

STUDIEN



F&E FAHRPLÄNE

# Klimawandelanpassung Infrastruktur

Energie, Wasser, Verkehr & Kommunikationsnetze

AIT – Austrian Institute of Technology GmbH  
Umweltbundesamt GmbH

Wien, März 2024

**Auftraggeber**

Klima- und Energiefonds der österreichischen Bundesregierung

Leopold-Ungar-Platz 2 / Stiege 1 / Top 142, 1190 Wien

[www.klimafonds.gv.at](http://www.klimafonds.gv.at)

# Inhaltsverzeichnis

---

<b>1.0 Einleitung</b>	<b>05</b>
1.1 Definition und Abgrenzung der Infrastrukturbereiche	07
1.1.1 Energie	07
1.1.2 Wasser	08
1.1.3 Verkehr	09
1.1.4 Kommunikationsnetze	10
<b>2.0 Herausforderungen und strategischer Handlungsrahmen</b>	<b>11</b>
<b>3.0 Infrastrukturbereich Wasser</b>	<b>14</b>
3.1 F&E Felder des Infrastruktur Teilbereichs Wasserversorgung	16
3.1.1 Natürliche und technische Wasseraufbereitung	16
3.1.2 Sensorik & Monitoring	16
3.1.3 Dezentrale Versorgung und Planung	17
3.1.4 Simulationen und Prognosemodelle	17
3.2 F&E Felder des Infrastruktur Teilbereichs Abwasserentsorgung (Misch- und Schmutzwasser) & Regenwassernutzung	17
3.2.1 Natürliche und technische Abwasserreinigung und Aufbereitung	17
3.2.2 Sensorik & Monitoring	18
3.2.3 Entsiegelung, Infiltration & Begrünung	18
3.2.4 Prognosemodelle & Frühwarnsysteme	19
3.3 F&E Felder des Infrastruktur Teilbereichs pluviales und fluviales Hochwasser	19
3.3.1 Hochwasserschutz und Hangwasserschutz Infrastruktur	19
3.3.2 Sensorik & Monitoring	19
3.3.3 Prognosemodelle & Frühwarnsysteme	20
3.3.4 Nature based solutions	20
<b>4.0 Infrastrukturbereich Energie</b>	<b>21</b>
4.1 F&E Felder des Infrastruktur Teilbereichs Erneuerbare	23
4.1.1 Speicher und Sektorkopplung	23
4.1.2 Kältebedarf erneuerbar zur Verfügung stellen	24
4.1.3 Klimaprojektionen & Extremwetter-Vorhersagen	24
4.1.4 Schutz von Erzeugungsanlagen vor Extremwetterereignissen	25

4.2	F&E Felder des Infrastruktur Teilbereichs Energienetze	25
4.2.1	Gestaltung flexibler Infrastruktur	25
4.2.2	Systemanalyse: Abstimmen der verschiedenen betroffenen Sektoren	26
4.2.3	Monitoring und frühe Fehlererkennung	26
4.2.4	Verstärkte Automatisierung	27
4.2.5	Simulationstools für integrale Planung und fundierte Entscheidungen	27
<b>5.0</b>	<b>Infrastrukturbereich Verkehr</b>	<b>28</b>
5.1	Infrastrukturbereich Luftfahrt	29
5.2	F&E Felder mit Relevanz für den gesamten Infrastrukturbereich Verkehr	30
5.2.1	Vorhersagen & Modellierungen	30
5.2.2	Wartung	30
5.2.3	Grüne Infrastruktur	30
5.2.4	Management	31
5.3	F&E Felder des Infrastruktur Teilbereichs Straßenverkehr	31
5.3.1	Materialien	31
5.3.2	Konstruktion & Design	31
5.3.3	Wartung	32
5.4	F&E Felder des Infrastruktur Teilbereichs Schienenverkehr	32
5.4.1	Schutzbauten	32
5.4.2	Materialien	32
5.5	F&E Felder des Infrastruktur Teilbereichs Binnenschifffahrt	33
5.5.1	Niedrigwasser	33
5.5.2	Systemische Betrachtung / Synchromodalität	33
<b>6.0</b>	<b>Infrastrukturbereich Kommunikationsnetze</b>	<b>34</b>
6.1	F&E Felder des Infrastruktur Teilbereichs Planung	36
6.1.1	Gefährdungskatalog	36
6.1.2	Standards, Normen, Guidelines	37
6.1.3	Planung und Design	37
6.2	F&E-Felder des Infrastruktur Teilbereichs Bau und Konstruktion	37
6.2.1	Demand und Effizienz	37
6.2.2	Robustheit	38
6.3	F&E Felder des Infrastruktur Teilbereichs Wartung und Betrieb	38
6.3.1	Resilienz und Redundanz	39
6.3.2	Lifecycle	39
6.3.3	Systemkomplexität, Abhängigkeiten	39
6.4	F&E Felder des Infrastruktur Teilbereichs Weiterentwicklung	39
6.4.1	Gesamtversorgung	40
6.4.2	Capacity Building	40
6.4.3	Bewusstseinsbildung	40

<b>7.0 Herausforderungen und FTI-Bedarflagen</b>	
<b>in der Anpassung städtischer Infrastrukturen</b>	<b>41</b>
7.1 Klimawandelanpassung der städtischen Infrastruktur im Bereich Energie	41
7.2 Klimawandelanpassung der städtischen Infrastruktur im Bereich Kommunikationsnetze	43
7.3 Klimawandelanpassung der städtischen Infrastruktur im Bereich Verkehr	44
7.4 Klimawandelanpassung der städtischen Infrastruktur im Bereich Wasser	46
<b>8.0 Sektorübergreifende Betrachtung und Querschnittsthemen</b>	<b>48</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>50</b>

## 1.0 Einleitung

---

Der Klimawandel ist einer der größten Herausforderungen des 21. Jahrhunderts und die Auswirkungen der Klimakrise z. B. in Form von Überflutungen und Hitzewellen sind bereits in vielen Bereichen spürbar. Maßnahmen zur Klimawandelanpassung sollen einerseits ermöglichen, mit bereits spürbaren Auswirkungen des Klimawandels möglichst gut umzugehen und andererseits vorausschauend zukünftige Schäden soweit als möglich zu vermeiden und sich ergebende Chancen zu nutzen.

### DEFINITIONEN:

Klimawandelanpassung und Klimaschutz

#### Klimaschutz

Ein menschlicher Eingriff zur Verringerung der Emissionen oder zur Verbesserung der Senken von Treibhausgasen.

#### Klimawandelanpassung

In menschlichen Systemen: der Prozess der Anpassung an das tatsächliche oder erwartete Klima und seine Auswirkungen, um Schaden zu begrenzen oder vorteilhafte Möglichkeiten zu nutzen.

In natürlichen Systemen: der Prozess der Anpassung an das tatsächliche Klima und seine Auswirkungen; menschliche Eingriffe können die Anpassung an das erwartete Klima und seine Auswirkungen erleichtern.

Quelle: IPCC, 6. Sachstandsbericht, Working Group 2, Glossary:  
[https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGII\\_Annex-II.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_Annex-II.pdf)

Um den Bau, die Instandhaltung und den Betrieb der unterschiedlichen Infrastrukturen auf bereits heute bestehende und zukünftige Anforderungen durch die Folgen des Klimawandels vorzubereiten, müssen auch F&E Anstrengungen intensiviert werden, um:

- eine Anpassung bestehender Infrastrukturen an die Herausforderungen des Klimawandels zu ermöglichen,
- die Grundlagen für eine resiliente Planung und Errichtung von neuer Infrastruktur zu schaffen,
- systemübergreifend die Resilienz der Infrastrukturen durch Forschung, Technologie und innovativer Lösungen zu stärken, und
- die strategische Intelligenz für und zwischen den Infrastruktursystemen zu erhöhen, um über die einzelnen Infrastrukturbereiche hinaus bessere und schnellere Entscheidungsgrundlagen vorzubereiten.

Vor dem Hintergrund dieser strategischen F&E Zielsetzungen identifizieren die hier vorliegenden F&E Fahrpläne prioritäre Handlungsfelder der Forschungs- und Technologieentwicklung für die Infrastrukturbereiche Wasser, Energie, Verkehr und Kommunikationsnetze, die bedarfsorientiert mit einer vorausschauenden Perspektive zu einer Erhöhung der Resilienz der Infrastrukturen in Österreich beitragen. Dieser F&E Fahrplan kann als Basis für die Konzeption eines neuen F&E-Schwerpunkts im Klima- und Energiefonds sowie strategische Schwerpunktsetzungen von Ausschreibungen in geeigneten nationalen Programmen herangezogen werden.

Die Infrastrukturbereiche des F&E Fahrplans fokussieren auf Handlungsfelder, in denen F&E Aktivitäten der angewandten Forschung und Entwicklung und ggf. Demonstrationsvorhaben eine zeitnahe Implementierung von technologischen Lösungen ermöglichen. Denn Forschung, Technologieentwicklung und Innovationen sind dringend nötig, um die Infrastrukturbereiche auf bereits heute bestehende und zukünftig verstärkte Anforderungen durch die Klimawandelfolgen vorzubereiten. Diese innovativen, technologischen Lösungen

„Made in Austria“ sollen dazu beitragen, die österreichische Infrastruktur vorausschauend auf die zukünftigen Bedingungen anzupassen und gleichzeitig sich eröffnende Exportchancen zu ergreifen.

Die Erstellung des F&E Fahrplans erfolgte für den Klima- und Energiefonds in einem von Expert:innen und Bedarfsträger:innen gestützten Prozess (Abbildung 1), der es ermöglichte, Trends und Herausforderungen, Bedarfslagen, Lösungspotenziale und wirtschaftliche Verwertungsmöglichkeiten zu erörtern.



Abbildung 1  
Methodische Prozessschritte zur Entwicklung des F&E Fahrplans

In einem ersten Schritt wurden die nationalen sowie internationalen Trends und Herausforderungen der Klimawandelanpassung für die Infrastrukturbereiche, die nationalen Bedarfsträger:innen sowie deren F&E Bedarfslagen mittels Desktop- und Datenbank-Recherche ermittelt. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse bildeten die Grundlage für 97 Einzel- und Gruppeninterviews mit Fachexpert:innen aus den jeweiligen Infrastrukturbereichen. Ergebnisse der Desktop und Datenbank Recherche sowie der Interviews flossen in die Potenzialworkshops mit insgesamt 76 Teilnehmer:innen ein, welche eine erste Abschätzung der wichtigsten F&E

Felder ermöglichten. Im nächsten Schritt wurde das breite Spektrum an F&E Feldern von AIT und UBA Expert:innen hinsichtlich deren Relevanz, technologisches Lösungspotenzial, Umsetzungsperspektive und Exportpotenzial systematisiert und bewertet, was die Grundlage zur weiteren Spezifizierung in darauffolgenden Priorisierungswshops und einem themenübergreifenden Städteworkshop bildete. Die Ergebnisse aller methodischen Prozessschritte flossen in die Entwicklung des vorliegenden F&E Fahrplans ein.

## 1.1 Definition und Abgrenzung der Infrastrukturbereiche

### 1.1.1 Energie

Der Infrastrukturbereich Energie umfasst die Infrastruktur im öffentlichen Raum für Erzeugung, Verteilung bis zum Übergabepunkt zum/r Verbraucher:in betreffend Elektrizität, Wärme und Kälte, Gas und Wasserstoff (Abbildung 2). Fossile Energieträger auf Basis von Rohöl (Benzin, Diesel,

Heizöl) werden nicht weiter betrachtet. Seitens des Bedarfsträgers wird diese Sparte als Auslaufmodell betrachtet und nicht als langfristig zukunftsfördernd angesehen.

Elektrizität	Wärme und Kälte	Wasserstoff	Gas
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Elektrizitätserzeugung durch Kraftwerke (z. B. Wasserkraft, kalorisch, Bioenergie, Erneuerbare)</li> <li>– Verteilungsnetz (z. B. Nieder-, Mittel-, Hochspannungsnetz, Umspannwerke)</li> <li>– Batteriespeicherung und Saisonale Pufferung</li> <li>– Kraft-Wärme-Kopplung</li> <li>– Infrastruktur für Betrieb, Wartung und Kontrolle (z. B. Netzleitstellen)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Wärme/Kälteerzeugung (z. B. Fernwärme/-kälte, Geothermie, Solar-Systeme)</li> <li>– Verteilungsnetze (z. B. Wärme-/Kältenetz)</li> <li>– Wärmespeicher / Eisspeicher</li> <li>– Wärmetauscher, Kraft-Wärme-Kopplung</li> <li>– Infrastruktur für Betrieb, Wartung und Kontrolle (z. B. Steuer- und Regelungstechnik, Facility Management)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Wasserstoffherzeugung (z. B. aus Erneuerbaren und Fossilen)</li> <li>– Verteilungsnetz (z. B. Festkörper, Tankwägen, Pipelines)</li> <li>– Wasserstoff als Speichertechnologie</li> <li>– Wasserstofftankstellen für Straße &amp; Schiene</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Erzeugung: Erdgas und biogenes Gas</li> <li>– Verteilungsnetz (z. B. Gasnetz)</li> <li>– Gasspeicher (z. B. Gasometer)</li> <li>– Verdichterstationen, Einspeisestellen, Druckregler</li> <li>– Infrastruktur für Betrieb, Wartung und Kontrolle (z. B. Infrastruktur für Betriebsführung)</li> </ul>

Abbildung 2  
Systemabgrenzung Energie

### 1.1.2 Wasser

Der Infrastrukturbereich Wasser umfasst die Wasserinfrastruktur im öffentlichen Raum, von der „Gewinnung“ über die Verteilung bis zum Abgabepunkt zum/r Verbraucher:in (Trinkwasser, Nutzwasser, Niederschlags-

wasser) oder weg von der Erzeugung bzw. vom Anfall (Abwasser, Niederschlagswasser) sowie Schutzeinrichtungen gegenüber hochwasserspezifischen Naturgefahren (Abbildung 3).

Trink und Nutzwasser	Niederschlagswasser	Abwasser	Hochwasser
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Orte der Wassergewinnung (z. B. Einzugsgebiet, Oberflächenwasser, Grundwasser, Quellen) und damit zusammenhängende Infrastruktur (z. B. Brunnen- und Quellbauwerke, Wasseraufbereitungsanlagen)</li> <li>– Netz zur Trink &amp; Nutzwasser-erverteilung (z. B. Wasserleitungen, Aquädukte)</li> <li>– Trink- &amp; Nutzwasserspeicherung (z. B. Speicherbauwerke, Hoch- und Tiefbehälter) sowie Umwandlung (z. B. Pumpen, Hydranten)</li> <li>– Infrastruktur zum Management und Kontrolle von Trink &amp; Nutzwasser (z. B. Wasserzähler)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Orte zum Auffangen und Ableiten von Niederschlagswasser (z. B. Kanal, Drainagen)</li> <li>– Niederschlagswasser-Speicherung (z. B. Rückhaltebecken, Zisterne) und Umwandlung (z. B. Versickerungsbecken, Blaugrüne Infrastruktur)</li> <li>– Infrastruktur zum Management und Kontrolle von Niederschlagswasser (z. B. Facilitymanagement (Betrieb, Privat) inkl. Wartung)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Infrastruktur im Zusammenhang mit der Entstehung von Abwasser (Kommunal oder Industriell/Betrieblich)</li> <li>– Netz zur Abwasserverteilung (z. B. Kanalisationsnetz, Schächte)</li> <li>– Abwasserspeicherung (z. B. Abwasser-Rückhaltebecken) und Umwandlung (z. B. Kläranlage)</li> <li>– Infrastruktur zum Management und Kontrolle von Abwasser (z. B. Wartungsanlagen für Kanalisationsbetrieb)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Hochwasserschutzbauten und Dämme</li> <li>– Hochwasser-Rückhaltebecken und Retentionsräume</li> <li>– Wehrbauwerke, Sedimenttransport</li> <li>– Infrastruktur zum Management von Hochwasser (z. B. Gebietsbauleitungen, hydrografischer Dienst, Durchflussmanagement bei Kraftwerken &amp; Schiffsmanagement)</li> </ul>

Abbildung 3  
Systemabgrenzung Wasser

### 1.1.3 Verkehr

Der Infrastrukturbereich Verkehr umfasst die Teilbereiche Straßenverkehr und damit in Verbindung stehende Infrastrukturen (z. B. alle Arten von öffentlichen Straßen, Parkplätze, Schutzbauten etc.), den Schienenverkehr und damit in Verbindung stehende Infrastrukturen (z. B. Schienennetz, Bahnhöfe, Verschubanlagen, etc.),

die Luftfahrt und damit in Verbindung stehende Infrastrukturen (z. B. Flughäfen, Hangars, Betankungsanlagen, etc.) sowie die Binnenschifffahrt und damit in Verbindung stehende Infrastrukturen (z. B. Wasserstraßen, Häfen, Schleusen, etc.).

Straßenverkehr	Schienenverkehr	Luftfahrt	Binnenschifffahrt
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Straßennetz (= alle Arten von öffentlichen Straßen sowie urbane Straßeninfrastruktur inklusive Gehsteige und Radwege)</li> <li>– Abstell-, Park- und Rastplätze sowie Mobilitätsstationen (z. B. Busbahnhof), Terminals und Logistikhubs</li> <li>– Wartungsinfrastruktur (z. B. Baustelleneinrichtungen), Schutzbauten (z. B. Lärmschutzwand) und Betankungsinfrastruktur (Verbrennung, Elektro, Wasserstoff)</li> <li>– Verkehrssteuerungsanlagen (z. B. Ampeln, Verkehrsleomatik)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Schienennetz: Netz der ÖBB, Regionalbahnen (inkl. Schmalspur und Zahnradbahnen), Privatbahnen, Straßenbahnen und U-Bahnen</li> <li>– Mobilitätsstationen (z. B. Bahnhof), Terminals und Logistikhubs</li> <li>– Wartungsinfrastruktur (z. B. Verschubanlagen) und stationäre Betankungsinfrastruktur (Diesel, Wasserstoff)</li> <li>– Verkehrssteuerungsanlagen (z. B. Signalanlagen/Zugsicherung)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Infrastruktur für Landung und Abflug (z. B. Flughäfen allgemein sowie Landeplätze auf Gebäuden)</li> <li>– Abstellflächen und Hangars</li> <li>– Betriebseinrichtungen (z. B. Tower, Flughafengebäude) und Abfertigungsinfrastruktur (z. B. Flugvorfelder)</li> <li>– Betankungsinfrastruktur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Bundeswasserstraßen (z. B. Donau, March, Enns Traun)</li> <li>– Betriebsinfrastruktur für Schifffahrtsrinnen (z. B. Schleusen) und Seeschifffahrt (z. B. Molen)</li> <li>– Mobilitätsstationen (z. B. Häfen und Anlandeplätze)</li> <li>– Verkehrssteuerungsanlagen (z. B. Bojen)</li> </ul>

Abbildung 4  
Systemabgrenzung Verkehr

### 1.1.4 Kommunikationsnetze

Der Infrastrukturbereich Kommunikationsnetze umfasst die Themenbereiche Festnetz und Mobiltelefonie, Datenübertragung sowie Rundfunk- und Fernseh-Netzwerke im öffentlichen Raum bis zur Hausübergabe unabhängig

von der Form des Betreibers (privat oder staatlich) und der Übertragungstechnologie (drahtlos oder drahtgebunden). Darin enthalten sind auch Notfall- sowie Satellitenkommunikation.

