Gartenbewässerung bzw. dem Befüllen von Pools können die daraus resultierenden und primär im Frühjahr auftretenden Nachfragespitzen vermieden werden. Zusätzlich kann durch Bewässerungstechnik die für diese Zwecke eingesetzte Wassermenge reduziert werden (10a+b). Letzteres erfordert eine technische Lösung, während die Verschiebung der Nachfrage auch durch regulatorische Maßnahmen, z.B. Verbotszeiten erreicht werden kann.

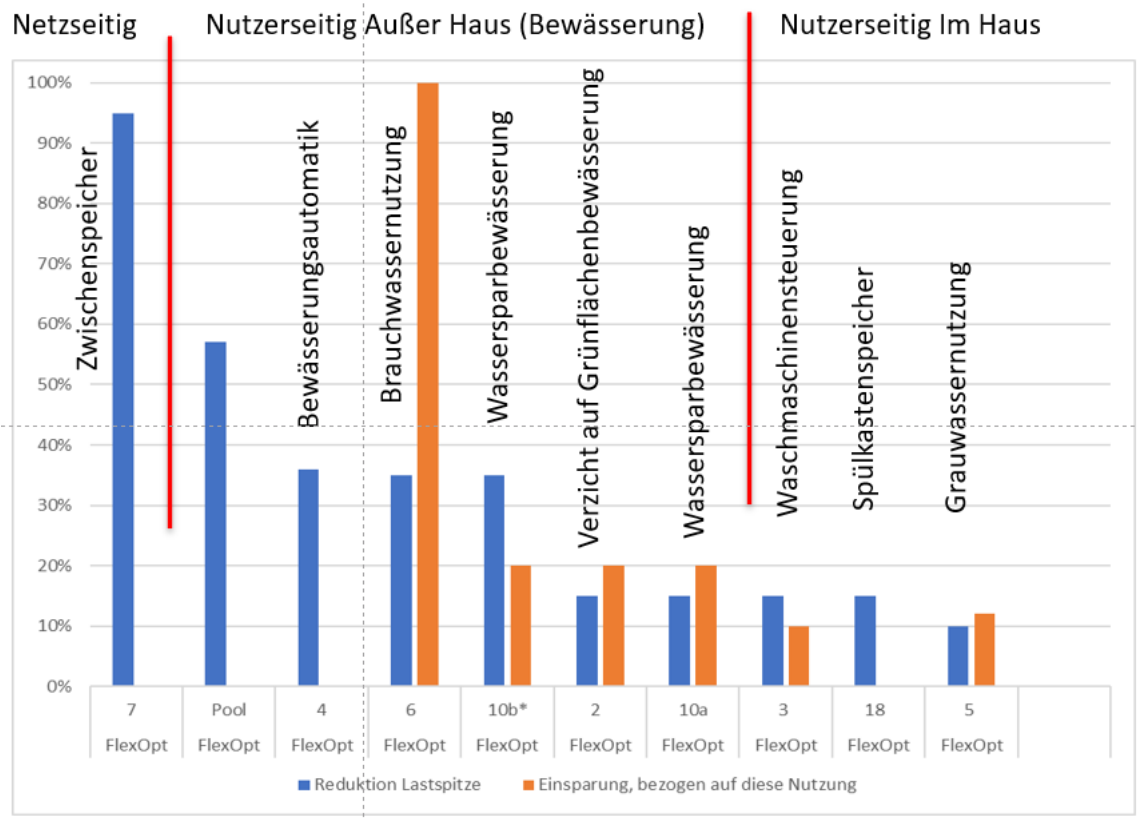


Abbildung 11: Beitrag der FlexOpt zur Reduzierung der Lastspitze und zur Trinkwassereinsparung

4.1.3 Auswirkungen der Aktivierung ausgewählter Flexibilitätsoptionen in Haushalten auf die haushaltsbezogene Stromnachfrage

Die Ausrichtung der Stromnachfrage auf das fluktuierende Angebot an erneuerbarer Energie ist im industriellen und gewerblichen Bereich etabliert. Im Fokus des sog. Demand-Side-Managements (DSM) liegen energieintensive Nutzungen, die in Leistungsabfrage und -zeitpunkt variabel sind. Die Stromnachfrage von Haushalten steht zum Untersuchungszeitpunkt (noch) nicht im Fokus des Demand-Side-Managements.

Strategisch ist es sinnvoll, haushaltsbezogene Flexibilitäten auf gut vorhersehbare Schwankungen des Stromangebotes auszurichten, dadurch den Regelbedarf absolut zu reduzieren und bestehende Flexibilitätskapazitäten, z.B. im industriellen Bereich bei kurzfristigen oder starken Regelbedarfen einzusetzen. Die FlexOpt in FLEXITILITY zielen vor diesem Hintergrund weniger auf kurzfristiges wetterabhängiges Reagieren des Verbrauchers, sondern auf das Etablieren eines veränderten, auf vorhersehbare Angebotsverläufe abgestimmten Nutzerverhaltens auf Haushaltsebene.

Die Kontinuität der Schwankungen über den Tag ist - sonnenstandsbedingt - ausschließlich bei PV gegeben. Jahreszeitlich angelegte Langzeitbetrachtungen zeigen bei PV-Strom ebenfalls eine der entsprechenden Jahreszeit entsprechende ausgewogene Tagesspitzenleistung. Vor dem Hintergrund wird eine Ausrichtung auf PV-Strom als Ziel für die FlexOpt Strom in FLEXITILITY definiert.

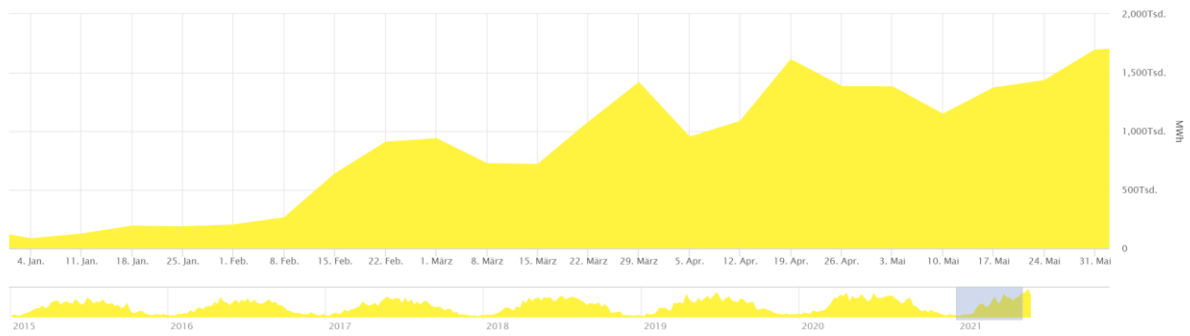


Abbildung 12: Täglicher erzeugter PV Strom im Zeitraum 1.01. – 31.05. 2021 (oben) und seit 2015 (unten), Quelle: Bundesnetzagentur über smard.de

4.1.3.1 Charakteristik haushaltsbezogener Stromnachfrage

Die Stromnachfrage von Haushalten kann anhand von Standardlastprofile für den Bereich Haushalt (VDEW H0) abgebildet werden (Hinterstocker/ von Rohn 2018). Diese aggregierten Daten lassen keine Einschätzungen zu konkreten Ansatzpunkten für eine Nachfrage-Verschiebung zu. Sie sind nur zur Abbildung der Auswirkungen von Verschiebungen geeignet, wenn diese in der Breite vorgenommen werden und nicht nur den einzelnen Haushalt betreffen. Im Detail betrachtet ist die Stromnachfrage von Haushalten die Summe des ggf. zeitgleichen Betriebes strombetriebener technischer Geräte.

Der Verlauf der Stromnachfrage des für einen bestimmten Nutzungszweck eingesetzten Gerätes wird neben rein technischen Merkmalen, wie z.B. Bauart, Automatisierungsgrad oder Betriebsweise durch gesellschaftliche und sozioökonomische Faktoren wie z.B. die Größe und Ausstattung des Haushaltes mit diesen Geräten bis hin zu klassischen Nutzungsgewohnheiten bzw. individuellen Tagesabläufen oder Vorlieben beeinflusst. Oft liefert der Nutzer nur Startimpulse für den Betrieb. Höhe und Zeitpunkt der Stromnachfrage entstehen ohne Zutun des Nutzers z.B. programmgesteuert (Waschmaschinen), taktend (Kochplatten) oder anhand von Messparametern (Helligkeitsregelung von Bildschirmen in Abhängigkeit vom Umgebungslicht) (Tjaden et al. 2015). Haushaltsbezogen führt das in der Summe zu einer schwankenden Stromnachfrage, wie z.B. in Messungen des VDI und Modelle des IÖW nachgewiesen wurde (Gähs et al. 2015). Diese entstehen durch den Zusammenfall von Gerätenutzungen und korrelieren stark mit der Anwesenheit von Haushaltsmitgliedern. Das zeigt sich (haushaltsbezogen) insbesondere an Wochenenden in ausgeprägten Schwankungen (Stifter/ Eichberger 2018) auf einem in Vergleich zur Arbeitswoche insgesamt höheren Nachfrageniveau. Jahreszeitliche Schwankungen sind im Vergleich zur Wärmeversorgung weniger ausgeprägt. Dies wird sich mit einem zunehmenden Einsatz von Wärmepumpen in der Gebäudebeheizung verändern, d.h. verstärken. Das Ergebnis nutzerbezogenen Handelns lässt sich anhand hochaufgelöster Lastprofile abbilden, wie diese z.B. von Härtl et al (2014) oder von Appen (2014) erarbeitet wurden.

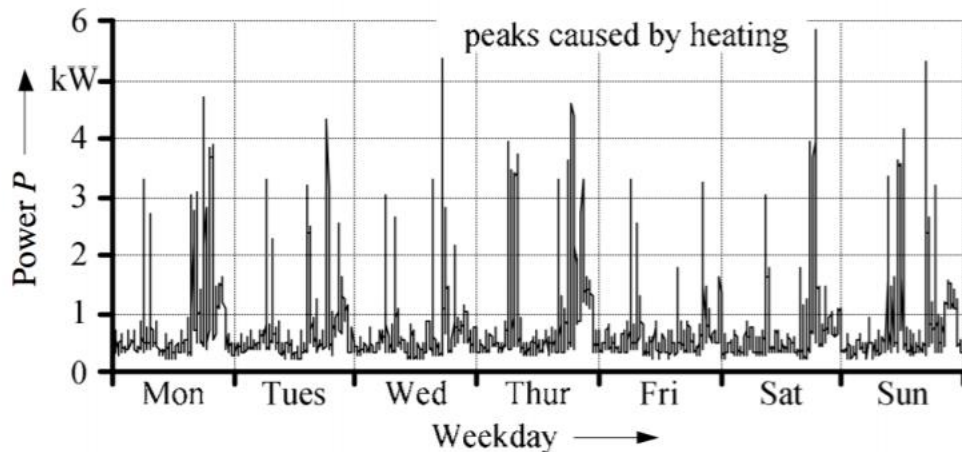


Abbildung 3.26: Beispiel für eine Lastkurve eines Singlehaushalts für eine Woche[17]

Abbildung 13: Beispiel für ein synthetisches Lastprofil, Quelle: Dickert/ Schegner 2011

4.1.3.2 Verschiebepotenzial des haushaltsbezogenen Strombedarfes

Aus der Verschneidung von Analysen zu für Verschiebungen geeigneten Geräten in Haushalten (Dostal 2014) und von Modellierungen zu gerätespezifischen Einschaltwahrscheinlichkeiten in Abhängigkeit von der Tageszeit. (Dickert et al 2011) wurde das Verschiebepotenzial berechnet. Die Verschiebung insbesondere der Abendnachfrage in die frühe Nachmittagszeit wurde als Zielfenster identifiziert. Abbildung 14 zeigt das Ausgleichspotenzial qualitativ auf.

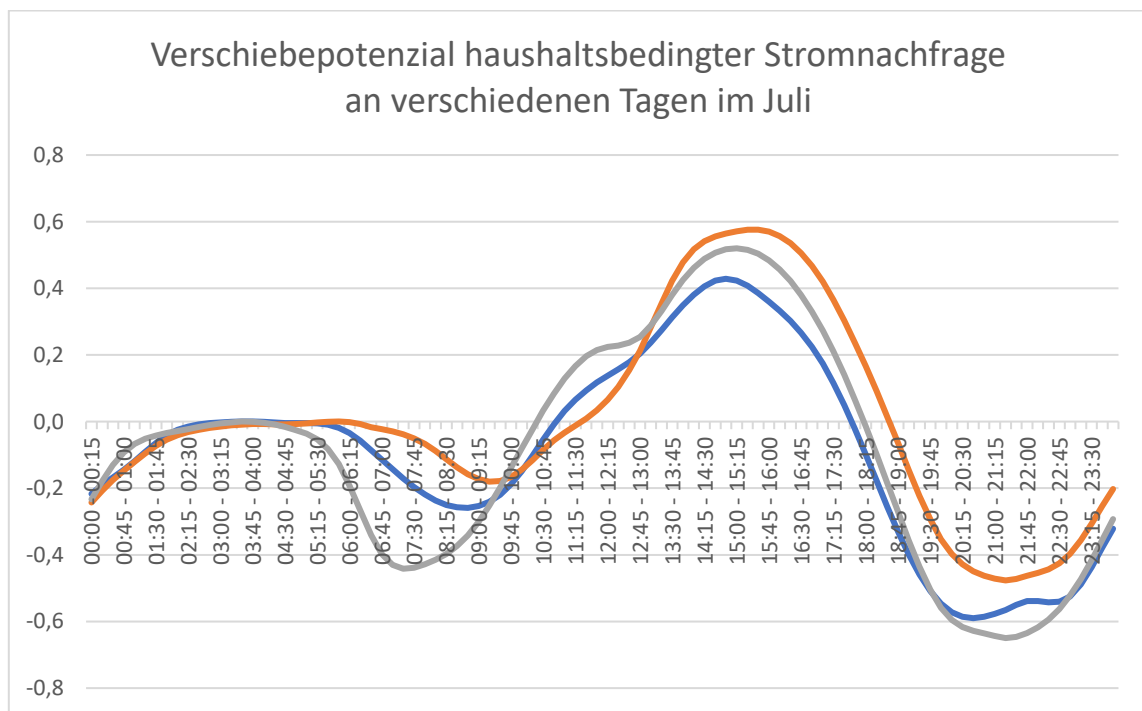


Abbildung 14: Verschiebepotenzial (positiver Wertebereich), berechnet aus dem PV-Strom-Angebots- und Haushaltsgerätebedingten-Nachfrageverlauf

Einen hohen Zielbeitrag lassen erwarten:

- Die Verlegung der dritten Einschaltperiode des Geschirrspülers auf die bereits bestehenden Zeiten am Vormittag und frühen Nachmittag
- Die Eingrenzung des Waschmaschinenbetriebes auf das Zeitfenster 08.00 – 12.00 Uhr
- An Option 2 gekoppelt: Den (dem Betrieb der Waschmaschine) nachgelagerten Betrieb des Wäsche-Trockners im Zeitfenster 10.00 – 16.00 Uhr (2 h- Waschzeit + 2 h Trockenzeit)

Für diese zwei bzw. drei Optionen standen aus der im Frühjahr 2021 umgesetzten Umfrage des Projektpartners co2online Umfragedaten zum Verhalten der Nachfrager bei Preisanreizen zur Verfügung. (siehe nachfolgendes Kapitel).

4.1.3.3 Verschiebepotenzial unter Berücksichtigung des Verbraucherverhaltens

Die Umfrage untersuchte die Bereitschaft, wassernutzende Haushaltsgeräte in der Nutzungszeit zu verschieben. Diese Aussagen wurden hier auf parallel stromnutzende Geräte übertragen. Hierzu zählen die Waschmaschine und der Geschirrspüler.

Die Befragungsergebnisse zeigen, dass rund 90% der Verbraucher*innen grundsätzlich bereit sind, den Zeitpunkt der Nutzung von Haushaltsgeräten an bestimmten Preisanreizen auszurichten. Gerätespezifisch differieren Umfang und Maß der Bereitschaft zur Verschiebung.

Die Verschiebedauer wurde in der Umfrage nicht erfasst. Es wurden Zielfenster, z.B. „in die Nachtstunden“ gesetzt, die im Hinblick auf die Optimierung der Trinkwassernachfrage entwickelt wurden und sich nicht an dem stromangebotsorientierten Verlauf orientieren.

Vor diesem Hintergrund kann die Umfrage nur Anhaltspunkte zur Bereitschaft der Verbraucher*innen liefern, Nutzungszeiten von Waschmaschine und Geschirrspüler innerhalb des Tages zu verschieben. Es wurden vor diesem Hintergrund folgende Annahmen unterstellt:

- Verbraucher*innen übertragen das in der Umfrage dokumentierte Verhalten bei entsprechenden Anreizen auch auf andere Zeiten, hier auf Verschiebungen in den Vormittag/Mittag.
- Da nicht bekannt ist, welche der Nutzungszeiten vom Verbraucher*innen verschoben werden kann, wird der Verschiebeanteil entsprechend der Ergebnisse der Verbraucherbefragung von co2online im Rahmen des Reallabors errechnet und gemittelt.

4.1.3.4 Wirkungen der Verschiebung der Stromnachfrage auf den haushaltsbezogenen Lastgang

Die Wirkung der flexibilisierten Nutzungszeit von Waschmaschinen und Geschirrspülern auf den Lastgang ist unter den getroffenen Annahmen rechnerisch nachweisbar. Der Lastgang von Haushalten kann auf ein solares Strahlungsangebot ausgerichtet werden.

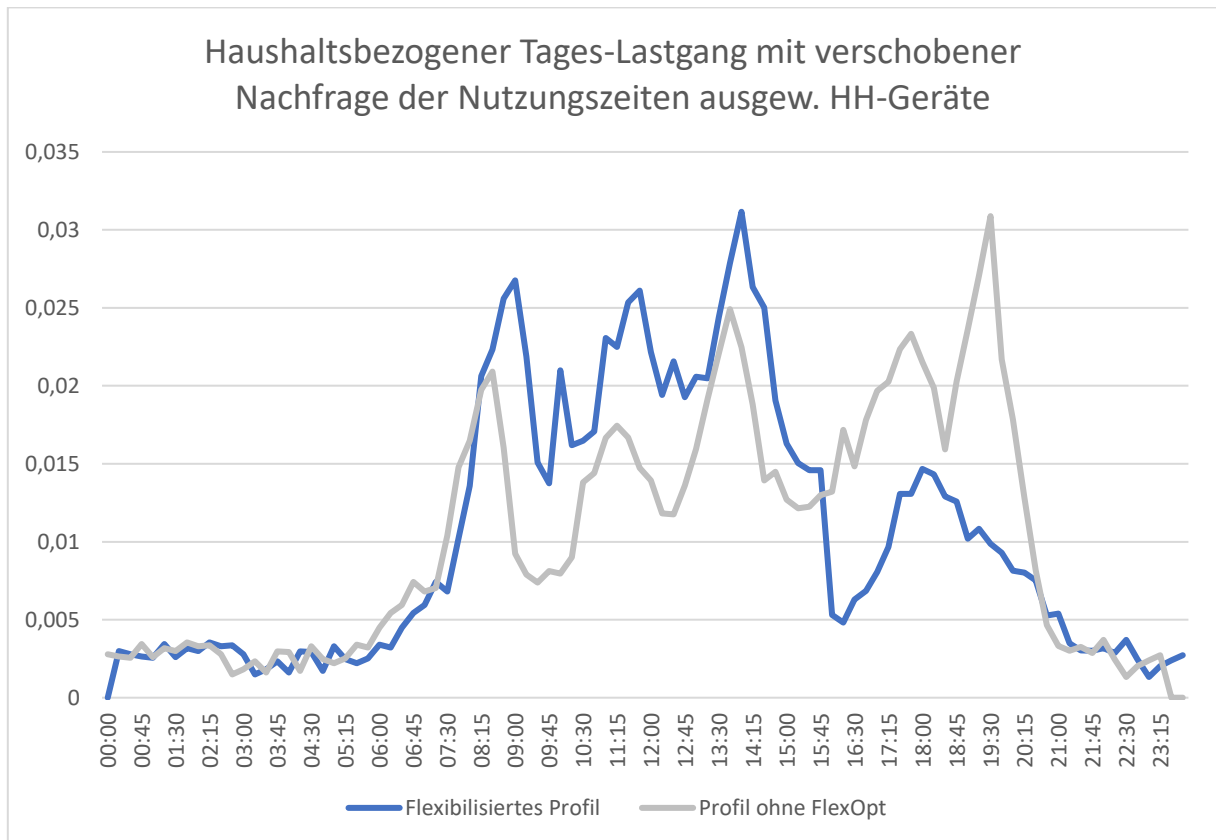


Abbildung 15: Tageslastgang (synthetisch) von Haushalten mit und ohne flexibilisiertes Verbraucherverhalten

In der Praxis ist damit zu rechnen, dass es Anlauf- und Ablaufphasen geben wird, in deren Folge Wirkungen beschleunigt oder verzögert eintreten. Damit können im ungünstigen Fall Nachfragespitzen oder -täler verstärkt werden. Anreize o.Ä. müssen vor diesem Hintergrund zeitlich präzise ansprechen, vom Verbraucher klar verstanden werden und in Handlungen übersetzt werden.

Die Umsetzung der auf das Strahlungsangebot der Sonne ausgerichteten Flexibilitätsoption ist nur bei hinreichendem Strahlungsangebot plausibel. Eine jahreszeitliche Differenzierung der Anreize sollte deshalb mitgedacht werden.

In FLEXITILITY konnte mit diesen Modellrechnungen gezeigt werden, dass bestimmte Flexibilisierungsoptionen bei Aktivierung eine netzdienliche Stromnachfrage von Haushalten unterstützen. Zugunsten der Betrachtungen zum Trinkwasserzweischenspeicher wurden diese Überlegungen nicht fortgeführt.

4.1.4 Umsetzung und Sicherheit flexibilisierter Trinkwasserversorgung bei Trinkwasserversorgungsunternehmen

Einige der Flexibilitätsoptionen erfordern, dass der Anbieter (mit Einverständnis des Kunden) die kundenseitige Nachfrage beeinflussen kann. Hierfür ist die technische Aufrüstung der Kundenanlagen mit fernsteuerbaren Reduzier- oder Sperreinrichtungen einschließlich der Digitalisierung der Steuerung erforderlich. Im AP1 wurde in einer Befragung untersucht, wie

Unternehmen die Umsetzbarkeit einer auf Flexibilisierung abzielenden Digitalisierung bewerten. Zu diesem Zweck wurde in Zusammenarbeit mit dem HWAZ eine Umfrage unter Trinkwasserversorgungsunternehmen in Brandenburg durchgeführt. Die Umfrage fokussiert auf die Trinkwasserversorgung, weil bei dieser Infrastruktur im Unterschied zur Stromversorgung Digitalisierung und Flexibilisierung der Kundennachfrage bislang keine Rolle spielen und dementsprechend keine Untersuchungen zu den Erwartungen der Unternehmen vorlagen.

Ausgangspunkt war die Beschreibung der erforderlichen Systemtransformation. Eine auf flexiblen Betrieb ausgerichtete, digitalisierte Trinkwasserversorgung weist demnach folgende Merkmale auf:

- Digitale Messeinrichtungen (Smart Meter) sind beim Kunden installiert, die Nachfrage wird in kurzen Perioden oder in Echtzeit gemessen, an das Versorgungsunternehmen übertragen und in der Leitwarte durch Personen oder Softwarelösungen ausgewertet.
- Digitale Fernregleinrichtungen oder Abschalteneinrichtungen sind (bei ausgewählten Kunden) und an wichtigen Netzknotenpunkten installiert und können aus der Leitwarte in Echtzeit angesteuert werden.
- Hausanlagen sind durch Pufferspeicher (z.B. Trinkwasserspeicher) ergänzt.
- Handlungsprotokolle sind erarbeitet und für die Prozesssteuerung aus der Leitwarte anwendungsbereit.
- Kunden wird die Information über ihre Nachfrage in Echtzeit, z.B. über Displays zugänglich gemacht. Die Informationen werden automatisiert über die Leitwarte geschaltet.
- Versorgungsverträge sind entsprechend angepasst und erlauben in einem definierten Umfang die Angebotsanpassung durch das Versorgungsunternehmen.

An der Umfrage beteiligten sich 6 Unternehmen, die Ergebnisse sind deshalb statistisch gesehen nicht repräsentativ. Unabhängig davon zeigt sich in den Befragungsergebnissen, dass die in FLEXITILITY untersuchten Möglichkeiten zur gezielten Beeinflussung der Nachfrage künftig für die Unternehmen von Interesse sind, wenn erkennbar technische und ökonomische Vorteile generiert werden können. Sie liefert damit wichtige Anhaltspunkte, in welche Richtungen Lösungen zur Flexibilisierung der Kundennachfrage gezielt weiterentwickelt werden müssen.

Folgende **Kernaussagen** sind aus der Umfrage ableitbar:

Technische Ausführung

Der Großteil der befragten Unternehmen wird mit der Einführung von Smart Metern diese Technik zur Nachfrageanalyse und Betriebsoptimierung nutzen. Weitergehende Einsatzmöglichkeiten der nutzerseitig erhobenen Daten, wie neue Tarifmodelle oder technische Eingriffe werden bislang kaum gedacht bzw. gesehen.

In Hinblick auf die Sicherheit einer kundenseitigen Datenerhebung, -verarbeitung und Steuerung der Nachfrage bestehen klare Präferenzen für

- eine physische Trennung von Datenerfassung und Steuerung
- unternehmenseigene (im Unternehmen selbst betriebene) Soft- und Hardware und
- separate, unabhängig vom öffentlichen Internet funktionierende Datennetze

Für die Hard- und Softwarelösungen erwarten die Unternehmen Empfehlungen bzw. Zertifizierungen der Verbände.

Bei der Digitalisierung der (Kunden)anlagen ist den Unternehmen ein hoher Standardisierungsgrad der Komponenten wichtig. Der manuelle Eingriff in Regelungen soll weiterhin möglich bleiben und den Weiterbetrieb bei Ausfall der digitalen Steuerungstechnik ermöglichen.

Personelle Organisation

Die für den Aufbau und den Betrieb der digitalen Infrastruktur notwendigen Mitarbeiter wollen die Unternehmen im eigenen Unternehmen binden. Die Nutzung externer Dienstleister wird in Erwägung gezogen, hat aber gegenüber eigenen Beschäftigten keine Priorität.

Ökonomie

In Bezug auf die zu erwartenden Investitionskosten zeigt sich kein eindeutiges Bild. Während ein Teil der Unternehmen höhere Kosten erwarten, sehen andere Unternehmen Einsparpotenziale bei den Investitionskosten (der Gesamtanlagen).

Bei den Betriebskosten und Instandhaltungskosten wird durch die Digitalisierung ein Kostenanstieg erwartet.

Resilienz

Die überwiegende Anzahl der Unternehmen erwartet, dass die digitalisierte Trinkwasserversorgung einen stabilen Netzbetrieb gewährleistet und zu weniger Ausfall der Systeme führt. Ebenso schätzen die Unternehmen ein, dass diese Infrastrukturaufrüstung eine schnellere Wiederinbetriebnahme und eher weniger Aufwand bei Beseitigung von Störungen ermöglicht.

Insgesamt sehen die Unternehmen die Chancen und Risiken einer digitalisierten, aus Flexibilisierung ausgerichteten Trinkwasserversorgung ausgeglichen. Zentrale „Knackpunkte“ für die Einführung sind die Gewährleistung der Systemsicherheit und die Kosten.

4.2 FlexStrat I - Geschäftsmodelle, Anreizsysteme und regulatorische Steuerung (inter 3)

Das Arbeitspaket 2 hatte die Entwicklung von Flexibilitätsstrategien zum Ziel, welche der Umsetzung der in Arbeitspaket 1 entwickelten technischen und betrieblichen Optionen dienen sollten. Der Schwerpunkt lag dabei auf der Verschiebung von Lastspitzen auf Nachfrageseite. Vier Ansätze wurden dazu verfolgt:

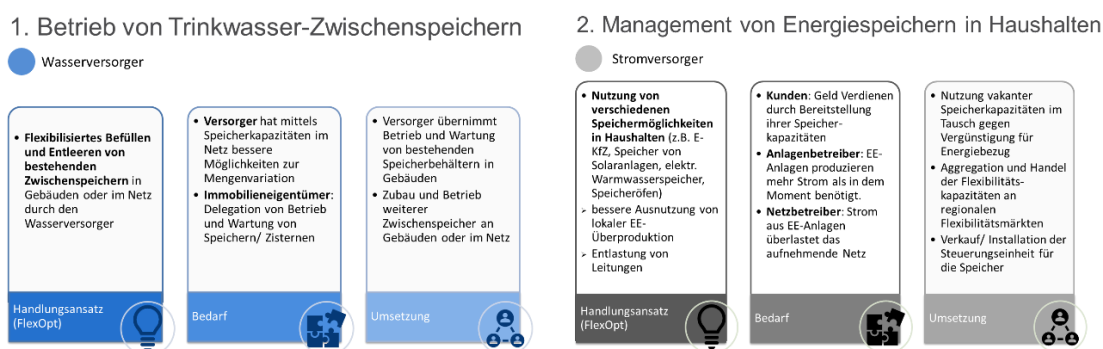
- Die Ausarbeitung von Geschäftsmodellen, durch welche geeignete Flexibilitätsoptionen in ein betriebswirtschaftlich passfähiges Format gegossen werden sollten;
- Die Gestaltung geeigneter Tarifmodelle, durch die die Haushalte zu kurz- und längerfristigen Anpassungen im Verbrauch angeregt werden sollen, mit Fokus auf den Umgang mit Extremwetter-bedingten Nachfrage- und Angebotsschwankungen;
- Die Nutzung von Nudges (verhaltensökonomischen Steuerungsimpulsen) als weitere (zumeist indirekte) Anreizmaßnahmen zur zielgerichteten Anpassung von Verbräuchen;
- Die Analyse der Bedeutung von regulatorischen Rahmensetzungen für die Umsetzung der Strategien.

Als Grundlage für die Arbeiten dienten die Auswertung von über 150 wissenschaftlichen Arbeiten, eine enge Zusammenarbeit mit den Praxispartnern, die Ergebnisse der Befragungen in den FLEXITILITY-Reallaboren und weitere Experten-Befragungen.

4.2.1 Geschäftsmodellentwicklung

Auf internationalen Recherchen aufbauend wurden zu Beginn des Projekts einige plausibel bzw. umsetzbar erscheinende Geschäftsmodellideen skizziert (vgl. Tabelle 2) und den in FLEXITILITY beteiligten Versorgungsunternehmen im Rahmen eines Workshops zur Bewertung vorgelegt.

Tabelle 2: In FLEXITILITY skizzierte Geschäftsmodellideen für die Flexibilisierung von Versorgungsinfrastrukturen (Quelle: inter 3 GmbH)



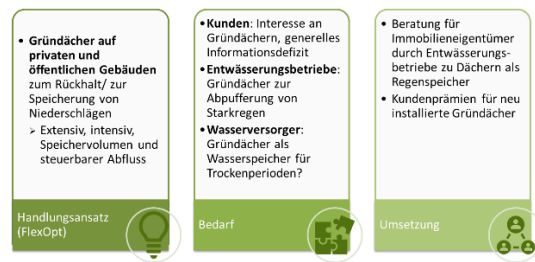
3. Vermarktung von eigenen Speicherkapazitäten

● Stromversorger/ Netzbetreiber



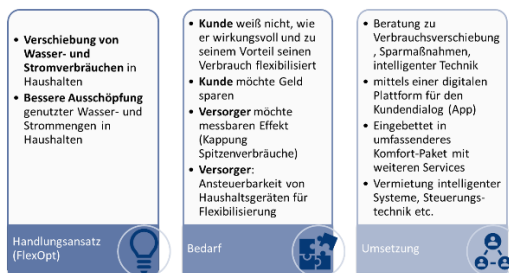
4. Gründach-Beratung und -Vermittlung

● Entwässerungsbetrieb



5. Kundenberatung zu Flexibilisierung digital

● Wasserversorger ● Stromversorger



6. Kundenberatung zu Flexibilisierung persönlich

● Wasserversorger ● Stromversorger



Im Ergebnis wurden die Geschäftsmodellideen

- Trinkwasser-Zwischenspeicher (Trinkwasserversorgung) und
- Kundenberatung zur Flexibilisierung digital (Energieversorgung)

am besten bewertet. Eine weitere Geschäftsmodellidee wurde spontan im Rahmen des Workshops skizziert, und zwar für die

- flexible Wiederverwendung von gereinigtem und hygienisiertem Abwasser (Abwasserentsorgung).

Diese drei Geschäftsmodelle wurden mittels der Methode Business Canvas weiter ausgearbeitet, mit den Vertiefungsaspekten Bedarf, Lösung, Kernaktivitäten, Kernressourcen, Kosten und Investitionen, Umsatzquellen und -treiber, Schlüsselkennzahlen, Alleinstellungsmerkmal, existierende Alternativen, Wettbewerbsvorteile, Kundensegmente, Vertriebskanäle und Marktangang.

4.2.1.1 Geschäftsmodelle und Kostenberechnung für den Einsatz von Trinkwasser-Zwischenspeichern

Die Funktionsweise von dezentralen Trinkwasser-Zwischenspeichern wurde grob in Kapitel 4.1.2.4 beschrieben. An dieser Stelle werden verschiedene Ansätze und Rahmenbedingungen ihrer Realisierung beschrieben.

Die Frage des **finanziellen und technischen Nutzens von Trinkwasser-Zwischenspeichern für die Wasserversorger** wurde mit verschiedenen Wasserversorgern diskutiert und in AP 6 durch das

Fraunhofer IEE in Abstimmung mit inter 3 und BTU Cottbus modelliert (Knorr, K. et al. 2022). Über die Optimierung des Pumpenbetriebs und somit die Einsparung von Energiekosten (insbesondere die Reduktion von Leistungspreisen aufgrund geringerer Spitzenverbrauchswerte und atypischer Netznutzung) hinaus besteht ein finanzieller Nutzen im Sinne der Bereitstellung von Pufferkapazität für Kapazitätsengpässe. Auch die Versorgungssicherheit bei Stromausfällen kann erhöht werden, z.B. indem der Speicher als Notbehälter für die dringendsten Bedarfe mit einem Not-Ablassventil zum Keller des Gebäudes hin ausgestattet wird. Schließlich können dezentrale Speicherbehälter auch helfen, Bedarf an Neu- oder Ausbau von Versorgungskapazitäten zu reduzieren. (vgl. Kapitel 4.5)

Für die Bewertung des Geschäftsmodells Trinkwasser-Zwischenspeicher wurden weiterhin folgende Fragen untersucht:

- Welche Umsetzungsvarianten gibt es für das Geschäftsmodell?
- Wie hoch sind die Kosten für den Einbau von Zwischenspeichern unterschiedlicher Größe (insgesamt und pro Wohneinheit)?
- Ab welchem tariflichen Preisnachlass durch den Wasserversorger amortisieren sich die Mehrkosten für die Mieter?
- Wie sind Auslegung und Betrieb der Speicher zu optimieren, so dass der wasserwirtschaftliche Nutzen die Investitionskosten bzw. den Tarifnachlass rechtfertigt?
- Wie lassen sich Gebäudeeigentümer bzw. Wohnungsunternehmen motivieren, sich mit eigenen Mitteln an den Investitionen für die Installation von Zwischenspeichern zu beteiligen?

Verschiedene Varianten sind hinsichtlich Umsetzung und Finanzierung der Zwischenspeicher denkbar.

Variante A für das Geschäftsmodell:

- Investitionen werden vom Wasserversorger getätigt. Alleinige Zielsetzung: Optimierung des Netzbetriebs, kleinstmögliche Dimensionierung der Speicher
- Investitions- und Betriebskosten gehen teils als Ausgaben in die Gebührenkalkulation ein, teils könnten sie durch finanzielle Zuschüsse finanziert werden.
- Tarife werden generell (für alle Kunden) erhöht
- Tarifierhöhung muss gegenüber kommunalpolitischen Akteuren begründet/ mit langfristigen Kostenersparnissen gerechtfertigt werden.

Variante B für das Geschäftsmodell:

- Investitionen werden teilweise vom Wasserversorger getätigt, teilweise vom Wohnungsunternehmen bzw. Geschäftspartner. Zielsetzung: Optimierung des Netzbetriebs und Speicher als Vorratshaltung. Großzügige Dimensionierung der Speicher, um (bei nur geringfügigen Mehrkosten) auch eine Vorratshaltung von Trinkwasser als Zusatznutzen der Speicher zu realisieren.

- anteilige Investitions- und Betriebskosten des Versorgers gehen als Ausgaben in die Gebührenkalkulation des Wasserversorgers ein. Wohnungsunternehmen legen ihren Kostenanteil auf Betriebskosten um.
- Tarife werden generell (für alle Kunden) erhöht
- Interesse an Vorratsspeicher sollte bei Mietern vorhanden sein.

Jedoch wurde in einem Workshop mit Wohnungsunternehmen am 5.5.2022 grundsätzlich die Kostenübernahme für Investitionen und Betrieb der Speicher durch diese als nicht umsetzbar eingeschätzt. Hauptgrund ist, dass Wohnungsunternehmen jede Form von Betriebskosten mit den Mietern vereinbaren müssten, wofür diese keine ausreichende Akzeptanz zeigen würden. Zur Realisierung von Speichern stehen sie grundsätzlich als Partner zur Verfügung, jedoch ohne Kostenübernahme.

Kosten und Realisierbarkeit

Die einzelnen Positionen der Investitionskosten wurden für unterschiedliche Varianten von Zwischenspeicherlösungen bei verschiedenen Fachbetrieben erfragt. Die Investitionskosten für die unterschiedlichen Varianten sind in der folgenden Tabelle aufgeführt. Insgesamt wurden 13.066 € für Lösung 1 bzw. 8.160 € (Lösung 2) errechnet.

