



Bundesministerium
für Wohnen, Stadtentwicklung
und Bauwesen



Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung



Urbane Resilienz im Klimawandel

Wie die Digitalisierung Kommunen im Umgang
mit der Klimakrise stärkt

Dokumentation des Fachworkshops
„Kommunale Beiträge zum Umgang mit der Klimakrise“
der Nationalen Dialogplattform Smart Cities am 17. Oktober 2022

Impressum

Herausgeber

Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB)
Referat S II 2 - Smart Cities
Jan Möller, Gudrun Schwarz

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)
Referat RS 5 „Digitale Stadt, Risikovorsorge und Verkehr“
Eva Schweitzer

Wissenschaftliche Begleitung

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)
Referat RS 5 „Digitale Stadt, Risikovorsorge und Verkehr“
Eva Schweitzer, Charlotte Räuchle, Thomas Schönberger, Ralf Schüle

Auftragnehmer und Autoren

Urbanizers Neumüllers Langenbrinck GbR, Berlin
Dr. Annika Levels, Anna Eckenweber, Constantin Wazinski
Nordufer 15, 13353 Berlin

City & Bits GmbH, Berlin/Ulm
Jens Mofina, Valentin Hübner, Vincent Jörs
Schreinerstraße 56
10247 Berlin

E-Mail: dialogplattformsmartcities@urbanizers.de

Stand

März 2023

Satz und Layout

re.do graphic and design, Dessau
Doreen Ritzau

Hintergrundinformation

Die nachfolgende Dokumentation stellt ein Zwischenergebnis der Arbeit der dritten Staffel der Nationalen Dialogplattform Smart Cities 2022/2023 dar. Diese widmet sich dem übergreifenden Thema „Beschleunigter Wandel und Resilienz“. In diesem Rahmen wurde zum Auftakt über Herausforderungen, Hemmnisse, Potenziale sowie gute Beispiele zu den Themen „Energie“, „Mobilität“ und „Wetterextreme“ in Kommunen diskutiert (23. August 2022). Diese Diskussionen wurden im sich anschließenden Fachworkshop „Kommunale Beiträge zum Umgang mit der Klimakrise“ vertieft (17. Oktober 2022).

Ziel der weiteren Arbeit der Nationalen Dialogplattform im Jahr 2023 ist es, die vorliegenden Thesen in Handlungsempfehlungen für Bund, Länder und Kommunen zu überführen und Leitlinien zum Einsatz der Digitalisierung für mehr Klimaresilienz (in Kommunen) zu entwickeln.

Inhaltsverzeichnis

Urbane Resilienz im Klimawandel	5
Energiewende und Resilienz	6
Mobilitätswende und Resilienz	10
Wetterextreme und Resilienz	13

Urbane Resilienz im Klimawandel

Der Klimawandel stellt eine zentrale Herausforderung für Kommunen dar.¹ Zunächst sind massive Anstrengungen im Klimaschutz notwendig, um die Erreichung des 1,5-Grad-Zieles realistisch werden zu lassen und den Klimawandel damit langfristig einzudämmen. Der Umstieg auf erneuerbare Energien sowie der Ausbau von Mobilitätsangeboten und -infrastrukturen des Umweltverbunds² sind hier zentrale kommunale Handlungsfelder. Darüber hinaus erfordern die Auswirkungen des Klimawandels bereits heute umfassende Anpassungsmaßnahmen zum Schutz von Infrastrukturen und Lebensräumen. Als unmittelbare Folge des Klimawandels in Deutschland gelten vor allem die Zunahme von Starkregereignissen, anhaltende Trockenphasen und die Zunahme von Hitzebelastungen insbesondere in Städten („Hitzeinseln“). Es gilt als gesichert, dass diese Klimafolgen in naher Zukunft weiter zunehmen werden, mit teils erheblichen Risiken für die Lebensqualität und Gesundheit der Bevölkerung.

Kommunen stehen auf ihrem Weg zu mehr Klimaresilienz daher zumindest vor zweierlei Aufgaben: Auf der einen Seite sind Städte und Gemeinden angehalten, ehrgeizige Klimaschutz- und Nachhaltigkeitsziele umzusetzen, um eine zukunftsfähige Stadtentwicklung zu gewährleisten. Viele Kommunen haben beispielsweise Klimaschutzziele für sich verabschiedet, die spätestens bis 2050 auf eine vollständige Klimaneutralität zielen. Die damit verbundene beabsichtigte Transformation in Richtung einer nachhaltigen Energieversorgung und -nutzung setzt ein hohes Maß an Ambitionen, Ressourcen und Kapazitäten voraus. Auf der anderen Seite müssen die bereits spürbaren nachteiligen Auswirkungen des Klimawandels bewältigt und Folgewirkungen – zum Beispiel knappe Wasserressourcen oder der Rückgang der biologischen Vielfalt – eingegrenzt werden.

Kommunen stehen so vor der Herausforderung, sich zukünftig an die sich stetig verändernden ökologischen und sozialen Rahmenbedingungen anzupassen. So müssen sie zum Beispiel mit wirtschaftlichen Schäden durch Klimawandelfolgen und erhöhten Gesundheitsrisiken umgehen. Dazu ist es erforderlich, einerseits die Robustheit der physischen und digitalen Infrastrukturen zu erhöhen, andererseits auch institutionelle und organisatorische Strukturen aufzubauen, die entsprechendes Wissen, Kompetenzen und Tools in den Verwaltungen bündeln.

Die Digitalisierung bietet viele Möglichkeiten, um die Robustheit und Anpassungsfähigkeit von Kommunen im Umgang mit dem Klimawandel zu erweitern. Diese reichen von der Steigerung der Ressourceneffizienz über die ressortübergreifende Planung von Maßnahmen bis hin zur Erschließung neuer intelligenter Lösungen. In der vorliegenden Dokumentation werden für die Handlungsfelder Energie, Mobilität und Wetterextreme Potenziale der Digitalisierung vorgestellt, die Kommunen nutzen können, um resiliente Strukturen für den Umgang mit der Klimakrise zu entwickeln:

- Im Handlungsfeld Energie ergeben sich durch digitale Lösungen etwa Potenziale zum Monitoring von Energieverbräuchen, aus welchem eine effizientere und suffizientere Nutzung von Energie erfolgen kann. Zudem führen neue Vernetzungs- und Dezentralisierungsmöglichkeiten dazu, dass dezentrale Netze nutzungsorientiert aufgebaut sowie deren Betrieb vereinfacht werden.
- Digitale Lösungen im Bereich Mobilität können zu einer Reduzierung des motorisierten Individualverkehrs führen, die Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel des Umweltverbunds und einen effizienteren Betrieb des ÖPNV stärken sowie zur Reduzierung von Umweltemissionen wie Lärm und Schadstoffen beitragen.
- Auch Wetterextremen kann mithilfe digitaler Lösungen begegnet werden, indem zum Beispiel Schäden durch Starkregen vorgebeugt, die Wasserversorgung und -qualität gesichert sowie Stadtgrün nachhaltig bewässert werden kann.

