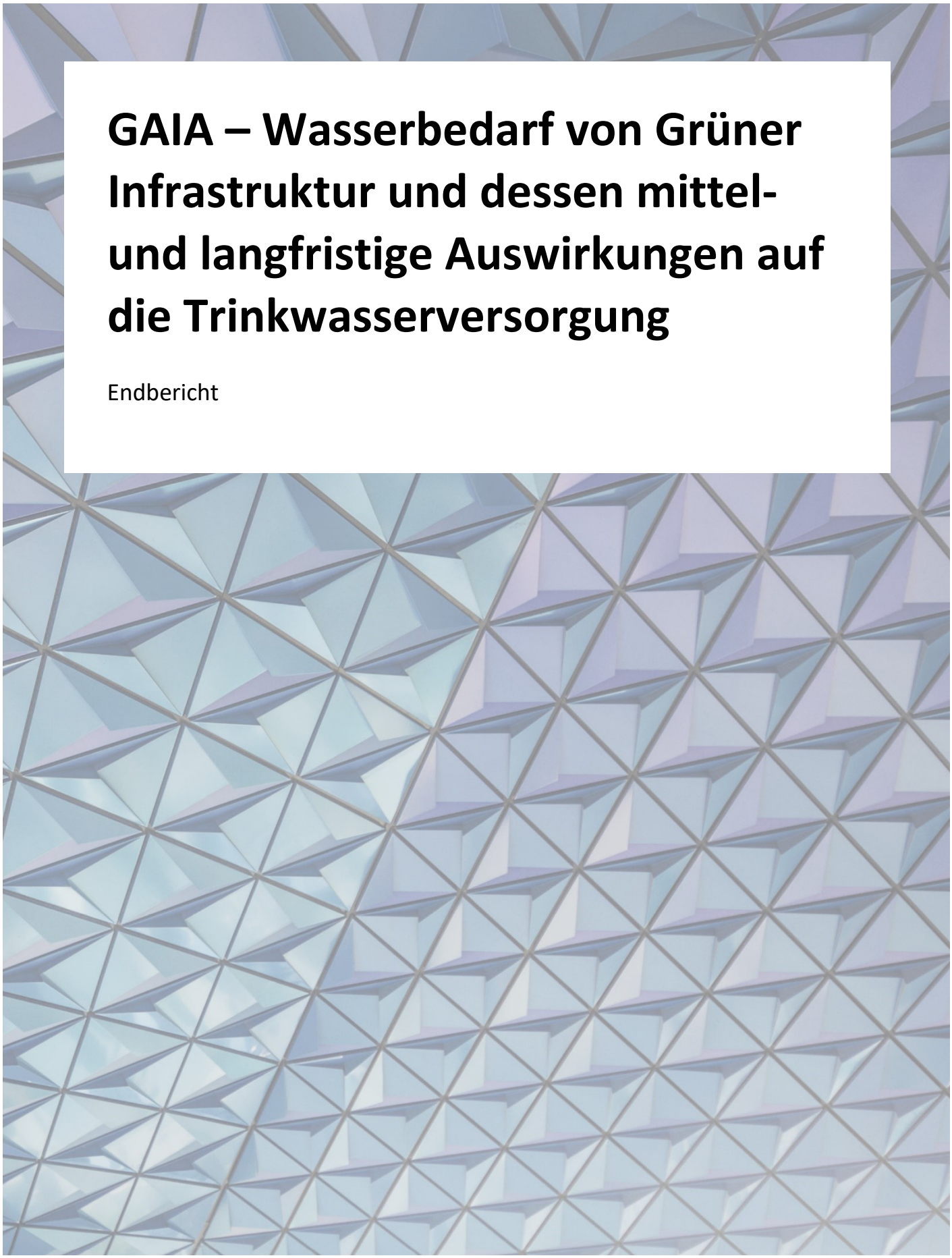
Bundesministerium
Land- und Forstwirtschaft,
Klima- und Umweltschutz,
Regionen und Wasserwirtschaft



GAIA – Wasserbedarf von Grüner Infrastruktur und dessen mittel- und langfristige Auswirkungen auf die Trinkwasserversorgung

Endbericht

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:
Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Klima- und Umweltschutz, Regionen und Wasserwirtschaft, Stubenring 1, 1010 Wien
Autorinnen und Autoren: Anika Stelzl, Bernhard Pucher, Georg Arbesser-Rastburg, Udo Buttinger, Daniela Fuchs-Hanusch, Florian Glawogger, Christina Henöckl, Hassan Husseini, Ivan Jurinic, Franziska Kudaya, Valentina Katharina Maria Pichler, Johanna Pirker, Ulrike Pitha, Josip Rajic, Bernhard Scharf, Eyal Sharon, Lukas Schneider, Eva Schwab, Marko Steiner, Jan Tervoort und Florian Wohlmuth
Fotonachweis: Cover: unplash.com/Ferdinand Stöhr, BMLUK/Paul Gruber (S. 3), XXX

Wien, 2026. Stand: 13. November 2026

Copyright und Haftung:
Auszugsweiser Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet, alle sonstigen Rechte sind ohne schriftliche Zustimmung des Medieninhabers unzulässig.
Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung des Bundesministeriums und der Autorin / des Autors ausgeschlossen ist. Rechtausführungen stellen die unverbindliche Meinung der Autorin / des Autors dar und können der Rechtsprechung der unabhängigen Gerichte keinesfalls vorgreifen.

Vorwort



Norbert Totschnig

Wasser ist eine unserer wichtigsten Lebensgrundlagen. Die nachhaltige Sicherung der Trinkwasserversorgung ist daher eine zentrale gemeinsame Aufgabe von Bund, Ländern, Gemeinden und Wasserversorgern. Angesichts des Klimawandels gewinnt diese weiter an Bedeutung, denn häufigere Hitzewellen, längere Trockenphasen und Veränderungen im Niederschlagsgeschehen stellen insbesondere unsere Städte und Gemeinden vor neue Herausforderungen. Im Trinkwassersicherungsplan, der beim gemeinsamen Trinkwassergipfel von Bund und Ländern im Jahr 2023 vereinbart wurde, liegt ein Schwerpunkt auf der Förderung von Forschung zur effizienten Wassernutzung und zur langfristigen Sicherung des Wasserdargebots. Das vom Umweltministerium unterstützte Forschungsprojekt GAIA greift in diesem Zusammenhang eine zentrale Zukunftsfrage auf: Wie können wir klimawirksame Begrünung ausbauen und gleichzeitig verantwortungsvoll mit unseren Wasserressourcen umgehen?

Grüne Infrastruktur ist ein wesentlicher Baustein für klimaresiliente Städte und Gemeinden. Bäume, Grünflächen und begrünte Gebäude spenden Schatten, reduzieren die Hitzebelastung, verbessern das Stadtklima und unterstützen den Rückhalt von Regenwasser. Gleichzeitig benötigen sie insbesondere während längerer Hitze- und Trockenperioden ausreichend Wasser. Deshalb müssen Stadtentwicklung, Klimawandelanpassung und nachhaltige Wasserbewirtschaftung sowie die Wasserwiedernutzung von Beginn an gemeinsam gedacht werden. Die Ergebnisse von GAIA schaffen dafür eine wichtige faktenbasierte Grundlage. Sie unterstützen Städte, Gemeinden, Planerinnen und Planer sowie Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträger dabei, langfristig nachhaltige, standortangepasste und wassereffiziente Begrünungs- und Bewässerungskonzepte zu entwickeln. Damit leistet das Projekt einen wichtigen Beitrag, um die Lebensqualität in unseren Städten zu erhalten und zugleich die Trinkwasserversorgung langfristig abzusichern.

Mein Dank gilt allen Projektpartnerinnen und Projektpartnern sowie den beteiligten Expertinnen und Experten für ihre wertvolle Arbeit und ihr Engagement.

Mag. Norbert Totschnig, MSc
Bundesminister für Land- und Fortwirtschaft,
Klima- und Umweltschutz, Regionen und Wasserwirtschaft

Inhalt

Vorwort **3**

1 Einleitung **7**

2 Grüne Infrastruktur Typen **10**

2.1 Typ A – Rasenfläche 10

2.2 Typ B – Befestigte Fläche mit Begrünung 11

2.3 Typ C – Staudenfläche 12

2.4 Typ D – Fläche mit Wechselbepflanzung/Wechselflor 13

2.5 Typ E – Strauchfläche 14

2.6 Typ F – Hecke 15

2.7 Typ G – Baumpflanzung 16

2.8 Typ H – Dachbegrünung 18

2.9 Typ I – Vertikalbegrünung 20

2.10 Übersicht Bewässerungsbedarf der GI-Typen 22

3 Alternativen Wasserressourcen **24**

3.1 Qualitative Vorgaben für die Nutzung alternativer Wasserressourcen 24

3.1.1 Empfehlungen der Weltgesundheitsorganisation 26

3.1.2 Europäische Union 28

3.1.3 Deutschland 29

3.1.4 Spanien 30

3.1.5 Österreich 31

3.1.6 Vergleichende Einordnung 32

3.2 Quantitative Betrachtung 36

3.2.1 Regenwasser 36

3.2.2 Grauwasser 37

3.2.3 Wasser aus Fließgewässern 39

3.3 Entscheidungshilfe 39

3.3.1 Grundlagen für die Entwicklung einer Entscheidungshilfe 39

3.3.2 Aufbau und Logik der Entscheidungshilfe 43

3.3.3 Praxisbeispiele 47

4 Begrünungsszenarien **51**

4.1 Auswahlverfahren Case Studies 51

4.1.1 Wels 52

4.1.2 Eisenstadt 53

4.1.3 Leibnitz 54

4.2 Städtebauliche Analysenkarten 55

4.3 Entwicklungsszenarien für ausgewählte Case Studies 63
4.3.1 Wels 63
4.3.2 Eisenstadt 64
4.3.3 Leibnitz 69
4.4 Gesamtstädtische Aussage 82

5 Datenaufbereitung und Daten 84

5.1 Datenaufbereitung für die Ermittlung des quartiersbezogenen GI-Wasserbedarfs 84
5.1.1 Grundlagedaten für die LCM 84
5.1.2 LCM-Faktoren 86
5.1.3 Microclimate-Faktor (Kmc) 91
5.2 Datenaufbereitung für die Ermittlung des regionalen GI-Wasserbedarfs 95
5.2.1 Landnutzung und NDVI 95
5.2.2 Bodenparameter 96
5.2.3 Zusammenführung und finale Datengrundlage 97
5.2.4 Aufbereitung Klimaprojektionen 98

6 Ermittlung Bewässerungsbedarf Methodik 99

6.1 Berechnung Wasserbedarf sowie Bewässerungsbedarf Grüner Infrastruktur 99
6.2 Methodik Quartier 100
6.2.1 Berechnung der vor Ort vorhandenen alternativen Wasserressourcen 100
6.2.2 Speicherberechnung mit und ohne Toilettenspülung 102
6.3 Methodik Regional 102
6.3.1 Ermittlung Regionaler Wasserbedarf GI 103
6.3.2 Regionaler Bewässerungsbedarf Grüner Infrastruktur 104
6.3.3 Veränderung regionaler Bewässerungsbedarf 105
6.3.4 Alternative Wasserressourcen Regional 107

7 Ergebnisse Bewässerungsbedarf 109

7.1 Quartiersbezogene Ergebnisse zum Bewässerungsbedarf und zu alternativen Wasserressourcen 109
7.1.1 Berechnung Wasserbedarf und alternative Wasserressourcen – Leibnitz 109
7.1.2 Berechnung Wasserbedarf und alternative Wasserressourcen – Wels 117
7.1.3 Berechnung Wasserbedarf und alternative Wasserressourcen – Eisenstadt 123
7.1.4 Interpretation der Ergebnisse 129
7.2 Regionale Ergebnisse zum Bewässerungsbedarf und zu alternativen Wasserressourcen 130
7.2.1 Eisenstadt 131
7.2.2 Leibnitz 139

7.2.3 Wels ... 146
7.3 Langfristige Trinkwassereinsparpotenziale durch alternative Wasserressourcen und optimierte Bewässerung ... 154
8 Erweiterung EWA-Planungstool ... 157
8.1 Rückblick EWA-Planungstool ... 157
8.2 Zielsetzung der Weiterentwicklung ... 158
8.3 Überarbeitung der Softwarearchitektur ... 159
8.3.1 Frontend ... 159
8.3.2 Backend ... 159
8.4 Erweiterung um Gebäudetypen ... 160
8.4.1 Integration in die bestehende Modellstruktur ... 160
8.4.2 Integration von Industrie und Tourismus ... 162
8.5 Integration Grüner Infrastruktur ... 163
8.5.1 Leistungsindikator Grüne Infrastruktur pro Einwohner ... 164
8.6 Erweiterung Gamification-System ... 165
8.6.1 Limitierung der platzierbaren Komponenten ... 166
8.6.2 Automatisierte Modelladaption ... 168
8.6.3 Sperren von Modellkomponenten ... 169
8.6.4 Szenario-Editor ... 170
8.6.5 Aufgabentypen für Gebäudebausteine ... 171
8.6.6 Aufgabentypen für Grüne Infrastruktur ... 172
8.6.7 Demonstrations-Challenge für die erweiterten Funktionen ... 173
9 Zusammenfassung ... 179
Tabellenverzeichnis ... 183
Abbildungsverzeichnis ... 185
Literaturverzeichnis ... 189
Abkürzungen ... 200
Anhang 01 ... 201

1 Einleitung

Die Auswirkungen des Klimawandels stellen Städte und die Siedlungswasserwirtschaft zunehmend vor neue Herausforderungen. Steigende Lufttemperaturen, häufigere und länger andauernde Hitze- und Trockenperioden sowie veränderte Niederschlagsmuster beeinflussen sowohl das Stadtklima als auch den Wasserhaushalt urbaner Räume. Gleichzeitig führt die fortschreitende Urbanisierung zu einer weiteren Verdichtung der Siedlungsräume und einer zunehmenden Versiegelung von Flächen, wodurch natürliche Wasserkreisläufe beeinträchtigt und städtische Hitzeinseln verstärkt werden. Vor diesem Hintergrund gewinnen Maßnahmen zur Klimawandelanpassung zunehmend an Bedeutung, um die Lebensqualität in Städten langfristig zu sichern und die Widerstandsfähigkeit urbaner Räume gegenüber den Folgen des Klimawandels zu erhöhen. Eine wesentliche Maßnahme stellt der gezielte Ausbau Grüner Infrastruktur (GI) dar. Bäume, Grünflächen, begrünte Dächer und Fassaden sowie weitere Vegetationselemente tragen durch Verdunstung und Verschattung zur Verbesserung des Mikroklimas bei, reduzieren Oberflächentemperaturen und leisten einen wichtigen Beitrag zur Steigerung der Biodiversität sowie zur Regenwasserrückhaltung. Die positiven Wirkungen Grüner Infrastruktur können jedoch nur dann langfristig aufrechterhalten werden, wenn insbesondere während Trockenperioden eine ausreichende Wasserversorgung gewährleistet ist (Gräf et al., 2021). Mit zunehmender Dauer und Intensität von Hitze- und Trockenphasen steigt daher auch der Bewässerungsbedarf urbaner Grünflächen.

Derzeit erfolgt die Bewässerung Grüner Infrastruktur in Österreich überwiegend mit Trinkwasser. Angesichts steigender Wasserbedarfe und gleichzeitig zunehmender Belastungen der Wasserversorgungssysteme stellt diese Praxis langfristig eine Herausforderung dar. Insbesondere während sommerlicher Spitzenverbrauchszeiten kann die zusätzliche Bereitstellung von Bewässerungswasser zu einer Erhöhung des Spitzenwasserbedarfs führen und damit die Trinkwasserversorgung zusätzlich belasten. Aus diesem Grund gewinnt die Nutzung alternativer Wasserressourcen, wie beispielsweise Grau- oder Regenwasser, zunehmend an Bedeutung. Diese können dazu beitragen, den Trinkwasserverbrauch zu reduzieren und gleichzeitig eine nachhaltige Bewässerung urbaner Grünflächen sicherzustellen. (Allabashi et al., 2022; Prenner, Kretschmer and Pucher, 2023)

Vor diesem Hintergrund wurde das Forschungsprojekt GAIA initiiert. Ziel des Projekts war es, den zukünftigen Bewässerungsbedarf Grüner Infrastruktur unter Berücksichtigung des

Klimawandels zu analysieren und Strategien für eine nachhaltige Bereitstellung des erforderlichen Bewässerungswassers zu entwickeln. Dabei wurden sowohl der zukünftige Wasserbedarf als auch das Potenzial alternativer Wasserressourcen untersucht. Neben der quantitativen Verfügbarkeit wurden auch qualitative Anforderungen, notwendige Aufbereitungsmaßnahmen sowie wirtschaftliche Aspekte der Nutzung alternativer Wasserressourcen berücksichtigt.

Ein wesentlicher Bestandteil des Projekts war die Entwicklung städtebaulicher Begrünungsszenarien für repräsentative österreichische Case Studies. Aufbauend auf bestehenden Stadtentwicklungsstrategien und Klimawandelanpassungskonzepten wurden unterschiedliche Szenarien für die zukünftige Entwicklung Grüner Infrastrukturen erstellt. Diese Szenarien berücksichtigten sowohl bestehende Planungen als auch optimierte Begrünungsmaßnahmen und bildeten die Grundlage für die Berechnung des zukünftigen Bewässerungsbedarfs auf Quartiers- und regionaler Ebene. Dadurch konnten die Auswirkungen unterschiedlicher Begrünungsstrategien auf den Bewässerungsbedarf bewertet werden.

Zur Berücksichtigung zukünftiger klimatischer Entwicklungen wurden verschiedene Klimaszenarien herangezogen. Dadurch konnten sowohl mögliche Veränderungen des Bewässerungsbedarfs infolge steigender Temperaturen und längerer Trockenperioden als auch die Auswirkungen unterschiedlicher Emissionspfade auf den zukünftigen Wasserbedarf untersucht werden. Ergänzend wurde das Potenzial alternativer Wasserressourcen analysiert, um deren Beitrag zur Deckung des zukünftigen Bewässerungsbedarfs sowie zur Reduktion des Trinkwasserverbrauchs abzuschätzen. Neben der Nutzung von Grauwasser wurde dabei auch das Potenzial von Regenwasser betrachtet und dessen langfristige Verfügbarkeit bewertet.

Die im Projekt entwickelten Methoden und Ergebnisse sollten jedoch nicht ausschließlich wissenschaftlichen Fragestellungen dienen, sondern auch in der Praxis Anwendung finden. Aus diesem Grund wurden die gewonnenen Erkenntnisse in das im Projekt EWA (Entscheidungshilfe in der Wasserversorgung unter Einbeziehung von Wandelfaktoren) (Arbesser-Rastburg et al., 2023) entwickelte Planungstool integriert. Durch die Erweiterung des Tools um Verbrauchsbausteine für Grüne Infrastruktur und die Berücksichtigung alternativer Wasserressourcen konnten unterschiedliche Begrünungs- und Bewässerungsszenarien bewertet und deren Auswirkungen auf die Wasserversorgung abgeschätzt werden. Ergänzend wurden die Projektergebnisse in Form interaktiver Challenges aufbereitet, um das Bewusstsein für die Auswirkungen des Klimawandels auf den urbanen Wasserbedarf zu stärken.

Insgesamt leistete das Projekt einen wertvollen und zukunftsweisenden Beitrag zur Entwicklung klimaresilienter Städte und zu einer nachhaltigen Nutzung der verfügbaren Wasserressourcen. Die entwickelten Methoden und Werkzeuge ermöglichten es, den zukünftigen Bewässerungsbedarf Grüner Infrastruktur realitätsnah abzuschätzen, alternative Wasserressourcen gezielt einzusetzen und deren Auswirkungen auf die Trinkwasserversorgung frühzeitig zu bewerten. Damit wurden wichtige Grundlagen für zukünftige Planungs- und Entscheidungsprozesse geschaffen und gleichzeitig Maßnahmen unterstützt, die zur langfristigen Sicherung der Trinkwasserversorgung sowie zur Anpassung urbaner Räume an den Klimawandel beitragen.

2 Grüne Infrastruktur Typen

Gemäß der EU-Strategie für Grüne Infrastruktur (Europäische Kommission, 2013) ist Grüne Infrastruktur (GI) ein strategisch geplantes Netzwerk natürlicher und naturnaher Flächen, das vielfältige Ökosystemdienstleistungen erbringt (u. a. Verdunstungskühlung, Hochwasserschutz, Biodiversitätsförderung), deren volle Wirksamkeit ausreichende, bedarfsgerechte Wasserversorgung voraussetzt; bei Wassermangel sind Funktionen und Klimaanpassungseffekte eingeschränkt. Im GAIA-Projekt wurden jene für den österreichischen urbanen Siedlungsraum charakteristischen GI-Typen identifiziert, die in den Case Studies Wels, Eisenstadt und Leibnitz vorkommen bzw. Anpassungspotenzial hinsichtlich Klimawandel besitzen. Die Typisierung basiert auf einem bau- und vegetationstechnischen Ansatz nach geltenden Normen (u.a. ÖNORM L 1111: 2019 11 15 Gartengestaltung und Landschaftsbau – Technische Ausführung, L 1112: 2022 11 15 Anforderungen an die Bewässerung von Vegetationsflächen, B 1131: 2026 04 15 Begrünung von Dächern und Decken auf Bauwerken – Planung, Ausführung und Erhaltung, L 1136: 2021 04 01 Vertikalbegrünung im Außenraum – Anforderungen an Planung, Ausführung, Pflege und Kontrolle), einschlägigen FLL-Richtlinien (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.) und aktueller Fachliteratur. Insgesamt wurden neun GI-Typen (A–I) definiert, die als einheitliche Klassifikationsgrundlage für alle weiteren Projektschritte dienen, von der Flächenanalyse bis zur Berechnung des Wasserbedarfs.

2.1 Typ A – Rasenfläche

Rasenflächen sind eine der flächenmäßig bedeutendsten Grünen Infrastrukturen im Siedlungsraum; sie bestehen aus kurz gehaltenen Gräserdecken und können je nach Nutzung als Zier-, Gebrauchs-, Spiel- oder Landschaftsrasen ausgeführt sein (Abbildung 1). Sie tragen zur Kühlung und Versickerung bei, haben einen moderaten Wasserbedarf, benötigen in Trockenphasen Zusatzbewässerung, und gemäß ÖNORM L 1112: 2022 11 15 (ASI - Austrian Standards International, 2022) sind 20 l/m² je Bewässerungsdurchgang empfohlen, was über April–Oktober rund 2.000–3.000 l/m² ergibt.

Abbildung 1: Typ A, Gebrauchsrasen im Park. Brno, CZ (Pitha 2024)



2.2 Typ B – Befestigte Fläche mit Begrünung

Dieser GI-Typ umfasst versickerungsfähige, begrünte Oberflächenbefestigungen wie Schotterrasenflächen, Pflasterdecken mit Fugenbegrünung (Abbildung 2) sowie Rasengittersteine. Charakteristisch ist die Kombination aus Tragfähigkeit und Versickerungsfähigkeit: Oberflächenwasser kann vertikal in den Untergrund abgeleitet werden, was diesen Typ für Stellflächen, Feuerwehrzufahrten oder Wege mit gelegentlicher Belastung prädestiniert. Nach erfolgreicher Anwuchspflege ist der laufende Bewässerungsbedarf als gering einzustufen, diese Flächen kommen in der Regel mit natürlichem Niederschlag aus (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2018c).

Abbildung 2: Typ B, Pflaster mit Fugenbegrünung. Hamburg, DE (Pitha 2022)



2.3 Typ C – Staudenfläche

Staudenflächen bestehen aus mehrjährigen, krautigen Pflanzen, deren oberirdische Teile am Ende der Vegetationsperiode absterben und im Frühjahr wieder austreiben (Abbildung 3). Durch ihre standortangepasste Auswahl, von trockenresistenten Präriestauden bis hin zu Feuchtgebietsstauden, eignen sie sich für eine Vielzahl urbaner Einsatzbereiche, darunter Verkehrsgrün, Regengärten und Sickermulden. In Kombination mit Baumpflanzungen erhöhen sie die Verdunstungsleistung und verbessern die Bodendurchlässigkeit. Der Bewässerungsbedarf variiert stark je nach Artzusammensetzung; extensiv bepflanzte, standortangepasste Staudenflächen können ohne Zusatzbewässerung auskommen, während repräsentative Bepflanzungen rund 30 l/m² je Durchgang benötigen (ÖNORM L 1112: 2022 11 15, ASI - Austrian Standards International, 2022).

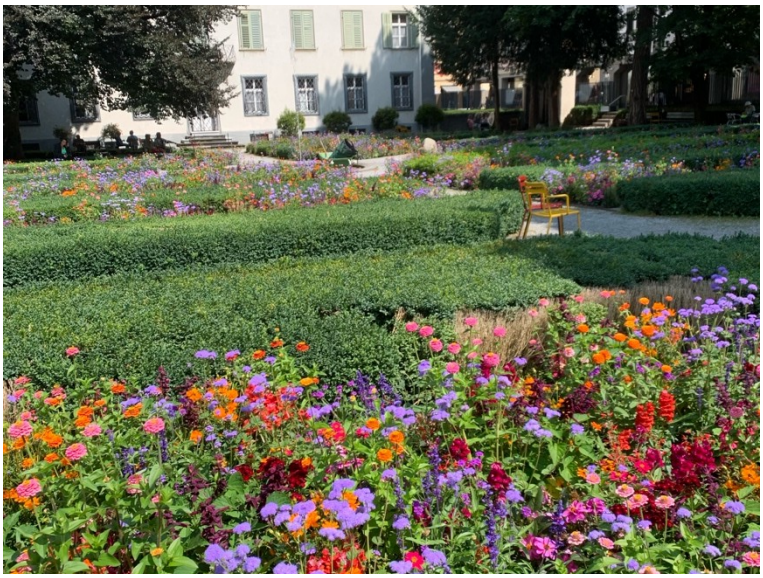
Abbildung 3: Typ C, Staudenflächen im Park. Genf, CH (Pitha 2024)



2.4 Typ D – Fläche mit Wechselbepflanzung/Wechselflor

Wechselflorflächen werden zwei- bis dreimal jährlich mit einjährigen Blüten- und Blattschmuckpflanzen neu bepflanzt (z. B. Primeln im Frühjahr, Pelargonien im Sommer, Violen im Herbst) (Abbildung 4). Aufgrund der intensiven Nutzung und des geringen Wurzelvolumens dieser Pflanzen ist der Bewässerungsbedarf unter allen GI-Typen am höchsten: Die ÖNORM L 1112: 2022 11 15 (ASI - Austrian Standards International, 2022) gibt 50 l/m² je Durchgang an, was über die gesamte Vegetationsperiode zu einem Jahresbedarf von bis zu 17.000 l/m² führen kann. Wechselflorflächen sind deshalb aus Sicht der Wassereffizienz kritisch zu bewerten und sollten im urbanen Kontext nur gezielt eingesetzt werden.

Abbildung 4: Typ D, Wechselflor mit Sommer-blumen im Park. Thun, CH (Pitha 2024)



2.5 Typ E – Strauchfläche

Sträucher sind mehrtriebige Gehölze, die sich dicht über dem Boden verzweigen und keinen Stamm ausbilden. Als Gestaltungselement und ökologische Strukturfläche sind sie im öffentlichen Freiraum weit verbreitet (Abbildung 5). Nach erfolgreicher Anwuchsphase ist der Pflege- und Bewässerungsaufwand als gering einzustufen; die ÖNORM L 1112: 2022 11 15 (ASI - Austrian Standards International, 2022) nennt 20 l/m² je Durchgang als Richtwert für die Anwuchspflege. Eingewurzelte Strauchflächen sind resilient gegenüber kurzen Trockenphasen.

Abbildung 5: Typ E, Strauchfläche im Winter. Wien, AT (Buttinger 2024)



2.6 Typ F – Hecke

Hecken sind lineare Gehölzpflanzungen aus Sträuchern oder Bäumen in Reihe (Abbildung 6), die je nach Ausführung als Formhecke, freiwachsende Hecke, Schutzhecke oder Benjeshecke angelegt werden. Sie erfüllen vielfältige Funktionen: Einfriedung, Wind- und Lärmschutz, Lebensraum für Tiere sowie die Verbindung von Ökosystemen (Seipel, 2021). Hinsichtlich Bewässerungsbedarf verhalten sich Hecken ähnlich wie Strauchflächen, weswegen hier auch der Wert aus der ÖNORM L 1112: 2022 11 15 (ASI - Austrian Standards International, 2022) herangezogen wurde (siehe 2.5). Nach der Anwuchsphase kommen sie mit natürlichem Niederschlag aus. Formhecken, die regelmäßig geschnitten werden, stellen etwas höhere Ansprüche an die Wasserversorgung als freiwachsende Typen.

Abbildung 6: Typ F, Formhecken im Park. Thun, CH (Pitha 2024)



2.7 Typ G – Baumpflanzung

Bäume sind unter allen GI-Typen die wirksamste Form urbaner Klimaanpassung. Durch Verdunstungskühlung, Schattenwurf und Schadstofffilterung leisten sie den höchsten Beitrag zur Reduktion des städtischen Wärmeinseleffekts. Diese Wirkung ist jedoch unmittelbar an eine ausreichende Wasserversorgung geknüpft: Bei Trockenstress stellen Bäume die Verdunstung ein, verlieren Blätter und können im Extremfall absterben (Baumüller, 2019; Back and Kleidorfer, 2023).

Besonders in den ersten 10–15 Jahren nach der Pflanzung sind Bäume auf regelmäßige Zusatzbewässerung angewiesen, weshalb hier an dieser Stelle beim Typ G - Baumpflanzung ein Hinweis zur Bewässerung von jungen Bäumen gegeben wird: Der Bewässerungsbedarf ist artenspezifisch und standortabhängig. Als Richtwert nennt die FLL-Richtlinie (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2015) für Hochstämme bis 25 cm Stammumfang 75–100 l je Bewässerungsdurchgang bei 8–16 Durchgängen pro Jahr; die ÖNORM L 1112: 2022 11 15 (ASI - Austrian Standards International, 2022) gibt 200 l pro Baum je Durchgang an.