Tabelle 3: Kostenpositionen für Trinkwasser-Zwischenspeicher-Varianten (aus verschiedenen Informationsquellen, Stand 2021)

TW-Zwischenspeicher Einbauten	1: Kelleranlage mit 200l-Speicher	2: Anlage mit handelsüblichem 2-3m³ Speicher
Anlagenkomponenten		
Dreibegeventil für Bypass	320 €	
Druckminderer, einstellbar	280 €	
Absperrarmatur	160 €	
Membranausgleichgefäß durchströmt	2.280 €	
Trinkwasserspeicher für unterirdischen Einbau 2m ³		1.400 €
Druckerhöhungsanlage komplett 2 Pumpen	4.500 €	3.000 €
Kompensatoren	100 €	
Rückflussverhinderer	80 €	80 €
Sicherungsgruppe	200 €	
Installationsmaterial groß	700 €	
Installationsmaterial klein	500 €	
Rahmen/Fundament	200 €	
Isolation	500 €	
Füllstandsmessung, Luftfilter		250 €
Messung		
TW-Entnahmestellen zur Beprobung	80 €	80 €
Planung und Installation		
Arbeitsaufwand Installation Speicher und Leitungen	1.333 €	1.800 €

Elektroinstallation		600 €
Sanitärinstallation		600 €
Inbetriebnahme und Grundeinstellung	333 €	
Lieferung	200 €	150 €
Detailplanung/Auslegung	667 €	200 €
Einweisung	133 €	
SUMME	13.066 €	8.160 €

Die folgende Tabelle zeigt diese Investitionskosten für die verschiedenen Varianten von Trinkwasser-Zwischenspeichern, insgesamt und pro Jahr bei einem angenommenen Abschreibungszeitraum von 15 Jahren. Zudem setzt sie die Investitionskosten pro Jahr ins Verhältnis mit den jährlichen Wasserkosten eines Haushaltes (blaue Spalte) und zeigt (in der letzten Spalte) Investitions- und Wartungskosten zusammengenommen. Die jährlichen Betriebs- und Wartungskosten wurden von den unterschiedlichen Quellen auf 700 € bis knapp 2000 € geschätzt. Sie sind jedoch mit Unsicherheit behaftet und können auch unter den angenommenen Werten liegen, z.B. durch Ausnutzung von Skaleneffekten für Einbau und Wartung.

Tabelle 4: Gesamtkosten der verschiedenen Varianten (pro Jahr) und Investitionskosten im Verhältnis zu den Wasserkosten bei 7 angeschlossenen Haushalten, 35 HH bzw. 70 HH

Variante	Parameter	Investitionskosten gesamt €	I-Kosten pro Jahr €	Investitionskosten/ Wasserkosten*	Invest+BK pro Jahr pro HH €
Variante 1 (200l Speicher im Keller, Druckerhöhung)	Speicher, Pumpe, Installation insgesamt	13.067	871		
	pro Haushalt (7 HH)		124	113,65%	404
Variante 2a (unterirdischer Speicher mit 2-3 m ³ , 35 angeschlossene Haushalte)	Speicher, Pumpe Installation insgesamt	8.160	544		
	pro Haushalt (35 HH)		15,54	14,19%	36
Variante 2b (wie 2a, aber 70 angeschlossene Haushalte)	Speicher, Pumpe Installation insgesamt	8.160	544		
	pro Haushalt (70 HH)		7,77	7,10%	18

* Annahme: Wasserkosten pro HH/Jahr 109,50 € (bei einem Wasserverbrauch von 125 l p.P./d, einer Haushaltsgröße von 2,1 Personen und einem Wasserpreis von 1,50 €/m³)

Als realistischere Lösung erscheint ein größerer Speicher (Zwischenspeicher-Variante 2), mit den folgenden technischen Parametern:

- ca. 2-3 m³ Fassungsvermögen (oder mit geringen Mehrkosten auch größer, um Vorratshaltung und/oder eine konstante Befüllung zu ermöglichen bzw. die Kosten auf mehr angeschlossene Haushalte umzulegen)
- Installation unterirdisch, im Grünflächenbereich nahe dem Hausanschluss, um zu starke Erwärmung des Trinkwassers sowie Frostschäden zu vermeiden.
- Druckerhöhungsanlage mit zwei Pumpen und einer Kapazität von 17 m³/h Förderstrom, Installation im Keller

Allerdings wäre aus Sicht eines in FLEXITILITY beteiligten Wasserversorgers ein tariflicher Rabatt zum Zweck des Mehrkostenausgleichs für die Kunden in Höhe von maximal 3-4% denkbar bzw. vor dem Hintergrund der eigenen durch die Pufferkapazitäten ermöglichten Einsparungen wirtschaftlich darstellbar. Unter der Zielvorgabe einer vollständigen Amortisierung der Kosten und unter den Bedingungen des unten genannten Kosten- und Verbrauchsniveaus reichen auch die kostengünstigeren Lösungen noch nicht an dieses Niveau heran, wenn Wartungskosten mit einbezogen werden:

Bei angenommenen Wasserkosten pro Haushalt pro Jahr von 144 EUR (bei 2,1 Pers. pro HH, 125l Tagesverbrauch pro Person und einem Wasserpreis von 1,50 EUR pro m³) entsprächen 18 EUR jährliche Gesamtkosten pro Haushalt (Variante 2b) 13% der Wasserkosten.

Weitere Steigerung der Kosteneffizienz durch flexible Betriebsweise und gezielte Verbrauchssteuerung

Eine weitere Steigerung der Kosteneffizienz kann insbesondere durch die weitere Anhebung der Anzahl der von einem Speicher versorgten Haushalte ermöglicht werden. Wie viele Haushalte angeschlossen werden können, hängt neben dem Fassungsvermögen des Speichers im Wesentlichen von dessen Betriebsweise (kontinuierlicher Zustrom oder variabler Zustrom), von dem durchschnittlichen Trinkwasserbedarf der angeschlossenen Haushalte sowie von der Größe (und Anzahl) der Gebäude ab, die vom Standort des Speichers aus unter wirtschaftlich tragfähigen Bedingungen angeschlossen werden können.

Drei Varianten sind denkbar, um die Zahl angeschlossener Haushalte zu erhöhen:

- **Erhöhung ohne weitere Anpassungen**, demnach kontinuierliche Speicherbefüllung entsprechend der Ausführungen in Kapitel 4.1.2.4 und keine Erhöhung des Speichervolumens, so dass zeitweise ein Leerlaufen des Speichers und somit die Weitergabe von Bedarfsspitzen an das Netz in Kauf genommen werden;
- **größeres Speichervolumen** (mit der Folge leicht steigender Investitionskosten) bei kontinuierlicher Befüllung;
- **variierende Befüllung** (bei gleichbleibend großem oder auch gezielt überdimensioniertem Speicher): In den Zeiten geringer Wassernachfrage (z.B. mittags und nachts) wird der Speicher mit größerem Volumenstrom befüllt und während der Spitzenbedarfszeiten

entsprechend weniger oder sogar gar nicht. Wird ein Mindestfüllstand unterschritten, wird der Volumenstrom erhöht.

Für alle drei Varianten gilt: **Gezielte Maßnahmen zur Steuerung des Verbraucherverhaltens** (z.B. zur Verschiebung von Verbräuchen auf die nachfrageschwachen Stunden) können eine notwendige Erhöhung der Befüllung oder ein Leerlaufen des Speichers hinauszögern bzw. vermeiden helfen. Durch Anpassungen im Wasserkonsum kann auch bei geringerer Speicherkapazität pro Person weiterhin eine ausreichende Pufferwirkung erhalten bleiben. Auch zu Zeitpunkten außergewöhnlich hoher Wasserverbräuche z.B. aufgrund von besonders trockenem und heißem Wetter kann die gezielte Verbrauchsflexibilisierung vermeiden, dass Speicher frühzeitig leerlaufen und letztlich deren Pufferfunktion ausgerechnet zu einer Spitzenverbrauchszeit wegfällt. Tarifliche und verhaltensökonomische Ansätze der Verschiebung werden in den Kapiteln 4.2.2 und 4.2.3 beschrieben.

Die folgenden Berechnungen zum personenbezogenen Speichervolumen an Wochentagen und Wochenenden wurden vom Projektpartner BTU in Zusammenarbeit mit Fraunhofer IEE anhand von Messdaten aus dem DEMAPLAN-Projekt erstellt⁴. Dabei wurde auch der Einfluss der Verschiebung von Nutzungen auf dieses Speichervolumen ermittelt. Die für das Verschiebungspotenzial notwendigen Daten stammen aus den im Rahmen der FLEXITILITY-Reallabore durchgeführten Befragungen (siehe Kapitel 4.3).

Tabelle 5: Personenbezogenes Speichervolumen in Litern unter Ausnutzung von Flexibilitäten im Verbraucherverhalten (mit stündlicher Auflösung des Lastprofils)

		ohne Verschiebung	mit dem Einsatz von Flexibilitäten		
		Flex_0	Flex_50	Flex_75	Flex_100
Mo-Fr	ohne Garten	12,7	12,0	11,7	11,4
	mit Garten	16,1	14,9	14,6	14,4
Sa-So	ohne Garten	22,1	17,0	16,5	16,1
	mit Garten	35,9	31,1	29,2	27,3

Der Speicherbedarf beträgt nach der Berechnung auf Grundlage der DEMAPLAN-Daten bei kontinuierlicher Befüllung des Speichers (für Haushalte ohne Garten) im ungünstigsten Fall 22 l/P. Durch eine gezielte Beeinflussung der Trinkwassernachfrage und somit die Möglichkeit einer optimierten Befüllungsstrategie kann dieser Wert beeinflusst werden.

⁴ Im DEMAPLAN-Projekt wurden für die Stadt Herzberg (Elster) Zeitpunkt und Zusammensetzung des Trinkwasserbedarfes für Haushalte über einen längeren Zeitraum simuliert und Bedarfsprofile erstellt. Siehe (Mohajeri/ Nuñez v. Voigt 2017)

Tabelle 6: Wirkung einer flexibilisierten Trinkwassernachfrage auf das personenbezogene Speichervolumen

		Veränderung der Speichergröße durch Flexibilisierung		
		Flex_50	Flex_75	Flex_100
Mo-Fr	ohne Garten	-6%	-8%	-10%
	mit Garten	-7%	-9%	-11%
Sa-So	ohne Garten	-23%	-25%	-27%
	mit Garten	-13%	-19%	-24%

Demnach können durch eine Flexibilisierung der Trinkwassernachfrage bis zu 27% des Speichervolumens eingespart werden.

4.2.1.2 Geschäftsmodell zur Kundenberatung zum Zweck der Flexibilisierung von Stromverbräuchen

Um die Flexibilisierung von Stromverbräuchen in Haushalten zu fördern, wurden gemeinsam mit den Stadtwerken Bitterfeld-Wolfen Eckpunkte für die Entwicklung eines digitalen Beratungsangebots zum Thema Verbräuche untersucht und entwickelt. Das Konzept für das Geschäftsmodell umfasst verschiedene Informationsangebote für Kunden, flexibilisierte Tarife und verschiedene Beratungsleistungen. Als technische Kernelemente des Geschäftsmodells sind die Installation von Smart Meter Gateways in den Haushalten sowie eine App notwendig. Das Geschäftsmodell lautet zusammengefasst folgendermaßen:

- Das Geschäftsmodell „Flexibilisierungsberatung digital und persönlich“ bedient Bedarfe und Interessen seitens der Kunden hinsichtlich Innovationen, Regionalität, Umweltschutz, Versorgungssicherheit und Preisstabilität bzw. -senkung.
- Für den Versorger ergibt sich der Vorteil einer Spitzenglättung durch Lastverschiebungen.
- Bestandteil der Beratung (über eine App/ über die Unternehmenswebsite / durch persönliche Beratung) sind Informationen zu Klimawandel und Flexibilisierung, die Möglichkeit zum Abschluss flexibler Tarife, Smart-Home-Lösungen und Ad-hoc-Meldungen.
- Umsetzungsschritte sind Entwicklung der App, Schulung über Berater/ Dienstleister, Aufbereitung der Beratungsinhalte und die Schaffung von Smart-Meter-Gateways zum Anbieten von Smart-Home-Lösungen. Für die flexible Tarifgestaltung muss im Unternehmen ein entsprechendes Angebot entwickelt werden.
- Kommuniziert wird das Angebot über Website, Kundenmagazin und weitere unternehmenseigene Medien.
- Zentrale Zielgruppen sind technikaffine, umweltaffine sowie preisaffine Kunden.
- Vertrieben wird die Dienstleistung direkt über E-Mail und Servicemitarbeiter, digital über die Website und über Partner. Dabei helfen Bonussysteme und Treueprogramme.
- Umsätze entstehen (maßgeblich) durch die über die App angebotenen Serviceleistungen und Miete für Geräte, durch den Verkauf der App und durch Einrichtungsgebühren.

Diese Fragen wurden detailliert in einem Business Canvas ausgearbeitet. Dazu wurden Ergebnisse aus dem digitalen FLEXITILITY-Reallabor herangezogen. Die Inhalte des Angebots konnten so eng an den identifizierten Bedarfen ausgerichtet werden (siehe Abbildung 16).

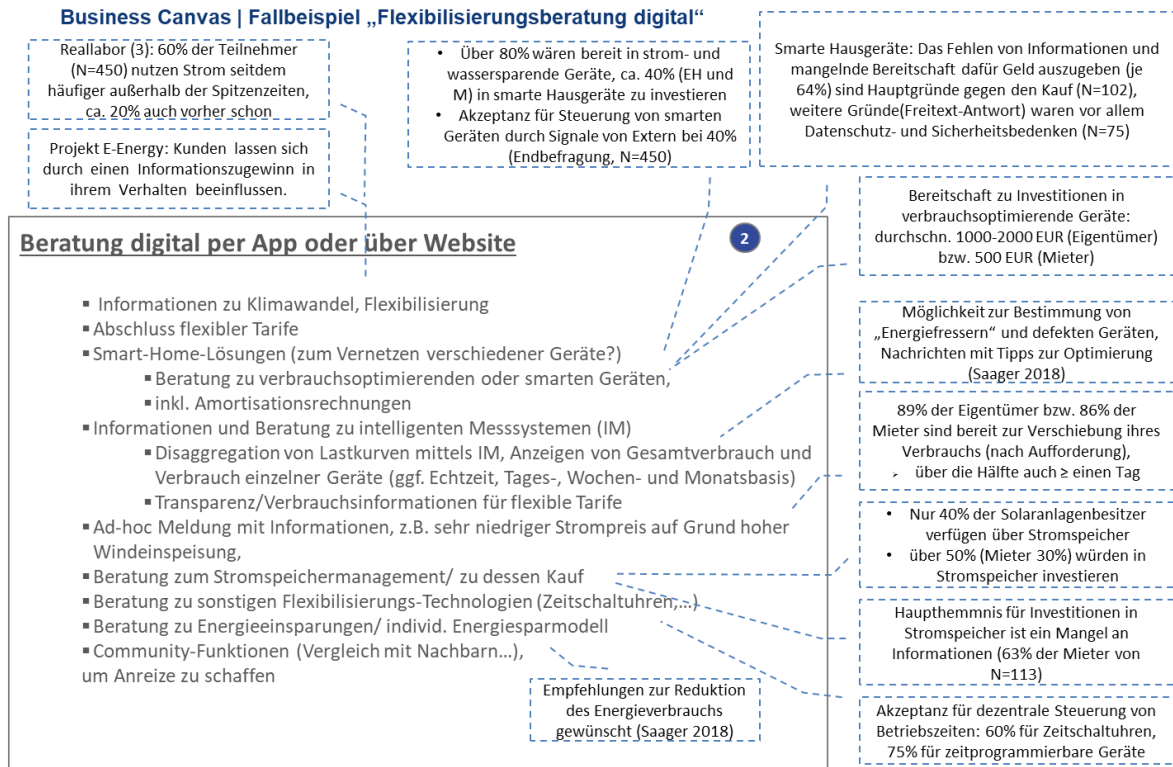


Abbildung 16: Kernelemente „Flexibilisierungsberatung digital“ für Stromkunden

4.2.1.3 Geschäftsmodell für die Wasserwiederverwendung

Für das Geschäftsmodell Wasserwiederverwendung wurde eine flächenmäßige Potenzialflächenanalyse im Umfeld der Kläranlagen des HWAZ durchgeführt und in Karten dokumentiert (siehe Abbildung 17). Zudem wurden qualitative Potenziale und Vorteile einer Bewässerung von verschiedenen Feldfrüchten analysiert und daraus Kosten-Nutzen-Berechnungen erstellt.

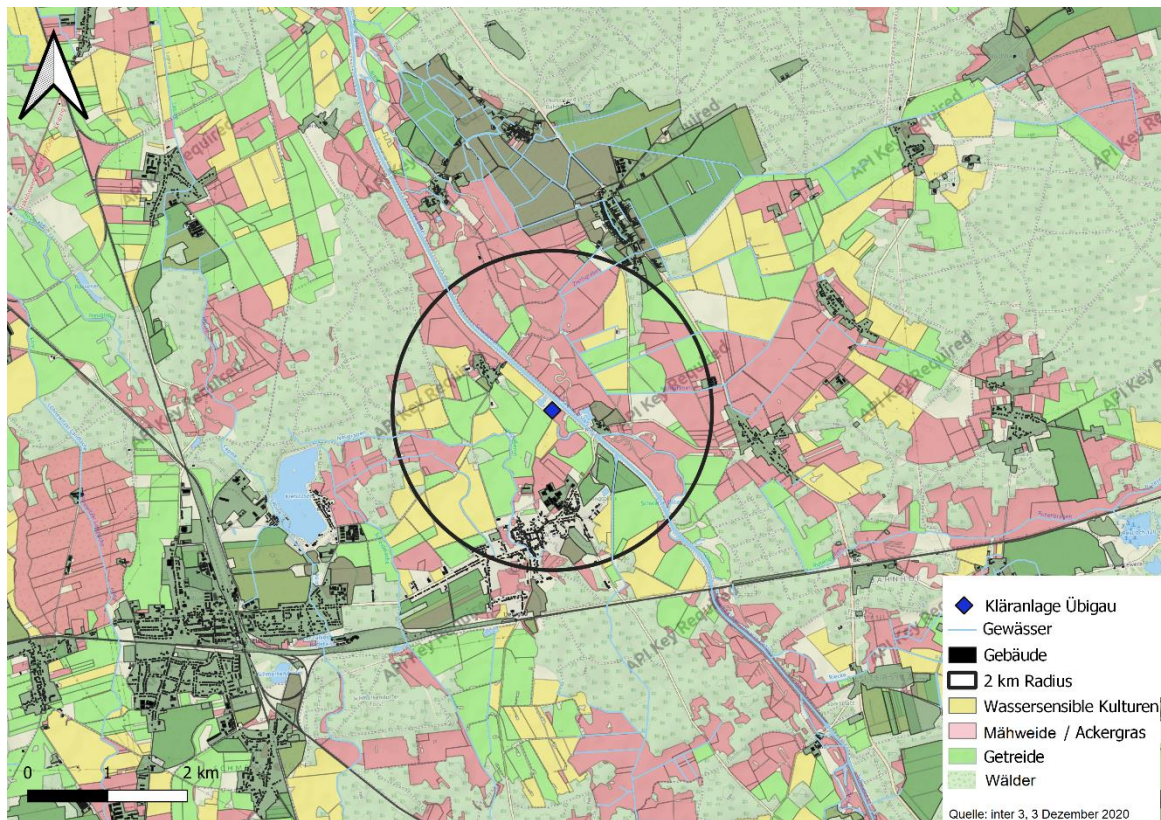


Abbildung 17: Potenzialflächenanalyse für Wasserwiederverwendung rund um die Kläranlage Uebigau, Daten von 2019, Quelle: inter 3

Nach diesen Berechnungen ergab sich auf Grundlage von Angaben der ortsansässigen Landwirte und mittels der Berechnungsmethode „CropWat“ der Food and Agriculture Organisation (FAO) für eine optimale Wasserverfügbarkeit ein zusätzlicher Bewässerungsbedarf von 250mm bis 650mm (650mm für besonders wassersensible Kulturen in Dürrejahre wie 2018). Unter Berücksichtigung von Investitions- und Betriebskosten für Pumpen, UV Desinfektion, Leitungen und die Bewässerungsanlage sowie der möglichen Mehrerträge ergab sich ein potenzieller Nutzen von 826 € für 12ha bewässerte Fläche bzw. 4.117 € für 24ha bewässerte Fläche. Zur Potenzialabschätzung wurden auch die Kläranlagenablaufwerte der vier Kläranlagen vom HWAZ hinsichtlich Sauerstoffzehrung (BSB 5), E.coli-Keimen, Total Suspended Solids (TSS), Trübung und Legionellen-Werten beurteilt. Flächenpotenzialanalyse und Ablaufwerte haben zusammen zu der Entscheidung geführt, sich für die weitere Entwicklung und Erprobung des Geschäftsmodells auf die Kläranlage Uebigau zu fokussieren.

In der Folge wurden die Berechnungen und konzeptionellen Grundlagen des Geschäftsmodells verfeinert: Der Bewässerungsbedarf wurde mittels 30-jähriger Klimadaten aus Doberlug-Kirchhain (Durchschnitt), Kulturen und Anbauzeiten, Pflanzenkoeffizienten (kc) für die unterschiedlichen Kulturen, Bodenwerten und Kennwerten zur Bewässerung präzisiert und ein Bewässerungskonzept für eine 12ha große, an die Kläranlage Uebigau angrenzende Fläche entwickelt (siehe Abbildung 18). Anbau- und Bewässerungspläne wurden entwickelt sowie Eckpunkte eines Risikomanagementplans nach EU-Verordnung 2020/741 erstellt.

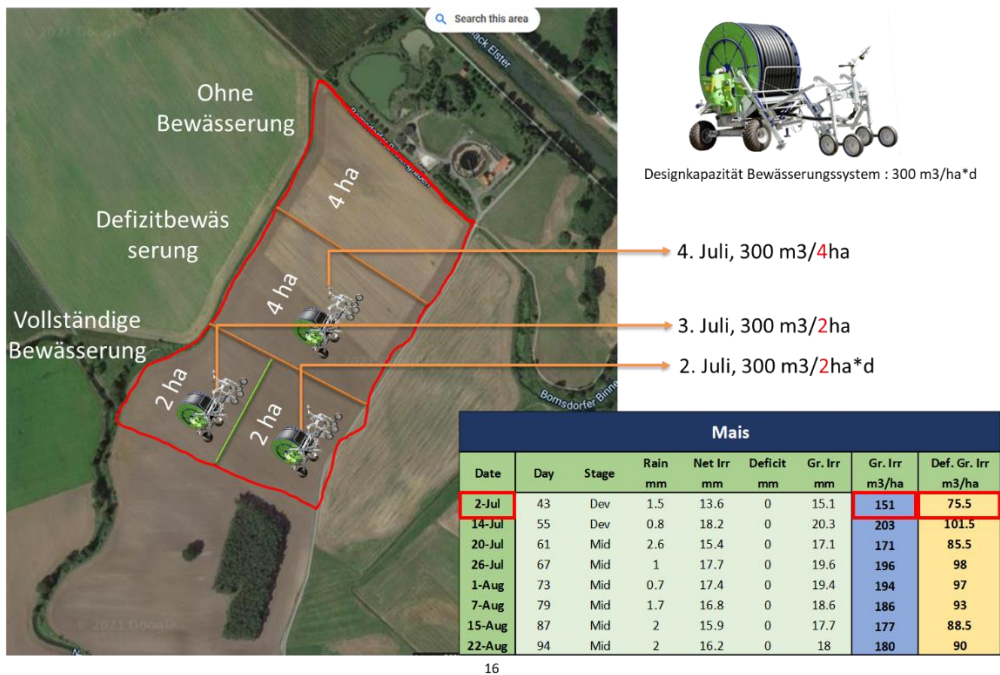


Abbildung 18: Konzept für die Wasserwiederverwendung auf einer 12ha großen Fläche in der Nachbarschaft der Kläranlage Uebigau Stand 2021, Quelle: inter 3

In 2020 wurde zudem eine deutschlandweite Potenzialerhebung für Wasserwiederverwendung gestartet. Die Ergebnisse dieser wurden in KA Abwasser 2/2022 publiziert (Eismann et al. 2022). Die gemeinsam mit der DWA befragten knapp 500 Wasser- und Abwasserbetriebe in Deutschland, bei denen es sich etwa zur Hälfte um Betreiber von Kläranlagen der Größenordnungen 5, 4a und 4b handelt, gehen mehrheitlich davon aus, dass die Nachfrage nach Wasserwiederverwendung in Zukunft steigen wird, und zwar sowohl für die landwirtschaftliche Bewässerung, als auch für die Bewässerung städtischer Grünflächen und für industrielle Zwecke (siehe Abb. 19). Ein Viertel der Umfrageteilnehmer wurde sogar bereits von einem potenziellen Abnehmer auf die Wiederverwendung ihres Klarwassers angesprochen. Die Analyseergebnisse sind detailliert in o.g. Publikation dokumentiert.

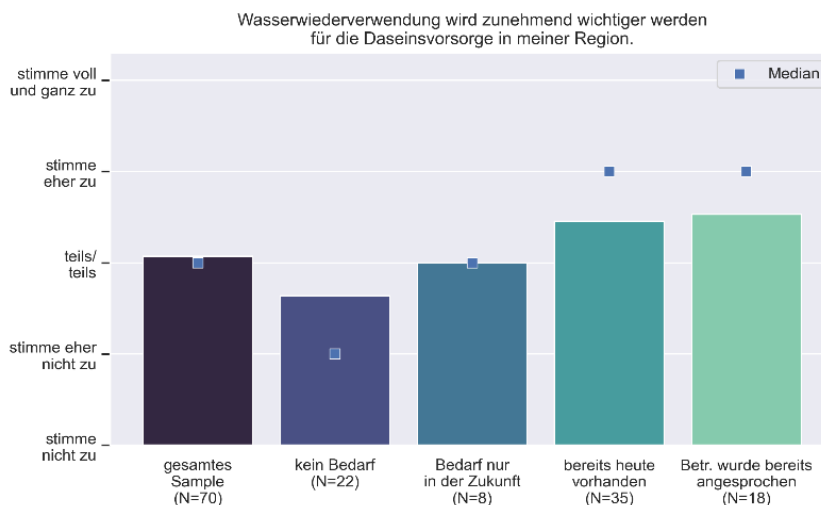


Abb. 19: Bedarf an Wasserwiederverwendung als Aspekt der Daseinsvorsorge, Zustimmungswerte, Quelle: inter 3

4.2.2 Entwicklung von zeitvariablen Tarifmodellen und deren Potenzial

Zeitvariable Tarife, die gezielt Verbräuche in verbrauchsschwächere Zeiten lenken, eignen sich generell und unabhängig von der Flexibilisierungsoption als verbrauchslenkende Maßnahmen, um die Kosten für den Strom- oder Trinkwassernetzbetrieb zu senken.⁵

Das Potenzial für die Verschiebung von Wasser- und Strombedarfen in Zeiträume mit geringerem Tarifniveau wurde im Rahmen der digitalen Haushaltsbefragung im Juni 2021 („Sonderbefragung“) sowie der Haushaltsbefragung in Bitterfeld-Wolfen im Herbst 2021 unter Federführung von co2online ermittelt. Hinsichtlich ihrer Wasserverbräuche wurden die Teilnehmenden z.B. befragt, in welchem Maße sie durch variable Tarife zu Verschiebungen motiviert werden können. Bei einer nächtlichen Tarifsenkung (zwischen 21 und 6 Uhr) um 20% waren von 210 Teilnehmenden 186 (88,6%) grundsätzlich zu Verschiebungen von Wasserverbräuchen in die günstigeren Zeiträume bereit. Von diesen waren 80% zur Verschiebung des Wäschewaschens, 79% zur Verschiebung des Geschirrspülens und 49% zur Verschiebung des Duschens bereit. Es wurde weiterhin gefragt, in welchem Maße sie diese Verbräuche jeweils verschieben würden. Dabei gab jeweils eine große Mehrheit entweder zu 100% oder zu 75% an. (siehe Abbildung 20 und Abbildung 21)

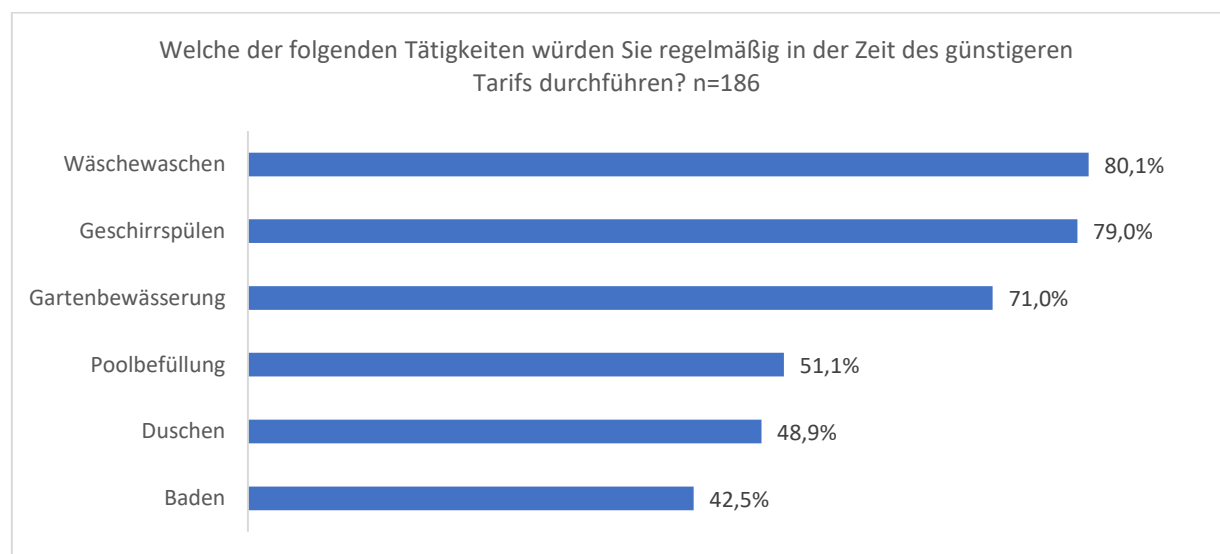


Abbildung 20: Frage zu Verschiebungen bei einer nächtlichen Tarifsenkung um 20%, Bereitschaft zu Verschiebungen, Quelle: co2online

⁵ So können kurzzeitig erhöhte Tarife z.B. bei niedriger Einspeiselast aus Erneuerbaren Energien oder bei drohender Überlastung von lokalen Verteilnetzen zu Spitzenlastzeiten die Verschiebung von Stromverbräuchen (Laden von Akkus, Starten von Haushaltsgeräten, etc.) anregen. Dies wurde ausführlich in vorherigen Forschungsprojekten untersucht (siehe einleitendes Kapitel).

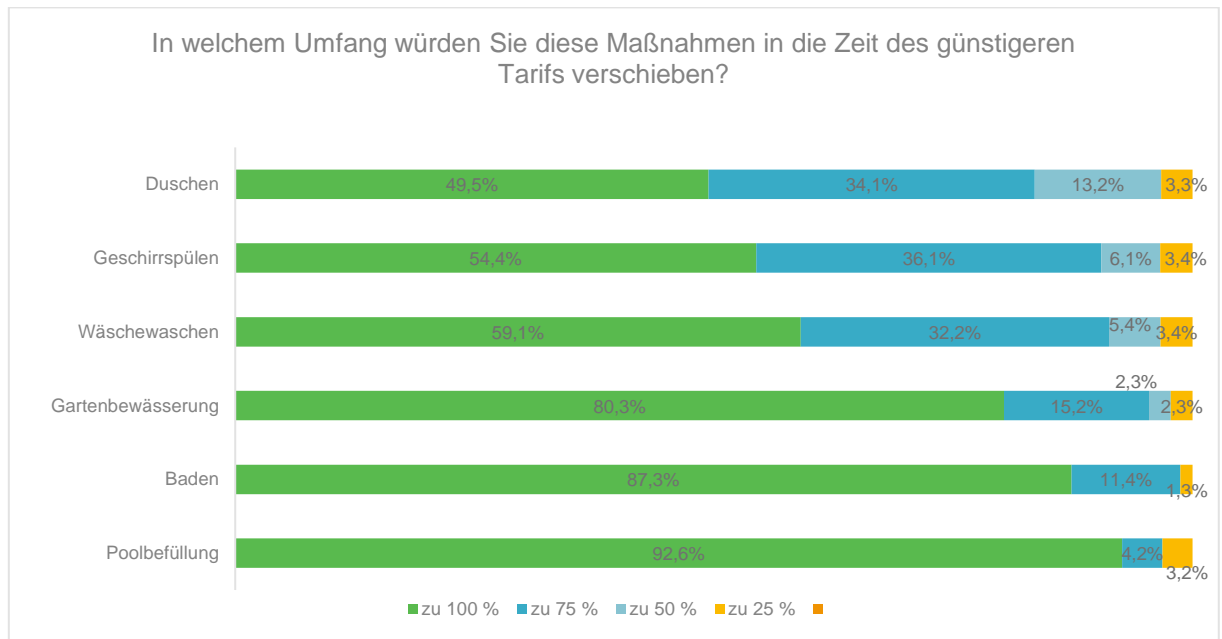


Abbildung 21: Frage zu Verschiebungen bei einer nächtlichen Tarifsenkung um 20%, Umfang der Verschiebungen, Quelle: co2online

Insgesamt ergibt sich aus dieser Frage ein tägliches Verschiebepotenzial von 74l pro Haushalt (2,5 Personen) bzw. 64l unter Berücksichtigung derjenigen Teilnehmenden, die nicht zu Verschiebungen bereit sind. Als Grundlage wurden durchschnittliche pro-Kopf-Wasserverbräuche von Spülmaschinen, Waschmaschinen und für Körperpflege angesetzt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 7 dargelegt.

Tabelle 7: Potenzialberechnung für die Verschiebung von Wasserverbräuchen als Ergebnis der Verbraucherbefragung in FLEXITILITY

Flexibilisierungsstrategie	Wassernutzungen in Haushalten (l/E*d) (in Klammern: Quelle)	Verschiebereitschaft unter Befragten (Insg. 186 von 210, 87%)	Durchschn. Potenzial pro HH durch Tarifsenkung nachts (aufsummierte Bereitschaften zu Verschiebungen à 25, 50, 75, 100% in l/E/d*HH-Größe)
Tarifsenkung nachts, Gegenleistung Blockademöglichkeit Maschinen	Wäschewaschen 10 l/E*d (Demaplan f. HH-Größe 2,5 Pers.)	80%, davon 91% zu (beinahe) vollständiger Verschiebung um 75% bzw. 100% bereit	17 l
Tarifsenkung nachts, Gegenleistung Blockademöglichkeit Maschinen	Geschirrspüler 2,5 l/E*d (eigene Annahme entsprechend gängiger Verbrauchswerte)	79%, davon 91% zu 75% bzw. 100%	4 l
Tarifsenkung nachts	Baden+Duschen 42l/E*d (BDEW, abzgl. sonstige Körperpflege, Baden=50l/Woche/P)	49% Duschen bzw. 42,5% Baden, davon 83% (Duschen) bzw. 99% (Baden) zu 75% bzw. 100%	43 l
Tarifsenkung nachts, Gegenleistung Blockade Gartenwasserz. vor 21h	Gartenbewässerung 6l/E*d (BDEW)	71%, davon 95% zu 75% bzw. 100%	10 l (ohne Poolbefüllung)
		Summe	74 l/HH/d
		Verschiebepotenzial alle Befragten	64 l/HH/d

Eine große Unsicherheit in der Beurteilung der Effektivität tariflicher Maßnahmen für die Flexibilisierung von Verbräuchen verbleibt hinsichtlich ihrer dauerhaften Wirkung auf Gewohnheiten und unterbewusstes Handeln. Die Zahlen in diesem Kapitel spiegeln nur die Absicht der Verbraucher*innen, also ein theoretisches Potenzial, wieder. Erst durch langfristige Wiederholung von Anreizen könnten auch gewohnte und unterbewusste Handlungsschemata dauerhaft geändert werden. Extrinsische (u.a. tarifliche) Anreize sind dabei nur ein Instrument. Gewohnheiten lassen sich z.B. nach Heierli/Ackermann (2017) mit tariflichen oder regulatorischen Anreizen und Regelungen schwer durchbrechen (vgl. auch Engel et al. 2018). Als ebenso wichtig gelten daher Verbraucherinformation und verhaltensökonomische Anreize (sog. Nudging), zur Förderung einerseits des sachlichen Verständnisses und andererseits intrinsischer Motive (vgl. Michalek et al 2016, Engel et al. 2018), und natürlich technische Steuerungsmöglichkeiten. Im Folgenden werden zunächst Beispiele für letztere kurz beschrieben und anschließend verschiedene geeignet erscheinende Nudges vorgestellt und thematisiert.

4.2.3 Technische Steuerungsmaßnahmen sowie Entwicklung von verhaltensökonomischen Anreizen und deren Potenzial

Verhaltensökonomische (und auch weitere tarifliche) Anreizsysteme wurden für weitere ausgewählte Optionen im Wasserbereich entwickelt und in ihrer Wirkung berechnet. Dies waren – neben der FlexOpt 7 dezentrale Trinkwasser-Zwischenspeicher – FlexOpt 4: Veränderung der TW-Entnahmezeitpunkte privater Nutzer durch Verlegung der Bewässerung auf netzunkritische Zeitpunkte und FlexOpt 2 und FlexOpt 10 in Kombination: Verzicht auf Bewässerung von Grünflächen und Einsatz von Wassersparteknik in der Bewässerung.

Zudem wurden für den Strombereich konzeptionelle Bausteine hinsichtlich Anreizsystemen für folgende FlexOpt entwickelt: FlexOpt 1: Veränderung der Strom- Entnahmezeitpunkte privater Nutzer, FlexOpt 14: Steuerung und elektrische Ladung von Wärmespeichern in Haushalten und FlexOpt 13: Nutzung von dezentral erzeugter EE, insb. PV-Strom für den Betrieb der Nutzungen, die Lastspitzen erzeugen, z.B. Klimaanlage.

Automatisierte Steuerung von Verbrauchsstellen im Haushalt

Durch eine automatisierte (Fern-)Steuerung von Haushaltsgeräten (z.B. Waschmaschinen und Geschirrspülmaschinen) sowie auch Gartenwasserentnahmestellen können in Situationen mit hoher Nachfrage bzw. Netzbelastung Flexibilitätspotenziale in Haushalten gehoben werden, ohne dass Verbraucher*innen aktiv werden müssen. Waschmaschinen und Geschirrspüler würden dazu von den Haushalten befüllt, Gartenwasserzähler mit entsprechenden Absperrventilen installiert, und dann aber nicht von ihnen selbst, sondern (innerhalb eines garantierten Zeitfensters von z.B. maximal 3 Stunden) von einer Steuerungseinheit oder vom Wasserversorger automatisiert in Zeiträumen mit geringer Nachfrage eingeschaltet. Technisch könnte dies über eine Funksteckdose oder (je nach Ausstattung) über eine Funkeinheit im Gerät selbst realisiert werden. Das Funksignal würde vom Wasserversorger oder vollautomatisiert direkt von technischen Komponenten gesendet. Die Akzeptanz für die Fernsteuerung von Haushaltsgeräten hat sich in den in FLEXITILITY durchgeführten Befragungen jedoch als bislang noch nicht sehr ausgeprägt erwiesen (siehe Kapitel 4.3.3.9, vgl. auch Hermann et al. 2022)

Framing, soziale Vergleiche und weitere verhaltensökonomische Maßnahmen („Nudging“)

Als Voraussetzung für verhaltensökonomische Steuerungsmaßnahmen muss zunächst ein direkter Kontakt zwischen Versorgungsunternehmen und Endverbraucher*innen aufgebaut und etabliert werden. Zumindest im Wassersektor besteht oft nur ein Kontakt zwischen Versorgungsunternehmen und Wohnungsunternehmen/ Immobilieneigentümer*innen. Dies könnten beispielsweise interaktive Apps mit Hinweisen und Tipps sein, Kundenzeitungen oder Informationen auf der Homepage des Versorgers, sowie indirekte Kontakte über Wohnungsunternehmen und Eigentümer*innen als Partner, so z.B. durch Hinweiszettel/ Aufkleber an Haustüren.