1 Deutsches Institut für Urbanistik (Difu) (2022): Klimaschutz ist das überragende Thema in den Kommunen. https://repository.difu.de/jspui/bitstream/difu/583564/1/OB-Barometer2022_online.pdf. Letzter Zugriff: 03.03.2023.

2 Unter dem Begriff „Umweltverbund“ werden alle umweltfreundlichen Verkehrsmittel bzw. Verkehrsarten zusammengefasst, u. a. „zu Fuß gehen“, Fahrräder und öffentliche Verkehrsmittel.

Energiewende und Resilienz

Um das Klimaziel der Bundesregierung – Klimaneutralität bis 2045 – zu erreichen, ist die Umstellung der Energieversorgung von fossilen Energieträgern auf erneuerbare Energien (Windkraft, Solarthermie, Photovoltaik, Bioenergie, Wasserkraft, Erdwärme und Meeresenergie) zentral. Für Maßnahmen des Klimaschutzes im Energiesektor bietet die Digitalisierung dabei zahlreiche Möglichkeiten, um den Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen zu senken und damit die urbane Resilienz zu stärken.

Im Rahmen der Energiewende geht es dabei sowohl um die Umstellung der Energieversorgung von Kommunen, Industrien und Haushalten auf erneuerbare Energien als auch um die Steigerung der Energieeffizienz sowie um die absolute Reduktion des Energieverbrauchs. Notwendig ist neben der konstanten Erzeugung erneuerbarer Energien deren flächendeckende Verteilung.

Energieverbrauch senken und Energieeffizienz steigern

Die gezielte Nutzung digitaler Technologien kann die Senkung des Energieverbrauchs und die Steigerung der Energieeffizienz u. a. in folgenden Handlungsfeldern unterstützen:

Gebäudetechnik: Digitale Technologien besitzen insbesondere im Gebäudebereich Potenziale zur Energieoptimierung. Die Einsatzmöglichkeiten reichen dabei von der Planungsphase (Building Information Modeling, Generierung von Gebäudemodellen) bis hin zum Gebäudebetrieb (Smart Home, digitale Ressourcen- und Sanierungspässe).

Energiesteuerung auf Quartiersebene: Die Energieerzeugung auf Quartiersebene bietet gegenüber der Energieerzeugung auf Gebäudeebene viele (Kosten-)Vorteile. Potenziale der Digitalisierung umfassen dabei die erweiterte Generierung von Datengrundlagen (Sensorik in Gebäuden), die Prognose des potenziellen Energieverbrauchs (Energiesimulationen), die fortlaufende Verbesserung der Verknüpfung von Energiedaten (künstliche Intelligenz) sowie die bedarfsgerechte Steuerung und Automatisierung der Infrastruktur (digitale Energiezwillinge) und die Bilanzierung von eingesparten Ressourcen. Um sowohl personelle als auch finanzielle Ressourcen für diese komplexen Vorhaben bereitstellen zu können, ist es für Kommunen zielführend, sich frühzeitig damit auseinanderzusetzen, wie nötige Datengrundlagen beschafft und verfügbar gemacht werden können. Ausgewählte Kennzahlen (u. a. städtische Geodaten, Energieverbräuche, Solarpotenziale, Gebäudedaten) sollten schrittweise gesammelt und in kommunale Datenplattformen überführt werden.

Kommunikation: Durch digitale Kommunikationskanäle (Apps, Webseiten) zwischen Erzeugerinnen bzw. Erzeugern und Verbraucherinnen bzw. Verbrauchern sowie eine automatisierte Datenübergabe (Smart Meter) können Strompreise, Leistungen und Kundenansprachen flexibler und individueller angepasst werden und zu einer effizienteren Bereitstellung von Energie führen.

Energieversorgung dezentralisieren

Die Dezentralisierung der Energieversorgung, unter anderem durch den Einsatz erneuerbarer Energien, ist ein wesentlicher Beitrag, um die Resilienz städtischer Systeme zu stärken und Emissionen zu senken. Die technischen und regulativen Rahmenbedingungen sind jedoch häufig komplex. Unter Einsatz digitaler Tools können dezentrale Netze nutzungsorientiert aufgebaut sowie deren Betrieb vereinfacht werden.

Einsatz virtueller Kraftwerke³: Mit dem Ausbau der dezentralen Energieversorgung sowie der wetter-, jahres- und tageszeitabhängigen Energieproduktion wird das Energiesystem komplexer. Um die kleinteiligen Infrastrukturen zu koppeln sowie die Leistungen im Netz verlässlich bereitzustellen, können virtuelle Kraftwerke gebildet werden.

3 Virtuelle Kraftwerke verknüpfen mehrere einzelne Erzeugungsanlagen (zum Beispiel Photovoltaikanlagen, Windenergieanlagen, Blockheizkraftwerke) und koordinieren sowie kontrollieren den Einsatz nach Anlagen.

Gemeinschaftliche Geschäftsmodelle zur Akzeptanz der Energiewende: Geschäftsmodelle wie „Mietstrom“ ermöglichen es privaten Akteurinnen und Akteuren, sich am Ausbau erneuerbarer Energien zu beteiligen. Dies kann zur Akzeptanzsteigerung der Energiewende beitragen. Rechtliche Hürden und komplexe Prozesse erschweren jedoch häufig den Ausbau. Digitale Technologien können dabei helfen, Prozesse zu vereinfachen, indem zum Beispiel Abrechnungsprozesse durch entsprechende Software optimiert und der Einsatz erneuerbarer Energien skaliert werden kann (digitale Verbrauchsvisualisierungen, Monitoring der Leistungserbringung zum Beispiel von Photovoltaikanlagen).