Für die Wasserbedarfsberechnung im Projekt wurden Baumpflanzungen in vier Varianten unterschieden, da Pflanzgrubentyp und das Vorhandensein einer Unterpflanzung den Wasserbedarf der Gesamtfläche wesentlich beeinflussen:

- Offene, nicht überbaute Pflanzgrube ohne Unterpflanzung
- Offene, nicht überbaute Pflanzgrube mit Unterpflanzung (Abbildung 7)
- Überbaute Pflanzgrube ohne bepflanzte Baumscheibe (Abbildung 8)
- Überbaute Pflanzgrube mit bepflanzter Baumscheibe

Eine Unterpflanzung, etwa mit Stauden oder Bodendeckern, erhöht die Verdunstungsleistung der Gesamtfläche und den Gesamtwasserbedarf, steigert aber gleichzeitig die ökologische Qualität des Standorts erheblich. Im urbanen Straßenraum kommen bei überbauten Pflanzgruben spezielle Aufbausysteme zum Einsatz (Strukturbsubstrat, Stockholm-System, Schwammstadtsubstrat), die eine gezielte Einleitung und Speicherung von Regenwasser im Wurzelbereich ermöglichen und damit den Zusatzbewässerungsbedarf reduzieren können. Die methodische Herleitung des Wasserbedarfs je Variante ist in Kapitel 4 beschrieben.

Abbildung 7: Typ G, Baumpflanzung mit Stauden. Tulln an der Donau, AT (Pitha 2023)



Abbildung 8: Typ G, Jungbaumpflanzung auf einem Platz. Wien, AT (Pitha 2023).



2.8 Typ H – Dachbegrünung

Dachbegrünung bezeichnet die Bepflanzung von Gebäudedächern und -decken auf einem mehrschichtigen Aufbau aus Vegetationstragschicht, Filter-, Drainage- und Abdichtungsschicht (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2018a); ÖNORM B 1131: 2026 04 15, ASI - Austrian Standards International, 2026). Unterschieden werden drei Ausführungsformen, die sich in Aufbauhöhe, Vegetation, Nutzungsintensität und Bewässerungsbedarf deutlich unterscheiden:

Extensive Dachbegrünungen (Abbildung 9) mit 8–19 cm Substrat setzen auf trockenheitsresistente Moose, Sedum, Kräuter und Gräser, die sich nach der Anwuchsphase weitgehend selbst erhalten und dauerhaft ohne Zusatzbewässerung auskommen; sie eignen sich besonders für weniger tragfähige Dächer (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2018a; ÖNORM B 1131: 2026 04 15, ASI - Austrian Standards International, 2026).

Abbildung 9: Typ H, Extensive Dachbegrünung auf Schrägdach. Wien, AT (Pitha 2023)



Reduziert-intensive Systeme mit 20–150 cm ermöglichen eine höhere Artenvielfalt von Bodendeckern, Gräsern, Stauden und Kleingehölzen, erfordern regelmäßige Pflege und gelegentliche Zusatzbewässerung und werden etwa als biodiversitäts- oder qualitätsvolle Gründächer auf Wohnbauten eingesetzt (Florineth, 2012; Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2018a; ASI - Austrian Standards International, 2026).

Intensive Dachbegrünungen entsprechen bodengleichen Gärten mit Aufbauhöhen ab 20 cm bis über 100 cm, erlauben Rasen-, Stauden- und Gehölzflächen bis hin zu Bäumen (Abbildung 10), benötigen zwingend künstliche Bewässerung (Richtwert: 20 l/m² je Bewässerungsdurchgang) und sind am pflegeintensivsten, weshalb sie hohe Tragfähigkeiten voraussetzen, z. B. bei Dachgärten oder überbauten Tiefgaragendecken (Florineth, 2012; Pitha et al., 2021; ÖNORM B 1131: 2026 04 15, ASI - Austrian Standards International, 2026).

Abbildung 10: Typ H, Intensive Dachbegrünung als Dachgarten. Wien, AT (Pitha 2022)



Diese Differenzierung ist zentral für die Wasserbedarfsberechnung im Projekt, da der Bedarf je nach Typ von null bis zu mehreren hundert Litern pro Quadratmeter und Jahr reicht. Die methodische Herleitung ist in Kapitel 4 beschrieben.

2.9 Typ I – Vertikalbegrünung

Vertikalbegrünungen (Fassadenbegrünungen) sind gemäß ÖNORM L 1136: 2021 04 01 (ASI - Austrian Standards International, 2021) der Bewuchs von Bauwerken mit einer Neigung der zu begrünenden Struktur von mehr als 30°; sie verbessern das Stadtklima durch Verdunstungskühlung, mindern Feinstaub und Lärm, schützen die Bausubstanz und aktivieren ungenutzte Fassadenflächen (Kraus et al., 2019). Systembedingt unterscheiden sich Konstruktion, Pflanzenauswahl und Bewässerungsbedarf deutlich:

Bodengebundene Systeme nutzen Kletterpflanzen, die im gewachsenen Boden oder in fassadennahen Substraten wurzeln (Abbildung 11); unterschieden werden Selbstklimmer ohne Rankhilfe (z. B. Hedera helix, Parthenocissus tricuspidata) und Kletterpflanzen mit Rankhilfe (z. B. Wisteria spp., Clematis spp.). Nach der Anwuchsphase gelten sie als resilient und bewässerungsarm; ob eine Zusatzbewässerung nötig ist, hängt vom Standort ab (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2018b). Pro Pflanze sind mindestens 0,5 m² offene Pflanzscheibe und ein Wurzelraum von mindestens 1 m³ vorzusehen.

Abbildung 11: Typ I, Bodengebunden Vertikalbegrünung. Brno, CZ (Pitha 2024)



Wandgebundene Systeme besitzen keinen Bodenanschluss; die Pflanzen wurzeln in an der Fassade befestigten Modulen, Platten oder Kästen (Abbildung 12). Die ÖNORM L 1136: 2021 04 01 (ASI - Austrian Standards International, 2021) unterscheidet teilflächige Vegetationsträger (Regalsysteme mit ≥50 % bedeckter Ansichtsfläche, Pflanzenauswahl aus Stauden und Kleingehölzen) und vollflächige Vegetationsträger (modulare oder geotextilbasierte Systeme mit Pflanzen von Moosen bis Kleingehölzen). Aufgrund des begrenzten Wurzelraums und der Exposition handelt es sich um Extremstandorte, die stets eine automatisierte Bewässerung erfordern; der Bedarf ist systemabhängig und deutlich höher als bei bodengebundenen Lösungen, mit in der Literatur berichteten Jahreswerten um ca. 1.000 l/m² (Köhler, Nistor and Nistor, 2015; NatureBase GmbH, 2024). Einen Sonderfall bildet hier die troggebundenen Vertikalbegrünungen. Diese nutzen an der Fassade montierte Pflanztröge mit mehrschichtigem Substrat für Kletterpflanzen, Stauden und Gehölze, die je nach Art mit oder ohne Rankhilfe geführt werden und wegen des begrenzten Trogvolumens regelmäßig bewässert werden müssen (ASI - Austrian Standards International, 2021).

Abbildung 12: Typ I, Wandgebundene Vertikalbegrünung. Wien, AT (Pitha 2023)



Grundsätzlich gilt: Je größer die Distanz zum natürlichen Boden, desto höher der Bewässerungsbedarf und die Abhängigkeit von technischer Bewässerung; die spezifischen Bewässerungsmengen je Systemtyp und ihre methodische Einbindung werden in Kapitel 4 dargestellt.

2.10 Übersicht Bewässerungsbedarf der GI-Typen

Die folgende Tabelle 1 fasst die neun im Projekt definierten GI-Typen inkl. der Untertypen für Dach- und Fassadenbegrünungen mit ihren Richtwerten zum Bewässerungsbedarf zusammen. Die Werte basieren auf der ÖNORM L 1112: 2022 11 15 (ASI - Austrian Standards International, 2022), den FLL-Richtlinien (2006; 2015; 2018) sowie einschlägiger Fachliteratur (Köhler, Nistor and Nistor, 2015; Seipel et al., 2021). Da der tatsächliche Bewässerungsbedarf von Standort, Klima, Artenauswahl und Bewässerungssystem abhängt, sind die angegebenen Werte als Richtwerte zu verstehen.

Tabelle 1: Richtwerte je Durchgang und Jahressumme des Bewässerungsbedarfs der definierten GI-Typen

GI-Typ	Bewässerungsbedarf je Durchgang	Jahressumme (Richtwert)	Quelle
A – Rasenfläche	20 l/m²	ca. 3.000 l/m²	ÖNORM L 1112; FLL, 2006
B – Befestigte Fläche mit Begrünung	5–20 l/m² (nur Anwuchs)	kein Zusatzbedarf	FLL, 2018
C – Staudenfläche	30 l/m²	ca. 4.000 l/m²	ÖNORM L 1112
D – Wechselflor	50 l/m²	bis 17.000 l/m²	ÖNORM L 1112
E – Strauchfläche	20 l/m² (Anwuchs)	gering nach Anwuchs	ÖNORM L 1112
F – Hecke	20 l/m² (Anwuchs)	gering nach Anwuchs	ÖNORM L 1112
G – Baumpflanzung (bis 15 J.)	75–200 l/Baum	ca. 13.000 l/Baum o. 8–16 Durchgänge/Jahr	ÖNORM L 1112; FLL, 2015
H – Extensive Dachbegrünung	kein Zusatzbedarf	0 l/m²	FLL, 2018
H – Reduziert-intensive Dachbegrünung	standortabhängig	gering bis mäßig	FLL, 2018
H – Intensive Dachbegrünung	20 l/m²	ca. 1.400 l/m²	ÖNORM L 1112
I – Bodengebundene Vertikalbegrünung	standortabhängig	gering bis mäßig	FLL, 2018b
I – Wandgebundene Vertikalbegrünung	systemabhängig, Herbst: 1,3 – 4,2 l/m², Sommer: 3,1 – 16,7 l/m²	bis 1.000 l/m²/Jahr	Köhler et al., 2015
I – Troggebundene Vertikalbegrünung	systemabhängig	mäßig bis hoch	ASI, 2021b

Diese Richtwerte bilden gemeinsam mit den Klimadaten der drei Case Studies (Wels, Eisenstadt, Leibnitz) und den Begrünungsszenarien aus Kapitel 4 die Eingangsgrößen für die standortspezifische Wasserbedarfsberechnung in Kapitel 6.

3 Alternativen Wasserressourcen

Die Bewässerung von Grüner Infrastruktur ausschließlich mit Trinkwasser ist aus Sicht der Ressourceneffizienz langfristig nicht tragbar, insbesondere unter den Bedingungen des Klimawandels, der gleichzeitig den Bewässerungsbedarf erhöht und die Verfügbarkeit konventioneller Wasserressourcen mehr unter Druck setzt. Daher ist die Untersuchung zur Nutzung von alternativen Wasserressourcen hinsichtlich ihrer quantitativen Verfügbarkeit, qualitativen Eignung, erforderlichen Aufbereitung sowie wirtschaftlichen Machbarkeit ein wichtiger Schritt für eine nachhaltige Zukunft in der Wasserwirtschaft. Als Ressourcen wurden Regenwasser, Abwasser, Grauwasser und Wasser aus Fließgewässern betrachtet. Dabei muss immer eine Aufbereitung spezifisch zu Brauch-, bzw. Nutzwasser erfolgen, bevor ein Einsatz für die Bewässerung erfolgen kann.

3.1 Qualitative Vorgaben für die Nutzung alternativer Wasserressourcen

Um alternative Wasserressourcen sicher einsetzen zu können, muss die Qualität und das Risikopotential bestimmt werden können. Der Einsatz von alternativen Wasserressourcen für die Bewässerung von Grüner Infrastruktur kann nur über die Bestimmung geeigneter Qualitätskriterien erfolgen. Dazu wird im Folgenden eine Übersicht über bestehende internationale und nationale Qualitäts- und Einsatzkriterien für alternative Wasserressourcen erstellt und mittels Parameterwerten in Tabelle 2 in Kapitel 3.1.6. vergleichbar gemacht. Da vor allem der Einsatz von gereinigtem Abwasser kritisch hinterfragt wird, fokussiert sich die Bestimmung geeigneter Qualitätskriterien auf diese Ressource, wobei andere Ressourcen (z. B. Regenwasser oder Oberflächenwasser) dieselben Qualitätskriterien erfüllen müssen.

Drei Teilaspekte der Qualität müssen hier berücksichtigt werden:

1. Qualitative Vorgabe für die Nutzung von gereinigtem Ab-, Grau-, Oberflächen-, oder Regenwasser
2. Qualitätsbestimmung für den Einsatz als Bewässerungswasser
3. Qualitätsbestimmung in Hinblick auf Grund-, und Oberflächengewässerschutz

Die Wiederverwendung von Abwasser, ist ein Prozess, bei dem gereinigtes Abwasser für nützliche Zwecke zurückgewonnen wird, wodurch der Bedarf an Frischwasser verringert und eine nachhaltige Wasserwirtschaft gefördert wird. Diese Praxis hat in den letzten Jahren aufgrund der zunehmenden Wasserknappheit, des Bevölkerungswachstums und den damit zusammenhängenden gestiegenen Wasserbedarf und der Auswirkungen des Klimawandels, stark an Bedeutung gewonnen. Diese Entwicklungen haben den Bedarf an innovativen Lösungen für eine effiziente Bewirtschaftung der Wasserressourcen deutlich erhöht.

In der heutigen Zeit haben Fortschritte bei den Aufbereitungstechnologien und ein besseres Verständnis der gesundheitlichen und ökologischen Auswirkungen der Wiederverwendung von Abwasser zu einem Umdenken geführt. Moderne Aufbereitungsverfahren können Verunreinigungen wirksam entfernen, so dass sich wiedergewonnenes Wasser für eine Reihe von Anwendungen eignet. Diese umfassen den Einsatz von gereinigtem Abwasser für die landwirtschaftliche Bewässerung (Vobruba et al., 2025; Hayat et al., 2026), die Anreicherung von Grundwasser (Olivieri et al., 2020) aber auch für die direkte Herstellung von neuem Trinkwasser (Lahnsteiner et al., 2024). Spezifisch für die Bewässerung von Grüner Infrastruktur ist die Nutzung von gereinigtem Grauwasser ein wichtiges Thema geworden (Pucher et al., 2022; Graef et al., 2022). Grauwasser bezeichnet häusliches Abwasser, das keine Fäkalien (Kot oder Urin) enthält, und umfasst verschiedene Quellen wie Abwässer von Maschinen (z. B. Spül- und Waschmaschinen), Badezimmern (Dusche, Badewanne, Handwaschbecken) und Küchen. Es wird zwischen leicht verschmutztem Grauwasser, das keine Küchenabwässer enthält, und stärker verschmutztem Grauwasser unterschieden (gemäß ÖNORM EN 12056-1 und ÖNORM EN 16941-2).

Die Zusammensetzung und Inhaltsstoffe von Grauwasser werden durch demographische Faktoren wie Bevölkerungsdichte, Lebensstil (z. B. die Art der verwendeten Reinigungsprodukte) und geographische Gegebenheiten beeinflusst. Global betrachtet macht Grauwasser mit 60-80 % den größten Anteil des täglich anfallenden Abwassers aus. In Österreich wird die pro Kopf und Tag produzierte Menge auf mindestens 60 Liter geschätzt (ÖNORM EN 16941-2). Grauwasser ist im Vergleich zum Gesamtabwasser weniger belastet. Es trägt nur 8 % zum biochemischen Sauerstoffbedarf, 9 % zum Gesamtstickstoff und 22 % zum Gesamtphosphor bei. Diese geringe Verschmutzung macht es relativ einfach, Grauwasser zu reinigen und für die Wiederverwendung aufzubereiten (Masi et al. 2020). Neben gelösten Stoffen wie Tensiden aus seifenhaltigen Produkten (z. B. Duschgel, Shampoo, Spülmittel) enthält Grauwasser auch Feststoffe, Salze und Bakterien.

Für die sichere Wiederverwendung gibt es spezifische Anforderungen und Grenzwerte, die in der ÖNORM EN 16941-2 sowie in der EU-Verordnung (EU 2020/741) festgelegt sind. Die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA) definiert in ihrer Richtlinie DWA M 277 klare Reinigungsverfahren für verschiedene Anwendungen. Diese umfassen in der Regel eine mechanische Vorbehandlung, gefolgt von einer biologischen Reinigung. Für eine Nutzung im öffentlichen Bereich ist zusätzlich eine Hygienisierung erforderlich, um die Sicherheit zu gewährleisten.

3.1.1 Empfehlungen der Weltgesundheitsorganisation

Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) gibt umfassende Empfehlungen für die Wiederverwendung von Wasser, die den Schutz der öffentlichen Gesundheit betonen und gleichzeitig nachhaltige Praktiken unterstützen. Diese Leitlinien gelten sowohl für Trinkwasser- als auch für Nichttrinkwasser-Wiederverwendungsszenarien und unterstreichen die Bedeutung eines risikobasierten Ansatzes zur Gewährleistung von Sicherheit und Wirksamkeit. Die Wiederverwendung von Wasser wird auch als wichtige Strategie zur Bekämpfung von Wasserknappheit und zur Anpassung an die Auswirkungen des Klimawandels hervorgehoben. Die WHO setzt sich für die Einführung energieeffizienter und kostengünstiger Technologien ein, die die Nachhaltigkeit verbessern und gleichzeitig die Sicherheit des wiederverwendeten Wassers gewährleisten.

Einschlägige WHO-Leitlinien bieten weitere detaillierte Anleitungen. Die „Guidelines for Drinking-Water Quality“ (2022) legen Standards für die Trinkwasserqualität fest, die auf Wiederverwendungsszenarien anwendbar sind. Der Leitfaden „Safe Use of Wastewater in Agriculture“ (2006) bietet spezifische Leitlinien für landwirtschaftliche Anwendungen, und der Leitfaden „Potable Reuse: Guidance for Producing Safe Drinking-Water“ (2017) konzentriert sich auf Risikobewertung, Behandlungstechnologien und Überwachungsstrategien für die Wiederverwendung von Trinkwasser. Wenn diese Empfehlungen befolgt werden, kann die Wasserwiederverwendung ein sicheres und wirksames Instrument zur Erweiterung der Wasserversorgung, zum Schutz der öffentlichen Gesundheit und zur Förderung der ökologischen Nachhaltigkeit werden.

Die WHO-Leitlinien heben die Festlegung gesundheitsbezogener Ziele hervor, die durch eine quantitative mikrobielle Risikobewertung (QMRA) unterstützt werden, um potenzielle Erregerrisiken zu bewerten. Das Hauptziel besteht darin, ein tolerierbares Risikoniveau zu erreichen, das als 10^{-6} behinderungsbereinigte Lebensjahre (DALYs) pro Person und Jahr

definiert ist, um so die gesundheitlichen Auswirkungen zu minimieren. Dies wird durch einen Ansatz mit mehreren Barrieren erreicht, der fortschrittliche Aufbereitungstechnologien, natürliche Abschwächungsprozesse und Sicherheitsmaßnahmen nach der Aufbereitung integriert, um ein hohes Schutzniveau zu gewährleisten. Die Empfehlungen der WHO umfassen ein breites Spektrum von Wiederverwendungsanwendungen. Bei der Bewässerung in der Landwirtschaft wird unterschieden zwischen der uneingeschränkten Bewässerung, die höhere Behandlungsniveaus erfordert, die für alle Kulturpflanzen, einschließlich derjenigen, die roh verzehrt werden, geeignet sind, und der eingeschränkten Bewässerung, die weniger strenge Standards für nicht essbare Kulturen zulässt. Bei der industriellen Nutzung liegt der Schwerpunkt auf der Aufrechterhaltung der Wasserqualität zum Schutz der Arbeitnehmer und zur Gewährleistung der Zuverlässigkeit der industriellen Prozesse. Für die Wiederverwendung von Trinkwasser gibt es zwei Hauptansätze: die indirekte Wiederverwendung von Trinkwasser (Indirect Potable Reuse, IPR) und die direkte Wiederverwendung von Trinkwasser (Direct Potable Reuse, DPR). Bei der IPR werden Umweltpuffer wie Aquifere oder Reservoirs als zusätzliche Sicherheitsschicht verwendet, während bei der DPR solche Puffer entfallen und robustere Aufbereitungs- und Überwachungssysteme erforderlich sind.

Im Zusammenhang mit der Abwasseraufbereitung für die Wiederverwendung legt die WHO-Mindestanforderungen fest, um sicherzustellen, dass die Wasserqualität für die vorgesehenen Anwendungen geeignet ist. Zu diesen Anforderungen gehört je nach Verwendungszweck eine Reduzierung von Krankheitserregern wie Viren, Bakterien und Protozoen um 4-7 log. Fortgeschrittene Aufbereitungsverfahren, einschließlich Mikrofiltration, Umkehrosmose und fortgeschrittene Oxidationsverfahren, werden für Hochrisikoanwendungen wie die Wiederverwendung von Trinkwasser empfohlen. Die Behandlungsintensität wird je nach Expositionsrisiko angepasst, insbesondere bei direktem Kontakt mit dem Menschen oder bei der Bewässerung von Lebensmittelkulturen.

Überwachung und Qualitätskontrolle sind von zentraler Bedeutung für den Erfolg von Wasserwiederverwendungssystemen. Die WHO betont die Notwendigkeit einer Betriebsüberwachung in Echtzeit, um die Wirksamkeit der Aufbereitungsprozesse zu überprüfen. Regelmäßige Qualitätstests sind erforderlich, um das Vorhandensein von Krankheitserregern wie Escherichia coli (E. coli) und Cryptosporidium, chemischen Verunreinigungen wie Nitraten und Arzneimitteln sowie Desinfektionsnebenprodukten wie chlorierten organischen Stoffen zu analysieren. Umfassende Wassersicherheitspläne werden auch empfohlen, um Risiken im gesamten Wasserwiederverwendungssystem zu berücksichtigen

Die Akzeptanz der Öffentlichkeit und die Einbindung der Interessengruppen sind entscheidende Faktoren für erfolgreiche Initiativen zur Wasserwiederverwendung. Die WHO rät zur Förderung von Transparenz und offener Kommunikation, um die Öffentlichkeit über die Sicherheit und die Vorteile der Wasserwiederverwendung aufzuklären. Der Nachweis der konsequenten Einhaltung von Wasserqualitätsstandards durch eine transparente Berichterstattung ist der Schlüssel zur Vertrauensbildung in der Öffentlichkeit.

Die Entwicklung institutioneller und rechtlicher Rahmenbedingungen ist ein weiterer Schwerpunktbereich. Die WHO betont die Bedeutung klarer, regional zugeschnittener Vorschriften und die Koordinierung der Bemühungen zwischen den für Gesundheit, Umweltmanagement und Wasserversorgung zuständigen Stellen, um eine wirksame Umsetzung zu gewährleisten.

3.1.2 Europäische Union

Auf europäischer Ebene wurde 2020 die Verordnung 2020/741 „Mindestanforderungen für die Wasserwiederverwendung in der Landwirtschaft“ beschlossen, welche am 26.6.2023 in Kraft trat. Die Verordnung hat das Ziel, Wasserknappheit in der EU zu mindern und dabei ein hohes Schutzniveau für die Umwelt sowie die Gesundheit von Menschen und Tieren sicherzustellen. Sie ergänzt bestehende EU-Vorschriften wie die Kommunalabwasserrichtlinie (EU 2024/3019) und die Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG) und legt harmonisierte Mindestanforderungen für die Wiederverwendung von behandeltem Abwasser fest.

Die Verordnung gilt speziell für Anlagen zur Aufbereitung von kommunalem Abwasser, das für die landwirtschaftliche Bewässerung wiederverwendet werden soll. Hierbei werden klare Vorgaben für die Wasserqualität, die Überwachung und das Risikomanagement gemacht. Zu den Qualitätskriterien gehören mikrobiologische Parameter, wie der Gehalt an E. coli, sowie physikalisch-chemische Anforderungen (Tabelle 2). Betreiber von Aufbereitungsanlagen müssen sicherstellen, dass das Wasser die festgelegten Grenzwerte einhält und regelmäßig überwacht wird.

Die Grenzen der Verordnung liegen darin, dass sie nicht für alle Formen der Wasserwiederverwendung gilt. Sie bezieht sich ausschließlich auf die Wiederverwendung in der landwirtschaftlichen Bewässerung und lässt andere Anwendungsbereiche, wie die industrielle Nutzung oder die Grundwasseranreicherung, außen vor. Zudem sind die spezifischen Anforderungen auf den Schutz der öffentlichen Gesundheit und der Umwelt ausgerichtet, wodurch

der Anwendungsbereich auf Regionen mit ausreichenden technischen und organisatorischen Kapazitäten begrenzt sein kann. Ergänzend müssen Mitgliedstaaten nationale Risikomanagementpläne entwickeln, die die lokalen Gegebenheiten berücksichtigen. Diese Pläne dienen dazu, Risiken zu identifizieren und zu bewerten, die sich aus der Wiederverwendung von Wasser ergeben könnten, und entsprechende Maßnahmen zur Risikominderung umzusetzen.

In der Verordnung 2020/741 wurde eine Opt-Out Möglichkeit verankert, welche von Österreich bei Inkrafttreten der Verordnung angenommen wurde. Begründet wurde dies wie folgt: Die bewässerungswürdigen landwirtschaftlichen Flächen liegen häufig weit entfernt von großen Kläranlagen, die über ausreichend Kläranlagenablauf verfügen. Zudem könnte die Umleitung des Kläranlagenablaufs für die Wiederverwendung in der Landwirtschaft zu einem quantitativen Defizit in den Oberflächengewässern führen, was bei niedrigen Pegelständen gewässerökologische Probleme verursachen könnte. Eine weitere Hürde ist die geschätzten Verdoppelungen der Bewässerungskosten für Landwirte, die durch den notwendigen Transport, die Verteilung und mögliche Speicherung des wiederverwendeten Wassers entstehen könnten. Darüber hinaus besteht Unsicherheit hinsichtlich der Haftungsfrage: Es ist unklar, ob im Falle einer Keimbelastung von landwirtschaftlichen Produkten durch wiederverwendetes Wasser das Abwasserunternehmen oder der Landwirt haftet. Aktuell wird der Bewässerungsbedarf in Österreich noch vollständig durch konventionelle Wasserressourcen gedeckt, was die Dringlichkeit einer großflächigen Einführung der Wasserwiederverwendung verringert.

Die neue Richtline 2024/3019 zur Behandlung von kommunalem Abwasser ergänz hier in Artikel 15, dass, wo angebracht, Mitgliedstaaten die Wasserwiederverwendung stärken sollen, vor allem in Regionen mit Wasserstress. Das Potential zur Wiederverwendung von behandeltem Abwasser soll mittels der Bewirtschaftungspläne auf Einzugsgebietsebene (nach Richtlinie 2000/60/EG) bewertet werden.

3.1.3 Deutschland

In Deutschland ist seit 2017 das DWA Merkblatt 277 „Hinweis zur Auslegung von Anlagen zur Behandlung und Nutzung von Grauwasser und Grauwasserteilströmen“ verfügbar. Darin wird einerseits das Konzept der Grauwassernutzung erörtert und weiters Spezifikationen für dessen Umsetzung von der Planung bis zum Betrieb besprochen.

Bei den Qualitätsanforderungen wird zwischen Grauwasser der Typen A und B unterschieden. Grauwasser Typ A, das aus Duschen, Badewannen und Handwaschbecken stammt, wird als „schwach belastet“ eingestuft. Grauwasser Typ B hingegen kann zusätzlich Abwasser aus Küchen und Waschmaschinen enthalten und weist eine höhere Verschmutzung auf. Die Qualitätsanforderungen sind zudem für zwei Nutzungskategorien definiert, (i) Nutzungskategorie C1 umfasst Grauwasser, das für die Toilettenspülung in Privathaushalten verwendet wird, (ii) Nutzungskategorie C2 bezieht sich auf die Toilettenspülung im privaten und öffentlichen Bereich, die Bewässerung von Privatgärten (einschließlich roh verzehrbarer Gartenbauprodukte) sowie die Nutzung in privaten Waschmaschinen. Ergänzend werden dort auch geeignete Technologien zur Aufbereitung aufgeführt.

Für die Umsetzung der EU-Verordnung 2020/741 ist in Deutschland eine Ad-hoc-Arbeitsgruppe der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) eingesetzt worden (LAWA, 2022). Deren Endbericht wurde im Februar 2022 abgeschlossen und dient als Grundlage für die nationale Umsetzung in Deutschland. Ergänzend wird ein dreiteiliges Merkblatt der DWA (DWA M 1200) erarbeitet, welches auch die urbane Nutzung wie die Bewässerung von Grünflächen beinhalten soll. Dies ist zurzeit noch in Arbeit. Die LAWA hat ebenfalls begonnen, die Möglichkeit nationale Regelungen zur Nutzung von aufbereitetem Abwasser auf nicht-landwirtschaftlich genutzte Flächen wie Parks, Golf- und Sportplätze auszuweiten. Aufgrund des Klimawandels befürwortet die KG grundsätzlich eine entsprechende Regulierung, unter der Voraussetzung, dass Gesundheitsaspekte, insbesondere bei der Bewässerung öffentlich zugänglicher Flächen, berücksichtigt werden. Eine Abstimmung mit dem Bundesministerium für Gesundheit ist notwendig, um die Regelungen weiter zu konkretisieren.

3.1.4 Spanien

In Spanien wird die Wiederverwendung von behandeltem Abwasser über das Königliche Dekret 1620/2007 geregelt. Es definiert die zulässigen Verwendungszwecke für aufbereitetes Wasser, legt Qualitätskriterien fest und regelt die erforderlichen Genehmigungsverfahren. Ziel ist es, die effiziente Nutzung von Wasserressourcen zu fördern und gleichzeitig den Schutz der öffentlichen Gesundheit und der Umwelt zu gewährleisten. Das Dekret unterscheidet verschiedene Qualitätsstufen des aufbereiteten Wassers, abhängig vom vorgesehenen Verwendungszweck, und legt spezifische Grenzwerte fest (Tabelle 2). Die Verwendungszwecke beinhalten (i) die Städtische Nutzung (Bewässerung von Parks, Gärten und Freizeitflächen; Reinigung von Straßen), (ii) Landwirtschaftliche Nutzung (Bewässerung von

essbaren und nicht essbaren Nutzpflanzen inklusive besondere Anforderungen für Kulturen, bei denen das Wasser in Kontakt mit essbaren Pflanzenteilen kommt), (iii) Industrielle Nutzung (Kühlung, Prozesswasser oder andere industrielle Anwendungen), (iv) Freizeitnutzung (Wasser für Golfplatzbewässerung, künstliche Seen, etc.) sowie (v) Umweltanwendungen (Feuchtgebiete, Grundwasseranreicherung oder Ähnliches).