Mobiltelefonie	Festnetztelefonie	Datenübertragung	Rundfunk & Fernsehen
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Mobil-Netz (z. B. Antennen, Knotenpunkte)</li> <li>– Mailboxen und Cloud Server</li> <li>– Gateways</li> <li>– Monitoring, SOC/NOC des Telekombetreibers</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Festnetz (z. B. Router, SIP Server/Trunc)</li> <li>– Mailboxen</li> <li>– Gateways</li> <li>– Monitoring, SOC/NOC des Telekombetreibers</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Drahtgebundene Übertragungsinfrastruktur (z. B. Kupferleitung, Glasfaserleitung, Festnetz, Stromleitung)</li> <li>– Drahtlose Übertragungsinfrastruktur (z. B. WLAN, MAN, WAN, Mobilkomm) und Verteilung (z. B. Router, Switches)</li> <li>– Interne / externe Cloud Server für Ausfallsicherung</li> <li>– Internet Exchange für Zusammenschaltung von Netzen unterschiedlicher Betreiber</li> <li>– Monitoring, SOC/NOC des Netzbetreibers</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Sendestationen und Clients (z. B. Radio, Fernseher, Digitalreceiver, Satellitenempfänger)</li> <li>– Antennen, Encoder/Decoder</li> <li>– Pufferung während der Kommunikation, Mediathek</li> <li>– Sendebetrieb, Programmablauf, Wartungsteams</li> </ul>

Abbildung 5  
Systemabgrenzung Kommunikationsnetze

## 2.0 Herausforderungen und strategischer Handlungsrahmen

---

Der Klimawandel ist einer der größten Herausforderungen des 21. Jahrhunderts. Der zweite Teil des 6. Sachstandsberichts zu Auswirkungen und Anpassung an den Klimawandel (WG2) des UN-Weltklimarates (IPCC) bestätigt, dass die Auswirkungen der Klimakrise bereits in vielen Bereichen spürbar sind und Europa und die Welt massiv von Überflutungen bis zu Hitzewellen betroffen wird. Im Vergleich zur Zeitperiode 1961 bis 1990 hat sich die jährliche Durchschnittstemperatur in Österreich um bereits 2°C erhöht [4]. Zu beobachten ist eine Veränderung der Niederschlagsmuster, so hat sich die Zahl der Tage mit Starkniederschlägen in den letzten Jahrzehnten deutlich erhöht. Als Folge davon verursachten Extremwetterereignisse beträchtliche Schäden an der Infrastruktur [5]. Eine weitere Zunahme der Häufigkeit bzw. der Intensität von Starkniederschlägen, Gewittern, Stürmen, Hitzetagen, Trockenepisoden, Waldbränden oder Hagel ist zu erwarten [6] [7] [8] [9].

Das Risiko für erhebliche Schäden bis hin zur Zerstörung von Wasser- und Energieinfrastrukturen und den damit verbundenen wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Konsequenzen steigt. Sowohl in der Wasser- als auch in der Energieinfrastruktur gilt es, rechtzeitig geeignete Anpassungsmaßnahmen zu entwickeln und in Umsetzung zu bringen. Nur so können die Folgen des Klimawandels verringert oder bestenfalls vermieden werden. Gelingt dies nicht, ist mit beträchtlichen Schäden und Kosten zu rechnen [10]. Wetter- und klimawandelbedingte Schäden verursachen in Österreich bereits heute Kosten von durchschnittlich zumindest 2 Mrd. Euro pro Jahr. Bis 2030 werden durchschnittlich jährliche Schäden in der Höhe von mindestens 3 Mrd. bis 6 Mrd. Euro erwartet. Bis Mitte des Jahrhunderts steigen die Werte auf zumindest rund 6 Mrd. bis 12 Mrd. Euro jährlich an [11].

Laut dem Projekt COIN führt der Klimawandel bis 2050 bei einem moderaten Klimawandelszenario und einem mittleren sozioökonomischen Szenario auf durchschnittliche Kosten von 170 Millionen Euro durch Auswirkungen auf den österreichischen Wasserversorgungs- und Abwasserentsorgungssektor [13]. Unter den gleichen Voraussetzungen (moderates Klimawandelszenario, mittleres sozioökonomisches Szenario) wurden Netto-Einsparungen beim Energieverbrauch für Heizen und Kühlen von durchschnittlich rund 235 Millionen Euro pro Jahr für die Periode 2036 bis 2065 errechnet. Im Bereich der Stromproduktion ist jedoch, aufgrund von Spitzelasten durch steigenden Kühlbedarf, mit zusätzlichen Kosten zu rechnen. Um diese Spitzenlasten abzudecken, müssten rund 230 Millionen Euro pro Jahr mehr für neue Anlagen investiert werden. Hinzu kommt das erhöhte Risiko eines Blackouts. Solche Situationen könnten künftig Kosten eines ganzen Jahresstromverbrauchs erreichen [14].

Die Folgen des Klimawandels auf die **Wasserinfrastruktur** sind vielfältig. Neben der Reduktion der Wasserressourcen durch häufiger auftretende Trockenperioden und steigenden Trink- bzw. Brauchwasserbedarf in heißen Sommern, kommt es auch zu einer Veränderung der Gewässertemperaturen und der Gewässerqualität. Der Jahresabfluss von Flüssen kann sich regional und saisonal verändern und Probleme durch Niedrigwasser für die Wasserkraft oder die Einleitung von Wasser aus Kläranlagen mit sich bringen. Im Gegensatz dazu besteht das Risiko von Infrastrukturschäden durch fluviale und pluviale Hoch- und Hangwasser.

Die klimatischen Veränderungen bedingen auch direkte und indirekte Auswirkungen auf die **Energieinfrastruktur**. Beispielsweise können das Auftauen von Permafrostböden, Dauerregen oder Starkniederschlagsereignisse zu einer Erhöhung des Hangrutschungsrisikos oder Murengängen führen was zu Schäden oder Ausfällen der Energieinfrastruktur führen kann. Bei Hitze besteht die Gefahr der Überhitzung von Stromleitungen und es kommt generell zu erhöhten Materialbeanspruchungen. Auch Sturm, Hagel und Blitz können direkt auf die Energieinfrastruktur einwirken, sie schädigen und zu Versorgungsunterbrechungen führen. Auf der Nachfrageseite steigen künftig der Kühl- und damit der Energiebedarf sowie Lastspitzen im Sommer. Die Wasserkraft wird sich auf saisonal sich verändernde Wasserstände in den Fließgewässern einstellen müssen. Klimafolgen auf die Windenergie, die Photovoltaik oder die Bioenergie werden regional und periodisch in unterschiedlichem Ausmaß ausfallen. Die Volatilität wird jedenfalls steigen [3] und damit auch die Verwundbarkeit des österreichischen Stromnetzes.

Der Klimawandel wirkt sich jetzt schon auf die **Verkehrsinfrastruktur** in Form von niedrigeren Wasserständen für die Schifffahrt oder Materialbelastungen im Schienen- und Straßenbereich durch Hitze aus und dieser Einfluss wird in den nächsten Jahrzehnten noch stärker zu beobachten sein. Die Verkehrsinfrastruktur in den jeweiligen Teilbereichen (Straße, Schiene, Luft- und Schifffahrt) ist in direkter Form vor allem durch höhere Temperaturen und Extremwetterphänomene von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen. Indirekte Folgen auf die Verkehrsinfrastruktur haben Veränderungen im Mobilitätsverhalten und -bedarf, wie z. B. dichtere Raumstrukturen.

Die Veränderungen des Klimas hat ebenso weitreichende Folgen für die **Kommunikationsnetze** in Österreich. Neben einer stärkeren physischen Gefährdung durch Umwelteinflüsse wie

- Hydrologische Naturgefahren:  
z. B. Hochwasser, Muren, Starkregen
- Gravitative Naturgefahren: z. B. Rutschung, Steinschlag, Felssturz, Lawine
- Klimabezogene Naturgefahren; z. B. Hitze, Trockenheit, Waldbrand, Sturm, Hagel, Blitz, Schnee- und Eislaster, Spätfrost, Schädlingskalamitäten und invasive Arten, Erosion

steigt auch der Aufwand für den Betrieb durch einen erhöhten Kühlbedarf und einen rascheren Verschleiß von baulichen Einrichtungen und einzelnen elektronischen Komponenten aufgrund der sich ändernden Rahmenbedingungen (z. B. Temperatur, Feuchtigkeit, Widerstandsfähigkeit) für den Betrieb.

Zugleich bilden Kommunikationsnetze durch die Übertragung von Daten aus unterschiedlichsten Quellen ein wesentliches Element sowohl zum eigenen Schutz als auch zum Schutz von anderen Infrastruktureinrichtungen. Die laufende Beobachtung potenzieller Bedrohungen erlaubt sowohl eine kurzfristige Reaktion auf einzelne Ereignisse wie Starkregenfälle als auch eine mittel- und langfristige Reaktion beispielsweise durch Modellbildung und Simulation. Die Daten bilden zudem die Basis für eine verbesserte Planung, eine den veränderten Anforderungen entsprechende Errichtung und einen optimierten Betrieb.

Im Ereignis- oder Katastrophenfall sind Kommunikationsnetze von zentraler Bedeutung für die Bewältigung, beispielsweise beim Hochfahren von Kraftwerken der Suche nach Problemstellen oder der Kommunikation mit/von Einsatzkräften. Die (Tele-) Kommunikation ist neben dem Stromnetz einer der wichtigsten kritischen Infrastrukturbereiche, da hier signifikant hohe Abhängigkeiten zu den anderen Infrastrukturbereichen bestehen. Beide Infrastrukturformen bilden die Basisvoraussetzung für deren ordnungsgemäßen Betrieb.

Sowohl auf **internationaler und europäischer Ebene** steht das Thema Klimawandelanpassung seit einigen Jahren verstärkt im Fokus der Aufmerksamkeit. Die Klimawandelanpassung ist neben einer ambitionierten Klimaschutzpolitik die zweite zentrale Säule im Kampf gegen die Auswirkungen des Klimawandels.

Der „Green Deal“ als strategischer politischer Handlungsrahmen der Europäischen Kommission vereint Klima- und Umweltschutz sowie den Erhalt der Biodiversität mit sozialer Gerechtigkeit und Wirtschaftswachstum. Er soll den Übergang der EU zu einer modernen, ressourceneffizienten und wettbewerbsfähigen Wirtschaft sicherstellen. Im Rahmen des Green Deal hat die EU eine neue, ehrgeizigere Anpassungsstrategie (KOM (2021) 82 final) vorgelegt, die als langfristige Vision bis 2050 das Ziel verfolgt, eine klimaresiliente und möglichst vollständig an die nicht mehr vermeidbaren Folgen des Klimawandels angepasste Gesellschaft zu ermöglichen. Im Vordergrund stehen die Entwicklung von Lösungen sowie die Planung und Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen. Die neue

Anpassungsstrategie zielt darauf ab, die wirtschafts- und gesellschaftspolitischen Maßnahmen in Synergie mit anderen Strategien des Green Deal zu intensivieren. Dies soll erreicht werden, indem die Anpassung intelligenter, rascher und systemischer vorangetrieben und das internationale Handeln intensiviert werden soll. Dazu soll das Wissen über Klimawandelauswirkungen und Anpassungslösungen vertieft und verbessert, die Planung und Bewertung von Klimarisiken intensiviert, Anpassungsmaßnahmen beschleunigt und somit zur Stärkung der Klima-Resilienz weltweit beigetragen werden.

Auch in Österreich ist das Thema Klimawandelanpassung seit einigen Jahren sehr wichtig. Die Österreichische Strategie zur Anpassung an den Klimawandel liegt seit 2012 vor und wurde 2017 aktualisiert. Sie bildet einen umfassenden Rahmen, um sukzessive die notwendigen Schritte in der Anpassung zu setzen. Die Vermeidung von Fehlanspassung ist einer der wesentlichen Ziele der Anpassungsstrategie und wird zukünftig an Bedeutung gewinnen. Entscheidend ist gute Anpassung zu forcieren, die wirksam, nachhaltig, effektiv und sozial ausgewogen ist und keine negativen Auswirkungen auf andere Bereiche nach sich zieht. Die Strategie gliedert sich in zwei Teile: den „Kontext“ mit strategischen Überlegungen und grundsätzlichen Informationen sowie dem „Aktionsplan“, der für 14 Aktivitätsfelder detaillierte Handlungsempfehlungen vorsieht. Seither läuft die Implementierung der Maßnahmen. Der zweite Fortschrittsbericht aus 2021 [12]<sup>1</sup> zeigt auf, dass erkennbare Fortschritte in der Umsetzung erzielt wurden, aber dennoch erheblicher Handlungsbedarf besteht.



<sup>1</sup> [https://www.bmk.gv.at/themen/klima\\_umwelt/klimaschutz/anpassungsstrategie/publikationen/oe\\_strategie.html](https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/klimaschutz/anpassungsstrategie/publikationen/oe_strategie.html)

## 3.0 Infrastrukturbereich Wasser

---

Der Infrastrukturbereich Wasser umfasst Infrastruktur im öffentlichen Raum für Bereitstellung, Verteilung, Aufbereitung, Ableitung von Trink-, Niederschlags- und Abwasser (inklusive fluviale und pluviale Hochwässer).

Diese Bereiche der Wasserinfrastruktur sind direkt von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen. Das betrifft einerseits die Verknappung der verfügbaren Ressourcen und andererseits die Gefährdung der bestehenden Wasserinfrastruktur. Die spezifischen Herausforderungen und Bedarfslagen für den Infrastrukturbereich Wasser betreffen quantitative und qualitative Veränderun-

gen im Bereich der Wasserressourcen (Rückgang, veränderter Jahresabfluss, reduzierte Grundwassererneuerung, Wassertemperaturänderungen, Qualitätsänderungen), der Zunahme von Extremereignissen wie lokale Starkniederschläge (Hochwasser, Schäden an der Wasserinfrastruktur [Trinkwasserversorgungs-, Abwasseraufbereitungsanlagen- und Leitungsinfrastruktur], Schadstoffeintrag) sowie Konflikte mit anderen Nutzungen wie Bewässerung oder Kühlung, aber auch betreffend Probleme bei niedrigen Wasserständen Abwasser entsprechend einleiten zu können. Die untenstehende Tabelle 1 bietet einen Überblick.

Infrastruktur Teilbereich	F&E Felder	Themenschwerpunkte
Wasserversorgung	Natürliche und technische Wasseraufbereitung	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Verbessertes Flächenmanagement, Gewässer- bzw. Ressourcenschutz</li> <li>– Weiterentwicklung von Prognosemodellen</li> <li>– Bewirtschaftungskonzepte</li> <li>– Aufbereitungstechnik/-technologien</li> </ul>
	Sensorik & Monitoring	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Monitoring von Wasser- und Energieeffizienz</li> <li>– Ressourcenmanagement</li> <li>– Quantitative und qualitative Überwachung im Leitungsnetz</li> <li>– Optimierter Bewässerungseinsatz</li> </ul>
	Dezentrale Versorgung & Planung	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Lokale Wasserspeicherung</li> <li>– Vernetzung von Versorgungssystemen</li> <li>– Nutzungskonflikt Trinkwasserversorgung-Landwirtschaft-Tourismus</li> <li>– Methoden zur Grundwasseranreicherung</li> </ul>
	Simulationen und Prognosemodelle	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Grundwasserneubildungsprognosemodelle</li> <li>– Kopplung von Modellen</li> </ul>

<b>Abwasserentsorgung (Misch und Schmutzwasser) &amp; Regenwassernutzung</b>	Natürliche und technische Abwasserreinigung und Aufbereitung	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Regenwassermanagement (z. B. hinsichtlich Nutzung, Dimensionierung der Infrastruktur, Aquifer Rechargee)</li> <li>– Geänderte Anforderungen an Kanal(-betrieb) und Abwasserreinigung: Reuse von Abwasser, Nature-Based Solutions (NBS) wie Pflanzenkläranlagen</li> </ul>
	Sensorik & Monitoring	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Online-Messung von Parametern zur Evaluierung technischer Systeme (Anforderungen)</li> <li>– Monitoring von Wasserbilanzkomponenten von Lösungen für Regenwassermanagement</li> <li>– Online-Gewässermonitoring</li> <li>– Benchmarkingsysteme und Training</li> <li>– Transparenz und Open Data</li> </ul>
	Entsiegelung, Infiltration & Begrünung	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Schwammstadt und grüne Infrastruktur</li> </ul>
	Prognosemodelle & Frühwarnsysteme	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Szenarienmodellierung basierend auf Monitoring (gesamtheitliche Modellierung von Hydraulik und Abwasserinhaltsstoffen)</li> <li>– Prädiktive Abflussprognose, Speicherbewirtschaftung</li> <li>– Einbindung Citizen Science und KI</li> </ul>
<b>Pluviales und fluviales Hochwasser</b>	Hochwasserschutz & Hangwasserschutz	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Mobile Lösungen</li> <li>– Schaffung von Retentionsraum (Doppelnutzung, Interessensausgleich)</li> </ul>
	Sensorik & Monitoring	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Kombination mit Technologien aus der Fernerkundung (z. B. Satellitendaten)</li> <li>– Allgemeine Verfügbarkeit von Grundlagendaten (z. B. Wetterdaten)</li> </ul>
	Nature Based Solutions	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Life Cycle Assessment Modelle, Bewertungsmodelle</li> <li>– Kombination mit anderen Maßnahmen in Bezug auf Klimawandelanpassung (z. B. Beschattung, Diversität)</li> </ul>
	Prognosemodelle & Frühwarnsysteme	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Weiterentwicklung von Frühwarnsystemen (vor allem bei sehr schnellen Prozessen wie Muren)</li> <li>– Berücksichtigung bei der Doppelnutzung von Retentionsflächen</li> </ul>

Tabelle 1

Übersichtstabelle F&E Felder und Themenschwerpunkte für den Infrastrukturbereich Wasser

### 3.1 F&E Felder des Infrastruktur Teilbereichs Wasserversorgung

#### 3.1.1 Natürliche und technische Wasseraufbereitung

Aufgrund der klimawandelbedingten Reduktion der Wasserressourcen durch häufiger auftretende Trockenperioden (vor allem in den östlichen und südlichen Regionen Österreichs) und steigenden Trink- bzw. Brauchwasserbedarf in den heißen werdenden Sommermonaten gewinnt dieses F&E-Feld auch in Österreich an Bedeutung.

Innerhalb des F&E-Feldes „Natürliche und technische Wasseraufbereitung“ sind insbesondere die Themenbereiche Flächenmanagement und Gewässer- bzw. Ressourcenschutz von größter Bedeutung. Zunehmende Relevanz in diesen Themenbereichen werden die Kategorien Bewässerungsoptimierung und Grundwasseranreicherung (Stichwort MAR – Managed Aquifer Recharge) haben. Technische Lösungen sind fallweise anzuwenden, haben allerdings den Nachteil des hohen Wasserverbrauches bei manchen Technologien wie z. B. bei Umkehrosmose. Ein Schwerpunkt der Umsetzungsmaßnahmen sollte daher im Bereich des Ressourcenschutzes liegen.

Für das nachhaltige Management von Grundwasserkörpern, Oberflächenwässern und -gewässern wird der praktische Einsatz der verschiedenen Modelle, von Klima- bzw. Niederschlagsmodellierung/-prognose zu Grundwassermodellen hin zu Wassernutzungsmodellen für unterschiedliche Einsatzbereiche, sowie deren Verknüpfung an Bedeutung gewinnen.

Die besten Exportchancen bestehen im Knowhow-Transfer (auch in Hinblick auf den der Grundwasserschutz), im Bereich der Planung von Bewirtschaftungskonzepten sowie im Bereich der Aufbereitungstechnologien (Membrantechnologien, etc.), für die Österreich eine hohe Kompetenz nachweisen kann.

#### 3.1.2 Sensorik & Monitoring

Um Trinkwasser in ausreichender Menge und Qualität bereitstellen zu können, erfordert es für Wasserversorger umfassende Kenntnis über die gesamte Trinkwasserinfrastruktur von der Quelle bis zu Wasserhahn zu haben. Durch den Klimawandel werden die Anforderungen an Wasser- und Energieeffizienz, Ressourcenmanagement und Überwachung von Qualitätsparametern steigen. Sensorik und Monitoring ist ein relevanter Baustein im Gesamtsystem Wasserversorgung, um klimawandelinduzierten Anforderungen gerecht zu werden. Im F&E-Feld „Sensorik & Monitoring“ werden die Themenbereiche optimierter Bewässerungseinsatz, Überwachung des Leitungsnetzes sowie die Detektion und das Monitoring von sogenannten „Emerging Contaminants“ (auftauchende Schadstoffe) an Bedeutung gewinnen. Im Bereich des optimierten Bewässerungseinsatzes ist eine Kombination von verschiedensten Methoden und Technologien aus Bodenwassermonitoring mit einer gekoppelten Steuerung erforderlich. Aufgrund der zu erwartenden höheren Wassertemperaturen im Leitungsnetz werden zukünftig höhere Anforderungen an ein Monitoring von Wassertemperaturen und mikrobiologischer Parameter (wie z. B. bakterielle Belastung durch Legionellen) gestellt.

Alle Bereiche weisen gute Exportchancen auf, wobei unterschiedliche technologische Reifegrade vorliegen. Die beiden Themenbereiche optimierter Bewässerungseinsatz und Verteilsystemüberwachung sind in ihrer technologisch Entwicklung wesentlich weiter fortgeschritten als der Themenbereich „Emerging Contaminants“, da hier die meisten Komponenten und Modelle vorhanden sind, aber noch auf die jeweilige Situation anzupassen sind.