Autarke Mikrosysteme: Besonders vor dem Hintergrund von Cyberangriffen kommt autarken Energiesystemen eine besondere Rolle bei der Gestaltung krisenfester Infrastrukturen zu. So können Busse beispielsweise als Notstromaggregate eingesetzt und autarke Stromnetze bei großflächigeren Ausfällen im Netz unabhängig betrieben werden. Digitale Technologien können beim Aufbau dieser Mikrosysteme von der Gebäude- bis hin zur regionalen Ebene durch technische Anforderungsanalysen, Simulationen, Managementsoftware oder virtuelle Kraftwerke dienlich sein.

Energiesysteme vernetzen

Strom wird zunehmend für Elektrofahrzeuge oder den Betrieb von Wärmepumpen benötigt. Digitale Technologien ermöglichen dabei die Vernetzung der verschiedenen Systeme – von Haushaltsgeräten bis hin zum Energienetz auf Quartiersebene.

Übertragung, Verteilung und Pflege: Aufgrund von Schwankungen in der Energieproduktion müssen Energienetze in Bezug auf Erzeugung, Verteilung, Verbrauch und Speicherung von Strom flexibler gestaltet werden. Smart Grids ermöglichen dies. Durch sie können Leistungsschwankungen ab- und ausgeglichen und somit Systeme effizienter gesteuert werden. Digitale Energiezwillinge können zudem durch Monitoring smarte Bedarfsberechnungen erstellen, effiziente Voraussagen treffen sowie automatisiert Energieströme vernetzen. Automatisiert gesteuerte Energiesysteme greifen dabei sowohl auf Gebäude- als auch auf Quartiersebene.

Vernetzung von Verbrauchs- und Umweltdaten: Durch eine KI-gesteuerte Analyse von Verbrauchs-, Umwelt- und Wetterdaten können Energiesysteme in ihrem Betrieb optimiert werden. So können beispielsweise Strompreise und Wettervorhersagen in Relation zueinander gesetzt werden. Mit der zusätzlichen Integration von Nutzerdaten in die Analysen können zudem individuelle Gewohnheiten (zum Beispiel Warmwasseraufbereitung für Dusche, Strombedarf für Waschmaschine) berücksichtigt werden.

Sektorkopplung als Enabler für die Energiewende: Digitalisierung ermöglicht einen automatisierten Informationsfluss zwischen unterschiedlichen Infrastrukturen und deren besserer Steuerung. Damit können Potenziale von Wechselwirkungen zwischen den Sektoren Strom, Wärme und Verkehr genutzt werden, um zum Beispiel die Versorgungssicherheit durch bedarfsgerechte Einspeisung und Speicherung von Energie zu erhöhen. Gleichzeitig kann durch die Kopplung verschiedener Teilsysteme die Abhängigkeit von einzelnen Versorgungsanlagen reduziert und auf Ausfälle besser reagiert werden.

Anwendungsbeispiel: Digitaler Energiezwilling

Digitaler Energiezwilling Regensburg Margaretenua

Die Wohnsiedlung Margaretenua, entstanden in den 1920er- bis 1940er-Jahren, wird derzeit unter Berücksichtigung baukultureller, ökonomischer und ökologischer Gesichtspunkte sowie unter Beachtung der Sozialverträglichkeit energetisch saniert. Das Quartier zeichnet sich vor allem durch einen hohen Wohnwert, ein günstiges Mietniveau unterhalb des Regensburger Mietspiegels sowie eine daraus folgende Beständigkeit der Mieterschaft aus.

Aufgrund zahlreicher energetischer Defizite wurde für die 360 Wohneinheiten der Baugenossenschaft Margaretenua eG im Quartier 2017/2018 ein energetisches Quartierskonzept erarbeitet (KfW-Programm 432 „Energetische Stadtsanierung“). Die Umsetzung von Sanierungsarbeiten sowie Maßnahmen der Strom- und Wärmeversorgung erfolgt seit 2018. Daneben wurde für ein ausgewähltes Gebäude im Quartier im Rahmen des Forschungsprojekts „Solares Bauen“ des BMWi/BMBF der Einsatz einer auf künstlicher Intelligenz basierenden Technik zur Messung, Steuerung und Regelung der Energieflüsse sowie zum Monitoring des Systems erprobt. Als Grundlage wurde ein digitales Gebäudemodell erstellt, das regionales Klima in Verbindung mit einem durch Wärmepumpen betriebenen Blockheizkraftwerk setzt und die Energieflüsse stetig optimiert. Zudem wurden 75 Sensoren im Gebäude verbaut. Ziel war es, die Energieversorgung zu optimieren und Einsparpotenziale zu identifizieren. Durch die Umsetzung aller energetischen Maßnahmen konnten bisher im Quartier 84 % des Primärenergieverbrauchs, 80 % der Endenergie sowie 70 % an CO₂ eingespart werden.

Mit dem Projekt „Digitaler Energie-Zwilling“ der Smart City Strategie „R_Next“ (Modellprojekte „Smart Cities“ des BMWi) sollen nun die Erfahrungen des digitalen Energiezwillings der Margaretenua auf die gesamte Stadt übertragen werden. Ziel ist es, mit dem digitalen Energiezwilling Energieströme von Wärme und Strom sowie Voraussetzungen für eine wirtschaftliche Energieversorgung unabhängig vom energetischen Gebäudestandard sichtbar zu machen. Mithilfe generischer Gebäudemodelle auf Basis dynamischer Simulationen soll langfristig ein digitales Abbild der gesamten Stadt entstehen. Um Prozesse zu vereinfachen, sollen als Basiswerte Referenzdaten aus Wohnungen unterschiedlicher Baualtersklassen der Margaretenua herangezogen werden. Mit dem digitalen Energiezwilling wird so eine Bewertungsbasis geschaffen, um künftige Energieversorgungsprojekte in Quartieren effizienter zu gestalten.