Öffentliche Verwaltungen auf staatlicher, regionaler und lokaler Ebene sind ermächtigt, Programme und Pläne zur Wiederverwendung von Wasser zu entwickeln, um die effiziente Nutzung der Wasserressourcen zu fördern. Diese Pläne müssen eine detaillierte wirtschaftliche und finanzielle Analyse enthalten und unterliegen einer strategischen Umweltprüfung.

3.1.5 Österreich

In Österreich wird, wie schon vorhergehend beschrieben die Wasserwiederverwendungsverordnung der EU zurzeit nicht umgesetzt. Trotzdem gibt es für andere alternative Wasserressourcen Normen, die auch die Qualität für die Wiedernutzung beschreiben. In Österreich wurden die EN-Normen 16941 Teil 1 und Teil 2 als ÖNORM übernommen. Diese befassen sich mit der nachhaltigen Nutzung von nicht trinkbarem Wasser und fördern die Reduzierung des Trinkwasserverbrauchs durch die Nutzung alternativer Wasserressourcen wie Regenwasser (ÖNORM 16941-1) und Grauwasser (ÖNORM 16941-2). Beide Normen bieten klare Vorgaben, um die Ressourceneffizienz zu steigern und den Einsatz von Trinkwasser für nicht essenzielle Anwendungen zu minimieren. Sie sind essenziell für Planer, Bauherren und Betreiber, die nachhaltige Wassernutzungssysteme umsetzen möchten. Für Bau- und Wasserrechtliche Genehmigungen dienen die Normen als anerkannter Stand der Technik. Das bedeutet, dass die Einhaltung dieser Normen in Planungsunterlagen den aktuellen technischen Anforderungen entspricht.

Die ÖNORM EN 16941-1 gibt Richtlinien für die Planung, den Bau, den Betrieb und die Wartung von Regenwassernutzungssystemen vor. Ziel ist es, Regenwasser für Anwendungen wie die Toilettenspülung, Gartenbewässerung, industrielle Prozesse und die Reinigung von Flächen zu nutzen. Die Norm definiert technische Anforderungen an Komponenten wie Speicher, Filter und Leitungssysteme. Sie legt zudem Hygienestandards und Schutzmaßnahmen gegen Verunreinigungen fest. Die Wasserqualität wird in Abhängigkeit von der Nutzung kategorisiert, und regelmäßige Inspektionen sowie eine sorgfältige Wartung der Systeme sind vorgeschrieben.

Die ÖNORM EN 16941-2 beschreibt Anforderungen für die Wiederverwendung von Grauwasser, das aus Duschen, Badewannen und Waschbecken stammt. Sie unterscheidet zwischen Grauwasser Typ A (gering belastet) und Typ B (höher belastet, z. B. aus Küchen). Die Norm legt Kriterien für die Wasseraufbereitung und -qualität fest, um eine sichere Nutzung für Anwendungen wie die Toilettenspülung, Gartenbewässerung und private Waschmaschinen zu gewährleisten. Besondere Aufmerksamkeit gilt der Hygiene und der Vermeidung gesundheitlicher Risiken. Die Norm betont die Bedeutung eines nachhaltigen Betriebs und regelmäßiger Wartung, um die Funktionalität und Sicherheit der Systeme zu gewährleisten.

3.1.6 Vergleichende Einordnung

Ein Vergleich der in Tabelle 2 zusammengestellten Regelwerke zeigt, dass sich diese nicht nur im Schutzniveau, sondern vor allem in der Art der Differenzierung unterscheiden. Während die EU-Verordnung 2020/741 bei der Bewertung der Wasserqualität insbesondere berücksichtigt, ob die bewässerten Pflanzen mit dem aufbereiteten Wasser in Kontakt kommen, orientieren sich die deutschsprachigen Regelwerke (ÖNORM 16941-2, DWA-M 277) stärker an der Art der Anwendung selbst. Hier gelten Sprühanwendungen mit Aerosolbildung durchgehend als besonders kritisch und werden mit den strengsten Anforderungen belegt, während WC-Spülung, Gartenbewässerung und Wäschewaschen ein niedrigeres, untereinander ähnliches Anforderungsniveau aufweisen. Die spanische Regelung kombiniert beide Kriterien: Sie unterscheidet sowohl nach Anwendungsbereich (urban, landwirtschaftlich, freizeitbezogen, umweltbezogen) als auch nach dem Kontakt mit der Kultur, was zu einer feineren Abstufung führt als in den übrigen Regelwerken.

Trotz dieser Unterschiede liegen die deutschen und österreichischen Grenzwerte für vergleichbare Anwendungsfälle in ähnlicher Größenordnung, was auf ein grundsätzlich vergleichbares Schutzniveau im deutschsprachigen Raum hindeutet. Spanien liegt für vergleichbare Nutzungskategorien teils in derselben, teils in einer großzügigeren Größenordnung. Für Umsetzungen zur Nutzung von alternativen Wasserressourcen legt dieser Vergleich nahe, die Anforderungen nicht allein an der wiedergewonnenen Ressource, sondern zusätzlich an der konkreten Bewässerungsart (z. B. Sprüh- oder Tropfbewässerung) und der Zugänglichkeit der bewässerten Fläche für die Öffentlichkeit auszurichten.

Weitere Qualitätskriterien müssen in Österreich berücksichtigt werden, wenn es um die Bewässerung von Grüner Infrastruktur geht. Zum einen stellt der Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAV) im Regelblatt 407 Empfehlungen für die Qualität von Bewässerungswasser zur Verfügung, deren Schwellenwerte bei der Grauwasserverwendung

mitberücksichtigt werden müssen. Zum anderen ist der Grundwasserschutz zu beachten: Gelangt überschüssiges Bewässerungswasser durch Infiltration in den Grundwasserkörper, sind die Schwellenwerte der Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser (QZV Chemie GW; BGBl. II Nr. 98/2010) maßgeblich. Eine Zusammenstellung der Maßgebenden Parameter ist in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 2: Gegenüberstellung der Anforderungen an die Qualität von gereinigtem Ab- und Grauwasser für unterschiedliche Anwendungen (KBE…Koloniebildende Einheiten; NTU…Nephelometrische Trübungseinheit)

Richtlinie /Anwendung	E. coli KBE	Legionella KBE	Enterokokken KBE	Trübe NTU	COD $mg.L^{-1}$	BSB_5 $mg.L^{-1}$	TSS $mg.L^{-1}$
EU 2020/741/EG Verordnung über Mindestanforderungen an die Wasserwiederverwendung							
Essbare Pflanze in direktem Kontakt (alle Bewässerungsarten)	≤10	< 1000	-	≤ 5	125	≤ 10	≤ 10
Essbare Pflanze nicht in direktem Kontakt (alle Bewässerungsarten)	≤ 100	-	-	-	-	25	35
Essbare Pflanze nicht in direktem Kontakt (Tropfbewässerung)	≤100	-	-	-	-	25	35
Industrie- und Energiepflanzen (alle Bewässerungsarten)	≤1000	-	-	-	-	25	35
Österreich – ÖNORM 16941-2 Vor-Ort-Anlagen für Nicht-Trinkwasser - Teil 2: Anlagen für die Verwendung von behandeltem Grauwasser							
Reinigung, Gartensprenger	0	10	0	<10; <1 (Desinfektion)	90	25	-
WC-Spülung	250	-	100	-	90	25	-
Gartenbewässerung	250	-	100	-	90	25	-
Waschmaschine	0	-	0	-	90	25	-
Deutschland – DWA M277 Hinweise zur Auslegung von Anlagen zur Behandlung und Nutzung von Grauwasser							

Richtlinie /Anwendung	E. coli KBE	Legionella KBE	Enterokokken KBE	Trübe NTU	COD $mg.L^{-1}$	BSB_5 $mg.L^{-1}$	TSS $mg.L^{-1}$
Behandlung + Hygienisierung	<1000	-	-	<2	-	<5	-
Spanien – Königliches Dekret 1620/2007 Vorschriften zur Wasserwiederverwendung							
1) Urbane Anwendung							
Wohnsitze	0	100	-	2	-	25	35
Bewässerung, Straßenreinigung	200	100	-	10	-	25	35
2) Landwirtschaft							
Kontakt mit roh essbarer Pflanze	100	100	-	10	-	25	20
Kontakt mit roh essbarer Pflanze, Industrieverarbeitung	1000	100	-	-	-	25	35
Bewässerung von Weiden für Futtermittel	1000	100	-	-	-	25	35
Aquakulturen	1000	100	-	-	-	25	35
Obstgehölz ohne Kontakt zu Obst; Zierpflanzen; Industrie nicht Lebensmittel	10000	100	-	-	-	25	35
4) Freizeitanwendung							
Bewässerung Golfplätze	200	100	-	10	-	25	20
Teiche, Gewässer, ohne öffentlichen Zugang	10000	-	-	-	-	25	35
5) Umweltanwendungen							
Grundwasseranreicherung mittels Bodenzone	1000	-	-	-	-	25	35
Grundwasseranreicherung, direkte Injektion	0	-	-	-	-	25	35
Bewässerung von Wäldern, Grünflächen u. a. öffentlich nicht zugänglichen Flächen; Forstwirtschaft	-	-	-	-	-	25	35
Andere Umweltzwecke (z. B. Feuchtgebiete)	-	-	-	-	-	25	35

Tabelle 3: Gegenüberstellung der maßgebenden Parameter für die Bewässerung bezogen auf das ÖWAV-Regelblatt 407: Empfehlungen für die landwirtschaftliche Bewässerung und die Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser

Parameter	QZV Chemie GW	ÖWAV RB 407	Information
1,2-Dichlorethan	2,7 µg/l		Organische Verbindung, giftig und potenziell krebserregend.
Aluminium		0,5 mg/l	Kann zu Wachstumsbehinderungen in sauren Böden führen, aber in neutralen/alkalischen Böden nicht toxisch.
Ammonium	0,45 mg/l		Stickstoffhaltige Verbindung, Indikator für Verunreinigungen.
Arsen	9 µg/l	100 µg/l	Natürlich vorkommendes Halbmetall, toxisch in hohen Konzentrationen, potenziell krebserregend.
Barium		1,0 mg/l	Natürlich vorkommend, toxisch in hohen Konzentrationen.
Benzol	0,9 µg/l		Organische Verbindung aus industriellen Prozessen, krebserregend und wasserlöslich.
Beryllium		0,1 mg/l	Empfindlichkeit variiert stark; kann Nahrungsketten beeinflussen.
Blei	9 µg/l	100 µg/l	Schwermetall, schädlich für das Nervensystem, besonders bei Kindern.
Bor	0,9 mg/l	1,0 mg/l	Spurenelement, toxisch für Pflanzen in hohen Konzentrationen.
Cadmium	4,5 µg/l	10 µg/l	Toxisches Schwermetall, schädlich für Nieren und Organe.
Chlorid	180 mg/l	< 70 mg/l	Natürlich vorkommend, beeinflusst Geschmack und Korrosionsneigung.
Chrom		0,05 mg/l	Geringe Informationen zur Wirkung, kann toxisch sein.
Chrom (gesamt)	45 µg/l		Metall, toxische Formen wie Chrom (VI) sind hochgiftig.
Eisen		10,0 mg/l	Nicht toxisch in belüfteten Böden, aber problematisch in sauren Böden.
Fluor		3,0 mg/l	Wird in neutralen und alkalischen Böden inaktiviert, kann toxisch sein.
Kobalt		0,2 mg/l	Toxisch in kleinen Mengen, besonders für Tomaten.
Kupfer	1,8 mg/l	10 mg/l	Essentielles Spurenelement, toxisch bei Überdosierung.
Leitfähigkeit	2250 µS/cm		Misst die Konzentration gelöster Salze, allgemeiner Indikator für Wasserqualität.

Parameter	QZV Chemie GW	ÖWAV RB 407	Information
Lithium		0,2 mg/l	Toxizitätsbereich schwankt; Zitrusfrüchte sind empfindlich.
Mangan		1,0 mg/l	Toxisch in sauren Böden, kann Wasserverteilungssysteme beeinträchtigen.
Molybdän		0,01 mg/l	Nicht toxisch, aber über Nahrungskette schädlich.
Nickel	18 µg/l	500 µg/l	Schwermetall, kann allergische Reaktionen hervorrufen.
Nitrat	45 mg/l		Stammt aus Düngemitteln, gefährlich für Kleinkinder bei hohen Konzentrationen.
Nitrit	0,09 mg/l		Entsteht durch den Abbau von Nitrat, toxisch und krebserregend.
Pestizide (gesamt)	0,5 µg/l		Giftige Stoffe aus landwirtschaftlichen Anwendungen, schädlich für Ökosysteme.
Quecksilber	0,9 µg/l	2 µg/l	Hochgiftiges Schwermetall, schädigt das Nervensystem.
Selen		0,02 mg/l	Toxisch für Pflanzen, kann über die Nahrungskette schädlich sein.
Zink		2,0 mg/l	Kann in hohen Konzentrationen toxisch sein, insbesondere bei niedrigem pH-Wert.

3.2 Quantitative Betrachtung

3.2.1 Regenwasser

Regenwasser zählt zu den naheliegendsten alternativen Wasserressourcen für die Bewässerung von GI. In mitteleuropäischen Städten liegen die jährlichen Niederschläge typischerweise zwischen 600 und 900 mm, womit grundsätzlich ein hohes theoretisches Mengenpotenzial vorhanden ist. Für Österreich zeigt sich dabei ein ausgeprägter West-Ost-Gradient der Niederschläge, der bei der regionalen Einschätzung des Potenzials zu berücksichtigen ist. Während westliche Landesteile deutlich höhere Jahresniederschläge aufweisen, sind östliche Regionen durch eine tendenziell konstantere, aber im Sommer kritischere Niederschlagsverteilung gekennzeichnet. Für die Sammlung eignen sich vor allem Dachflächen, die im Vergleich zum Straßenraum deutlich geringer mit Schadstoffen belastet sind. Für die Bewässerung von GI ist Regenwasser nach einfacher mechanischer Vorbehandlung mittels Filtration und Sedimentation in der Regel gut geeignet. Eine weitergehende Desinfektion ist bei bodennaher oder unterirdischer Bewässerung meist nicht erforderlich, sofern direkter

menschlicher Kontakt minimiert wird (WHO, 2006). Die technischen Anforderungen an Regenwassernutzungssysteme wie Komponenten, Hygienestandards und Wartung sind in der ÖNORM EN 16941-1 geregelt, die in Österreich als anerkannter Stand der Technik gilt.

Wichtig ist dabei die Unterscheidung zwischen Regenwassermanagement im Sinne des Überflutungsschutzes (z. B. Retentionsdächer) und der Regenwassersammlung zur Wiedernutzung. Beide Konzepte können in Konflikt stehen, wenn Gründächer primär der Kanalnetzentlastung dienen sollen, gleichzeitig aber als Sammelflächen genutzt werden.

Der wesentliche Einschränkungsfaktor bei Regenwasser ist die zeitliche Verfügbarkeit: Niederschlagsereignisse sind diskontinuierlich und treten häufig außerhalb der Hauptbewässerungssaison auf. Diese Diskontinuität äußert sich in einem Unterschied zwischen Angebot und Bedarf, der insbesondere in den Sommermonaten zum Tragen kommt, wenn der Bewässerungsbedarf am höchsten, das Niederschlagsdargebot aber am unsichersten ist. Um den Bedarf in Trockenperioden decken zu können, sind Speichervolumina erforderlich, die sich an mehreren Wochen Bewässerungsbedarf orientieren. In dicht bebauten urbanen Räumen stellt der Platzbedarf für solche Speicher eine wesentliche Restriktion dar, da der urbane Untergrund durch bestehende Infrastruktur bereits stark beansprucht wird. Die quantitative Analyse im Rahmen der Case Studies bestätigt, dass das real nutzbare Potenzial von Regenwasser aufgrund dieser Speicherlimitierungen als mittel einzustufen ist.

3.2.2 Grauwasser

Grauwasser bezeichnet häusliches Abwasser ohne fäkale Anteile und umfasst Abwässer aus Duschen, Badewannen, Handwaschbecken, Waschmaschine und Geschirrspüler (ÖNORM EN 16941-2; ÖNORM EN 12056-1). Laut ÖNORM EN 16941-2 werden 60 Liter pro Person und Tag veranschlagt, wobei in der europäischen Literatur Werte zwischen 40 und 100 Litern angegeben werden (Shaikh und Ahammed, 2020). Eine umfangreiche deutsche Untersuchung auf Basis von 90 Datensätzen ermittelt einen Median des einwohnerspezifischen Volumenstroms von 72 l/(E·d), bei einer Schwankungsbreite von 60-80 l/(E·d) in den einschlägigen Regelwerken DWA-A 272 und DWA-M 277 (Sievers, 2018; Schneider-Werres, 2023).

Da Grauwasser weitgehend unabhängig von klimatischen Schwankungen kontinuierlich anfällt, eignet es sich besonders zur Deckung der Grundlast der Bewässerung, also des regelmäßigen, planbaren Bedarfs über die gesamte Vegetationsperiode. Allerdings ist der Grauwasseranfall innerhalb eines Tages keineswegs konstant: Eine Auswertung des Tagesgangs

in einer ökologischen Siedlung zeigt die geringsten Durchflüsse zwischen 1:00 und 5:00 Uhr, einen starken Anstieg auf das Tagesmaximum zwischen 7:00 und 9:00 Uhr sowie einen zweiten, schwächeren Peak in den Abendstunden (Schneider-Werres, 2023). Je größer die angeschlossene Einwohnerzahl, desto geringer fallen diese Schwankungen relativ aus. Dies ist bei der Dimensionierung von Pufferspeichern für Quartierslösungen zu berücksichtigen.

Für die Planung einer Grauwasseraufbereitung ist zudem die Unterscheidung zwischen schwach und stark belastetem Grauwasser relevant. Schwach belastetes Grauwasser stammt aus Dusche, Badewanne und Handwaschbecken; stark belastetes Grauwasser resultiert aus Küchenspüle, Geschirrspül- und Waschmaschine (ÖNORM EN 16941-2; DWA-M 277, 2017). Nach einer detaillierten deutschen Aufschlüsselung entfällt der größte Anteil mit 35 % auf die Dusche, gefolgt von Badewanne (17 %), Waschbecken und Textilwaschmaschine (je 15 %) sowie Küchenspülbecken und Geschirrspülmaschine (je 9 %). Somit stammen rund 67 % des Grauwassers aus dem Bereich der Körperhygiene (Schneider-Werres, 2023). Diese Differenzierung ist für die GAIA-Quartiersmodellierung relevant, da schwach belastetes Grauwasser mit deutlich geringerem Aufbereitungsaufwand für die Bewässerung nutzbar gemacht werden kann, während die Einbindung stark belasteter Teilströme den Reinigungsaufwand erhöht, gleichzeitig aber die verfügbare Gesamtmenge steigert.

Im Vergleich zu kommunalem Abwasser ist Grauwasser deutlich geringer belastet: Es trägt nur 8 % zum biologischen Sauerstoffbedarf, 9 % zum Gesamtstickstoff und 22 % zum Gesamtphosphor des kommunalen Abwassers bei (Masi et al., 2020). Für den Einsatz in der GI-Bewässerung ist nach entsprechender Aufbereitung (mechanische Vorbehandlung, biologische Reinigung, bei öffentlichem Einsatz zusätzlich Hygienisierung) eine sichere Nutzung möglich. Zwei projektnahe Forschungsarbeiten bestätigen dies: Das Projekt greenWATER-recycling (Gräf et al., 2022) zeigte, dass gereinigtes Grauwasser für die Bewässerung von Bäumen pflanzenphysiologisch unproblematisch ist; das Projekt UVG2.0 (Pucher et al., 2022) kam zum selben Ergebnis für Fassadenbegrünungen. Der technische Aufwand für Grauwassersysteme ist höher als für Regenwassersysteme: Sie erfordern Stoffstromtrennung in der Gebäudeinstallation, Aufbereitungsanlagen sowie kontinuierliches Monitoring und Wartung. Der Speicherbedarf ist hingegen gering, da die Ressource täglich anfällt.

Für die strukturierte Erhebung der Grauwasserverfügbarkeit auf Quartiers- oder Gebäudeebene eignet sich folgender Indikatorensatz: einwohnerspezifisches Grauwasseraufkommen (l/(E·d)), angeschlossene Einwohnerzahl sowie das Vorhandensein separater Leitungssysteme, das insbesondere bei Neubauten und im Zuge größerer Sanierungen gegeben ist,

im Bestand jedoch meist erst nachgerüstet werden muss (BOKU SWW, 2025). Dieser Indikatorensatz ergänzt den in Kapitel 3.2.1 vorgeschlagenen Rahmen für Regenwasser und bildet gemeinsam mit diesem die Grundlage für die in Kapitel 3.3 zu entwickelnde ressourcenübergreifende Entscheidungshilfe.

3.2.3 Wasser aus Fließgewässern

Oberflächenwasser aus Fließgewässern wurde als dritte potenzielle Ressource erhoben. Für die drei Case Studies ist Oberflächenwasser grundsätzlich in räumlicher Nähe vorhanden (Wels/Traun, Eisenstadt/Leitha, Leibnitz/Sulm). Die Nutzung setzt jedoch wasserrechtliche Genehmigungen und, je nach Gewässerqualität, eine entsprechende Aufbereitung voraus.

Im Rahmen der quantitativen Analyse wurde festgestellt, dass eine Entnahme aus Oberflächengewässern zur Bewässerung genau dann mit einem reduzierten Pegelstand der Gewässer kollidieren kann, wenn der Bedarf am höchsten ist, also in Trockenperioden. Dies kann gewässerökologische Probleme verursachen und steht im Widerspruch zu den Zielen der EU-Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG). Dieser Konflikt ist regulatorisch relevant: Österreich hat von der Opt-out-Möglichkeit der EU-Wasserwiederverwendungsverordnung (EU 2020/741) Gebrauch gemacht, begründet u.a. mit dem Risiko quantitativer Defizite in Oberflächengewässern. Fließgewässerwasser wurde daher für die Berechnungsmodelle in Kapitel 6 nicht als primäre Ressource herangezogen.

3.3 Entscheidungshilfe

Dieses Kapitel stellt die Entwickelte Entscheidungshilfe für den Einsatz von alternativen Wasserressourcen dar. Die Entscheidungshilfe wurde in drei aufeinander aufbauenden Schritten entwickelt: einer strukturierten Literaturanalyse von bestehenden Entscheidungsunterstützungstools, leitfadengestützten Experteninterviews mit österreichischen Fachpersonen und der Synthese beider Stränge zu einer eigenständigen Struktur.

3.3.1 Grundlagen für die Entwicklung einer Entscheidungshilfe

In einem ersten Schritt wurden 35 in der internationalen Literatur dokumentierte Werkzeuge zur Entscheidungsfindung für Wasserwiederverwendung und alternative Wasserressourcen systematisch nach Anwendungskontext, Methodik, Interdisziplinarität, Daten- sowie Expertiseanforderungen und Grenzen ausgewertet. Die Analyse zeigte, dass die meisten

bestehenden Tools auf einer Multikriterien-Entscheidungsanalyse basieren, häufig kombiniert mit einer Lebenszyklusanalyse, Kostenbetrachtung oder Risikoanalyse. Ein zentrales Ergebnis: Hybride, methodisch anspruchsvolle Tools bieten zwar hohe analytische Tiefe, sind aber datenintensiv und für die frühe Planungsphase kaum zugänglich. Einfache, konzeptionelle Tools sind zugänglicher, bleiben aber meist rein qualitativ. Zudem adressieren die meisten Tools eher die Machbarkeits- und Auslegungsphase als die frühe, ressourcenübergreifende Orientierungsphase, die für kommunale Planungspraxis in Österreich besonders relevant ist. Die Entwickelte Entscheidungshilfe adressiert diese Problematik und bietet einen ganzheitlichen Ansatz für die Vorplanung der Wasserwiedernutzung.

Weiters wurden 11 Interviews mit Expertinnen und Experten aus Wasserwirtschaft, Kommunen, Behörden und Forschung geführt. Die Kategorien der Fragen umfassten (i) Allgemeine Einschätzung und Relevanz der Wasserwiederverwendung in Österreich mit Fokus auf die Gesamteinschätzung, wahrgenommene aktuelle und zukünftige Relevanz, regionale Unterschiede in der Relevanz und das ressourcenspezifische Potenzial, (ii) Wirtschaftliche und finanzielle Aspekte, (iii) Technische und infrastrukturelle Aspekte, (iv) Rechtliche und institutionelle Aspekte, (v) Strategische, planerische und operative Aspekte, (vi) Soziale und Stakeholder-bezogene Aspekte und (vii) Implikationen für die Entscheidungshilfe, spezifisch zu den Anforderungen der Befragten an das zu entwickelnde Entscheidungsinstrument.

3.3.1.1 Ergebnisse aus den Interviews

Allgemeine Einschätzung und Relevanz der Wasserwiederverwendung in Österreich

Die Expert:innen bewerten Wasserwiederverwendung grundsätzlich positiv, sehen sie aber aktuell weniger als akute Notwendigkeit denn als zukunftsgerichtete Option. Der zentrale Grund: Österreichs Selbstbild als wasserreiches Land senkt die wahrgenommene Dringlichkeit deutlich. Gleichzeitig zeigt sich ein starkes West-Ost-Gefälle. Die Relevanz zur Wiedernutzung wird von den Befragten im Osten deutlich höher eingeschätzt, bedingt durch die Prognosen, dass verfügbare Ressourcen bis 2050 an ihre Grenzen stoßen könnten. Mehrere Interviewte glauben, dass der aktuelle österreichische Opt-out von der EU-Wasserwiederverwendungsverordnung langfristig nicht haltbar sein wird. Ressourcenspezifisch wird Abwasser am häufigsten als Ressource mit dem größten Potenzial genannt (großes, verlässliches Volumen), während Trinkwasserproduktion aus wiederverwendetem Wasser für Ös-

terreich als nicht realistisch gilt. Insgesamt überwiegt der Eindruck, dass sich das Bewusstsein für das Thema gerade verändert und die Chancen zunehmend die Herausforderungen überwiegen.

Wirtschaftliche und finanzielle Aspekte

Der am häufigsten genannte Einzelfaktor ist der niedrige Trinkwasserpreis in Österreich, der kaum wirtschaftlichen Anreiz für Alternativen schafft. Dies wird durch die kostenlose Grundwasser-/Oberflächenwasserentnahme verstärkt, während aufbereitetes Wasser zusätzliche Kosten verursacht. Kommunen sind zudem gesetzlich zu wirtschaftlichem Handeln verpflichtet, was teure Pilotlösungen schwer rechtfertigbar macht. Grauwassersysteme gelten unter den Befragten mehrheitlich als wirtschaftlich unrealistisch für den Bestand (Doppelinfrastruktur), wobei es hier noch zu wenig Erfahrung gibt. Im Neubau wird hier aber ein hohes Potential vorhergesehen. Als Erfolgsfaktoren werden vor allem gezielte Förderungen für Pilotprojekte genannt. Mehrere Expert:innen fordern zudem eine realistischere, gleichmäßigere Bepreisung aller Wasserressourcen als strukturelle Voraussetzung für faire wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit von Wiederverwendung.

Technische und infrastrukturelle Aspekte

Die zentrale technische Barriere ist der Bedarf an separater Sammel-, Aufbereitungs- und Verteilinfrastruktur (insbesondere ein zweites Leitungsnetz), was in bestehenden Städten wenig realistisch gilt und primär für Neubauten infrage kommt. Speicherung ist v. a. bei Regenwasser kritisch, da Niederschlag saisonal anfällt, der Bedarf aber in Trockenperioden entsteht. Hier werden vor allem innovative Lösungen wie saisonale Grundwasseranreicherung als wichtig erachtet. Räumliche Distanz zwischen Quelle (z. B. Kläranlage) und Nutzungsort wird ebenfalls als unterschätzter Kostenfaktor beschrieben. Als Erfolgsfaktor gilt übereinstimmend die Nutzung bestehender Logistik statt neuer Infrastruktur wie etwa kommunale Tankwagen, die ohnehin im Einsatz sind, sowie die Nutzung von Wasser nahe am Entstehungsort. Die bevorstehende 4. Reinigungsstufe für Kläranlagen wird als wichtiger technischer Wegbereiter gesehen, da sie die verbleibende Aufbereitungslücke zur Wiederverwendung verkleinert.

Rechtliche und institutionelle Aspekte

Als größte rechtliche Hürde gilt die fragmentierte, unklare Zuständigkeit zwischen Wasser-, Gesundheits- und Lebensmittelrecht sowie das Fehlen eines einheitlichen österreichischen

Rechtsrahmens für Wiederverwendung, verstärkt durch den Opt-out von der EU-Verordnung 2020/741. Mehrfach genannt wird die ungeklärte Haftungsfrage: Wer trägt rechtliche Verantwortung, wer betreibt die Anlage und wer erstellt und pflegt Bewirtschaftungspläne? Insbesondere bei dezentralen Systemen fehlt hierzu jede Regelung. Einzelne Expert:innen äußern zudem Bedenken zu ökologischen Restriktionen (Mindestabfluss) und mangelnder Vereinbarkeit mit Grundwasserschutz. Als positiv werden bereits bestehende Ansätze genannt, etwa die ÖNORM EN 16941-2 für Grauwassernutzung oder eine Regelung in der Wiener Bauordnung zur verpflichtenden Regenwasserspeicherung ab einer bestimmten Gebäudegröße. Erwartet wird von mehreren Befragten, dass Österreich mittelfristig zum Opt-in wechseln wird, sobald der Druck steigt; bis dahin gilt klare Standardisierung und Verfahrensstruktur als zentraler Erfolgsfaktor.