### 3.1.3 Dezentrale Versorgung und Planung

Zur resilienten Sicherstellung von Wasserressourcen im klimabedingt verstärkten Spannungsfeld von Nachfrage und Dargebot steht im F&E-Feld „Dezentrale Versorgung und Planung“ im Mittelpunkt. Die umfasst die nachhaltige Bewirtschaftung von Wasserkörpern einschließlich des Grundwassers, vorwiegend mit den Werkzeugen Flächenmanagement und lokale Wasserspeicherung. Dieses F&E-Feld ist stark im Zusammenhang mit den F&E Feldern „Natürliche und technische Wasseraufbereitung“ und „Sensorik & Monitoring“ zu sehen. Technologien und Konzepte, die zur Umsetzung und Weiterentwicklung kommen, sollten sind: Verbesserung der lokalen Wasserspeicherung (durch Grabensystem, [künstliche] Erweiterung des Grundwassers, Regenwassernutzung); verbessertes Flächenmanagement; Vernetzung von Trinkwasserversorgungssystemen inklusive der Herausforderung (z. B. Mischbarkeit von unterschiedlichen Wasserquellen) und Chancen (Versorgungssicherheit); Strategien zur Begegnung des Nutzungskonfliktes zwischen Wasserversorgung, Landwirtschaft und Tourismus.

Diesem Feld werden keine wesentliche Export- oder Marktchancen zuerkannt, welche in einem geringen Teil über einen Knowhow-Transfer erzielt werden könnten. Die Wichtigkeit der Weiterentwicklung und der regionalen Anwendung wird jedoch dennoch stark betont.

### 3.1.4 Simulationen und Prognosemodelle

Für die zukunftsorientierte Ausrichtung der Wasserinfrastruktur im Zuge der sich ändernden Klimasituation kommt dem F&E Feld „Simulationen und Prognosemodelle“ eine zentrale Stellung zu. Im Themenbereich Trinkwasser steht die Prognose der Grundwasserneubildung im Mittelpunkt. Hier gilt das Augenmerk darauf zu legen, dass bereits vorhandene Technologien unter Kopplung von unterschiedlichen Fachbereichen (z. B. Hydrologie, Klimatologie, etc.) in einer Region zum Einsatz kommen und die entsprechenden Daten leicht verfügbar sind, wobei hier auf einheitliche Standards

und einheitliche Zugriffsmöglichkeiten verstärkt ein Augenmerk zu legen sind (etwa einheitliche Daten und Datenquellen bzw. -banken). Beispielhaft zu nennen sind Vorhersagen von Grundwasserstandsentwicklungen und der Grundwasserqualitätsentwicklung unter Einbeziehung von Grundwasserneubildung, der Berücksichtigung des Niederschlags sowie des Einflusses von Fließgewässern. Damit hängt die Verknüpfung von mathematischen Modellen inklusive Methoden der Künstlichen Intelligenz (KI) aus verschiedenen Domänen zusammen mit dem Ziel einer detaillierten zumindest vierwöchigen Vorhersage und einer gröberen saisonalen Abschätzung zu ermöglichen.

Entsprechende kommerziell verfügbare Modelle großer Anbieter sind bereits auf dem Markt. Ein Marktpotenzial wird in der Kooperation mit den Wasserversorgern in Form von maßgeschneiderten Services gesehen, aber nicht unbedingt in Softwarelösungen selbst.

## 3.2 F&E Felder des Infrastruktur Teilbereichs Abwasserentsorgung (Misch- und Schmutzwasser) & Regenwassernutzung

### 3.2.1 Natürliche und technische Abwasserreinigung und Aufbereitung

Aufgrund der klimabedingten, sich in der Zukunft in manchen Regionen weiter verschärfenden Spreizung in der Verfügbarkeit von Wasserressourcen mit einer ausreichenden Menge und entsprechender Qualität sowie dem wachsenden Spannungsfeld einer möglichen Zunahme an pluvialen Extremereignissen, werden im F&E-Feld „Natürliche und technische Abwasserreinigung und Aufbereitung“ voraussichtlich die Themenbereiche Reuse, Regenwassermanagement und Grüne Infrastruktur an Bedeutung gewinnen. Relevant erscheint im Themenbereich Reuse die Wiederverwendung von gereinigtem Abwasser in niederschlagsarmen Gebieten für landwirtschaftliche Bewässerung. Auch die

Wiedergewinnung von Ressourcen aus dem Abwasser wird zukünftig verstärkt in den Fokus rücken (Circular Economy). Im Bereich des Regenwassermanagements ist der Eintrag von Schadstoffen in Gewässer bei Mischwasser- und Regenwasserentlastungen, die erforderliche (Re) Dimensionierung von Infrastruktur und die Regenwasserspeicherung und Nutzung entsprechend zu berücksichtigen. Auch grüne Infrastruktur wird zukünftig an Bedeutung gewinnen, welche jedoch zum Teil in Konflikt mit bestehenden Nutzungen (Flächenbedarf/ Flächenkonflikt) steht bzw. stehen wird. Betreffend Exportchancen wird Reuse als zentrales internationales Thema angesehen. Auch Lösungen für Straßenentwässerungen wird hohes Anwendungspotenzial zugemessen. Für die internationale Vermarktung ist die Umsetzung von Demonstratoren und Referenzprojekten wichtig.

Weitere Themenschwerpunkte sind Untersuchungen zu geändertem Nutzer:innenverhalten und Auswirkungen auf die Abwassermengen und Abwasserzusammensetzung, welche wiederum Auswirkungen auf die Kanalisation, das Abwasser- und Regenwassermanagement, die Abwasserreinigung und den ökologischen Zustand der Gewässer haben). Damit in Zusammenhang stehen Untersuchungen und Maßnahmen zur Verminderung der Korrosionsproblematik und Geruchsproblematik in Kanälen aufgrund von erhöhter Abwassertemperatur (Schwefelwasserstoffbildung) und das Vorantreiben des Themas Reuse von Abwasser (Bewusstseinsbildung noch erforderlich, derzeit z. B. Nutzungseinschränkungen in biologischer Landwirtschaft). Des Weiteren sind Szenarienmodellierung und Prognosemodelle basierend auf Monitoringdaten, um das System Abwasser vom Wasserhahn bis zu Gewässer gesamtlich abbilden zu können, wichtig (gesamtheitliche Modellierung von Hydraulik und Abwasserinhaltsstoffen in der Kanalisation).

### 3.2.2 Sensorik & Monitoring

Im F&E Feld „Sensorik & Monitoring“ sind folgende Themenbereiche relevant bzw. werden aufgrund der Auswirkungen des Klimawandels an Bedeutung gewinnen: Monitoring von Wasserbilanzkomponenten auch als Grundlage für optimiertes Regenwassermanagement, Online-Messung von Parametern zur Evaluierung technischer Systeme, verstärkte Nutzung von Monitoring für Prognosemodelle und Anlagensteuerung, Monitoring der Qualitäten der (einzelnen) Stoffströme im urbanen Wassermanagement, Verfügbarkeit und Zugang zu Monitoring Daten (Open- & Secure-by-Design), die verstärkte Nutzung von Surrogatparametern<sup>2</sup>, die Nutzung von Citizen Science für flächendeckendes Monitoring sowie die Anwendung von Künstlicher Intelligenz für Auswertung und Prognose. Marktpotenzial für österreichische Firmen besteht insbesondere im Bereich der Messtechnik, im Dienstleistungsbereich (Systemintegration, Training, Konzepte, etc.), sowie in der Entwicklung von kostengünstigen Lösungen für Entwicklungsländer (frugale Innovation).

### 3.2.3 Entsiegelung, Infiltration & Begrünung

Das F&E Feld „Entsiegelung, Infiltration & Begrünung“ steht in enger Verbindung zum Regenwassermanagement und Grüner Infrastruktur (Nature Based Solutions) des F&E Feldes natürliche und technische Abwasserreinigung und Aufbereitung und verlangt enge Abstimmung mit der Raumplanung. Für die Versickerung von Oberflächenwässern gelten hohe qualitative Anforderungen. Derzeit fehlen in Österreich noch einheitliche Nachweisverfahren zur Versickerung von Oberflächenwässern (Versickerung/ technische Filter) was in Kombination mit den strikten rechtlichen Rahmenbedingungen die Umsetzung von F&E-Projekten erschwert. Für Anwendungsprojekte im F&E Feld Entsiegelung, Infiltration & Begrünung gibt

 <sup>2</sup> Ein Surrogatparameter ist ein Parameter, der durch die einfachere stellvertretende Messung eines Parameters Rückschlüsse auf einen anderen Parameter zulässt (z. B. Leitfähigkeit und Chlorid).

es großes Marktpotenzial (Implementierungspotenzial) wobei Exportchancen eher im Dienstleistungsbereich (Knowhow Anwendung) vorhanden sind. F&E im Bereich Schwammstadt sollte auf Demonstratoren abzielen die sich genauer mit dem Monitoring und der Entwicklung von Nachweisverfahren für Versickerung von Oberflächenwassern (Reinigungsleistung/Gewässerschutz) sowie mit der Bereitstellung von Niederschlagswasser in ausreichender Menge und Qualität für Grünflächen (z. B. duale System trennt verunreinigtes von weniger verunreinigten Straßenwässern) beschäftigen.

### 3.2.4 Prognosemodelle & Frühwarnsysteme

Das F&E Feld „Prognosemodelle & Frühwarnsysteme“ baut auf den Daten und Informationen des F&E Feldes Sensorik & Monitoring auf. In Hinblick auf Klimawandelanpassung erscheinen folgende Themenschwerpunkte als besonders relevant: Prädiktive Abflussprognose und Speicherbewirtschaftung, Verknüpfung unterschiedlicher Ansätze und Modelle (quantitative, qualitativ), KI-unterstützte Prognose für Kanalbetrieb (z. B. für Ablagerungen, Verstopfungen), Wasserhaushaltsprognosen für grüne Infrastruktur (Bewässerungsbedarf), Einbindung von Entscheidungsträger:innen und Politik, Einbindung Citizen Science in Richtung Real-Time Monitoring bei grüner Infrastruktur. Marktpotenzial besteht national und international im Bereich der Dienstleistungen die mit diesem F&E Feld zusammenhängen.

## 3.3 F&E Felder des Infrastruktur Teilbereichs pluviales und fluviales Hochwasser

Auch bei allen Aspekten des Wassermanagements und dessen Infrastruktur sind verstärkt Probleme durch Hochwasser, aber auch durch andere extreme Wetterereignisse zu erwarten. Der Bereich Hochwasser wird berücksichtigt, sofern dieser relevant für den Infrastrukturbereich ist und innovative technologische Lösungen einen Beitrag zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels leisten können.

### 3.3.1 Hochwasserschutz und Hangwasserschutz Infrastruktur

Das F&E Feld „Hochwasserschutz und Hangwasserschutz Infrastruktur“ wird von Expert:innen und von der Öffentlichkeit als sehr relevant wahrgenommen. Es benötigt die Entwicklung von technischen und Managementlösungen im Spannungsfeld zwischen „Schutz vor Naturgefahren“ und „Schutz der Umwelt“ (Naturschutz). Dringender Handlungsbedarf besteht im Bereich des Objektschutzes im Rahmen der Eigenvorsorge von Eigenheimbesitzer:innen und Betrieben. Dafür bieten sich auch mobile Lösungen an. In diesem F&E Feld ist großes Knowhow und Erfahrung in Österreich vorhanden (Ingenieurbüros, Schutzbautenfirmen) mit guten weltweiten Exportchancen vorwiegend in Gebirgsregionen. Auf dem übergeordneten Schutzniveau wird von Expert:innen die Doppel- bzw. Mehrfachnutzung von Flächen vorgeschlagen. Dies soll Möglichkeiten für eine flächendeckende und leistungsfähige Retention (auch temporär) schaffen. Verwiesen wird dabei aber auf Nutzungs- und Interessenskonflikte, die im Vorfeld zu lösen wären (z. B. Retentionsflächen mit Möglichkeit zur Freizeitnutzung oder als landwirtschaftliche Nutzfläche).

### 3.3.2 Sensorik & Monitoring

Im F&E Feld „Sensorik & Monitoring“ werden insbesondere folgende Themenbereiche als relevant angesehen: satellitengestütztes Monitoring und Überwachung, fernerkundungsunterstützte Überwachung von Retentionsräumen und Warnung, Einsatz von Drohnen in der Ereignisdokumentation und -analyse sowie die Weiterentwicklung von Frühwarnmöglichkeiten bei sehr schnell ablaufenden Prozessen wie z. B. Starkregenereignisse in kleinen bzw. steilen Einzugsgebieten oder Murgängen. Erfolgreiches Monitoring benötigt eine stabile Sensorik und auch eine guten Datengrundlage. Der Aufbau und der freie Zugang zu Daten und Fachdatenbanken wäre dafür ein wichtiger Schritt.

### 3.3.3 Prognosemodelle & Frühwarnsysteme

Das F&E Feld „Prognosemodelle & Frühwarnsysteme“ baut auf den Daten und Informationen des F&E Feldes Sensorik & Monitoring auf. Forschungsbedarf besteht bei der Weiterentwicklung von Frühwarnmöglichkeiten. Dafür erscheint es erforderlich, neue technologische Möglichkeiten wie z. B. Cell-Broadcast in die Prognosemodelle & Frühwarnsysteme zu integrieren. Die Hochwasserkatastrophe in Deutschland im Jahr 2021 hat die Bedeutung eines effizienten Katastrophenmanagements klar aufgezeigt. Die effektive Warnung von Zielgruppen muss vorbereitet und regelmäßig geübt werden. Entscheidend für erfolgreiche Projektumsetzungen sind dabei klar verständliche standardisierte Meldungen und Symbole. Dieser Aspekt gewinnt an Gewicht, wenn man die vorher erwähnte Mehrfachnutzung von Retentionsflächen betrachtet.

### 3.3.4 Nature based solutions

Das F&E Feld Nature based solutions umfasst die nachhaltige Bewirtschaftung und Nutzung natürlicher Elemente und Prozesse zur Bewältigung sozioökologischer Herausforderungen wie Klimawandel, Wassersicherheit, Wasserverschmutzung, Lebensmittelsicherheit, menschliche Gesundheit, Biodiversitätsverlust und Katastrophenrisikomanagement.

Im Bereich Hochwasser ermöglichen nature based solutions innovative und flexible Lösungen im Wasserbau welche effektiv, ökologisch nachhaltig entwickelt und umgesetzt werden können. Entscheidend für erfolgreiche Projektumsetzung ist eine interdisziplinäre Zusammenarbeit von u. a. Ingenieur:innen, Biolog:innen, Sozialwissenschaftler:innen, sowie Expert:innen im Bereich der Regionalentwicklung. Richtig ausgeführt können diese Maßnahmen auch der Bewältigung anderer Herausforderungen der Klimawandelanpassung dienen, wie Wassersicherheit, Wasserverschmutzung, Lebensmittelsicherheit, menschliche Gesundheit, Biodiversitätsverlust oder Katastrophenrisikomanagement.

## 4.0 Infrastrukturbereich Energie

---

Der Infrastrukturbereich Energie umfasst Infrastruktur im öffentlichen Raum für Erzeugung, Verteilung bis zum Übergabepunkt zum/r Verbraucher:in betreffend der Energieträger Elektrizität, Wärme und Kälte und erneuerbare Gase. Fossile Energieträger auf Basis von Rohöl und Erdgas werden nicht weiter betrachtet. Seitens der Bedarfsträger wird diese Sparte als Auslaufmodell betrachtet und nicht für langfristig zukunfts-fördernd angesehen.

Bereits in der Vergangenheit wirkten sich die Klimafolgen unterschiedlich stark auf diese Infrastrukturen aus. Die Anfälligkeit (Vulnerabilität) der Systeme hängt dabei ganz wesentlich von der Art und der Intensität der Klimafolgen und ihren räumlichen Ausprägungen ab. Es ist davon auszugehen, dass sich die Folgen der Klimakrise auf diese Infrastrukturbereiche zukünftig weiter verstärken werden. Diese bedingen direkte und indirekte Auswirkungen auf die Energieinfrastrukturen, die in die zwei wesentlichen Themen *Energie-Verfügbarkeit* und *Infrastruktur-Resilienz* kategorisierbar sind. Während die Energie-Verfügbarkeit systematisch für alle in Österreich zukünftig relevanten Energieträger (Wasserkraft, Wind, Photovoltaik, Biomasse, etc., siehe z. B. [1]) für verschiedene Klimaszenarien zu prüfen ist, spielt in der Infrastruktur-Resilienz vor allem die Auswirkung von extremen Wetterereignissen (Schneelast, Hochwasser, Sturm, „Dunkelflaute“ etc.) eine Rolle.

Der **Anstieg der Durchschnittstemperaturen** wird Auswirkungen auf die Erzeugung aus Erneuerbaren und gleichzeitig auf die Nachfrage haben. Was elektrische Energie anbelangt, ist für Österreich natürlich die Wasserkraft besonders relevant, wo die Durchschnittstemperatur sowohl die Niederschlagsmuster als auch

die Gletscherschmelze beeinflusst. Hier ist von größerer Volatilität und ggf. von Mindererzeugung auszugehen (Beispiel: Schätzung für Deutschland bis -15 %, [2]). Jährliche Winderträge werden regional stark variieren, die Volatilität wird steigen (siehe z. B. [3]). Der Einfluss auf Photovoltaik kann regional ebenfalls sehr unterschiedlich ausfallen, Veränderungen der jährlichen Sonnenstunden wirken sich direkt auf den Ertrag aus, steigende Temperaturniveaus wirken sich negativ auf die Effizienz und damit auch auf den Ertrag aus. Längerfristiger Schneebelag und Schneelast kann ebenfalls regional ein Thema sein.

Die Bedarfsseite muss ebenso systematisch analysiert werden. Parallel mit den steigenden Temperaturen und der Häufung von Hitzewellen und Tropennächten nimmt auch die Nachfrage nach Klimatisierung und somit der Energiebedarf für Kühlung zu. Auch hier wirkt sich der Klimawandel bereits deutlich aus. In diesem Bereich ist die bauliche Ausführung von Gebäuden bis hin zu raumplanerischen Einflussmöglichkeiten ein wichtiger Einflussfaktor.

Schließlich wird der Klimawandel auf alle Formen der Bioenergie wie Pellets, Holzbriketts, Biogas etc. ebenfalls eine nicht zu vernachlässigende Auswirkung haben, die es systematisch zu erfassen gilt.

**Extreme Wetterereignisse** wirken sich regional oder landesweit vor allem auf die Infrastruktur aus. Dies reicht von Schäden an Erzeugungsanlagen über Sicherheit von Staubecken bis hin zur Netzinfrastruktur. Die Versorgung mit elektrischer Energie steht hier im Vordergrund, zusätzlich kann im Krisenfall der Transport von materiellen Energieformen wie Treibstoffen

gestört sein. Der elektrischen Energieversorgung kommt eine immer zentralere Rolle zu, die elektrische Infrastruktur ist jedoch auch sehr exponiert (siehe Auswirkungen von Wetterereignissen auf Freileitungen und

Energieanlagen). Zentrales Thema ist hier, eine zuverlässige und klimaresiliente Stromversorgung für andere kritische Infrastrukturen wie IKT, Wasser, Einsatzkräfte, etc. sicherzustellen.