Sind Informationen auf eine zielgerichtete Art positiv oder negativ „verpackt“ (auch „**Framing**“ genannt), so können sie nicht nur inhaltlich-kognitiv erfasst werden, sondern wirken auch unterbewusst, indem sie bestimmte Emotionen hervorrufen. Dies können Statusorientierung und Besitzstreben sein. Angesprochene Emotionen können aber auch negativer Art sein, z.B. indem negative Konsequenzen von Nicht-Handeln dargelegt werden (z.B. durch die Aussage „Ohne die Verbraucher*innen-Mitwirkung beim Betrieb des Trinkwassernetzes müsste es zu hohen Kosten ausgebaut werden“). Auch das gezielte Ansprechen von unterbewussten Ängsten wie z.B. aufgrund von Verlustaversion kann als Anregung zur Mitwirkung von Verbraucher*innen dienen (z.B.: „Ohne gemeinsame Anstrengungen werden die niedrigen Wasserpreise in Zukunft nicht zu halten sein“). Thorun et al. (2016) konstatieren, „dass die inhaltliche Darstellung, d.h. das Framing der Informationen“ das Verhalten enorm beeinflussen (S. 26).

Soziales Framing bzw. die Vermittlung von sozialen Normen werden ebenso als mögliche Steuerungsansätze in verschiedenen Konsumbereichen bewertet (vgl. Harries et al. 2013). Für den Wasser- und Energiebereich hingegen konnte ihnen in verschiedenen Studien nur begrenzte Wirkung nachgewiesen werden. Vergleiche mit ähnlichen gesellschaftlichen Gruppen oder Nachbarn hatten z.B. laut Ayres et al. (2013), zitiert nach Meub/ Runst (2019), oder Andor/ Fels (2017) je nach Rahmenbedingungen eine signifikante Wirkung von 1% bis zu 10% auf den Verbrauch von Wasser oder Strom. Allerdings ist die Wirksamkeit von sozialem Vergleich und Verbraucherfeedback eben stark kontextabhängig (vgl. Meub/ Runst 2019). So zeigte eine Differenzierung zwischen Personen, die noch keine bewussten Maßnahmen (zum Wasser- und Stromsparen) umgesetzt hatten und solchen mit bereits geringem Verbrauchsniveau eine abnehmende prozentuale Wirkung mit abnehmendem Verbrauch. Bei vergleichsweise bewusst konsumierenden Haushalten wirkte sich der Vergleich teilweise gar in umgekehrtem Sinne aus und diese Haushalte passten sich ebenfalls den (höheren) Verbrauchswerten der Vergleichsgruppen an, aber eben durch Mehrverbrauch (vgl. Schultz et al. 2007, zitiert nach Meub und Runst 2019, siehe auch Costa und Kahn 2010, zitiert nach Heierli/ Ackermann 2017).

Dennoch könnte gerade im Kontext von technischen Maßnahmen wie der automatisierten Steuerung von Maschinen und/oder des flexiblen Betriebs von Zwischenspeichern ein (anonymer) sozialer Vergleich helfen, die Akzeptanz für Verschiebungen von Wasserverbräuchen zu fördern. Der soziale Vergleich könnte vom Wasserversorger z.B. in quartalsweisen Berichten (in eigenen Publikationsmedien und zusammen mit Wasserrechnungen und ggf. mit Vermittlung durch die

Wohnungsunternehmen) erstellt werden, in denen er über unterschiedliche Erfolge bzw. Nutzen der technischen Maßnahmen zur Verschiebung von Verbräuchen berichtet und die Haushalte ermuntert, sich weiterhin oder noch engagierter zu beteiligen. Zur Erfolgsmessung müssen keine digitalen Zähler in den Haushalten installiert sein, sondern es genügt, dass der Versorger am Hausanschluss die abgegebenen Trinkwassermengen in bestimmten Zeitschritten auswertet.

Eine andere Art des **sozialen Vergleichs** könnte auf Grundlage einer durch den Wasserversorger (ggf. in Kooperation mit Wohnungsunternehmen als direkten Kunden) durchgeführten Befragung unter Haushalten ermöglicht werden: Ähnlich wie im digitalen FLEXITILITY-Reallabor (siehe Kapitel 4.3.3) würden die Haushalte nach ihrer Mitwirkungsbereitschaft zu Verschiebungen von Wasserverbräuchen und nach ihrem tatsächlichen Verhalten befragt. Die Ergebnisse könnten durch den Wasserversorger gezielt nach verschiedenen Haushaltstypen ausgewertet und den Haushalten (in Kooperation mit den Wohnungsunternehmen) individuell zurückgespiegelt werden. Dies könnte z.B. nach dem Muster erfolgen „Andere Zwei-Personen-Haushalte verschieben die Nutzung ihrer Waschmaschinen überwiegend in die Zeit zwischen 21:00h und 07:00h. Versuchen Sie es doch auch öfter, das spart uns Energie (bzw. den Netzausbau/ Kapazitätserweiterungen) und Ihnen Kosten“.

Feedback

In Abgrenzung zum Framing, also der gezielten Vermittlung von Informationen durch bestimmte „Einfärbungen“ und das Ansprechen psychologischer Mechanismen, stellt Feedback einen direkten Bezug zwischen dem persönlichen Verbrauchsverhalten und den Herausforderungen her. Günther et al. 2017 (S. 5) definieren vier Voraussetzungen für effektives Verbraucherfeedback: „Feedback scheint dann besonders wirkungsvoll zu sein,

- wenn es personenbezogen erfolgt (für ein Individuum, nicht für eine Gruppe),
- wenn es während der Handlung erfolgt (so dass der Empfänger unmittelbar darauf reagieren kann),
- wenn es verständlich und einfach zugänglich ist und
- wenn die Verhaltensänderung offensichtlich und mit nur geringem Aufwand verbunden ist.“

Auch Abrahamse et al. (2007) unterstreichen, dass die Effektivität von Feedback gesteigert wird, wenn es unmittelbar nach dem betreffenden Verhalten gegeben wird.

Kombination verschiedener Maßnahmen

Verbrauchslenkende Maßnahmen wirken besser, wenn sie in Kombination angewandt werden, da die Haushalte individuell immer von unterschiedlichen Hemmnissen beeinflusst werden (vgl. Gardner/Stern 2002, zitiert nach Abrahamse et al. 2007, vgl. auch Andor/ Fels 2017). So argumentieren unter anderem Heierli/ Ackermann (2017), dass Informationen an die Verbraucher*innen und soziale Vergleiche mit konkreten Verhaltenstipps kombiniert werden sollten: Sie zitieren Studien von Jessoe/ Rapson (2014) und Degen et al. (2013), nach denen die reine Information über einen Preisanstieg für Energie (auf einem Display des Smart Meters) eine

Reduktion von Stromverbräuchen um 0-7% zur Folge hatte, in Kombination mit konkreten Energiesparhinweisen jedoch um 8-22%.

Vor dem Hintergrund dieser Prämisse haben Abrahamse et al (2007) an zwei Gruppen von Probanden getestet, welchen Effekt die Kombination von maßgeschneiderter Information, individuellen Zielvereinbarungen (5% Reduktion) und maßgeschneidertem Feedback auf den Energieverbrauch hat. Das Ergebnis zeigt auch allgemein, welches Potenzial in der Kombination dieser verhaltensökonomischen Anreize liegt: Nach 5 Monaten hatten die von den Maßnahmen adressierten Haushalte ihren direkten Energieverbrauch im Durchschnitt um 5,1% im Vergleich zum Startzeitpunkt des Feldtests reduziert, während in der Kontrollgruppe ein Mehrverbrauch von 0,7% beobachtet worden war.

Engel et al (2018) haben einen sozialen Vergleich mit einem spielerischen Ansatz kombiniert, bei dem Verbraucher*innen als „Belohnung“ für die Anpassung ihres Energieverbrauchs an die Erzeugung aus Erneuerbaren Energien (EE) sowie für den effizienten Einsatz von Energie Punkte erhalten und sich dabei mit anderen Haushalten in einer bestimmten Community vergleichen können. Die Anreizwirkung wurde zusätzlich verstärkt, indem die Teilnehmenden in Stufen ansteigende Mengen an Punkten gutgeschrieben bekommen, je nach EE-Strommenge im Netz.

Die Wirkung einiger Ansätze für Nudging wurde in den Befragungen in FLEXITILITY plausibilisiert (siehe das folgende Kapitel 4.3 sowie co2online 2021 und 2022, abrufbar unter www.flexitility.de).

4.3 FlexStrat II – Verbraucherinformationen, -akzeptanz und -befragung (co2online)

4.3.1 Endverbraucher*innen und Flexibilisierung

Private Haushalte sind im Durchschnitt für 26% des Strom- und 14% des gesamten Trinkwasserverbrauchs, d.h. einschließlich stofflicher Bindungen, Produktionsprozessen oder Bewässerungen, verantwortlich. Je nach Versorgungsgebiet kann der private Wasserbedarf auch deutlich mehr als der Hälfte der lokalen Trinkwasserproduktion entsprechen. Die Haushalte spielen daher bei dem Ziel, das Dargebot von Strom und Trinkwasser und dessen Nutzung zeitlich besser in Einklang zu bringen, eine wichtige Rolle. Gleichwohl fehlt es auf mehreren Ebenen an den Voraussetzungen dafür, dass Endverbraucher*innen einen nennenswerten Beitrag zur Flexibilisierung der Versorgungssysteme leisten können:

- Technik: Der Rollout intelligenter Messsysteme (Smart Meter), die ein differenziertes Verbrauchsmonitoring und potenziell auch die externe Steuerung von Verbraucher*innen (wie z.B. Wasch- und Spülmaschine, Wärmepumpe, Ladestation) erlauben, ist zeitlich stark im Verzug. Eine flächendeckende Verbreitung der Technik ist nicht gegeben.
- Tarife: Variable Strom- oder Wassertarife, welche lastdienliches Verbrauchsverhalten incentivieren könnten, gibt es derzeit fast gar nicht; der verzögerte Smart Meter Rollout ist hierfür eine von mehreren Ursachen

Wissen: Sowohl auf der Nachfrage- wie auch auf der Angebotsseite fehlt es an Informationen und Wissen: Verbraucher*innen bekommen weder in den Medien noch durch ihre Versorger kommuniziert, dass die Nutzungszeiten von Strom und Wasser Relevanz haben. Die Preise (siehe Tarife) spiegeln dies nicht wider. Gleichzeitig wissen Entscheider wenig über die Bereitschaft der Haushalte, bei der Flexibilisierung der Nachfrage mitzuhelfen. Zur Akzeptanz verschiedener Maßnahmen auf Kundenseite gibt es bislang kaum Untersuchungen. Bei manchen Versorgern besteht auch die Sorge, dass Kunden das Thema Flexibilisierung dahingehend missverstehen könnten, dass die Versorgung nicht mehr gesichert sei

4.3.2 Zielstellung

Vor diesem Hintergrund war es ein zentrales Ziel im Rahmen des FLEXITILITY-Projektes, diese Wissenslücken im Bereich der Endverbraucher*innen zu schließen und damit die Voraussetzungen zu verbessern, künftig private Haushalte beim Thema Lastoptimierung stärker mitdenken zu können. Im Rahmen eines digitalen Reallabors sollten Verbraucher*innen einerseits für das Thema Lastmanagement sensibilisiert werden. Weiter sollte ihre Bereitschaft ermittelt werden, durch angepasstes Nutzungsverhalten bei der Glättung von Verbrauchsspitzen mitzuhelfen. Schließlich sollte auch die Akzeptanz verschiedener Maßnahmen untersucht werden, die einen verbraucherseitigen Beitrag zur Flexibilisierung ermöglichen.

Als kommunikativer Aufhänger sollten Extremwettersituationen wie Hitzewellen oder Dunkelflauten genutzt werden, da sich daran die Notwendigkeit, sich mit dem Thema Lastmanagement zu befassen, exemplarisch darlegen lässt.

4.3.3 Digitales Reallabor mit 1.000 Teilnehmenden

Für die umfassende Verbraucherbefragung zum Themenkomplex Flexibilisierung wurde ein digitales Reallabor über eine ca. 1-jährige Laufzeit konzipiert. Da Privathaushalte bislang nur unzureichend mit der Thematik Flexibilisierung vertraut sind, sollte ausreichend Raum für eine inhaltliche Vorbereitung der Teilnehmenden (TN) gegeben werden. Weiter sollte die Thematik der Verbrauchsanpassung von Strom und Wasser – soweit möglich – auch im Alltag erfahrbar gemacht werden. Deshalb wurden im Verlauf des Reallabors zwei einwöchige Szenarien durchgeführt, bei denen die Haushalte vor dem Hintergrund einer fiktiven Extremwettersituation (Hitzewelle bzw. Dunkelflaute) zur tatsächlichen Anpassung ihres Wasser- bzw. Stromkonsums aufgefordert wurden. Über Befragungen zu Beginn und nach Ende jedes Szenarios wurde evaluiert, wie gut die Verbrauchsanpassung in der Praxis gelang.

4.3.3.1 Methodik

Mit dem digitalen Reallabor sollten durch eine Kopplung empirischer und sozialwissenschaftliche Methoden quantitative wie auch qualitative Erkenntnisse zum Verbrauch und zur Nutzung von Strom und Wasser in Privathaushalten gewonnen werden. Neben sozio-demographischen Merkmalen, Basisdaten zu Gebäude und Haushaltsausstattung wurden auch Einstellungen und Motivationen abgefragt. Auch spielten Fragen zu Formen der Kommunikation (auch unter

Nutzung von A/B-Tests) und Ansprache eine wichtige Rolle, um daraus Empfehlungen für die Einbindung der Kunden beim Thema Flexibilisierung generieren zu können.

4.3.3.2 Technische Umsetzung

Für die Umsetzung des digitalen Reallabors entwickelte das Konsortium unter Federführung von co2online eine technische Infrastruktur mit folgenden Bestandteilen:

- Webseite für die Teilnehmenden (TN) des Reallabors,
- App für TN des Reallabors,
- Regelmäßige E-Mailings (u.a. für Online-Befragungen), hierfür Nutzung des Customer Relation Management (CRM) Tools Episerver / Optimizely,
- SMS-Service (Alternativoption zu E-Mails)
- Datenbank zur anonymisierten Speicherung und Auswertung der Befragungsergebnisse

4.3.3.3 TN-Akquise und -Betreuung

Im Frühjahr 2020 verschickte die co2online gmbH an die ca. 110.000 Leser*innen ihres Newsletters einen Aufruf zur Teilnahme an dem digitalen Reallabor. Statt der avisierten 500 Haushalte meldeten sich über 1.000 Haushalte zur Teilnahme am Reallabor an.

Alle TN erhielten über die Webseite einen persönlichen Bereich mit geschütztem Login, den sie sowohl über Browser wie auch über die eigens programmierte App aufrufen konnten. In der App war neben umfangreichen Themendossiers auch ein einfaches Energiemanagement Tool integriert, in dem persönliche Zählerstände für Strom und Wasser erfasst werden konnten. Dies erlaubte das Messen von Verbrauchsveränderungen, die zum Beispiel während der thematischen Szenariowoche erreicht werden konnten.

Die Kommunikation mit den TN erfolgte überwiegend per E-Mail. Für kurzfristige Aufrufe zur Verhaltensanpassung während der zwei thematischen Szenarien konnte alternativ das Empfangen von SMS-Nachrichten statt E-Mails ausgewählt werden.

Bei der Kommunikation mit den TN wurde sehr auf eine wohlwollende und persönliche Ansprache geachtet, um dadurch eine Identifikation mit der Zielsetzung und eine geringe Absprungrate zu erreichen („Kundenbindung“). Rückfragen waren explizit erwünscht und wurden immer kurzfristig beantwortet. Außerdem wurden kleinere Incentives (z.B. Wassersparduschköpfe) unter jenen TN verlost, die z.B. eine Befragung oder eine Szenariowoche erfolgreich komplettiert hatten.

Eine enge Betreuung und teilweise Incentivierung der Teilnehmenden beinhaltet immer das Risiko, erwünschtes Verhalten zu kreieren, dies war dem Konsortium bewusst. Dem gegenüber stand die Überlegung, dass in der Realität Aufrufe zur Verhaltensanpassung im Falle eines Extremwetterereignisses durch die lokalen Versorger erfolgen würden. Vor diesem Hintergrund stellte die sehr kundenzentrierte Form der Ansprache ein angemessenes und realistisches Szenario dar.

4.3.3.4 Ablauf des Reallabors

Das digitale Reallabor erstreckte sich über einen Zeitraum von 15 Monaten zwischen April 2020 und Juli 2021⁶.



Abbildung 22: Zeitlicher Ablauf des digitalen Reallabors

4.3.3.5 Anfangsbefragung

In einer Anfangsbefragung wurden zum einen sozio-demographische Merkmale der Teilnehmenden erfasst, außerdem die Ausstattung der Haushalte sowie verschiedene Einstellungen im Themenfeld Energie- und Wasserkonsum. Nachfolgend ausgewählte Merkmale der Stichprobe, differenziert danach, ob das Zuhause im Eigentum des Haushalts oder gemietet ist.

Anfangsbefragung	Eigentümer*innen	Mieter*innen
Teilnehmende an Befragung (n)	701	201
Ein-/Zweifamilienhaus, Reihenhau, Doppelhaushälfte	88,6%	25,5%

⁶ Der Zeitraum deckte sich zufällig mit dem Beginn der COVID-19-Pandemie. Die Frage, ob und inwieweit die sehr gute Teilnahme an dem Reallabor durch den Lockdown begünstigt wurde, war nicht Gegenstand der Umfragen und kann daher nicht beantwortet werden.

Anfangsbefragung	Eigentümer*innen	Mieter*innen
Garten	94,3%	46,5%
Anzahl Haushaltsmitglieder	2,88	2,25
Alter, größte Teilgruppen	51-60 Jahre (30%) 61-70 Jahre (27%) 41-50 Jahre (18%)	30-40 Jahre (27%) 51-60 Jahre (21%) 41-50 Jahre (17%)
Berufsstand, größte Teilgruppen	Angestellte (37,0%) Rentner* /Pensionär*in (33,5%) Selbständig (8,7%)	Angestellte (54,5%) Rentner* /Pensionär*in (12,0%) Selbständig (12,0%)

Tabelle 8: Anfangsbefragung Reallabor, ausgewählte Merkmale

Die Anfangsbefragung belegte eine hohe Bereitschaft der Haushalte, über begrenzte Zeiträume hinweg (zum Beispiel in einer Extremwettersituation) ihr Verhalten anzupassen, wenn sie vom Versorger darum gebeten oder unterstützt werden. Über die gesamte Stichprobe waren 97% der Befragten zu einer solchen Verhaltensanpassung bereit (Abbildung 23).

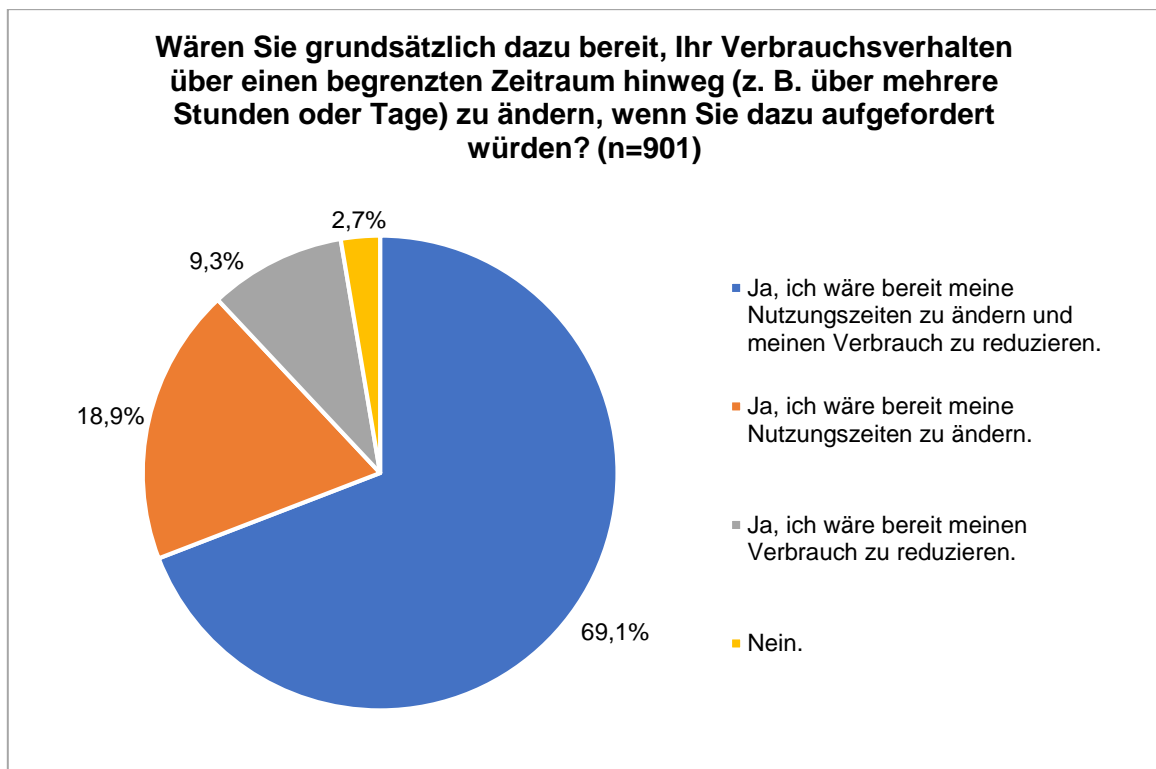


Abbildung 23: Bereitschaft zur temporären Anpassung des Nutzungsverhalten von Strom und Wasser

Jene 2,7% der Befragten, die eine Bereitschaft zur Verhaltensanpassung verneint hatten, wurden anschließend gefragt, was sie motivieren könnte, ihr Verhalten doch anzupassen. Hier spielen

klare Informationen zum Zweck und Nutzen der Maßnahmen, aber auch finanzielle Anreize eine wichtige Rolle.

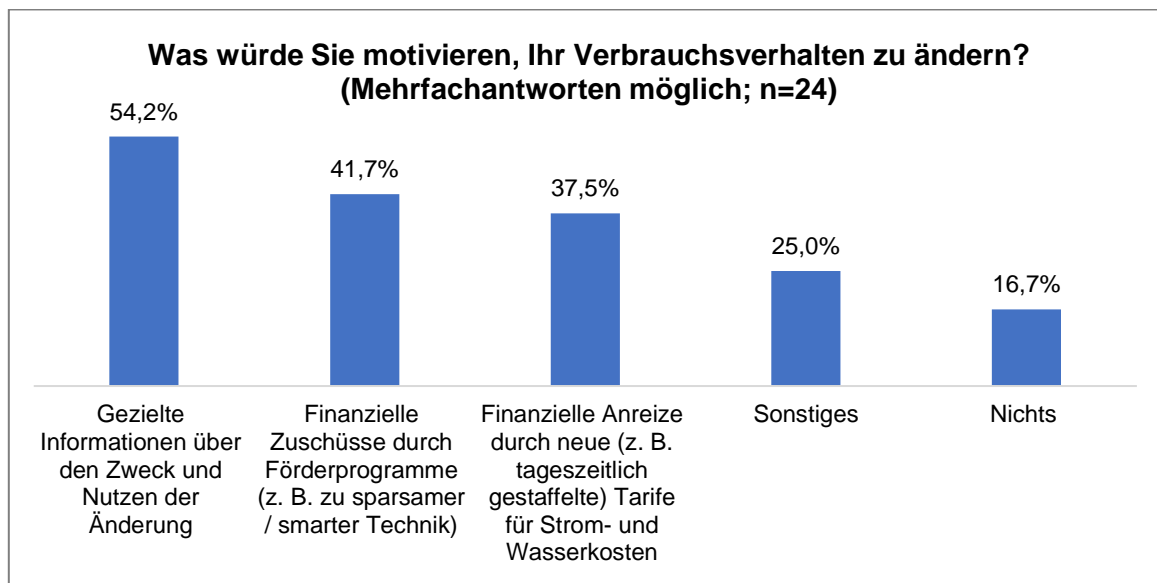


Abbildung 24: Anreize zur Anpassung des Verbrauchs von Strom und Wasser

4.3.3.6 Szenario 1: Hitzeperiode

In der ersten thematischen Szenariowoche (Juni 2020) wurden die Teilnehmenden gebeten sich vorzustellen, dass aktuell das Extremwetterereignis einer Hitzeperiode mit großer Trockenheit vorherrscht. In dieser Situation wurden den Teilnehmenden über verschiedene Medien (E-Mail, SMS) täglich Hinweise oder Nutzertipps zugeschickt, wie sie durch angepasstes Nutzerverhalten die Nachfrage nach Wasser verringern bzw. zeitlich verschieben könnten. Ziel des Szenarios war es, zu ermitteln, ob und inwieweit die Teilnehmenden tatsächlich ihren Wasserkonsum im Alltag ändern konnten.

Vor Beginn und nach Abschluss der Szenariowoche wurden die Teilnehmenden gebeten, eine kompakten Online-Fragebogen auszufüllen. Der Fokus der Fragen lag bei der ersten Befragung auf der Selbsteinschätzung, ob sie den Wasserverbrauch reduzieren oder zeitlich verschieben könnten, in der Nachbefragung darauf, ob und wie gut ihnen dies tatsächlich gelungen ist.

Die Möglichkeiten dafür, den Wasserverbrauch in der Szenariowoche reduzieren zu können sahen nur 10 % (Eigentümer*innen) bzw. 18 % (Mieter*innen) als hoch an. Dies lag vor allem daran, dass 84 % (Eigentümer*innen) bzw. 92 % (Mieter*innen) bereits wassersparendes Verhalten im Alltag praktizieren. 53 % (Eigentümer*innen) bzw. 41 % (Mieter*innen) gaben an, bereits in wassersparende Technik (z.B. Sparduschköpfe, Perlatoren) investiert zu haben.

Bezüglich der Verschiebung der Wasserentnahme stufen 22 % (Eigentümer*innen) bzw. 28 % (Mieter*innen) ihre Möglichkeiten als hoch ein. Hierzu planten knapp die Hälfte der Befragten, ihre Haushaltsgeräte gezielt zu anderen Zeiten zu betreiben. Aber auch die Verschiebung des Duschens in Zeiten außerhalb der Hauptentnahmezeit planten 33 % (Eigentümer*innen) bzw. 40 % (Mieter*innen) der Befragten.

Nach Abschluss der Szenariowoche wurden die Teilnehmenden erneut befragt. Nach Selbsteinschätzung konnten 35% % der Befragten ihren Wasserverbrauch reduzieren (Abbildung 25), die am stärksten umgesetzten Maßnahmen waren kürzere Duschzeiten (82%), weniger Gartenbewässerung (48%) sowie Nutzung der Hausgeräte im Eco-Programm (42%).

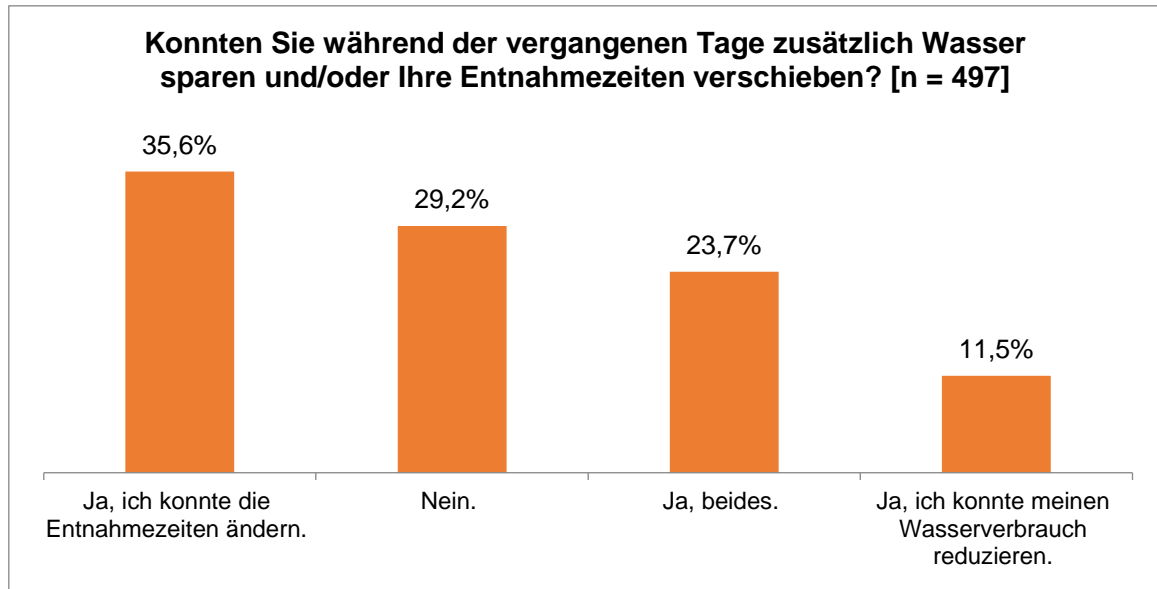


Abbildung 25: Selbsteinschätzung des Erfolgs beim Einsparen oder Verschieben des Wasserverbrauchs in Szenario 1 "Hitzewelle"

Deutlich stärker war der Effekt bei der zeitlichen Verschiebung der Wassernutzung. 58% der Befragten bestätigten, hierzu Maßnahmen umgesetzt zu haben und damit eine mittelgroße (59%) oder sogar große (20%) Wirkung erzielt zu haben. Bei den Maßnahmen war das Betreiben der Haushaltsgeräte zu anderen Zeiten mit 82% am häufigsten genannt, obgleich nur knapp jede*r Zweite dies vor der Woche geplant hatte. Auch die Verschiebung des Duschens in Zeiten außerhalb der Hauptentnahmezeit betätigten 61% der Teilnehmenden in der Nachbefragung, obgleich dies nur 33-40% der Befragten vor der Woche erwartet hatten.

4.3.3.7 Szenario 2: Dunkelflaute

In der zweiten thematischen Szenariowoche (November 2020) wurden die Teilnehmenden gebeten sich vorzustellen, dass aktuell das Extremwetterereignis einer Dunkelflaute mit Windstille und bedecktem Himmel vorherrsche. Da in dieser Wetterlage die Stromproduktion von Windenergieanlagen und Photovoltaikanlagen sehr niedrig ist, müssen teure Gaskraftwerke zur Abdeckung der Spitzenlast hochgefahren werden. Den Teilnehmenden am Reallabor wurden daher über verschiedene Medien (E-Mail, SMS) täglich Hinweise oder Nutzertipps zugeschickt, wie sie durch angepasstes Nutzerverhalten die Nachfrage nach Strom verringern bzw. zeitlich verschieben können. Ziel des Szenarios war es, zu ermitteln, ob und inwieweit die Teilnehmenden tatsächlich ihren Stromkonsum im Alltag ändern konnten.

Wie schon im ersten Szenario wurden die Teilnehmenden vor Beginn und nach Abschluss der Szenariowoche darum gebeten, einen kompakten Online-Fragebogen auszufüllen. Der Fokus der Fragen lag bei der ersten Befragung auf der Selbsteinschätzung, ob sie den Stromverbrauch

reduzieren oder zeitlich verschieben könnten, in der Nachbefragung darauf, ob und wie gut ihnen dies tatsächlich gelungen ist.

Die Frage, ob sie bereits Maßnahmen zur Reduzierung oder zeitlichen Verschiebung des Stromverbrauchs ergreifen, beantworteten über 90% positiv (Abbildung 26).⁷

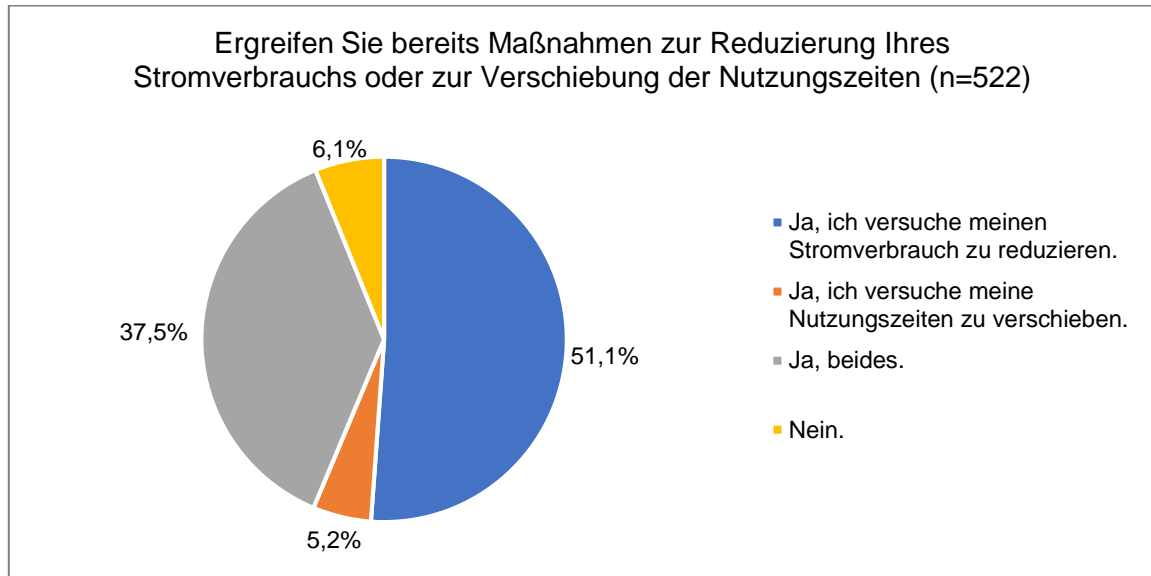


Abbildung 26: Teilnehmende am Reallabor, die bereits Maßnahmen zur Reduzierung oder Verschiebung des Stromverbrauchs ergreifen

Gegenstand der Eingangsbefragung zum Szenario 2 waren auch smarte, also digital vernetzte Hausgeräte. Solche smarten Geräte erlauben beispielsweise die Anzeige von Statusinformationen oder die Fernbedienung der Geräte über eine App per Smartphone oder Tablet. Smarte Hausgeräte können potenziell auch in intelligente Stromnetze (SmartGrids) eingebunden werden, so dass sie sich genau dann anschalten, wenn der Strom günstig ist oder viel erneuerbarer Strom zur Verfügung steht.

Weniger als 15% der Befragten sagten aus, bereits im Besitz eines oder mehrerer smarter Hausgeräte zu sein. Je sechs Befragte gaben an, dass ihre Wasch- bzw. Spülmaschine in der Lage ist, sich abhängig vom Strompreis bzw. dem Stromangebot der eigenen Solaranlage automatisch anzuschalten.

Die Möglichkeiten dafür, den Stromverbrauch in der Szenariowoche reduzieren zu können sahen nur 15 % als hoch an. Als wichtigste geplante Maßnahmen wurden das Abschalten unnötiger Beleuchtung (83%) sowie das Vermeiden von Stand-By-Verlusten (71%) genannt. Bezüglich der

⁷ Die im Vergleich zum ersten Szenario deutlich höhere Anzahl an Haushalten, die von sich sagen, bereits Maßnahmen zur Verschiebung des Verbrauchs zu ergreifen, ist vermutlich in Teilen dadurch begründet, dass der zeitlich optimierte Betrieb von Wasch- und Spülmaschinen bereits im Szenario 1 eine wichtige Maßnahme darstellte. Hier ist von einem Lerneffekt bei einigen Teilnehmenden durch das erste Szenario auszugehen.

Verschiebung der Stromnutzung stuften 37 % ihre Möglichkeiten als hoch ein. Hierzu planten gut die Hälfte der Befragten, ihre Haushaltsgeräte gezielt zu anderen Zeiten zu betreiben.

Nach Abschluss der Szenariowoche wurden die Teilnehmenden erneut befragt. Nach Selbsteinschätzung konnten 23,4 % der Befragten ihren Stromverbrauch reduzieren, jedoch weit überwiegend in mittlerem (50,5 %) bzw. geringem (40,5 %) Ausmaß. Das geringe Maß der Einsparung liegt stark darin begründet, dass eine Vielzahl an Maßnahmen bereits zuvor im Alltag angewendet wurde (Abbildung 27).