Strategische, planerische und operative Aspekte

Die Komplexität des Themas wird von den Expert:innen als eigene Hürde beschrieben. Ohne klaren Anstoß ("jemand muss die Hand heben") oder einer mutigen, unterstützenden Wasserbehörde passiert häufig nichts. Betont wird die Notwendigkeit, Konzepte von Anfang an ganzheitlich zu Ende zu denken, inklusive Energie- und Materialbilanz statt reiner Symbolpolitik. Als Erfolgsfaktoren werden internationale Lernerfahrungen (Transfer aus Ländern mit etablierter Praxis), Demonstrationsprojekte zur Vertrauensbildung sowie eine grundsätzliche Offenheit für alternative Lösungsansätze genannt. Mehrere Interviewte mahnen zu proaktivem Handeln, solange noch kein akuter Druck besteht ("bevor es zu spät ist"), da Österreich strukturell eher reaktiv statt vorausschauend handle.

Soziale und Stakeholder-bezogene Aspekte

Öffentliche Akzeptanz wird von den meisten Befragten als die größte Einzelherausforderung genannt verglichen mit technischen oder hygienischen Fragen, die als lösbar gelten. Ursache ist häufig mangelnde Erfahrung und fehlende Normen, die zu Unsicherheit bei allen Beteiligten führen. Die Akzeptanz folgt klar dem Expositionsgrad: Anwendungen mit geringem menschlichem Kontakt (Straßenreinigung) werden am ehesten akzeptiert, Abwasser generell am wenigsten, unabhängig von der tatsächlichen Wasserqualität. Als zentrale Erfolgsfaktoren gelten frühzeitige, umfassende Einbindung aller relevanten Akteure (Kommune, Ämter, Unternehmen, Bürgerinitiativen) statt Beteiligung erst am Ende des Prozesses, sowie langfristig angelegte Informations- und Kommunikationskampagnen statt Einzelaktionen. Als besonders wirksame Kommunikationsstrategie wird die Verknüpfung des Themas mit Stadtklimaanpassung und Ernährungssicherheit statt einer reinen Fokussierung auf

Wasserknappheit genannt. Der schwierigste Schritt liegt laut mehreren Expert:innen weniger in der Technik als in der Bildung eines gemeinsamen politischen und gesellschaftlichen Willens.

Implikationen für die Entwicklung einer Entscheidungshilfe

Übereinstimmend fordern die Befragten ein leicht verständliches, nicht übermäßig präzises Instrument für Nutzer:innen ohne Spezialwissen, um eine grobe Einschätzung von Mengen, Qualitäten und zeitlicher Verfügbarkeit zu erhalten, um Wasserwiedernutzung in die frühe Planungsphase zu integrieren. Mehrere Expert:innen beschreiben explizit eine sequenzielle Logik von der Ressource zur Aufbereitung, Verteilung und der spezifischen Anwendung. Wichtig ist dabei die Notwendigkeit, alle Dimensionen (rechtlich, wirtschaftlich, sozial und technisch) zu integrieren statt diese isoliert zu betrachten. Betont wird zudem, dass Ressource und Endnutzung von Anfang an gemeinsam gedacht werden müssen, da unterschiedliche Anwendungen unterschiedliche Anforderungen an Qualität und Aufbereitungskette stellen. Gewünscht wird außerdem die Möglichkeit einer groben Kostenabschätzung sowie die explizite Berücksichtigung von Stakeholdern und sozialer Akzeptanz als gleichwertige Kriterien. Mehrere Interviewte äußern die Hoffnung, dass ein solches Framework als erste verlässliche Referenz für alle dient, die sich dem Thema erstmals nähern, mit dem Anspruch, alle relevanten Aspekte zumindest anzusprechen, auch ohne jedes Detail vollständig auszuarbeiten.

3.3.2 Aufbau und Logik der Entscheidungshilfe

Die entwickelte Entscheidungshilfe ist ausdrücklich kein Werkzeug für die detaillierte Systemauslegung, Optimierung oder finale Umsetzungsplanung, sondern ein niederschwelliges Orientierungsinstrument für die frühe Planungsphase (Vorplanung/Grobkonzept). Die Entscheidungshilfe ist als Matrix aus fünf Umsetzungsschritten und fünf Entscheidungsdimensionen aufgebaut. Die fünf Umsetzungsschritte sind: (i) Beurteilung, (ii) Ressourcen, (iii) Behandlung, (iv) Verteilung und Lagerung, (v) Endnutzung. Jeder Schritt wird konsistent anhand von fünf Dimensionen bewertet: (1) Verfügbarkeit (2) Technologie und Infrastruktur (3) Recht (4) Soziale Akzeptanz sowie (5) Umsetzung & Wirtschaftlichkeit.

Tabelle 4: Matrix der Entscheidungshilfe

Schritt	Verfügbarkeit	Technik & Infrastruktur	Recht	Soziale Akzeptanz	Umsetzung & Wirtschaftlichkeit
Beurteilung	Quelle-Bedarf: räumliche Nähe prüfen	Neubau vs. Bestand klären	Zuständigkeiten klären EU 2020/741 & WHO als Orientierung nutzen	Dringlichkeit kommunizieren	Bau-/Betriebs-/Kostenverantwortung früh klären
Ressource	Ressourcenspezifische Restriktion prüfen (Tabelle 2)	Sammelinfrastruktur/Pufferbedarf abklären	Eigentums-/Nutzungsrechte je Ressource prüfen	Akzeptanzhierarchie berücksichtigen	Kosten vs. Gratis-Entnahme vergleichen
Behandlung	Hygienerisiko priorisieren	Fit-for-Purpose anwenden 4. Reinigungsstufe nutzen	Standard prüfen (nur Grauwasser genormt)	Risikokommunikation einplanen	Zusatzinvestition kalkulieren
Verteilung & Speicherung	Transport-/Speicherbedarf abschätzen	Leitungsnetz vermeiden Tankwagen/Vor-Ort-Lösung prüfen	Zuständigkeit für Prüfung/Haftung klären	Verwechslungsgefahr mit Trinkwasser vermeiden	Speichergröße auf Trockenperioden auslegen
Endnutzung	Ressource-Anwendung nach Volumen matchen	Aufbereitung an Exposition koppeln	Haftung am Nutzungspunkt klären	Low-Contact-Anwendungen priorisieren Fokus auf Klima statt Wasserknappheit	Ressource + Anwendung gemeinsam bewerten

3.3.2.1 Erläuterung zur Anwendung der Matrix

3.3.2.1.1 Beurteilung

Zentrale Aufgabe ist die räumliche und bedarfsseitige Kontextklärung: Existiert eine relevante Quelle in der Nähe eines bekannten Bedarfs? Handelt es sich um einen Neubau oder einen Bestand bzw. eine Nachrüstung. Rechtlich existiert in Österreich kein einheitlicher Wiederverwendungsrahmen; EU 2020/741 und WHO-Richtlinien dienen trotz dieser Lücke als Orientierung. Sozial ist Österreichs Selbstverständnis als wasserreiches Land die dominante Hürde für die wahrgenommene Dringlichkeit. Wirtschaftlich bleiben niedrige Trinkwasserpreise ein schwacher Anreiz, weshalb die Kosten-Governance-Frage – also wer die Anlagen baut, betreibt und bezahlt – bereits früh geklärt werden soll.

3.3.2.1.2 Ressource

Der Ressourcenschritt charakterisiert die vier alternativen Wasserquellen anhand eines gemeinsamen Prinzips: Verfügbarkeit ist nicht gleich Machbarkeit. Jede Ressource ist unterschiedlich limitiert, Abwasser durch Transportdistanz und Garantie des ökologischen Mindestabfluss, Regenwasser durch saisonale Diskrepanz und Speicherbedarf, Oberflächenwasser durch ökologische und konkurrierende Nutzungsgrenzen, Grauwasser durch die Notwendigkeit einer separater Sammelinfrastruktur. Soziale Akzeptanz folgt einer konsistenten Hierarchie über alle Ressourcen (Regenwasser, eigenes Grauwasser, fremdes Grauwasser, Abwasser), primär getrieben durch wahrgenommene Herkunft statt tatsächlicher Wasserqualität. Auch Eigentums- und Kostenstrukturen unterscheiden sich je Ressource: Die in Österreich kostenlose Entnahme von Oberflächen- und Grundwasser lässt aufbereitete Alternativen paradoxerweise vergleichsweise teuer erscheinen.

Tabelle 5 ergänzt die allgemeine Entscheidungshilfe mit den wichtigsten ressourcenspezifischen Unterschieden und dient als Kurzreferenz bei der Wahl zwischen den vier Ressourcen. Dabei wird auf das Beispiel zur Bewässerung von Grüner Infrastruktur eingegangen.

Tabelle 5: Ressourcenvergleich für die Bewässerung Grüner Infrastruktur

Kriterium	Abwasser	Grauwasser	Regenwasser	Oberflächenwasser
Ressourcencharakter	kontinuierlich, großes Volumen	kontinuierlich, gebäudebezogen	ereignis-/saisonabhängig	kontinuierlich, mengenvariabel
Hauptrestriktion	Transportdistanz, ökologischer Mindestabfluss	separate Sammelinfrastruktur nötig	saisonale Verfügbarkeit, Speicherbedarf	ökologische & konkurrierende Nutzungen
Soziale Akzeptanz	am niedrigsten	mittel (eigenes > fremdes Grauwasser)	am höchsten	mittel-hoch
Rechtlicher Rahmen (AT)	kein bindender Rahmen (Opt-out EU 2020/741)	ÖNORM EN 16941-2 vorhanden	kein spezifischer Rahmen	wasserrechtlich reguliert (freie Nutzung)
Eignung Bewässerung	großflächig, landwirtschaftlich/urban	kleinräumig, ergänzend	ergänzend, urbane Grünflächen	regional, mengenabhängig

3.3.2.1.3 Behandlung

Hier gilt das Fit-for-Purpose-Prinzip: Der erforderliche Aufbereitungsgrad ist eine Funktion von Quellqualität und Nutzungsanforderung, kein fixer Standard. Österreichs bestehende

großtechnische Kläranlageninfrastruktur ist gemeinsam mit der kommenden 4. Reinigungsstufe unter der EU-Kommunalabwasserrichtlinie ein wesentlicher Enabler, der die verbleibende Lücke zur Wiederverwendungsqualität verkleinert. Hygienerisiko wird als primäres Aufbereitungsthema behandelt, vor Spurenstoffen. Rechtlich existiert nur für Grauwasserwiederverwendung ein anwendbarer österreichischer Standard (ÖNORM EN 16941-2); landwirtschaftliche Abwasserwiederverwendung nach EU 2020/741 bleibt aufgrund des Opt-outs ohne bindende Rechtsgrundlage in Österreich.

3.3.2.1.4 Verteilung & Speicherung

Dieser Schritt illustriert die infrastrukturellen Bedingungen. Ein zweites, separates Leitungsnetz für Nicht-Trinkwasser ist durchgängig der dominante Kostentreiber und benötigt eine klare Definition für die weiter Planung. Eine mobile Verteilung per Tankwagen, wie bereits von einzelnen österreichischen Gemeinden für die Grünraumbewässerung eingesetzt und Vor-Ort-Systeme in Neubauten sind die realistischeren Alternativen.

3.3.2.1.5 Endnutzung

Ressource und Anwendung werden nach Volumen und Expositionsprofil zusammengeführt. Das große, verlässliche Volumen von Abwasser eignet sich für landwirtschaftliche und großflächige urbane Bewässerung, während Grauwasser und Regenwasser eher für kleinräumige oder ergänzende Nutzung geeignet sind. Der Expositionsgrad bestimmt die erforderliche Aufbereitungsintensität und reicht von nahezu kontaktfreier Straßenreinigung bis zur höchsten Risikokategorie, der Bewässerung roh verzehrter Feldfrüchte. Soziale Akzeptanz spiegelt diesen Expositionsgradienten eng wider. Low-Contact-Anwendungen wie Straßenreinigung und urbane Grünraumbewässerung erzielen die höchste Akzeptanz, wobei die Verknüpfung mit Stadtklimanpassung die wirksamste verfügbare Kommunikationsstrategie darstellt. Wie bereits bei Verteilung & Speicherung bleibt die Haftung am Nutzungspunkt in Österreich über alle Ressourcentypen hinweg rechtlich undefiniert.

Die Anwendung der Entscheidungshilfe am Beispiel Bewässerung von Grüner Infrastruktur wird in Tabelle 6 veranschaulicht. Die urbane Bewässerung kombiniert eine vergleichsweise geringe technisch-infrastrukturelle Barriere mit dem höchsten sozialen Akzeptanzpotenzial unter den betrachteten Wiederverwendungsanwendungen und positioniert sich damit als einer der unmittelbar umsetzbarsten Einstiegspunkte für Wasserwiederverwendung im österreichischen Kontext.

Tabelle 6: Beispiel zur Anwendung der Entscheidungshilfe am Beispiel der Bewässerung von Grüner Infrastruktur

Stufen	Anwendung für Bewässerung von Grüner Infrastruktur
Assessment	Bedarfsflächen (Parks, Straßenbäume, Grünanlagen) und potenzielle Quellen in räumlicher Nähe identifizieren; Neubau- oder Bestandssituation klären.
Ressource	Abwasser bevorzugt für große, flächige Bewässerung; Regenwasser als saisonale Ergänzung; Grauwasser für kleinräumige/gebäudenahe Grünflächen.
Behandlung	Aufbereitungsgrad an geringes Expositionsrisiko koppeln (Tropf-/unterirdische Bewässerung ermöglicht reduzierten Aufbereitungsaufwand).
Verteilung & Speicherung	Bestehende kommunale Tankwagen-Logistik nutzen, anstatt eines zweiten Leitungsnetzes; Speichervolumen an Trockenperioden ausrichten.
Endnutzung	Low-Contact-Anwendungen (Tropf-/unterirdische Bewässerung) priorisieren; Kommunikation über Stadtklima-Nutzen statt Wasserknappheit.

3.3.3 Praxisbeispiele

Bereits heute werden alternative Wasserressourcen zur Bewässerung urbaner Grünflächen genutzt. Die nachfolgenden Praxisbeispiele geben einen Überblick über unterschiedliche Umsetzungsansätze und zeigen, wie durch den Einsatz von Grau-, Regen- oder aufbereitetem Abwasser der Trinkwasserverbrauch reduziert und eine nachhaltige Bewässerung unterstützt werden kann.

3.3.3.1 Reallabor Schweinfurt (Nutzwasser-Projekt)

Ein in der Literatur gut dokumentiertes Beispiel für die Umsetzung alternativer Wasserressourcen in der urbanen Bewässerung liefert das deutsche BMFTR-Verbundprojekt „Nutzwasser" (Drewes et al., 2025), das in Schweinfurt (Bayern) städtische Grünflächen mit aufbereitetem kommunalem Abwasser (sogenanntem „Nutzwasser") bewässert. Obwohl sich die eingesetzte Ressource von den im GAIA-Projekt primär betrachteten Quellen Regenwasser und Grauwasser unterscheidet, sind sowohl die organisatorische Umsetzung als auch die Erkenntnisse zur bedarfsgerechten Steuerung direkt auf die Grauwassernutzung anwendbar.

3.3.3.1.1 Bedarfsgerechte Steuerung als ergänzende Strategie

Im Reallabor Schweinfurt wurden Stadtbäume, eine Wechselflorfläche und eine Sportrasenfläche über zwei Vegetationsperioden mit einer cloudbasierten Bewässerungs-App gesteuert, die auf Basis von Wetterdaten, Bodenkennwerten und pflanzenspezifischen Parametern den täglichen Bewässerungsbedarf berechnet.

3.3.3.1.2 Implementierung im Bestand: Anschlussvarianten und Betriebsverantwortung

Für die Versorgung größerer Grünflächen im Bestand wurden zwei grundsätzliche Anschlussvarianten für ein separates Leitungsnetz diskutiert: der Direktanschluss an das zentrale Speicherbauwerk oder die Versorgung über einen zwischengeschalteten Vorlagebehälter vor Ort. Letzterer bietet höhere Versorgungssicherheit, birgt jedoch ein Stagnationsrisiko mit möglicher Wiederverkeimung, dass eine regelmäßige Spülung oder Überwachung des Verteilnetzes erfordert (Drewes et al., 2025). Diese Abwägung zwischen zentraler Versorgungssicherheit und dezentraler Qualitätskontrolle ist ein wichtiges Entscheidungskriterium.

Bemerkenswert ist zudem die im Bericht dokumentierte Erfahrung, dass die Wasserqualität des Verteilers nur bis zur Übergabestelle vom zentralen Betreiber garantiert werden kann; die Verantwortung für das nachgelagerte Verteilnetz liegt beim Endnutzer (z. B. der Stadtgemeinde als Betreiberin der Parkanlage). Diese klare Verantwortungsabgrenzung zwischen zentraler Aufbereitung/Bereitstellung und dezentraler Nutzung ist ein Punkt, der auch frühzeitig zwischen den beteiligten Akteuren (Gemeinde, Wasserversorger, Grünraummanagement) geklärt werden sollte.

3.3.3.1.3 Organisatorischer Rahmen

Ergänzend zeigt das Projekt anhand der Organisationsmodell-Diskussion für die Stadtentwässerung Schweinfurt, dass die Bereitstellung einer alternativen Wasserressource für die öffentliche Grünflächenbewässerung über die klassischen Aufgaben eines hoheitlichen Abwasserentsorgers hinausgeht und ggf. eine gesonderte organisatorische und gebührenrechtliche Struktur (z. B. Betrieb gewerblicher Art) erfordert (Drewes et al., 2025). Auch wenn die deutsche Rechtslage (KStG, Gemeindeordnung) nicht direkt auf Österreich übertragbar ist, verdeutlicht dies, dass Umsetzungsstrategien für alternative Wasserressourcen nicht rein technisch, sondern auch organisatorisch und finanzierungsseitig zu denken sind.

3.3.3.2 Modellquartier Bergmannsgrün, Dortmund-Huckarde (INNOWATER-Projekt)

Das deutsche Forschungsprojekt INNOWATER der Bauhaus-Universität Weimar kombiniert die Nutzung von Grau- und Niederschlagswasser für die Bewässerung urbaner Grünflächen (Schneider-Werres, 2023). Im Gegensatz zum Schweinfurter Fall, der auf einer zentralen Kläranlagen-Aufbereitung basiert, setzt dieses Konzept auf eine dezentrale, gebäudenahe Lösung.

Das Grauwasser wird gebäudeintern über Freigefälle getrennt erfasst und einem Membranbioreaktor zugeführt. Der dreistufige Anlagenaufbau (Rohwasserspeicher, biologische Reinigung mit Ultrafiltration, Reinwasserspeicher) benötigt vergleichsweise wenig Platz und erreicht auch bei schwankendem Zulauf konstant hohe Reinigungsleistungen. Das aufbereitete Grauwasser steht primär den Bewohnern als Betriebswasser (v.a. Toilettenspülung) zur Verfügung; ein über eine Steuerzentrale geregelter Anteil wird für die Bewässerung der Grünflächen abgezweigt. Niederschlagswasser wird separat über die Dachflächen erfasst und in einem Zwischenspeicher gepuffert, von wo aus einer kontinuierlichen Bewässerung ohne aktive Steuerung erfolgt (Schneider-Werres, 2023).

3.3.3.2.1 Trennverfahren für die Bestandsumsetzung

Für die technisch anspruchsvolle Grauwassersammlung im Gebäudebestand, wo die Verlegung einer zweiten Abwasserleitung üblicherweise aufwändig und kostenintensiv ist, weist der INNOWATER-Leitfaden auf zwei innovative, wenngleich noch nicht marktreife Lösungsansätze hin: Eine „Abwasserweiche" ordnet mittels akustischer Signalerkennung in der Abwasserleitung das Wasser minimalinvasiv dem Grau- oder Schwarzwasserstrom zu, ohne in das bestehende Leitungssystem einzugreifen. Ein zweiter Ansatz setzt auf den Einsatz von Vakuum-Linern unterschiedlicher Größe im bestehenden Abwasserrohr, die eine getrennte Ableitung von Grau- und Schwarzwasser mittels Unterdrucks ermöglichen (Schneider-Werres, 2023). Beide Systeme könnten bei einer künftigen Bestandsumsetzung in österreichischen Quartieren als Alternative zur konventionellen zweiten Leitung geprüft werden, sobald sie Marktreife erlangt haben. Praxisbeispiel: QUEEN Gudrun II, Wien (Smart Cities Demo)

Ein drittes, österreichisches Praxisbeispiel liefert das Projekt QUEEN Gudrun II, das im Wiener Blocksanierungsgebiet Gudrunstraße eine Grauwasserverwertungsanlage als integralen Bestandteil eines Leuchtturm-Sanierungsprojekts realisiert hat (Schöberl & Pöll GmbH et al., 2024).

3.3.3.2.2 Technisches Konzept und Wassermengen

Im Demonstrationsgebäude in der Kauergasse (Wien) wird das anfallende warme Grauwasser zu 100 % zu Nutzwasser verarbeitet und recycelt, wobei rund 35 Liter pro Person und Tag für die WC-Spülung eingesetzt und der Rest zur Begrünung verwendet werden (Schöberl & Pöll GmbH et al., 2024). Zusätzlich erfolgt eine Wärmerückgewinnung aus dem Grauwasser, wodurch rund 50 % der Energie für die Warmwasserbereitung eingespart werden können, sowie eine Nutzung des kalten Grauwassers zur sommerlichen Kühlung einer im Haus befindlichen Bäckerei. Während der Planungsphase wurde ein weiterer Mehrwert identifiziert. Überschüsse aus dem aufbereiteten Grauwasser reichen aus, um zusätzlich Bäume auf öffentlichem Grund zu bewässern, ein direkter Beleg dafür, dass Grauwasser aus Wohngebäuden ein Bewässerungspotenzial für angrenzende GI-Flächen im Straßenraum bietet, das über die reine Objektnutzung hinausgeht.

3.3.3.2.3 Soziale Dimension und Akzeptanz

Das Projektgebiet weist einen überdurchschnittlichen Anteil an Substandardwohnungen und entsprechend einen hohen Anteil sozial schwächerer Bewohner:innen auf. Das Projektteam legte daher explizit Wert auf eine sozial verträgliche Finanzierung der Sanierungsmaßnahmen zur Schaffung leistbaren Wohnraums. Für die parallel verfolgte Pilot-Energiegemeinschaft erwies sich dabei als zentrale Erkenntnis, dass die Gewinnung von Teilnehmer:innen primär über das Vorhandensein lokaler, vertrauenswürdiger Energieproduzent:innen gelingt, ein Prinzip, das sich sinngemäß auf die Akzeptanz von Grauwassersystemen übertragen lässt: Eine erfolgreiche Umsetzung braucht glaubwürdige, lokal verankerte Referenzprojekte und Vertrauenspersonen, nicht nur eine technisch-ökonomische Begründung.

4 Begrünungsszenarien

Die klimawandelbedingten Herausforderungen für Städte erfordern eine vorausschauende und integrierte Stadtplanung, in der die Entwicklung und gezielte Einbindung Grüner Infrastruktur eine zentrale Rolle einnimmt. Insbesondere die zunehmende Überhitzung urbaner Räume, veränderte Niederschlagsmuster sowie steigende Anforderungen an die Lebensqualität machen eine nachhaltige Gestaltung von Siedlungsräumen erforderlich. Vor diesem Hintergrund bildet dieses Kapitel die konzeptionelle Grundlage für die nachfolgenden quantitativen Analysen und Berechnungen in Kapitel 6. Ziel ist die Entwicklung fundierter Begrünungs- und Stadtentwicklungsszenarien, die sowohl den Anforderungen der Klimawandelanpassung als auch den städtebaulichen Rahmenbedingungen ausgewählter Case Studies gerecht werden. Ausgehend von bestehenden Stadtentwicklungs- und Klimawandelanpassungsstrategien werden für ausgewählte Städte und Quartiere unterschiedliche Entwicklungsszenarien erarbeitet. Dabei werden neben den in Kapitel 2 definierten Formen Grüner Infrastruktur auch wesentliche städtebauliche Parameter wie Dichte, Funktionsmischung, Erreichbarkeit sowie demografische Entwicklungen berücksichtigt. Um eine praxisnahe und anwendungsorientierte Szenarienentwicklung sicherzustellen, erfolgt die Ausarbeitung transdisziplinär unter Einbindung relevanter Stakeholder:innen. Die daraus resultierenden Begrünungsszenarien bilden die Grundlage für die weitere Charakterisierung auf Stadt- und Quartiersebene sowie für die anschließende Berechnung des Bewässerungsbedarfs im weiteren Projektverlauf.

4.1 Auswahlverfahren Case Studies

Zur Auswahl geeigneter Case Studies wurden zunächst Auswahlkriterien definiert. Ziel war es, Case Studies auszuwählen, die ein möglichst breites Spektrum relevanter Rahmenbedingungen abbilden, um Aussagen zu den Herausforderungen des Klimawandels und zu möglichen Anpassungsszenarien mit hoher Aussagekraft und Übertragbarkeit ableiten zu können. Als übergeordnete Kriterien wurden die Faktoren Klima, Niederschlagsentwicklung, Stadtentwicklung, Wasserbilanz sowie Stadtmorphologie festgelegt.

Darüber hinaus wurde definiert, dass ausschließlich wachsende Städte berücksichtigt werden. Diese weisen einerseits eine hohe Bau- und Entwicklungstätigkeit auf und können daher in besonderem Maße von den Projektergebnissen profitieren. Andererseits stehen sie

vor der Herausforderung, den Zielkonflikt zwischen Siedlungsentwicklung, Flächeninanspruchnahme und dem steigenden Bedarf an Grünräumen im Zuge der Klimawandelanpassung zu bewältigen. In einem ersten Schritt wurden Daten zur zukünftigen Klimaentwicklung in Österreich erhoben, um Gebietstypen zu identifizieren, die künftig in unterschiedlichem Ausmaß von Klima- und Wasserherausforderungen betroffen sein werden. Besonderes Augenmerk lag dabei auf den Auswirkungen von Trockenheit, Hitze sowie Stark- und Extremniederschlagsereignissen, da diese maßgeblich zur Identifikation besonders betroffener Regionen beitragen.

Parallel dazu wurden für ausgewählte Städte relevante Stadtentwicklungs- und Planungsdokumente analysiert. Im Fokus standen insbesondere Strategien zur Klimawandelanpassung, die bestehende und geplante Grünraumversorgung sowie städtebauliche Entwicklungsziele. Besondere Berücksichtigung fanden Städte, deren Planungsunterlagen konkrete und nachvollziehbare Aussagen zur zukünftigen Entwicklung der Grünraumversorgung enthalten und innovative städtebauliche Ansätze erkennen lassen. Anschließend wurden die untersuchten Städte anhand der definierten Kriterien mittels eines Punktesystems (1 bis 3 Punkte je Kriterium) bewertet. Dadurch konnten jene Städte identifiziert werden, die die Projektziele bestmöglich repräsentieren und sich als Case Studies eignen.

Für die endgültige Auswahl wurden zusätzlich stadtmorphologische Merkmale, die Vielfalt vorhandener Grünraumtypen sowie Bebauungsdichte und Mischnutzung entsprechend den Flächenwidmungsplänen und Stadtentwicklungskonzepten berücksichtigt. Ziel war es, sowohl Städte einzubeziehen, die im Bestand durch Nachverdichtung und die Transformation des öffentlichen Raums Maßnahmen zur Klimawandelanpassung umsetzen, als auch Entwicklungsgebiete, in denen neue Stadtquartiere auf bisher unbebauten Flächen ("Grüne Wiese") entstehen. Beide Entwicklungstypen spiegeln aktuelle städtebauliche Herausforderungen österreichischer Städte wider und wurden daher bewusst in die Untersuchung aufgenommen. Auf Grundlage dieser Bewertung wurden Leibnitz, Eisenstadt und Wels als geeignete Case Studies für das Projekt ausgewählt. Nachfolgend werden die drei Case Studies und das ausgewählte Quartier beschreiben.

4.1.1 Wels

In Wels liegt das Bearbeitungsgebiet (Abbildung 13) nördlich des Messegeländes um den Lokalbahnplatz. Dieser stellt einen wichtigen Mobilitätsknotenpunkt dar sowie ein wichtiges städtebauliches Gelenk zwischen der Innenstadt und den neuzugestaltenden Grünräumen am Messeareal (nunmehr Volksgarten).

Abbildung 13: Case Study Gebiet Wels



4.1.2 Eisenstadt

In Eisenstadt liegt das Bearbeitungsgebiet (Abbildung 14) südlich des Bahnhofs im zukünftigen Bahnhofsquartier mit Fokus auf Siedlungs-Neubau mit Nutzungsdurchmischung auf bisher landwirtschaftlich genutzter Fläche.

Abbildung 14: Case Study Gebiet Eisenstadt



4.1.3 Leibnitz

In Leibnitz wurde das Gebiet (Abbildung 15) zwischen Hauptplatz, Schmiedgasse, Lastenstraße und Karl-Morre-Gasse ausgewählt. Hier liegt der Fokus auf Klimawandelanpassung im öffentlichen Raum und Nachverdichtung im Bestand.