Infrastruktur Teilbereich	F&E Felder	Themenschwerpunkte
Erneuerbare	Speicher und Sektorkopplung	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Digitalisierung zur optimierten Nutzung von Speichern und Sektorkopplung</li> <li>– Optimierte Verteilung von multifunktionalen Wasserspeichern</li> <li>– Neue Technologien für den flexiblen Einsatz von (Wasserkraft)Turbinen bei Netzschwankungen</li> <li>– Potenzialuntersuchung von unterirdischen Wasserkraftspeicher</li> <li>– Einsatz von Satellitendaten für einen optimierten Betrieb</li> </ul>
	Schutz von Erzeugungsanlagen vor Extremwetterereignissen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Methoden zur optimierten Standortwahl für Erzeugungsanlagen</li> <li>– Verbesserte Kurzfristprognosen zur Schadensprävention</li> <li>– Extremwetterresistentere Erzeugungsanlagen</li> </ul>
	Verringerung des Kälte- und Wärmebedarfs	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Maßnahmen zur Beschleunigung von Gebäudesanierung &amp; Wärmedämmung</li> <li>– Integrierte Gebäudebegrünung &amp; Architektur</li> <li>– Kombinierte Systeme für Grünflächen, PV und Regenwassernutzung und -speicherung</li> </ul>
	Kältebedarf erneuerbar zur Verfügung stellen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Untersuchung der Skalierbarkeit von Wasser/Eis als Speichermedium für Kälte/Wärme</li> <li>– Technologien und Management von (Ab-)Wärme zur Kälteerzeugung</li> <li>– Technologien für effiziente Absorptions-/Adsorptionskältemaschinen/ Weiterentwicklung der Solaren Kühlung</li> <li>– Potenzialuntersuchung von erneuerbarer Fernkälte</li> <li>– Effiziente Lösungen und skalierbare Ansätze für naturbasierte Kühlung durch Pflanzen &amp; Wasser</li> </ul>
	Klimaprojektionen und Extremwetter-Vorhersagen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Klimaprojektionen einsetzen zum Abschätzen der volkswirtschaftlichen Kosten und Folgekosten (Cost of inaction)</li> <li>– Klimaszenarien für resilientere Infrastrukturplanung nutzen</li> <li>– Frühere und verlässlichere Extremwetterwarnungen</li> </ul>

<b>Energienetze</b>	Infrastruktur gestalten, die schnell und flexibel auf variable Wettersituationen oder Ereignisse reagieren kann	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Technologien für flexible, schnelle Reaktion von Infrastruktur</li> <li>– Neue Methoden für datengestützte Risikoeinschätzung</li> <li>– Gezielte Maßnahmen bei störanfälligen Bereichen</li> <li>– Resilienz steigern durch kleinräumige Bedarfsdeckung</li> <li>– Maßnahmen zur Steigerung der operationalen Flexibilität (z. B. Weiterentwicklung von Smart Grids zur Minderung der Volatilität im Netz)</li> </ul>
	Systemisches Abstimmen der verschiedenen betroffenen Sektoren	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Methodische Ansätze zur Abstimmung der Klimaresilienzmechanismen zwischen relevanten Bereichen Energie, Wasser, Kommunikation, Verkehr, Forstwirtschaft, Landwirtschaft, Raumplanung, etc.</li> <li>– Anpassen von sektorübergreifender Energieinfrastruktur an neue Bedingungen bei gleichzeitig weitmöglichster Nutzung vorhandener Systeme</li> </ul>
	Monitoring und frühe Fehlererkennung	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Digitalisierung von Energieinfrastruktur</li> <li>– Datengetriebene Ansätze für Fehlererkennung und Kurzfrist-Prognosen von Systemzuständen</li> </ul>
	Verstärkte Automatisierung	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Skalierbare Ansätze um Steuerbarkeit von sektorgekoppelter Energieinfrastruktur zu erhöhen und Latenzen zu verringern</li> <li>– Neue Technologien im Bereich Auswertung und automatisierte Reaktion („selbstheilende Netze“)</li> <li>– Neue Technologien für kleinräumiges Netz- und Energiemanagement</li> <li>– Technologien, um sichere Automatisierung von Energieinfrastruktur wirtschaftlich wettbewerbsfähig umzusetzen</li> </ul>
	Simulationstools für integrale Planung und fundierte Entscheidungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– optimale Nutzung der bestehenden Energienetz-Ressourcen</li> <li>– Konvergenz von strategischer Planung und optimalen Betrieb von sektorgekoppelter Infrastruktur</li> <li>– Berücksichtigung neuer Datenquellen und alternativer Betriebsverfahren bzw. -Technologien</li> <li>– Umgebungen zum Durchspielen von Extremsituationen</li> <li>– Testumgebungen für neue Technologien aus dem Bereich Monitoring und Automatisierung</li> </ul>

Tabelle 2

Übersichtstabelle F&E Felder und Themenschwerpunkte für den Infrastrukturbereich Energie

## 4.1 F&E Felder des Infrastruktur Teilbereichs Erneuerbare

### 4.1.1 Speicher und Sektorkopplung

Das F&E Feld Speicher und Sektorkopplung ist aufgrund der Volatilität der erneuerbaren Energien essenziell für eine erfolgreiche Anpassung der Energieinfrastruktur in Österreich. Wasserspeicher sollten grundsätzlich mehr in den Fokus der Klimawandelanpassung gerückt werden. So können Trinkwasserspeicher, Regenwasserzisternen zum Hochwasserschutz sowie multifunktionale Wasserspeicher wie z. B. Beschneigungsteiche auch als Puffer für

Extremwetterereignisse oder zur Vorsorge gegen Waldbrand genutzt werden. Speziell im Bereich der Pumpspeicherkraftwerke ist Österreichs Technologiekompetenz sehr hoch, im Ausland anerkannt und mit hohem Markt- und Exportpotenzial verbunden. Wichtige Themenbereiche für dieses F&E Feld in Bezug auf Klimawandelanpassung sind unter anderem die Errichtung und Nutzung von regional verteilten multifunktionalen

Wasser(kraft)speichern (z. B. Wasserreservoir für Dürreperioden, Hochwasserschutz, Energiespeicher etc.) sowie eine verstärkte Nutzung von unterirdischen Wasserkraftspeichern durch künstlich erzeugte Höhenunterschiede sowie deren geothermische Nutzung. Des Weiteren ist die Nutzung von Smart Metering und künstlicher Intelligenz zur Optimierung von Bewirtschaftungskonzepten dezentraler und multifunktionaler Wasser(kraft)speicher wichtig. Zusätzlich ist die Nutzung geringer oder schwankender Überschüsse im Stromnetz durch flexibel eingesetzte Turbinen um auf Netzschwankungen ohne Generatorverluste zu reagieren ein Thema sowie die Nutzung von Satellitendaten für einen optimierten Betrieb und einer Risikominimierung vor Naturgefahren.

#### **4.1.2 Kältebedarf erneuerbar zur Verfügung stellen**

Das F&E Feld Kältebedarf erneuerbar zur Verfügung stellen ist aufgrund der steigenden Temperaturen und länger andauernden Hitzeperioden und dem damit verbundenen wachsenden Bedarf nach Kühlung hochrelevant. So kann eine natürliche Kühlung durch klimagerechte Bauweise, durchlüftungsfreundliche, städtische Strukturen sowie Pflanzen und Wasser ermöglicht werden, sodass Hitzeinseleffekte reduziert werden und der Bedarf nach zusätzlicher Kühlung gering gehalten wird. Ein großer Markt besteht bei der Begrünung von Gebäuden z. B. mit modularen Grünfassaden und bei der Kombination von Gebäudearchitektur und Begrünung, wo Österreich durchaus noch Nachholbedarf hat. Andererseits kann darüber hinaus der Kühlbedarf durch nachhaltige technische Lösungen gedeckt werden. Hierzu zählen beispielsweise hocheffiziente thermische Kältemaschinen, Wasser als Speichermedium für Kälte/Wärme, (Ab-)Wärme zur Kälteerzeugung, Solare Kühlung und Fernkälte. Die Nachfrage nach innovativen Lösungen, die sowohl der Klimawandelanpassung als auch dem Klimaschutz gerecht werden, ist groß.

#### **4.1.3 Klimaprojektionen & Extremwetter-Vorhersagen**

Ein weiteres wichtiges F&E Feld stellen Klimaprojektionen & Extremwetter-Vorhersagen dar. Veränderungen von Hitze- und Kälteperioden, Windsituationen und Extremwetterereignissen, daraus resultierende hydrologische Veränderungen sowie Änderungen der Vegetationszonen und Lebensräume und nicht zuletzt von Naturkatastrophen sind durch langfristige Klimaprojektionen und kurzfristige Extremwettervorhersagen abschätzbar und liefern eine wichtige Basis für vorausschauende Maßnahmen und eine systemische Vorgehensweise. Durch verbesserte Klimaszenarien kann die Energieinfrastruktur besser geplant und negative Folgekosten reduziert werden. Die Verbesserung der kurzfristigen Wetterprognosen hat ebenso hohe Relevanz, um Warnungen rechtzeitig kommunizieren zu können, den Einsatz von Sicherheitskräften zu koordinieren und Vorbereitungen für den Notfall zu organisieren. So kann Infrastruktur besser geschützt, Ausfälle verhindert und die Resilienz von Energieinfrastrukturen erhöht werden.

Die Verbesserung der Satellitendaten durch Sentinel-Satelliten hat dazu geführt, dass großflächige Veränderungen an der Erdoberfläche bis in den Millimeterbereich hinein festgestellt werden können. Dadurch können auch geringe und vor allem langsame Veränderungen über einen längeren Zeitraum, die sonst nicht bemerkt werden, detektiert werden. Das führt zu besseren Aussagen für öffentliche Stellen, Infrastrukturbetreiber, Bauherr:innen und Sachverständigen und zum Schutz von Infrastruktur. Verschnitten mit Klimamodellen, können die Auswirkungen von Klimawandel besser projiziert werden.

Derzeit sind insbesondere kleinräumige und kurzzeitige Starkniederschlagsereignisse nicht ausreichend zuverlässig vorhersagbar. Dies wäre aber wichtig für zeitgerechte Warnungen und eine optimale Koordinierung der Einsatzkräfte. Eine Kombination aus Daten z. B. aus dem Monitoring von Pegelmessstellen, Wetterdaten, Abfluss-Echtzeitberechnungen und einem effizienten Warnsystem könnte ein schnelleres Eingreifen der Einsatzkräfte und ein rechtzeitiges Setzen von temporären Schutzmaßnahmen erleichtern.

#### **4.1.4 Schutz von Erzeugungsanlagen vor Extremwetterereignissen**

Aufgrund des Klimawandels ist mit häufigeren und stärkeren Extremwetterereignissen zu rechnen. Gleichzeitig nimmt der Bedarf nach Flächen für erneuerbare Erzeugungsanlagen aufgrund der steigenden Nachfrage nach erneuerbarer Energie zu, wodurch auch exponierte Standorte gewählt werden. Der Schutz von Erzeugungsanlagen vor Extremwetterereignissen gewinnt daher zunehmend an Bedeutung. F&E Bedarf besteht in der Gefahrenanalyse, Planung, Errichtung und Monitoring – als auch der technischen Entwicklung von Schutzmaßnahmen. Spezifisch für die jeweilige Erzeugungstechnologie sind unterschiedliche F&E Themen zu adressieren. Dies können neue Materialien ebenso sein wie neue Konstruktionsprinzipien z. B. für hagelresistente Photovoltaik- oder Windkraftanlagen, erweiterte Sicherheit von Staubecken im Bereich Wasserkraft bzw. vor Schwemmgut bei Laufkraftwerken, oder die Berücksichtigung extremer Betriebstemperaturen erneuerbarer Erzeugungsanlagen. Die Relevanz dieses F&E Feldes ist hoch, der Markt jedoch derzeit noch klein, da das Risiko vielfach noch nicht erkannt wird.

## **4.2 F&E Felder des Infrastruktur Teilbereichs Energienetze**

### **4.2.1 Gestaltung flexibler Infrastruktur**

Energienetze stellen die Basis für Versorgungssicherheit dar. Daher ist es eine wesentliche Aufgabe, Infrastruktur so zu gestalten, dass sie schnell und flexibel auf klimatisch bedingte Ereignisse reagieren kann, um Versorgungssicherheit zu gewährleisten. Dahinter steht die Erkenntnis, dass es im Bereich der Netze nicht möglich sein wird, ein System zu schaffen, das allen Umwelteinflüssen trotzen kann. Dies gilt besonders für Stromnetze, aber letztlich für alle netzgebundenen Energieträger.

Primäre Aspekte sind die Bereiche Risikoanalyse, angepasste Infrastrukturnutzung, operationale Flexibilität und Organisation:

- In Bezug auf die Risikoanalyse besteht der Bedarf darin, Eintrittswahrscheinlichkeiten bei veränderten klimatischen Bedingungen richtig einzuschätzen, Ereignisse in der Folge richtig zu clustern (Wahrscheinlichkeit/Folgen) und Prioritäten für gezielte Maßnahmen bei störanfälligen Bereichen zu finden.
- Die Nutzung von Energieinfrastruktur erfordert eine Anpassung an veränderte klimatische Bedingungen und bestehende Infrastrukturen sollten möglichst klimaresilient gemacht werden. Im Falle eines notwendigen Ausbaus von Infrastruktur ist es erforderlich die Auswirkungen des Klimawandels bei Planung und Errichtung zu berücksichtigen. Dazu wichtige Schlüsseltechnologien sind Digitalisierung in Form von verbesserten Prognosen und die Erschließung neuer Datenquellen (siehe auch nachfolgende F&E Felder). Erfahrungswerte aus vergangenen Extremereignissen müssen dabei berücksichtigt werden.

- Operationale Flexibilität, wie sie auch für den Systembetrieb mit volatilen Quellen notwendig ist, spielt im Fall von extremen Klimaereignissen ebenfalls eine große Rolle. Es gilt, die Flexibilität der verschiedenen Infrastrukturen auch unter dem Klima-Gesichtspunkt zu identifizieren, und Netznutzer wie Gewerbe und Industrie zu integrieren, um Flexibilitätsoptionen zu erhöhen. Verwertungspotenziale liegen hier in Flexibilitätsprodukten und auch der Möglichkeit, dass Energienutzer Flexibilität als Dienstleistung zur Verfügung stellen. Mehr Flexibilität erhöht jedoch auch die Systemkomplexität. Auch hier ergibt sich ein F&E Bedarf zur Beherrschung dieser erhöhten Komplexität eines sektorgekoppelten Systems unter zukünftigen klimatischen Bedingungen.
- Organisatorisch geht es vor allem um eine weitere Verbesserung des Austauschs verschiedener Akteur:innen im Krisenfall, wie z. B. Einbindung und regelmäßige Übungen von Krisenorganisationen, Bundesheer, etc. Hier können F&E-Projekte einen Rahmen schaffen, in dem Bedarfsträger, Hersteller und Entscheidungsträger im Kontext neuer Technologien und Lösungen sich konstruktiv austauschen und gemeinsame Zielbilder entwickeln können.

#### **4.2.2 Systemanalyse: Abstimmen der verschiedenen betroffenen Sektoren**

In dem Zusammenhang mit dem F&E Feld „Gestaltung Flexibler Infrastruktur“ ist das F&E Feld „Systemanalyse“ besonders relevant, also das Mitdenken der verschiedenen betroffenen Sektoren wie Energie, Wasser, Kommunikation, Verkehr, Forstwirtschaft, Landwirtschaft, Raumplanung, etc. Da funktionierende Energienetze die Versorgungssicherheit anderer Sektoren bedingen, ist die Relevanz dieses Themas sehr hoch. Infrastruktur selbst ist weder „fossil“ noch „erneuerbar“, sondern nur der jeweilige Energieträger. In diesem Sinne wird es als essenziell für das Gelingen der Klimawandelanpassung gesehen, bestehende Werte wie z. B. die Gasnetze nicht zu verlieren, sondern sie auf alternative Weise weiterzuverwenden.

Als Teil der Systemanalyse hat auch die Raumordnung langfristig sehr hohe Relevanz.

#### **4.2.3 Monitoring und frühe Fehlererkennung**

Bereits für die Integration Erneuerbarer Energien wichtig, aber auch im Zusammenhang mit Klimawandel-Anpassung essenziell ist das Monitoring der Energienetze sowie Prognosen und frühe Fehlererkennung, um rechtzeitig auf Veränderungen reagieren und das Energienetz optimieren zu können. Vorhandenen Technologien in diesem Bereich fehlt es oft an der oben diskutierten Systemsicht. Hier besteht Handlungsbedarf, schon allein aufgrund der steigenden Komplexität durch Sektorkopplung und einer höheren Anzahl von Systemteilnehmern. Von einer guten Kenntnis des Systemzustands können Anpassungsstrategien und Resilienzlösungen abgeleitet werden. Eine Verbesserung der lokalen Prognosefähigkeit unter Einbeziehung verschiedener Datenquellen und historischen Ereignissen ist hierfür ein wichtiger Baustein. Verlässlichkeit und Kostenersparnis neuer Monitoring- und Prognosetechnologien und -Tools werden als eine klare Stärkung des Standorts Österreich eingeschätzt und würden auch die Exportfähigkeit österreichischer Produkte verbessern.

Ein Themenschwerpunkt ist im Falle von Extremwetterereignissen (z. B. Aneisungen, mechanischem Stress, Abschaltungen etc.) die Auslastung bzw. den Systemzustand von Netzen besser zu kennen. Dies gilt sowohl für elektrische Übertragungs- und Verteilernetze als auch für thermische Netze und Gasnetze. Grundlage hierfür ist ein flächendeckendes Leitungsmonitoring, dass heute in vielen Bereichen noch nicht umgesetzt ist. Darauf aufbauend können Systemzustände und Prognosen abgeleitet werden. Es gibt Einzelsysteme für solche Aufgaben am Markt, die aber nicht mit unterschiedlichen Datenquellen interagieren (z. B. keine Wetterprognosen miteinbeziehen). Durch Einbringen von Sensorik und/oder Verknüpfung verschiedener Datenquellen (wie z. B. Betriebsdaten aus anderen Infrastrukturbereichen) sollen bessere Prognosen entwickelt werden.

#### 4.2.4 Verstärkte Automatisierung

Ebenso wird im Zuge einer Klimawandelanpassung der Automatisierungsgrad der Energienetze weiter gesteigert werden müssen. Denn nur so können kurzfristig im Falle eines Extremereignisses zusätzliche Netzkapazitäten geschaffen bzw. freigemacht werden. Automatisierungstechnik ist grundsätzlich verfügbar, jedoch sind Themen wie neue Automatisierungsansätze für Flächennetze (z. B. Übertragung der Ansätze im elektrischen Übertragungsnetz auf Mittel- und Niederspannungsnetze in geeigneter Form) sowie Skalierbarkeit und angepasste Automatisierung für sektorgekoppelte Systeme nach wie vor offen. Hier sind Demonstratoren ein wichtiger nächster Schritt. Neue Datenquellen und zusätzliche kostengünstige Sensoren im Netz (siehe Thema Monitoring) bieten die Grundlage für automatische Auswertung der Daten mit Künstlicher Intelligenz. Solche Technologien im Bereich Auswertung und automatisierte Reaktion („selbstheilende Netze“) sind noch nicht weit fortgeschritten und ggf. ein Thema für entsprechend ausgestattete technisch-regulatorische Experimente (Sandboxes). Aktuell ist die Einschätzung, dass wirtschaftliche Anreize für einen weiteren Ausbau der Automatisierung – und im wirtschaftlichen Zusammenhang ggf. auch geeignete regulatorischen Rahmenbedingungen – fehlen. Schafft man es, als Maßnahme zur Klimawandelanpassung die Automatisierung der Energieinfrastruktur gemeinsam mit der dafür notwendige Cybersicherheitsqualität wettbewerbsfähig umzusetzen, wäre das ein Standortvorteil für Österreich.

#### 4.2.5 Simulationstools für integrale Planung und fundierte Entscheidungen

In einer zukünftigen sektorgekoppelten Welt sind Simulationstools für integrale Planung und fundierte Entscheidungen ein wesentliches Werkzeug, das heute quasi nicht zur Verfügung steht, aber notwendig für eine optimale Nutzung der bestehenden Energienetz-Ressourcen ist. Es können bzw. müssen sowohl der Bereich strategische Planung als auch der Betrieb unter Extrembedingungen adressiert werden. Ersteres ist wichtig, um

von reinen Worst-Case-Szenario-Planungsansätzen weg zu kommen und zusätzliche Daten und Betriebsverfahren zu berücksichtigen. Letzteres hat Relevanz für das Betriebspersonal (z. B. Übung von Netzwiederaufbau). Das Thema hat eine hohe Relevanz auch deshalb, weil in Simulationen (planerisch wie operativ) Extremereignisse durchgespielt werden können, die im Realtest selten auftreten. Und mit genau dieser Art von Ereignissen haben wir es im Falle des Klimawandels vermehrt zu tun. Allerdings funktioniert dies am besten auf Grundlage realer Daten, wobei hier Herausforderungen im Kontext des strengen EU-Datenschutzregimes zu erwarten sind (Nutzerdaten von Energie-nutzern, Netzdaten). Jedoch hätten solche Simulationstools für integrale Planung und fundierte Entscheidungen eine hohe Markt- und Exportchance im Kundenkreis der Infrastrukturbetreiber.

Ein konkreter Themenschwerpunkt wäre der Aufbau eines Simulationstools für integrierte Planung und fundierte Entscheidungen zur Netzinfrastruktur. Ein solches Tool sollte in der Lage sein, das Zusammenspiel verschiedener Infrastrukturbereiche (Strom, Gas, Wärme, Wasser, Verkehr etc.) auf Planungs- und/oder Betriebsebene abzubilden. Damit ergibt sich die Möglichkeit, Szenarien und Extremereignisse zu antizipieren und durchzuspielen. Gegebenenfalls sind hier auch grenzüberschreitende Auswirkungen zu untersuchen. Forschungsfrage könnte auch sein, wie sich die europäischen Vorgaben wie z. B. das Freihalten von 70% der Netzkapazität für den Handel, unter Klimawandelbedingungen in einem Transitland wie Österreich umsetzen oder nicht umsetzen lassen. Das Tool sollte auch als Testbed dienen, welches Daten generieren kann bzw. in dem man auch gegebenenfalls Produkte unter simulierten Realbedingungen testen kann (Hardware-in-the-Loop).