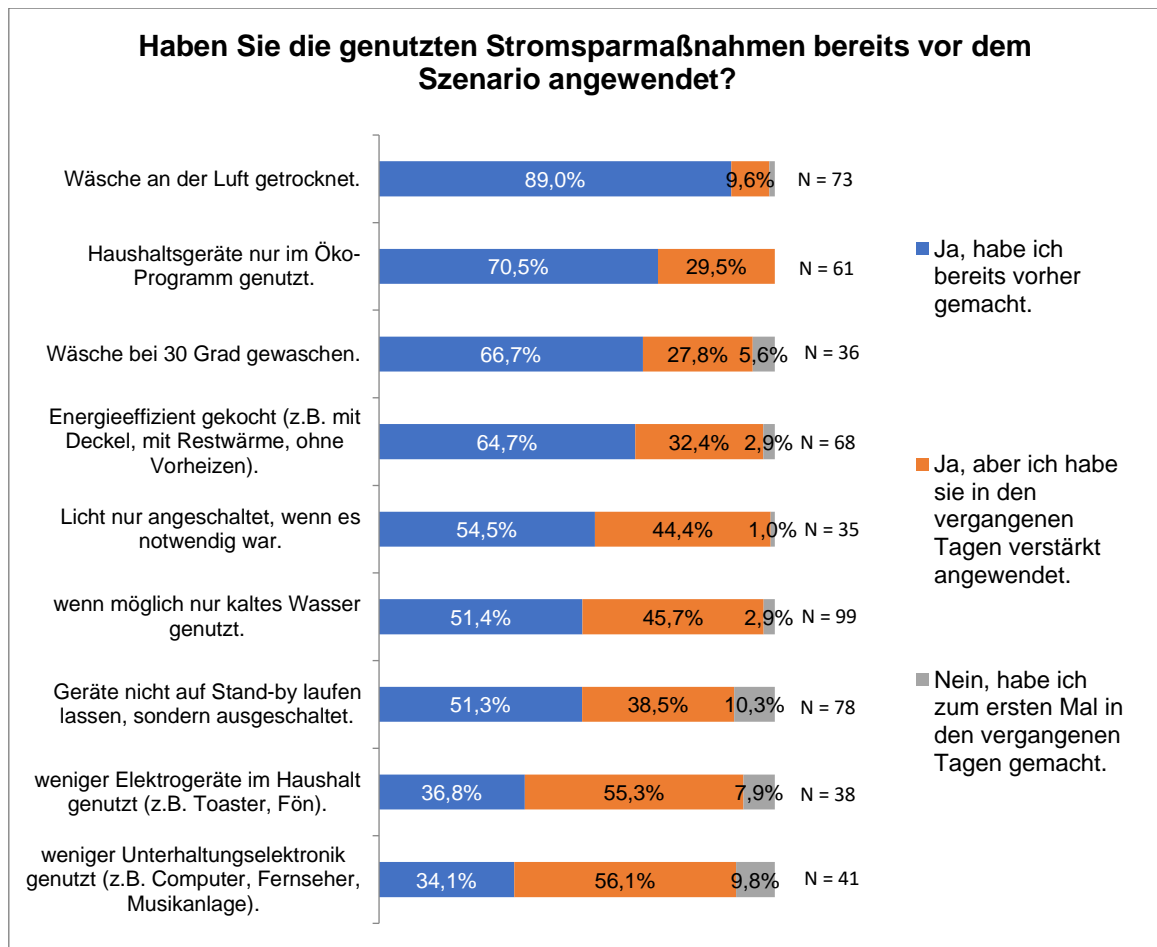


Abbildung 27: Angewendete Stromsparmaßnahmen im Reallabor

Über die Hälfte der Befragten gab an, Teile der Stromnutzung in der Szenariowoche kurzfristig, also innerhalb eines Tages, verschoben zu haben. Den Effekt dieser Maßnahmen schätzten die Befragten merklich stärker ein als bei der Reduzierung des Stromverbrauchs.

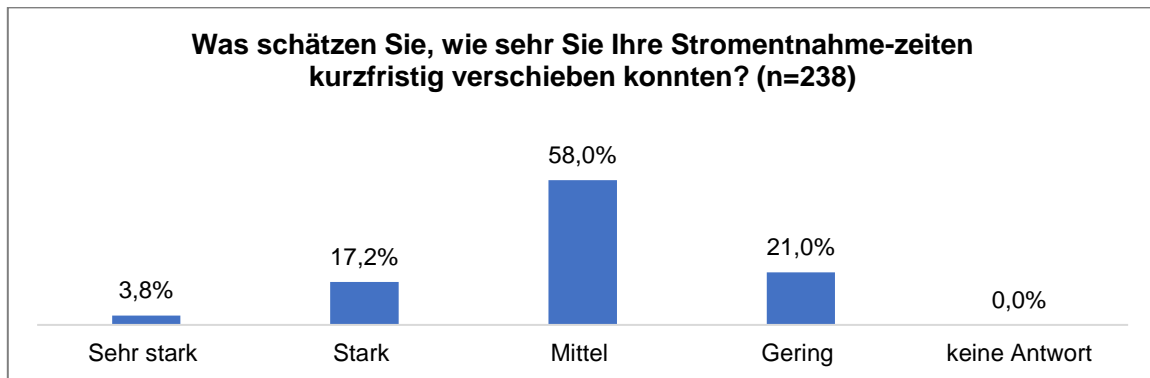


Abbildung 28: Größenordnung der kurzfristigen Lastverschiebung Strom gemäß Selbsteinschätzung der Teilnehmenden am Reallabor

Die Verschiebung der Einschaltzeiten für Waschmaschine, Trockner und Spülmaschine war mit über 90% die wichtigste Maßnahme zur Lastverschiebung, gefolgt vom Verschieben des Aufladens von Laptops, Tablets oder Smartphones (44,5%). Erstere Maßnahme nutzten 21% der Teilnehmenden zum ersten Mal, die letztere Maßnahme sogar 40%.

25,3 % der Befragten gaben an, auch mittelfristige Verschiebungen, das heißt Verschiebungen um mehr als einen Tag, in der Szenariowoche umgesetzt zu haben, mit ähnlich starker Größenordnung wie bei den kurzfristigen Verschiebungen.

Lastverschiebungen um einen Tag sahen 97,5% der Haushalte als unproblematisch an. Auch bei Verschiebungen um 2 Tage waren dies noch 85 % der Befragten. Bei Verschiebungen um drei Tage sinkt die Zustimmung auf 55%, bei vier Tagen auf 30% und bei 5 Tagen auf 15,8% der Befragten.

Im Rahmen des Szenarios wurden auch A/B-Tests umgesetzt. Die Teilgruppe A erhielt am zweiten Tag des Szenarios die Nachricht, dass sich der Strompreis in den Spitzenlastzeiten um 2 ct/kWh erhöhe, die Gruppe B bekam diese Nachricht nicht. In der Auswertung konnte jedoch kein verstärktes Umsetzen von Maßnahmen zur Lastverschiebung bei Teilgruppe A festgestellt werden. Weiter erhielt Teilgruppe A am vierten Tag des Szenarios Maßnahmentipps, die angeblich von anderen Teilnehmenden des Reallabors umgesetzt wurden (sozialer Vergleich), Teilgruppe B erhielt dieselben Tipps, jedoch ohne den sozialen Vergleich. In der Auswertung konnte jedoch kein signifikanter Effekt des sozialen Vergleichs festgestellt werden.

4.3.3.8 Dokumentation des Strom- und Wasserverbrauchs per App

In der für das Reallabor programmierten App war die Möglichkeit eingerichtet worden, in einem einfachen Interface die Zählerstände von Strom- und Wasserzähler einzugeben und sich Verbrauchskurven anzeigen zu lassen. In beiden Szenarien wurden die Teilnehmenden aufgefordert, in der Woche vor dem Szenario die Zählerstände zu Beginn und zum Ende der Woche zu erfassen (Referenzverbrauch). Ebenso sollten zu Beginn und zum Ende der tatsächlichen Szenariowoche die Zählerstände eingetragen werden, um ggf. eine Veränderung des Verbrauchs im Vergleich zum Referenzverbrauch ermitteln zu können.

In Szenario 1 erfassten 59 Teilnehmende ihre Zählerstände für den Wasserverbrauch, in Szenario 2 waren es 321 für den Stromverbrauch.

Die Auswertung der unbereinigten dokumentierten Zählerstände ergab kein einheitliches Bild. In keinem der beiden Szenarien konnte eine Reduzierung des Wasser- bzw. Stromverbrauchs messtechnisch klar nachgewiesen werden, Haushalte mit geringerem und mit höherem Verbrauch hielten sich ungefähr die Waage. Hierzu ist jedoch anzumerken, dass keinerlei Bereinigung (Klimabereinigung, tatsächlich anwesende Personen im Haushalt) der Daten vorgenommen wurde. Weiter hatten viele Haushalte angegeben, zahlreiche der Einsparmaßnahmen schon zuvor im Alltag verwendet zu haben, weshalb Einsparungen auch deshalb wenig wahrscheinlich waren.

Effekte der Lastverschiebung können durch Zählerstandfassung nicht ermittelt werden.

4.3.3.9 Abschlussbefragung Reallabor

Im Dezember 2020 wurden die Teilnehmenden zu den übergreifenden Erfahrungen im Reallabor befragt.

Die Frage, ob der Anlass eines Extremwetterereignisses Einfluss auf ihre Bereitschaft gehabt habe, Maßnahmen umzusetzen, beantworteten 36% mit Ja, 55% hätten die Maßnahmen aber auch ohne diesen Kontext umgesetzt.

Befragt nach den Motiven, Ihr Verbrauchsverhalten für Strom und Wasser anzupassen, war der sorgsame Umgang mit Ressourcen sowie der Umwelt- und Klimaschutz die wichtigsten Motive.

Das Anschalten von Waschmaschine und Geschirrspüler waren mit ca. 70% die deutlich am häufigsten genutzten Maßnahmen zur Lastverschiebung. Die Bereitschaft, hierbei technische Hilfsmittel zu nutzen, ist dabei durchaus groß, doch gibt es bei einer externen Steuerung noch deutliche Vorbehalte.

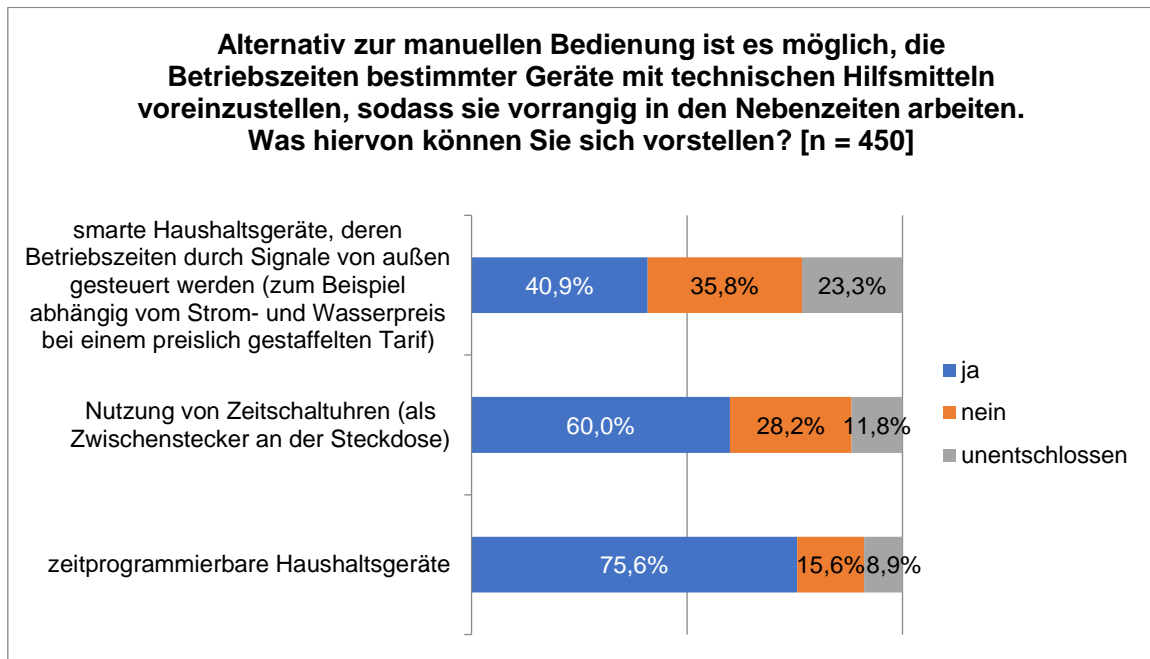


Abbildung 29: Akzeptanz technischer Hilfsmittel bei der Laststeuerung von Hausgeräten

Aber auch investive Maßnahmen wurden während des Reallabors umgesetzt: 157 von 450 Befragten gaben an, zwischen April und Dezember 2020 ein energiesparendes Hausgerät angeschafft zu haben: 38% ein Kühlgerät, 17% eine Waschmaschine, 13% eine Spülmaschine und 8% einen Trockner. Das Motiv des Kaufs war bei knapp der Hälfte der Ersatz eines defekten Altgeräts, doch immerhin 34% ersetzen ein noch betriebsfähiges ineffizientes Altgerät ersetzt.

Die Frage, ob die Haushalte damit einverstanden wären, vom Versorgungsunternehmen kontaktiert zu werden, damit Angebot und Nachfrage von Strom und Wasser besser in Einklang gebracht werden können, bejahten 95% im Falle eines Extremwetterereignisses und auch 90% im Alltag. 60-70% wünschen sich solche Kontaktaufnahmen nur anlassbedingt, während sich regelmäßige Formate (täglich, wöchentlich, monatlich) eher geringer Beliebtheit erfreuen.

71% würden solche Nachrichten Ihres Versorgers am liebsten per E-Mail erhalten, 38% würden auch eine App nutzen, 27% wären mit SMS-Nachrichten einverstanden, aber nur 8% mit telefonischen Anrufen.

4.3.3.10 Sonderbefragung zum Thema Tarifmodelle

Neben anderen Fragestellungen wurde auch das Thema Tarifmodelle im Frühjahr 2021 im Nachgang nochmals im Rahmen einer Sonderbefragung adressiert und vertieft. Über 400 Personen, die zuvor auch am Reallabor teilgenommen hatten, füllten den Fragebogen vollständig aus, unterteilt in zwei Gruppen (A und B).

Lastvariable Tarife

Ein Ziel war es, zu ermitteln, ob ein **erhöhter Arbeitspreises** für Trinkwasser in den Zeiten von 6 bis 9 Uhr und 16 bis 21 Uhr Haushalte dazu veranlasst, den Wasserverbrauch zu reduzieren oder

in die Nebenzeiten zu verschieben. Weiter sollte mittels A/B-Test ermittelt werden, ob ein höherer Preisaufschlag zu einer stärkeren Reaktion der Haushalte führt.

Die Bereitschaft zur Reduzierung oder Verschiebung des Wasserverbrauchs fiel in beiden Gruppen mit ca. 90% hoch aus, die Nachfrage ist folglich preiselastisch. Die avisierten Preiserhöhungen (Gruppe A: 20 Prozent Mehrkosten, Gruppe B: 50 Prozent Mehrkosten) führten jedoch nicht zu unterschiedlich starken Reaktionen.

Auch die umgekehrt formulierte Frage mit einem **abgesenkten Arbeitspreis** außerhalb der Haupt-Nachfragezeiten, erbrachte sehr ähnliche Ergebnisse: Auch hier würden knapp 90% der Haushalte ihr Verhalten anpassen. Und auch hier bestand kein Unterschied zwischen einer 20- und einer 50-prozentigen Absenkung.

Aus den Antworten lässt sich folgern, dass das Maß der Preisanpassung weniger wichtig ist als das grundsätzliche Signal, dass Trinkwasser in den Peak-Zeiten teurer ist als in den Off-Peak-Zeiten.

Verbrauchsabhängige Tarife

Über Mengenkontingente, die unterschiedliche Preise aufweisen, lassen sich Anreize vor allem für die Begrenzung des Wasserkonsums setzen. Hierzu wurde folgende Frage gestellt:

Stellen Sie sich vor, Sie erhalten **einen vergünstigten Tarif für eine tägliche „Grundversorgung“ mit Wasser, zahlen aber 50 Prozent mehr für Verbräuche, die darüber hinaus gehen**. Die vergünstigte Grundversorgung umfasst 100 Liter pro Person und Tag, was ungefähr die üblichen alltäglichen Bedürfnisse abdeckt. Sie erhalten auf Wunsch kostenlos eine Anzeigefunktion vom Wasserversorger, die sie laufend über Ihr aktuelles Verbrauchsniveau informiert.

Auch bei diesem Tarifmodell ist eine Zustimmungsquote von 90% gegeben (Abbildung 30).

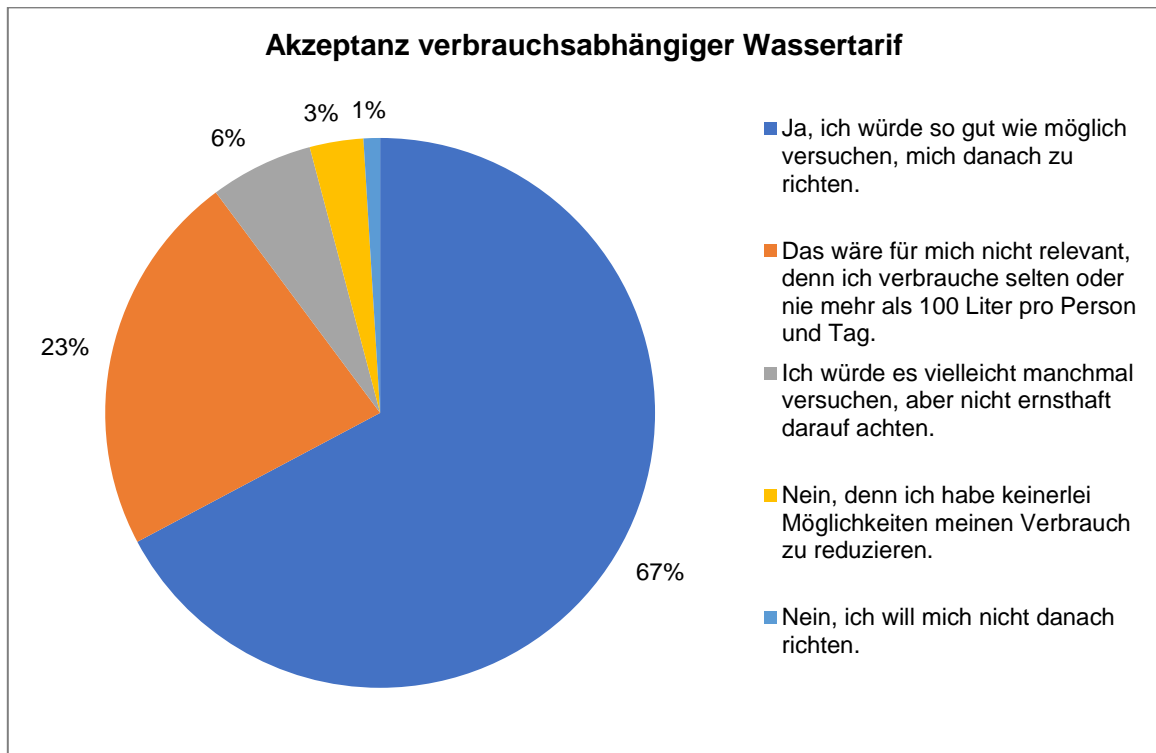


Abbildung 30: Akzeptanz eines verbrauchsabhängigen Wassertarifs

Dezentrale Wasserspeicher

Eine weitere Frage adressierte die Idee, mit dezentralem Zwischenspeicher eine Glättung der Wassernachfrage zu erreichen. Hierzu wurde folgende Frage gestellt:

Stellen Sie sich vor, Ihr Wasserversorger bittet Sie (bzw. Ihren Vermieter) um die **Installation eines Trinkwasser-Hausspeichers**. Dieser soll als Puffer zwischen Versorgungsnetz und Ihren Hausleitungen dienen und mindestens das Volumen eines Tagesverbrauchs Ihres Hauses fassen. Dadurch kann der Wasserversorger Kosten für die Versorgung sparen. Als **Gegenleistung erhalten Sie einen vergünstigten Tarif** und aufgrund des Speichervorrats eine erhöhte Versorgungssicherheit bei Ausfällen der Trinkwasserversorgung. Aufgrund des vergünstigten Tarifs würde sich die Investition spätestens nach 10 Jahren finanziell lohnen.

Dieser Vorschlag trifft bei den befragten Hauseigentümer*innen auf grundsätzlich großes Interesse: 54% wären bereit, hierfür Geld zu investieren, 34% fänden die Idee, gut, wollen aber nicht investieren, während 10% daran kein Interesse hätten.

4.3.4 Analoge Befragung in Bitterfeld-Wolfen

Die Entscheidung, die Akquise der Teilnehmenden des digitalen Reallabors im Kreise der Abonent*innen des co2online Newsletters umzusetzen, basierte auf der starken Erwartung, dass es sich hierbei um eine Gruppe von Haushalten handelt, die grundsätzlich stark an Themen rund ums eigene Haus und Fragen zu effizienter Ressourcennutzung interessiert ist; eine voraussichtlich hohe Teilnahmebereitschaft und geringe Abbruchquote waren zentrale Kriterien. Gleichwohl war den Autor*innen immer bewusst, dass die Stichprobe im Reallabor nicht

bevölkerungsrepräsentativ war. So waren beispielsweise die höchsten Bildungsabschlüsse im Mittel höher und der Anteil an Eigenheimbesitzenden größer als im Bundesdurchschnitt.

Vor diesem Hintergrund entstand die Idee, zentrale Fragen des Reallabors nochmals im Rahmen einer analogen Befragung im Fokusgebiet Bitterfeld-Wolfen zu überprüfen. Hierfür schickte die Stadtentwicklungsgesellschaft Bitterfeld-Wolfen (STEG) im Herbst 2021 insgesamt 500 Haushalten, deren Adressen über das Einwohnermeldeamt bereitgestellt worden waren, einen gedruckten Fragebogen mit Rückumschlag zu. 53 vollständig ausgefüllte Bögen standen für die Auswertung zur Verfügung.

Eingangs wurde abgefragt, ob die Haushalte bereits Wasser und Strom sparen oder sich über Maßnahmen informiert haben, was 95% bejahten. 52% gaben an, sich bereits so sparsam wie möglich zu verhalten. Während diese Werte ähnlich sind mit den Antworten des digitalen Reallabors, gibt es bei den Motiven Unterschiede. Während in der Stichprobe des digitalen Reallabors die Motive „Sorgsamer Umgang mit Ressourcen“ sowie „Beitrag zum Klima- und Umweltschutz“ mit je 85-90% Zustimmung dominant waren, gefolgt vom Motiv „Geld sparen“ (54%), war die meistgenannte Antwort in Bitterfeld-Wolfen „Geld sparen“ (73%) vor „Ressourcen schonen“ (62%) und „Beitrag zu Klima- und Umweltschutz“ (49%).

Auch die Befragten in Bitterfeld-Wolfen bejahten mehrheitlich (75%), dass sie Ihre Wasserverbräuche zeitlich verschieben würden, wenn der Wasserpreis außerhalb der Peak-Zeiten 50% günstiger wäre. Vor allem die Tätigkeiten Baden (48 %) und Duschen (36 %) würden hierzu in vollem Umfang in günstigere Zeiten verschoben werden.

Ähnlich fand auch der Vorschlag eines verbrauchsabhängigen Wassertarifs (vgl. Abbildung 30) mehrheitlich Zustimmung (78%), diese ist etwas weniger als bei den Teilnehmenden des digitalen Reallabors (90%).

Damit Wasch- und Spülmaschine nicht während der Spitzenverbrauchszeiten eingeschaltet werden, könnte der Wasserversorger künftig geeignete, d.h. smarte Geräte innerhalb eines vorab definierten Zeitraums ferngesteuert einschalten, nachdem der Haushalt zuvor den Startknopf betätigt hatte. Doch diese Art des externen Zugriffs wurde seitens der Befragten in Bitterfeld-Wolfen noch sehr skeptisch gesehen: Nur ca. 20% der Befragten wären hierzu bereit, die meisten davon nur dann, wenn sie dadurch auch Kosten sparen können.

Weitaus mehr Akzeptanz fanden Ansätze, die auf Information setzen und die Autonomie der Haushalte nicht einschränken. So würden Aufkleber an wichtigen Trinkwasser-Verbrauchsstellen über 50% der Befragten dazu motivieren, ihre Entnahmezeiten freiwillig zu verschieben – unabhängig von der Wettersituation oder finanziellen Anreizen (Abbildung 31). Der Anteil der Befragten, die solchen Maßnahmen eine große Wirkung zuschreiben lag in Bitterfeld etwas höher als im digitalen Reallabor.



Abbildung 31: Wirkung von Aufklebern mit Hinweisen zur Verschiebung von Trinkwassere-Nutzungszeiten

4.3.5 Bewertung und Ausblick

Der Klimawandel ist in Deutschland nicht nur in Daten nachweisbar, sondern inzwischen auch spürbar. Die Schaffung und Vorhaltung der Bewältigungskapazität für Zeiten höchster Infrastrukturanforderungen während extremer Wetterlagen ist eine Notwendigkeit, die auf alle Versorger zukommt und hohe Kosten verursacht. Verstärktes Lastmanagement kann hierbei im Vergleich zum teuren Ausbau der technischen Infrastruktur die wirtschaftlichere Alternative sein.

Die Bereitschaft der Kundenseite, hierbei durch Verhaltensanpassungen mitzuwirken, ist vorhanden und sollte bei der Erarbeitung von Anpassungsstrategien als Option mit betrachtet werden. Schon mit kostengünstigen Informations- und Kommunikationsmaßnahmen kann ein relevanter Beitrag zur Senkung von Lastspitzen erwartet werden. Auch die Einführung zeitvariabler Wassertarife würde seitens der Kunden überwiegend positiv aufgenommen. Lediglich die teilautomatisierte Laststeuerung mittels fernschaltbarer Haushaltsgeräte müsste zuvor mit umfangreicher Aufklärungsarbeit vorbereitet werden, da hierzu aktuell die Vorbehalte der Haushalte noch groß sind.

4.4 FlexStrat III – städtische Infrastrukturpolitik und Stadtplanung (EAA)

Das Ziel von Arbeitspaket 4 bestand darin, auf der städtisch-administrativen Ebene Flexibilitätsoptionen zu identifizieren und Umsetzungsstrategien zu erörtern. Ein weiteres Ziel bestand in der konzeptionellen Auseinandersetzung mit dem Konstrukt des Reallabors. Dabei sollte die Rolle von Kommunalpolitik und -Verwaltung in der Gestaltung städtischer Transformationsprozesse untersucht und hierfür eine lokale Innovationsarena aufgebaut werden, die Raum für eine breite Beteiligung bietet. Im Rahmen der FLEXITILITY-Forschung wurden städtisch-administrative Flexibilitätsoptionen (FlexOpt) ausgearbeitet - die Mehrzahl lässt sich mit bestehenden Instrumenten der Raumplanung bereits realisieren. Insbesondere bieten §9 Abs.1 des BauGB und die örtlichen Bauvorschriften der Bauordnung LSA §85 Möglichkeiten für die Festsetzung von Maßnahmen, um mehr Flexibilität im Betrieb von Infrastruktursystemen in Extremwetterlagen wie Starkniederschlag und Hitzeperioden zu erreichen. Die ausgearbeiteten FlexOpt reduzieren das Risiko der Überlastung technischer Infrastruktursysteme und schützen die Bevölkerung vor Gefahren in Extremwetterlagen. Zur Steigerung der Bewältigungskapazitäten wurden Flexibilitätsstrategien für die Starkregen- und Hitzevorsorge ausgearbeitet, deren Implementierung auf Verwaltungsebene angezeigt ist. Für die Starkregenvorsorge bedarf es einer Überflutungsvorsorge und Risikomanagement, einer wassersensiblen Stadtplanung und Stärkung der Eigenvorsorge. Für die Hitzevorsorge sind Maßnahmen an Gebäuden, im Quartier und Freiraum wichtig, die mit Strategien zur Einbindung der Bevölkerung sowie Informationsvermittlung zu kombinieren sind.

Im Resilienzlabor Wolfen-Nord wurde transdisziplinär geforscht und ein transformativer Anspruch verfolgt. Ein Transformationsprozess wurde angestoßen und dieser begleitet, um Wissen über die Umsetzbarkeit theoretischer Lösungen in die Praxis zu generieren. Verschiedene Wissenstypen von unterschiedlichen Akteuren wurden zusammengebracht. Im Ergebnis zeigt sich, dass durch transparente Wissenskommunikation und zugeschnittene Formate unterschiedliche Wissenstypen gemeinsam Lösungen für eine sozial-ökologische Zukunft entwickelt und dadurch die Bewältigungskapazitäten von Extremwetterereignissen im Stadtquartier gesteigert werden können. Aufsuchende Formate in der Ansprache der Bevölkerung sind wichtige notwendige Aktivitäten für die Mobilisierung. Wiederholende Formate in Form von mehrteiligen Workshops, zeigen bei den Teilnehmern Kontinuität an und steigern das Interesse und die Motivation. Im Resilienzlabor Wolfen-Nord erarbeiteten die Stadtbewohner in einer Workshopreihe eine Vision 2035 für den Stadtteil Wolfen-Nord. Als drittes Format wurde ein zweitägiges Forum für innovative Stadtentwicklung organisiert um Lösungsschritte zur Verwirklichung der Vision 2035 mit Experten aus Verwaltung, Wirtschaft und Wissenschaft zu diskutieren. Durch diese Abfolge ist es gelungen mit sehr heterogene Akteuren gemeinsam ein Konzept „Wohnen.Arbeiten.Leben in Wolfen-Nord“ zu entwickeln. Weiterhin konnten durch konstruktive Zusammenarbeit von Stadtverwaltung und Wissenschaft Bedenken des Ministeriums für Landesentwicklung aufgelöst und dadurch eine Flächennutzungsänderung erwirkt werden. Mit einem B-Plan Verfahren wurden letztlich die administrativen Grundvoraussetzungen für eine sozial-ökologische Quartiersentwicklung im Resilienzlabor Wolfen-Nord geschaffen. Hier bietet sich die Gelegenheit, die vom Forschungsverbund erarbeiteten FlexOpt und FlexStrat zu implementieren.

4.4.1 Grundlagen für eine klimaresiliente Stadtplanung im Rahmen einer integrierten Stadtentwicklung

4.4.1.1 Ausarbeitung von städtisch-administrativen Flexibilisierungsoptionen (FlexOpt)

Zu Beginn der Arbeiten erfolgte eine Zuordnung von identifizierten sozio-technischen FlexOpt aus Arbeitspaket 1 zu städtebaulich-räumlichen Aspekten und die Ausarbeitung zu städtisch-administrativen Flexibilisierungsoptionen (FlexOpt), die zur Steigerung der Resilienz im Umfeld von Stadtplanung und Stadtentwicklung, im Kontext von Verfahren und Instrumenten einer nachhaltigen und integrierten Stadtentwicklung, beitragen sollen.

Die leitenden Fragen für die Ausarbeitung der FlexOpt waren: Wie können resilienzsteigernde Aspekte in einer integrierten Stadtentwicklung verankert werden und was können diese aus Sicht der Stadtentwicklung für einen flexibleren Betrieb von Daseinsvorsorgeinfrastrukturen beitragen?

Hierfür wurden Prozesse und Instrumente der Stadtplanung und Stadtentwicklung in Hinblick auf mögliche FlexOpt betrachtet. Dies sind im Formalen die Bauleitplanung (Vorbereitung und Leitung der Bodennutzung in der Gemeinde), die Flächennutzungsplanung (Vorgehen bei der Erarbeitung und Verfahrensbestandteile wie bspw. Beteiligung), und der Bebauungsplan. Darüber hinaus wurden informelle Instrumente der städtischen Planung wie Beteiligungs- und Kommunikationsformate sowie kommunalpolitische Prozesse betrachtet (Stadtentwicklungskonzepte, Klimaschutzkonzepte, etc.). Ziel war die Ermittlung der Potentiale von FlexOpt als Grundlage für die Förderung der lokalen Handlungsfähigkeit als zentrale Herausforderung für die Anpassungsfähigkeit in Stadtplanung und Stadtentwicklung. Die städtisch-administrativen FlexOpt bilden die Grundlage für die Entwicklung von Strategien für eine kommunale Infrastrukturpolitik und schaffen die lokalen Voraussetzungen für eine Resilienzsteigerung der Daseinsvorsorgeinfrastrukturen.

In der Fachliteratur finden sich zahlreiche Handlungsempfehlungen, die insbesondere auf den Bereich der Stadtplanung und Stadtentwicklung, im Hinblick auf eine Bewertung der vorhandenen Instrumente (z. B. im Bereich der Bauleitplanung) und ihrer Eignung zum Herbeiführen einer resilienten Stadtentwicklung abzielen. Insbesondere werden durch Extremereignisse wie Starkregen, Hochwasser und Hitze die meisten Gefahren für städtische Strukturen durch unkontrollierten Abfluss von Regenwasser, Sturzfluten, Überflutung und Hitzeinseln gesehen. Die sich daraus ergebenden Empfehlungen spiegeln u. a. die passenden Festsetzungsmöglichkeiten in Bauleitplänen wider, wobei der Fokus hierbei auf einer räumlich-städtebaulichen Perspektive liegt. Die Wirkung auf Infrastrukturen, bzw. ein konkreter Zusammenhang ergibt sich hier nur mittelbar. Daneben werden Strategien abgeleitet, wie etwa Überlegungen zur sog. „Schwammstadt“ oder der Vernetzung von grüner und blauer Infrastruktur.

4.4.1.2 Systematik der FlexOpt und Zuordnung zu Organisationseinheiten städtischer Verwaltungen

Die ausgearbeiteten 15 städtisch-administrativen FlexOpt wurden mit bestehenden Planungsinstrumenten abgeglichen. Alle FlexOpt wirken auf die Ver- und Entsorgungsinfrastruktur von Trinkwasser, Regenwasser und Abwasser. Lediglich indirekt wirken sie über Synergieeffekte auch auf Elektrizität. Die FlexOpt können durch technische Eingriffe am Gebäude, durch Veränderungen der technischen Infrastruktur bei der Quartiersgestaltung oder durch blau-grüne Infrastruktur auf der Quartiersebene implementiert werden. Zehn FlexOpt lassen sich mit existierenden Instrumenten der Stadtplanung implementieren; wichtig sind hierfür §9 des BauGB und §85 BauO LSA. Fünf FlexOpt wirken ausschließlich über Verhaltensänderungen der Nutzer oder technische Eingriffe der Gebäudeeigentümer*innen oder Grundstücksbesitzer*innen; hierfür gibt es keine formellen Instrumente der Raumplanung.

Tabelle 9: Systematik der Flexibilitätsoptionen

Flexibilitätsoption	Sachbereich der Städtischen Verwaltung	formales Planungsinstrument	Gestaltung am Gebäude	technische Infrastruktur	blau-grüne Infrastruktur	Nutzerverhalten
Verzicht Bewässerung mit Trinkwasser	Ordnung, Liegenschaften, öffentl. Anlagen	-		X	X	X
Wassersparteknik Gebäude/Bewässerung	Liegenschaften, Kultur, Sport, Hoch-/Tiefbau	-	X		X	X
Bodenverbesserung	Liegenschaften, öffentliche Anlagen, Sport	BauGB §9 Abs1 Nr. 14, 15, 16d, 20,			X	X
Dezentrale Reinigung, Zwischenspeicherung	Stadtplanung, Liegenschaften, Hoch-/Tiefbau	BauGB §9 Abs1 Nr. 14,15, 16d,	X	X	X	
Gebäude und Freiflächenverschattung	Stadtplanung, Liegenschaften, öffentl. Anlagen	BauGB §9 Abs1 Nr. 25 a)	X		X	
Änderung von Wasserentnahmen zu Zeiten hoher Nachfrage	Liegenschaften, öffentliche Anlagen	-	X	X		X
Vorhaltung dezentralen Brauchwassers	Stadtplanung, Hoch-/Tiefbau, Liegenschaften	BauGB §9 Abs1 Nr. 14	X	X	X	

Sommerlicher Wärmeschutz	Stadtplanung, Liegenschaften, öffentl. Anlagen Hoch-/Tiefbau	Festsetzung nach BauOLSA §85	X		X	
Trennung Regen-Schmutzwasseranschluss	Stadtplanung, Hoch-/Tiefbau	-		X	X	
Vorhaltung Rückstaukapazitäten	Liegenschaften, Stadtplanung, Hoch-/Tiefbau, öffentliche Anlagen	BauGB §9 Abs1 Nr. 16b	X	X	X	
Bereitstellung Polderflächen	Liegenschaften, Stadtplanung, öffentliche Anlagen, Sport, Ordnung	BauGB §9 Abs1 Nr. 5, 9, 10, 14		X	X	
Bereitstellung Überflutungsflächen	Stadtplanung, Liegenschaften, Ordnung	BauGB §9 Abs1 Nr. 16d		X	X	
Gründächer	Liegenschaften, Stadtplanung, Hoch-/Tiefbau, öffentl. Anlagen	Festsetzung nach BauOLSA §85	X		X	
Entsiegelung	Liegenschaften, Stadtplanung, öffentl. Anlagen	BauGB §178, §9 Abs. 1 Nr. 25		X	X	
Verzicht Ableitung Regenwasser	Liegenschaften, Stadtplanung, öffentl. Anlagen	-		X	X	X

Die erarbeiteten städtisch-administrativen FlexOpt wurden auf Zuständigkeiten einzelner Sachbereiche der Stadtverwaltung von Bitterfeld-Wolfen geprüft und 7 Sachbereiche in 4 Ämtern identifiziert: Amt für Kultur/Sport/Teilhabe, Ordnungsamt, Bauamt (SB öffentliche Anlagen, SB Liegenschaften) sowie Amt für Stadtentwicklung (SB Stadtplanung, SB Liegenschaften). Die Sachbereichsleiter wurden persönlich aufgesucht und zu den Themen Klima und Wetterextreme interviewt und befragt „Ob“ und „Wo“ bereits Berührungspunkte mit der täglichen Arbeit in ihrem Sachbereich bestehen. Genannt wurde von den Sachbereichsleitern die Kontrolle von Feuerwerksverbot bei Trockenheit (allgemeine Ordnung), das Baumsterben durch Trockenperioden (öffentliche Anlagen), Hitzebelastung in öffentlichen Gebäuden (SB Liegenschaften, SB Kultur), Sturzfluten vs. Trockenheit (Jugend/Sport), wassersensible Stadtentwicklung (SB Stadtplanung), energetische Sanierung (SB Hoch/Tiefbau). Innerhalb der Stadtverwaltung von Bitterfeld-Wolfen existieren keine interdisziplinären Arbeitsgruppen/Arbeitskreise oder Dialogformate zwischen den Sachbereichen. Auf Landkreisebene (LK Anhalt Bitterfeld) existiert ein Krisenstab für außergewöhnliche Ereignisse.

Die Erprobung eines interdisziplinären Arbeitskreises innerhalb der Stadtverwaltung wurde mit den FlexOpt initiiert. Hierfür wurden die 15 FlexOpt leicht verständlich beschrieben, den Sachbereichen vorgestellt und um Bewertung der FlexOpt mittels einfacher Kosten-Nutzen-Analyse anhand eines Fragebogens gebeten. Lediglich einige Sachbereiche haben diese Bewertung vorgenommen, eine Rückmeldung von den für die Stadtentwicklung wichtigen Sachbereichen, öffentliche Anlagen, Liegenschaften und Hoch/Tiefbau konnte nicht erwirkt werden. Die Leiter begründeten dies mit zusätzlichen Arbeitsbelastungen in Folge der COVID-19 Pandemie. In der Folge konnten eine vorgesehene Priorisierung der FlexOpt und Gründung eines ämterübergreifenden Arbeitskreises zur Erprobung von Austauschformaten für städtische Resilienz in der Verwaltung nicht durchgeführt werden. Dennoch diente die Vorstellung der FlexOpt innerhalb der Verwaltung als wichtiger strategischer Schritt, um zu einer integrierten Stadtentwicklungspolitik, über Sachbereichsgrenzen hinweg, zu gelangen. Diese Gespräche bildeten die Grundlage für die gemeinsame Ausarbeitung von städtisch-administrativen Flexibilitätsstrategien.