Abbildung 15: Case Study Gebiet Leibnitz



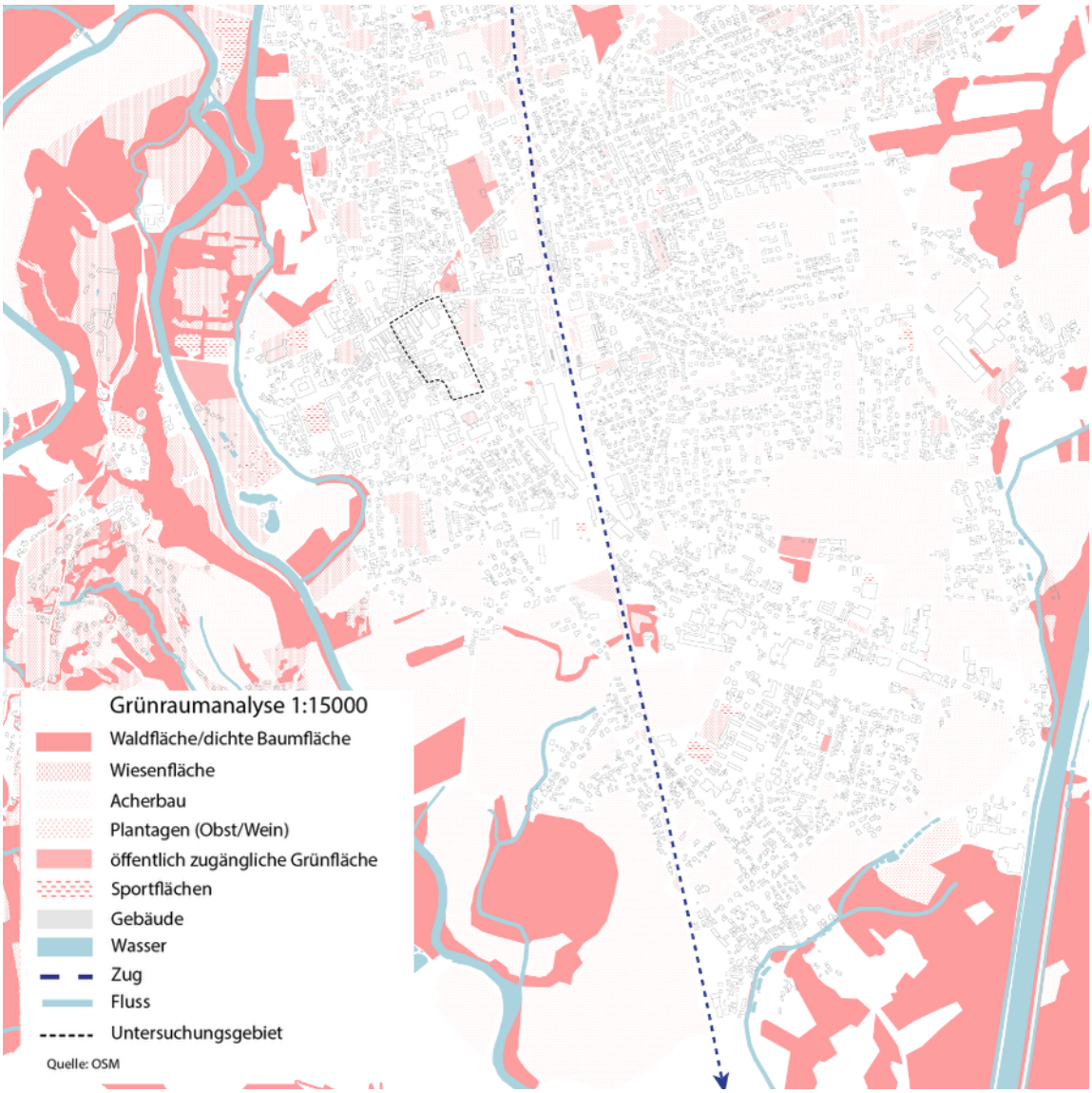
4.2 Städtebauliche Analysenkarten

Zur Vorbereitung der spezifischen Entwicklungsszenarien wurden städtebauliche Analysenkarten auf unterschiedlichen Maßstabsebenen erstellt. Diese dienten dazu, die Szenarien sowohl im gesamtstädtischen Kontext als auch im ökologisch-landschaftlichen Umfeld zu verorten und ihre räumlichen Rahmenbedingungen systematisch zu erfassen. Für alle drei Case-Study-Städte wurden Analysen auf Territorial-, Gesamtstadt- und Quartiersebene durchgeführt. Dabei entstanden thematische Karten unter anderem zu Stadtmorphologie, sozialer Infrastruktur, Mobilität und Verkehr, landschaftlicher Einbettung, Grünraumtypen sowie Eigentumsverhältnissen. Die nachfolgenden Beispiele veranschaulichen die unterschiedlichen Maßstabsebenen und Analysethemen, die für die drei Case Studies bearbeitet wurden.

- Großraumkarte Leibnitz – Grünraum 1:15 000
- Städtebauliche Karte Leibnitz – Grünraumtypen 1:5 000
- Städtebauliche Karte Leibnitz – Versiegelung 1:5 000
- Großraumkarte Eisenstadt – städtische Aktivitäten 1:25 000
- Städtebauliche Karte Eisenstadt – Höhenentwicklung 1:5 000
- Städtebauliche Karte Eisenstadt – Mobilität 1:5 000
- Städtebauliche Karte Wels – städtische Aktivitäten 1:5 000

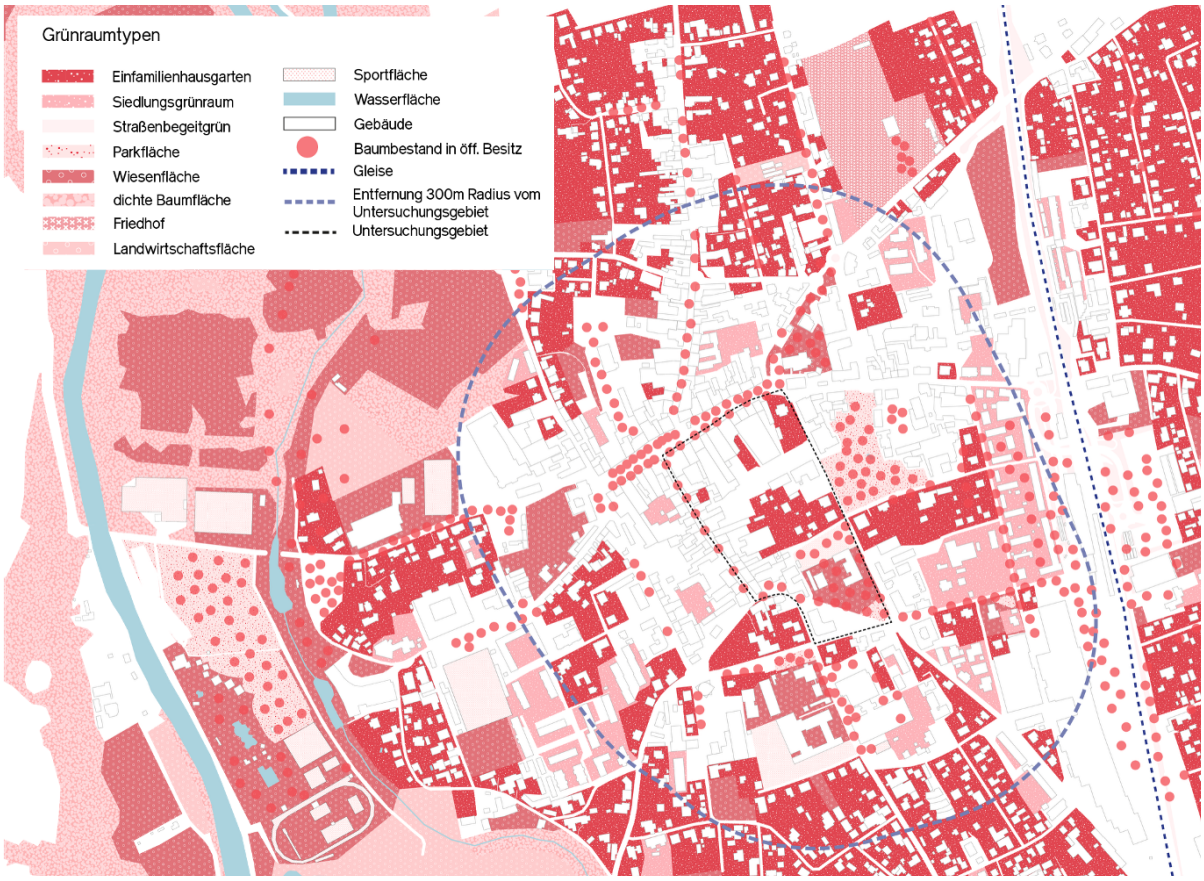
Die Abbildung 16 zeigt, dass Leibnitz von ausgedehnten Wald- und Wiesenflächen sowie landwirtschaftlich genutzten Flächen umgeben ist. Der urbane Siedlungsraum ist klar abgegrenzt und weist wenige größere Grünräume auf, was auf einen mangelnden Zusammenhang mit dem umliegenden Grünen Umfeld im Sinne eines Biotopverbunds hinweist. Ablesbar ist auch, wie die natürlichen und landwirtschaftlich genutzten Flächen als Puffer gegen die Zersiedelung dienen, während sie die landschaftliche Vielfalt erhalten. Klar wird daher, dass eine Stärkung der Grünen Infrastrukturen in der Stadt im Kontext des Biotopenverbunds zu geschehen hat, da sie mit entsprechender Pflanzenverwendung wichtige Korridore für die lokale Flora und Fauna bieten und die ökologische Vernetzung fördern können.

Abbildung 16: Großraumkarte Leibnitz – Grünraum



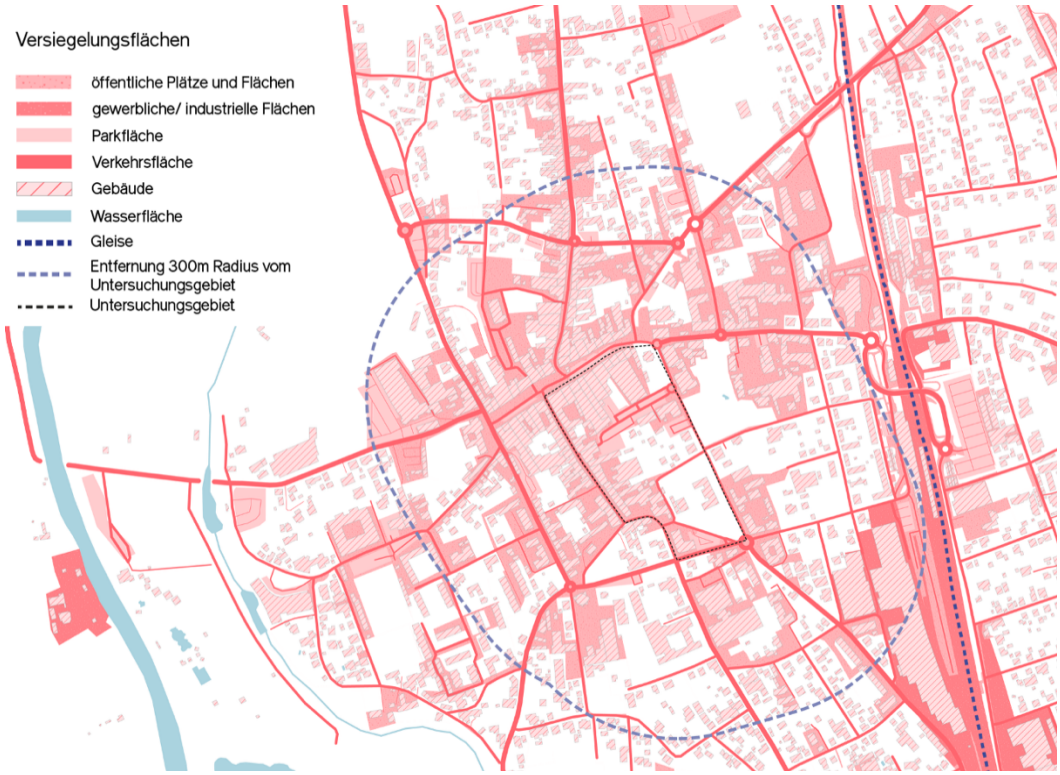
Die typologische Analyse (Abbildung 17) zeigt, dass Leibnitz eine Vielfalt an Grünraumtypen, also Grünen Infrastrukturen, bietet. In Wohngebieten dominieren private Gärten und kollektiv genutzte Hausgärten, während öffentliche Parks wichtige Erholungsflächen darstellen. Wiesen und Baumflächen erstrecken sich westlich unweit des Stadtparks und tragen zusätzlich zur ökologischen Vielfalt bei. Darüber hinaus werden mittels Baumpflanzungen und begrünten Baumscheiben Grünachsen ausgebildet, welche weiter ausgebaut werden sollten, um das ökologische Netzwerk in der Stadt weiter zu stärken. In der detaillierteren Bearbeitung ist darauf zu achten, GI einzusetzen, um die Defizite auszugleichen und die lokale Identität stärken.

Abbildung 17: Ausschnitt städtebauliche Karte Leibnitz – Grünraumtypen



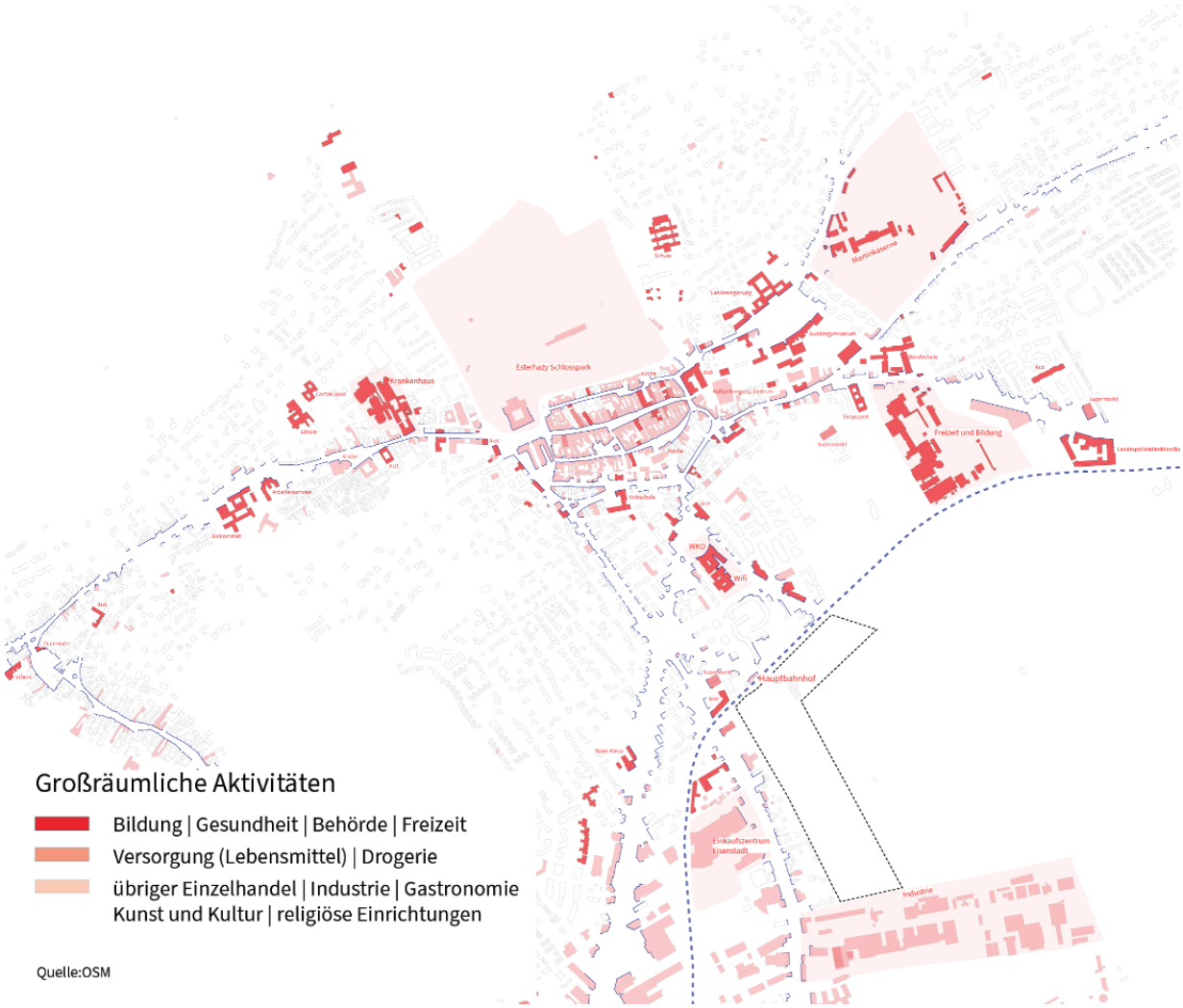
Die Analyse der Oberflächen (Abbildung 18) zeigt einen hohen Versiegelungsgrad in Leibnitz, insbesondere an zentralen öffentlichen Plätzen wie dem Hauptplatz und dem Raiffeisenplatz. Diese Bereiche sind durch durchgängige Pflasterungen und asphaltierte Flächen geprägt, was die Aufenthaltsqualität und das städtische Mikroklima negativ beeinflussen kann. Auch angrenzende Straßen und Parkplätze tragen erheblich zur Versiegelung bei. Wohngebiete weisen meist geringere Versiegelungsgrade auf, während Gewerbe- und Infrastrukturflächen verstärkt versiegelt sind. Diese Entwicklung verdeutlicht die Notwendigkeit, Strategien zur Entsiegelung und ökologischen Aufwertung zu entwickeln, insbesondere in den stark frequentierten öffentlichen Bereichen.

Abbildung 18: Ausschnitt städtebauliche Karte Leibnitz – Versiegelung



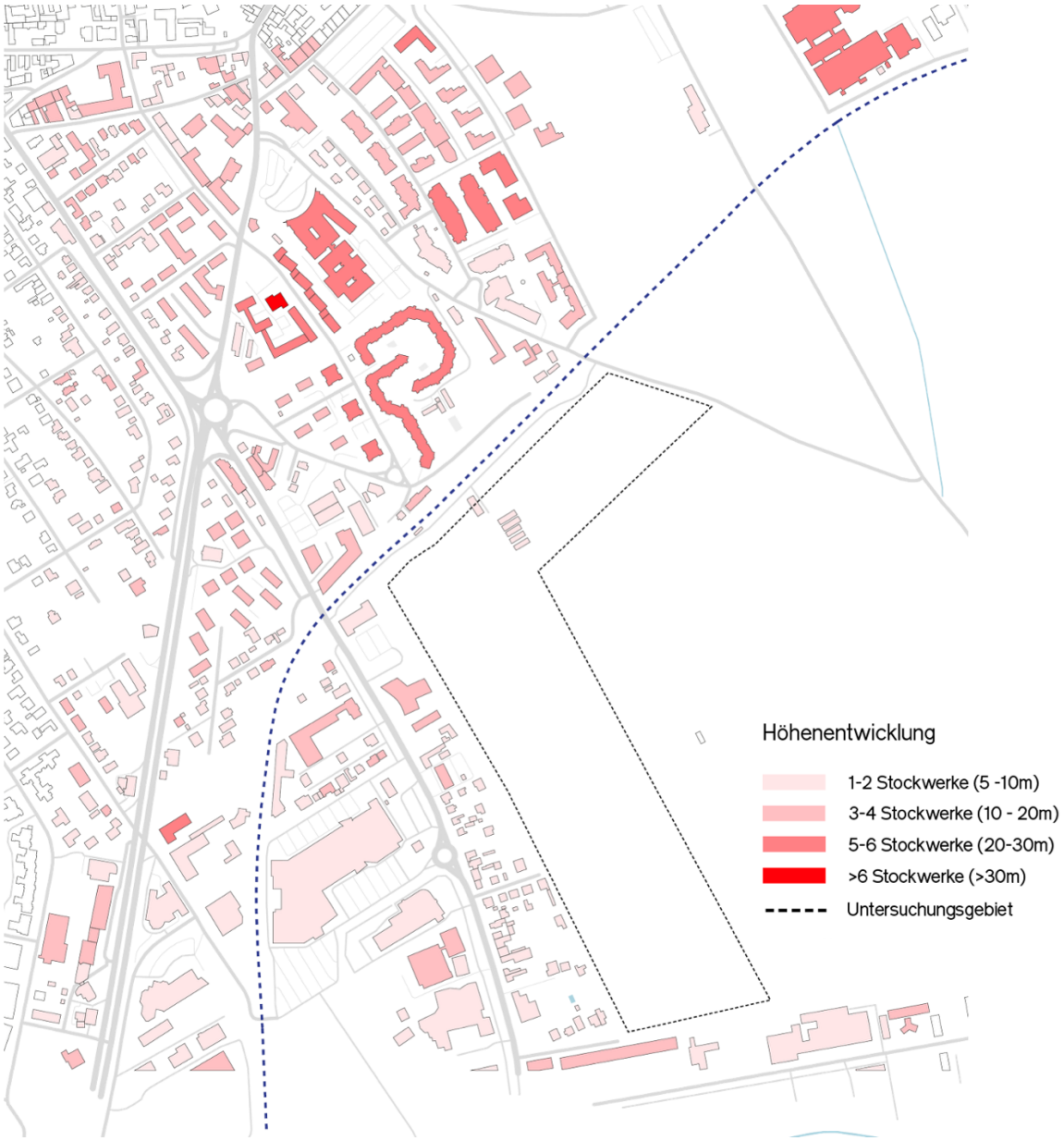
Die Analysekarte (Abbildung 19) zu städtischen Aktivitäten in Eisenstadt zeigt eine starke räumliche Konzentration von zentralen Funktionen, darunter Bildungseinrichtungen, Gesundheitseinrichtungen, Behörden und kulturelle Angebote in der Innenstadt. Nahversorger sind flächendeckend vorhanden und weisen eine gute Erreichbarkeit auf, während spezifische Einrichtungen wie die Martinkaserne oder Industriegebiete auf funktionale Sondernutzungen hinweisen. Die Karte bietet einen umfassenden Überblick über die Verteilung und Verflechtung städtischer Aktivitäten in Eisenstadt und deuten auf die Notwenigkeit, das Bahnhofsquartier als weiteres Zentrum mit Mischnutzung zu etablieren, das jedoch ergänzende Funktionen zur Innenstadt übernehmen sollte. Deutlich werden auch die übergeordneten Strukturen und die nötigen Verbindungen zwischen dem Stadtkern und den peripheren Bereichen. Dies deutet auf die Notwendigkeit der Ausgestaltung des Straßenraums für aktive Mobilität hin, was wiederrum die Rolle Grüner Infrastrukturen unterstreicht.

Abbildung 19: Ausschnitt Großraumkarte Eisenstadt – städtische Aktivitäten



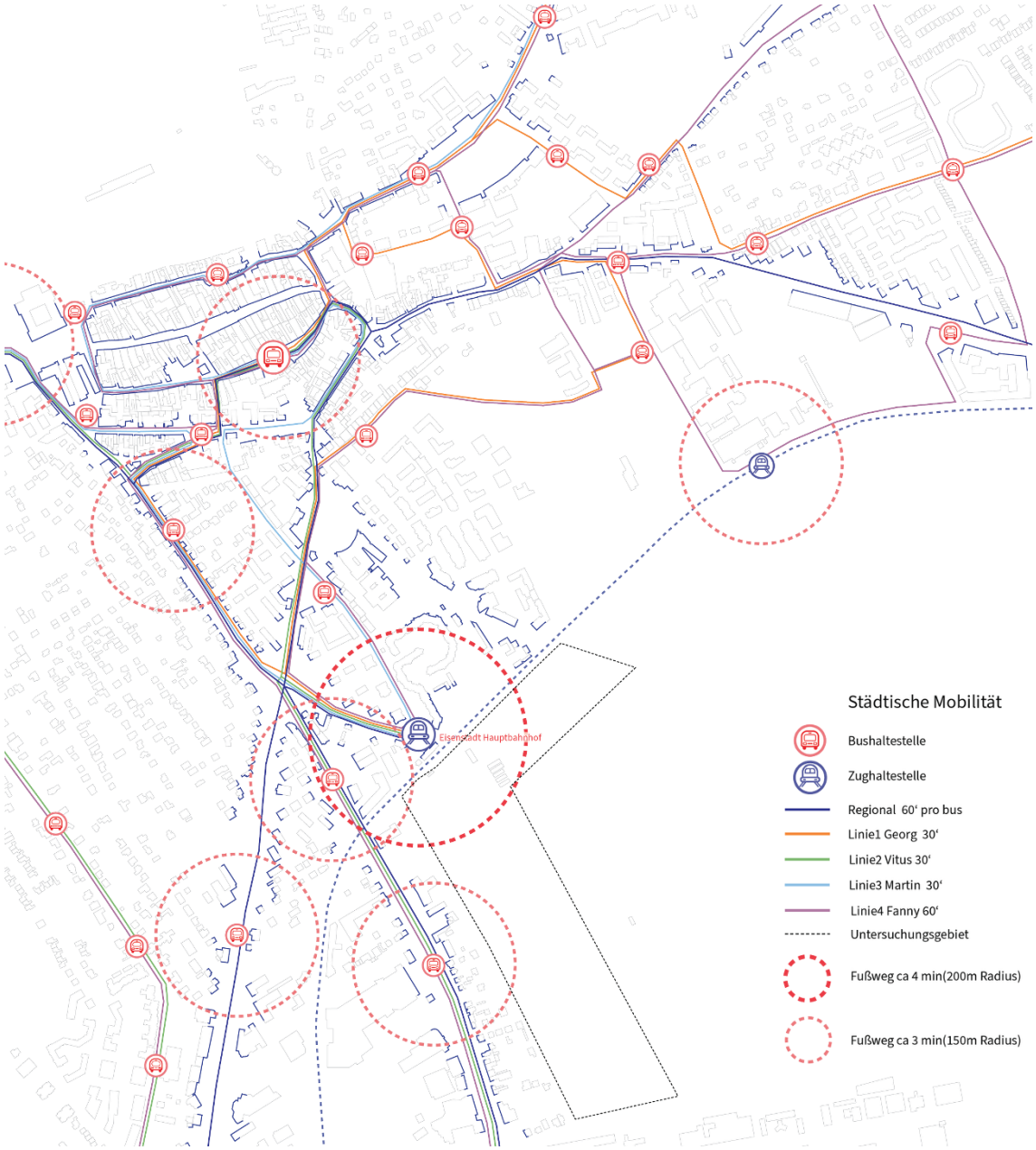
Die Karte zur Höhenentwicklung in Eisenstadt (Abbildung 20) zeigt, dass der Großteil der Gebäude im betrachteten Gebiet zwischen 1 und maximal 4 Stockwerke aufweist. Besonders die zahlreichen umliegenden Gewerbehallen tragen maßgeblich zu den geringen Gebäudehöhen bei. Einzig zwischen Bahnhof und Hauptplatz strecken sich wenige größere Wohngebäude mit mehr als fünf Geschossen empor. Zukünftige Entwicklungen haben darauf einzugehen.

Abbildung 20: Ausschnitt städtebauliche Karte Eisenstadt – Höhenentwicklung



Die Karte in Abbildung 21 zeigt das öffentliche Verkehrsnetz von Eisenstadt, das gut strukturierte Anbindungen in die städtischen Kernbereiche und umliegenden Gebiete bietet. Sie zeigt die zentrale Bedeutung des Hauptbahnhofs als Verkehrsknotenpunkt sowie die regelmäßige Taktung der Buslinien (30- bis 60-Minuten-Takt). Die Darstellung von Fußwegen im Radius von 100 bis 200 Metern verdeutlicht die fußläufige Erreichbarkeit von Haltestellen und unterstreicht die gute Integration des öffentlichen Verkehrs in den urbanen Kontext. Das Gleisnetz stellt jedoch eine Barriere dar und trennt das südliche Potenzialgebiet stark vom nördlichen Teil der Stadt.

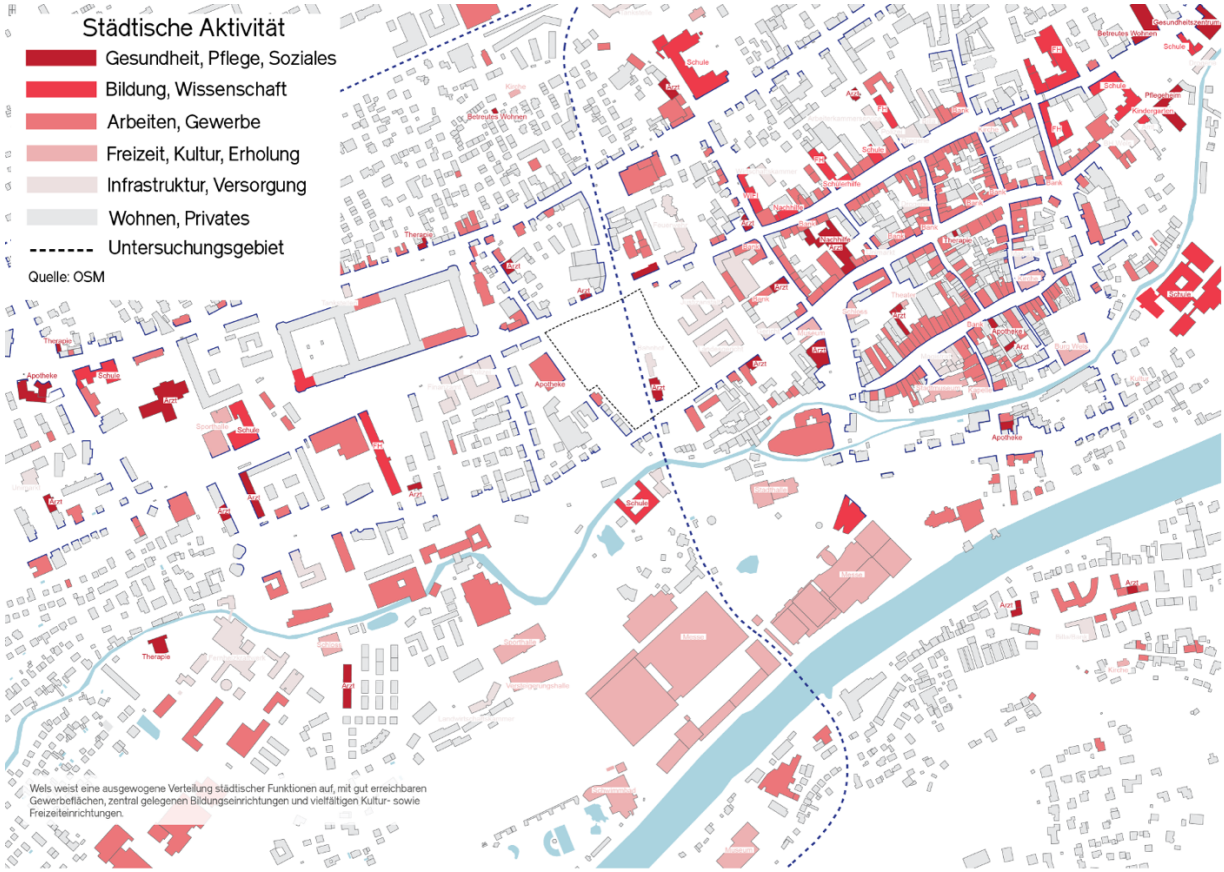
Abbildung 21: Ausschnitt Großraumkarte Eisenstadt – Mobilität



Die Analysekarte zu städtischen Aktivitäten (Abbildung 22) zeigt, dass Wels eine ausgewogene Verteilung städtischer Funktionen aufweist. Gewerbeflächen und Büros sind gut erreichbar und meist entlang der Hauptstraßen gelegen. Kindergärten, Volksschulen und höhere Schulen sind zahlreich und zentral angesiedelt, wodurch ein breites Bildungsangebot gewährleistet wird. Die medizinische Versorgung ist durch zahlreiche Arztpraxen, Apotheken und Pflegeeinrichtungen gesichert. Kulturelle Einrichtungen wie Theater, Museen und Sportstätten fördern das Stadtleben, und bieten vielfältige Freizeitmöglichkeiten. Wohngebiete sind gut an Supermärkte und Drogerien angebunden, was eine hohe Lebensqualität

ermöglicht. Behörden und Ämter sind zentral gelegen und leicht erreichbar, wodurch Verwaltungswege effizient gestaltet werden. Das Gebiet um den Lokalbahnplatz ist ein wichtiges städtebauliches Gelenk zwischen der Innenstadt und der Messe/dem Volksgarten. Neben den städtischen Aktivitäten, die es bieten soll, muss es auch maßgeblich zur Verbesserung des innerstädtischen Mikroklimas beitragen.