## 5.0 Infrastrukturbereich Verkehr

Der Infrastrukturbereich Verkehr umfasst Infrastruktur im öffentlichen Raum für den Transport von Personen und Gütern auf der Straße, auf der Schiene, zu Wasser und in der Luft.

Diese Bereiche der Verkehrsinfrastruktur sind direkt von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen. Durch den Klimawandel kommt es jedoch auch zu indirekten Auswirkungen wie zum Beispiel durch die Änderungen des Mobilitätsverhaltens und des Mobilitätsbedarfes. Es gibt eine Vielzahl an Wechselwirkungen. Zum Beispiel reduzieren höhere Temperaturen das Aktivitätsniveau von Menschen, was wiederum klimafreundliche, aktive Mobilitätsformen unattraktiver macht. Dichtere Raumstrukturen verringern zwar den Mobilitätsbedarf fördern jedoch auf Grund der höheren Versiegelung die lokale Überhitzung. Ernteausfälle durch Extremwetterphänomene führen zu mehr und weiteren Transportwegen.

Die Verkehrsinfrastruktur ist daher sowohl mit direkten Wirkungen des Klimawandels aber auch geänderter Nutzung konfrontiert. Bei den direkten Wirkungen sind die generelle Erwärmung, aber allen voran häufigere und ausgeprägtere Extremwetterphänomene zu nennen.

Lokale Starkniederschläge (Regen, Schnee) in Kombination mit versiegelten oder trockenen Böden, die den Niederschlag nicht aufnehmen können, sowie häufige Temperaturschwankungen gehören beispielsweise in diese Kategorie. Zudem kommt es zu einer immer größerer Flächen- und Nutzungskonkurrenz sowohl was den Mobilitätsraum (z. B. Grünfläche & Entsiegelung, Raum für soziale Interaktion und Erholung, ...) als auch Wassernutzung (z. B. Binnenschifffahrt, Energieerzeugung, Wassermanagement) betrifft.

Untenstehende Tabelle 3 bietet einen Überblick über die identifizierten F&E Felder zur Verbesserung der Verfügbarkeit und des effizienten Baus und Nutzung von Verkehrsinfrastruktur.

Infrastruktur Teilbereich	F&E Felder	Themenschwerpunkte
Für alle Teilbereiche relevant	Vorhersagen & Modellierungen	– Verbesserte (lokale) Vorhersagen von Extremwetterereignissen & Auswirkungen/Konsequenzen inkl. Szenarienentwicklung und Frühwarnsysteme
	Wartung	– Robustere Sensorik – Verbesserte & flächendeckende Infrastruktur & Bauwerkskontrolle
	Grüne Infrastruktur	– Typologisierung und Bestandsaufnahmen von Grüner Infrastruktur im Verkehrssystem als Basis für Optimierungen – Verbesserung der Infrastruktur (Design & Bau), der Substrate und deren Leistungsfähigkeit – Besseres Verständnis der relevanten Parameter von Grünflächen, Auswirkungen sowie weiterer Benefits
	Management	– Entwicklung von Strategien und Notfallprozessen unter Berücksichtigung bestehender Katastrophenmanagementprozesse

Straßenverkehr	Materialien	<ul style="list-style-type: none"> <li>– 'Idealkombination' Straßenmaterial (griffig, verschleißfest, lärmarm, etc.) unter den von Herausforderungen wie Hitze, Trockenheit, Hagel, Starkregen, etc.</li> <li>– Verhalten von Materialien mit hohem Recycling-Anteil unter Extremwetter</li> </ul>
	Konstruktion & Design	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Robuste Fahrbahnübergangskonstruktionen (integrale Brücken)</li> <li>– Hitzespeicher der Betonstraßen für Energiespeicherung/Nutzung verwenden (Anergie-Konzept)</li> </ul>
	Wartung	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Pro-aktive Straßenerhaltung – Anpassung an zukünftigen Bedarf &amp; zukünftiges Klima</li> </ul>
Schienenverkehr	Schutzbauten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Verbessertes Design &amp; Konstruktion von Entwässerungsanlagen und Schutzverbauungen unter besonderer Berücksichtigung von Nature-Based-Solutions</li> <li>– Kaskadische Betrachtung von Klimarisiken</li> </ul>
	Materialien	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Durchgehende Empfehlung &amp; Bewertung von Baumaterialien; inkl. Prüfung hinsichtlich Fehlanpassung und Kreislauffähigkeit</li> <li>– Berechenbare Qualitäten beim Bau durch Standardisierung und Qualitätssicherung</li> <li>– Verbesserte Materialeigenschaften bezüglich Widerstandsfähigkeit gegenüber Wetterextremen, Hitze und Langlebigkeit</li> </ul>
Binnenschifffahrt	Niedrigwasser	<ul style="list-style-type: none"> <li>– (leistbare) Schiffskonstruktionen mit geringen Tiefganganforderungen</li> <li>– Klassische und innovative wasserbauliche Maßnahmen</li> <li>– Echtzeit-Datensammlung</li> </ul>
	Systemische Betrachtung / Synchromodalität	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Wechselwirkungen durch unterschiedliche Nutzung des Wassers (Lösung von Nutzungskonflikten)</li> <li>– Zuverlässige Wasserstandsprognosen (Nieder- und Hochwasser) mit erweiterten Prognosezeiträume und höherer Genauigkeit</li> <li>– Verbesserte Informationen zur Wasserstraße möglichst in Echtzeit inkl. Datenaustausch</li> </ul>

Tabelle 3

Übersichtstabelle F&E Felder und Themenschwerpunkte für den Infrastrukturbereich Verkehr

## 5.1 Infrastrukturbereich Luftfahrt

Selbstverständlich gibt es auch Auswirkungen des Klimawandels auf die Infrastruktur im Teilbereich Luftfahrt. Dieser Verkehrsinfrastrukturbereich wurde in allen Workshops mitbetrachtet. Deren Hauptelemente betreffen jedoch a) die Infrastruktur für die Kommunikation, welche im Infrastrukturbereich Kommunikations-

netzte abgehandelt wird und b) Rollbahnen, deren Anforderungen sehr ähnlich jenen der Straßeninfrastruktur sind. Daher decken sich die identifizierten F&E Bedarfe mit diesen Bereichen und werden nicht getrennt ausgeführt.

## 5.2 F&E Felder mit Relevanz für den gesamten Infrastrukturbereich Verkehr

### 5.2.1 Vorhersagen & Modellierungen

Als Basis aller Planung und Betrieb von Verkehrsinfrastruktur sind verlässliche Daten essenziell. Ein wesentlicher Eckpfeiler ist daher die Generierung belastbarer Zahlen zur Änderung von Temperatur und Häufigkeiten von Extremwetterphänomenen. Dabei stehen vor allem drei Aspekte im Vordergrund:

- Gitterdatensätze: Durch Angaben, die auch kleinräumig zur Verfügung gestellt werden, können Planungen wesentlich effizienter an diese Gegebenheiten angepasst werden. Neben den entsprechenden Klima- und Wetterdaten sind lokal aber auch Risiken wie beispielsweise von Vermurungen abzuschätzen.
- Prognosen: Vorhersagen sind in beiden Dimensionen: i) Vorhersagezeitraum, wie auch ii) Genauigkeit (inkl. Auflösung/Kleinräumigkeit) weiter zu verbessern. Auch hierbei ist die Weiterführung vom Klima-/Wetterphänomen auf die tatsächlichen Wirkungen auf die Infrastruktur (Überflutung, Hangrutschung, etc.) auszudehnen.
- Projektionen: Auf Basis der präziseren Vorhersagen sind Schadensereignisse und deren Gefahrenpotenzial in Form von Szenarien-Entwicklungen und entsprechenden Frühwarnsystemen entlang aller kritischer Transportinfrastrukturen zu erstellen.

### 5.2.2 Wartung

Die Instandhaltung der Verkehrsinfrastruktur ist aufwandstechnisch für alle Betreiber eine sehr große Herausforderung. Jede Entwicklung, die eine treffsicherere und damit kostengünstigere Wartung erlaubt, ist somit von hohem Wert (= Predictive Maintenance). Bisherige Modelle basieren zumeist auf langjähriger Beobachtung und Erfahrungen. Durch den Klimawandel ändern sich die äußeren Einflüsse jedoch wesentlich schneller und zukünftige Rahmenbedingungen können von den

historischen und aktuellen abweichen. Daher braucht es eine Berücksichtigung der zukünftigen Klimaszenarien und es müssen die Infrastrukturmodelle wesentlich öfter überarbeitet und angepasst werden.

Ein anderer Ansatz ist, durch Überwachung den Zustand der Verkehrsinfrastruktur zu erfassen und so die Abhängigkeit von (nicht mehr zuverlässigen) Langzeitmodelle zu reduzieren. Hierbei sind Verbesserungen der Sensorik wesentlich. Vor allem deren Einsatz kann durch Eigenschaften wie Energieautarkie und Hitze-/Wetterresistenz wesentlich vereinfacht und erweitert werden. Andererseits sind Konzepte zur verbesserten und flächendeckenden Infrastruktur- und Bauwerkskontrolle zu entwickeln. Es bedarf aber einer genauen Abwägung zwischen Informationsgewinn durch Sensorik und dem zusätzlichen Aufwand (inkl. Treibhausgasausstoß), um die Sensorik in Betrieb zu halten. Beispielsweise ist hier der Einsatz von Drohnen oder der Fahrzeuge im Verkehrssystem selbst als Sensorträger zu prüfen. Beides soll zu einem automatisierten und hochfrequenten Monitoring der Verkehrsinfrastruktur führen, das die Entscheidungsgrundlage für effizientes Warten und Renovieren bildet.

### 5.2.3 Grüne Infrastruktur

Für Infrastruktur, die möglichst natürlich bzw. naturnah errichtet und gestaltet ist, hat sich als Begriff der grünen Infrastruktur durchgesetzt. Ein gutes Beispiel sind Grünleise, bei denen der Gleiskörper mit Gräsern und anderen Pflanzen eingefasst ist. Diese Vegetation an der Verkehrsinfrastruktur ist besonders empfindlich gegenüber klimabedingten Änderungen, hat aber auch ein hohes Anpassungspotenzial indem Auswirkungen des Klimawandels (z. B., Hitzeinseln, Starkniederschlagswasser auf Straßen, etc.) abgefedert werden können.

Es bedarf daher dringend der Entwicklungen entlang von drei Stufen:

- a) **Verständnis Parameter:** Es ist ein umfangreiches Knowhow für die Erfolgs-Parameter der Vegetation und ihrem Zusammenspiel mit der künstlichen Infrastruktur aufzubauen. Welche Einflüsse haben Temperatur, Niederschlag usw. auf mikroskopischer (z. B. Straße/Schiene) als auf mesoskopischer Ebene (Bezirk bzw. Stadt)? Wichtig ist auch die Erfassung von weiteren Benefits von Grüner Infrastruktur (z. B. Gesundheit, Lärmschutz, Biodiversität, Kühlung, Ökosystem Services, etc.) welche im Bezug zur Klimawandelanpassung auch eine Rolle spielen können.
- b) **Typologisierung & Bestandsaufnahme:** Auf Basis dieses Wissens sind Pflanzenarten und deren unterschiedliche Einsatzbereiche im Rahmen der grünen Infrastruktur regionsspezifisch zu typologisieren. Mit Hilfe dieser Kategorien kann eine Bestandsaufnahme durchgeführt werden, die einerseits Überblick über den aktuellen Status aber auch die Bildung einer Zukunfts-/Systemperspektive erlaubt.
- c) **Verbesserung der grünen Infrastruktur:** Zuletzt steht die eigentliche Verbesserung der grünen Infrastruktur durch konsequente Umsetzung an. Dies betrifft sowohl das Design und den Bau aber auch die einzelnen Elemente und Substrate und deren Leistungsfähigkeit (z. B. Regeneration, Beschattungserfordernisse, etc.)

#### 5.2.4 Management

Nicht zuletzt ist durch den Klimawandel mit einer höheren Ausfallsrate der Verkehrsinfrastruktur zu rechnen. Nicht alle Naturgefahren-/Extremwetterereignisse können im ausreichenden Maße vorhergesagt bzw. deren Wirkungen auf die Infrastruktur komplett abgewendet werden. Die Optimierung von Notfallstrategien wird daher mit Fortschreiten des Klimawandels immer essenzieller. Dies kann bis zur präventiven, temporären Stilllegung besonders gefährdeter Infrastruktur gehen. Pläne und Prozesse, um beim Ausfall der Infrastruktur schneller reagieren und Transportlasten entsprechend verteilen zu können, werden ein fixer Bestandteil jeder Infrastruktur.

Speziell bei Infrastrukturen in alpinen Lagen sind die Herausforderungen groß. Entsprechende Grundgerüste und Strategien, sowie ein Ausbau der entsprechenden Simulationsfähigkeit dieser Vorgänge ist in entsprechenden F&E Aktivitäten einzubringen. Weiters ist auch auf eine adäquate Kommunikation mit den Verkehrsinfrastrukturnutzer:innen zu achten – siehe hierzu Kapitel 6.

### 5.3 F&E Felder des Infrastruktur Teilbereichs Straßenverkehr

#### 5.3.1 Materialien

Selbstverständlich gehören die zum Einsatz gebrachten Materialien und deren Verbesserungen zu den Kern-F&E Feldern im Infrastrukturbereich Straßenverkehr. Dies gilt insbesondere beim Straßenmaterial, das höchst unterschiedliche und zum Teil unvereinbare Eigenschaften erfüllen soll. Diese reichen von griffig, verschleißfest, lärmarm, geringer Verformung bei Hitze oder Trockenheit, guter Entwässerung bis zu geringer Hitzespeicherung und Abstrahlung. Idealerweise lässt sich das Material auch noch CO<sub>2</sub> arm herstellen und aufbringen.

Speziell für den letzten Punkt werden immer mehr Materialien mit hohem Recycling-Anteil verwendet. Hierbei sind umfangreiche F&E Aktivitäten zu setzen, um deren Langlebigkeit speziell unter veränderten klimatischen Verhältnissen einschätzen und verbessern zu können.

Einen speziellen Bereich stellen Logistik-Oberflächen wie Terminals dar. Auch hier ist zusätzlich zu den existierenden hohen Belastungen die Verschleißfestigkeit und eine geringe Verformung unter immer höher werdenden Hitze- und Extremwetterbedingungen zu garantieren.

#### 5.3.2 Konstruktion & Design

Durch den Klimawandel ist mit immer länger andauernden und heißeren Perioden zu rechnen. Straßenkonstruktionen müssen daher mit den damit verbundenen

Ausdehnungen zurecht kommen, um Verformungen und schnelle Abnutzung zu vermeiden. So sind beispielsweise robuste Fahrbahnübergangskonstruktionen (z. B. integrale Brücken) von hoher Bedeutung und auf klimawandelrelevante Anforderungen hin zu verbessern. Als großer CO<sub>2</sub> Emittent ist gerade bei Innovationen am Bau auf Klimaschutzaspekte und die Vermeidung von Fehlanpassung zu achten. CO<sub>2</sub>-armer Holzbau, mit einer langen Tradition und hohem Knowhow in Österreich ist hier ein vielversprechender Kandidat.

Andererseits könnte man die Erwärmung durch den Klimawandel auch nutzen und das Potenzial von Betonstraßen als Hitzespeicher zur Energiespeicherung ausloten (Anergie-Konzept).

### 5.3.3 Wartung

Entsprechend den bereits unter Punkt 5.1 beschriebenen F&E Aktivitäten zur allgemeinen Wartung, ist im Straßenbereich vor allem eine Umstellung auf pro-aktive Straßenerhaltung vorzusehen. F&E Aktivitäten können hier helfen, diese an den zukünftigen Bedarf sowie den entsprechenden Klimaerfordernissen anzupassen. Auf lange Sicht ist hierbei ein Einsparungspotenzial zu heben, das jedoch davor mit hohen Investitionen und einer Umstellung der Finanzierung einhergeht.

## 5.4 F&E Felder des Infrastruktur Teilbereichs Schienenverkehr

### 5.4.1 Schutzbauten

Die Streckenführung erfordert manchmal die Platzierung der (Schienen-)infrastruktur an geologisch kritischen Passagen. Zur Absicherung dieser Passagen vor Hochwasser, Hang- und Erdbeben, Steinschlag usw. sind Schutzmaßnahmen unausweichlich. Die durch den Klimawandel häufigeren und intensiveren Niederschläge sowie die Beeinträchtigung der Schutzvegetation müssen in die Dimensionierung und dem Ausbau dieser Schutz-

maßnahmen einfließen (siehe 5.1 Vorhersagen & Modellierungen). Dabei stehen neben klassischen Maßnahmen wie die Erhöhung von Dammbauten aber vor allem die Renaturierung, idealerweise die Wiederherstellung des „ursprünglichen Schutzes“ (z. B. Schutzwald, natürlicher Flusslauf, Retentionsbereiche, etc.) im Vordergrund. Hierzu sind Forschungsarbeiten zur theoretischen aber vor allem praktischen Umsetzung unter den veränderten klimatischen Bedingungen erforderlich. Nature-Based-Solutions und entsprechende Ingenieurbiologie zu Erosion/Hangschutz, Böschungsstabilisierungen, Schutzwald(wieder)aufbau, Hitzereduzierung und Entwässerung müssen entwickelt und deren Einsatz bewertet werden.

Aus Sicht der Betreiber ist schlussendlich ein Katalog bzw. ein Kataster mit den geeigneten Maßnahmen entsprechend der lokalen Gefahrensituation erforderlich, um die Sicherheit und den Betrieb durchgehend gewährleisten zu können.

Weiters ist in diesem Zusammenhang eine Betrachtung von potenziell kaskadischen Wirkungen von Klimarisiken wie beispielsweise zwischen Wald-/Flächenbrand und klimawandelbedingten Trockenheitsauswirkungen durchzuführen.

### 5.4.2 Materialien

Auch für die Schieneninfrastruktur ist eine Verbesserung der Eigenschaften der eingesetzten Materialien wichtig. Speziell Widerstandsfähigkeit (Resilienz) und Langlebigkeit sind, bei veränderten klimatischen Bedingungen, für eine(n) effiziente Wartung und Betrieb erforderlich. Für den Bau von Infrastruktur (Neubau oder Renovierung) sind jedoch vor allem berechenbare Qualitäten der eingesetzten Materialien entscheidend. Für die Abwägung von Erstellungskosten zu Nutzen bzw. der Langlebigkeit und Wartungsintensität sind verlässliche Zahlen entscheidend.

Hierzu ist auch der Schritt in Richtung Standardisierung/ Normierung und Qualitätssicherung notwendig. Am Ende sollte eine durchgehende Empfehlung und Bewertung von Baumaterialien stehen, die es den Infrastrukturbetreibern erlaubt, Material und Designs auf Basis von standardisierten Vorgaben und Prozessen auszuwählen. Gerade bei Materialien ist aber auch eine Prüfung der Wirkungen bezüglich verbesserter Klimatauglichkeit und Kreislauf-fähigkeit (z. B. Rezyklierfähigkeit) durchzuführen und Entwicklungen darauf abzustimmen.

## 5.5 F&E Felder des Infrastruktur Teilbereichs Binnenschifffahrt

### 5.5.1 Niedrigwasser

Niedrigwasser kann sehr große wirtschaftliche Auswirkungen haben. Verschlechterte Abladung oder der Ausfall der Transportmöglichkeit auf dem Wasser führen zu Produktionsausfällen und zusätzlichen Fahrten. Auch wenn mittelfristig (2050) keine wesentliche Verschlechterung erwartet wird, so ist eine „nicht garantierte“ Verfügbarkeit ein Nachteil gegenüber anderen, wesentlich ineffizienteren und umweltbelastenderen Verkehrsträgern. Zudem ist Resilienz bei Infrastrukturen mit einer wesentlich längeren Lebensdauer schon viel früher einzuplanen. Hierzu wird auf die Ergebnisse des EU-Projektes Platina3<sup>3</sup> verwiesen.

Innovative Entwicklungen bzw. die moderne Umsetzung historischer Lösungen von wasserbaulichen Maßnahmen können die Nutzungsmöglichkeiten der Donau auch bei geringeren Wasserständen ermöglichen. Hierzu sind vor allem Nature-Based-Solutions, mobile Flussbauelemente, Leitwerke und Bunen (bei Seichtstellen) gute Beispiele.