4.4.1.3 Ausarbeitung städtisch-administrativer Flexibilitätsstrategien (FlexStrat)

Die ausgearbeiteten FlexOpt wurden zusammen vom Sachbereich Stadtentwicklung, Stadtentwicklungsgesellschaft unter Konsultation des Sachbereichs öffentliche Anlagen zu Strategien weiterentwickelt. Ergebnisse der Literaturrecherchen zu nationalen und internationalen Best-Practice-Beispielen gaben Anregungen. Hier findet sich eine Bandbreite von Klimaadaptionsstrategien und Konzepten für ein integriertes urbanes Wassermanagement. Die Entwicklung blau-grüner Infrastruktur ist bei allen Städten ein zentrales Thema. So stehen beispielsweise in Rotterdam, Kopenhagen und London die Überflutungsvorsorge bei Starkregen durch die Schaffung zusätzlicher Speicherkapazitäten im Vordergrund. Dafür werden einerseits unterirdische Speicher, andererseits stadtweite oberirdische blau-grüne Infrastruktur entwickelt. In Paris liegt der Fokus auf der Reduzierung städtischer Hitzeinseln. Auch hier wird für die Kühlung der Stadt durch eine blau-grüne Infrastruktur, teilweise in Kombination mit „urban Agriculture“ entwickelt. In Portland und New York wird mit der Umsetzung einer stadtweiten grünen Infrastruktur primär das Ziel verfolgt, das Kanalsystem zu entlasten und Mischwasserüberläufe zu reduzieren. Melbourne hat sich die Umsetzung des ganzheitlichen „Water Sensitive Urban Design“ Konzeptes und eines integrierten urbanen Wasserkreislaufes zum Ziel gesetzt. Mit Hilfe adaptiver, multifunktionaler Infrastrukturen soll eine „Healthy city in a healthy catchment“ entstehen.

Gestaltungsaspekte und soziokulturelle Fragestellungen, wie die Schaffung neuer städtischer Erholungsgebiete mit einer verbesserten Lebensqualität, Gesundheit und Biodiversität nehmen in allen Best-Practice-Städten einen hohen Stellenwert ein – so lautet etwa das Leitthema des Waterplan2 (Rotterdam) „Working with water for an attractive city“ oder die Strategie Melbournes „Water forliveability“. Die Einbindung eines integrierten Regenwassermanagements im Bestand erfolgt beispielsweise mit Greenstreets, Raingardens oder Wasserplätzen. Die Bildung und damit Förderung eines „watersensitive behaviour“ in der Bevölkerung (Melbourne) sowie die Aktivierung von Bürger*innen (auch „place-making“ und „community- building“) wird von allen

Städten, in größtem Umfang aber vor allem von New York City mit einer Vielzahl von Initiativen, Manuals und Programmen verfolgt.

In FLEXITILITY wurden 7 städtisch-administrative Flexibilitätsstrategien (FlexStrat) entlang von 2 Handlungsfeldern ausgearbeitet. Im Handlungsfeld A Starkregenvorsorge finden sich die Strategien: 1. Überflutungsvorsorge und Risikomanagement, 2. wassersensible Stadtplanung, 3. Stärkung der Eigenvorsorge. Im Handlungsfeld B Hitzevorsorge sind es: 4. Gebäude und Energie, 5. Quartier und Freiraum, 6. Bewohner und Governance, 7. Informationsvermittlung und Gesundheit.

4.4.2 Handlungsfeld A Starkregenvorsorge

4.4.2.1 FlexStrat1: Überflutungsvorsorge und Risikomanagement

Überflutungsvorsorge und Risikomanagement bestehen im Kern aus einer räumlichen Gefahreinschätzung durch Detailanalysen der Topographie, des Oberflächenabflusses und des Kanalnetzes im Stadtgebiet. Die Ergebnisse münden in einer Gefahrenkarte, welche die Gefahrensituation für Objekte und Flächen in Betroffenheitskategorien und Überflutungstiefen abbildet. Nötige Geländedaten sind über die Landesvermessungsämter kostenfrei zugänglich und können mit geringem Aufwand um Daten zur Straßentopographie (Bordsteinhöhe) ergänzt werden. Klimastatistiken für die Abflusssimulation sind ebenso frei verfügbar. Ingenieurbüros und Forschungsinstitute bieten Dienstleistungen zur Modellierung und Simulation von Szenarien an.

4.4.2.2 FlexStrat2: wassersensible Stadtplanung

Eine wassersensible Stadtplanung besteht im Kern aus einer Strategie zur dezentralen Wasserbewirtschaftung, die sich aus den Modulen Regenwassernutzung, Versickerung, Verdunstung, Rückhaltung, Behandlung und gedrosselter Ableitung zusammensetzt. Eine solche Nutzungsstrategie von Regenwasser kann wirksam durch einen Beiplan Klimaanpassung zum Flächennutzungsplan untersetzt werden, wie es beispielsweise in Bremen umgesetzt wurde. Darin werden räumliche Bereiche mit besonderer Bedeutung für die Wasserretention und dem vorsorgenden Umgang mit Niederschlagswasser ebenso abgebildet wie Kategorien zum Stadtklima, hier insbesondere die bioklimatischen Belastungsräume und Flächen mit hohem bis sehr hohem Kaltlufttransportvolumen.

4.4.2.3 FlexStrat3: Stärkung der Eigenvorsorge

Neben gesamtstädtischen Maßnahmen und den zuvor geschilderten Instrumenten der Stadtplanung sind insbesondere Umsetzungen auf privaten und wirtschaftlichen Flächen für den Erfolg sehr wichtig. Hierzu sind exemplarisch die wassersensible Grundstücksgestaltung durch Dachbegrünung und Schwimmteiche, eine proaktive Bodenpflege zur Vergrößerung des Porenvolumens und Anwendung von Pflanzenkohle zur Steigerung der Wasserinfiltrationsfähigkeit sowie Pflanzung von Bodendeckern- statt Kies auf unversiegelten Flächen, zur Steigerung der Evapotranspiration bedeutsame Maßnahmen, die mit geringen Mitteleinsatz zu erreichen sind.

4.4.3 Handlungsfeld B Hitzevorsorge

4.4.3.1 FlexStrat4: Gebäude und Energie

Zur Hitzevorsorge eignen sich Maßnahmen an Gebäuden, insbesondere an der Gebäudehülle. Hausdämmung, Dach- und Fassadenbegrünung und Sonnenschutz können die Hitzebelastung im Inneren senken und dadurch den Bedarf an elektrischer Energie zur Kühlung stark reduzieren. Ebenso eignet sich Fernkälte im Quartier in Verbindung mit Aquiferspeichern zur Reduktion der Hitzebelastung im Gebäude und Gesundheitsvorsorge. Hier liegen insbesondere bei einer saisonalen Nutzung und Einspeicherung von überschüssiger Wärme in den Sommermonaten bisher noch ungenutzte Potentiale für die klimaneutrale Wärmeversorgung von Quartieren.

4.4.3.2 FlexStrat5: Quartier und Freiraum

Im Quartier und öffentlichem Raum leistet Stadtgrün durch Transpiration und Evapotranspiration von Pflanzen sowie durch Schattenwurf an Fußwegen, Sitzbänken und Haltestellen des öffentlichen Nahverkehrs wichtige Umweltsystemleistungen für die Gesundheit von Stadtbewohnern und die Aufenthaltsqualität. Einige Städte erproben temporäre Straßengestaltungen durch Nutzung von mobilen Bäumen zur Beschattung von versiegelten Freiflächen oder richten in den heißen Sommermonaten „coole Straßen“ ein. Es wird für zusätzliche Verschattung gesorgt und Wasserspielplätze geschaffen.

4.4.3.3 FlexStrat6: Bewohner und Governance

Durch Bewohner initiierte temporäre Interventionen und Aktionen im öffentlichen Raum, beispielsweise durch pop-up Wasserplätze in den Sommerferien helfen, die gesundheitlichen Belastungen an bekannten Hitzeinseln zu mildern. Die Übernahme von Baumpatenschaften durch die Stadtbevölkerung hilft der Kommune, den Baumbestand zu schützen und ist durch Beschaffung und Verteilung von Wassersäcken an Straßenanwohner mit geringen finanziellen Mitteln zu erreichen.

4.4.3.4 FlexStrat7: Informationsvermittlung

Für die Gesundheitsvorsorge sind frühzeitige Verhaltensempfehlung bei Hitzewellen und Hitzewarnungen sowie ausgearbeitet Hitzeaktionspläne von großer Bedeutung. Hitzeaktionspläne umfassen Interventionsmaßnahmen und verfolgen einen integrativen Ansatz der kurz-, mittel-, und langfristige Maßnahmen vereint.

4.4.4 Beteiligung und Wissenskommunikation zwischen Stadtgesellschaft, Stadtpolitik, Stadtverwaltung und übergeordneten Planungsbehörden für eine klimaresiliente Quartiersentwicklung am Beispiel des Resilienzlabors in Wolfen-Nord (AP 7)

Reallabor bezeichnet allgemein ein Format transdisziplinärer Forschung mit transformativem Anspruch. Es werden Transformationsprozesse angestoßen und wissenschaftlich begleitet, um a) Wissen über die Umsetzbarkeit theoretischer Lösungen in die Praxis und b) übertragbare Handlungsempfehlungen zu generieren. Es wird eine Kopplung von fundiertem Wissen und durch

Erfahrung gewonnenem Wissen angestrebt. Von Bedeutung und gleichzeitig ein Charakteristikum von Reallaboren ist das Zusammenbringen verschiedener Wissenstypen von unterschiedlichen Akteuren. Reallabore sind somit Schnittstelle zwischen Wissenschaft, Gesellschaft und Politik und sollten Beteiligte aus Verwaltung, Wirtschaft, Wissenschaft, Politik sowie Zivilgesellschaft einbinden.

Im Verlauf der FLEXITILITY-Forschung zeigte sich, dass vor Ort im Stadtteil Wolfen-Nord gute Bedingungen für die Umsetzung eines Reallabors mit Fokus auf resiliente Quartiersentwicklung existieren. Hierzu zählen insbesondere: 1. Zivilgesellschaftliche Bestrebungen, Lösungen für Zukunftsherausforderungen (Klimawandel, Klimaanpassung, Demographischer Wandel, Mobilität etc.) zu entwickeln und zu erproben. 2. Eine Stadtverwaltung, die diese Bestrebungen mit sachlichen und finanziellen Mitteln unterstützt und zur Ermöglicherin der zivilgesellschaftlichen Bestrebungen wird. Der Stadtteil Wolfen-Nord ist seit den 90iger Jahren im Rückbau begriffen und zieht, mit der Chance Neues auszuprobieren, am sozial-ökologischen Wandel interessierte Menschen an. Der Wolfen-Nord e.V. bündelt Interessierte und möchte für die sozial-ökologische Gesellschaftstransformation neue Wohnformen erproben. Ziele sind Reduzierung von Wohnfläche, dezentrale Versorgung mit Energie und Wasser, dezentrale Entsorgung von Abwasser und lokale Verwertung von Regenwasser. Die Ideen, Wünsche und Vorstellungen des Vereins zeigen große Nähe zu den Zielen der FLEXITILITY-Forschung, einen resilienten Betrieb von Versorgungsinfrastrukturen herbeizuführen. In Wolfen-Nord bot sich für den Forschungsverbund die Chance, Entwicklungen aus den anderen Arbeitspaketen in einer Quartiersentwicklung zu implementieren. Vor diesem Hintergrund wurde der Wolfen-Nord e.V. in die Forschungen eingebunden und gemeinsame Gespräche mit Stadtwerken, Stadtplanungsamt und Stadtentwicklungsgesellschaft geführt und es erfolgte die Gestaltung städtischer Transformationsprozesse. Der Prozess kann als Best-Practice-Beispiel für weitere Quartiersentwicklungen dienen. Dem Forschungsverbund gelang es durch eine enge Zusammenarbeit mit dem Wolfen-Nord e.V., die Kontakte in die Zivilgesellschaft zu intensivieren. Dies gelang insbesondere mit folgenden Aktivierungsstrategien: 1. direkte mündliche Ansprache der Stadtbevölkerung im öffentlichen Raum und an zentralen öffentlichen Orten wie bspw. Einkaufszentren, Mehrgenerationenhaus, Christopherushaus, Kindergärten, Stadtteilstellen. 2. Veröffentlichung von Artikeln zu Forschungsergebnissen aus FLEXITILITY in den Mieterzeitungen der lokalen Wohnungsunternehmen und Amtsblatt. 3. Gruppenauskunft zu Adressen bei der Meldebehörde und direkte schriftliche multilinguale Einladung von 320 zufällig ausgewählten Haushalten im Stadtgebiet. 4. Aufbau und Bekanntmachung einer digitalen Beteiligungsplattform adhocracy+ zur Einbindung der Stadtbevölkerung in das städtische Resilienzlabor Wolfen-Nord.

4.4.4.1 Workshopreihe, Visionsentwicklung 2035 und digitale Beteiligungsplattform

In einer Workshopreihe wurde für Einwohner*innen und Interessierte mit 8 bis 16 Teilnehmenden eine Vision für Wolfen-Nord im Jahr 2035 erarbeitet. Die Konzeption der Workshopreihe orientierte sich an der Methodik von Zukunftswerkstätten. Ziel ist die Einbeziehung von Bürger*innen in eine Entscheidungsfindung und aktive Gestaltung der Zukunft. In ihrem Aufbau zeichnen sich Zukunftswerkstätten durch eine Dreiteilung der Phasen Kritik, Fantasie und Verwirklichung aus. In der Kritikphase wurden mit den Teilnehmenden anhand einer SWOT-Analyse, die Stärken, Schwächen, Chancen aber auch Risiken des Stadtteils analysiert und dabei

erste Ideen und Potenziale für das Quartier gesammelt. In der Fantasiephase wird an alternativen Zukunftsentwürfen gearbeitet. Gemeinsam mit den Teilnehmenden werden Vorstellungen entwickelt, wie eine gewünschte Zukunft aussehen könnte. Dazu wurden weitere Ideen und Potenziale gesammelt und ausformuliert. Hierbei konnten Schwerpunkte in den Wünschen der Bürger*innen identifiziert und reflektiert werden. In der Fantasiephase orientierte sich der Workshop an der UN-Habitat Toolbox zur Entwicklung von Zukunftsvisionen für Städte. Das Vorgehen dieser Visionsentwicklung zeichnet sich durch eine Vierteilung der entwickelten Vision in Image, Bestimmung, Maßnahmen und Werte der Stadt aus. Um die Visionsentwicklung einzuleiten, wurden die Teilnehmenden gebeten, einen Online-Fragebogen, angelehnt an eine Umfrage des Deutschen Instituts für Urbanistik zu der Erwünschtheit von Zukunftsvisionen in der eigenen Stadt, auszufüllen. Anschließend wurde die Arbeit in Kleingruppen von 3-5 Personen fortgesetzt. Die Kleingruppen wurden gebeten, vorgegebene Fragen zu diskutieren und zu beantworten, die auf die Entwicklung eines gewünschten Images, der Bestimmung, den nötigen Maßnahmen und die Werte des Quartiers abzielen. Im Anschluss wurden die Antworten auf die oben genannten Fragen durch eine Person aus jeder Gruppe vorgestellt. Gleichzeitig wurden die Zettel mit den Antworten auf einem Tisch gesammelt und die Teilnehmenden bekamen die Möglichkeit, sich die verschiedenen Visionen durchzulesen. In der Nachbereitung wurden die Antworten gruppiert, ausgewertet und gemeinsam eine Vision 2035 für den Stadtteil Wolfen-Nord erstellt.



Abbildung 32: Arbeitssituation Workshop Wolfen-Nord am 19.3.2022 mit Vision Wolfen-Nord 2035 als Ergebnis, Quelle: EAA

Für Bürger*innen, denen eine Teilnahme an den Workshops vor Ort nicht möglich war, wurde das OpenSource Beteiligungstool Adhocracy+ eingerichtet. Dieses Tool bietet die Möglichkeit, am Beteiligungsprozess teilzunehmen, Fragen im Rahmen der Bestandsaufnahme zu beantworten und die Ergebnisse der Workshopreihe online abzurufen. Die Bestandsaufnahme im Adhocracy+ wurde nach Zielgruppen unterteilt. So adressieren die beiden Fragen 'Was braucht es, damit Sie nach Wolfen zurückkommen würden?' und 'Was hat Ihnen an Wolfen-Nord so sehr gefallen, dass Sie es in Ihrer jetzigen Heimat vermissen?' ehemals in Wolfen-Nord wohnhafte Personen. Bürger*innen mit aktuellem Wohnsitz in Wolfen-Nord haben die Möglichkeit zu beantworten,

was Ihnen in Wolfen-Nord gefällt, was Ihnen in Wolfen-Nord fehlt und was Sie sich für die Zukunft des Quartiers wünschen. Das Beteiligungstool wurde über die verschiedenen Kanäle des Wolfen-Nord e.V. sowie des Energieavantgarde e.V. veröffentlicht und ist für alle Interessierten frei zugänglich.

4.4.4.2 Forum für innovative Quartiersentwicklung

Auf einem “Forum für innovative Quartiersentwicklung: mit Flexibilität die Klimaanpassung in der Stadt gestalten und mehr Nachhaltigkeit erreichen” sollten in den 5 Bereichen ‘Wärme/Energie’, ‘Wasser/Abwasser’, ‘nachhaltige Stadtplanung/Quartiersgestaltung’, ‘Nahversorgung’ und ‘soziale Gemeinschaften’ mit Expert*innen, Hersteller*innen, Versorgungsunternehmen, städtischen und regionalen Akteuren konkrete Maßnahmen zur Verwirklichung der Vision 2035 definiert werden. Für das Forum wurden 14 Speaker*innen aus Wissenschaft, Wirtschaft, Verwaltung und zivilgesellschaftlichen Initiativen für Impulsvorträge gewonnen. Das Veranstaltungskonzept sah zwei Veranstaltungstage mit Impulsvorträgen von Expert*innen in den oben genannten Bereichen vor, gefolgt von Diskussionsrunden mit den Teilnehmenden der Veranstaltung, in welchen Fragen gestellt und Lösungen für das experimentelle Wohnquartier in Wolfen-Nord diskutiert werden konnten. Im Vorfeld der Veranstaltung evaluierten der Wolfen-Nord e.V., der Energieavantgarde Anhalt e.V. und der Sachbereich Stadtplanung gemeinsam in Frage kommende Akteure für Impulsvorträge in den oben genannten Bereichen. Es wurden vor allem regionale Akteure berücksichtigt, welche in späteren Phasen auch die Umsetzung von Maßnahmen unterstützen können. Zudem wurden überregionale Initiativen und Unternehmen recherchiert und eingeladen. Zu nennen sind hier bspw. die Stadt Dortmund, welche mit dem Vorhaben ‘Kleine Häuser Dortmund’ eine Tiny-House-Siedlung plant, eine Solidarische Landwirtschaft als auch ein Hersteller für Tiny-Häuser. Die identifizierten Akteure wurden kontaktiert und in einer persönlichen Abstimmung die genauen Inhalte der Impulsvorträge für die Veranstaltung abgestimmt. Um Anwohnende und weitere Interessierte zu erreichen, wurde über Social Media, die Kanäle des Wolfen-Nord e.V. und des Energieavantgarde e.V. sowie mit Plakaten die Veranstaltung beworben. Zusätzlich wurde eine Website eingerichtet, auf welcher alle Informationen zu der Veranstaltung veröffentlicht wurden (<https://www.energieavantgarde.de/forum-fur-innovative-quartiersentwicklung/>). Das Forum diente vor allem der Ko-Produktion von Zielwissen. Durch die Impulsvorträge mit anschließenden Diskussionen konnten bereits mögliche Experimente und Maßnahmen für das Reallabor identifiziert werden. Durch die Vernetzung der Expert*innen verschiedener Bereiche konnte zudem eine Innovationsarena mit einem starken Akteursnetzwerk vorbereitet werden.

Bebauungsplan Nr. 08-2020 „Experimentelles Wohnen“ im OT Stadt Wolfen

PLANZEICHNUNG - TEIL A-

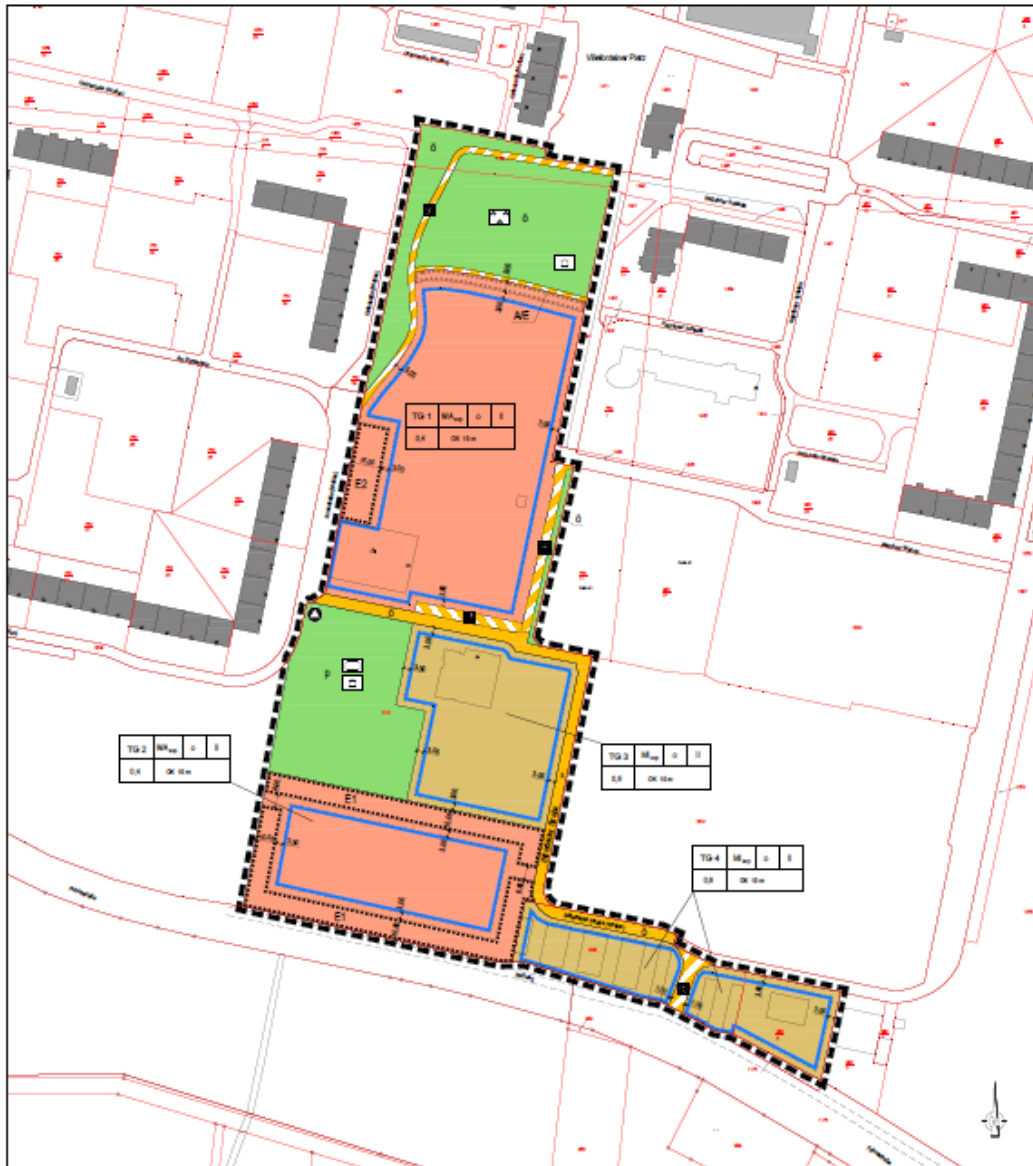


Abbildung 33: Bebauungsplan „Experimentelles Wohnen“ Wolfen-Nord Juli 2022, Quelle: Planungsbüro StadtLandGrün

4.4.4.3 Wissenskommunikation zwischen Verwaltungsinstanzen

In einem ersten Änderungsversuch des Flächennutzungsplanes (FNP) für die Ausweisung eines experimentellen Wohngebietes durch die Stadtverwaltung, wurden durch das Ministerium für Landesentwicklung und Verkehr (MLV) Bedenken bei der Änderung des FNP in Zusammenhang mit den Zielen und Grundsätzen des Landesentwicklungsplanes (LEP-ST) genannt. Aus der laufenden FLEXITILITY Forschung heraus wurde eine Stellungnahme formuliert und die

Notwendigkeit zur Ausweisung eines Gebietes für experimentelles Wohnen im Stadtteil Wolfen-Nord für eine resiliente Stadtentwicklung fachlich fundiert dargestellt. Die Bedenken des Ministeriums, dass die Ausweisung gegen Grundsätze und Ziele des Landesentwicklungsplanes verstößt, konnten dadurch entkräftet werden. Gleichzeitig wurde erläutert und begründet, dass eine Ausweisung für experimentelles Wohnen insbesondere für den Grundsatz 1 des LEP-ST „Planungen und Maßnahmen zur Entwicklung der räumlichen Struktur des Landes sollen zu nachhaltigem Wachstum und Wettbewerbsfähigkeit beitragen. Dabei ist darauf hinzuwirken, dass die Raumannsprüche bedarfsorientiert, funktionsgerecht, Kosten sparend und umweltverträglich aufeinander abgestimmt werden, und die natürlichen Lebensgrundlagen gesichert und die Umweltbedingungen verbessert werden“ prädestiniert ist. Weiterhin wurde erläutert, dass das Vorhaben der Stadtgesellschaft gänzlich im Einklang mit dem Ziel 2 LEP-ST steht. Dort heißt es: „Die Auswirkungen des demographischen Wandels, die weitere Entwicklung der Bevölkerungsstruktur und die räumliche Bevölkerungsverteilung sind bei allen Planungen und Maßnahmen zu beachten.“ Mit Blick auf die aktuelle demographische Situation (60% der Bevölkerung sind älter als 60 Jahre) sind die Bemühungen von Stadtverwaltung und Stadtgesellschaft um das experimentelle Wohngebiet als zugeschnittene Angebot für junge Menschen für die Stabilisierung der demographischen Situation von Nöten.

4.5 Integrierte Simulationen und Ergebnisinterpretation (Fraunhofer IEE)⁸

Gemäß den Projektzielen wurden in Teilprojekt 3 (AP 6) die Arbeiten aus AP 1-5 zur Definition der Flexibilitätsoptionen und Flexibilitätsstrategien zu einem integrierten Simulationsmodell zusammengeführt, um damit die entwickelten Optionen und Strategien simulieren, kalibrieren und validieren zu können. Die Analyse der Flexibilitätsoptionen (FlexOpt) und -strategien (FlexStrat) erfolgte dabei vor allem für den Trinkwassersektor; durch die Berücksichtigung der Pumpkosten wurde jedoch auch eine Verknüpfung zum Stromsektor hergestellt. Es wurden die FlexOpt identifiziert, quantifiziert und für die folgenden Optimierungsrechnungen weiter spezifiziert. Durch die Optimierung des Flexibilitätseinsatzes konnten Potenziale zur Minimierung der Pumpkosten und Infrastrukturbelastung aber auch zur Bewältigung von klimawandelbedingten Mehrbelastungen der Infrastruktur auf sozio-technischer, wirtschaftlicher und ökologisch-klimatischer Ebene aufgezeigt werden. Aus den Analysen wurden Handlungsempfehlungen für Stadtpolitik und städtische Infrastrukturplanung, Infrastrukturbetreiber und Verbraucher*innen abgeleitet. Damit konnten die zentralen Fragestellungen des Teilprojektes was technisch möglich, was aus Sicht der Wirtschaftlichkeit, Akzeptanz und Mitwirkung der Akteure umsetzbar und was der mögliche Beitrag eines optimierten Flexibilitätseinsatzes zur Bewältigungskapazität bzw. Klimaresilienz in der Infrastrukturversorgung ist, beantwortet werden. Neben der Beantwortung dieser zentralen Fragen wurden auch die konkreten Ziele eines fertigen Prototyps eines geschlossenen, sektoralen und intersektoralen Optimierungssystems, der fertigen Schnittstelle zur technischen Simulation von Belastungsszenarien in der städtischen Infrastruktur, der szenariobasierten Analyse der FlexOpt und FlexStrat hinsichtlich ihrer Kosten-Nutzen-Sensitivität und ihres Beitrags zur Klimaresilienz und ihre Priorisierung erreicht. Die Simulationsumgebung zur Abbildung der Infrastrukturbewirtschaftung und des Verbraucherverhaltens und zur Bewertung der Belastung der Infrastruktur wurde in Form eines modularen Optimierungssystems aufgebaut und ermöglicht eine quantitative Beschreibung der Wirkungen des Flexibilitätseinsatzes. Damit können die Beiträge einzelner Flexibilitäten bei Extremwetter auf Normalbetrieb, intersektorale Effekte und die Kombination verschiedener Maßnahmen verglichen werden. Es wurden Wirksamkeiten der FlexOpt zur Minimierung der Pumpkosten und der Infrastrukturbelastung ermittelt und Aktivierungsstrategien aufgestellt. Durch die Simulation von Hitze- und Trockenheitsszenarien wurden die Beiträge eines Flexibilitätseinsatzes zur Klimaresilienz ermittelt.

Das Optimierungssystem besteht aus zwei Hauptbestandteilen: einem umfangreichen Teil zur Datenvorverarbeitung (Kapitel 4.5.1 und 4.5.2) und dem Optimierungsteil (Kapitel 4.5.3). Die Ergebnisse der Flexibilitätseinsatzoptimierung sind in Kapitel 4.5.3.2 geschildert. Kapitel 5 leitet aus den Untersuchungen Handlungsempfehlungen ab.

Abbildung 34 zeigt den schematischen Aufbau des Optimierungsmodells und gibt die Unterkapitelnummern zur Beschreibung der Datenvorverarbeitung an.

⁸ Kapitel 4.5 schildert den Aufbau und die Ergebnisse des in AP6 entwickelten Optimierungssystems zum Einsatz von Flexibilitäten in der Trinkwasserversorgung. Sämtliche folgenden Erläuterungen sowie weitere Details sind in der Veröffentlichung (Knorr, K.; Giron, P.; Wiemer, M., 2022) enthalten.

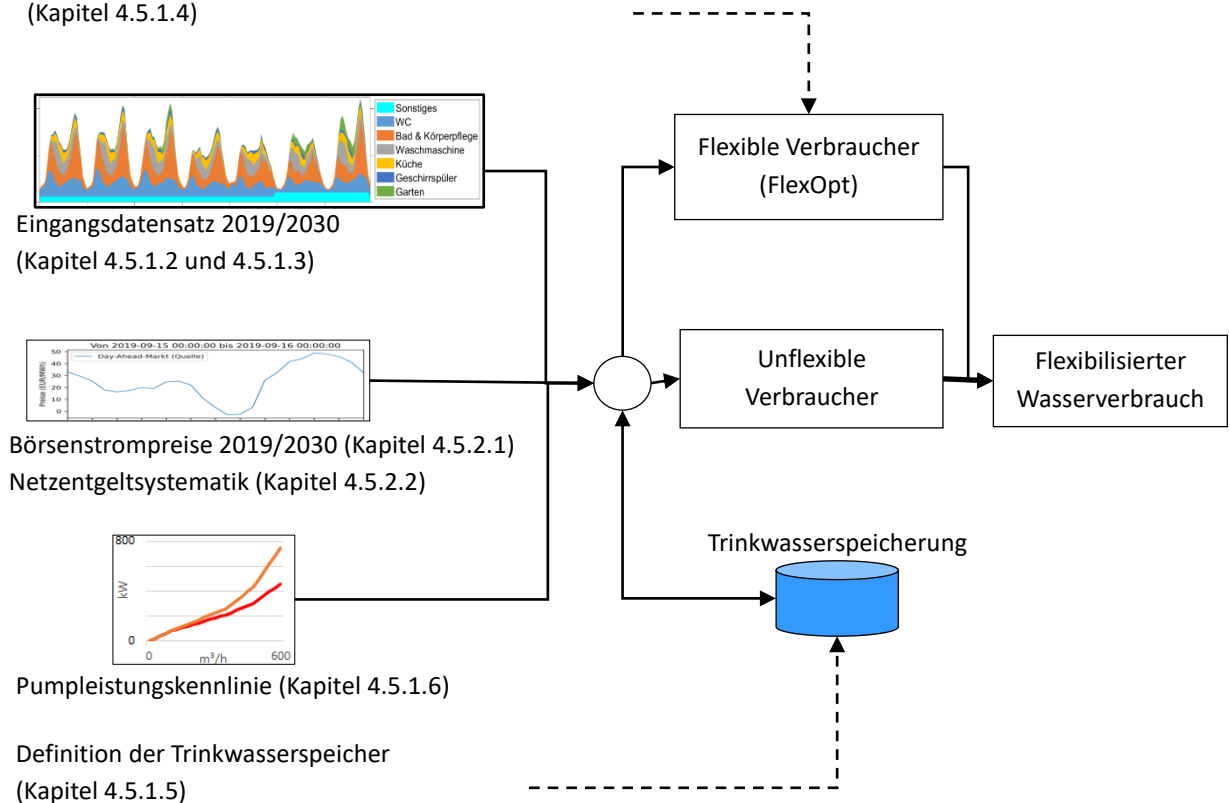
Definition der Flexibilitätsoptionen (FlexOpt)
 (Kapitel 4.5.1.4)


Abbildung 34: Schematischer Aufbau des Optimierungsmodells inkl. Nennung der Kapitel zur Datenvorverarbeitung

4.5.1 Modellierung der Trinkwasserversorgung

4.5.1.1 Trinkwasserverbrauch eines Versorgungsgebietes

Für die Projektuntersuchungen wurde eine Zeitreihe des Trinkwasserverbrauchs $V_{\text{gem}}(h)$ eines Versorgungsgebietes verwendet. Die Zeitreihe weist eine zeitliche Auflösung von einzelnen Stunden h und eine zeitliche Abdeckung der Jahre 2017 bis einschließlich 2019 auf. Das Maximum der Zeitreihe wird im Folgenden als V_{max1} bezeichnet.

4.5.1.2 Einsetzen von Wasserverbrauchsarten, Eingangsdatensatz 2019

Für die Einsatzoptimierung der Flexibilitäten ist es notwendig, den gesamten Trinkwasserverbrauch des betrachteten Versorgungsgebietes in Wasserverbrauchsarten aufzuteilen. Als Wasserverbrauchsarten werden dabei die Anwendungen bezeichnet, für die das Trinkwasser letztendlich verwendet wird. Es werden entsprechend dem Projekt DEMAPLAN (inter 3, 2015) die Verbrauchsarten WC, Körperpflege, Waschmaschine, Küche, Geschirrspüler und Garten & Sonstiges betrachtet und für den Eingangsdatensatz 2019 um eine Basislast ergänzt.

Aus dem Projekt DEMAPLAN liegen Tagesmuster (engl. „pattern“) des Trinkwasserverbrauchs einer Kleinstadt in stündlicher Auflösung vor, die nicht nur nach Verbrauchsart unterscheiden, sondern auch nach Werktagen und Wochenenden (siehe Abbildung 35). Da Gartenbewässerung im Gegensatz zu den übrigen Wasserverbrauchsarten stark von der Jahreszeit abhängt, wird der

Wasserverbrauch für „Garten & Sonstiges“ im Folgenden zunächst ausgeklammert und entsprechend (Knorr, K.; Giron, P.; Wiemer, M., 2022, Kapitel 2.3) gesondert betrachtet. Ohne den Wasserverbrauch für Garten & Sonstiges ergeben sich die Anteile der Wasserverbrauchsarten am gesamten Wasserverbrauch pro Stunde gemäß Abbildung 36.

Die Muster aus Abbildung 36 werden durch das in (Knorr, K.; Giron, P.; Wiemer, M., 2022, Kapitel 2.2) beschriebene Vorgehen in die Zeitreihe des Trinkwasserverbrauchs des betrachteten Versorgungsgebietes $V_{gem}(h)$ aus Kapitel 4.5.1.1 „eingefügt“, um verbrauchsspezifische Zeitreihen für das Versorgungsgebiet zu erhalten.

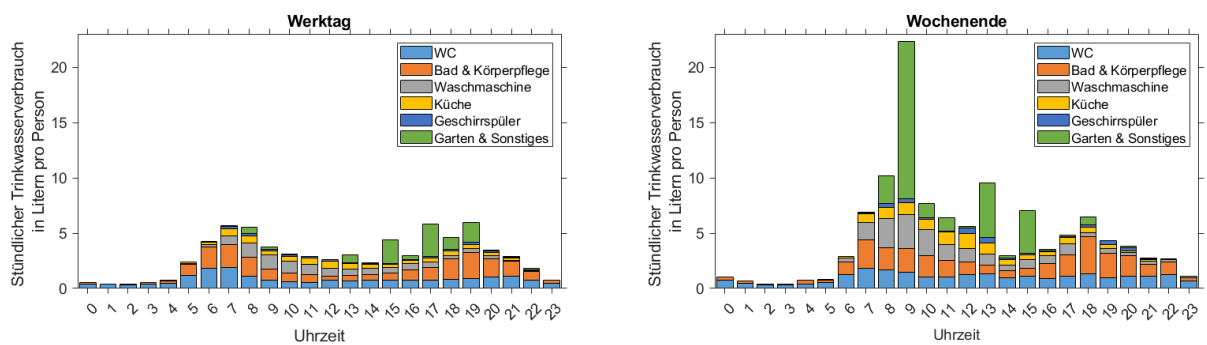


Abbildung 35: Tagesmuster des Trinkwasserverbrauchs einer Kleinstadt aus dem Projekt DEMAPLAN (inter 3, 2015)

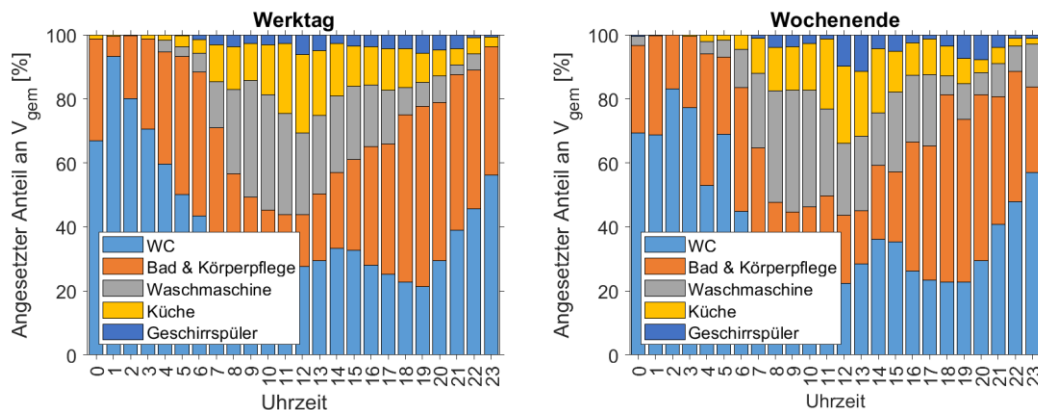


Abbildung 36: Anteile der Wasserverbrauchsarten am gesamten Wasserverbrauch pro Stunde gemäß DEMAPLAN (inter 3, 2015)

Es ist zu beachten, dass es sich bei den resultierenden, verbrauchsspezifischen Trinkwasserzeitreihen des betrachteten Versorgungsgebietes um synthetische Zeitreihen handelt, die sich zwar für die weiteren Untersuchungen eignen, deren Repräsentativität für reale Trinkwasserversorgungsgebiete jedoch zu überprüfen ist. Insbesondere wird der fluktuierende Charakter etwa von Gartenbewässerung oder des Wasserbedarfs für Landwirtschaft in diesen Zeitreihen nicht berücksichtigt.