Abbildung 22: Ausschnitt städtebauliche Karte Wels – städtische Aktivitäten



Auf Basis dieser städtebaulichen Analysekarten wurden im nächsten Schritt Entwicklungsszenarien für die Case Studies abgeleitet.

4.3 Entwicklungsszenarien für ausgewählte Case Studies

Die entwickelten Szenarien verfolgten zwei zentrale Zielsetzungen. Zum einen sollten sie fachlich fundierte und an den aktuellen Richtlinien, Strategien sowie Planungszielen der jeweiligen Städte orientierte Ansätze zur Klimawandelanpassung in den ausgewählten Case Studies aufzeigen. Zum anderen sollten sie den beteiligten Städten als fachliche Grundlage dienen, um bestehende Planungsprozesse zu unterstützen sowie neue interne Entwicklungs- und Entscheidungsprozesse anzustoßen oder weiterzuentwickeln. Aus diesem Grund stand zu Beginn des Projekts die enge Abstimmung mit den beteiligten Städten und weiteren Stakeholder:innen im Vordergrund, um die Anforderungen und Bedürfnisse der Praxis möglichst umfassend in die Szenarienentwicklung einfließen zu lassen. Dadurch wurde sichergestellt, dass die entwickelten Konzepte sowohl wissenschaftlich fundiert als auch praxisnah und anwendungsorientiert ausgestaltet sind. Die Szenarien umfassen eine übergeordnete Entwicklungsstrategie sowie ein darauf aufbauendes städtebauliches Entwurfskonzept, das insbesondere die Ausstattung der Untersuchungsgebiete mit Grüner Infrastruktur entsprechend den in Kapitel 2 definierten GI-Typen konkretisiert. Die Darstellung erfolgte in Form von Grundrissen und axonometrischen Darstellungen sowie zur besseren räumlichen Veranschaulichung teilweise durch Schnitte. Neben qualitativen Aussagen zu den räumlich-gestalterischen Potenzialen der Klimawandelanpassung lieferten die Szenarien auch quantitative Kenngrößen, insbesondere zu den Flächenanteilen der einzelnen GI-Typen sowie zu den Dachflächen (jeweils in m²). Diese Daten bilden die Grundlage für die nachfolgenden Analysen und Berechnungen im weiteren Projektverlauf.

4.3.1 Wels

Für den Lokalbahnplatz war bereits eine wasser- und klimasensible Umgestaltung vorgesehen. Hierfür wurde das Landschaftsarchitekturbüro zwoPK mit der Erstellung eines Entwurfskonzepts beauftragt. Der vorliegende Vorentwurf wurde als maßgebliche Planungsgrundlage für die weitere Bearbeitung im Projekt herangezogen. Auf Basis dieser Planungsunterlagen erfolgte anschließend die Ermittlung des Bewässerungsbedarfs. Hierzu wurde zunächst eine GIS-gestützte Bestandsanalyse des Untersuchungsgebiets durchgeführt (Abbildung 23, links). Die bestehende Entwurfsplanung wurde übernommen und bildete die Grundlage für die Ableitung der vorgesehenen GI-Typen sowie deren flächenbezogene Auswertung im Untersuchungsgebiet.

Abbildung 23: Grünraumanalyse Bestand (links) und Neuplanung (rechts) Wels



4.3.2 Eisenstadt

Auf Grundlage der durchgeführten Analysen erfolgte die Entwicklung eines städtebaulichen Szenarios für die Case Study Eisenstadt. Die entwickelte Strategie zielt darauf ab, das Stadtzentrum von Eisenstadt stärker mit dem gewerblichen Süden zu verknüpfen. Die durch die Bahngleise bestehende Trennung soll durch eine verbesserte Mobilitätsvernetzung überwunden werden. Der Hauptbahnhof wird als zentraler Knotenpunkt aufgewertet und bildet das Herz der Quartiersentwicklung. Das neue Quartier verbindet Wohnen, Grünraum, soziale Infrastruktur und gewerbliche Nutzungen zu einem durchmischten und zukunftsfähigen Stadtraum. In der folgenden Abbildung 24 ist das abgeleitete Szenario für Eisenstadt dargestellt. Im Szenario wird die entwickelte Strategie umgesetzt und der von der Stadtplanung grob definierte Bauplatz nach Osten erweitert. Zentrales Element ist ein gemischt genutztes Mobilitäts- und Versorgungsgebäude am Bahnhof mit Gastronomie und Nahversorgung sowie einem großzügigen öffentlichen Vorplatz.

Die Wohnbebauung ist als Mehrparteienhäuser mit öffentlich aktivierten Erdgeschosszonen sowie teilweise als zeitgemäß interpretierter Stadthaus- bzw. Reihenhaustypus geplant. Dadurch bleibt der vorherrschende Wohntypus erhalten und wird zugleich weiterentwickelt. Die Gebäude fassen kleinere gemeinschaftliche Höfe und Freiräume zum Spielen und Entspannen.

Ergänzt wird das Quartier durch einen kleinen Park und einen durchgehenden Grünstreifen im Westen, die den öffentlichen Grünraum deutlich aufwerten. Alle Dächer sind begrünt und mit Photovoltaikanlagen ausgestattet.

Das Gebiet war ursprünglich überwiegend landwirtschaftlich genutzt und durch großmaßstäbliche, lineare Anbauflächen geprägt. Durch die Transformation im Szenario entsteht eine Vielfalt unterschiedlicher Grünraumtypen mit vielfältigen Nutzungen. Durch die umfassende Begrünung aller Dachflächen in Kombination mit Photovoltaikanlagen wird zusätzlich ein Beitrag zur Verbesserung des Mikroklimas, zur Regenwasserrückhaltung und zur lokalen Energieproduktion geleistet.

Abbildung 24: Entwicklungsszenario Eisenstadt



Abbildung 25 zeigt das Entwicklungsszenario in axonometrischer Ansicht und Abbildung 26 zeigt einen Detailausschnitt.

Abbildung 25: Entwicklungsszenario Eisenstadt axonometrische Ansicht

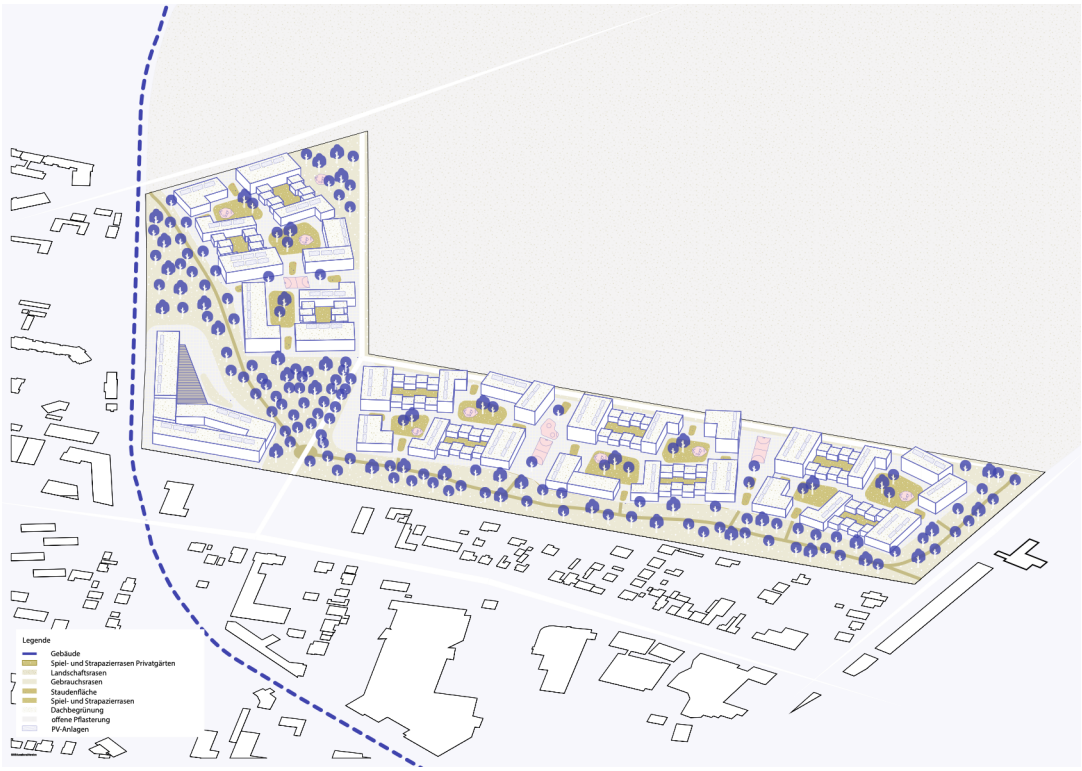
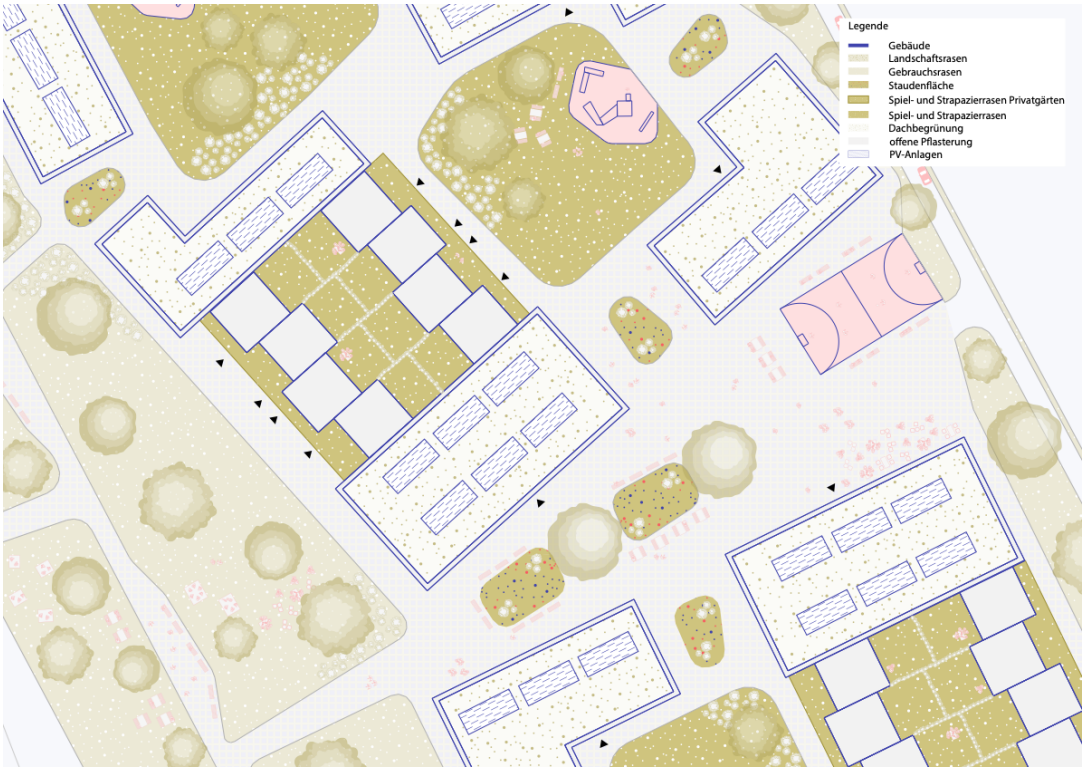


Abbildung 26: Entwicklungsszenario Eisenstadt Detailansicht



Für die weitere Bearbeitung sowie die nachfolgende Ermittlung des Bewässerungsbedarfs wurden die Veränderungen der Oberflächen quantitativ erfasst. Dabei wurden sowohl die Flächen der Grünen Infrastruktur als auch die Dachflächen berücksichtigt. Die Flächenanteile der einzelnen GI-Typen, der Dachflächen sowie der Straßenflächen sind in Tabelle 7 dargestellt.

Tabelle 7: Flächenanteile Eisenstadt

Kategorie	Beschreibung	Fläche/ Anzahl	Einheit
Rasenfläche	Gebrauchsrasen	75096	m²
Rasenfläche	Staudenfläche	2455	m²
Rasenfläche	Spiel-und Strapazierrasen Privatgärten	9903	m²
Rasenfläche	Spiel-und Strapazierrasen	15616	m²
Dachbegrünung	Extensiv Dachbegrünung	35326	m²
Rasenfläche	Oberflächenbefestigung mit Fugenbegrünung	51856	m²
Baum	Groß	90	
Baum	Mittel	79	
Baum	Klein	132	
Straße	versiegelt	5103	m²

In der folgenden Abbildung sind die verschiedenen Flächenanteile grafisch dargestellt.

Abbildung 27: Flächenanteile Eisenstadt

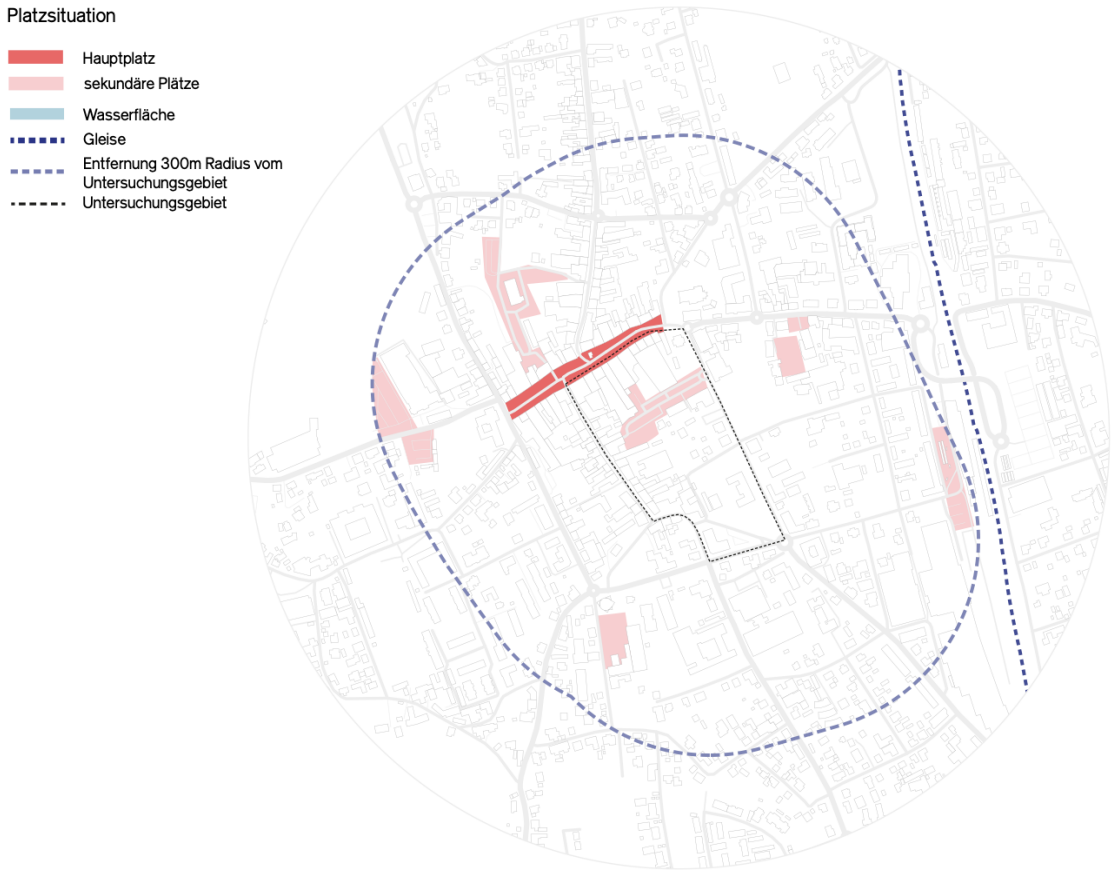


4.3.3 Leibnitz

Die Strategie für Leibnitz basierte auf einer erweiterten Betrachtung des Untersuchungsgebiets (Abbildung 28), da die durchgeführten Analysen zeigten, dass die innerstädtischen Plätze im Umfeld des Hauptplatzes als zusammenhängendes System zu verstehen sind. Die Entwicklung und Umgestaltung der einzelnen Plätze stehen dabei in einem engen funktionalen und räumlichen Zusammenhang, wodurch auch die Gestaltungsmöglichkeiten des

Hauptplatzes wesentlich beeinflusst werden. Im Rahmen des Szenarios wurde der Raiffeisenplatz als Teil eines zweiten Rings sekundärer Stadtplätze rund um den Hauptplatz entwickelt. Ziel dieser Strategie ist es, Maßnahmen der Stadtbegrünung auf mehrere öffentliche Räume zu verteilen, um ein zusammenhängendes Netz an Grün- und Aufenthaltsflächen zu schaffen. Dadurch sollen insbesondere die Aufenthaltsqualität, das Mikroklima sowie die Attraktivität der Innenstadt als Wohnstandort nachhaltig verbessert werden.

Abbildung 28: Platzsituation im Untersuchungsgebiet Leibnitz

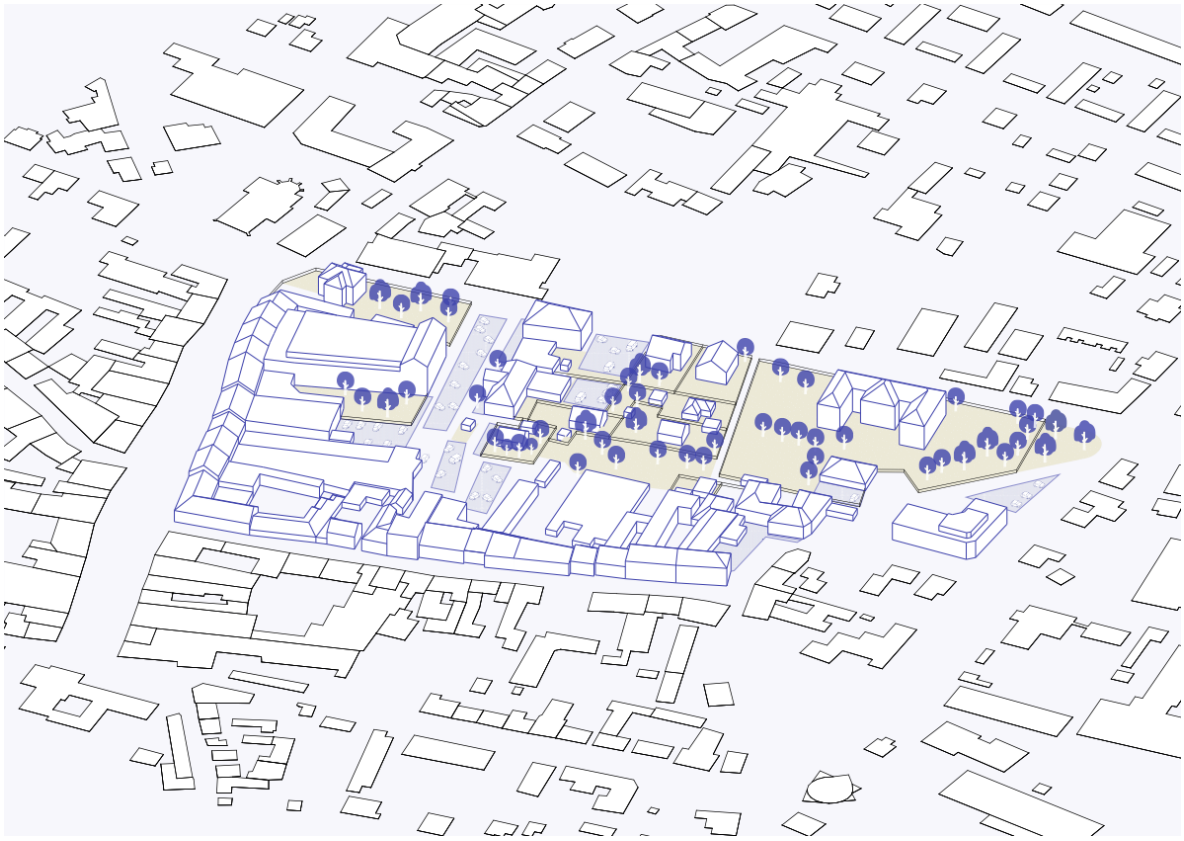


In der Abbildung 29 und Abbildung 30 ist der Bestand des untersuchten Quartiers ersichtlich.

Abbildung 29: Bestand Quartier Leibnitz



Abbildung 30: Bestand Quartier Leibnitz – axonometrische Ansicht



Aus der Abstimmung mit dem Stakeholderkreis im Jänner 2025 und weiteren bilateralen Besprechungen mit Verkehrs- und Raumplanung entstand die Notwendigkeit, aktuelle Daten zur Parkplatzauslastung in den umliegenden Plätzen zu erheben. Die Ergebnisse der Anfang März durchgeführten Datenerhebung zeigten trotz guter Auslastung an vielen Stellen mögliche Optimierungspotenziale auf. In Abbildung 31 sind die Parkmöglichkeiten in Leibnitz dargestellt. Aus der Grafik ist ersichtlich, dass hier eine Vielzahl an Parkplätzen sowie öffentlichen Tiefgaragen zur Verfügung steht.

Abbildung 31: Parkmöglichkeiten im Untersuchungsgebiet Leibnitz



4.3.3.1 Analyse Parkplatzauslastung Raiffeisenplatz/Sparkassenplatz Leibnitz

Die Untersuchung der Parkplatzauslastung am Raiffeisenplatz und am Sparkassenplatz in Leibnitz wurde mit dem Ziel durchgeführt, die Effizienz und Notwendigkeit der vorhandenen Stellplätze zu bewerten und mögliche Optimierungspotenziale zu identifizieren. Dazu wurden zwei Zählungen durchgeführt: eine vor den gewerblichen Öffnungszeiten (6:30 – 8:30 Uhr) und eine während der Geschäftszeiten (9:00 – 12:00 Uhr).

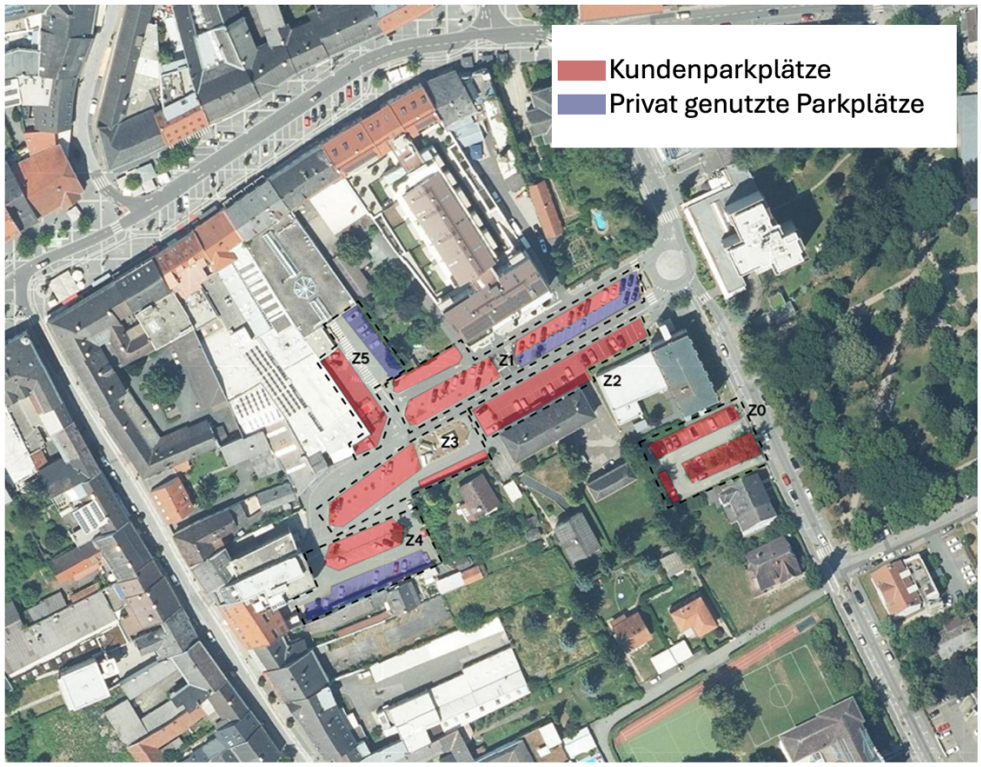
4.3.3.1.1 Bestandserhebung der Parkplätze am Raiffeisenplatz

Zunächst wurde die generelle Parkplatzsituation erfasst, um eine Grundlage für die Auslastungsanalyse zu schaffen. Die Ergebnisse der Bestandserhebung sind in Tabelle 8 dargestellt. Die Darstellung der einzelnen Zonen befindet sich in Abbildung 32.

Tabelle 8: Bestandserhebung der Parkplätze am Raiffeisenplatz

Zone	Kunden/Besucherparkplätze	Privat genutzte Parkplätze	Gesamtzahl Parkplätze
Zone 0	33	0	33
Zone 1	32	14	46
Zone 2	32	0	32
Zone 3	26	0	26
Zone 4	7	21	28
Zone 5	7	11	18

Abbildung 32: Zonendarstellung am Raiffeisenplatz. In Rot sind die Kunden/Besucherparkplätze dargestellt und in Blau die privat genutzten Parkplätze.



Die Parkplätze am Raiffeisenplatz weisen zwei unterschiedliche Flächenbefestigungen auf: Asphaltdecke und Pflaster (Abbildung 33). Die asphaltierten Parkflächen ermöglichen keine Versickerung von Regenwasser. Diese erhöhte Oberflächenversiegelung führt zu einer Belastung des Abwassersystems. Ein Teil der Parkplätze ist mit Betonsteinpflaster gepflastert. Die Pflasterung ermöglicht eine teilweise Durchlässigkeit des Bodens, sodass Regenwasser in den darunter liegenden Boden versickern kann. Die Pflasterung wurde allerdings sehr

dicht verlegt, was wenig Platz für versickerungsfähige begrünte Zwischenräume bietet. Durch eine aufgelockerte Gestaltung oder offenere Belagslösungen könnte die Versickerungsfähigkeit der Fläche erhöht werden.

Abbildung 33: Oberflächenbefestigungen am Raiffeisenplatz



4.3.3.1.2 Auslastungsanalyse Raiffeisenplatz

Basierend auf den durchgeführten Zählungen wurde die Auslastung der Parkplätze zu den beiden Zeiträumen ermittelt.

Parkplatzauslastung vor den gewerblichen Öffnungszeiten (6:30–8:30 Uhr)

In diesem Zeitraum wurde analysiert, wie viele Stellplätze bereits vor Geschäftsbeginn belegt sind. Dies gibt Aufschluss darüber, inwieweit Anrainer:innen, Mitarbeiter:innen oder andere Nutzergruppen bereits Parkraum beanspruchen. Die Auswertung ist in Tabelle 9 dargestellt.

Tabelle 9: Parkplatzauslastung vor den gewerblichen Öffnungszeiten (6:30–8:30 Uhr)

Zone	Belegte Kundenparkplätze	Belegte Privatparkplätze	Auslastung in %
Zone 0	1	0	3%
Zone 1	6	2	17%
Zone 2	8	0	25%
Zone 3	6	0	23%
Zone 4	2	3	18%
Zone 5	3	1	22%

Parkplatzauslastung während der Geschäftszeiten (9:00–12:00 Uhr)

Dieser Zeitraum zeigt die tatsächliche Beanspruchung durch Kunden, Gewerbetreibende und sonstige Besucher:innen während der Hauptbetriebszeit. Diese Auswertung ist in Tabelle 10 dargestellt.

Tabelle 10: Parkplatzauslastung während der Geschäftszeiten (9:00–12:00 Uhr)

Zone	Belegte Kundenparkplätze	Belegte Privatparkplätze	Auslastung in %
Zone 0	23	0	70%
Zone 1	30	9	85%
Zone 2	18	0	56%
Zone 3	16	0	62%
Zone 4	5	13	64%

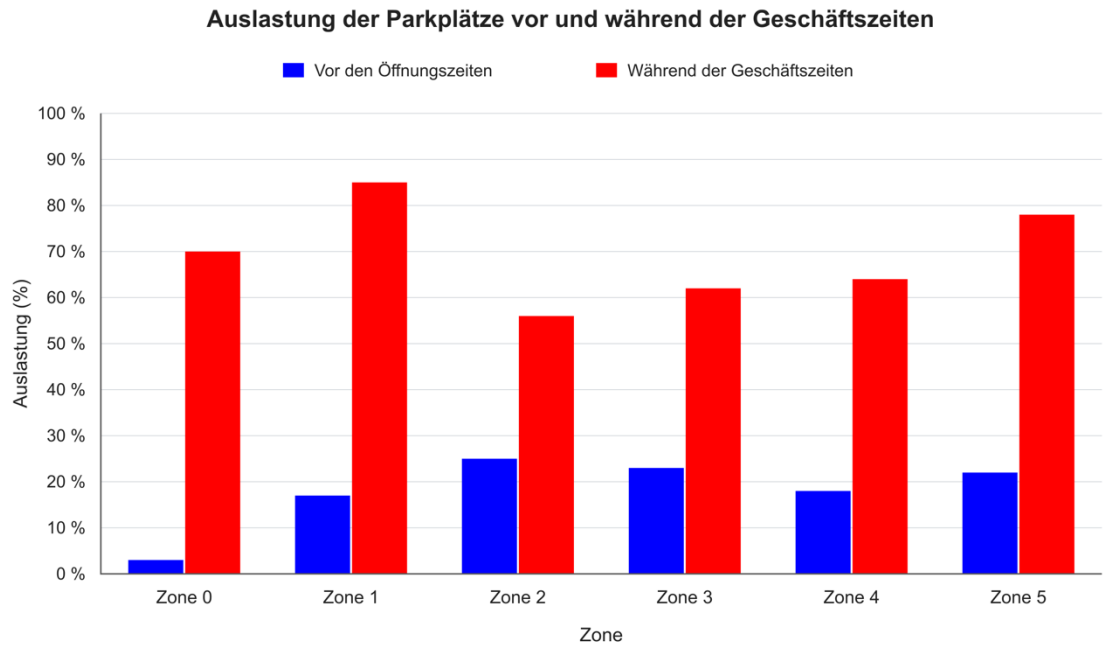
Gegenüberstellung der Parkplatzauslastung

In diesem Unterpunkt werden die Auslastungen der Parkplätze vor den gewerblichen Öffnungszeiten (6:30–8:30 Uhr) mit denen während der Geschäftszeiten (9:00–12:00 Uhr) verglichen (Tabelle 11). Die Auslastung vor und während der Geschäftszeit ist ebenfalls in Abbildung 34 dargestellt.