Eine weitere Möglichkeit ist die Weiterentwicklung von Schiffen mit geringen Tiefganganforderungen. Hier ist vor allem die Leistbarkeit dieser Schiffe und ein entsprechender, finanzieller/wirtschaftlicher Anreiz für die Nutzung solcher Schiffe entscheidend.

### 5.5.2 Systemische Betrachtung / Synchromodalität

Speziell für die Binnenschifffahrt gilt, dass sämtliche Maßnahmen und Entwicklungen im Kontext bzw. den Wechselwirkungen mit anderen Nutzungsmöglichkeiten des Wassers (z. B. Stromerzeugung, Kühlung etc.) betrachtet werden müssen. Entsprechende Nutzungskonflikte sollten durch Innovationen abgefedert werden.

Ein weiterer systemischer Aspekt ist die Gesamtbetrachtung der Transportachse Donau. Die Durchgängigkeit der gesamten Wasserstraße muss gegeben sein, um wirtschaftlich attraktiv zu sein. Daher ist eine Kommunikation und Koordination der Aktivitäten mit den Anrainerstaaten durchzuführen.

Verbesserte Informationen zur Wasserstraße sollten möglichst in Echtzeit ermittelt und ausgetauscht werden. Dies umfasst Daten zur Topographie des Flussbetts wie Veränderung von Tiefenrinne, Seichtstellenerkennung und die Verortung virtueller Bojen. Speziell die Zuverlässigkeit von Wasserstandsprognosen hinsichtlich Niederwasser und Hochwasser kann weiter verbessert werden. Hierzu zählen die Erweiterung der Prognosezeiträume und der zeitlich/räumlichen Genauigkeit. Auf Basis dieser Daten lassen sich saisonale Lösungen für Wartungs- und Transportplanung (z. B. Unterhaltungsbaggerung, Vorhersage von Lieferzeiten, Lagerhaltung und entsprechende Containerterminals) erstellen. Somit lässt sich das volle Potenzial der Synchromodalität (Verknüpfung der Transportplanung über mehrere Transport-Modi) am Beispiel der Redundanz von Schiene und Binnenwasserstraße für Containertransporte ausspielen.

<sup>3</sup> EU Projekt Platina3: <https://platina3.eu> mit dem Report zu den ausgearbeiteten Klimawandelanpassungsstrategien für Wasserstraßen: <https://platina3.eu/download/climate-change-adaptation-strategies>

## 6.0 Infrastrukturbereich Kommunikationsnetze

---

Kommunikationsnetze werden laut Rundfunk und Telekom Regulierungs-GmbH (RTR) wie folgt definiert: „Unter den Begriff Kommunikationsnetz fallen Übertragungssysteme und gegebenenfalls Vermittlungs- und Leitwegeinrichtungen, die die elektronische Übertragung von Signalen ermöglicht“ (§ 3 Z 11 TKG 2003)

Damit umfasst dieses Themenfeld alle Einrichtungen zur Kommunikation für die Aufbereitung der Signale beim Sender, die Übertragung der Datenpakete über das Trägermedium und die Zusammensetzung beim Empfänger – also inklusive Hardware und Leitungen. Dabei nicht umfasst sind die dahinterliegenden Informations- und Kommunikationstechnologie-Anwendungen (IKT). Die Betrachtung beschränkt sich also rein auf die Datenübertragung und nicht deren Verarbeitung an den Endpunkten. Strukturiert nach den physikalischen Übertragungsmedien lassen sich **leitungsgebundene Systeme** beispielsweise basierend auf Kupferleitungen für elektrische Signale oder Glasfasern für optische Signale **leitungsungebundenen Systemen** gegenüberstellen, die auf Basis von Funkwellen, Schallwellen oder mittels Infrarot implementiert sind. Ausgehend von der Übertragungstechnologie lassen sich weiters leitungsgebundene Kommunikationsnetze wie kabelbasiertes Ethernet oder auf Glasfasern basierende Fiber Channels, das Telefonnetz mit dem klassischen Festnetz und den Digital-Subscriber-Line-(DSL)-Diensten sowie Strom-

leitungen mit der PowerLine-Technologie unterscheiden. Neben der Mobilkommunikation und den Wireless Local Area Networks (WLAN) kann auch mittels Infrarot und Funk, beispielsweise via Bluetooth für kurze Strecken oder mittels Richtfunk für weite Strecken und über Satelliten kommuniziert werden.

Durch die überregionale Ausbreitung von Kommunikationsnetzen sind diese von einer Vielzahl von Auswirkungen des Klimawandels betroffen. Insbesondere die steigenden Temperaturen stellen ein Problem für die Kühlung der elektronischen Komponenten dar. Starkregenereignisse stellen eine Bedrohung für einzelne oder eventuell sogar für eine Gruppe von Elementen, beispielweise Mobilfunkmasten dar. Steigende Windgeschwindigkeiten führen zu Ausfällen von Antennen die, um eine möglichst hohe Reichweite zu haben, an exponierten Stellen errichtet wurden. Da Kommunikationsnetze im Fall von Katastrophen eine besondere Rolle spielen, sind sie in vielen Fällen redundant aufgebaut und verfügen über Backup-Stromversorgungen.

Die folgende Tabelle bietet einen Überblick der identifizierten Themenschwerpunkte. Diese ist nach den im IKT-Bereich gängigen Lebenszyklusphasen strukturiert und fasst die Themenschwerpunkte in allgemeine Forschungs- und Entwicklungsfelder-(F&E)-Felder zusammen.

Infrastruktur Teilbereich	F&E Felder	Themenschwerpunkte
Planung	Gefährdungskatalog	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Grundlagen für Standortwahl (z. B. Gefährdungsstufen) auf aktuellen Stand halten und zugänglich machen</li> <li>– Großflächige Datenerfassung von klimarelevanten Ereignissen initiieren</li> <li>– Themenübergreifenden Gefährdungskatalog erarbeiten (nicht nur im Hinblick auf Kommunikationsnetze)</li> <li>– Gemeinsame Betrachtungen von organisatorischen und technischen Maßnahmen sicherstellen</li> </ul>
	Standards, Normen, Guidelines	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Exemplarische Schutzlösungen entwickeln</li> <li>– Branchenspezifische Richtlinien zum Bau von Anlagen entwickeln</li> <li>– Nachhaltigkeit als Prinzip in Standards und Guidelines verankern</li> <li>– Bauliche Synergieeffekte nutzen</li> <li>– Baunormen anpassen, erweitern, ergänzen</li> <li>– Industriestandards an den Klimawandel anpassen</li> <li>– Vorgaben aus Deutschland analysieren</li> <li>– Schwellenwerte wo nötig erhöhen</li> </ul>
	Planung und Design	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Abgestuftes modulares technologisches Design für einen einfacheren Austausch fehlerhafter Komponenten einführen</li> </ul>
Bau und Konstruktion	Demand und Effizienz	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Fehlanpassung bei der Errichtung von Kommunikationsinfrastrukturen vermeiden</li> <li>– Energiesynergien in Netzknoten nutzen (Abwärme, Kühlung)</li> <li>– Verhalten von Komponenten im Zusammenhang mit Klimawandelerignissen analysieren</li> <li>– Systeminterne, klimawandelbezogene Daten erfassen</li> <li>– Anhand der erfassten Daten Optimierungsverfahren entwickeln</li> <li>– Einfache Handhabung in Wartung und Betrieb sicherstellen</li> <li>– Variablen, nachfrageorientierten Servicebetrieb ermöglichen</li> </ul>
	Robustheit	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Batteriebetriebene Backup-Systeme einsetzen</li> <li>– Low-Power-/ -energieautarke Kommunikationsformen mitbedenken</li> <li>– Energie vor Ort gewinnen</li> <li>– Energieautarkie von Netzknoten erhöhen</li> </ul>
Wartung und Betrieb	Resilienz und Redundanz	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Kooperationen zwischen Betreibern im Krisenfall sicherstellen</li> <li>– Regionalisierung bei Kommunikationsnetzen fördern</li> <li>– Gesamtresilienz von Anlagen bewerten</li> <li>– Peer-to-Peer, Amateurfunk etc. als Ausfallebene integrieren</li> <li>– Redundanzen vorsehen, sodass sich Resilienz und Robustheit erhöht</li> </ul>
	Lifecycle	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Lifecycle von Komponenten, Baustoffen etc. berücksichtigen – vom Bau über den Einsatz und die Wartung bis zur Entsorgung und den Rückbau</li> </ul>
	Systemkomplexität, Abhängigkeiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Abhängigkeit von Technologie- und Knowhow-Anbietern etc. reduzieren</li> <li>– Autarkie sicherstellen</li> </ul>

Weiterentwicklung	Gesamtversorgung	<ul style="list-style-type: none"> <li>– „Filetstücke“ mit ökonomisch schwächeren Gebieten verbinden</li> <li>– Nationale Strategie für Kommunikationsnetze sowie IT/OT-Strategie für die Betreiber kritischer Infrastrukturen entwickeln</li> <li>– Klimafolgen bei Ausschreibungen im Sinne eines „Climate Proofing“ berücksichtigen</li> </ul>
	Capacity Building	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Laufend an die sich kontinuierlich ändernden Anforderungen und an die laufende Weiterentwicklung von Komponenten, Software, Vorgaben etc. anpassen</li> <li>– Capacity Building forcieren, um dem Fachkräftemangel und damit auch den vom Klimawandel ausgelösten Herausforderungen entgegenwirken zu können</li> </ul>
	Bewusstseinsbildung	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Climate Impact Day kommunizieren</li> <li>– Neue Anforderungen an Kommunikationsnetze durch gesellschaftliche Veränderungen wahrnehmen</li> <li>– Bewusstsein bei Entscheidungsträger:innen sowie in der Bevölkerung schärfen</li> </ul>

Tabelle 4

Übersichtstabelle F&E Felder und Themenschwerpunkte für den Infrastrukturbereich Kommunikationsnetze

## 6.1 F&E Felder des Infrastruktur Teilbereichs Planung

Um eine langfristige Funktion von einzelnen Elementen eines Kommunikationsnetzes zu ermöglichen, muss bereits bei der Planung auf die zu erwartenden Folgen des Klimawandels eingegangen werden. Diese Anforderungen müssen einerseits erfasst, laufend aktualisiert sowie zugleich in Form von Normen und Standards und damit in verbindlichen Vorgaben verankert werden, um die Rahmenbedingungen für einen fairen Wettbewerb zu definieren.

### 6.1.1 Gefährdungskatalog

Durch die Erstellung eines Gefährdungskataloges wird allen Betreibern von Kommunikationseinrichtungen die Möglichkeit gegeben, die aktuellen zu erwartenden Anforderungen hinsichtlich des Klimawandels abzuschätzen. Die dem Gefährdungskatalog zugrundeliegenden Daten müssen laufend erhoben und ausgewertet werden und in einem weiteren Schritt zurück in den Gefährdungskatalog einfließen. Dadurch ist eine österreichweite großflächige Datenerfassung nötig.

Neben den technischen müssen auch organisatorische Maßnahmen im Rahmen eines ganzheitlichen Ansatzes Beachtung finden.

Der Gefährdungskatalog muss von seiner Konzeption nicht nur die Anforderungen von Kommunikationsnetzen abdecken, sondern einen themenübergreifenden Ansatz verfolgen da die Klimawandelanpassung in vielen Bereichen Einzug halten wird. Eine Datenbank mit verwandten Themenfeldern wurde vorgeschlagen. Generell kann ein Katalog auch bei laufender Aktualisierung nie vollständig sein. Daher wird zusätzlich eine Vorgehensmethode für eine laufende Anpassung benötigt, die unter anderem eine regelmäßige Risikoanalyse vorsieht. Zudem sind nicht-technische Anforderungen, wie beispielsweise der Faktor Mensch unter anderem in Bezug auf die steigenden Belastungen, ausreichend zu beachten. Marktpotenziale werden in automatisierten Systemen und Künstliche-Intelligenz-Komponenten gesehen.

### 6.1.2 Standards, Normen, Guidelines

Standards und Normen werden im Laufe von Jahren von Expert:innen nach den aktuellen Erkenntnissen entwickelt und angepasst. Je nach Art des Standards kann zwischen nationalen und internationalen Vorgaben unterschieden werden, wobei nationale oft von internationalen Standards abgeleitet werden. Diese gelten dann für (zumeist fünf bis zehn) Jahre und werden dabei in der Regel nur in Teilbereichen ergänzt und angepasst. Die aktuelle Situation in Bezug auf den Klimawandel macht eine grundlegende Überarbeitung einzelner Normen im Zusammenhang mit physikalischen Schwellwerten, speziell im baulichen Bereich notwendig. Zudem müssen kürzere Überarbeitungszyklen angedacht werden, da die Entwicklung in einigen Teilbereichen nicht absehbar ist.

Eine mögliche Orientierung in diesem Bereich bieten die Normen und Vorgaben der Bundesrepublik Deutschland, die bereits über ein angepasstes Regelwerk verfügt.

Ein wesentliches Element zur Unterstützung ist die Erstellung von konkreten Guidelines sowie einzelne exemplarische Schutzlösungen. Diese sollten sowohl zur Orientierung dienen als auch im Rahmen von Ausschreibungen einen verbindlichen Charakter haben, um nicht jene Anbieter zu benachteiligen, die sich stärker für klimawandelangepasste Maßnahmen entscheiden. Neben einem Mindestmaß an Klimawandelanpassungsmaßnahmen bei Ausschreibungen muss ein weiterer wesentlicher Aspekt die Nachhaltigkeit sein; bauliche Synergieeffekte müssen ebenfalls berücksichtigt werden.

Aus Sicht der Workshopteilnehmer:innen könnten umgehend in Bezug auf die Klimawandelanpassung nutzbare Ergebnisse erzielt werden, beispielsweise durch eine effizientere Kabellegung, die Berücksichtigung von Verteilerzentralen und einer passiv technischen Ausgestaltung der Stauernetze für kritische Infrastrukturen. Marktpotenziale werden in erster Linie bei alternativen Kühlmethoden und passiv ausgestalteten Stauernetzen gesehen.

### 6.1.3 Planung und Design

Aufgrund der mittlerweile hohen Komplexität der technischen Ausführungen ist auch die Verzahnung der Komponenten gestiegen. Ein abgestuftes technologisches Design erlaubt es, einen modularen Aufbau der technischen Komponenten zu implementieren. Werden dabei einzelne Bestandteile fehlerhaft, muss nur der tatsächlich fehlerhafte Teil ersetzt werden und nicht die gesamte Anlage. Dies unterstützt auch die Nachhaltigkeit und die Kreislaufwirtschaft.

## 6.2 F&E-Felder des Infrastruktur Teilbereichs Bau und Konstruktion

Im Teilbereich Bau und Konstruktion werden jene Tätigkeitsfelder zusammengefasst, die der Errichtung von Kommunikationseinrichtungen dienen. Dabei muss sowohl der langen Nutzungsdauer als auch den durch den Klimawandel veränderten Anforderungen Rechnung getragen werden. Konnte bisher auf ein bestehendes Knowhow und entsprechende Erfahrungen gesetzt werden, so muss nun auf die sich rasant verändernden und zum Teil bisher nicht dagewesenen Umgebungsbedingungen, beispielsweise durch höhere Temperaturen oder steigende Windgeschwindigkeiten, eingegangen werden.

### 6.2.1 Demand und Effizienz

Um ein optimal an den Klimawandel angepasstes System zu entwerfen und in weiterer Folge zu betreiben, ist es wichtig die systemeigenen Anforderungen optimal einschätzen zu können. Um das zu erreichen, muss das Verhalten der einzelnen Komponenten des Systems analysiert und entsprechende Optimierungsverfahren entwickelt werden.

Um in weiterer Folge einen optimalen Betrieb trotz laufend steigender Komplexität zu gewährleisten, muss die Möglichkeit einer möglichst einfachen Handhabung von Wartung und Betrieb ermöglicht werden.

Dieser Bereich wird als zentrale Entwicklungsanforderung eingeschätzt.

Im Zusammenhang mit der Effizienz ist die Nutzung bestehender Gebäude, die für kritische Infrastrukturen optimal positionierten Netzknoten und die Unterscheidung zwischen systemrelevanten und anderen Prozessen relevant. Weiters ist Dark Fiber (funktionsfähige, ungenutzte Lichtwellenleiter) relevant, jedoch kaum vorhanden. Zudem wurde auf die ausschlaggebenden geographischen Gegebenheiten in Österreich hingewiesen.

Marktchancen sind in erster Linie im Zusammenhang mit der Nutzung von Abwärme und dem Forcieren von passiven Kühlsystemen (Schwerkraftlüftung) zu sehen. Zudem sind zumindest grundlegende Aspekte als notwendig in jeder Lösung zu erachten, da Systeme sonst als unverkäuflich einzuschätzen sind. Relevant ist zudem die Optimierung nach dem Bedarf (Vermeidung von Overprovisioning, Standby-Energieverbrauch, etc.).

### 6.2.2 Robustheit

Um die Häufigkeit von Ausfällen von Kommunikationsnetzen zu reduzieren, ist es notwendig, deren Robustheit zu erhöhen. Um dies zu erreichen, müssen die Möglichkeiten zur lokalen Energiegewinnung beispielsweise mittels Photovoltaik untersucht werden, um die Abhängigkeit von Energieversorgern zu reduzieren. Ebenfalls relevant in diesem Zusammenhang ist der Einsatz von Low-Power- und energieautarken Kommunikationsformen.

Es ist zu beachten, dass es sich im Kern der Fragestellung um wesentliche Abläufe und Services handelt, die immer schon notwendig waren und nun verspätet auch im Bereich der IKT entsprechende Bedeutung bekommen werden. Zudem müssen die damit verbundenen Kosten beachtet werden.

Das Thema Photovoltaik ist in diesem Zusammenhang auch besonders relevant. Insbesondere der Einsatz entsprechender Photovoltaik-Anlagen in der Nähe der Anlagen von Kommunikationsnetzen, beispielsweise auf Carports oder auf Containern, die für die Infrastruktur genutzt werden und der zusätzlichen Einsatz von Windkraftanlagen bietet sich an. Auch dem Einsatz von Lösungen auf Basis von Wasserstoff wird eine hohe Relevanz beigemessen.

Grundsätzlich ist die örtliche Zusammenführung von Energieverbrauch und Energiegewinnung ein wesentlicher Faktor für die Robustheit von Systemen. Weiters kann durch den Einsatz solcher Anlagen die Schwarzstartfähigkeit forciert werden, um im Schadensfall die Systeme wieder hochfahren zu können. In diesem Zusammenhang werden insbesondere Energiequellen auf Wasserstoffbasis als Markt- und Exportpotenzial gesehen. Weiters ist über die Entwicklung von Mini-kraftwerken nachzudenken. Eine hohe Akzeptanz der Bevölkerung im Hinblick auf dezentrale alternative Energiegewinnungsformen ist zu erwarten.

## 6.3 F&E Felder des Infrastruktur Teilbereichs Wartung und Betrieb

Die Wartung und der Betrieb von Kommunikationsnetzen gestalten sich auf Grund von Rahmenbedingungen wie weitläufigen, physischen Netzwerke, Sendeanlagen an exponierten Stellen oder den sich ständig verändernden Anforderungen sehr aufwendig. Dazu kommt die zentrale Rolle, die Kommunikationsnetze im Krisenfall für das Krisenmanagement einnehmen und der damit verbundenen notwendigen hohen Verfügbarkeit. Somit ist die ständige Verfügbarkeit von Services in entsprechender Qualität sowohl ein signifikanter Wirtschafts- als auch ein zentraler Sicherheitsfaktor.

### 6.3.1 Resilienz und Redundanz

Eine hohe Resilienz erlaubt es den Betreibern von Kommunikationsnetzen im Schadensfall umgehend den Betrieb wiederherzustellen. Um die Resilienz zu steigern, müssen verschiedene Maßnahmen im Vorfeld geplant und abgestimmt werden. Insbesondere die Kooperation zwischen Betreibern im Krisenfall stellt hier ein zentrales Element dar. Auch alternative Kommunikationstechnologien wie Peer-to-Peer (P2P) oder Amateurfunk sollen als Ausfallsebenen in eine entsprechende Planung integriert werden. Eine weitere Steigerung der Resilienz ergibt sich durch eine Regionalisierung von Kommunikationsnetzen. Ein weiterer Aspekt ist neben der Betrachtung der Resilienz einzelner Komponenten die Betrachtung der Gesamtresilienz von Anlagen und Systemen. Wesentlich ist auch, die rasche Wiederherstellung des Betriebs nach einem Schaden. Insbesondere batteriebetriebene Backupsysteme sind hier von Bedeutung.