Kontakt

Ansprechperson: Emir Skulić, Projektleiter „Digitaler Energie-Zwilling“, REGENSBURG_NEXT

E-Mail: R_NEXT@regensburg.de

Weitere Informationen

<https://www.regensburg.de/r-next/projekte/digitaler-energie-zwilling>

Gute Beispiele

- **Smart East Karlsruhe:** Im dreijährigen Projekt „Smart East Karlsruhe“ soll bis 2023 ein smartes Quartier in Karlsruhe-Ost realisiert werden. Im Rahmen des Projekts werden Bestandsgebäude durch verschiedene (digitale) Maßnahmen energetisch optimiert und damit energieeffizienter gestaltet. Die klimaschonende Energieversorgung auf Quartiersebene gelingt dabei durch die Kopplung verschiedener Sektoren, digitale Komponenten und partizipative Ansätze. Zusätzlich werden (digitale) Geschäftsmodelle konkret in der Praxis erprobt. Weitere Informationen: <https://smart-east-ka.de/>
- **Heatral – Energiemonitoring durch LoRaWAN in Frankfurt:** Um die Effizienz von Heiz- und Technikzentralen zu optimieren und somit Energie zu sparen, kooperieren die ABG Frankfurt Holding und die Mainova AG im gemeinsamen Smart-City-Projekt „Heatral“. Ende 2022 war die Umsetzung erster Maßnahmen geplant. Weitere Informationen: <https://www.mainova.de/de/ihre-mainova/presse-und-politik/pressemitteilungen/2022/abg-und-mainova-digitalisieren-heizzentralen-smart-city-loesung-heatral-unterstuetzt-beim-energiesparen-100804>
- **Amsterdam Energy Arena:** Im Parkhaus der Amsterdam-Arena wird der größte europäische Energiespeicher im Gewerbebau installiert. Der Energiespeicher besitzt eine Speicherkapazität von 3 Megawatt, die bei Bedarf erweitert werden kann. Der Energiespeicher kann Schwankungen im Netz ausgleichen und bei Stromausfällen zur Notfallversorgung eingesetzt werden. Weitere Informationen unter: <https://amsterdamsmartcity.com/updates/project/amsterdam-arena>
- **EU-Projekt SPARCS:** Im Rahmen des europäischen Horizon2020-Förderprogramms SPARCS sollen durch die Stadt Leipzig als Projektkoordinatorin sowie lokale Partnerinnen und Partner aus Industrie und Wissenschaft ein gesamtheitlich abgestimmtes Energiequartier im Leipziger Westen ermöglicht werden. Dabei sollen unter anderem digitale Informations- und Kommunikationstechnologien (Smart-Home-Lösungen), Speichertechnologien und Technologien zur intelligenten Gebäudesteuerung (virtuelles Energiequartier) eingesetzt werden. Weitere Informationen: <https://www.leipzig.de/wirtschaft-und-wissenschaft/digitale-stadt/projekt-sparcs>
- **Schoonschip (Amsterdam):** „Schoonschip“ ist eine schwimmende Wohnanlage bestehend aus 46 Einheiten. Die schwimmenden Häuser sind mit über 500 Sonnenkollektoren, 30 Wärmepumpen, Energiespeichern und anderen smarten Netzgeräten ausgestattet. Ziel ist es, ein privates Inselnetz (abgegrenztes Stromnetz) mit nur einer zentralen Anbindung an das öffentliche Netz aufzubauen. Weitere Informationen: <https://schoonschipamsterdam.org>

Weiterführende Literatur

- **Deutsche Energie-Agentur GmbH, 2022:** Die Datenökonomie in der Energiewirtschaft: Eine Analyse der Ausgangslage und Wege in die Zukunft der Energiewirtschaft durch die Datenökonomie. Analyse der WIK-Consult inkl. Einordnung der dena.
- **Leopoldina, Nationale Akademie der Wissenschaften, acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, Union der deutschen Akademien der Wissenschaften, 2021:** Resilienz digitalisierter Energiesysteme: Wie können Blackout-Risiken begrenzt werden?
- **Umweltbundesamt, 2021:** Potenziale der Digitalisierung für die Minderung von Treibhausgasemissionen im Energiebereich. Dessau-Roßlau.

Mobilitätswende und Resilienz

Ein zentraler Baustein für die Förderung urbaner Resilienz ist eine erfolgreiche Mobilitätswende. Ein vielfältiges Nutzungsangebot kann vor allem durch den Ausbau von Infrastrukturen für den Rad- und Fußverkehr und einen emissionsfreien öffentlichen Personennahverkehr präsentiert werden. Die geteilte Nutzung von Verkehrsmitteln im öffentlichen Verkehr sowie ergänzende Sharing-Angebote, eine Stärkung von aktiver Mobilität, die Förderung nachhaltiger multimodaler Reise- und Transportketten sowie die effiziente Integration von Stadt-Umland-Verkehren unterstützen dabei die Abkehr von autozentrierten Verkehrssystemen. Dies hilft, die negativen Auswirkungen vom MIV auf die Luftqualität und Umwelt, die Gesundheit und Sicherheit der Verkehrsteilnehmenden zu reduzieren und die Aufenthaltsqualität im öffentlichen Raum zu verbessern.

Motorisierten Verkehr reduzieren

Digitale Technologien bieten schon heute vielfältige Möglichkeiten, um den Verkehr zu überwachen, Prognosen für veränderte Bedarfe zu erstellen, alternative Verkehrsströme zu simulieren sowie den Verkehr zu steuern, um somit den motorisierten Verkehr zu reduzieren.

Digitale Verkehrsüberwachung und intelligente Verkehrssteuerung: Datenplattformen, Simulationsmodelle und auf künstlicher Intelligenz basierende Steuerungssysteme ermöglichen Prognosen für veränderte Bedarfe von Verkehrsflüssen, Echtzeitüberwachungen des Verkehrs oder die Identifikation von Schadstoffbelastungen. So können Vorhersagen zu stark frequentierten Routen und Staus getroffen werden (zum Beispiel durch Unterstützung digitaler Zwillinge), sodass der Verkehr gezielt umgelenkt werden kann. Anwendungen für intelligente Routenplanungen sowie die digitale Erfassung von freiem Parkraum können zudem dazu beitragen, den Parksuchverkehr zu reduzieren.

Visualisierung und Vergleich von Mobilitätszeiten und -kosten: Durch die Sichtbarmachung von Mobilitätszeiten und -kosten für Mobilitätsteilnehmende können die Nachteile (zeitlich, finanziell) in der Nutzung des MIV deutlich gemacht werden.

Digitale Anreizsysteme: Für die Reduktion des MIV und die Verkehrsverlagerung auf umweltfreundliche Verkehrsmittel ist ein gesamtgesellschaftliches Umdenken nötig. Digitale Anreizsysteme können eine gewisse „Verhaltenssteuerung“ erzielen, ohne dabei Verbote auszusprechen. So können beispielsweise Bonussysteme in Sharing-Angebote integriert werden. In kommunalen Verwaltungen und Unternehmen können Mitarbeitenden Mobilitätsbudgets für umweltfreundliche Verkehrsmittel angeboten werden.