Tabelle 11: Gegenüberstellung der Parkplatzauslastung

Zone	Auslastung vor den Öffnungszeiten (%)	Auslastung während der Geschäftszeiten (%)	Unterschied (%)
Zone 0	3%	70%	+67%
Zone 1	17%	85%	+67%
Zone 2	25%	56%	+31%
Zone 3	23%	62%	+38%
Zone 4	18%	64%	+46%
Zone 5	22%	78%	+56%

Abbildung 34: Auslastung der Parkplätze vor und während der Geschäftszeiten



Interpretation der Ergebnisse Raiffeisenplatz

Die Analyse zeigt auf, welche Nutzer:innengruppen den Parkraum zu welchen Zeiten in Anspruch nehmen und ob es Engpässe oder ungenutzte Kapazitäten gibt. Vor den gewerblichen Öffnungszeiten (6:30–8:30 Uhr) ist die Auslastung der Parkplätze generell gering. Besonders auffällig ist, dass auch die privaten Parkplätze am Raiffeisenplatz vor den Öffnungszeiten des Gewerbes kaum genutzt werden. Dies könnte darauf hindeuten, dass die Eigentümer:innen der Parkplätze diese an Mitarbeiter:innen des dort befindlichen Gewerbes

weitervermieten. Während der Hauptgeschäftszeiten (9:00–12:00 Uhr) ist die Auslastung deutlich höher, insbesondere in den Zonen 0, 1 und 5. Dies könnte auf eine stärkere Nutzung durch Kund:innen und Gewerbetreibende hinweisen, die während der Geschäftszeiten den Parkraum in Anspruch nehmen. Des Weiteren konnte festgestellt werden, dass der Raiffeisenplatz auch als Durchzugsstraße genutzt wird, insbesondere für die Verbindung zwischen Schmiedgasse und Karl-Morée-Gasse.

Abbildung 35: Raiffeisenplatz Leibnitz



Fazit und Handlungsempfehlungen Raiffeisenplatz

Der Raiffeisenplatz fungiert derzeit nicht als tatsächlicher Platz, sondern ist hauptsächlich eine reine Parkfläche. Er hat jedoch das Potenzial, durch eine Reorganisation oder Umnutzung der Parkflächen zu einem qualitativ hochwertigen öffentlichen Raum zu werden. Unweit des Raiffeisenplatzes gibt es derzeit eine wenig ausgelastete Parkgarage, die alternativ verwendet werden kann. Zudem gibt es am Sparkassenplatz noch genügend unausgelastete Parkplätze, die ebenfalls zur Entlastung der Parkplatzsituation am Raiffeisenplatz beitragen könnten.

Nach einer Abstimmung mit dem Bauunternehmen Feirer Bau und der Stadtplanung über die Entwicklungsziele südlich des Raiffeisenplatzes wurden aufbauend auf den Ergebnissen der Erhebung der Parkplatzauslastung 3 Szenarien entwickelt, von konservativ bis stark verändernd. Als Grundlage dienten auch Abschätzungen der noch zu erreichenden Bebauungsdichte laut Flächenwidmungsplan (FWP): Die vorliegende Verordnung für das Kerngebiet laut FWP ermöglicht eine Anhebung der Dichte auf bis zu 2. Derzeit liegt die Bestandsdichte bei ca. 1. Bei Ausnutzung der Dichte im Bestand könnten hypothetisch weitere 550 Wohnung in der Leibnitzer Innenstadt realisiert werden.

4.3.3.2 Szenarien

Nachfolgend werden die einzelnen entwickelten Szenarien genauer beschrieben. In **Szenario 0** wird der bestehende Zustand dargestellt, ohne bauliche Eingriffe oder strukturelle Veränderungen. Bereits durch gezielte Anpassungen der Oberflächen kann jedoch ein großer Unterschied erzielt werden. Durch die Entsiegelung von Oberflächen und den Einsatz versickerungsfähiger Flächenbefestigungen, insbesondere in den Parkplatzbereichen, lässt sich die Qualität des Gebiets deutlich verbessern. Die derzeit verwendeten Betonsteinpflastersteine ermöglichen kaum Wasserdurchlässigkeit. Offenere, hydroaktive Systeme sowie die Entsiegelung bislang vollständig asphaltierter Stellflächen würden die Versickerung von Regenwasser wesentlich erhöhen.

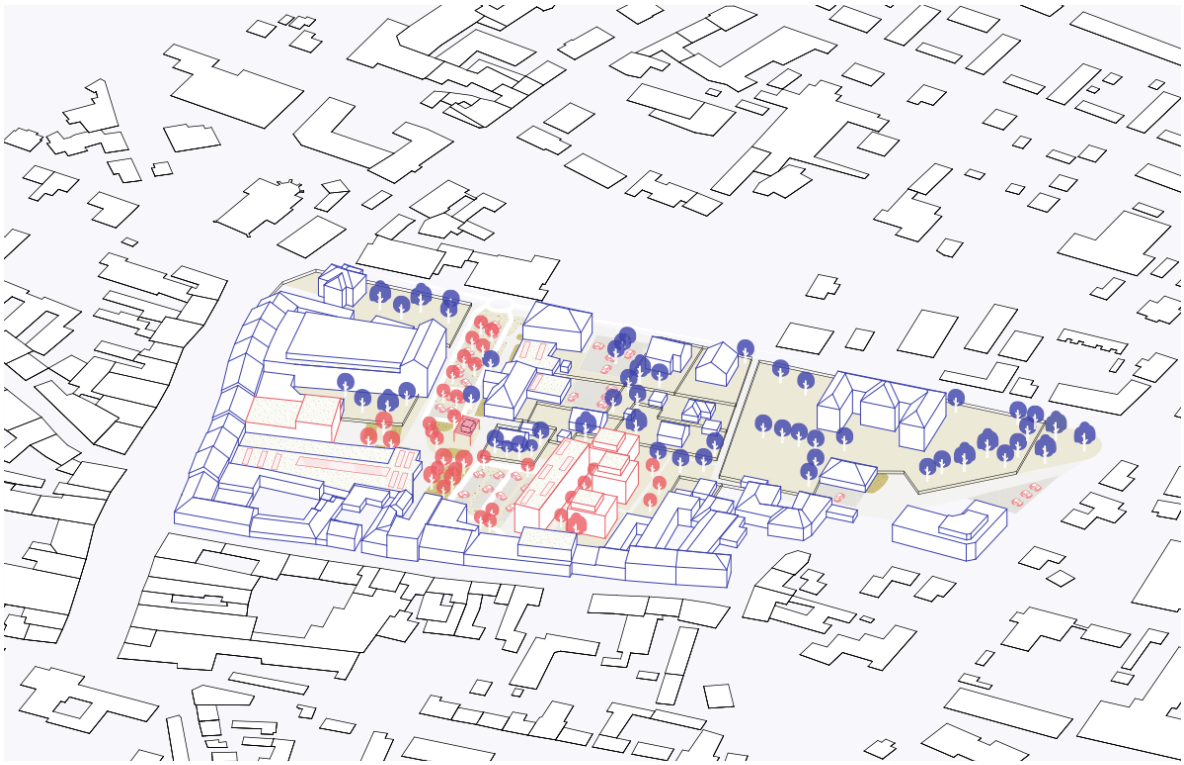
Szenario 1 (Abbildung 36 und Abbildung 37) umfasst eine geringe Reduktion der Parkplätze, orientiert an der tatsächlichen Auslastung, sowie eine Umorganisation der Fläche, wodurch die Gestaltung des Vorplatzes der Arbeiter- und Landwirtschaftskammer ermöglicht wird. Ziel von Szenario 1 ist die schrittweise Reorganisierung des Raiffeisenplatzes durch kleinere Eingriffe im Bestand. Im Fokus stehen die Reduzierung der Stellplätze um etwa 30 % sowie eine verbesserte fußläufige Vernetzung im Quartier.

Ausgangspunkt ist eine derzeitige Auslastung von rund 70 % bei insgesamt 183 Stellplätzen. Eine Reduktion um 30 % ergibt etwa 125 verbleibende Stellplätze. Eine weitergehende Reduzierung ist möglich, da in unmittelbarer Nähe zusätzliche Parkmöglichkeiten in einer Tiefgarage sowie am Sparkassenplatz zur Verfügung stehen.

Abbildung 36: Szenario 1 – Reorganisierung des Raiffeisenplatzes



Abbildung 37: Szenario 1 – axonometrische Darstellung



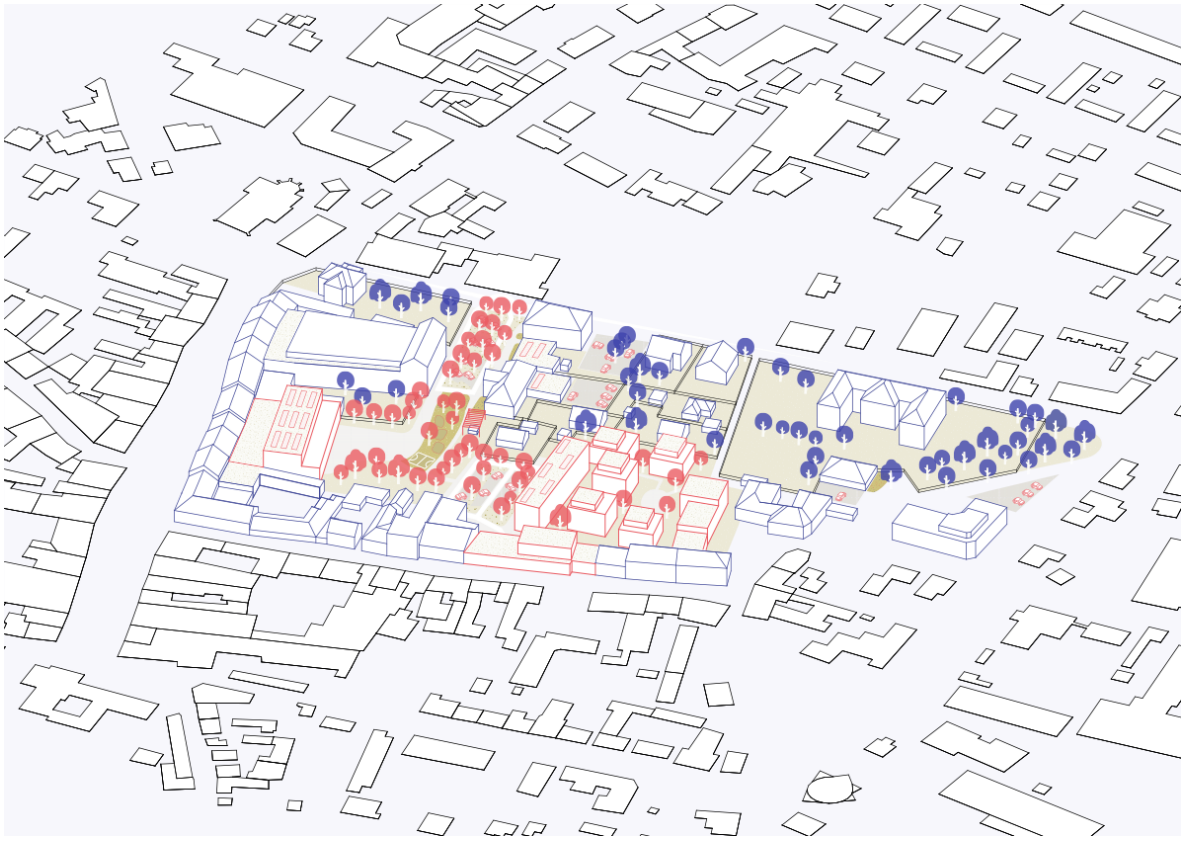
Szenario 2 (Abbildung 38 und Abbildung 39) beinhaltet umfassende Veränderungen am Platz, die jedoch nur in Kombination mit einer Aktivierung von Leerständen sinnvoll umgesetzt werden können. Szenario 2 stellt die umfassendste Eingriffsstufe dar und fokussiert auf eine grundlegende Umgestaltung des Raiffeisenplatzes. Ziel ist eine tiefgreifende Restrukturierung des Gebiets mit einer deutlichen Reduktion der Stellplätze um bis zu 80 %.

Ausgehend von derzeit 183 Stellplätzen wird die Anzahl auf etwa 70 Stellplätze reduziert. Der freiwerdende Raum wird zur qualitativen Aufwertung des öffentlichen Raums genutzt und ermöglicht neue Aufenthaltsflächen sowie eine umfassende Begrünung. Ergänzend werden bestehende Leerstände aktiviert und durch gezielte Umbaumaßnahmen in die neue Quartiersstruktur integriert. Der Stellplatzabbau wird durch Ausweichmöglichkeiten in der nahegelegenen Tiefgarage sowie durch zusätzliche Parkmöglichkeiten am Sparkassenplatz kompensiert.

Abbildung 38: Szenario 2 – Restrukturierung des Gebietes



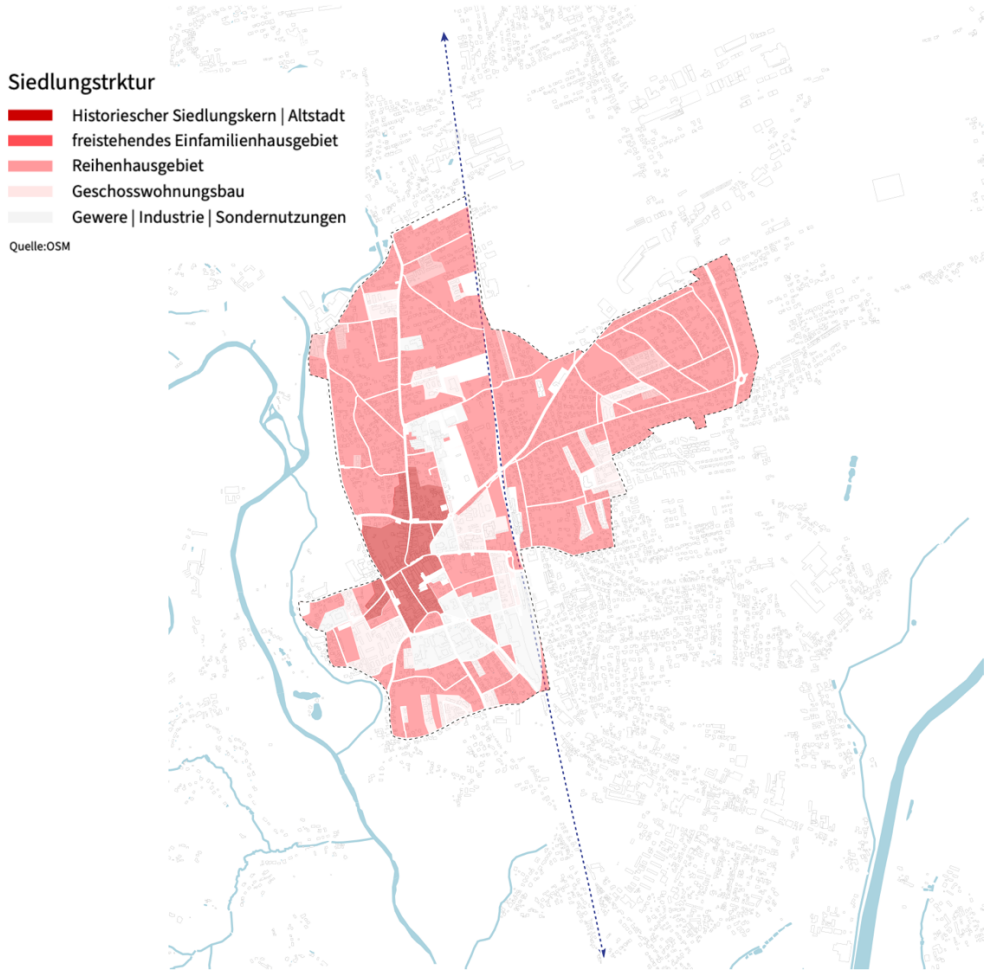
Abbildung 39: Szenario 2 – axonometrische Darstellung



4.4 Gesamtstädtische Aussage

Ausgehend von der detaillierten Analyse eines Gebiets in Leibnitz konnte eine Gebietscharakterisierung weiterer Stadtteile hinsichtlich vorherrschender Versiegelung und GI-Typen vorgenommen werden. Diese dient der weiteren Bearbeitung und Modellierung der Klimawandelauswirkungen. Die Siedlungsstruktur von Leibnitz (Abbildung 40) zeigt ein klar erkennbares Stadtzentrum mit historischem Siedlungskern und angrenzenden Wohngebieten. Große Teile des Stadtgebiets sind durch locker bebaute Einfamilienhausstrukturen geprägt, während Reihenhausgebiete und Geschosswohnungsbau punktuell in zentrumsnahen Lagen und entlang wichtiger Achsen auftreten. Gewerbe-, Industrie- und Sondernutzungen befinden sich überwiegend am Stadtrand. Östlich der Bahngleise dominiert vor allem Wohnnutzung mit geringer funktionaler Durchmischung.

Abbildung 40: Siedlungsstruktur Leibnitz



5 Datenaufbereitung und Daten

5.1 Datenaufbereitung für die Ermittlung des quartiersbezogenen GI-Wasserbedarfs

Für die Ermittlung des potenziellen Wasserbedarfs der GI in den Case Studies Leibnitz, Eisenstadt und Wels wurde die in Kalifornien entwickelte Landscape Coefficient Method (LCM), siehe Methodenbeschreibung in Kapitel 6.1, zur Abschätzung von Bewässerungsmengen verschiedener Begrünungsarten angewendet (Department of Water Resources, 2000). Zur Gewinnung der Daten wurden relevante GI-Flächen mit QGIS (QGIS Development Team) auf Basis von Geodaten und Google Street View (Google Ireland Limited, IRL) erfasst, LCM-Mikroklimabereiche (low, average, high) ausgewiesen, beide Datensätze verschnitten und die GI-Typen nach Mikroklimaklasse exportiert.

5.1.1 Grundlagedaten für die LCM

Als Datengrundlage wurden meteorologische Zeitreihen der Geosphere Austria (2025) für alle drei Case Studies herangezogen. In die Berechnung flossen monatliche Mittelwerte der potenziellen Evapotranspiration (ETp) sowie der Niederschlagssummen (mm) für den Zeitraum von 2014 bis 2025 ein. Für die weitere Berechnung war es notwendig, den effektiven Niederschlag einfließen zu lassen. Dieser berücksichtigt Niederschlagsverluste durch Interzeption: Dies ist jener Teil des Niederschlags, der von Vegetationsoberflächen abgefangen wird, rasch verdunstet und somit weder infiltriert noch pflanzenverfügbar wird (Gerrits et al., 2006). Der effektive Niederschlag für die jeweiligen GI-Typen wurde anhand einschlägiger Literaturwerte abgeschätzt. Weiterhin ist auch die Effizienz der aktiven Bewässerung zu berücksichtigen. Die GI-Typen werden aktiv über verschiedene Systeme (z. B. Tropf- oder Sprinklerbewässerung) versorgt. Je nach Methode erreicht nur ein Teil des Wassers den Wurzelraum. Systembedingte Verluste wurden in die Berechnungen mittels LCM einbezogen. Die dafür nötigen Effizienzparameter stammen aus Fachliteratur und Herstellerangaben. Tabelle 12 zeigt die beiden Parameter je GI-Typ.

Tabelle 12: Übersicht der kategorisierten Parameter „Effektiver Niederschlag“ und „Bewässerungseffizienz“ je GI-Typ nach Xiao et al., 2000; Smets et al., 2019; Säle, 2019; Umweltbundesamt, 2020; Bean et al., 2021; Sinabell, Streicher and Haslmayr, 2021; Sinha, 2022; Lucas-Borja et al., 2023; Gao et al., 2024; Hydro-Air International Irrigation Systems GmbH, 2024 .

GI-Typ	Effektiver Niederschlag (%)	Bewässerungseffizienz (%)
Zierrasenfläche	90	70 (Sprinkler)
Blumenwiese	90	70 (Sprinkler)
Gebrauchsrasenfläche, Blumenrasen	90	70 (Sprinkler)
Strapazierrasenfläche	90	70 (Sprinkler)
Schotterrasenfläche	90	70 (Sprinkler)
Oberflächenbefestigung mit Fugenbegrünung	90	70 (Sprinkler)
Staudenfläche	90	90 (Tropfer)
Wechselbepflanzung	90	90 (Tropfer)
Strauchfläche (offene, nicht überbaute Fläche)	80	90 (Tropfer)
Formhecke	80	90 (Tropfer)
Freiwachsende Hecke	80	ohne Bewässerung bzw. 90 (Tropfer)
Baumpflanzung (offene, nicht überbaute Pflanzgrube ohne Unterpflanzung)	70	90 (Tropfer)
Baumpflanzung (offene, nicht überbaute Pflanzgrube mit Unterpflanzung)	70	90 (Tropfer)
Baumpflanzung (überbaute Pflanzgrube, ohne bepflanzte Baumscheibe)	70	90 (Tropfer)
Baumpflanzung (überbaute Pflanzgrube, mit bepflanzter Baumscheibe)	70	90 (Tropfer)
Extensive Dachbegrünung	90	ohne Bewässerung
Reduziert-intensive Dachbegrünung	80–90	70–90 (vegetationsabhängig)
Intensive Dachbegrünung	70–90	70–90 (vegetationsabhängig)
Vertikalbegrünung (bodengebunden, ohne Unterpflanzung)	80	90 (Tropfer)

Vertikalbegrünung (bodengebunden, mit Unterpflanzung)	80	90 (Tropfer)
Vertikalbegrünung (troggebunden, ohne Unterpflanzung)	0	90 (Tropfer)
Vertikalbegrünung (troggebunden, mit Unterpflanzung)	0	90 (Tropfer)
Vertikalbegrünung (wandgebunden, teilflächige Vegetationsträger)	0	90 (Tropfer)
Vertikalbegrünung (wandgebunden, vollflächige Vegetationsträger)	0	90 (Tropfer)

5.1.2 LCM-Faktoren

Die LCM sieht eine Kategorisierung in die Faktoren „species“ (Ks), „density“ (Kd) und „microclimate“ (Kmc) vor. In Tabelle 13 ist die Zuordnung der LCM-Faktoren in den vier Kategorien (very low, low, moderate/average und high) dargestellt.

Tabelle 13: Zuordnung der LCM-Faktoren in die Kategorien very low, low, moderate/average und high nach University of California (2000)

	Species (Ks) – artspezifischer Wasserbedarf einer Pflanze (niedriger bis hoher Wasserbedarf)	**Density (Kd) – Volumen der Biomasse bzw. Blattdichte der Pflanzen (spärliche bis mehrschichtige Bepflanzung)**	**Microclimate (Kmc) – Auswirkung der mikroklimatischen Verhältnisse z. B. Sonnen- und Windexposition, Abstrahlung von Flächen etc.**
very low	< 0,1	-	-
low	0,1 – 0,3	0,5 – 0,9	0,5 – 0,9
moderate/average	0,4 – 0,6	1	1
high	0,7 – 0,9	1,1 – 1,3	1,1 – 1,4

5.1.2.1 Species-Faktor (Ks)

Für die Case Studies wurde die artspezifische Bestimmung des Wasserbedarfs (Ks) auf Ebene der GI-Typen angesetzt. Grundlage hierfür bildeten Mittelwerte, die aus der frei verfügbaren UC-Pflanzenliste für sechs kalifornische Sunset Climate Zones abgeleitet wurden (Department of Water Resources, 2000; University of California, 2025). Zur Vergleichbarkeit

mit Österreich wurden die Standorte klimatisch nach Köppen–Geiger eingeordnet (Cfb), wobei im Zuge des Klimawandels insbesondere in Wien, Leibnitz und Eisenstadt eine Annäherung an mediterrane Bedingungen (Csa/Csb) zu erwarten ist, was sich bereits in häufigeren Hitze- und Dürreereignissen sowie steigenden Temperaturen zeigt. Regionale Analysen (z. B. südliche Steiermark 2022) belegen mehr Hitze- und Sommertage, höhere Jahresmitteltemperaturen und teils geringere Niederschläge. Auf dieser Basis wurden für die Einordnung Bewässerungswerte der kalifornischen Region 2 (Central Valley; Csa/Csb) herangezogen und mit Kenndaten aus Normen, Regelwerken und Fachliteratur kombiniert.

Tabelle 14 listet charakteristische Pflanzenarten für ausgewählte GI-Typen auf; vollständige Informationen sind in Anhang 01 enthalten. Die jeweiligen Bewässerungsmengen wurden nach Department of Water Resources (2000) zugeordnet und mit Angaben zu Bewässerungsbedarf, Pflege, Belastbarkeit und Standortanforderungen aus vorangegangenen Tasks abgeglichen, um den Species-Faktor (Ks) festzulegen. Bei GI-Typen wie Staudenflächen erfolgte die Zuordnung auf Artebene. Dafür wurden Staudenmischungen der Bayerischen Landesanstalt für Wein und Gartenbau (LWG) (2019, 2021) und der Stadt Wien, Magistratsabteil MA42, Wiener Stadtgärten (2025) ausgewertet und Pflanzenarten für die ks-Bereiche low/average/high bestimmt, die auch zur Einordnung von Unterpflanzungen (Baumpflanzungen, trog-/bodengebundene Vertikalbegrünung, intensive Dächer) dienen—hier entfällt „low“ und mindestens „average“ wird angesetzt, da der Hauptpflanzenbedarf dominiert. Für Baumpflanzungen ohne Unterpflanzung zeigen die Deutsche Gartenamtsleiterkonferenz (GALK e.V.) und die KlimaArtenMatrix (KLAM) (Roloff in Dreßler et al., 2021) überwiegend „average“ (*Robinia pseudoacacia* „low“); insgesamt wurde daher „average“ vergeben, während bei Baumpflanzungen mit Unterpflanzung „average“ bis „high“ angewandt wurde. Der Species-Faktor (Ks) berücksichtigt bei einigen GI-Typen Extremstandorte und begrenzte Substraträume. Zum Beispiel bei intensiven Dachbegrünungen und wandgebundenen Vertikalbegrünungen führen kleiner Wurzelraum, höhere Wind- sowie Strahlungs- und Hitzebelastung zu schnellerer Austrocknung und erhöhtem Wasserbedarf, sodass trotz teils „low“ eingestufter Arten mindestens „average“ angesetzt wird (Bauder Limited, 2022; Huang et al., 2024; Fößl, 2025).

Tabelle 14: Zuweisung des Species-Faktors (Ks) am Beispiel der GI-Typen „Staudenfläche“ und „Baumpflanzung, offene nicht überbaute Pflanzgrube mit/ohne Unterpflanzung“ durch Beispielarten und Ergebnisse aus vorherigen Tasks

GI-Typ	Outcome Task 1.1/1.2	Region 2 WUCOLS (2000) - Beispielarten	Species-Faktor (Ks)
Staudenfläche	Niedriger bis hoher Wasserbedarf und Pflegebedarf, je nach Artenauswahl (Bouillon, 2013; Seipel, 2021)	Low (Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG), 2019, 2021; MA42 Wiener Stadtgärten, 2025): A. millefolium – 0,10–0,30 A. vulgaris – 0,10–0,30 B. crassifolia – 0,10–0,30 B. gracilis – 0,10–0,30 C. x acutiflora – 0,10–0,30 F. mairei – 0,10–0,30 L. angustifolia – 0,10–0,30 N. x faassenii – 0,10–0,30 Average (Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG), 2019, 2021; MA42 Wiener Stadtgärten, 2025): A. japonica – 0,40–0,60 Aster ssp. – 0,40–0,60 C. morrowii – 0,40–0,60 Echinacea ssp. – 0,40–0,60 Geranium ssp. – 0,40–0,60 Hosta ssp. – 0,40–0,60 M. sinensis – 0,40–0,60 R. fulgida – 0,40–0,60 High (Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG), 2019, 2021; MA42 Wiener Stadtgärten, 2025) A. chinensis – 0,70–0,90	0,1–0,3/ 0,4–0,6/ 0,7–0,9

		B. macrophylla – 0,70–0,90 Campanula ssp. – 0,70–0,90 I. cylindrica – 0,70–0,90 P. odoratum – 0,70–0,90 P. setiferum – 0,70–0,90	
Baumpflanzung (offene, nicht überbaute Pflanzgrube ohne Unterpflanzung)	Bewässerungsbedarf artenspezifisch, Pflanzgrube min. 12 m³ und nicht belastet, Pflege extensiv (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2010; Bouillon, 2013)	(Dreßler et al., 2021; GALK e.V., 2026): A. campestre – 0,40–0,60 C. australis – 0,40–0,60 F. ornus – 0,40–0,60 K. paniculata – 0,40–0,60 P. x hispanica – 0,40–0,60 Z. serrata – 0,40–0,60 G. biloba – 0,40–0,60 P. nigra – 0,40–0,60 R. pseudoacacia – 0,10–0,30	0,4–0,6
Baumpflanzung (offene, nicht überbaute Pflanzgrube mit Unterpflanzung)	Bewässerungsbedarf artenspezifisch, Pflanzgrube min. 12 m³ und nicht belastet, Pflege intensiver durch Unterpflanzung (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2010; Bouillon, 2013; Seipel, 2021)	Baumpflanzung: siehe Arten oben (Dreßler et al., 2021; GALK e.V., 2026): Unterpflanzung: siehe Arten GI-Typen (Anhang 01) „Staudenpflanzung“, „Zierrasenfläche“, „Gebrauchsrasen“, „Blumenrasen“	0,4–0,6/ 0,7–0,9

5.1.2.2 Density-Faktor (Kd)

Die Bestimmung des Dichtefaktors (Kd) erfolgte durch die Zuordnung der GI-Typen entsprechend dem erwarteten Pflanzenvolumen sowie dem Grad der Blattflächenbedeckung (Leaf Area) (Department of Water Resources, 2000). Der Dichtefaktor „low“ gilt für Flächen mit geringer oder lückiger Vegetationsdeckung und entsprechend niedriger potenzieller Verdunstung (Department of Water Resources, 2000). „Average“ umfasst geschlossen bewachsene, überwiegend homogene Bestände oder Mischpflanzungen mit moderater vertikaler Struktur; ergänzt eine weitere Ebene (z. B. Bäume) die Fläche, wird „high“ vergeben. „High“ steht für mehrschichtige, stark bedeckte Bestände; hierfür kann Kd bis 1,3 bei Baum-, Strauch- und Krautschicht bzw. 1,1–1,2 bei zweischichtiger Struktur angesetzt werden.