Dieser Datensatz wird im Folgenden als „Eingangsdatensatz 2019“, da für die Flexibilitätseinsatzoptimierungen in Kapitel 4.5.3 die ebenfalls modellierten Jahre 2017 und 2018 nicht verwendet werden.

4.5.1.3 Eingangsdatensatz 2030

Zusätzlich zum Eingangsdatensatz 2019 wird für die Flexibilitätseinsatzoptimierungen in Kapitel 4.5.3 ein weiterer Eingangsdatensatz modelliert, der als Eingangsdatensatz 2030 bezeichnet wird. Dieser enthält im Gegensatz zum Eingangsdatensatz 2019 zum einen auch den Wasserverbrauch zur Gartenbewässerung aus (Knorr, K.; Giron, P.; Wiemer, M., 2022, Kapitel 2.3) und bildet zum anderen erhöhten Trinkwasserverbrauch aufgrund von Hitze und Trockenheit aus (Knorr, K.; Giron, P.; Wiemer, M., 2022, Kapitel 2.4) ab. Sowohl zur Bestimmung des Wasserverbrauchs zur Gartenbewässerung als auch der Erhöhung des Trinkwasserverbrauchs aufgrund von Hitze und Trockenheit wird auf die in (Knorr, K., 2022b) durchgeführte Rekonstruktion des Wasserverbrauchs mit Wetterdaten und kalendarischen Informationen mittels einer multiplen linearen Regressionsanalyse zurückgegriffen. Die Erstellung des Eingangsdatensatzes 2030 erfolgt desweiteren gemäß (Knorr, K.; Giron, P.; Wiemer, M., 2022, Kapitel 2.5). Dabei wird gemäß Abbildung 37 ein erhöhter Wasserverbrauch für „Bad & Körperpflege“ um ca. 17,5% (wobei Duschen mit 83% und Baden mit 17% gewichtet wurden) und eine Verringerung der Wasserverbrauchsart „Waschmaschine“ um ca. 1,8% an heißen Tagen gemäß der Ergebnisse der in AP3 durchgeführten Haushaltsbefragung (co2online, 2022) berücksichtigt. Mit „etwas häufiger als sonst“ angegebene, hitzebedingte Verbrauchsänderungen wurden dabei als +50% interpretiert; „seltener als sonst“ wurde mit -50% interpretiert.

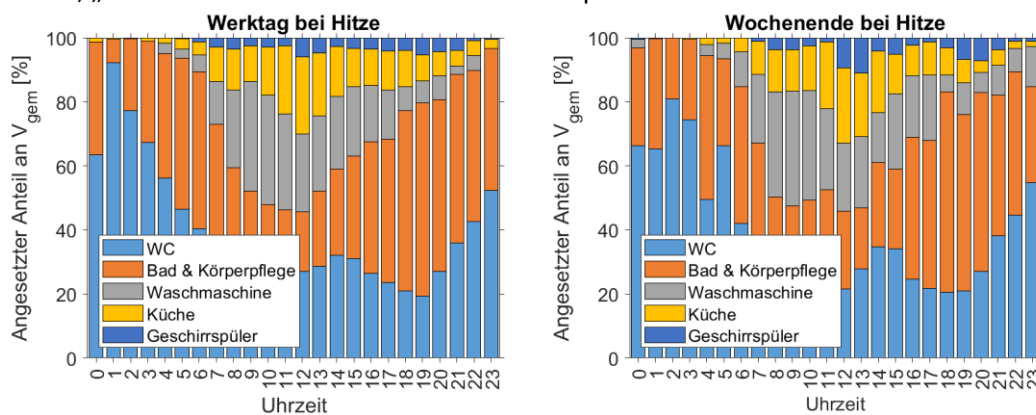


Abbildung 37: Anteile der Wasserverbrauchsarten am gesamten Wasserverbrauch pro Stunde gemäß DEMAPLAN (inter 3, 2015) und Haushaltsbefragung zu Wasserverbrauchsverhalten an heißen Tagen (co2online, 2022)

Es ist wie beim Eingangsdatensatz 2019 zu beachten, dass es sich beim Eingangsdatensatz 2030 um synthetische Zeitreihen handelt, die sich zwar für die weiteren Untersuchungen eignen, deren Repräsentativität für reale Trinkwasserversorgungsgebiete jedoch zu überprüfen ist.

4.5.1.4 Flexibilitätsoptionen

Gemäß den Definitionen aus AP1 werden die Wasserverbrauchsarten Garten, Waschmaschine, Geschirrspüler und Bad & Körperpflege werden als potenzielle Flexibilitätsoptionen betrachtet. Auch Trinkwasserspeicher werden als Flexibilitätsoptionen verstanden, jedoch in Kapitel 4.5.1.5 gesondert behandelt.

Zur Quantifizierung der Flexibilitätsoptionen wird auf die in AP3 durchgeführte Sonderbefragung (co2online, 2021) bzw. die Befragungsergebnisse aus Kapitel 4.2.2 zurückgegriffen. Aus diesen Umfrageergebnissen zur Bereitschaft zur regelmäßigen Verschiebung des Wasserverbrauchs und zum Umfang der Verbrauchsverschiebung wird durch entsprechende Gewichtung und wie in

(Knorr, K.; Giron, P.; Wiemer, M., 2022, Kapitel 2.6) genauer geschildert, das Flexibilitätspotenzial berechnet. Die ermittelten Flexibilitätspotenziale sind in Tabelle 10 aufgelistet.

Tabelle 10: Flexibilitätspotenzial zur zeitlichen Verschiebung der betrachteten Flexibilitätsoptionen

	Trinkwasserverbrauchsart	Geschirrspüler	Waschmaschine	Garten	Bad & Körperpflege
Eingangsdatensatz 2019	Flexibilitätspotenzial [%]	59,8	61,5	-	0
	Unflexibler Anteil [%]	40,2	38,5	-	100
Eingangsdatensatz 2030	Flexibilitätspotenzial [%]	59,8	61,5	58,7	35,8
	Unflexibler Anteil [%]	40,2	38,5	41,3	64,2

Werden diese Flexibilitätspotenziale mit den Anteilen der jeweiligen Wasserverbrauchsart aus (inter 3, 2015) gewichtet, ergibt sich ein Gesamtpotenzial von ca. 1/3 des Wasserverbrauchs von Haushalten.

Diese Flexibilitätspotenziale werden auf unterschiedliche Art den Eingangsdatensätzen der vorangegangenen Kapitel zugeordnet. Während für den Eingangsdatensatz 2019 nur Waschmaschine und Geschirrspüler als Flexibilitätsoptionen berücksichtigt werden, kommen für den Eingangsdatensatz 2030 noch Bad & Körperpflege sowie Garten hinzu. Die Flexibilitätspotenziale sind für Eingangsdatensatz 2030 aber nicht nur deswegen höher, weil vier anstelle von zwei Flexibilitätsoptionen zugeordnet werden; im Eingangsdatensatz 2030 macht der als „Sonstiges“ bezeichnete Wasserverbrauch mit im Mittel 17% des gesamten Wasserverbrauchs einen kleineren Anteil aus als der als „Basislast“ bezeichnete Anteil im Eingangsdatensatz 2019 mit im Mittel ca. 33%. Entsprechend größer sind die modellierten Wasserverbräuche für Geschirrspüler, Waschmaschine, Garten und Bad & Körperpflege im Eingangsdatensatz 2030 und somit auch die Flexibilitätspotenziale im m³.

Neben den Flexibilitätspotenzialen müssen auch die Zeiträume, in die die flexiblen Wasserverbräuche verschoben werden können, definiert werden. Abbildung 38 zeigt die angesetzten Zeitfenster für Flexibilitätseinsatz.

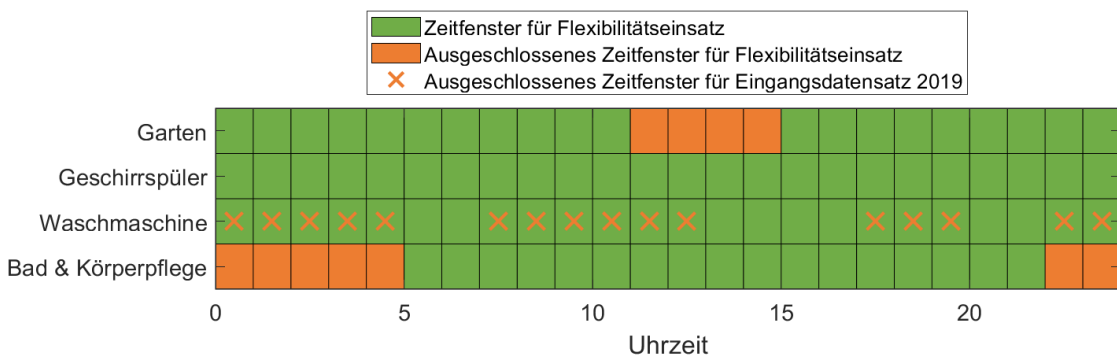


Abbildung 38: Angesetzte Zeitfenster für Flexibilitätseinsatz

Auch hinsichtlich der ihnen zugeordneten Zeitfenster für Flexibilitätseinsatz unterscheiden sich Eingangsdatensatz 2019 und 2030. Für ersteren ist der Einsatz der Flexibilitätsoption Waschmaschine auf die Zeiträume von 5 bis 7 Uhr, 13 bis 17 Uhr und 20 bis 22 Uhr beschränkt.

4.5.1.5 Trinkwasserspeicher

Neben den Flexibilitätsoptionen Garten, Waschmaschine, Geschirrspüler und Bad & Körperpflege werden in Abstimmung mit AP1 und AP2 auch Trinkwasserspeicher als mögliche Flexibilitäten betrachtet. Für die Einsatzoptimierungen in Kapitel 4.5.3 werden die Speichervolumen 150m^3 und 800m^3 verwendet.

Die mit AP1 abgestimmte Methode zur Bestimmung der Speichervolumen ist in (Knorr, K.; Giron, P.; Wiemer, M., 2022, Kapitel 2.7) beschrieben. Hier werden auch Investitionskosten für die Speichervolumen betrachtet.

4.5.1.6 Pumpleistungskennlinie

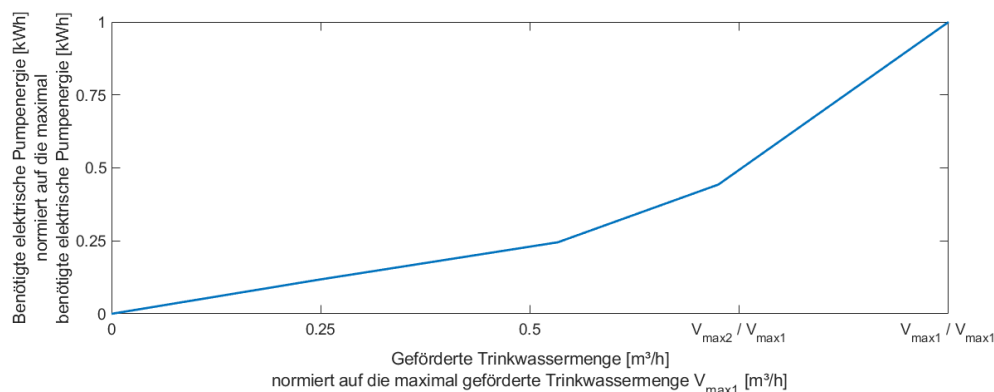


Abbildung 39: Angesetzte elektrische Pumpenleistung in Abhängigkeit der Fördermenge, Pumpleistungskennlinie

Stromkosten wurden als die einzigen, im Projekt abbildbaren Kosten identifiziert, die für den Betrieb von Trinkwasserversorgungssystemen relevant sind und sich innerhalb eines Tages verändern. Zur Umrechnung von Trinkwasserverbrauch auf die Stromkosten des hierfür notwendigen Betriebs von Pumpen wird auf die „typischen“ Verläufe des elektrischen Energiebedarfs in Abhängigkeit von Durchfluss, Wirkungsgrad der Pumpe, Höhendifferenz, Rohrreibung, Dichte des Wassers und Fallbeschleunigung aus (Hensel, P.; König, D.; Layec, V.; et al. 2017) zurückgegriffen, welche im Folgenden als „Pumpleistungskennlinien“ bezeichnet werden. Für die folgenden Untersuchungen wird in Absprache mit den Praxispartnern eine Pumpleistungskennlinie gemäß Abbildung 39 verwendet, die sich an den Beispielen der flachen und der steilen Pumpleistungskennlinie aus (Hensel, P.; König, D.; Layec, V.; et al. 2017) orientiert.

4.5.2 Strompreise

Der gesamte Strompreis [ct/kWh] setzt sich aus einer Reihe von Preisen zusammen, die sich zu den Bestandteilen Börsenpreis, Netzentgelte und Abgaben gruppieren lassen. Für die Einsatzoptimierung der Flexibilitäten zur Minimierung der Pumpkosten in Kapitel 4.5.3 werden

die Strompreiszusammensetzungen für die Jahre 2019 und 2030 gemäß (Knorr, K.; Giron, P.; Wiemer, M., 2022, Kapitel 3) verwendet. Hier werden auch die zugrunde gelegten Quellen genannt.

Die Abgaben fallen, im Gegensatz zu den Netzentgelten und dem day-ahead Börsenpreis, unabhängig davon an, um welche Uhrzeit der Strom verbraucht wird. Somit lassen sich durch einen innertägigen Einsatz von Flexibilitäten nur bestimmte Anteile des Strompreises (höchstens ca. 37% für 2019 und ca. 67% für 2030) reduzieren.

4.5.2.1 Börsenstrompreise

Die Zeitreihe des day-ahead Börsenstrompreises wird für das Jahr 2019 der ENTSO-E transparency platform entnommen. Für das Jahr 2030 wird der in (Knorr, K., 2022a) für die Zwecke von FLEXILITY modellierte day-ahead Börsenstrompreis verwendet.

Wie in (Knorr, K.; Giron, P.; Wiemer, M., 2022, Kapitel 3.1) genauer ausgeführt, sind für 2030 höhere Stromkosteneinsparungen als für 2019 zu erwarten, obwohl der Strompreis 2019 in der Regel zeitlich besser mit dem Wasserverbrauch korreliert. Dies liegt daran, dass der Einsatz von Flexibilitäten in Kapitel 4.5.3 für jeden Tag des Jahres separat optimiert wird und das deutlich häufigere Auftreten von hohen innertägigen Strompreisschwankungen im Jahr 2030 höhere Kosteneinsparungen durch einen kostenoptimalen Einsatz der Flexibilitäten ermöglichen.

4.5.2.2 Netzentgelte

Neben der Ausnutzung von (innertägigen) Schwankungen des Börsenstrompreises lassen sich durch eine gezielte zeitliche Verschiebung des Stromverbrauchs auf Zeiten mit geringen Stromnetzbelastungen („atypische Netznutzung“) auch die Netzentgelte reduzieren. Die Netzentgelte setzen sich in der Regel aus einem Arbeitspreis und einem Leistungspreis zusammen, für die die Werte 0,79 €/kWh bzw. 104,2 €/kW angesetzt werden. Der für den Leistungspreis relevante Leistungswert [kW] entspricht dem höchsten Leistungswert des Stromverbrauchs, der während des gesamten betrachteten Jahres innerhalb von so genannten Hochlastzeitfenster aufgetreten ist. Die der Netzentgeltsystematik zugrunde gelegten Quellen können (Knorr, K.; Giron, P.; Wiemer, M., 2022, Kapitel 3) entnommen werden.

4.5.3 Optimierung des Flexibilitätseinsatzes

In diesem Kapitel werden die Durchführung (Kapitel 4.5.3.1) und Ergebnisse (Kapitel 4.5.3.2) des optimalen Einsatzes der Flexibilitätsoptionen aus Kapitel 4.5.1.4 und von Trinkwasserspeichern aus Kapitel 4.5.1.5 beschrieben.

4.5.3.1 Durchführung

Das Optimierungssystem ist als ein Punktmodell gemäß Abbildung 34 aufgebaut, d.h. es werden keine Berechnungen des Wasserleitungsnetzes, etwa Druckberechnungen, durchgeführt.

Es wurden 15 verschiedene Varianten der Flexibilitätseinsatzoptimierung durchgeführt, deren Unterscheidung (Knorr, K.; Giron, P.; Wiemer, M., 2022, Tabelle 5) entnommen werden kann.

Das Optimierungssystem liest entweder den Eingangsdatensatz 2019 und die Strompreise 2019 oder die entsprechenden Zeitreihen für das Jahr 2030 ein. Eine weitere Eingangsgröße stellt die Pumpleistungskennlinie aus Kapitel 4.5.1.6 dar, die das Optimierungssystem nutzt, um von Wasserverbrauch, sei er bereits durch die Einsatzoptimierung verschoben oder nicht, über Pumpleistung, Börsenstrompreis und Netzentgeltsystematik auf Pumpkosten umzurechnen.

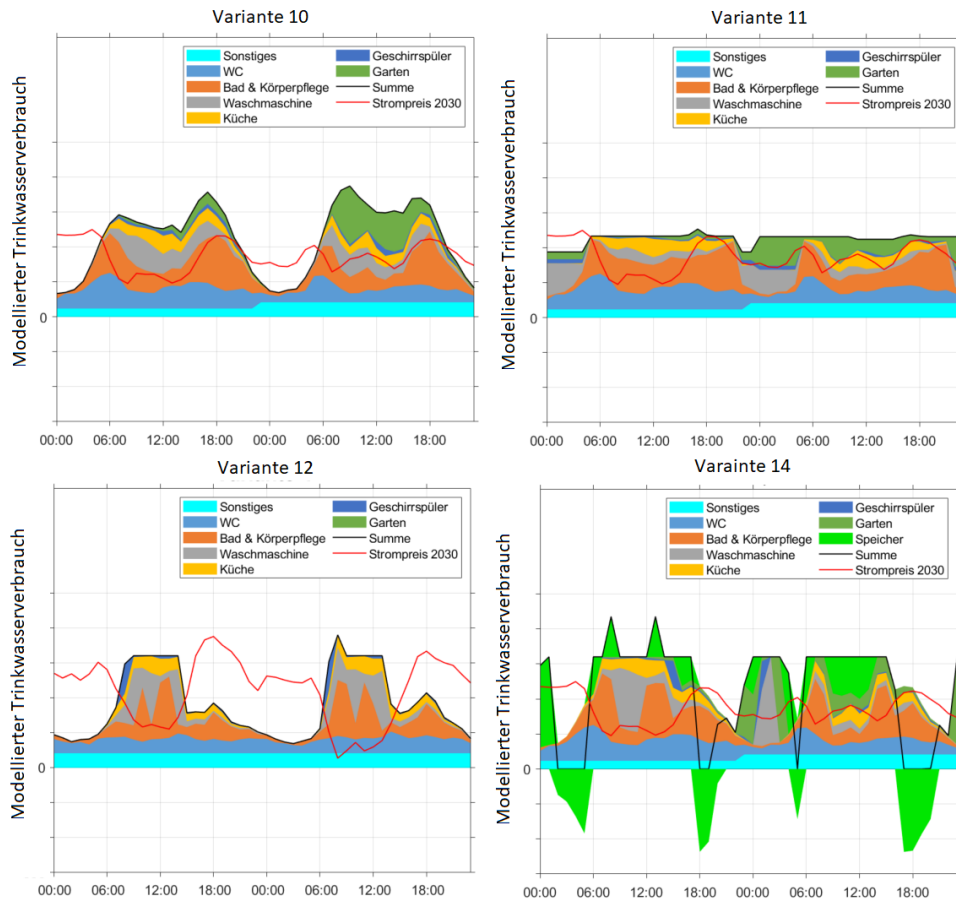


Abbildung 40: Verdeutlichung der Auswirkungen der Flexibilitätseinsatzoptimierung

Sofern FlexOpt in einer Optimierungsvariante berücksichtigt werden, teilt das System den Wasserverbrauch aus dem Eingangsdatensatz in einen flexiblen und unflexiblen Anteil auf (siehe auch Abbildung 34). Der unflexible Anteil ergibt sich dabei aus dem Eingangsdatensatz, dessen Zeitreihe einer jeden Wasserverbrauchsart mit dem entsprechenden Wert des unflexiblen Anteils aus Tabelle 10 multipliziert wird. Der flexible Anteil wird entsprechend vom Eingangsdatensatz abgezogen und steht dem Optimierungssystem unter Berücksichtigung der Zeitfenster aus Abbildung 38 zum zeitlich verschobenen Einsatz zur Verfügung.

Abbildung 40 verdeutlicht die Auswirkungen des Flexibilitätseinsatzes auf die Zeitreihen des resultierenden Wasserverbrauchs. Variante 10, für die kein Flexibilitätseinsatz durchgeführt wurde, dient zum Vergleich. Die übrigen dargestellten Varianten unterscheiden sich dahingehend, ob nach minimaler Varianz (Variante 11) zur Spitzenlastkappung oder minimalen Pumpkosten

(Variante 12 und 14) optimiert wurde und ob nur die Flexibilitätsoptionen (Variante 11 und 12) oder zusätzlich auch Trinkwasserspeicherung (Variante 14) berücksichtigt wurden.

4.5.3.2 Ergebnisinterpretation

Die genauen Ergebnisse der Einsatzoptimierung der Flexibilitäten können (Knorr, K.; Giron, P.; Wiemer, M., 2022, Tabelle 5) entnommen werden. An dieser Stelle seien nur die zentralen Schlussfolgerungen aus den Berechnungen erwähnt. Diese sind:

- Verbrauchsspitzen lassen sich bis zu 25% unter Verwendung der Flexibilitätsoptionen und bis zu 32% unter Verwendung eines 800m³ Speichers reduzieren.
- Auch die aufgrund von Hitze und Trockenheit gestiegenen Trinkwasserverbrauchsspitzen lassen sich durch Flexibilitätseinsatz auf „Normalbetrieb“ reduzieren und damit die Klimaresilienz des Trinkwasserversorgungssystems zur Bewältigung des modellierten, klimabedingten Verbrauchsanstiegs gewährleisten.
- Pumpkosten lassen sich bis zu 6% unter Verwendung der Flexibilitätsoptionen und bis zu 17% unter Verwendung der Flexibilitätsoptionen und eines 800m³ Speichers reduzieren
- Die Pumpkostenreduzierung teilt sich zu ca. 45% auf die Ausnutzung von Börsenstrompreisschwankungen und zu ca. 55% auf die Reduzierung der Netzentgelte auf.
- Durch Einsatz der Flexibilitätsoptionen und eines 800m³ Speichers können die Pumpkosten von ca. 10,5 ct/m³ auf ca. 8,7 ct/m³ um 1,8 ct/m³ reduziert werden. 1,8 ct/m³ machen nur 0,7% eines für Deutschland durchschnittlichen Trinkwasserpreises von 260 ct/m³ aus. Eine entsprechende Reduzierung des Trinkwasserpreises reicht wohl kaum aus, um Verbraucher*innen zur Flexibilisierung anzureizen und Einschränkungen hinsichtlich der Uhrzeiten ihres Wasserverbrauchs in Kauf zu nehmen.
- Neben dem wirtschaftlichen Anreiz einer Reduzierung des Trinkwasserpreises bestehen bei den Verbraucher*innen, wie die Umfrageergebnisse aus AP3 zeigen, auch weitere Motivationen zur Flexibilisierung ihres Trinkwasserverbrauchs. Dies könnte z.B. eine verstärkte Nutzung von erneuerbaren Energien sein. Die Optimierungsergebnisse der Pumpkostenreduzierung gehen wegen der hohen Korrelation von Börsenstrompreis und Residuallast (Knorr, K., 2022a) mit einer Erhöhung des Anteils von erneuerbaren Energien im Pumpstromverbrauch von ~69% auf ~78% einher.
- Die Investition in Trinkwasserspeicher kann sich gemäß (Knorr, K.; Giron, P.; Wiemer, M., 2022, Tabelle 4) je nach konkreten Investitionskosten durchaus rechnen. Bereits nach 17 Jahren können demnach die Investitionskosten amortisiert sein und sich die Pumpkosteneinsparungen ab dann rechnen. Allerdings machen diese unter der Annahme, dass die Gesamtkosten durch die Trinkwasserpreise gedeckt werden, offensichtlich nur einen äußerst kleinen Anteil der Gesamtkosten (0,7%) aus. Für Versorger könnten Speicher demnach attraktiv sein, zumal sie Ihren Handlungsspielraum erweitern. Eine Weitergabe der Kosteneinsparung an die Verbraucher*innen macht vor dem Hintergrund, dass der Trinkwasserpreis um lediglich ca. 0,7% reduziert werden könnte, wenig Sinn.

4.6 Bewertungsschema „Klimaresilienz“ (BTU Cottbus-Senftenberg)

Das Arbeitspaket hatte zum Ziel, ein Bewertungsmodell zur Ermittlung der Klimaresilienz von städtischen Infrastruktursystemen zu entwickeln. Das Bewertungsmodell sollte Aussagen erlauben, wie robust eine Infrastruktur gegenüber äußeren Einflüssen, hervorgerufen durch Extremwetterereignisse, ist. Um die Anwendbarkeit für Versorgungsunternehmen zu prüfen, wurden die Praxispartner des Forschungsprojektes über Interviews und Diskussionsrunden in den Prozess der Erarbeitung eingebunden. Das Bewertungsmodell soll bei Anwendung auf ein System aufzeigen, welche Bereiche der Infrastruktur durch Wetterereignisse betroffen sind und welche Stellschrauben bedient werden können, um diese Vulnerabilität kurz-, mittel- und langfristig zu verringern.

4.6.1 Operationalisierung des Begriffes (Klima)-Resilienz | Fähigkeiten

Der Begriff der Resilienz findet seine Anwendung bereits in vielen verschiedenen Fachdisziplinen, wie den Ingenieurwissenschaften oder der Entwicklungspsychologie (Scharte; Thoma 2016: 125). Die seit den letzten Jahrzehnten betriebene Operationalisierung des Begriffes auf andere Fachbereiche führte letztendlich zu einer Weiterentwicklung des Ansatzes hin zu einer gesamtsystemischen Betrachtung.

Beispielhaft hierfür steht die im Forschungsprojekt MONARES entwickelte Definition. Darin wird der Resilienz gegenüber den Klimafolgen auf folgende sechs Fähigkeiten fokussiert: Antizipieren, Lernen, Transformieren, Anpassen, Widerstehen, Wiederherstellen.⁹ Diese Definition sowie der Ansatz dieser sechs Fähigkeiten wurde als Basis für den Begriff der Klimaresilienz verwendet und auf die technischen Infrastrukturen angewendet.

Die Abbildung 41 veranschaulicht die Fähigkeiten nach der Definition von MONARES im zeitlichen Kontext. Deutlich wird, dass es keine strenge Abfolge der Fähigkeiten gibt, sondern dass diese z.T. parallel verlaufen und dieser Sachverhalt in der Bewertung berücksichtigt werden muss. Vereinfacht muss das Bewertungsmodell die Frage beantworten: Sind diese 6 Fähigkeiten vorhanden?

⁹ „Klimaresilienz einer Stadt besteht aus den Fähigkeiten ihrer Sub-Systeme, Folgen von Extremwetter und Klimaveränderungen zu antizipieren, negativen Konsequenzen daraus zu widerstehen, nach Beeinträchtigungen dadurch zentrale Funktionen schnell wiederherzustellen, aus den Ereignissen und Beeinträchtigungen zu lernen, sich an Folgen von Klimaveränderungen kurz- und mittelfristig anzupassen und sich langfristig zu transformieren. Je stärker diese Fähigkeiten ausgeprägt sind, desto resilienter ist eine Stadt gegenüber Folgen des Klimawandels.“ (Feldmeyer et al. 2019: 2)

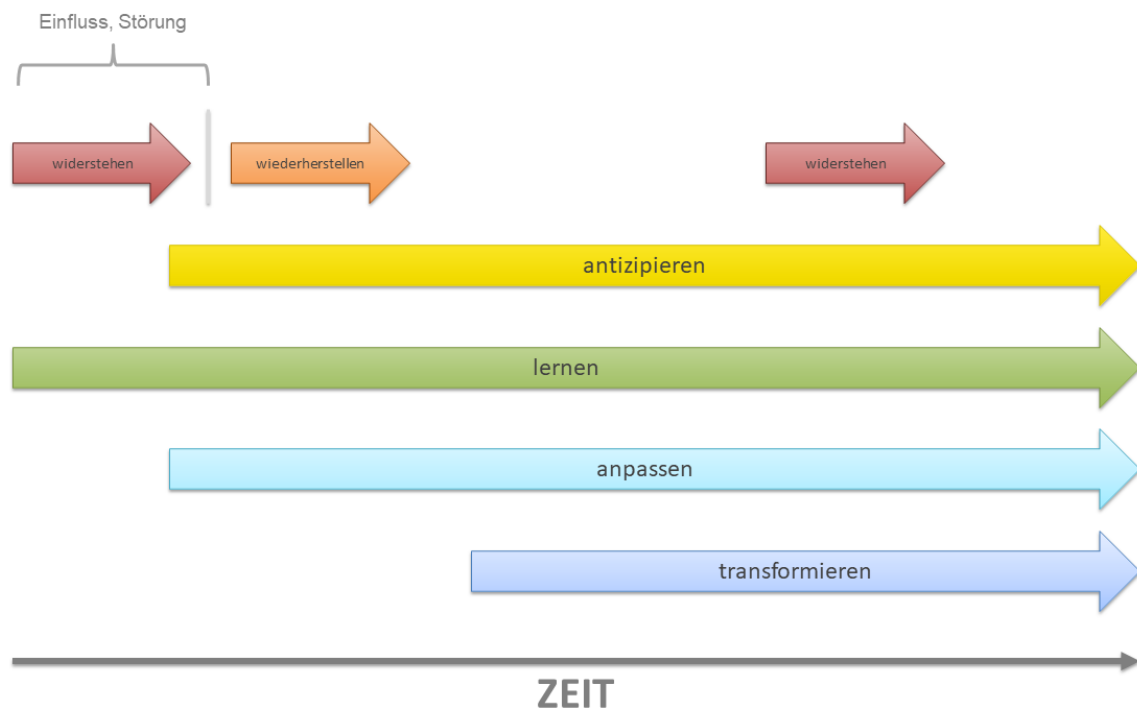


Abbildung 41: Zeitliche Abfolge der Fähigkeiten der Klimaresilienz, Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Feldmeyer et al.

4.6.2 Analyse der Akteurskonstellation

Bereits früh zeigte sich, dass die Frage nach dem Maß der Resilienz einer technischen Infrastruktur nur unter Berücksichtigung der Individualität des Systems, z.T. sogar des Versorgungsgebietes beantwortet werden kann. Das Bewertungssystem wurde deshalb exemplarisch für die Trinkwasserversorgung entwickelt und soll später für weitere Infrastrukturen adaptiert werden. Die Trinkwasserversorgung wurde ausgewählt, da die Ergebnisse aus den Arbeiten im AP1 aufzeigten, dass diese Infrastruktur in verschiedenen Teilbereichen eine hohe Vulnerabilität gegenüber den prognostizierten Extremwetterereignissen aufweist. Des Weiteren konnten so die Praxispartner aus dem Bereich der Trinkwasserversorgung bestmöglich mit ihren praktischen Betriebserfahrungen eingebunden werden.

Im nächsten Arbeitsschritt sind die Akteursstrukturen analysiert worden, die Einfluss auf die Trinkwasserversorgung nehmen (können) und in Hinblick auf das Vorhandensein der 6 Fähigkeiten überprüft werden müssen. Verschiedene Literaturquellen zu inhaltlich ähnlichen Fragestellungen wie beispielsweise die Ausarbeitung der Konstellation des Gesamtsystems der kritischen Infrastruktur im Forschungsprojekt „Kritische Infrastrukturen - Resilienz als Mindestversorgungskonzept“ (KIRMin) (Fekete et al. 2019) sowie die Zuweisung von Verantwortungen für die erarbeiteten Flexibilitätsoptionen bilden die Basis für diese Einschätzung. Im Ergebnis wurden drei relevante Akteursgruppen identifiziert: das Versorgungsunternehmen, die Kommune/Governancestrukturen sowie die Verbraucher*innen und Eigentümer*innen. Alle drei Gruppen haben auf verschiedenen räumlichen und

administrativen Ebenen Einflussmöglichkeiten auf die Resilienz der Trinkwasserversorgung. Diese Zusammenhänge werden im Folgenden kurz erläutert.

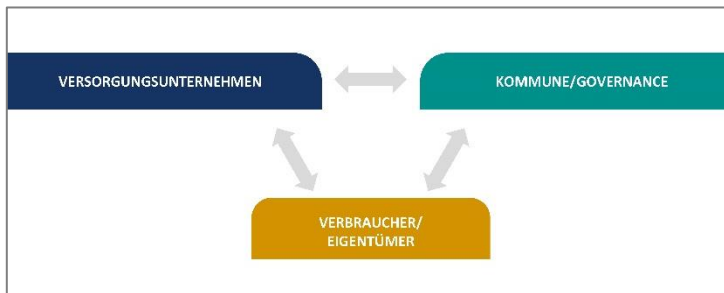


Abbildung 42: Relevante Akteure in der kommunalen Trinkwasserversorgung, Quelle: Eigene Darstellung

Alle „systemischen“ Verantwortungen von der Wasserförderung bis zum Hausanschluss und die daraus resultierenden ökonomischen Folgen liegen beim Trinkwasserversorgungsunternehmen. Damit geht einher, dass das Unternehmen die weitreichendsten Möglichkeiten in Bezug auf die Anpassungsfähigkeit an die zukünftigen Herausforderungen hat. Deshalb muss dieser Akteur zwingend bei der Betrachtung der Klimaresilienz mit einbezogen werden.

Die Kommune, hier als Element der Governance betrachtet, übernimmt als Träger der Daseinsvorsorge rahmengebende und regulatorische Funktionen. So kann sie die Aufgabe der Trinkwasserversorgung nach §50 Abs. 1 des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) an ein Versorgungsunternehmen übertragen. Weitere Handlungsmöglichkeiten bestehen über kommunale Gremien, welche für Satzungen und Konzepte, sowie informelle und formelle Planungen verantwortlich sind. Hierzu zählt beispielsweise die Ausweisung von neuen Siedlungs-, Gewerbe- und Industrieflächen, welche eine Veränderung der Bedarfssituationen im Versorgungsnetz erzeugen.

Den „nicht-öffentlichen“ Teil des Versorgungsnetzes repräsentieren Immobilieneigentümer*innen und Verbraucher*innen. Erstere sind für die Trinkwasserverteilung und den Bereich der Armaturen und Geräte im Gebäude verantwortlich. Verbraucher*innen beeinflussen über ihr Nutzungsverhalten die Menge und den Zeitpunkt ihres Trinkwasserverbrauchs, welche als zentrale Stellschrauben gesehen werden können.

Anhaltspunkte zur Einschätzung der Höhe der Einflussnahme von WVU und Governance bei Extremwetterereignissen liefern die Arbeiten von Broß et al. (2018). Darin sind die möglichen Störereignisse in der Trinkwasserversorgung in drei Schadensausmaße (Normalzustand mit Störung, Notfall/Krise, Katastrophenfall; vgl. Abbildung 43) klassifiziert und mit Angaben zur Zuständigkeit unterlegt.

Ereignis	Normalzustand mit Störung	Notfall/Krise	Katastrophenfall
Ausmaß	Versorgungsunterbrechung kleiner Gebiete (z. B. einzelner Straßenzug)	Überschreitung Grenzwerte TrinkwV (ohne Gesundheitsgefährdung)	Großflächiger Ausfall oder Unterbrechung der Trinkwasserversorgung (Große Anzahl von betroffenen Personen)
Akteur	WVU	WVU Gesundheitsamt KatS-Einheiten THW Feuerwehr Priv. Dienstleister	WVU Gesundheitsamt KatS-Einheiten THW Feuerwehr Priv. Dienstleister
Entscheider	Gesundheitsamt	Gesundheitsamt Kreisleitstelle	Verwaltungsstab (Krisenstab)

Abbildung 43: Erläuterungen zur Differenzierung der Ersatz- und Notwasserversorgung, Quelle: Broß et al. 2018

Die im Forschungsprojekt betrachteten Extremwetterereignisse wie Hitze oder Trockenheit bewirken i.d.R. hohe Lastspitzen, aber im Vergleich zu beispielsweise Überflutungen oder Stürmen keine unmittelbaren Schäden im Versorgungssystem. Auch ein plötzlicher Ausfall der Trinkwasserversorgung ist nicht zu erwarten. Ihre Auswirkungen sind deshalb in die Klasse „Normalzustand mit Störung“ einzuordnen.

Hier zeigt sich: Der zentrale Akteur für das Management milderer Extremwetterausprägungen ist das Trinkwasserversorgungsunternehmen (WVU). Das Gesundheitsamt (hier als Akteur der Governance-Strukturen, der verwaltende Aufgaben der Kommune wahrnimmt) ist zwar als entscheidende Instanz permanent im Austausch und wird aber nur aktiv, wenn es zu Qualitätsabweichungen der Trinkwasserparameter kommt. Es entscheidet dann das Amt bezüglich des weiteren Vorgehens. Mit dem Betriebsprozess der Infrastrukturkomponenten setzt sich das Gesundheitsamt nicht auseinander. Erst wenn ein Ereignis eine teilweise oder vollständige Versorgungsunterbrechung hervorruft, dann wird hier von einem Notfall-/Krise- oder auch Katastrophenfall ausgegangen und weitere Akteure in den Prozess einbezogen. Dies entspricht jedoch nicht mehr dem flexibel agierenden System, sondern betrifft den Bereich der Notwasserversorgung. Der Sachverhalt liegt damit außerhalb des Betrachtungsbereiches von Flexility.