Verkehrsverlagerung auf umweltfreundliche Verkehrsmittel und Stärkung multimodaler Reiseketten: Die Verlagerung des Verkehrs auf umweltfreundliche Verkehrsmittel stellt eine zentrale Stellschraube für die Senkung von CO₂ im Verkehrssektor dar. Der MIV bietet jedoch häufig gegenüber nachhaltigen Mobilitätsangeboten mehr Komfort. Durch digitale Angebote kann die Nutzung von Verkehrsmitteln fernab des MIV nutzerfreundlicher gestaltet und der Umstieg zwischen Verkehrsmitteln erleichtert werden.

Attraktive Gestaltung von ÖPNV und Sharing-Angeboten durch Echtzeitdaten: Damit der Umstieg vom MIV auf ÖPNV und Sharing-Angebote gelingt, bedarf es „Nudging“-Lösungen⁴, die den Komfort des MIV erhöhen. Digitale Technologien können den Verkehrsteilnehmenden dabei dienen, ihre Routen individuell zu planen. Beispielsweise können Echtzeitdaten verfügbare Informationen zur Belegung öffentlicher Verkehrsmittel, zu möglichen Anschlussverbindungen und zu aktuellen Verspätungszeiten zugänglich machen.

Zugang zu umweltfreundlichen Mobilitätsangeboten verbessern: Besonders in ländlichen Räumen ist die Nutzung umweltfreundlicher Mobilitätsangebote aufgrund individueller Bedarfsanforderungen meist gering. Oft ist es notwendig, mehrere Verkehrsmittel zu kombinieren und verschiedene Tarifzonen zu durchqueren, um ans Ziel zu kommen. Dabei stellt die Anbindung an zentrale Verkehrsachsen des ÖPNV (mit hoher Taktung) oft die größte Herausforderung dar. Mithilfe digitaler Technologien können flexible und bedarfsorientierte Lösungen (On-Demand-Angebote) entwickelt werden.

4 „Nudging“ beschreibt den Ansatz, Verhaltensveränderungen subtil ohne Druck, Zwang oder ökonomische Anreize anzustoßen.

Digitale Geschäftsmodelle: Mithilfe digitaler Geschäftsmodelle wie Mobility-as-a-Service ⁵ entstehen unter anderem in Zusammenarbeit mit kommunalen Unternehmen neue Angebote, die den multimodalen Verkehr stärken. Digitale Portale und Apps können dabei zum Beispiel den Kauf von Fahrkarten und den Überblick über Angebote vereinfachen.

Intelligente ÖPNV-Überwachung und -Steuerung: ÖPNV ist ressourcenintensiv. Häufig kommt es zu Leerfahrten, vor allem in Randzeiten und in ländlichen Räumen. Die Digitalisierung bietet für Verkehrsunternehmen die Chance, ihren Fahrbetrieb zu optimieren. So können beispielsweise auf Basis von Verkehrsnetzmodellen Simulationen durchgeführt und flexible Mobilitätsangebote geplant werden. Gleichzeitig können durch digitalbasierte On-Demand-Lösungen Angebote an der konkreten Nachfrage ausgerichtet werden.

Plattformbasierter Datenaustausch: Mit dem Angebot an Sharing-Dienstleistungen steigt auch die Anzahl privater Anbieter sowie die Nutzung öffentlicher Räume durch deren Fahrzeuge. Durch den gemeinsamen Austausch zwischen Kommunen und Sharing-Anbietern kann die Nutzung der öffentlichen Räume zielgerichtet gesteuert werden, indem zum Beispiel gemeinsam geeignete Abstellzonen identifiziert werden. Kommunen können dafür etwa Geodaten zu Parkverbotszonen bereitstellen. Um diesen Informationsfluss zu vereinheitlichen und zu vereinfachen, wurde beispielsweise in den USA das Datenformat und Austauschprotokoll Mobility Data Specification (MDS) geschaffen. Vor dem Hintergrund des Datenaustausches sollten Kommunen strategische Zielsetzungen sowie organisatorische und inhaltliche Voraussetzungen festlegen.

Steigerung von Lebensqualität und Gesundheit

Der Verkehrssektor trägt wesentlich zum CO₂-Ausstoß und zur Luftverschmutzung bei. Folgen sind eine reduzierte Lebensqualität in städtischen Räumen und negative Einflüsse auf die Gesundheit. Digitale Technologien können dabei für eine nachhaltige Mobilitätsplanung und -steuerung eingesetzt werden.

Monitoring der Luftqualität: Besonders in urbanen Gebieten trägt die hohe Luftbelastung mit Feinstaub sowie Kohlenmonoxid und -dioxid zur Minderung der Lebensqualität bei. Mithilfe von Sensorik und Apps können Verkehrs-, Wetter- und Luftgütemessdaten in Echtzeit überwacht und transparent kommuniziert werden. So kann eine schlechte Luftqualität ggf. einen Impuls geben, das eigene Auto stehen zu lassen. Gleichzeitig können die Messungen eine Datengrundlage zur Ableitung von gezielten Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität liefern.

Senkung der Feinstaub- und Lärmbelastung: Mithilfe der Steuerung durch Technologien wie GPS-Systeme und IoT-Sensoren können Umweltdaten in Echtzeit erfasst und auf einer Plattform zusammengeführt werden. So können Streckenführungen an die aktuelle Umweltbelastung angepasst werden. Dies führt zu einer geringeren Feinstaub- und Lärmbelastung an stark frequentierten Straßen.

⁵ Mobility-as-a-Service beschreibt den Ansatz, einen Zugang zu verschiedenen Mobilitätsdienstleistungen wie ÖPNV, Sharing-Angebote, Taxi etc. in einem einzigen digitalen Mobilitätsangebot zu schaffen.