Wo erforderlich, müssen zudem Redundanzen eingeplant werden, um sowohl die Resilienz als auch die Robustheit zu erhöhen.

Das Thema ist wesentlich, um überhaupt Marktchancen zu haben. Ohne entsprechende Lösungen sind Systeme unverkäuflich. Eine entsprechende Bewertung des Branchenrisikos (z. B. im Zuge der Netz- und Informativrichtlinie 2, NIS2) gilt als unverzichtbar, wobei eine Gesamtresilienz in der Praxis als immer weniger erreichbar gilt.

### 6.3.2 Lifecycle

Um eine optimale Anpassung an den Klimawandel zu erreichen ist eine gesamtheitliche Betrachtung notwendig, die den kompletten Lifecycle sowohl von technischen Komponenten als auch von baulichen Anlagen betrachtet. Dabei müssen alle Aspekte von den Anforderungen über die Planung, Errichtung, Betrieb und Wartung bis hin zum Rückbau berücksichtigt werden.

Aktuell besteht eine starke Abhängigkeit von einzelnen Anbietern. Entsprechende Lifecycle-Planungen würden diese wesentlich verringern. Zudem müssen verschiedene Richtlinien der Europäischen Union (EU) wie die EU-Taxonomie-Verordnung berücksichtigt werden.

Marktchancen sind für Lösungen, die den vollständigen Lebenszyklus im Zusammenhang mit spezifischen Klimaanpassungsmaßnahmen im Scope haben, zu erwarten.

### 6.3.3 Systemkomplexität, Abhängigkeiten

Aktuelle Kommunikationsnetze basieren auf komplexen Technologien, die teilweise nur von wenigen spezialisierten Anbietern am Markt angeboten wird. Damit verbunden entsteht eine Abhängigkeit seitens der Betreiber von Kommunikationsnetzen, die diese in ihrem Handlungsspielraum einschränkt. Ebenfalls nur eingeschränkt verfügbar sind Mitarbeiter:innen mit dem benötigten Spezial-Knowhow. Hier müssen entsprechende Maßnahmen gesetzt werden, um eine Autarkie der Betreiber sicher zu stellen.

## 6.4 F&E Felder des Infrastruktur Teilbereichs Weiterentwicklung

Es ist davon auszugehen, dass die Anforderungen an Kommunikationsnetze weltweit massiv weiter steigen werden. Damit verbunden ist die Notwendigkeit der Anpassung auf allen Ebenen an die sich verändernden Klimabedingungen. Es werden laufend neue Technologien entwickelt, die sowohl für die Betreiber von Kommunikationsnetzen als auch deren Kunden einen wesentlichen Wirtschaftsaspekt darstellen. Österreich als Wirtschaftsstandort ist nicht nur abhängig von funktionierenden Kommunikationsnetzen, deren Weiterentwicklung im Hinblick auf den weltweiten Klimawandel bietet eine Vielzahl an globalen wirtschaftlichen Optionen.

#### **6.4.1 Gesamtversorgung**

Für die Betreiber von Kommunikationsnetzen stehen wirtschaftliche Aspekte in vielen Fällen im Mittelpunkt. Urbane Bereiche mit vielen Kund:innen stellen daher ein interessanteres Tätigkeitsfeld dar, im Vergleich zu weniger stark bevölkerte Regionen. Um die Gesamtversorgung sicherzustellen, wäre das Junktimieren von wirtschaftlich ertragreicheren Regionen mit solchen, die eine geringer wirtschaftliche Relevanz aufweisen, eine Lösungsmöglichkeit.

Ein weiterer, wesentlicher Entwicklungsschritt für die österreichischen Kommunikationsnetzbetreiber würde eine nationale Strategie für Kommunikationsnetze darstellen. Außerdem wird eine IT/OT-Strategie speziell für die Betreiber kritischer Infrastrukturen als notwendig erachtet.

Im Zusammenhang mit der Gesamtversorgung ist die Schaffung eines ministeriellen Gremiums zur Bewältigung der Anforderungen an die Anpassung an den Klimawandel zu überlegen. Die Förderung des Ausbaus der Breitbandversorgung sollte zudem um einzelne Perspektiven erweitert werden, darunter Do No Significant Harm (DNSH), Sustainable Development Goals (SDG) und Nachhaltigkeit. Wenn nötig sollten zudem einzelne Services eingeschränkt werden, beispielsweise bei großer Hitze. Eine entsprechende Datenstrategie kann hier zusätzliche Entlastung bringen.

Ein Hauptaugenmerk ist auf die mit einem Gesamtausbau verbundenen Bewertungen für den Einsatz von Energiegewinnungsformen zu legen.

#### **6.4.2 Capacity Building**

Kommunikationsnetze werden nicht nur laufend gewartet, sie werden auch kontinuierlich an neue Anforderungen, sowohl technischer Natur als auch im Zusammenhang mit dem Klimawandel, angepasst. Damit verbunden ist eine laufende Weiterentwicklung von Komponenten, um die entsprechenden Vorgaben umsetzen zu können.

Abgesehen von der technischen Weiterentwicklung steigt auch der Bedarf an Fachkräften, der aktuell das Angebot weit übertrifft. Um dem entgegenzuwirken, muss ein strategisches Capacity Building forciert werden.

#### **6.4.3 Bewusstseinsbildung**

Um langfristig erfolgreich Klimawandelanpassungsmaßnahmen umsetzen zu können, muss eine entsprechende Bewusstseinsbildung bei allen beteiligten Akteur:innen betrieben werden. Damit wird nicht nur bei den Entscheidungsträger:innen das Bewusstsein geschärft, sondern auch in der breiten Bevölkerung. Eine Möglichkeit, durch gezielte Aktionen das Bewusstsein auf breiter Basis zu fördern, ist die mediale Bewusstmachung wie beispielsweise durch den Climate Impact Day. Aber auch umgekehrt müssen die neuen Anforderungen an Kommunikationsnetze durch gesellschaftliche Verhaltensänderungen antizipiert werden.

## 7.0 Herausforderungen und FTI-Bedarfslagen in der Anpassung städtischer Infrastrukturen

---

Im Rahmen eines Expert:innenworkshops, am 5. Juni 2023, wurden Herausforderungen durch die Folgen des Klimawandels speziell für Städte identifiziert und Forschungs-, Technologie- und Innovationsbedarfe zur resilienten Gestaltung der Infrastrukturen der Städte identifiziert. Im Folgenden wird eine Synthese dieser Ergebnisse für die adressierten Infrastrukturbereiche mit Fokus auf Städte präsentiert, die die Einzelresultate der Gruppendiskussionen zusammenführt.

### 7.1 Klimawandelanpassung der städtischen Infrastruktur im Bereich Energie

Aufgrund der steigenden Temperaturen wird der Kühlbedarf in Städten zunehmen. Klimaanlagen sind anthropogene Wärmequellen für den Außenraum und bilden eine Rückkopplung zum städtischen Wärmeinsel-effekt (Urban Heat-Island Effect, UHI). Ein zusätzliches Anheizen des UHI ist zu vermeiden. Daher – und auch aus Gründen der Energieeffizienz – ist vor allem eine passive Kühlung anzustreben. Dazu zählen Verschattungen, Gebäude- und Fassadenbegrünung, Nachtkühlung/intelligente Lüftung und Gebäudedämmung. Insbesondere die Sanierung von Bestandsgebäuden, um die Energieeffizienz und den thermischen Komfort im Winter und im Sommer (Abhalten der Hitze) zu steigern, wird als notwendig erachtet. Bauwerksbegrünung verhindert eine direkte Sonneneinstrahlung auf die Fassade und Pflanzen kühlen durch Evapotranspiration die Umgebung. Daher trägt Begrünung dazu bei, den Bedarf an Gebäudekühlung zu reduzieren.

In den Fällen, wo eine passive Kühlung nicht ausreicht, z. B. in Krankenhäusern, Pflegeanstalten, etc., und eine aktive Kühlung erforderlich ist, ist der Kühlbedarf nachhaltig bzw. erneuerbar vorzuplanen. Im Vergleich zu Klimaanlagen können Wärmepumpen, die im Winter zum Heizen eingesetzt werden, im Sommer auch relativ energiesparend kühlen. Hier ist zu bedenken, welcher Strombedarf dadurch entsteht und wie dieser erneuerbar zur Verfügung gestellt werden kann<sup>4</sup> (Anpassung, die sich negativ auf den Klimaschutz oder andere Umweltbereiche (Grundwassertemperatur) auswirkt (Fehlpassung) ist zu vermeiden). Eine weitere Möglichkeit zur aktiven Kühlung besteht über Lüftungsanlage in Kombination mit einem Erdwärmetauscher.

Dadurch ergibt sich die Herausforderung, wie Energienetze und Energiespeicher ausgebaut und angepasst werden müssen, um den zukünftigen sommerlichen Kühlbedarf abdecken zu können. Eine wesentliche Herausforderung ist die Integration lokaler Lösungen der Energiegenerierung wie Photovoltaik (PV), Geothermie und Wind in die bestehende Infrastruktur. Im dicht bebauten urbanen Raum mit bereits hohem Nutzungsdruck sind die Möglichkeiten für Erneuerbare jedoch beschränkt bzw. im Vergleich zum Energiebedarf pro m<sup>2</sup> unterkritisch. Ebenso beachtenswert ist die Option einer Tiefenspeicherung von Wärme für den Winter und eine Nutzung im Sommer für die Kühlung.

<sup>4</sup> Hinweise zur Entwicklung des Strombedarfs und der erneuerbaren Stromerzeugung bis 2040 finden sich im Entwurf zum integrierten österreichischen Netzinfrstrukturplan (ONIP 2023).

Im Rahmen des notwendigen massiven Ausbaus erneuerbarer Energieträger in Österreich<sup>5</sup> sollte eine geeignete Photovoltaik-Strategie (Dach, Parkplätze, Freiflächen) entwickelt werden, wobei der Denkmalschutz mitunter eine technische Einschränkung darstellt. Von Österreichs Energie wurde eine Studie zur Ermittlung des Flächenpotenzials für den Photovoltaik-Ausbau in Österreich

erstellt [15] und ein Positionspapier herausgegeben. Weiters verfügt das Land Oberösterreich über eine Photovoltaik Strategie 2030 [16]. Optimale Mehrfachnutzung von Dachflächen (Gründach, Retentionsdach, PV) sind zu berücksichtigen. Auch Verschattungseffekte vs. Aufheizen von PV-Anlagen und ihre Wirkung auf die Gebäude sollten Beachtung finden.

F&E Felder	Themenschwerpunkte
Integration erneuerbarer Energieträger in Gebäudebestand und Freiraum	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Hitzeentwicklung vs. Verschattung der Gebäudehülle durch PV</li> <li>– Weiterentwicklung der Solaren Kühlung</li> <li>– Untersuchung der Anforderungen für Integration von PV auf Parkplätzen, Radwegen, etc.;</li> <li>– Management bei verbundenen/komplexen Systemen – z. B. Grundwassertemperatur – Erwärmung des Grundwassers durch Kühlnutzung; Abkühlung durch Wärmeentzug im Winter</li> </ul>
Passive Kühlung	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Reduktion der solaren Einstrahlung auf Glas- und Fensterflächen</li> <li>– Optimierte Lösungen für automatisierte Gebäudelüftung</li> <li>– Effiziente Lösungen und skalierbare Ansätze für naturbasierte Kühlung durch Pflanzen und Wasser</li> </ul>
Entwicklung Energienetze und Speicher	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Resilienz steigern durch kleinräumige Bedarfsdeckung (inkl. Erhöhung von Speichermöglichkeiten, speziell auf urbane Bedürfnisse abgestimmte Energiegemeinschaften)</li> <li>– Maßnahmen zur Steigerung der operationalen Flexibilität (z. B. Weiterentwicklung von Smart Grids zur Minderung der Volatilität im Netz)</li> <li>– Potenzialuntersuchung von erneuerbarer Fernkälte</li> <li>– Vertiefte Untersuchung des (Ausbau-)Potenzials von Gebäudekopplungen</li> </ul>
Klimagerechte Bauweise	<ul style="list-style-type: none"> <li>– CO<sub>2</sub>-sparende und zirkuläre Bauweise als klimaschonende Voraussetzung</li> <li>– Integrierte Gebäudebegrünung &amp; Architektur</li> <li>– Kombinierte Systeme für Grünflächen, PV und Regenwassernutzung und -speicherung</li> <li>– Verschattung der Gebäudehülle</li> </ul>
Produktentwicklung und Effizienzsteigerungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Neue Technologien im Bereich Auswertung und automatisierte Reaktion („selbstheilende Netze“)</li> <li>– Neue Technologien für kleinräumiges Netz- und Energiemanagement</li> </ul>

Tabelle 5

Übersichtstabelle F&E-Felder und Themenschwerpunkte Städte: Bereich Energie

<sup>5</sup> Im Szenario Transition des ÖNIP wird 2040 im Vergleich zu 2020 viermal so viel Strom aus Windkraft und zwanzigmal so viel Strom aus PV erzeugt.

## 7.2 Klimawandelanpassung der städtischen Infrastruktur im Bereich Kommunikationsnetze

Funktionierende Kommunikationsnetze und Kommunikationsmaßnahmen zur Bevölkerung stellen insbesondere im Krisenfall (Ausfall von wesentlichen Infrastrukturen wie z. B. Energieversorgung, anhaltende Hitzeperioden und Wasserknappheit, Dauerregen und Überflutungen) eine Herausforderung dar. Die Notwendigkeit einer effektiven Kommunikation im Katastrophenfall, wie z. B. bei Überflutungen ist sicherzustellen. Die Maßnahmen sind dabei auf unterschiedlichen Ebenen zu entwickeln:

Kommunikationssysteme zu Bürger:innen

- Die Optimierung von Warnsystemen im Krisenfall.
- Die Bereitstellung von Informationen über Maßnahmen, die Bewohner:innen selbst ergreifen können, um sich bei Starkregenereignissen und andere Naturgefahren/Klimarisiken zu schützen, einschließlich Bauwerksbegrünung.
- Das Schaffen von Bewusstsein und präventiver Information der Bevölkerung in Bezug auf Hitzeperioden und Angebote wie kühlende Orte und Trinkwasserbrunnen.
- Nutzung von Kommunikationssystemen im Rahmen von Krisen (Virtual Operation Support Teams – VOST) für spontane Hilfsteambildung.
- Positionieren von Tatsacheninformationen in verschiedenen sozialen Medien zur Information der Bevölkerung und auch um Falschgerüchten entgegenzusteuern.

Kommunikation zu Verwaltung, Behörden und Einsatzorganisationen:

- Die Herausforderung, die Kommunikation während eines Stromausfalls aufrechtzuerhalten und die Verbindung zu den Energienetzen sicherzustellen.
- Bewusstseinschaffung über die Querschnittsfunktion und dementsprechende Bedeutung von Kommunikation in Krisen- oder Naturereignissituationen (vergleichbar mit der fundamentalen Bedeutung elektrischer Energie für annähernd jeden Gesellschaftsbereich).
- Aggregieren von Posts in verschiedenen sozialen Medien und Bereitstellen der Berichte an die Stäbe der Behörden und Einsatzorganisationen für eine Anreicherung der Lagebeurteilung.
- Sicherstellung der Authentizität von Posts, Videos, Berichten; Abgleich mit offiziellen Quellen.

Um dies zu ermöglichen, ist eine Digitalisierung der Behörden und ein verbesserter Bürger:innendienst zur Unterstützung der Umsetzung von Klimawandelanpassungsmaßnahmen notwendig.

Die Workshop- Ergebnisse zeigen, dass in Bezug auf die Bereitstellung der technischen Infrastrukturlösungen (technische Netze, Mobilfunk, Fernsehen etc.) Vorurteile und Skepsis in Hinblick auf höheren Kosten von Anpassungsmaßnahmen in städtischen Gebieten und am Land abgebaut werden müssen.

Bedarfslagen und unterschiedlichen Ansätze in ländlichen Gebieten und Städten müssen erarbeitet werden. Es besteht dafür die Notwendigkeit einer stärkeren Vernetzung der Kommunen und Regionen, um eine gemeinsame Strategie zu entwickeln.

F&E Felder	Themenschwerpunkte
Demand und Effizienz bei Gebäuden der Kommunikations-Infrastrukturen (Data Center etc.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Optimierte Nutzung von bestehenden Gebäuden</li> <li>– Energiesynergien nutzen durch Vernetzung mit externen Energiequellen (Abwärme, Kühlung)</li> <li>– Integration von erneuerbaren Energieträgern wie Photovoltaik</li> </ul>
Optimierung des Kühlungsbedarfs	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Bau von Anlagen an Orten mit geringerem Kühlbedarf</li> <li>– Verwendung von Komponenten mit geringerem Energiebedarf</li> <li>– Adaption des Serviceangebots im Hinblick auf benötigte Services</li> </ul>
Kooperationen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Im Krisenfall Kooperation zwischen Betreibern sicherstellen</li> <li>– Regionalisierung von Kommunikationsnetzen fördern</li> <li>– Partnerschaften mit Unternehmen und Gemeinden initiieren</li> <li>– Redundanzen vorsehen, um eine höhere Robustheit zu gewährleisten</li> </ul>
Kommunikation zur Bewusstseinsbildung und im Katastrophenfall	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Bewusstseinsbildung und Bereitstellen von aktuellen Informationen für die Bevölkerung</li> <li>– Steigerung der Robustheit von Kommunikationsnetzen beispielsweise durch batteriebetriebene Backupsysteme</li> <li>– Reduzierung der Energieabhängigkeit durch Energiegewinnung vor Ort</li> </ul>

Tabelle 6

Übersichtstabelle F&E-Felder und Themenschwerpunkte Städte: Bereich Kommunikationsnetze

### 7.3 Klimawandelanpassung der städtischen Infrastruktur im Bereich Verkehr

Um die städtische Mobilität nachhaltiger und widerstandsfähiger gegen die Auswirkungen des Klimawandels zu gestalten, werden langfristige Verkehrs- und Mobilitätspläne in Richtung aktive Mobilität und öffentliche Verkehrsmittel benötigt, die den künftigen Herausforderungen des Klimawandels, Mobilitätsverhaltens, der multifunktionalen Ansprüche an den öffentlichen Raum und Bevölkerungswachstums in Städten gerecht werden.

Im Rahmen der **langfristigen Mobilitätsplanung** gewinnt das Konzept der „15-Minuten-Stadt“ an Bedeutung, in dem Wohn-, Arbeits-, Freizeit- und Versorgungseinrichtungen in unmittelbarer Nähe verfügbar sein sollen, um kurze Wege und eine aktive Mobilität sowie geringere Abhängigkeit vom motorisierten Verkehr zu ermöglichen. Aus einer Klimawandelanpassungsperspektive eröffnet das Konzept der 15 Minute City die Möglichkeit urbanen

Raum stärker für aktive Mobilitätsformen zu nutzen und diese Verkehrsinfrastruktur mit Begrünungsmaßnahmen besser an den Klimawandel anzupassen.

Die **Stadt- und Verkehrsplanung** spielt in Hinblick auf die Klimawandelanpassung eine entscheidende Rolle, indem sie Begrünung und Wasser Versickerungs- sowie Retentionsfähigkeit in die urbane Verkehrsinfrastruktur integriert. Potenziell freiwerdende Flächen aus einem Modal-Shift (Parkplätze, Fahrbahnen) und existierende, nicht befahren/begangene Flächen wie Überdachungen usw. könne hierfür genutzt werden. Dies umfasst Baumbepflanzungen im öffentlichen Straßenraum inklusive der Schaffung von Alleen, Parkanlagen, Gleisbegrünungen, Fassaden- und Dachbegrünungen, um das Stadtklima zu verbessern, die Luftqualität zu erhöhen und den urbanen Raum insgesamt attraktiver zu gestalten. Straßenbäume

haben nicht nur einen kühlenden Effekt auf das Stadtklima, sie bieten auch großflächigen Beschattung und gewährleisten damit eine Benutzbarkeit von Rad- und Gehwegen auch an Hitzetagen. Des Weiteren sind nach Sonnenständen ausgerichtete und überdachte sowie begrünte Haltestellen eine wichtige Attraktivierungsmaßnahmen für den öffentlichen Verkehr. Aus stadtplanerischer Perspektive sollten diese Maßnahmen gemeinsam gedacht und implementiert werden, um Synergieeffekte zu heben, welche den Nutzen von Einzelmaßnahmen in Bezug auf Klimawandelanpassung erhöhen kann (z. B. grüne Korridore bzw. Frischluftschneisen und damit einhergehende Kühlung).