Der Einfluss der Immobilieneigentümer*innen und Verbraucher*innen als dritte Akteursgruppe ergibt sich ausschließlich aus dem Nutzungszweck des Systems. Hier konnte im Reallabor eine Anpassung des Nutzungsverhalten bei entsprechenden Anreizen festgestellt werden. Einen rechtlichen Rahmen zur Beeinflussung des Verhaltens gibt es jedoch nicht, wodurch das Potenzial nicht verlässlich erschlossen werden kann. Als technisch möglich stuft man die Einführung von zeitlich variablen Verbrauchstarifen in Verbindung mit Smart Metern ein. Mit Blick auf eine Steigerung der Resilienz eines Trinkwasserversorgungssystems ist dies zu unterstützen. Will man jedoch eine Verlässlichkeit einer klimaresilienten Trinkwasserversorgung, muss der Fokus auf eine systemische Integration von Prozessen und Qualitäten primär auf der Seite des Unternehmens liegen.

4.6.3 Operationalisierung der Fähigkeiten | Erstellung eines aktorenspezifischen Resilienzbewertungsmodelles

Die Überführung der Fähigkeiten in Handlungen der Akteure bzw. des Akteurs WVU erfolgte entlang der Fragestellungen: Welche Prozesse müssen bei einer (idealen) klimaresilienten Infrastruktur entlang der 6 Fähigkeiten durchgeführt werden und welche Qualitäten/Ergebnisse sind dabei zu erreichen? Vorab galt es einzugrenzen, für welche der drei Akteure konkrete Prozesse und Qualitäten vorzugeben sind.

Für die Erarbeitung des Resilienzbewertungsmodelles wurden Teilprozessschritte abgeleitet, in eine zeitliche Abhängigkeit gesetzt und eine Art Ablaufschema für den Klimaresilienzbewertungsvorgang entwickelt. Dieses ist in Abbildung 44 zu erkennen und stellt gleichzeitig die Struktur des Resilienzbewertungsmodelles für Trinkwasserversorgungsunternehmen zum derzeitigen Stand dar. Zum besseren Verständnis wurden die aus den sechs Fähigkeiten operationalisierten Prozesse in die strategische sowie operative Klimaresilienz eingeteilt. Ersteres zeigt die Prozesse auf, die für die Erarbeitung einer Anpassungsstrategie notwendig sind und aus der strategischen Perspektive des Unternehmens durchgeführt werden müssen. Die operative Klimaresilienz hingegen stellt alle technischen und baulichen Maßnahmen dar, die zur Anpassung des gesamten Versorgungssystems beitragen.

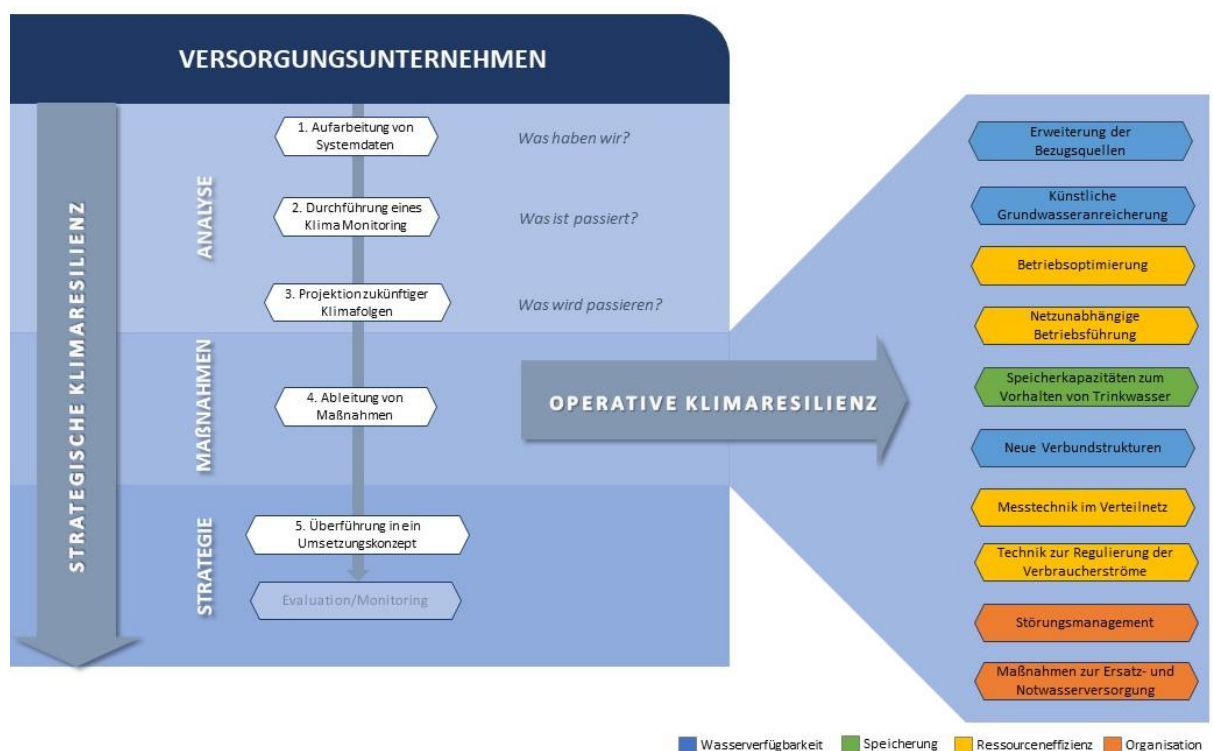


Abbildung 44: Resilienzbewertungsmodell für Trinkwasserversorgungsunternehmen, Quelle: Eigene Darstellung BTU Cottbus

Nachfolgend werden die einzelnen Prozesse inhaltlich erläutert. Im ersten Teilbereich der Analyse wird die Betroffenheit des Systems durch Extremwetterereignisse geprüft. In einem ersten Arbeitsschritt ist es deshalb notwendig, dass Systemdaten und Informationen in ausreichender Qualität zur weiteren Verarbeitung im Unternehmen zur Verfügung stehen. Zum Beispiel werden hier Informationen wie Anlagenkomponenten, Leistungskennwerte, Kapazitäten aber auch Daten wie zeitlich hoch aufgelöste Lastganglinien der Trinkwassergewinnung, -aufbereitung und auch -einspeisung benötigt.

Der nachfolgende Prozessschritt „Durchführung eines Klimamonitorings“ stellt die Verknüpfung der Systemdaten zu vergangenen Wetterdaten dar. Damit soll überprüft werden, inwieweit Wetterereignisse aber auch die Veränderung von Wetterparametern, wie beispielsweise die Lufttemperatur, Einfluss auf das Versorgungssystem hatten. Bestenfalls können darauf aufbauend Schlussfolgerungen und Zusammenhänge abgeleitet werden, inwieweit zum Beispiel die maximale Tagestemperatur Einfluss auf die Einspeisung in das Versorgungsnetz hatte. Das sogenannte Klimamonitoring bildet somit den Blick in die vergangenen Ereignisse ab und lässt Schlussfolgerung über das Verhalten des bestehenden Systems bei Wetterereignissen zu. Dadurch werden zum Beispiel die Fähigkeiten des Lernens und Antizipierens gefördert.

Die „Projektion zukünftiger Klimafolgen“ ist als eine Ergänzung des Klimamonitorings zu betrachten, hingegen wird hier der Blick in die Zukunft gerichtet. Es wird auf Basis der bestehenden Schlussfolgerungen analysiert, welchen Einfluss die zukünftigen Extremwetterereignisse haben können. Dazu werden mit Hilfe von regionalen Klimaprojektionen die zukünftig zu erwarteten klimatischen Bedingungen analysiert und die bestehenden Erkenntnisse hochskaliert. Zum Beispiel kann hier die Zunahme der Anzahl der heißen Tage durch eine prozentuale Angabe auf den derzeitigen Einfluss der heißen Tage angewendet werden. Dadurch wird bestenfalls ein Gesamtüberblick erzeugt, welche Herausforderungen durch Extremwetterereignisse in den nächsten Jahren bei dem Versorgungsunternehmen entstehen werden. Als nächster Prozess können aus diesen Herausforderungen bestimmte Anpassungsmaßnahmen abgeleitet werden, die dem entgegenwirken.

Diese Maßnahmen überführen in den Bereich der operativen Klimaresilienz, stellen die technischen organisatorischen Lösungen zur Stärkung der Klimaresilienz dar. Dabei stellen diese keine abschließende Auflistung dar, sondern bilden ein Basis-Set ab, welches im Laufe des Forschungsprojektes durch Recherchen und Gespräche mit Versorgungsunternehmen entstanden ist. Die Bestrebungen in der Umsetzungsphase von FLEXITILITY sind dahingehend, dieses Bewertungsmodell und die Maßnahmen zum Beispiel durch breit angelegte Befragungen und Interviews weiter zu entwickeln. Somit geben die Maßnahmen der operativen Klimaresilienz eine Grundstruktur vor, die in zielsetzende Themenfelder unterteilt ist.

Letztendlich sollen diese Anpassungsmaßnahmen sowie deren Planung und Durchführung in ein Umsetzungskonzept überführt werden, welches mittel- bis langfristig die Transformation hinsichtlich der Klimaresilienz/-anpassung darstellt. Die Umsetzung der Maßnahmen sowie die Erfüllung selbst gestellter Zielstellungen muss dann in bestimmten zeitlichen Abständen evaluiert und die Strategie ggf. angepasst werden.

Alle Inhalte des Resilienzbewertungsmodelles (Maßnahmen der operativen Klimaresilienz sowie die Prozessschritte der strategischen Klimaresilienz) sind inhaltlich noch detaillierter aufgefächert und erläutert. So wird beispielsweise unter der Erweiterung der Bezugsquellen der Bau neuer Gewinnungsanlagen, die Reaktivierung alter Gewinnungsanlagen sowie die Vertiefung von Brunnenförderungen verstanden. Die Prozessschritte der strategischen Klimaresilienz bestehen zudem aus einzelnen Vorgängen, deren Erläuterungen, Anforderungen und Zielstellungen. Mit Hilfe dieser ergänzenden Inhalte kann das Bild des klimaresilienten Trinkwasserversorgungsunternehmens genauer nachvollzogen werden.

4.6.4 Ableitung einer Bewertungsmatrix zur Beurteilung der Klimaresilienz

In einem letzten Arbeitsschritt galt es, das „Vorbild“ einer klimaresilienten Trinkwasserversorgung mit einer Bewertungssystematik zu unterlegen, mit deren Hilfe sich Unternehmen an dem Vorbild messen können. Für die Operationalisierung wurden die einzelnen Teilprozesse und Maßnahmen in Fragestellungen überführt, die vereinfacht ausgedrückt das Vorhandensein und die Durchführungen prüfen. Beispielsweise bestehen für die Bewertung des Prozesses „Aufarbeitung von Systemdaten“ sechs Fragestellungen, die die Erhebung und das Vorhandensein von bestimmten Informationen und Daten im Unternehmen abfragen. Eine beispielhafte Frage ist: „Werden die Mengen der Trinkwasserabgabe (Lastgang) an das Netz zeitlich hoch aufgelöst (digital) gemessen und diese Daten gespeichert?“. Die Beantwortung erfolgt immer innerhalb einer Punkteskala von 1 (trifft nicht zu) bis 4 (trifft zu). Die Zielstellung ist jeweils das Erreichen des formulierten Idealbildes, was sich durch die Bewertung mit voller Punktzahl ergibt. Somit kann zu einem bestimmten Zeitpunkt abgebildet werden, inwieweit die Prozesse und Qualitäten der strategischen und operativen Klimaresilienz im Versorgungsunternehmen bereits vorhanden sind.

Bei der Bewertung der operativen Klimaresilienz wird mit der gleichen Grundsystematik die Relevanz, Planung und Umsetzung der vorgeschlagenen Maßnahmen überprüft. Im Vorhinein wird die Betroffenheit des Unternehmens im jeweiligen Themenfeld abgefragt. Dadurch sollen ausschließlich Maßnahmen bewertet werden, in dessen Themenfeld im Unternehmen überhaupt einen Handlungsbedarf besteht. Wenn also keine Betroffenheit und Handlungsdruck im Themenfeld der Wasserverfügbarkeit besteht, dann wird dies nicht als Voraussetzung für die Bewertung der operativen Klimaresilienz mit einbezogen. Letztendlich werden die abgegebenen Bewertungen in eine Auflistung von Punkten überführt und in dem jeweiligen Prozess und Themenfeld zusammengefasst dargestellt. Ein solches Ergebnis ist in Abbildung 45 und Abbildung 46 dargestellt.

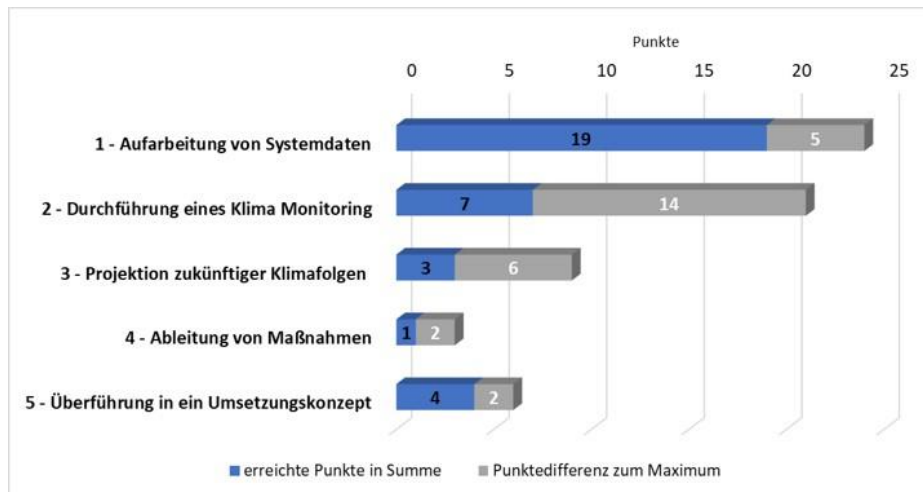


Abbildung 45: Bewertungsergebnisse für die strategische Klimaresilienz, Quelle: Eigene Darstellung

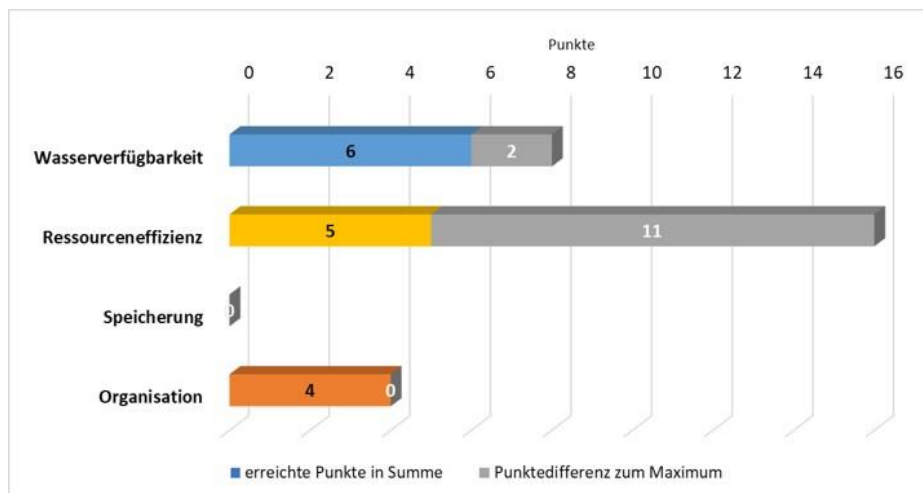


Abbildung 46: Bewertungsergebnisse für die operative Klimaresilienz, Quelle: Eigene Darstellung

5 Handlungsempfehlungen für die Trinkwasserversorgung (alle Autoren)

Folgende Handlungsempfehlungen werden für die Ermöglichung und den Einsatz von Flexibilitäten spezifisch in der Trinkwasserversorgung aus den Untersuchungen abgeleitet:

1. Stündliche Messung der geförderten Wassermenge

Um Erkenntnisse über den Tagesverlauf des Trinkwasserverbrauchs ziehen und Vortagsprognosen des Wasserverbrauchs (siehe nächsten Punkt) erstellen zu können, ist eine stündliche oder häufigere Aufzeichnung der geförderten Wassermenge erforderlich. Diese sollte mit einer Aufzeichnung der verwendeten Pumpenergie [kWh] einhergehen.

2. Prognosen des Wasserverbrauchs

Um Flexibilitäten gezielt einsetzen zu können, sei es zur Reduzierung der Pumpkosten, zur Verhinderung von (extremwetterbedingten) Lastspitzen oder zur möglichst hohen Ausnutzung von erneuerbaren Energien, sind Prognosen des Wasserverbrauchs erforderlich. In die Erstellung der Prognosen sollten Wetterdaten einfließen, um mögliche Überlastungen der Trinkwasserversorgung durch Extremwetter prognostizieren und entsprechende Maßnahmen, z.B. Flexibilitätseinsatz, planen zu können. Vortagsprognosen des (Pump-) Stromverbrauchs sind für die Teilnahme an der day-ahead Strombörse erforderlich.

3. Aufzeichnung der unterschiedlichen Wasserverbrauchsarten

Da je nach Wasserverbrauchsart unterschiedliche Flexibilitätpotenziale anzusetzen sind, sollte die Zusammensetzung des Trinkwasserverbrauchs in stündlicher Auflösung weiter untersucht und durch Messungen belegt werden, um diesbezüglich eine größere Datengrundlage zu schaffen.

4. Untersuchung der Wetterabhängigkeit des Wasserverbrauchs

Die Aufzeichnungen der unterschiedlichen Wasserverbrauchsarten (Punkt 3) sollten Wetterdaten gegenübergestellt werden, um den Einfluss des Wetters, insbesondere von Extremwetter, auf den Wasserverbrauch genauer analysieren zu können (siehe hierzu auch (Knorr, K., 2022b) und (Knorr, K.; Giron, P.; Wiemer, M., 2022, Kapitel 2.4)).

5. Einbindung von Haushalten als Partner

Bereits heute kooperieren Wasserversorger direkt mit Wassergroßkunden, um Verbräuche im Sinne eigener Betriebsparameter zu steuern. In Zukunft sollten Wasserversorger auch die privaten Haushalte verstärkt als Partner sehen. Dazu gilt es, direkte Kommunikationskanäle mit ihnen aufzubauen, die u.a. in Mietwohnverhältnissen weitgehend fehlen, sie über Herausforderungen in Kenntnis zu setzen und sie hinsichtlich ihrer eigenen Mitwirkungsmöglichkeiten im Sinne einer Optimierung von Verbrauchskurven anzuleiten. Verbraucher haben sich in den Reallaboren als außerordentlich interessiert und kooperationsbereit gezeigt und auch ihre grundsätzliche Mitwirkungsbereitschaft unter Beweis gestellt.

6. Aktivierung der Flexibilitäten

Eine große Herausforderung besteht darin, wie die Flexibilitätpotenziale in der Trinkwasserversorgung von Haushalten aktiviert und möglichst verlässlich gestaltet werden können. Hier sind z.B. ein steuernder Eingriff des Wasserversorgers bzgl. des Trinkwasserbezugs von Kunden, dezentrale Automatisierungen des Trinkwasserverbrauchs in den Haushalten oder wiederholte (Ad-hoc-) Mitteilungen zur Notwendigkeit einer zeitlichen Verschiebung des Wasserverbrauchs an die Kunden und deren Einhaltung auf freiwilliger Basis vorstellbar. Trinkwasserspeicher, die vom Wasserversorger betrieben werden, sind unter diesem Gesichtspunkt einfacher zu aktivieren und daher ggf. zu priorisieren. Die Gartenbewässerung stellt eine unregelmäßige Wasserverbrauchsart dar, die insbesondere an verbrauchsintensiven Tagen (Hitze- und Trockenheitstage) einen hohen Anteil am Wasserverbrauch ausmachen kann und deren zeitliche Verschiebungen kaum Komforteinbußen für die Kunden bedeutet.

7. Berücksichtigung von Flexibilitäten bei der Auslegung von Trinkwasserversorgungskapazitäten

Auch wenn es nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchungen war, lassen sich Flexibilitäten auch dahingehend nutzen, die vorgehaltenen Kapazitäten für Spitzenbedarfe und somit von neu zu errichtenden oder auszulegenden Trinkwasserversorgungssystemen zu reduzieren und damit die Investitionskosten zu senken.

8. Erfassung und systematische Bekanntmachung von kritischen Trinkwasserversorgungsgebieten

Gemäß der Studie „Trockenheit in Deutschland“ des Umweltbundesamtes entnimmt „die öffentliche Wasserversorgung [...] mit 2,8 Prozent [...] nur einen Bruchteil der erneuerbaren Wasserressourcen. [...] Bisher gibt es in Deutschland keinen flächendeckenden Wasserstress. Man spricht von Wasserstress, wenn die gesamte Wasserentnahme eines betrachteten Jahres mehr als 20 Prozent des langjährigen mittleren Wasserdargebots beträgt. Gemäß der Studie „Sicherheit der Trinkwasserversorgung - Teil 1“ des Bundesamtes für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe gibt es „trotz eines insgesamt ausreichenden Wasserdargebots [...] auch in Deutschland vereinzelte Regionen, in denen die Grund- und Oberflächenwasserressourcen bei langanhaltender Trockenheit den Wasserbedarf nicht kompensieren können“. Gemäß der Studie „Niedrigwasser, Dürre und Grundwasserneubildung“ von Riedel, T. et al. besteht „größter Handlungsbedarf bei der öffentlichen Trinkwasserversorgung [...] bei Kommunen, deren Versorgung (1) auf einer einzelnen Wassergewinnung beruht, die (2) auf eine Quelfassung oder einen im Festgestein befindlichen flachgründigen Brunnen zurückgreift und die (3) nicht an ein Verbundsystem angeschlossen sind. [...]. Bei Versorgungsanlagen mit einer wachsenden Anzahl an Trinkwassernutzern, deren Gesamtbedarf oder deren Spitzenbedarf bereits heute nahe der Kapazitätsgrenze liegt, kann daher mit einer steigenden Gefährdung gegenüber

Dürren gerechnet werden.“ Die nationale Wasserstrategie des BMU fordert „umfangreiche [...] Wasserdargebots- und Wasserbedarfsanalysen [als] Grundlage für die wasserwirtschaftliche Planung und das Niedrigwasser- und Dürremanagement“ und ein „Grundwasserentnahmemonitoring“, das dahingehend erweitert werden sollte, dass auch kritische Trinkwasserversorgungen der Forschungslandschaft systematisch bekannt gemacht werden, um entsprechende Lösungskonzepte entwickeln zu können.

9. Systematisches Erkennen und Abstellen von Vulnerabilitäten im Trinkwasserversorgungssystem für mehr Klimaresilienz

Trinkwasserversorgungsunternehmen können die Resilienz des Versorgungssystems gegenüber „milden“, nicht schadensmündenden Extremwetterereignissen verbessern, indem sie entlang der 6 Resilienzfähigkeiten eigene Kompetenzen, Möglichkeiten, Vorgänge und Denkweisen bewerten und bei nachteiliger Bewertung im Bewertungsmodell ausgewiesene Prozesse in das tägliche Handeln integrieren und/oder bei bestehenden Handlungen definierte Qualitäten anstreben.

6 Innovationsmanagement, Öffentlichkeitsarbeit und Koordination (AP 7, inter 3, co2online)

inter 3 hat die FLEXILITY Forschungs- und Entwicklungsphase mit einer an praxisnahem Innovationsmanagement orientierten Projektkoordination begleitet. Dies ermöglichte ein umsetzungsorientiertes Forschungsklima, unter enger Einbindung von Praxisakteuren (assoziierten Verbundpartnern sowie über den Verbund hinaus), die durch alle Partner energisch vorangetrieben wurde. Dabei verhalfen in besonderem Maße die vielzähligen regionalen Kontakte in der Region Anhalt und südliches Brandenburg von Energieavantgarde Anhalt e.V., Stadtentwicklungsgesellschaft Bitterfeld-Wolfen sowie Herzberger Wasser- und Abwasserzweckverband HWAZ zum Praxisdialog mit und Wissenstransfer an breite Anwenderkreise und die Bevölkerung.

Zentrales Instrument der Außenkommunikation des Forschungsvorhabens war und ist weiterhin die Webseite www.flexility.de. Diese dient vor allem der Darstellung des Projektes, der beteiligten Akteure sowie der Präsentation der Ergebnisse und aktueller Aktivitäten. Zielgruppen sind hier vorrangig Stakeholder aus kommunaler Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft. Die Webseite ist seit dem 27.11.2019 online.

Darüber hinaus wurden u.a. die folgenden Koordinationsleistungen und Öffentlichkeitsarbeitsprodukte erbracht:

- Erstellung eines Kommunikationskonzepts für das Projekt
- Erstellung der Projektwebseite in Kooperation von co2online und inter 3
- Erstellung eines Projektlogos und eines Farbschemas für das Projekt
- Erstellung von Dokumentenvorlagen für das Projekt
- diverse Projektkurzbeschreibungen und Kurzpublikationen zur Bekanntmachung des Projekts und von Forschungsergebnissen, z.B. Darstellung des Projekts für die Webseite des Projektträgers, Projektbekanntmachung über den Informationsdienst Wissenschaft (idw-online), regelmäßige Berichte in der Lausitzer Wasserzeitung, in Mieterzeitungen der lokalen Wohnungsunternehmen und im Amtsblatt Bitterfeld-Wolfen
- diverse Vorträge in verschiedenen Gremien sowie gegenüber energie- und wasserwirtschaftlichen Akteuren verschiedener Energie- und Wasserversorger

7 wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

siehe Einzelaufstellungen der Partner in den individuellen Schlussberichten

8 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die Fördermittel waren zur Bearbeitung der Themensetzungen von FLEXILITY und zur Erreichung der gesetzten Ziele wichtig und angemessen, um den bestehenden (auch eingangs thematisierten) Forschungsbedarf hinsichtlich der Entwicklung, Bewertung und Modellierung verschiedener Flexibilisierungsoptionen sowie möglicher Strategien der Umsetzung zu

adressieren. Zudem bestanden und bestehen vielfache Herausforderungen und Anforderungen, für deren Überwindung ein institutioneller Förderrahmen notwendig war. Diese umfassen beispielhaft:

- Die physische Entwicklung der Städte, ihre bauliche und räumliche Gestalt, ihre Vernetzung sowie ihre Infrastrukturen und Gebäude müssen sich erheblich ändern. Die Ausgestaltung wird darüber entscheiden, ob die Erhaltung der natürlichen Lebensgrundlagen gelingen kann und ob die substanzielle Teilhabe aller Menschen ermöglicht wird (vgl. WBGU 2016 S.215). Der WBGU stellt sich Städte vor, in denen die Menschen nicht nur Nutzer, sondern auch Gestalter ihrer städtischen Umwelt sind, so dass Kreativität und Diversität gefördert und genutzt werden. Quartiere sind ideale „urbane Reallabore“, um im kleineren Maßstab Transformation zu lernen; um Transformationsprozesse zu initiieren, mit ihnen zu experimentieren und sie voranzutreiben, die dann auf die ganze Stadt übertragen werden können“ (Schneidewind 2014). „Menschenfreundliche Städte entstehen vor allem, wenn Bürger*innen an ihrer Gestaltung mitwirken können [...] In diesem Sinne ist Teilhabe Ziel und Mittel zugleich“ (WBGU 2016, S. 8-9).
- Nicht nur aus Sicht des aktuellen Forschungsstands (siehe einleitendes Kapitel), sondern auch vor diesem Kenntnisstand der Nachhaltigkeits- und Transformationsforschung bedurfte es einer Untersuchung dezentraler Ansätze und Potenziale, um nachhaltig und resilienter Versorgungsinfrastrukturen zu betreiben bzw. städtische Lebensräume zu gestalten. Ein besonderes Augenmerk lag dabei auf den bislang wenig beachteten Potenzialen auf Seiten von Verbraucher*innen bzw. Bürger*innen.
- Unwissenheit bzw. Unsicherheit unter Versorgungsbetrieben in Deutschland hinsichtlich möglicher Ansätze der Einbindung von Verbrauchern in den klimaresilienten, flexiblen Infrastrukturbetrieb: Die Ansicht, dass Kund:innen in ihren Konsummustern unflexibel sind und Bedarfe auf Verbraucherseite jederzeit in vollem Umfang bedient werden müssen, war und ist weiterhin weit verbreitet. Dass damit enorme Investitionssummen aufgebracht werden müssen, um die zeitlich und mengenmäßig uneingeschränkte Verfügbarkeit von Versorgungsmedien auch unter Klimawandelbedingungen gewährleisten zu können, wird landläufig hingenommen, stellt aber die Versorger aktuell und in Zukunft vor wachsende Probleme. Unsere Untersuchungen haben das Gegenteil gezeigt, dass nämlich auf Seiten der Kunden ein hohes Flexibilitätspotenzial und Akzeptanz für eine Mitwirkung bestehen.
- Unterstützung im Innovationsmanagement der beteiligten Unternehmen: Die Entwicklung von innovativen Unternehmensstrategien und Geschäftsmodellen, die zwar auf eine Kostendeckung durch Tarife, nicht aber auf eine Gewinnorientierung abzielen, ist eine besondere Herausforderung, für die es Aufwands und somit die Unterstützung durch das Forschungsprojekt bedurfte. In besonderem Maße gilt dies für die assoziierten Flexility-Partner, deren Versorgungsgebiete vom Strukturwandel der vergangenen Jahrzehnte betroffen waren. Diese sehen sich mit dem Klimawandel mit zusätzlichen Herausforderungen konfrontiert und bedürfen besonderer Unterstützung in der Umstrukturierung von Prozessen, die in der Vergangenheit Überkapazitäten zu bewältigen hatten, in Zukunft aber zugleich Knappheitsprobleme managen müssen.
- die Notwendigkeit zur Steigerung der Öffentlichkeitswirkung des Ansatzes der Flexibilisierung von Versorgungsinfrastrukturen, insbesondere der Verbrauchssteuerung im Wassersektor sowie des Ansatzes der Wasserwiederverwendung in Deutschland

Rückblickend konnte der Forschungsverbund Bemühungen unternehmerischer (Versorgungsbetriebe) und zivilgesellschaftlicher (Bürger*innen-) Initiativen und der Stadtverwaltung von Bitterfeld-Wolfen für klimaresiliente städtische Versorgungsinfrastrukturen sowie eine gemeinwohlorientierte Quartiersentwicklung zur Erreichung international vereinbarter Nachhaltigkeits-, und Klimaziele anschieben und unterstützen. Vor dem Hintergrund der erkannten Notwendigkeit von Realexperimenten für die Klimaanpassungen von urbanen Räumen konnte FLEXITILITY transdisziplinär und bürgernah mit fundiertem Wissen wirken und das Wissen in der Breite transferieren.

Durch diese Interventionen der Wissenschaft wurde die nach Einschätzung von Braum nötige Veränderung der Rolle der öffentlichen Hand exemplarisch erfahrbar gemacht. Braum schreibt, dass die anstehenden Veränderungen der Städte nach Stadtexperimenten verlangen. Im Rahmen dieser Experimente verändert sich die Rolle der öffentlichen Hand, weg von der „Gouvernante“ hin zur begleitenden „Ermöglicherin“ (Braun 2020).

Erst die Forschungsarbeiten und Entwicklungen im FLEXITILITY-Projekt haben Potenziale im flexiblen Betrieb von Versorgungsinfrastrukturen und in klimaresilienter Stadtentwicklung auf Verbraucherseite erhoben und transparent sowie in der Breite in Anwenderkreisen und Wissenschaft bekannt gemacht.

9 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Die durchgeführten Arbeiten und erzielten Ergebnisse der Forschungs- und Entwicklungsphase von FLEXITILITY sind neben der wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Verwertung sowie der Anschlussfähigkeit auch von hohem allgemein-öffentlichem Nutzen.

9.1 öffentlicher Nutzen

Die Arbeiten von EAA haben maßgeblich zur Realisierung einer gemeinwohlorientierten Quartiersentwicklung und des ersten „experimentellen Wohngebietes“ in Deutschland beigetragen, in dem im Stadtteil Wolfen-Nord kompakte Wohnformen zur Erreichung international vereinbarter Nachhaltigkeits- und Klimaschutzziele erprobt werden. Dazu haben die EAA und in Kooperation mit ihr die Stadtentwicklungsgesellschaft Bitterfeld-Wolfen (STEG), Stadtverwaltung Bitterfeld-Wolfen (Planungsamt) sowie inter 3 die FLEXITILITY-Forschung mit engagierten Bürger:innen und zivilgesellschaftlichen Akteuren vernetzt, lokale Innovationsprozesse gezielt genutzt und aktiv vorangebracht und in mehrfachen Workshops öffentlich Zwischenergebnisse präsentiert und zur Diskussion gestellt.

Weiterhin hat EAA auf allen Entscheidungsebenen bis zur Landesregierung sehr erfolgreich die politisch-administrative Meinungsbildung im Sinne der nachhaltigen und lokal angepassten Stadtentwicklung gefördert: So hatte sich die obere Landesbehörde, das Ministerium für Landesentwicklung, vorsichtig distanziert zu den Plänen der zivilgesellschaftlichen Initiative und der Stadtverwaltung für ein Quartier mit kompakten Wohnformen geäußert. Mit einem Schreiben

mit Argumenten aus der Transformationsforschung konnte EAA die Notwendigkeit des Vorhabens verdeutlichen, die Vorbehalte der oberen Planungsbehörde entkräften und in Folge die nötige Änderung des Flächennutzungsplans bewirken. Darüber hinaus ist es gelungen, das Interesse des Ministeriums auf die besondere Quartiersentwicklung zu lenken und konstruktiv in die Entwicklungen vor Ort einzubinden. Infolge der Intervention durch den Energieavantgarde Anhalt e.V. beim Landesministerium wird die Quartiersentwicklung „experimentelles Wohnen“ in Wolfen-Nord nun auf Landesebene gewünscht und durch das Ministerium begleitet.

Weiterhin konnten durch die Begleitung der Quartiersentwicklung in einem Plattenrückbaug Gebiet im Rahmen von FLEXITILITY wirtschaftliche Akteure aus der Region (führend hierbei der assoziierte FLEXITILITY-Partner Stadtwerke Bitterfeld-Wolfen), Stadt und Wissenschaftspartner für die technische Unterstützung bei Infrastrukturfragen gewonnen werden. Folgende weitere Synergien haben die Forschungsarbeiten von EAA angestoßen:

- gemeinsame Energiegewinnung und Nutzung (Strom+Wärme) im Quartier als Alternative zur EU-Richtlinie RED II, die seit 2018 von Deutschland nicht umgesetzt wurde
- klimaneutrale Gebäude im experimentellen Wohngebiet aus nachhaltigen, nachwachsenden Rohstoffen aus der Region; Nutzung von landwirtschaftlichen Reststoffen (Stroh) und natürlichen Ressourcen der Region (Holz Dübner Heide) für den Gebäudebau => Vermeidung von überregionalen Stoffimporten und hohen Energieaufwendung für Transport durch Nutzung regional vorhandener Ressourcen.
- Schaffung von lokalen Versorgungsstrukturen im Quartier und dadurch Vermeidung von klimaschädlichen Transportaufwendungen bei der Beschaffung von Gütern des täglichen und mittelfristigen Bedarfes. Begonnen im Mai 2022, langfristiges Vorhaben
- Kommunale Wärmeplanung und interkommunale Energieleitplanung für die Region um Bitterfeld-Wolfen. Initiiert durch die Kommunikationsformate der FLEXITILITY-Forschung im Reallabor Anhalt zwischen den Forschungspartnern EAA/STEG, dem Praxispartner Stadtwerke Bitterfeld-Wolfen, der Stadtverwaltung Bitterfeld (vertreten durch Amtsleiter für Stadtentwicklung und Sachbereichsleiter Stadtplanung). Eingebunden wurden auch die Bürgermeister der Nachbargemeinden Raguhn-Jessnitz, Sandersdorf-Brehna und Zörbig sowie der Chemiapark Bitterfeld-Wolfen für die Nutzung der Abwärme für die Wärmeversorgung in Bitterfeld-Wolfen. Begonnen Juni 2022 - April 2023 Dialogprozess, Jan 2024- Dez 2026 Kommunale Wärmeplanung

Das Resilienzbewertungsmodell (BTU) fand in vollem Umfang erstmalig im September 2022 mit den Praxispartnern des Forschungsvorhabens eine Anwendung. Die Rückmeldungen zeigten auf, dass das Basis-Set der operativen Klimaresilienz durch weitere Ansätze ergänzt werden kann und somit ein Weiterentwicklungspotenzial besteht. Des Weiteren wurde es begrüßt, einen ersten Aufschlag einer Systematik zu besitzen, um das Thema der Resilienz gegenüber Extremwetterereignissen in die tägliche Arbeit der Unternehmen einzubinden. Es wäre denkbar, dass diese Art der Bewertung in das bereits vorhandene Risikomanagement des Unternehmens integriert werden könnte. Im Grundansatz kann dieses Klimaresilienzbewertungsmodell die notwendigen Anpassungsbedarfe im Unternehmen aufzeigen, um diese in die Planung und Umsetzung von Neubau-, Rückbau- oder Instandhaltungsmaßnahmen zu integrieren.

Unterstützend dazu werden Anpassungen der rechtlichen Rahmenbedingungen mit Hinblick auf die Einbindung der Resilienz gegenüber den Klimafolgen als sinnvoll erachtet. Bei der Untersuchung der Verantwortlichkeiten der Kommune und Governance zeigte sich zum Beispiel, dass Auswirkungen von Extremwettern nicht separat betrachtet werden und mit Ausfällen und Störungen, wie beispielsweise einem Rohrbruch, gleichgestellt werden. Mit der erwarteten Zunahme von Extremwetterereignissen scheint es empfehlenswert, die erwarteten Auswirkungen auf eine Infrastruktur explizit mit abzubilden, um die Unternehmen für die Thematik zu sensibilisieren und ihnen Handlungsmöglichkeiten aufzuzeigen (Deutscher Wetterdienst 2021).

Durch die Arbeiten von co2online ergibt sich nicht-kommerzieller, öffentlicher Nutzen durch die Vertiefung/stärkere Berücksichtigung des Themas Lastverschiebung in der Online-Endverbraucher*innen-Beratung, beispielsweise durch Ergänzung von Fachdossiers auf co2online.de oder im Rahmen des co2online Newsletters.

inter 3 hat durch das Ansprechen einer großen Zahl an Abwasserentsorgungsbetrieben im Rahmen der Befragung zur Wasserwiederverwendung (siehe Eismann et al. 2022) die Aufmerksamkeit der potenziellen Anwender auf dieses Thema gelenkt: Die Befragung fand unter fast 500 Wasser- und Abwasserbetrieben in Deutschland statt. Im Fokus standen dabei Bedarfe, Potenziale und Geschäftsfelder für die Nutzung von aufbereiten kommunalen Abwasser in Landwirtschaft, Industrie und urbaner Grünflächenbewässerung. Die Befragung hat nochmals den Erkenntnisbedarf aufgezeigt, wie die Wasserwiederverwendung praktikabel und unternehmerisch optimal umgesetzt werden kann, um einen effektiven Beitrag zum Wasserressourcenmanagement zu leisten.