Anwendungsbeispiel: Multimodale Mobilitätslösung

Stadt Lohmar – Projekt „RBS.Mobil“

Seit dem Jahr 2020 ist Lohmar Teil der Modellprojekte „Smart Cities“, die vom Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen gefördert werden. Das Projekt „RBS.Mobil“ (Rheinisch-Bergisch.Smart.Mobil) ist ein Teil des Smart-City-Vorhabens, in dem eine multimodale Mobilitätslösung entwickelt wird, die klassische und innovative Mobilitätsangebote für Jung und Alt kombiniert. Mit einer integrierten Datenerfassung sollen Angebote kontinuierlich optimiert werden, um Bürgerinnen und Bürgern attraktive Alternativen zum MIV aufzuzeigen. Im Rahmen der Förderung werden dabei neue Ansätze mit Partnerinnen und Partnern entwickelt und schrittweise umgesetzt. Bisher wurden eine Urban-Data-Plattform aufgebaut, in Zusammenarbeit mit der Ride-&-Carsharing-Community eine erste Carsharing-Flotte im Stadtkern bereitgestellt sowie ein Shuttleservice von Wunschort zu Haltestellen und eine Smart-City-App geplant. Zukünftig sollen eine Mobilitätsstation sowie eine Mitfahrbörse entstehen sowie der Betrieb des Carsharings auf die umliegenden Dörfer ausgeweitet werden.

Kontakt

Ansprechperson: Dr. Sonja Holl-Supra, Projektkoordinatorin, Amt für Innovation und Nachhaltigkeit, Stadt Lohmar

E-Mail: Sonja.Holl-Supra@Lohmar.de

Weitere Informationen

www.lohmar.de/unternehmerisches-engagement-bauen-und-wohnen/smart-city-lohmar/

Gute Beispiele

- **Bbnavi – Mobilitätsplattform für Kommunen:** Die multi- und intermodale Mobilitätsplattform Bbnavi mit Fokus auf Kommunen in Brandenburg ermöglicht die kombinierte Fahrplanauskunft für Mobilitätsangebote und die Darstellung von (Live-)Daten auf Karten. Weitere Informationen: <https://bbnavi.de/>
- **Digi-V Wiesbaden:** Das Projekt „Digi-V“ hat zum Ziel, das gesamte Straßennetz Wiesbadens für eine zukunftsweisende digitale Erfassung und Steuerung des Verkehrs zu ertüchtigen. Dazu gehört eine ganzheitliche digitale Infrastruktur für die aktive Verkehrssteuerung, die Echtzeit-Verkehrserfassung sowie die Messung der Luftbelastung. Weitere Informationen: <https://www.wiesbaden.de/leben-in-wiesbaden/verkehr/verkehrsentwicklung/digi-v-saubere-luft.php>
- **BürgerGIS:** Durch die digitale Bereitstellung von Geoinformationen werden den Bürgerinnen und Bürgern zukünftig tagesaktuelle Themen im Bereich „Mobilität“ wie Baustellen und Straßensperrungen in Echtzeit verfügbar gemacht. Weitere Informationen: <https://www.smartcity-pforzheim.de/news-ansicht/article/detail/News/projekt-buergergis.html>

Weiterführende Literatur

- **Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, 2018:** Stadtverkehr für übermorgen. Zugriff: <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/forschung/programme/exwost/Studien/2019/stadt-voen-uebermorgen/01-start.html> [abgerufen am 07.03.2023]

Wetterextreme und Resilienz

Bemerkbar machen sich die Auswirkungen des Klimawandels durch vermehrte Wetterextreme wie Starkregen. Dabei ist die technische Wasserinfrastruktur nicht immer für heftiger auftretende Starkregenereignisse ausgelegt. Digitale Anwendungen können im Krisenfall durch eine automatisierte Steuerung von technischen Anlagen Schäden minimieren (zum Beispiel intelligente Steuerung von Pumpen und Ventilen in der Kanalisation) oder durch Simulationen präventive Maßnahmen ermöglichen (zum Beispiel bereits bei der Planung und dem Bau städtischer Infrastrukturen).

Darüber hinaus haben lange Trockenperioden Auswirkungen auf das Stadtgrün. Insbesondere Stadtbäume sind einem zunehmend großen Trockenstress ausgesetzt. Daher werden bei Wasserknappheit vor allem nachhaltige Bewässerungssysteme auf Basis effizienter Wasserverwendung in regionalen Kreisläufen benötigt. Außerdem steigt durch die Zunahme von Hitzetagen die thermische Belastung in Städten und führt zu gesundheitlichen Einschränkungen und Gefährdungen sowie zu verminderter Leistungsfähigkeit und Stress. Digitale Technologien unterstützen das Monitoring und den effizienten Einsatz knapper Wasserressourcen sowie die Hitzevorsorge und stärken die soziale Resilienz gegenüber diesen Wetterereignissen.

Auf Starkregen reagieren und Schäden vorbeugen

Die Geschehnisse im Ahrtal 2021 zeigten auf, welche Konsequenzen ein Starkregenereignis für Kommunen haben kann. Aber nicht nur ländliche Räume oder flussnahe Gebiete werden zukünftig davon betroffen sein. Besonders vulnerabel werden Städte durch die vielen versiegelten Flächen.

Monitoring von Wetterlagen und technischer Infrastruktur: Digitale Technologien ermöglichen über Sensorik eine präzise Erfassung und ein Monitoring von Regenmengen, Regenzeitpunkten und Wasserständen. Auf Echtzeit basierende Simulationen können vor allem auf Extremwetterereignisse reagieren, die häufig relativ spontan entstehen und nur schwer mehrere Tage vorher vorauszusagen sind. Dies ist die Grundlage für effektive Risiko- und Frühwarnsysteme. Gleichzeitig ist eine langfristige Betrachtung von Daten notwendig, um ein umfassendes Bild der unterschiedlichen Umwelteinflüsse zu bekommen. Darauf aufbauend können Szenarien erstellt und als Grundlage für (präventive) Planungen herangezogen werden.

Wassersteuerung: Intelligente, automatisierte Steuerung von technischen Anlagen kann in Krisenfällen Schäden minimieren. Pumpen und Ventile im Kanalsystem verteilen den Wasserabfluss bei Starkregen besser und gleichen punktuelle Überlastungen aus.

Simulationen zur Unterstützung von Planungsprozessen: Digitale Zwillinge ermöglichen es, zum Beispiel durch das Verschneiden von Daten Überschwemmungssimulationen vorzunehmen. Auf Basis der Ergebnisse können Risikoflächen ermittelt und die Stadtinfrastruktur gezielt angepasst werden (zum Beispiel Anlage von Retentionsflächen). Zusätzlich können Simulationen bei der Erstellung von Katastrophenplänen unterstützend wirken.