Doch nicht nur die Hitze, auch Starkniederschlagsereignisse sind eine Herausforderung für die Verkehrsinfrastruktur in Hinblick auf den Klimawandel. Hier kann vor allem die Entsiegelung von Oberflächen im öffentlichen Raum eine Pufferfunktion bieten. Neben der Integration

von Grünflächen werden hierfür auch Lösungen wie Retentionsflächen, Schwammstadtösungen und versickerungsfähige Beläge auf Verkehrsflächen benötigt. Lange anhaltende Trockenperioden können jedoch für grüne Infrastruktur zum Problem werden weshalb eine Weiterentwicklung von Ingenieursbiologischen Maßnahmen (z. B. Design, Konstruktionsmaterialien, Substrate, Bepflanzung, etc.) im Hinblick auf diese Wetterextreme in Städten notwendig ist. Des Weiteren braucht es ein besseres Verständnis wie zusätzliche Vorteile Ingenieursbiologischer Maßnahmen verbessert werden können (z. B. Biodiversität, Ökosystemleistungen) und diese Vorteile in verkehrsplanerischen Entscheidungen in Betracht gezogen werden können. Eine dahingehende Verbesserung ökosystemrelevanter Parameter würde die Anpassungsfähigkeit von natürlichen Ressourcen und Prozessen in Städten verbessern, was die Resilienz von Städten gegenüber zukünftigen Veränderungen erhöht.

F&E Felder	Themenschwerpunkte
Neuorganisation der Nutzung von Verkehrsflächen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Alternative Raumplanung und multimodale Mobilitätskonzepte (15 Minutes Cities, Parkraumbewirtschaftung, ...)</li> <li>– Ökonomische Bewertung von Grünflächen;</li> <li>– Normierung der Bewertung und Aufnahmen bei Ökosystemleistungen</li> </ul>
Verkehrsflächenplanung	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Neue Materialien für Verkehrsflächen und Gebäudehüllen</li> <li>– Versickerungsfähige Verkehrsflächen</li> <li>– Kosteneffiziente und nachhaltige Entsiegelung von Parkflächen</li> <li>– Konstruktionsdesign &amp; multifunktionale Nutzung (Entwässerung, Verkehr, Kühlung ...)</li> </ul>
Verschattung von Geh- und Radwegen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Integration mit PV-Anlagen</li> </ul>
Betrieb	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Modellierung und Vorhersagen</li> <li>– Materialüberwachung und Sensorik</li> </ul>

Tabelle 7

Übersichtstabelle F&E Felder und Themenschwerpunkte Städte: Bereich Verkehr

## 7.4 Klimawandelanpassung der städtischen Infrastruktur im Bereich Wasser

Im Bereich Wasser stellt in Hinblick auf die Klimawandelanpassung insbesondere die Gewährleistung von **Hochwasserschutz und Katastrophenschutz** allgemein eine der größten Herausforderungen dar, um Menschen und Infrastruktur vor den Auswirkungen extremer Wetterereignisse zu schützen. Durch **Gefahrenzonenpläne**, wie beispielsweise die Hochwasserrisikozone, können Risiken erkannt und entsprechende Schutzmaßnahmen ergriffen werden. Auch die **Entsiegelung von Flächen**, um den natürlichen Wasserhaushalt wiederherzustellen und die Grundwasserneubildung zu fördern, ist in diesem Zusammenhang notwendig. Dabei gilt es, einen Ausgleich zwischen ökologischen Ansprüchen und der menschlichen Nutzung im städtischen Bereich zu finden.

Die Anpassung des Kanalsystems und das Herstellen einer Versickerungsmöglichkeit vor Ort durch eine Entkopplung von abwasserrelevanten Flächen zur Entlastung des Kanalsystems werden notwendig. Ein wichtiger Aspekt ist die Implementierung von **versickerungsfähigen Straßenaufbauten**, um den Regenwasserabfluss zu verbessern und Überflutungen vorzubeugen. Das Konzept der Schwammstadt gewinnt dabei an Bedeutung, indem es darauf abzielt, Regenwasser dezentral zu speichern und zu nutzen, um die Stadt widerstandsfähiger gegenüber Starkregenereignissen zu machen.

In Hinblick auf die steigenden Temperaturen stellt auch die (Re-)Integration von Wasser-Elementen in den öffentlichen Raum eine Herausforderung dar. Durch die Integration von Wasser-Elementen kann das städtische Umfeld qualitativ im Sinn von erhöhter Lebensraumqualität aufgewertet und gleichzeitig der ökologische Wert gesteigert werden. Dies kann beispielsweise durch die Schaffung von Wasserflächen, Bachläufen oder Regenwassersammelanlagen geschehen. Gleichzeitig ist bei Trockenperioden die Deckung des Wasserbedarfs der grünen Infrastruktur eine Herausforderung. Die Nutzung klimaresilienter, gesundheitsunbedenklicher Pflanzen für die grüne und blaue Infrastruktur wird an Bedeutung gewinnen.

Einhergehend mit den steigenden Temperaturen des Grundwassers ist die Erhaltung der Trinkwasserqualität eine Herausforderung des Klimawandels, ebenso diverse Nutzungskonflikte um die Ressource Wasser. Es ist notwendig, geeignete Maßnahmen zu ergreifen, um die Trinkwasserversorgung sicherzustellen und die Qualität des Wassers zu überwachen.

Ebenso gewinnt im Zuge des Klimawandels die thermische Nutzung des Wassers an Bedeutung, da höhere Grundwassertemperaturen Möglichkeiten bieten, Wärme- und Kühlenergie zu generieren. Dies kann durch den Einsatz von Wärmepumpen oder anderen innovativen Technologien zur Nutzung der Grundwasserwärme erfolgen.

F&E Felder	Themenschwerpunkte
Entsiegelung, Infiltration & Begrünung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Versickerungsregelblatt Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAV) anpassen. Innovationen zur Instandhaltung von Versickerungsanlagen</li> <li>- Herausforderungen der Starkregenereignisse: Analyse, Modellierung, Planung, Weiterentwicklung der Dimensionierung der Abwassersysteme</li> <li>- Entwicklung Bemessungswerkzeuge blau-grüne Infrastruktur (v. a. bei modernen Anlagen, wo solche Bemessungsgrundlagen noch fehlen) bzw. Anpassung bestehender Regelwerke</li> <li>- Demonstrationsprojekte zur Behandlung (verschmutzter) Straßenabflüsse</li> <li>- Grundwasserdotierungen</li> </ul>
Sensorik – Monitoring (- Modellierung)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fokus weg von reiner Versickerung zum Erhalt der Wasserbilanz (Verdunstung)</li> </ul>
Prognosemodelle & Frühwarnsysteme	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Starkregen / Trockenheit unter verschiedenen Klimawandelszenarien in einer für Städte ausreichenden räumlichen und zeitlichen Auflösung</li> <li>- Modellierungswerkzeuge Starkregen (hybride Systeme (Kopplung dezentrale und zentrale Systeme für Ableitung von Starkregen) / Trockenheit, Modellkalibrierung- und -validierung)</li> </ul>
Wasseraufbereitung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Untersuchung der Möglichkeiten einer (verbesserten) Wasseraufbereitung bzw. Nutzung von Abwasser</li> </ul>

Tabelle 8

Übersichtstabelle F&amp;E Felder und Themenschwerpunkte Städte: Bereich Wasser

## 8.0 Sektorübergreifende Betrachtung und Querschnittsthemen

---

Der Klimawandel und die erforderlichen Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel betreffen nicht nur die einzelnen Infrastrukturbereiche, sondern es gilt auch eine Reihe von sozialen und organisatorischen Querschnittsthemen zu adressieren die eng mit Anpassungsmaßnahmen in den Infrastrukturbereichen Wasser, Energie, Kommunikationsnetzwerke und Verkehr zusammenhängen und durch die oben beschrieben F&E Felder stark in den Vordergrund treten.

Auch wenn diese Aspekte nicht explizit im Zentrum des vorliegenden F&E Fahrplans stehen, soll darauf hingewiesen werden, dass diese Querschnittsthemen die Basis für eine erfolgreiche Umsetzung von innovativen Anpassungsmaßnahmen in allen Infrastrukturbereichen sind:

- Insbesondere das F&E Feld „Sozioökonomische (Risiko) Analysen & Bewertungen“ ist als Querschnittsthema zu sehen, dem besondere Bedeutung bei Fragestellungen zur Wiederverwendung von gereinigtem Abwasser, bei der Anpassung landwirtschaftlicher Kulturen sowie bei Konflikten zwischen Kleinwasserkraftnutzung, Hochwassermanagement und Grundwasseranreicherung als auch Fischdurchgängigkeit zukommt. Der Einsatz von Modellierungswerkzeugen für „Wenn ... dann“-Fragestellungen ermöglicht eine verbesserte und vorausschauende Planung von Gefährdungen und Gefahren ebenso wie ein optimiertes Management im Ereignis- und Katastrophenfall.
- Governance Aspekte sind bspw. unweigerlich mit dem F&E Feld Sektorkopplung verbunden welches einen erhöhten Anspruch auf die Organisation und das Management von gesamtheitlichen Koordinierungs- und Entscheidungsfindungsprozesse zwischen Sektoren benötigt wofür es die passenden institutionellen Rahmenbedingungen noch weiterzuentwickeln gilt.
- Ein weiteres wichtiges Querschnittsthema ist die gesellschaftliche Akzeptanz für Anpassungsmaßnahmen im Zusammenhang mit den oben beschriebenen F&E Feldern. Dies ist zum Beispiel bei der Nutzung von gereinigtem Abwasser für angepasste Verwendungszwecke der Fall. Neben Fragen der technischen Entwicklung und Umsetzung sind gerade bei diesem F&E Feld Bewusstseinsbildung in der Bevölkerung und die Schaffung von Akzeptanz mittels Stakeholderbeteiligungsprozessen notwendig, sowie die Klärung von rechtlichen Fragen oder die Schaffung von Normierungen und Standards, die mit einer Nutzung einhergehen.
- Bei der Bewältigung von Hochwasser- und Starkregenereignissen ist es von entscheidender Bedeutung, die Bevölkerung einzubinden. Dies umfasst die Sensibilisierung für Gefahren, die Schaffung von Informations- und Frühwarnsystemen und die Vermittlung von Verhaltens- und Eigenvorsorgemaßnahmen.
- Fehlanpassungen sind zu vermeiden, indem Schutzmaßnahmen und deren Wirksamkeit auf die veränderte Risikolandschaft durch die Folgen des Klimawandels ausgerichtet werden und die Maßnahmen keine negativen Auswirkungen auf den Klimaschutz oder andere Umweltziele haben. Dabei ist naturbasierten Anpassungsmaßnahmen der Vorzug zu geben und der Lebenszyklus der Infrastrukturen zu berücksichtigen.
- Die Schaffung rechtlicher Grundlagen ist essentiell, um den rechtlichen Rahmen für Maßnahmen zur Klimawandelanpassung festzulegen. Stärkere Einbindung klimatologischer Fragen in die Raumentwicklung und -planung (auf allen Maßstabsebenen) ist zu forcieren und in Entscheidungsfindungsprozesse mit aufzunehmen.
- Interaktive Planungsprozesse mit den Anrainer:innen sowie Bürger:innenbeteiligungs-Formate sind für eine erfolgreiche Umsetzung von Klimawandelanpassungsmaßnahmen erforderlich.

Neben den sozialen und organisatorischen Querschnittsthemen ist auch zu beachten, dass die direkten und indirekten Folgen des Klimawandels in den Bereichen Wasser, Energie, Verkehr und Kommunikation teilweise kaskadisch miteinander verbunden, so dass eine sektorübergreifende Betrachtung notwendig ist.

Betrachtet man allein die einzelnen Teilbereiche des Infrastrukturbereichs Energie, so kann festgestellt werden, dass hier zukünftig eine hohe Verflechtung notwendig sein wird. Stromnetze stellen derzeit auf Klimawandel bezogen die vulnerabelste Energieinfrastruktur dar. Die Umstellung auf erneuerbare Gase im Energiesektor steckt noch in den Anfängen. Bestimmte Energienutzungsvektoren wie Mobilität (E-Fahrzeuge) oder Raumwärme (Wärmepumpen) werden zunehmend elektrifiziert werden, womit die Stromnetzinfrastruktur an Bedeutung gewinnt. Dabei ist eine Kopplung mit (erneuerbaren) Gasen, Wärme/Kälte und Mobilitäts-

prozessen insbesondere dafür notwendig, die erforderliche Flexibilität für die Nutzung volatiler erneuerbarer Energiequellen zu erhalten. Starke Schnittstellen gibt es auch zum Thema Wasser: Bei der Energiegewinnung z. B. mittels Grundwasserwärmepumpen wird das System Grundwasser entsprechend der Dimensionierung zu mindestens lokal quantitativ (Absenkung) als auch qualitativ (Veränderung der Grundwassertemperatur) beeinflusst. Auch Starkniederschläge beeinträchtigen durch ihren Beitrag zum Auftreten von Hochwässern und deren Folgeerscheinungen einerseits die Energieerzeugung als auch die eigentliche Energieinfrastruktur. Schnittstellen zum Thema IKT liegen vor allem in den Bereichen Crisis and Disaster Management sowie der resilienten Digitalisierung der energetischen Sektor-kopplung. Die Schnittstellen zum Thema Mobilität liegen primär in der Energieverfügbarkeit und der Wahl der Energieträger mit Blick auf das Gesamtsystem.

## Literaturverzeichnis

---

- [1] Statistik Austria, Energiebilanzen, [https://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/energie\\_umwelt\\_innovation\\_mobilitaet/energie\\_und\\_umwelt/energie/energiebilanzen/index.html](https://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/energie_und_umwelt/energie/energiebilanzen/index.html), zuletzt besucht 02.02.2022
- [2] Umweltbundesamt, Nutzung von Flüssen: Wasserkraft, <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/fluesse/nutzung-belastungen/nutzung-von-fluessen-wasserkraft#wasserkraft-und-klimawandel>, zuletzt besucht 02.02.2022
- [3] Wissenschaftsplattform Erde und Umwelt, Der Einfluss des Klimawandels auf die Windkraft, <https://www.eskp.de/energiewende-umwelt/der-einfluss-des-klimawandels-auf-die-windkraft-935998>, zuletzt besucht 02.02.2022
- [4] Lufttemperatur, <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/klimavergangenheit/neoklima/lufttemperatur>, zuletzt besucht 21.02.2022
- [5] APCC (2014): Zusammenfassung für Entscheidungstragende (ZfE). In: Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (AAR14). Austrian Panel on Climate Change (APCC), Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, Österreich.
- [6] Starkniederschlag, <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/klimavergangenheit/neoklima/starkniederschlag>, zuletzt besucht 21.02.2022
- [7] Stürme, <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/klimazukunft/alpenraum/stuerme>, zuletzt besucht 21.02.2022
- [8] Chimani B., Heinrich G., Hofstätter M., Kerschbaumer M., Kienberger S., Leuprecht A., Lexer A., Peßenteiner S., Poetsch M.S., Salzmann M., Spiekermann R., Switanek M. und H.Truhetz, 2016. ÖKS15 – Klimaszenarien für Österreich. Daten, Methoden und Klimaanalyse. Projektendbericht, Wien.
- [9] Cohen, J., Moeltner, K., Reichl, J. and Schmidthaler, M. (2018): Effect of global warming on willingness to pay for uninterrupted electricity supply in European nations. Nature Energy 3, 37-45. doi:10.1038/s41560-017-0045-4. <https://www.nature.com/articles/s41560-017-0045-4>
- [10] IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2014a): Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. In: Klimaänderung 2014: Synthesebericht. Beitrag der Arbeitsgruppen I, II und III zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen [Hauptautoren, R.K. Pachauri und L.A. Meyer (Hrsg.)]. IPCC, Genf, Schweiz. Deutsche Übersetzung durch Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, Bonn 2015 und IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2014b): Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. In: Klimaänderung 2014: Folgen, Anpassung und Verwundbarkeit. Beitrag der Arbeitsgruppe II zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC) [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea und L.L. White (Hrsg.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom und New York, NY, USA. Deutsche Übersetzung durch Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, Österreichisches Umweltbundesamt, ProClim, Bonn/Wien/Bern, 2015.

- [11] Steininger, K.; König, M.; Bednar-Friedl, B.; Kranzl, L.; Loibl, W. & Prettenhaler, F. (Hrsg.) (2015): Economic Evaluation of Climate Change Impacts. Development of a Cross-Sectoral Framework and Results for Austria. Ergebnisse des Forschungsprojekts COIN. Springer Verlag
- [12] BMK (2021): Zweiter Fortschrittsbericht zur österreichischen Strategie zur Anpassung an den Klimawandel, <https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:4a7614de-cbbc-47b4-bd01-3ac3d079c509/klimawandel-fortschrittsbericht-2021.pdf>
- [13] Roman Neunteufel, Reinhard Perfler, Dominik Schwarz, Gabriel Bachner, Birgit Bednar-Friedl, Karl Steininger, Matthias Themeßl, Angelika Wolf, Michael Kriechbaum, Michael Pech (2014): CCCA Fact Sheet #7, Auswirkungen des Klimawandels auf den österreichischen Wasserversorgungs- und Abwasserentsorgungssektor, [https://coin.ccca.ac.at/sites/coin.ccca.ac.at/files/factsheets/7\\_wasser\\_v4\\_02112015.pdf](https://coin.ccca.ac.at/sites/coin.ccca.ac.at/files/factsheets/7_wasser_v4_02112015.pdf)
- [14] Lukas Kranzl, Gerhard Totschnig, Andreas Müller, Marcus Hummel, Wolfgang Loibl, Irene Schicker, Agne Toleikyte, Gabriel Bachner, Birgit Bednar-Friedl, Matthias Themeßl, Angelika Wolf, Michael Kriechbaum, Michael Pech (2014): CCCA Fact Sheet #10, Auswirkungen der Klimawandels auf die Energie- und Stromversorgung in Österreich, [https://coin.ccca.ac.at/sites/coin.ccca.ac.at/files/factsheets/10\\_energie\\_v5\\_02112015.pdf](https://coin.ccca.ac.at/sites/coin.ccca.ac.at/files/factsheets/10_energie_v5_02112015.pdf)
- [15] Hubert Fechner (2020): Ermittlung des Flächenpotentials für den Photovoltaik-Ausbau in Österreich: Welche Flächenkategorien sind für die Erschließung von besonderer Bedeutung, um das Ökostromziel realisieren zu können. Studie im Auftrag von Österreichs Energie. Endbericht <https://oesterreichsenergie.at/publikationen/ueberblick/detailseite/photovoltaik-ausbau-in-oesterreich>
- [16] Amt der OÖ. Landesregierung. Direktion Umwelt und Wasserwirtschaft, Abteilung Umweltschutz (2022): OÖ Photovoltaik. Strategie 2030. Version 2022. [https://www.land-oberoesterreich.gv.at/files/publikationen/ooe\\_photovoltaik\\_strategie\\_2030.pdf](https://www.land-oberoesterreich.gv.at/files/publikationen/ooe_photovoltaik_strategie_2030.pdf)

**Herausgeber**

Klima- und Energiefonds der österreichischen Bundesregierung

Leopold-Ungar-Platz 2 / Stiege 1 / Top 142, 1190 Wien

Tel: (+43 1) 585 03 90

[office@klimafonds.gv.at](mailto:office@klimafonds.gv.at)

[www.klimafonds.gv.at](http://www.klimafonds.gv.at)

**Autor:innen**

Michael Dinges (Projektleitung), Christoph Brodnik, Maximilian Gasser

AIT Center für Innovation Systems and Policy

Tanja Tötzer, Martin Jung, Friederich Kupzog, Wolfgang Ponweiser, Paul Kinner

AIT Center for Energy

Christian Kollmitzer, Martin Latzenhofer

AIT Center for Digital Safety & Security

Markus Leitner, Maria Balas, Martina Offenzeller, Florian Wolf-Ott

Umweltbundesamt

**Für den Inhalt verantwortlich**

Die AutorInnen tragen die alleinige Verantwortung für den Inhalt dieser Studie.

Er spiegelt nicht notwendigerweise die Meinung des Klima- und Energiefonds wider.

Weder der Klima- und Energiefonds noch das Bundesministerium für Klimaschutz,

Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) sind für die

Weiternutzung der hier enthaltenen Informationen verantwortlich.

**Gestaltung**

[www.angieneering.net](http://www.angieneering.net)

**Titelfoto**

Marcus Ganahl

**Herstellungsort / Erscheinungsjahr**

Wien, 2024

Wir haben diese Broschüre mit größtmöglicher Sorgfalt erstellt und die Daten überprüft.

Rundungs-, Satz- oder Druckfehler können wir dennoch nicht ausschließen.

[www.klimafonds.gv.at](http://www.klimafonds.gv.at)