Weiterhin hat inter 3 durch den Fachaustausch mit verschiedenen Pionieren der Wasserwiederverwendung (siehe z.B. Mohajeri, Shahrooz 2021) auch das politische Agendasetting in diesem Themenfeld befördert. Dies gilt in besonderem Maße im Sinne der Berücksichtigung der neuen Anforderungen der EU-Richtlinie für die Wasserwiederverwendung.

Schließlich haben inter 3, BTU und der Herzberger Wasser- und Abwasserzweckverband (HWAZ) durch wiederkehrende Beiträge in der Lausitzer Wasserzeitung die Flexility-Themen auf die regionale Agenda gehoben und in der Breite der Bevölkerung bekannt gemacht. Etwas über 600.000 Haushalte in Brandenburg konnten auf diesem Weg erreicht werden.

9.2 Wissenschaftlich-technische Verwertbarkeit

Die angestrebte wissenschaftliche Verwertung konnte umgesetzt werden.

In zahlreichen, vor allem praxisnahen, Fachbeiträgen, Zeitungsartikeln sowie zwei Pressemitteilungen wurden Forschungsergebnisse der F+E-Phase von FLEXILITY publiziert und breiten Forschungs- und Anwenderkreisen sowie auch der allgemeinen Öffentlichkeit zugänglich gemacht (inter 3, BTU, IEE, co2online, HWAZ; **siehe Kapitel 11**). Dabei erfolgten diese Beiträge (und erfolgen kurz- mittelfristig auch weitere) nicht nur auf Eigeninitiative, sondern inzwischen auch auf Einladung einschlägiger Fachverbände und Verlage wie z.B. von der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA) oder Wiley.

Weiterhin fließen die Erkenntnisse im Rahmen wissenschaftlicher Aktivitäten in Vorträge ein, die z.B. auf öffentlichen Tagungen gehalten werden. Die Ergebnisse wurden z.B. universitätsöffentlich im Forschungskolloquium des Institutes für Stadtplanung der BTU präsentiert. Weiterhin waren sie die Grundlage für einen Beitrag im Rahmen des Klimaworkshops der Lausitzer Wasser GmbH im Herbst 2021 (BTU). Der Ansatz und Zwischenergebnisse von FLEXITILITY wurden auch im Rahmen von Konferenzen mit anderen Forschungsprojekten sowie Fachverbänden präsentiert und diskutiert, so bei der Konferenz des Projekts Norddeutsche Energiewende (NEW) 4.0 im Januar 2021 (inter 3) und bei einer Lenkungsbeiratssitzung des Bundes der Deutschen Energie- und Wasserwirtschaft Berlin-Brandenburg (BDEW), wo der Verbandsvorsteher des HWAZ, Mario Kestin, einen Vortrag zur Wasserwiederverwendung gehalten hat. Weiterhin hat inter 3 einen Vortrag zum Thema Wasserwiederverwendung im Rahmen der Woche der Klimaanpassung im September 2022 gehalten.

Im Rahmen der Ausbildung mehrerer Bachelor- und Masterstudiengänge, darunter Stadt- und Regionalplanung, Bauingenieurwesen und Klimagerechtes Bauen wurden die Ergebnisse des Verbundprojektes in die Lehre und in studentische Arbeiten eingebunden (BTU). In dem Zusammenhang sind Bachelor- und Masterarbeiten zur Bearbeitung von sich aus dem Projekt ergebenden Teilaspekten, darunter zur Wasserwiederverwendung (Fritsch 2021) und zur extremwetterbedingten Infrastrukturbelastung entstanden bzw. ausgelobt (BTU, inter 3). Die synthetische Modellierung von Lastprofilen für die Trinkwassernachfrage soll weiterentwickelt werden und künftig für die Überprüfung von Bestandsnetzen unter veränderten klimatischen Rahmenbedingungen verwendet werden. Hier wird die Entwicklung eines Tools angestrebt. (BTU) Die Ergebnisse der Untersuchung zur Umsetzung und Systemsicherheit einer flexibilisierten Trinkwasserinfrastruktur soll in ein Thesenpapier überführt werden und als Diskussionsbeitrag für die Klimaanpassung dieser Infrastruktur veröffentlicht werden. (BTU)

Aus Sicht von co2online können Handlungsmöglichkeiten in privaten Haushalten nun besser eingeschätzt werden; dieses Wissen kann zukünftig für die Adressierung anderer Aspekte der Ressourcen-Schonung genutzt werden. Projektergebnisse sollen auch weiterhin in kommenden Gesprächen mit Multiplikator*innen aus Politik, kommunaler Ebene, Stadtwerken, Industrie und Wissenschaft durch co2online vorgestellt werden.

Ergebnisse zu städtisch-administrativen FlexOpt und FlexStrat wurden durch EAA im Projektverlauf in Beiträgen auf Konferenzen präsentiert und einem breiten Publikum aus Verwaltung, Wirtschaft und Wissenschaft gegenüber bekannt gemacht und mit diesem diskutiert, so z.B. am 1. Mrz 2022 auf dem Netzwerktreffen Nachhaltigkeit in der Wirtschaft (IHK Halle-Dessau) und am 20. Sep 2022 und 15. Nov 2022 auf dem InnovationCamp (EUsci4Regio). Weiterhin wurden Erfahrungen zur Aktivierung von Beteiligungsprozessen und akteursspezifischer Wissenskommunikation auf der Tagung „Reallabor der Transformation“ am K.I.T. 2.-3. Jun 2022 durch die EAA vorgestellt.

9.3 Wirtschaftlicher Nutzen

Die vom Fraunhofer IEE im Projekt entwickelten Methoden und Simulationsmodelle lassen sich größtenteils kurzfristig wirtschaftlich verwerten. Der Bedarf von Trinkwasserversorgern, zumindest der projektbeteiligten Praxispartner, an entsprechenden Analysen oder Produkten scheint jedoch in der Regel gering zu sein, da die Trinkwasserversorger weder Knappheits- noch Kapazitätsprobleme haben und das Kosten/Nutzen-Verhältnis von Investition in Flexibilität zu hoch ist. Entsprechend gering sind die Anlässe für Neuerungen und Innovationen. Eine wirtschaftliche Verwertung scheint daher vor allem bei Trinkwasserversorgern erfolgsversprechend, die unter Wasserknappheit leiden, einen Ausbaubedarf ihrer Infrastruktur aufweisen oder bei denen Pumpkosten einen erheblichen Anteil der Betriebskosten ausmachen. Es ergeben sich, unter Angabe eines ungefähren Zeithorizonts zur Umsetzung, folgende Verwertungsmöglichkeiten aus den Projektergebnissen:

1. Erweiterung der Methoden- und Fachkompetenz, kurz- bis langfristig, ca. 1 bis 5 Jahre
2. Erweiterung des Produkt- und Dienstleistungsangebots, mittelfristig, ca. 2 bis 4 Jahre
3. Initiierung fortführender Forschungsprojekte zur Sektoren-/ Infrastruktur-kopplung, kurz- bis langfristig, ca. 1 bis 5 Jahre
4. Fachpublikationen, kurz- bis mittelfristig, ca. 1 bis 4 Jahre
5. Prognose des Trinkwasserverbrauchs bei Extremhitze und -trockenheit, mittelfristig, ca. 2 bis 4 Jahre
6. Vortagsprognose des Trinkwasserverbrauchs, kurzfristig, ca. 1 Jahr
10. Hebung von Pumpkosteneinsparpotenzialen durch Flexibilitätseinsatz, kurz- bis langfristig, ca. 1 bis 5 Jahre
11. Einsatzoptimierung von Flexibilitäten zur Spitzenlastreduzierung, kurzfristig, ca. 1 bis 3 Jahre
12. Auslegung von Trinkwasserspeichern, kurzfristig, ca. 1 bis 3 Jahre
13. Einsatzoptimierung von Flexibilitäten zur atypischen Netznutzung, kurzfristig, ca. 1 bis 3 Jahre
14. Optimierte Trinkwassernetzplanung, kurzfristig, ca. 1 bis 3 Jahre
15. Strategien zum Flexibilitätseinsatz in der Trinkwasserversorgung bei Dürre, mittelfristig, ca. 2 bis 4 Jahre

Allgemein fanden die Ansätze zur Flexibilisierung und Erkenntnisse zur Klimaresilienzsteigerung Anklang bei verschiedenen im Projekt beteiligten Unternehmen und Planungsakteuren und gehen als Innovationen in die Weiterentwicklung von Konzepten ein, so z.B.

- beim Stadtplanungsamt Bitterfeld-Wolfen für die Entwicklung des neuen Stadtentwicklungskonzepts (ab 2025), welches auch dank der Erkenntnisse aus FLEXITILITY deutlich integrierter nach Infrastrukturen ausgerichtet sein soll,
- bei der Stadtentwicklungsgesellschaft Bitterfeld-Wolfen für die gezielte Ausnutzung von gesetzlichen und kommunalen Möglichkeiten aus Planungsrecht und Baurecht in Maßnahmen zur städtischen Klimaresilienz (z.B. neuartige Bauformen in Bebauungsplänen und Wärmeplanung),

- bei der Dessauer Versorgungs- und Verkehrsgesellschaft mbH – DVV für das neue Trinkwasserkonzept und weitere Optimierungen des Wasserwerksbetriebs.

9.4 Anschlussnutzungen/ Folgeprojekte

Die Ergebnisse der Vulnerabilitätsanalyse, die Flexibilitätsoptionen und ausgewählte Flexibilitätsstrategien wurden auf konkrete Lösungen verdichtet und diese werden im Projekt Flexility-Umsetzungsphase erprobt (BTU, inter 3).

co2online plant die im Projekt entwickelte Infrastruktur im Rahmen einer Nachnutzung der im Projekt entwickelten digitalen Plattform zu verwerten. Eine Verstetigung des digitalen Reallabor-Ansatzes im Research-Kontext ist geplant und erfolgt bereits in einem weiteren Forschungsvorhaben. Auch das Thema der nutzerseitigen Laststeuerung soll in kommenden Forschungsprojekten weitergedacht und entwickelt werden.

Der Energieavantgarde Anhalt e.V. hat aus FLEXITILITY folgende Anschlussprojekte entwickelt: Citizen Science Wolfen-Nord beantragt März 2022; KoMoNa Programm zu Klimaanpassung urbaner Räume, BMUV. Die Ko-Produktion von Transformationswissen in Realexperimenten als auch die Re-Integration und Ko-Evaluation des experimentellen Wohnquartiers möchte der Energieavantgarde Anhalt e.V. weiter begleiten. Die Erprobung der akteurspezifischen Wissenskommunikation und Wissensvermittlung zwischen verschiedenen Verwaltungsinstanzen und daraus gewonnene Erkenntnisse fließen in die laufenden Arbeiten der EAA zur Ausgestaltung des Transformationsprozesses im Reallabor Anhalt in zwei kommunale Energienetzwerke in Sachen-Anhalt und Sachsen sowie in die Etablierung eines neuen Planungsansatzes „Interkommunale Energieleitplanung“ im Landkreis Anhalt-Bitterfeld ein.

Die Arbeiten zur Entwicklung des Geschäftsmodells Wasserwiederverwendung dienen als Grundlage für die Entwicklung eines neuen Beratungsangebots von inter 3, bestehend aus verschiedenen Tools zur Potenzialanalyse, Bedarfsanalyse und Kostenberechnung für die landwirtschaftliche Wasserwiederverwendung. Dieses kann nach einer Erprobungsphase in Zukunft auch einer wirtschaftlichen Verwertung dienen.

10 Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Forschungsergebnisse aus relevanten (u.a. den in den einleitenden Kapiteln (in TEIL I) genannten) Forschungsprojekten wurden regelmäßig recherchiert und abgerufen sowie in die konzeptionellen Entwicklungen und Modellierungen einbezogen. Dazu dienen u.a. Konferenzteilnahmen und zahlreiche Interviews mit Forschenden und Praxisakteuren in den Themenfeldern Infrastrukturbetrieb und Quartiersentwicklung. Parallele Forschungsarbeiten zu denselben Fragestellungen und Zielsetzungen wie in FLEXITILITY sind den Autoren nicht bekannt.

11 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse

Zusätzlich zu diesem Gesamtbericht haben das Forschungsteam sowie Praxispartner im Rahmen der Forschungs- und Entwicklungsphase in folgenden Publikationen Ergebnisse des FLEXITILITY-Projektes dokumentiert bzw. präsentiert:

Dierich, A./Wurbs, S./Yildiz, Ö. (2021): Welchen Beitrag kann das Flexibilitätspotenzial der Verbraucher zum sicheren Betrieb von Versorgungsnetzen leisten? Online-Vortrag beim NEW 4.0 Wissenschaftskongress am 28.01.2021. Vortrag zum Download unter <https://www.inter3.de/veroeffentlichungen/details/flexibilitaetspotenzial-der-verbraucher>

Dierich, Axel (2022): Das Forschungsprojekt FLEXITILITY. Vortrag beim Forum für innovative Quartiersentwicklung am 23.06.2022 in Wolfen-Nord. www.inter3.de/fileadmin/user_upload/neu/Veroeffentlichungen/downloads/Vorstellung_Flexitivity_Forum-Wolfen-Nord-opt.pdf

Dierich, Axel (2022): Dezentrale Wasser- und Energiespeicher zur Flexibilisierung des Infrastrukturbetriebs, Vortrag beim Forum für innovative Quartiersentwicklung am 23.06.2022 in Wolfen-Nord. www.inter3.de/fileadmin/user_upload/neu/Veroeffentlichungen/downloads/Speicherloesungen-fuer-Flexibilisierung-opt.pdf

Dierich, Axel/ Walther, Jörg/ Mohajeri, Shahrooz (2023): Ansätze für Trinkwasser-Lastmanagement auf Verbraucherseite, in: energie | wasser-praxis 02/2023, S. 30-36.

DVV Stadtwerke Dessau (2020): „Interaktives Klimaschutzprojekt“, in: dabei. Kundenjournal der Stadtwerke Dessau, 1/2020

Eismann C., Mohajeri, S., Mohajeri, Sh., Wilhelm, C., Hetzel, F. (2022): EU-Verordnung zur Wasserwiederverwendung in deutscher Abwasserwirtschaft kaum bekannt – Bedarf aktuell noch sehr begrenzt. Umfrage von DWA und inter 3 zu Bekanntheit, Bedarf und Hemmnissen. In: KA Korrespondenz Abwasser, Abfall 2022 (69) Nr. 2, S. 84-88

Fritsch, Maximilian 2021: Untersuchung von Erweiterungsmaßnahmen der Kläranlage Uebigau mit dem Ziel der landwirtschaftlichen Wasserwiederverwendung, Bachelorarbeit, FH Münster Fachgebiet Bauingenieurwesen, betreut durch Professor Dr.-Ing. Jens Haberkamp und Dipl.-Ing. Wolf Raber, MS.

Heimann, S./ co2online gGmbH (2020): „Teilnehmer für Klimaforschungsprojekt in der Region Anhalt gesucht“, in: Bitterfeld-Wolfener Amtsblatt vom 4. April 2020

Hermann, L., Walikewitz, N., Dierich, A., Mohajeri, S., Walther, J. (2022): „Verbraucher als Partner denken. Die vergessene Ressource bei der Flexibilisierung der Versorgungssysteme“ in: TRANSFORMING CITIES 3/2022, S. 33-35. www.transforming-cities.de/ausgabe-3-2022-luft-boden-wasser/

Hermann, L., Walikewitz, N., Dierich, A., Mohajeri, S., Walther, J. (2023): Steigerung der Resilienz von Versorgungsinfrastrukturen durch gezielte Verbrauchssteuerung. Potenziale für die Flexibilisierung von Versorgungssystemen, in: Ernst & Sohn-Special: Regenwasser-Management, April 2023 ISSN 2750-5030 A 61029, Ernst & Sohn GmbH, Berlin, S. 32 ff.

Herzberger Wasser- und Abwasserzweckverband (HWAZ) (2022): „Künftig geklärte Abwässer auf den Feldern“, in *Wasser Zeitung* (Ausgabe 3 / 2022, 27. Jahrgang)

Herzberger Wasser- und Abwasserzweckverband (HWAZ) (2021): „Wasserressourcen gezielt einsetzen“ in *Lausitzer Wasser Zeitung* (Ausgabe 3 / 2021, 26. Jahrgang)

Herzberger Wasser- und Abwasserzweckverband (HWAZ) (2020): „Zukunftssicher und flexibel versorgen. Interaktives Projekt Flexility ruft Kunden zum Mitmachen auf“, in *Lausitzer Wasser Zeitung* (Ausgabe 1 / 2020, 25. Jahrgang)

Knorr, K.; Giron, P.; Wiemer, M., 2022, Modellierung von Trinkwasserversorgungen und Einsatzoptimierung von Flexibilitätsoptionen, Kassel, <https://doi.org/10.24406/publica-279>

Knorr, K., 2022a, Modellierung der innertägigen Schwankungen des zukünftigen day-ahead Strompreises, Kassel, <https://doi.org/10.24406/publica-280>

Knorr, K., 2022b, Multiple lineare Regression des Trinkwasserverbrauchs eines Wasserversorgungsgebietes durch Wetterdaten und kalendarische Informationen, Kassel, <https://doi.org/10.24406/publica-281>

Mohajeri, Shahrooz (2021): Vortrag zum Thema Zielsetzungen und Wasserwiederverwendung in Flexility vor der Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Fachgruppe 2: Nachhaltige Landnutzung, Ländliche Entwicklung, am 27.07.2021.

Shahrooz Mohajeri (2021): Wasserwiederverwendung – Made in Germany | Die Vorstandskolumne, German Water Partnership, [Wasserwiederverwendung – Made in Germany | Die Vorstandskolumne - German Water Partnership](#)

Mohajeri, S. (2022): Wasserwiederverwendung – ein Beitrag zur regionalen Anpassung an den Klimawandel. In: Deutscher Städte und Gemeindebund (DStGB) und Deutsches Institut für Urbanistik (Difu) (Hg): Hitze, Trockenheit und Starkregen. Klimaresilienz in der Stadt der Zukunft. Dokumentation Nr. 166. Berlin. S. 25-26. www.dstgb.de/publikationen/dokumentationen/nr-166-klimaresilienz-in-der-stadt-der-zukunft/doku-hitze-duerre-final-web-1.pdf

Mohajeri, S. (2022): Wasserwiederverwendung. Online-Vortrag im Rahmen der Woche der Klimaanpassung am 15.09.2022.

Wüstenhagen, Schnitz, Schröder (2022): Eindrücke und Erfahrungen aus dem Stadtlabor Großwohnsiedlung (S. 113- 119) in Reallabore für urbane Transformation. Berlin. ISBN: 978-3-88118-689-6

Yildiz, Ö., Ansmann, T. (2019): Nachfrageprognose und Wasserverbrauchssteuerung in Haushalten in Zeiten von Klimawandel und Digitalisierung, in: *WasserWirtschaft* 1|2019, Fachzeitschrift für Wasser und Umwelt, Springer Professional, S. 19-24.

Yildiz, Özgür/ Wurbs, Sven/ Hermann, Laurenz/ Dierich, Axel/ Walikewitz, Nadine 2021: Flexibilisierung als Antwort auf den Klimawandel, in: *wwt* 5/2021, dfv Mediengruppe, S. 14-20. online: www.umweltwirtschaft.com/epaper/umw/168/epaper/9919/20/index.html

Geplant: Autorenkollektiv Stadt Bitterfeld-Wolfen/ STEG Bitterfeld-Wolfen mbH/ noch einzubeziehende Planungsbüros/ geplante beschlussreife Fertigstellung 2025/ Integriertes

Stadtentwicklungskonzept der Stadt Bitterfeld-Wolfen/ Bitterfeld-Wolfen/ ca. 200 Seiten/
Website der Stadt Bitterfeld-Wolfen

12 Literaturverzeichnis

Andor, Mark Andreas, Gunther Bensch, Katja M. Fels, und Nadine Kneppel (2017): Meta-Analyse kausaler Effekte von verhaltensökonomischen Interventionen auf den Energieverbrauch privater Haushalte. Research Report. RWI Projektberichte.

<https://www.econstor.eu/handle/10419/177816>, accessed November 20, 2019.

Andor, Mark Andreas und Katja M. Fels (2017): Energiesparen durch Verhaltens-Ökonomisch Motivierte Maßnahmen? Ein Systematischer Literaturüberblick zur Stellungnahme „Verbraucherpolitik Für Die Energiewende“, acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e. V. (Hrsg.),

https://www.leopoldina.org/uploads/tx_leopublication/2017_03_ESYS_Materialien_Verbrauche_rpolitik.pdf, accessed February 11, 2020.

Ansmann, T. / Yildiz, Ö. (2017): Flexibilität als Zauberwort für mehr Klimaresilienz unter Maßgabe der Wirtschaftlichkeit, in: BMBF (Hrsg.): Vernetzungskonferenz Zukunftsstadt, 13.-14.12.2017, Tagungsprogramm, S. 30, Frankfurt.

Ansmann, T. / Yildiz, Ö. (2018): Eine "gelbe Phase" für den Umgang mit Netzbelastungen?, in wasserwirtschaft wassertechnik wwt Nr. 5/2018, Huss-Medien, Berlin.

Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und Landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V. (ALB) (Hrsg.) 2020: Bewässern nach Regeln - Wasserbedarf urbaner Grünflächen, Beratungsblatt bef7-Ausgabe 1 - 5/2020, unter: <https://www.alb-bayern.de/media/files/0004/bb.bef7-gr-nfl-chenurban-20200629.pdf/PDFBrowserview> (aufgerufen 5.11.2021)

von Appen, Jan, Jonas Haack, and Martin Braun. "Erzeugung zeitlich hochaufgelöster Stromlastprofile für verschiedene Haushaltstypen." Power and Energy (2014).

Baba, Werner (2021): Erfolgsfaktoren der integrierten Energiewende: Wegweisende Erkenntnisse und Handlungsempfehlungen aus dem Praxisgrößtest NEW 4.0. Hamburg.

<https://www.new4-0.de/ergebnisse/>

Beal, Cara D., Thulo Ram Gurung, und Rodney A. Stewart (2016): Demand-Side Management for Supply-Side Efficiency: Modeling Tailored Strategies for Reducing Peak Residential Water Demand, In: Sustainable Production and Consumption 6: 1–11.

Braum, Michael (2020): Die Ästhetik der Stadt von morgen – Eine Antwort auf Friedrich von Borries. In Die Stadt von Morgen. Hrsg Uni Heidelberg Online Verlag URL: <https://heiup.uni-heidelberg.de/journals/index.php/generale/issue/download/2399/389> Stand 2020/10/15

Broß, L.; Krause, S.; Wienand, I.; Roepke, R.; Launer, M. (2018): Notfallvorsorgeplanung in der Trinkwasserversorgung. energie | wasser-praxis, 11:2018. S. 28-31.

Brunner, Chr.; Heyder, B. (2015): Speicher im Stromsystem der Energiewende. Eine Flexibilitätsoption im Wettbewerb, in: TATuP Nr. 3, 24. Jg., S. 52-62.

Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK): Sicherheit und Trinkwasserversorgung -Teil 1 Risikoanalyse, Band 15 Praxis im Bevölkerungsschutz

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) 2020: Zweiter Fortschrittsbericht zur Deutschen Anpassungsstrategie an den

Klimawandel. <https://www.bmuv.de/download/zweiter-fortschrittsbericht-zur-deutschen-anpassungsstrategie-an-den-klimawandel/>

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2015): Ein Strommarkt für die Energiewende: Ergebnispapier des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (Weißbuch). Berlin.

Cole, G., O'Halloran, K., Stewart R.A. (2012): Time of use tariffs: implications for water efficiency, In: Water Science & Technology: Water Supply 12.1, 90-100, IWA Publishing, doi: 10.2166/ws.2011.123

co2online, 2021; Sonderbefragung im Rahmen von Flexibility und des digitalen Reallabors; <https://www.flexibility.de/reallabor/sonderbefragung/>

co2online, 2022, Haushaltsbefragung Bitterfeld-Wolfen im Rahmen von Flexibility; <https://www.flexibility.de/reallabor/haushaltsbefragung/>

Deutscher Wetterdienst / Extremwetterkongress Hamburg (2021): Was wir heute über Extremwetter in Deutschland wissen: Stand der Wissenschaft zu extremen Wetterphänomenen im Klimawandel in Deutschland. Offenbach am Main, Deutschland.

Dickert J., Schegner P., A Time Series Probabilistic Synthetic Load Curve Model for Residential Customers, PowerTech, 2011 IEEE Trondheim, Trondheim, Norwegen, 2011, <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&number=6019365>, zuletzt aufgerufen am 26. März 2014, zitiert in Karner: Synthetische Haushaltslastprofile, Wien 2014.

Dostal: Statistische Auswertung sekundengenauer Lastprofile von Haushaltsgeräten, Wien 2014.

Engel, Stephan, David Nestle, Elias Dörre, and Jan von Appen (2018) SEMA – ERKENNTNISSE AUS DEM BETRIEB EINES SOCIAL ENERGY MANAGEMENT SYSTEM. In 15. Symposium Energieinnovation, 14.-16.02.2018, Graz/Austria.

Engel, Stephan (2020) sema – Social Energy Management. kassel university press. <https://kobra.uni-kassel.de/handle/123456789/12682>, accessed November 17, 2021.

Fekete, A.; Neisser, F.; Tzavella, K. & C. Hetkämper (Hrsg.) (2019): Wege zu einem Mindestversorgungskonzept. Kritische Infrastrukturen und Resilienz, Köln. ISBN 978-3-946573-14-2, unter <https://kirmin.web.th-koeln.de/wp-content/uploads/2019/05/KIRMin-Wege-zu-einem-Mindesversorgungskonzept.pdf> [Zugriff am 17.02.2023].

Feldmeyer Daniel et al. (2019): Ergebnis AP 1: Framework für urbane Klimaresilienz [online]. https://monares.de/sites/monares.de/files/documents/framework_fuer_urbane_klimaresilienz_final.pdf [Zugriff am 18.08.2021].

Franz, O.; König, D. (Hrsg.) (2013): Entwicklung und Demonstration dezentral vernetzter Energiesysteme hin zum E-Energy-Markt der Zukunft. Konsortial- Abschlussbericht Verbundprojekt E-Energy: E-DeMa, Essen/Dortmund, unter https://www.e-dema.de/datas/150_dpi_E-DeMa_Abschlussbericht_final.pdf [Zugriff am 17.02.2023]

Gardian, H., et al., 2017, enWasser - Erschließung eines Lastmanagementpotenzials in der Wasserversorgung zur Integration erneuerbarer Energien, https://bmbf.nawam-erwas.de/sites/default/files/enwasser_abschlussbericht-end.pdf

Genoese, F., & Genoese, M. (2014): Assessing the value of storage in a future energy system with a high share of renewable electricity generation. Energy Systems, 5(1), 19-44.

- Grothmann (2020): Beteiligungsprozesse zur Klimaanpassung in Deutschland: Kritische Reflexion und Empfehlungen. Dessau-Roßlau, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/cc_17-2020_beteiligungsprozess-das_teilbericht_fkz_3714_48_1020_beteiligungsprozess_das.pdf (Stand 2022-11-30)
- Günther, Sebastian A., A. Kupfer, S. Schöb, V. Tiefenbeck, and T. Staake (2017) Einfluss von CO₂-Kompensationsmaßnahmen Und Echtzeit-Feedback Auf Den Energie- Und Wasserverbrauch: Eine Feldstudie Am Beispiel des Duschverhaltens. Abschlussbericht der Amphiro-DJH-Studie. Bits to Energy Lab, ETH Zürich und Universität Bamberg. https://amphiro.com/assets/studies/DJH_Bericht_2017_08_25.pdf, accessed November 18, 2021.
- Harries, Tim, Ruth Rettie, Matthew Studley, Kevin Burchell, and Simon Chambers (2013): Is Social Norms Marketing Effective? Dibb and Marylyn Carrigan Sally, ed. *European Journal of Marketing* 47(9): 1458–1475.
- Heierli, Reto, and Kurt A Ackermann (2017) Eine Literaturübersicht zu verhaltensökonomischen Massnahmen im Kontext des Stromkonsumverhaltens mit Fokus auf die Schweiz. <http://rgdoi.net/10.13140/RG.2.2.23783.55201>, Zugriff November 2019.
- Hensel, P.; König, D.; Layec, V.; et al. 2017, ENERWA - Energetische Optimierung des wasserwirtschaftlichen Gesamtsystems - Energieeffizienz und –gewinnung: Trinkwassertransport, Speicher, Verteilung - AP B3, https://bmbf.nawam-erwas.de/sites/default/files/enerwa_schlussbericht_1.pdf
- Hinterstocker, Michael, and Serafin von Roon. "Potenzielle Reduktion von Einspeisemanagement durch DSM-Maßnahmen in Haushalten." *Zukünftige Stromnetze*; Berlin: Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH (2018).
- Holzhammer, u.A. (2015): Biogas in einer zukünftigen Energieversorgungsstruktur mit hohen Anteilen fluktuierender Erneuerbarer Energien, Dissertation, Universität Rostock.
- House, Lon W., and Jordan D. House (2012): Shifting the Timing of Customer Water Consumption. *AWWA Journal* 104(2): E82–E92.
- Härtl, Andreas, et al. "Berechnung hochaufgelöster, elektrischer Lastprofile für den Haushaltssektor." 29. Symposium Photovoltaische Solarenergie. 2014.
- inter 3, 2015, DEMAPLAN - Demand-oriented management and planning of water infrastructures, https://www.inter3.de/fileadmin/user_upload/Downloads/Veroeffentlichungen/DEMAPLAN_onlineversion.pdf
- Kangießer, A. (2014): Entwicklung eines generischen Modells zur Einsatzoptimierung von Energiespeichern für die techno-ökonomische Bewertung stationärer Speicheranwendungen, Dissertation, Universität Dortmund.
- Kippelt, S.: Dezentrale Flexibilitätsoptionen und ihr Beitrag zum Ausgleich der fluktuierenden Stromerzeugung Erneuerbarer Energien, Diss., Dortmund 2017.
- Knorr, K.; Giron, P.; Wiemer, M., 2022, Modellierung von Trinkwasserversorgungen und Einsatzoptimierung von Flexibilitätsoptionen, Kassel, <https://doi.org/10.24406/publica-279>

- Knorr, K., 2022a, Modellierung der innertägigen Schwankungen des zukünftigen day-ahead Strompreises, Kassel, <https://doi.org/10.24406/publica-280>
- Knorr, K., 2022b, Multiple lineare Regression des Trinkwasserverbrauchs eines Wasserversorgungsgebietes durch Wetterdaten und kalendarische Informationen, Kassel, <https://doi.org/10.24406/publica-281>
- Kouroupetroglou, Christos, Maarten Piso, Wassim Derguech, et al. (2015): Engaging Users in Tracking Their Water Usage Behavior. *Procedia Engineering* 119. Computing and Control for the Water Industry (CCWI2015) Sharing the Best Practice in Water Management: 788–797.
- Lopez-Nicolas, A, Pulido-Velazquez, M, Rougé C., Harou J.J., Escriva-Bou A. (2018): Design and assessment of an efficient and equitable dynamic urban water tariff. Application to the city of Valencia, Spain, In: *Environmental Modelling & Software* 101 (2018), 137-145, doi: 10.1016/j.envsoft.2017.12.018
- Lowe, Ben, Lynch, David, und Lowe, Julian, (2015): “Reducing Household Water Consumption: A Social Marketing Approach”, *Journal of Marketing Management*, Vol. 31 (3-4), 378-408. DOI: 10.1080/0267257X.2014.971044.
- Meub, Lukas, and Petrik Runst (2019) Can APPEaling and More Informative Bills “Nudge” Individuals into Conserving Electricity? Center for European Governance and Economic Development Research Cege Discussion Papers(372)
- Michalek, G, G Meran, R Schwarze, and Ö Yildiz (2016): Nudging as a New ‘Soft’ Tool in Environmental Policy – An Analysis Based on Insights from Cognitive and Social Psychology. *ZfU* 2(3/2016): 169–207.
- Mirsch, Tobias, Christiane Lehrer, and Reinhard Jung (2017) Digital Nudging: Altering User Behavior in Digital Environments, In: *Proceedings of the 13th International Conference on Wirtschaftsinformatik (WI) 2017*, Pp. 634–648. Association for Information Systems. AIS Electronic Library (AISeL). <https://research.cbs.dk/da/publications/digital-nudging-altering-user-behavior-in-digital-environments>, accessed August 6, 2020.
- Mohajeri, S./ Nuñez von Voigt, T. (2017): DEMAPLAN - Demand-oriented management and planning of water infrastructures. Broschüre. Berlin: inter 3 GmbH
- Pappala, V. S., Erlich, I., & Singh, S. N. (2008): Unit commitment under wind power and demand uncertainties, in: *Power System Technology and IEEE Power India Conference, 2008. POWERCON 2008. Joint International Conference on* (pp. 1-6). IEEE.
- Riedel T., Nolte C., T. aus der Beek, Liedtke J., Sures B., Grabner D. (2021) *Niedrigwasswe, Dürre und Grundwasserneubildung- Bestandsaufnahme zur gegenwärtigen Situation in Deutschland, den Klimaprojekten und den existierenden Maßnahmen und Strategien Abschlussbericht TEXTE 174/2021 Umweltbundesamt*
- Rougé Charles, Harou Julien J., Pulido-Velazquez Manuel, et al. (2018): Assessment of Smart-Meter-Enabled Dynamic Pricing at Utility and River Basin Scale. *Journal of Water Resources Planning and Management* 144(5): 04018019.
- Saager, Marcel, Patrick Baber, Maximilian Meyer, Stefan Wunderlich, Jorge Marx Gómez (2018): *Disaggregation von Lastkurven privater Haushalte im Kontext der Energiewende –*

- Informationsgewinn für den Energiekonsumenten?, in: Konferenzband Multikonferenz Wirtschaftsinformatik 06.-09. März 2018, S. 1886–98, Lüneburg.
- Sahin, Oz, Edoardo Bertone, Cara Beal, und Rodney A Stewart (2017): Managing Water Demand through Dynamic Pricing: A Holistic Systems Modelling Approach. In: 12th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, Dubrovnik, Croatia.
- Sahin, O., Bertone, E., Beal, C., Stewart, R.A. (2018). Evaluating a novel tiered scarcity adjusted water budget and pricing structure using a holistic systems modelling approach, In: Journal of Environmental Management 215, 79-90. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.03.037>
- Scharte, Benjamin; Thoma, Klaus (2016): Resilienz – Ingenieurwissenschaftliche Perspektive. In: Wink, Rüdiger (Hrsg.): Multidisziplinäre Perspektiven der Resilienzforschung, Studien zur Resilienzforschung. Wiesbaden: Springer Fachmedien, S. 123-150.
- Schneidewind, Uwe (2014): Urbane Reallabore – ein Blick in die aktuelle Forschungswerkstatt. http://www.planung-neu-denken.de/images/stories/pnd/dokumente/3_2014/schneidewind.pdf
- Schreiber, M., Wainstein, M. E., Hochloff, P., & Dargaville, R. (2015): Flexible electricity tariffs: Power and energy price signals designed for a smarter grid. Energy, 93, 2568-2581.
- Stifter, Matthias, Sabina EICHBERGER. "REPRÄSENTATIVE LASTPROFILE FÜR HAUSHALTE." ,Dokumentation des 15. Symposium Energieinnovation, 14. bis 16. Februar 2018, Technische Universität Graz.
- Swantje Gährs, Evelin Wieckowski, Jonas von Braunmühl, Andreas Wolfmaier, Bernd Hirschl: Private Haushalte als neue Schlüsselakteure einer Transformation des Energiesystems, Arbeitspapier zur Simulation des Haushaltssektors im Energiesystem unter Berücksichtigung hoher dezentraler Energieeinspeisung, Berlin 2015
- Thaler, Richard H., and Cass R. Sunstein (2009) Nudge: Improving Decisions about Health, Wealth, and Happiness. Penguin Books.
- Thieken, A. (2018): Urbane Resilienz gegenüber extremen Wetterereignissen – Typologien und Transfer von Anpassungsstrategien in kleinen Großstädten und Mittelstädten (ExTrass). Potsdam, https://www.researchgate.net/publication/362076851_Urbane_Resilienz_gegenuber_extremen_Wetterereignissen_Gemeinsamer_Verbundabschlussbericht_des_Forschungsprojektes_ExTrass (Stand 2022-11-30)
- Thorun, Christian (2016) Nudge-Ansätze beim nachhaltigen Konsum: Ermittlung und Entwicklung von Maßnahmen zum "Anstoßen" nachhaltiger Konsummuster. Berlin: ConPolicy – Institut für Verbraucherpolitik.
- Tjaden, Tjarko, et al. "Repräsentative elektrische Lastprofile für Wohngebäude in Deutschland auf 1-sekündiger Datenbasis." Hochschule für Technik und Wirtschaft HTW Berlin (2015).
- Vašak, M., G. Banjac, M. Baotić, und J. Matuško (2014): Dynamic Day-Ahead Water Pricing Based on Smart Metering and Demand Prediction, In: 16th Water Distribution System Analysis Conference, Procedia Engineering 89, WDSA2014: 1031–1036.

WBGU (2016): Der Umzug der Menschheit: Die transformative Kraft der Städte. Berlin, https://www.wbgu.de/fileadmin/user_upload/wbgu/publikationen/hauptgutachten/hg2016/pdf/wbgu_hg2016.pdf (Stand 2022-11-30)

Wencki, Kristina, Juliane Koti, and Stephan Hunze (2017): Ökonomische Rahmenbedingungen - Anreizsysteme zur Lastoptimierten Versorgung. ENERWA-Publikation Nr.7/April 2017, https://enerwa.org/wp-content/uploads/2017/12/Pub7_IWW_enwor_Anreizsysteme.pdf, accessed November 20, 2019.

Yildiz, Ö./ Ansmann, T./ Walther, J./ Walz, K. (2018): Coping with climate change through flexible infrastructure use. Improving climate resiliency of water and wastewater infrastructures using operational optimization and digital technologies for demand-side management, in: Water Solutions 3 | 2018, DIV Deutscher Industrieverlag, Essen, pp. 41-48

Yildiz, Ö. / Ansmann, T. (2018) Mit Flexibilität zu resilienten Infrastrukturen? –Wie digitale Anwendungen, Nudges und Blockchain die Klimaresilienz von Infrastrukturen verbessern können, in Transforming Cities Heft 1/ 2018, S. 36-39

Yildiz, Ö., Ansmann, T. (2019): Nachfrageprognose und Wasserverbrauchssteuerung in Haushalten in Zeiten von Klimawandel und Digitalisierung, in: WasserWirtschaft 1|2019, Fachzeitschrift für Wasser und Umwelt, Springer Professional, S. 19-24.