Krisenkommunikation bei Hochwasser: Digitale Tools erleichtern eine direkte und nutzerfreundliche Kommunikation. Hochwasserportale helfen dabei, verarbeitete Daten zu visualisieren und somit effektiv über Gefahrensituationen zu informieren. Durch die Vorhersage von Gefahrenzeitpunkt und -ort und automatisierte Alarmsysteme werden zielgruppenspezifische Frühwarnungen ermöglicht und die Reaktionszeit der Bevölkerung beschleunigt.

Datenportale für interkommunale Zusammenarbeit nutzen: Öffentliche Datenportale (zum Beispiel Hochwasserportale) können dazu dienen, die Daten über administrative Schnittstellen hinweg gebündelt zur Verfügung zu stellen (insbesondere über Länder- und Verwaltungsgrenzen hinweg). So können Zusammenhänge und Wechselwirkungen besser erkannt werden (zum Beispiel bei Hochwasser).

Wasserversorgung und -qualität sichern

Die Wasserversorgung und -qualität kann durch Temperaturunterschiede oder plötzliche Wassermengen beeinträchtigt werden. Daneben führen Wetterextreme langfristig auch zu Wasserknappheit. Digitale Technologien ermöglichen es, Wasser einzusparen, die Wasserversorgung und Wasserqualität zu monitoren, den Verbrauch zu steuern sowie Schadstoffeinträge ins (Trink-)Wasser zu ermitteln.

Monitoring der Wasserversorgung: Ein umfassendes Monitoring von (Trink-)Wasser ermöglicht es, Wasserreserven zu überwachen und frühzeitig den Wasserverbrauch zu planen. Digitale Technologien können die Messung und Analyse sowie Prognosen erleichtern.

Intelligente Steuerung des Wasserverbrauchs: Präventiv vor oder während Hitze- und Dürreperioden kann über intelligente Steuerung im regionalen Verbund ein geregelter Wasserverbrauch gefördert werden. Vernetzte Wasserreservoirs unterstützen die regionale Abstimmung der Wassernutzung. Lokale Engpässe können über ferngesteuerte Wasserwerke, digitale Wasserzähler (Smart Meter) oder 3D-Leitungsscans reduziert werden. Intelligente Wassernutzung innerhalb von Gebäuden kann durch Sensorik und digitale Technologien erfolgen. So kann zum Beispiel Grauwasser von Schwarzwasser separiert und dadurch wiedergenutzt oder recycelt werden.

Ermittlung von Schadstoffeinträgen: Schadstoffeinträge, zum Beispiel durch Starkregenereignisse verursacht, können die Wasserqualität massiv beeinträchtigen. Damit frühzeitig die Nutzung von belastetem Wasser verhindert wird und Warnungen vor Nutzung ausgesprochen werden können, müssen Schadstoffeinträge ermittelt werden. Die Messung und das umfassende Monitoring werden durch digitale Möglichkeiten vereinfacht (zum Beispiel durch Echtzeitdaten).

Stadtgrün nachhaltig bewässern

Stadtgrün ist durch Hitze bedroht. Gleichzeitig schützt es vor den Auswirkungen von Extremwetterereignissen (Schatten, Speicher- und Filterfunktion von Regen etc.). Die intelligente Wasserspeicherung sowie optimierte oder partizipative Bewässerung von Grünflächen können maßgeblich zu deren Erhalt beitragen.

Intelligente Wasserspeicherung: Gründächer können große Mengen an Regenwasser speichern. Durch eine digitale Steuerung können sie anhand von Wetterprognosen automatisiert Wasserreserven freigeben und neben dem Stadtgrün auch für Toilettenspülung oder Ähnliches genutzt werden. Dadurch kann die Wasserversorgung in Dürreperioden verbessert werden.

Optimierte Bewässerung: Die Verarbeitung von Daten (zum Beispiel in Form von Niederschlagsprognosen) ermöglicht es, den Wasserbedarf von Grünanlagen präzise zu bestimmen. Durch die effizientere Bewässerung können Wasserressourcen eingespart und grüne Infrastruktur in Stressphasen frühzeitig geschützt werden.

Partizipative Bewässerung: Onlineplattformen zur Erfassung des Wasserbedarfs grüner Infrastruktur erleichtern die Datensammlung für intelligente Speicher- und Bewässerungssysteme sowie für Bewässerungspläne. Darüber hinaus dienen sie als Medium, um mit der Bürgerschaft in Bezug auf Sensibilisierung für Wassernutzung und Bewässerung in Kontakt zu treten (zum Beispiel Aufklärung hinsichtlich des Gießens).

Auf kollektives Wissen zugreifen: Ein Ziel muss es sein, langfristig für Maßnahmen zur Klimaanpassung zu sensibilisieren und Aktionsketten in Gang zu setzen. Bereits bei der Datensammlung kann die Mitwirkung von unterschiedlichen Akteuren gefördert werden. Beispielsweise kann auf Citizen-Science-Projekte und das damit verbundene kollektive Wissen zurückgegriffen werden (zum Beispiel Mapping von Überschwemmungen).

Hitzevorsorge planen und auf Hitzestress reagieren

Dichte Bebauung und Versiegelung von Flächen fördern die Hitzebildung in Städten. Gleichzeitig ist mit einer Zunahme von Hitzeperioden zu rechnen. Digitale Technologien können dafür eingesetzt werden, strategische Planungen datenbasiert zu stützen oder aber auch die (Krisen-)Kommunikation über Hitzeereignisse zu erleichtern.

Effektive Hitzeaktionspläne: Datenanalysen und Simulationen ermöglichen es, Hitzeaktionspläne aufzustellen. Daraus lassen sich effektive Schutzstrategien und Maßnahmen ableiten (z. B. Trinkwasserstellen, Flächenentsiegelung, Begrünung, Schattenflächen).

Krisenkommunikation bei Hitzeereignissen: Um frühzeitige Warnungen auszusprechen, sind Wetterprognosen sowie eine automatisierte, zielgruppenspezifische Krisenkommunikation notwendig. Digitale Kommunikationsplattformen (Warn-Apps) erleichtern die nutzerfreundliche Information.

Anwendungsbeispiel: Technologie und digitale Anwendungen für blau-grüne Infrastrukturen

„Leipziger BlauGrün“

Als Modellkommune der Initiative „Ressourceneffiziente Stadtquartiere – RES:Z“ des BMBF zeigt die Stadt Leipzig im Rahmen des Forschungsprojekts „Leipziger BlauGrün – Blau-grüne Quartiersentwicklung in Leipzig“ (2019–2022), wie ein ressourceneffizientes Stadtquartier gestaltet werden kann. Das Projekt zielt vor allem auf eine signifikante Entlastung des zentralen Abwassersystems, eine Verbesserung der Energieeffizienz und des Mikroklimas sowie ein resilientes Starkregenmanagement ab. Am Beispiel des Neubau-Großprojekts „Eutritzscher Freiladbahnhof“ wird gezeigt, wie ein abflussloses und ressourceneffizientes Stadtquartier mit blau-grüner Infrastruktur gestaltet werden kann. Gleichzeitig soll eine hohe Lebens- und Aufenthaltsqualität mit einer attraktiven Freiraumgestaltung ermöglicht werden.

Eine wichtige Grundlage für die Umsetzung ist die Entwicklung neuer, übertragbarer blau-grüner Technologien und Planungstools sowie eine sensorbasierte, robuste Prozesssteuerung (zum Beispiel dezentrale Abwassersysteme durch automatisierte Gründächer). Durch den Einsatz von Sensorik sollen verschiedene Elemente des Quartiers auf der Basis von Umwelt- und Wetterdaten gesteuert werden. Im Zuge dessen werden multifunktionale Infrastrukturen der Wasser- und Energiewirtschaft sowie angepasste Kommunikations- und Entscheidungsstrukturen erprobt.

Das Projekt wird federführend durch das Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH (UFZ) koordiniert. Auf Basis eines Co-Design-Prozesses entwickeln die kommunalen, wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Projektbeteiligten gemeinsam ein Konzept für klimaangepasstes Wasser- und Energiemanagement am Beispiel des Quartiers Leipzig 416.

Kontakt

Ansprechperson: Prof. Dr. Roland A. Müller,
Projektleitung „Leipziger BlauGrün“, Leitung des Departments Umwelt- und Biotechnologisches Zentrum am Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ)
E-Mail: roland.mueller@ufz.de

Weitere Informationen

<https://www.ufz.de/leipzigerblaugruen/>

Gute Beispiele

- **Schlaues Wasser Darmstadt:** In Rahmen des Smart-City-Projekts „Schlaues Wasser Darmstadt“ wird der Frage nachgegangen, wie sich Darmstadt langfristig mit sauberem Trinkwasser versorgen und zum Modell einer wassersensiblen Stadt werden kann.
Weitere Informationen: <https://smartwater.darmstadt.de/>
- **SENSARE:** Im Forschungsprojekt „SENSARE – Sensorbasierte Stadtgebietsanalyse für Starkregengefährdungen zur Warnung und Resilienzverbesserung der Verkehrsinfrastruktur“ wird ein Echtzeitwarnsystem entwickelt. In Zusammenarbeit mit den großen städtischen Infrastrukturunternehmen wird die Handlungsfähigkeit aller Verkehrsteilnehmenden bei Überflutungsereignissen durch Starkregen im urbanen Raum verbessert.
Weitere Informationen: <https://sensare.infralab.berlin>
- **Prototyp digitaler Planungstisch für Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung:** Zusammen mit den Berliner Wasserbetrieben hat die Berliner Regenwasseragentur den Prototyp eines digitalen Planungstisches für die ressortübergreifende und partizipative Planung von dezentralem Regenwassermanagement entwickelt. Der Planungstisch hilft dabei, Maßnahmen und Szenarien vorstellbar zu machen. Weitere Informationen: <https://regenwasseragentur.berlin/digitaler-planungstisch/>
- **AMAREX – Anpassung des Managements von Regenwasser an Extremereignisse:** AMAREX untersucht Anpassungsmöglichkeiten des Regenwassermanagements durch blau-grüne Infrastrukturen und Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung an die zunehmenden Wettextreme. Es werden Bewertungsmethoden für die Umsetzungspotenziale und Wirkungen der Maßnahmen entwickelt und in ein webbasiertes Planungstool für die kommunale Praxis überführt. Weitere Informationen: <https://www.bmbf-wax.de/verbundvorhaben/amarex/>
- **Wengen- und Dichterviertel – Smartes Grün:** Aufgrund der hohen Dichte der künftigen Blockrandbebauung und der Nähe zur anstehenden Landesgartenschau Ulm 2030 werden im Wengen- und Dichterviertel in Ulm innovative Ansätze im Bereich Begrünung und Bewässerung/Kühlung erprobt. In Neubau und Bestand wird zum Beispiel eine digitale Bewässerung getestet. Weitere Informationen: <https://smartcitystrategie.ulm.de/massnahmen/>
- **App „Cooles Wien“:** Die App „Cooles Wien“ lokalisiert kühle Orte in der Stadt Wien. Eine digitale Karte zeigt den Nutzerinnen und Nutzern zudem Brunnen oder Schattenplätze in der Nähe an. Zusätzlich enthält die App aktuelle Wetterdaten und -vorhersagen.
Weitere Informationen: <https://www.wien.gv.at/umwelt/coolswien/>

Weiterführende Literatur

- **Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, 2020:** Umweltpolitische Digitalagenda. Zugriff: https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Digitalisierung/digitalagenda_bf.pdf [abgerufen am 07.03.2023]
- **Deutscher Städte- und Gemeindebund, Deutsches Institut für Urbanistik, 2022:** Hitze, Trockenheit und Starkregen. Klimaresilienz in der Stadt der Zukunft. Zugriff: <https://repository.difu.de/jspui/handle/difu/583391> [abgerufen am 07.03.2023]
- **Schramm, Engelbert et al., 2023:** Aufbau und Erhalt blau-grün-grauer Infrastrukturen für die kommunale Klimaanpassung: Fallbeispiele, Konstellationen und Kooperationsmanagement. Zugriff: https://repository.difu.de/jspui/bitstream/difu/583721/1/N4-Paper%2039_Konstellation%20Kooperationsmodelle.pdf [abgerufen am 07.03.2023]
- **Umweltbundesamt, 2022:** Klimagerechtes Management kompakter Siedlungs- und Infrastrukturflächen. Handlungshinweise für Kommunen. Zugriff: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/uba_klimagerechtes_management_kompakter_siedlungs-_und_infrastrukturflaechen.pdf [abgerufen am 07.03.2023]