Tabelle 15: Zuweisung des Density-Faktors (Kd) am Beispiel der relevanten GI-Typen

GI-Typ	Density-Faktor (Kd)		
	Low (0,5 – 0,9)	Average (1,0)	High (1,1 – 1,3)
Zierrasenfläche		X	
Blumenwiese		X	
Gebrauchsrasenfläche, Blumenrasen		X	
Strapazierrasenfläche		X	
Schotterrasenfläche	X		
Oberflächenbefestigung mit Fugenbegrünung	X		
Staudenfläche		X	
Wechselbepflanzung		X	
Strauchfläche (offene, nicht überbaute Fläche)		X	
Formhecke		X	
Freiwachsende Hecke		X	
Baumpflanzung (offene, nicht überbaute Pflanzgrube ohne Unterpflanzung)		X	
Baumpflanzung (offene, nicht überbaute Pflanzgrube mit Unterpflanzung)			X
Baumpflanzung (überbaute Pflanzgrube, ohne bepflanzte Baumscheibe)		X	
Baumpflanzung (überbaute Pflanzgrube, mit bepflanzter Baumscheibe)			X
Extensive Dachbegrünung	X		
Reduziert-intensive Dachbegrünung		X	
Intensive Dachbegrünung			X
Vertikalbegrünung (bodengebunden, ohne Unterpflanzung)		X	
Vertikalbegrünung (bodengebunden, mit Unterpflanzung)			X
Vertikalbegrünung (troggebunden, ohne Unterpflanzung)		X	
Vertikalbegrünung (troggebunden, mit Unterpflanzung)			X
Vertikalbegrünung (wandgebunden, teilflächige Vegetationsträger)		X	
Vertikalbegrünung (wandgebunden, vollflächige Vegetationsträger)		X	

5.1.3 Microclimate-Faktor (Kmc)

Die Abgrenzung der Mikroklimabereiche „low“, „average“ und „high“ erfolgte in QGIS auf Basis der Definitionen des Department of Water Resources (2000). Da standortspezifische Windbelastungen nicht quantitativ erhoben werden konnten, richtete sich der Analysefokus auf die umgebenden Oberflächenstrukturen und auf potenzielle Verschattungseffekte. Hierzu wurden Schattensimulationen für den 21. Juni, den Tag mit dem geringsten jährlichen Schattenwurf, durchgeführt (ARD Alpha, 2022): Für die bauliche Struktur an allen drei Case Studies wurde der tageszeitliche Verlauf zwischen 10:00 und 18:00 Uhr in Vectorworks 2025 (Nemetschek SE, DE) modelliert. Flächen, die zu mindestens zu drei Zeitpunkten in dieser Zeitspanne verschattet waren, wurden der Kategorie „low“ zugewiesen; unmittelbar angrenzende, teilweise verschattete Bereiche galten als „average“. Bereiche, die von wärmeabsorbierenden oder reflektierenden Oberflächen geprägt sind, etwa Straßen- und Parkplatzräume, wurden als „high“ klassifiziert; bei ausgeprägter Verschattung in solchen Lagen erfolgte jedoch eine Einstufung als „average“. Diese Logik wurde ebenso auf teilversiegelte Befestigungen (z. B. Rasengittersteine) und Gründächer angewandt. Zudem wurden Randzonen großer, eigentlich „average“-einstufbarer Grünflächen, sofern sie an versiegelte Flächen angrenzen, aufgrund erhöhter Wärmebelastung als „high“ ausgewiesen.

Abbildung 41: Schattenstudie (genordet) in Eisenstadt zur Sommersonnenwende (21. Juni) zwischen 10:00 und 18:00 Uhr

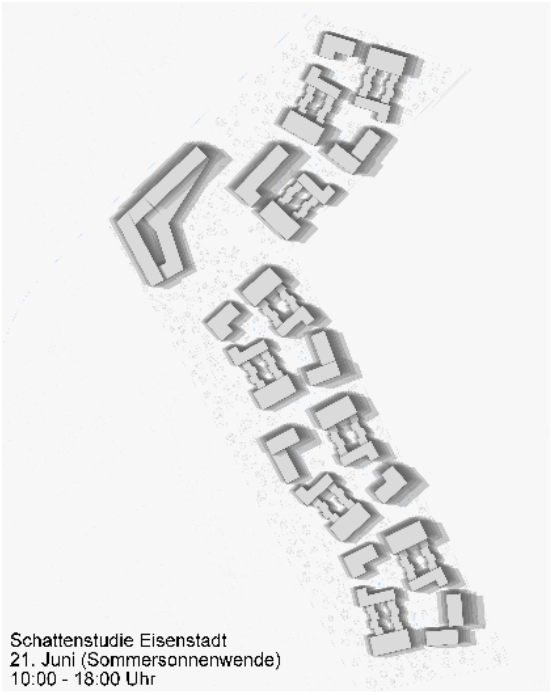
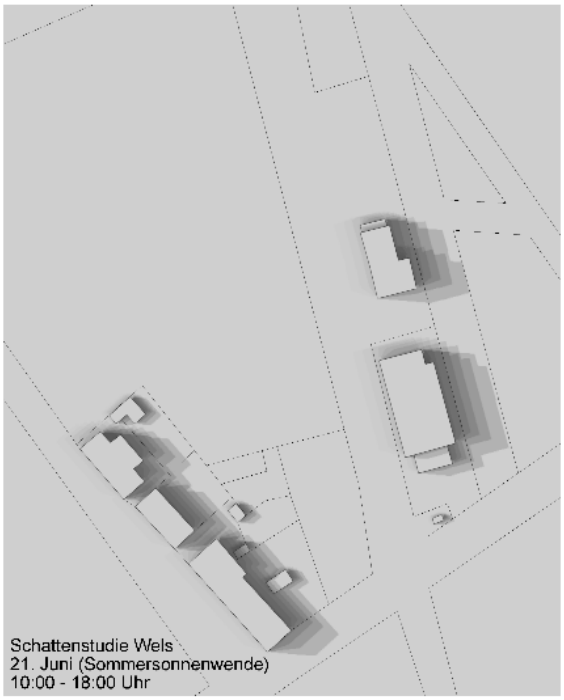


Abbildung 42: Schattenstudie (genordet) in Leibnitz zur Sommersonnenwende (21. Juni) zwischen 10:00 und 18:00 Uhr



Abbildung 43: Schattenstudie (genordet) in Wels zur Sommersonnenwende (21. Juni) zwischen 10:00 und 18:00 Uhr



Mithilfe der obigen Schattenstudien konnten die mikroklimatischen Verhältnisse innerhalb der Case Studie Flächen abgegrenzt werden und zu den Kategorien „low“ bis „high“ zugeordnet werden (Abbildung 44, Abbildung 45, Abbildung 46). Somit konnte die Datengrundlage für die weiteren Berechnungen mit der LCM geschaffen werden.

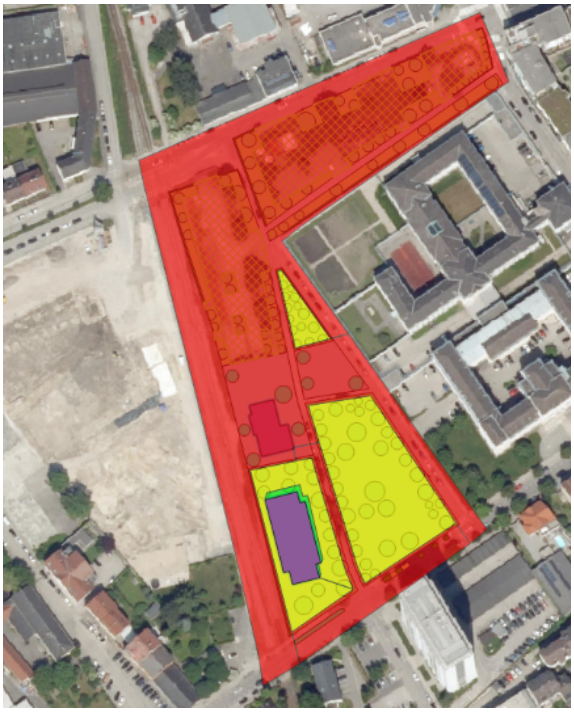
Abbildung 44: Zuordnung des Faktors Kmc in Eisenstadt. Low = grün, average = gelb, high = rot



Abbildung 45: Zuordnung des Faktors Kmc in Leibnitz. Low = grün, average = gelb, high = rot



Abbildung 46: Zuordnung des Faktors Kmc in Wels. Low = grün, average = gelb, high = rot



5.2 Datenaufbereitung für die Ermittlung des regionalen GI-Wasserbedarfs

Die Abschätzung des zukünftigen regionalen Bewässerungswasserbedarfs urbaner Grünflächen setzt eine detaillierte und räumlich konsistente Erfassung der städtischen Landbedeckung und Vegetationsstruktur voraus. Urbane Räume sind durch eine hohe kleinräumige Heterogenität gekennzeichnet, sodass grobe Klassifikationen häufig nicht ausreichen, um funktional relevante Unterschiede zwischen verschiedenen Grün- und Nutzungsformen abzubilden. Ziel dieses Arbeitsschritts ist die Entwicklung eines GIS-basierten Workflows, der heterogene Geodaten und Fernerkundungsdaten in einer einheitlichen, modellierbaren Struktur zusammenführt und als Grundlage für die spätere Wasserbedarfsberechnungen und den zukünftigen Bewässerungsbedarf dient.

Als räumliche Referenz wird ein Raster mit einer Zellgröße von 100 × 100 m über das Untersuchungsgebiet gelegt. Diese Rasterung erlaubt eine flächentreue Aggregation von Landbedeckungs- und Vegetationsinformationen. Alle Geodaten werden in ein einheitliches, projektionsbasiertes Koordinatensystem überführt, um Verzerrungen bei Flächenberechnungen zu vermeiden. Jedem Rasterfeld wird eine eindeutige Identifikationsnummer zugewiesen, die als Schlüssel für die spätere Zusammenführung verschiedener Datensätze dient.

5.2.1 Landnutzung und NDVI

Zur Erfassung der Landnutzung werden digitale Katasterdaten (Katastralmappe und Sachdaten digital, 2025) mit hochauflösenden Orthofotos kombiniert. Die Katasterdaten werden geometrisch mit dem Raster verschnitten, sodass innerhalb jeder Rasterzelle mehrere Teilflächen mit unterschiedlichen Nutzungs-, Besitz- und Landbedeckungsklassen entstehen können. Für jede dieser Teilflächen werden die Fläche und deren prozentueller Anteil innerhalb des 100 m Rasters berechnet. Dadurch lassen sich pro Rasterzelle flächengewichtete Anteile einzelner Landbedeckungsklassen basierend auf der Land Cover Classification (LCC) des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen (Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV), 2024) bestimmen. Diese LCC wird in 6 Klassen unterteilt:

- Gebäude
- Grünflächen niedrig/mittel/hoch
- Wasserflächen
- Boden

Ergänzend werden Satellitendaten (CIR/Falschfarbenkomposit) (Amt der Steiermärkischen Landesregierung, no date) in die Analyse integriert, um vegetationsbezogene Eigenschaften der urbanen Landbedeckung abzuleiten. Hierzu wird ein NDVI-Raster (Normalized Difference Vegetation Index) verwendet, das Informationen zur Vegetationsdichte und dem Grünanteil liefert. Das NDVI-Raster wird hinsichtlich Projektion, räumlicher Auflösung und Ausdehnung exakt an das Landbedeckungsraster angepasst. Mithilfe der Landbedeckungsklassifikation werden NDVI-Werte maskiert und nach Klassen getrennt ausgewertet, sodass eine grobe Klassifikation nach niedriger, mittlerer und hoher Vegetation und NDVI-Wert stattfinden kann. Zur quantitativen Beschreibung der Vegetation wurden zonale Statistikverfahren angewandt, um mittlere NDVI-Werte für jede Rasterzelle zu berechnen. Die NDVI-Werte sind in diesem Fall konsistent über alle Rasterzellen und Vegetationstypen verteilt.

5.2.2 Bodenparameter

Zur Ableitung der hydrologisch relevanten Bodenparameter wurde ebenfalls ein rasterbasierter Ansatz gewählt, um die räumliche Heterogenität der Boden- und Nutzungseigenschaften konsistent abzubilden. Die Basis bildete das Raster der jeweiligen Case Studies, das als gemeinsame räumliche Referenz für alle weiteren Datensätze diente. Die bodenkundlichen Informationen wurden aus den offiziellen Bodenartenkarten (Österreich eBOD, 2022) bezogen und mittels räumlicher Überlagerung, im GIS, mit dem Raster verknüpft. Dadurch konnte jeder Rasterzelle eine Bodenart zugeordnet werden, was eine flächendeckende und einheitliche Parametrisierung der Bodenverhältnisse gewährleistet.

Aufbauend auf den ermittelten Bodenarten wurden in einem nächsten Schritt Curve-Number-Werte (CN) (CN Tables, 2026) gemäß der NRCS-Curve-Number-Methode zugewiesen. Die Bestimmung der CN-Werte erfolgte unter Berücksichtigung sowohl der Bodenhydrologischen Gruppe als auch der aktuellen Nutzung und Widmung der Flächen. Dieses Vorgehen entspricht der NRCS-Methode, bei denen der Abfluss und damit der effektive Niederschlag maßgeblich durch das Zusammenspiel von Bodeneigenschaften und Landnutzung beeinflusst werden (NRCS, 2004; Ajmal et al., 2016). Eine nutzungs- und bodenspezifische Parametrisierung ist notwendig, um den effektiven Niederschlag und damit den Bewässerungsbedarf urbaner Grüninfrastruktur realistisch abschätzen zu können.

In einzelnen Rasterzellen konnten aufgrund von Datenlücken keine eindeutigen Bodenarten oder Curve-Number-Werte zugeordnet werden. In diesen Fällen wurde der jeweilige Wert

aus einer benachbarten Rasterzelle übernommen. Auf diese Weise konnte für alle Rasterzellen ein vollständiger Datensatz erzeugt werden, der eine durchgängige Anwendung der NRCS-Curve-Number-Methode zur Berechnung des effektiven Niederschlags ermöglicht.

5.2.3 Zusammenführung und finale Datengrundlage

Aus der räumlichen Überlagerung der zuvor beschriebenen Datensätze konnten für jede Rasterzelle die erforderlichen Eingangsparameter zur Ermittlung des Bewässerungsbedarfs abgeleitet werden. Da für eine flächendeckende räumliche Analyse keine detaillierten Informationen zur konkret vorhandenen Grünen Infrastruktur vorlagen, wurde die dreistufige Klassifizierung der Land-Cover-Daten in hohe, mittlere und niedrige Vegetation als gemeinsame Grundlage herangezogen. Die in Kapitel 5.1.2 ermittelten Parameter für unterschiedliche GI-Typen wurden diesen Vegetationskategorien zugeordnet und innerhalb der jeweiligen Kategorie zusammengefasst. So umfasst beispielsweise die Kategorie der niedrigen Vegetation überwiegend GI-Typen wie Rasenflächen, während mittlere und hohe Vegetation vorwiegend Strauch- bzw. Baumbestände abbilden. Auf Basis dieser Zuordnung konnte der pflanzenbezogene Koeffizient Ks für jede Rasterzelle bestimmt werden. Der Dichtekoeffizient Kd wurde aus der Auswertung der NDVI-Daten abgeleitet, wodurch Unterschiede in der Vegetationsdichte räumlich differenziert berücksichtigt werden konnten.

Zur Überprüfung der Plausibilität der gewählten Kategorisierung wurde eine stichprobenartige Qualitätssicherung durchgeführt. Dabei wurden ausgewählte Rasterzellen mit Orthofotos überlagert und visuell geprüft, welche Formen Grüner Infrastruktur tatsächlich vor Ort vorhanden sind. Dieser Abgleich diente dazu, die Zuordnung der Vegetationskategorien zu validieren und sicherzustellen, dass die vereinfachte Klassifizierung die realen Gegebenheiten ausreichend widerspiegelt.

Die pflanzenspezifischen Parameter wurden anschließend flächengewichtet je Rasterzelle kombiniert, sodass die innerhalb einer Rasterzelle vorhandene Mischung unterschiedlicher Vegetationstypen berücksichtigt werden konnte. Da in dieser Arbeit der maximale bzw. optimale Bewässerungsbedarf ermittelt werden soll, wurden für die pflanzenspezifischen Koeffizienten jeweils die oberen Grenzwerte angesetzt. Dieses Vorgehen stellt sicher, dass der berechnete Bewässerungsbedarf den Wasserbedarf unter optimalen Wachstumsbedingungen widerspiegelt und somit eine konservative Abschätzung für die Bewässerungsplanung darstellt. Der mikroklimatische Koeffizient Kmc wurde für jedes Raster flächengewichtet auf Grundlage der jeweiligen Landbedeckungsklassifikation ermittelt. Hierzu wurden den einzelnen Landbedeckungsklassen spezifische mikroklimatische Koeffizienten zugewiesen und

anschließend entsprechend ihres Flächenanteils innerhalb jedes Rasters gewichtet gemittelt. Stark versiegelten Flächen, beispielsweise Gebäuden, wurden dabei höhere mikroklimatische Koeffizienten zugewiesen als Vegetations- oder Wasserflächen, da diese aufgrund ihrer Eigenschaften stärker zur Erwärmung des lokalen Mikroklimas beitragen.

5.2.4 Aufbereitung Klimaprojektionen

Zur Bewertung der Auswirkungen des Klimawandels auf die Case Studies wurden die Representative Concentration Pathways (RCPs) herangezogen. RCPs beschreiben unterschiedliche Entwicklungspfade der atmosphärischen Treibhausgaskonzentrationen und dienen als Grundlage für Klimaprojektionen bis zum Ende des 21. Jahrhunderts. Dabei werden vier Emissionsszenarien unterschieden: RCP2.6 repräsentiert ein ambitioniertes Klimaschutzszenario mit dem Ziel, die globale Erwärmung auf unter 2 °C zu begrenzen, RCP4.5 und RCP6.0 beschreiben Szenarien mit mittleren Emissionsentwicklungen, während RCP8.5 ein Szenario mit anhaltend hohen Treibhausgasemissionen darstellt (Moss et al., 2010; IPCC, 2014). Im Rahmen der ÖKS15 Studie (Chimani B. et al., 2016) wurden regionale Klimaprojektionen für die Szenarien RCP2.6, RCP4.5 und RCP8.5 erstellt. Die Datensätze liegen im NetCDF-Format vor und umfassen tägliche Zeitreihen der minimalen, maximalen und mittleren Lufttemperatur sowie der Niederschlagssummen für den Zeitraum von 1951 bis 2100 (Maraun and Mendlik, 2018; Mendlik et al., 2018; GeoSphere Austria, 2025).

Zur Ableitung der klimatischen Randbedingungen für die einzelnen Case Studies wurden die Klimadaten räumlich mit den jeweiligen Gemeindegrenzen verschnitten. Dabei wurden ausschließlich jene Rasterzellen berücksichtigt, die innerhalb der Grenzen der Untersuchungsgebiete liegen. Anschließend wurden für jede Case Study die täglichen Minimal-, Maximal- und Mitteltemperaturen sowie die Niederschlagssummen räumlich gemittelt und als standortspezifische Klimazeitreihen aufbereitet.

Für die Bewertung der klimatischen Veränderungen wurde die Referenzperiode 2001–2020 mit dem zukünftigen Zeitraum 2041–2060 herangezogen. Zum Zeitpunkt der Bearbeitung befanden sich die neuen österreichischen Klimaprojektionen ÖKS26 noch in Erstellung und standen daher nicht zur Verfügung. Aus diesem Grund wurden die Datensätze entsprechend den Empfehlungen des klimaszenarien.AT Steering Committee (klimaszenarien.AT Steering Committee, 2026) angepasst, um eine methodisch konsistente Nutzung der verfügbaren Klimaprojektionen sicherzustellen. Die Anpassung erfolgte nach dem empfohlenen Weg W2, bei dem eine zeitliche Verschiebung zum aktuellen Klima durchgeführt wurde.

6 Ermittlung Bewässerungsbedarf Methodik

6.1 Berechnung Wasserbedarf sowie Bewässerungsbedarf Grüner Infrastruktur

Die Berechnung des Wasserbedarfs erfolgt anhand der so genannten Landscape Coefficent Method (LCM) (Costello und Jones, 1994; Allen et al., 2020). Diese ist ein Verfahren zur Abschätzung des Bewässerungsbedarfs von Landschafts- und Zierpflanzungen (z. B. Parks, Gärten, Grünflächen). Sie basiert auf dem Konzept, dass der tatsächliche Bewässerungsbedarf (ET_L) einer Grünen Infrastruktur aus der Referenz-Evapotranspiration (ET_0) abgeleitet werden kann, welche die klimatisch bedingte Verdunstung beschreibt. Die LCM nutzt einen Landschaftskoeffizienten (K_L), der die Besonderheiten der Grünen Infrastruktur abbildet (gemischte Pflanzungen, unterschiedliche Pflanzendichten, Mikroklima). Der Bewässerungsbedarf wird über folgende Beziehung berechnet:

$$ET_L = ET_0 \times K_L$$

Der Landschaftskoeffizient K_L ist ein dimensionsloser Anpassungsfaktor der Landscape Coefficient Method, mit dem der Wasserbedarf einer Grünen Infrastruktur aus der Referenzverdunstung abgeleitet wird. Er fasst die wichtigsten Einflussgrößen zusammen, die den tatsächlichen Bewässerungsbedarf bestimmen: den pflanzenspezifischen Wasserbedarf (K_s), die Pflanz- bzw. Bestandsdichte (K_d), sowie das Mikroklima am Standort (K_{mc}). Dadurch kann der Wasserbedarf von gemischten Pflanzungen wissenschaftlich begründet und praxisnah abgeschätzt werden.

$$K_L = K_s \times K_d \times K_{mc}$$

Neben den klimatischen Faktoren, welche die Verdunstung beschreiben, sind weitere Faktoren zu berücksichtigen, um ein gesamtheitliches Bild des Wasserbedarfs für die Bewässerung zu erhalten. Natürlich bedingt trägt der anfallende Niederschlag zur Bewässerung bei und wirkt sich dabei mindernd auf den Bewässerungsbedarf aus. Da nicht jeder Tropfen Regenwasser auch direkt einen Beitrag leistet, kann die Effektivität des Niederschlages (NS)

mitberücksichtigt. Ebenso gibt es für die verschiedenen Bewässerungstechnologien Beiwerte, die die Effektivität repräsentieren. Daraus ergibt sich die allgemeine Beschreibung des Aktuellen Bedarfs ($Q_{aktuell}$) mit:

$$Q_{aktuell} = (ET_L - \mathrm{NS} \times Effektivität) \times Bewässerungseffektivität$$

6.2 Methodik Quartier

6.2.1 Berechnung der vor Ort vorhandenen alternativen Wasserressourcen

Die Berechnung der vor Ort verfügbaren alternativen Wasserressourcen lässt sich in zwei Teile einteilen: (i) Regenwasser und (ii) Abwasser. Diese beiden alternativen Ressourcen eignen sich hauptsächlich für die Anwendung auf Quartiersebene. Bei Abwasser wird dabei vor allem auf die Stoffstromtrennung und die gesonderte Sammlung von Grauwasser gesetzt. Dies entspricht aufbereitetem Abwasserwasser aus Haushaltsaktivitäten (Baden, Wäschewaschen, Geschirrspülen, ohne Toilettenspülung). Die Berechnung erfolgt als Anzahl der Einwohner × tägliche Grauwasserproduktion pro Person (l/Person/Tag).welche mit 60 angenommen wird.

Für die Sammlung von Regenwasser sind zwei Aspekte maßgebend. Zunächst muss Regenwasser von spezifischen Flächen gesammelt werden. Im Weiteren wird dabei meist auf die Sammlung von Dachflächen gesetzt. Der zweite Aspekt beleuchtet die Variabilität im Niederschlagsgeschehen. Um dies zu berücksichtigen werden die täglichen Regendaten aller vorhandenen Jahre (Daten der GeoSphere Austria) an der zu Untersuchenden Lokalität analysiert. Dabei spielt die zeitliche Auflösung eine wichtige Rolle. Für eine grundlegende Übersicht eignen sich monatliche Daten, während für die Speicherbemessung tägliche Daten unumgänglich sind. Das im Projekt entwickelte Model verwertet die täglichen Zeitreihen und bereitet je nach Notwendigkeit tägliche, wöchentliche, monatliche und jährliche Ergebnisse auf.

Ein wichtiger Faktor neben der statistischen Auswertung von Regendaten ist die Erhebung von so genannten Trocken- und Feuchtejahren. Diese Analyse gibt einen Mehrwert, um die Entscheidungsfindung zur Regenwassernutzung sowie zur Speicherdimensionierung zu erhalten. Diese Untersuchung wird anhand des Standardisierten Niederschlags-Evapotranspirations-Index (SPEI) durchgeführt (Beguería et al., 2013). Dies ist ein mehrskaliger Dürreindex, der Trockenheit als klimatische Wasserbilanz beschreibt. Die Grundlage ist dabei die

Annahme, dass Dürre nicht nur durch fehlenden Niederschlag, sondern auch durch eine erhöhte Verdunstung entsteht. Daher werden hier Verdunstung und Niederschlag kombiniert.

Für die Berechnung wird im ersten Schritt die Wasserbilanzdifferenz D_t berechnet. Dies erfolgt anhand eines gewählten Zeitschrittes t, im Regelfall als Monat.

$$D_t = P_t - PET_t$$

wobei PET_t die potenzielle Evapotranspiration und P_t die Niederschlagssumme im Zeitraum t beschreibt. PET_t kann je nach Datenverfügbarkeit z. B. nach Penman–Monteith, Thornthwaite oder Hargreaves berechnet werden. Dies kann bereits Auskunft über einen Wasserüberschuss ($D_t > 0$) bzw. ein Wasserdefizit ($D_t < 0$) geben.

Da Dürren auf unterschiedlichen Zeithorizonten wirken wird D_t über k Zeitschritte zur akkumulierten Wasserbilanz $W_t^{(k)}$ aufsummiert, wobei k das Aggregationsfenster in Monate darstellt. Hier gilt: Wenn $W_t^{(k)} < 0$, dominiert ein Wasserdefizit über k Monate, während $W_t^{(k)} > 0$ ein Wasserüberschuss im selben Zeitraum darstellt.

$$W_t^{(k)} = \sum_{i=0}^{k-1} D_{t-i}$$

Dieses Ergebnis wird statistisch über eine Wahrscheinlichkeitsverteilung modelliert, um die Position eines Wertes im historischen Kontext bestimmen zu können. Dafür kommt eine dreiparametrige Log-Logistische Verteilung zur Anwendung. Die Verteilungsfunktion wird dementsprechend definiert als

$$F(x) = \Pr(W^{(k)} \leq x)$$

Mit x wird ein beliebiger Schwellenwert der akkumulierten Wasserbilanz definiert, womit F (x) als die kumulative Wahrscheinlichkeit (zwischen 0 und 1) berechne wird, dass $W_t^{(k)}$ kleiner oder gleich x ist. Pr(·) ist dabei der Wahrscheinlichkeitsoperator, $W^{(k)}$ eine Zufallsvariable, modelliert durch die angepasste Verteilung aus den empirischen $W_t^{(k)}$ Werten. Für den konkreten Messwert $W_t^{(k)}$ ergibt sich die zugehörige nicht -dimensionale Wahrscheinlichkeit p_t Zeitpunkt t mit

$$p_t = F(W_t^{(k)})$$

Für die Standardisierung und somit der Vergleichbarkeit mit anderen Regenzeitreihen wird die Wahrscheinlichkeit p_t auf eine Standardnormalverteilung transformiert und lieft den SPEI-Wert $SPEI_t^{(k)}$ zum Zeitpunkt t auf der gewählten Zeitskala k.

$$SPEI_t^{(k)} = \Phi^{-1}(p_t)$$

wobei $\Phi^{(-1)}$ (·) das Inverse der kumulativen Standardnormalverteilung (Quantilsfunktion) darstellt. Durch diese Standardisierung gilt:

- SPEI≈0 nahe „normal“
- SPEI<0 trockener als normal (Dürre)
- SPEI>0 feuchter als normal

6.2.2 Speicherberechnung mit und ohne Toilettenspülung

Für die genaue Betrachtung wird im Model anhand von täglichen Daten die Berechnung des benötigten Speichervolumens durchgeführt. Die Berechnung des Speichertanks erfolgt durch Subtraktion des täglichen tatsächlichen Wasserbedarfs der Grünen Infrastruktur von der kumulierten Wasserversorgung, die im Tank gespeichert ist. Der tatsächliche Bedarf wird berechnet als

(ET_L - effective rainfall) × Area / 1000,

wobei die effektive Niederschlagsmenge wie folgt definiert ist:

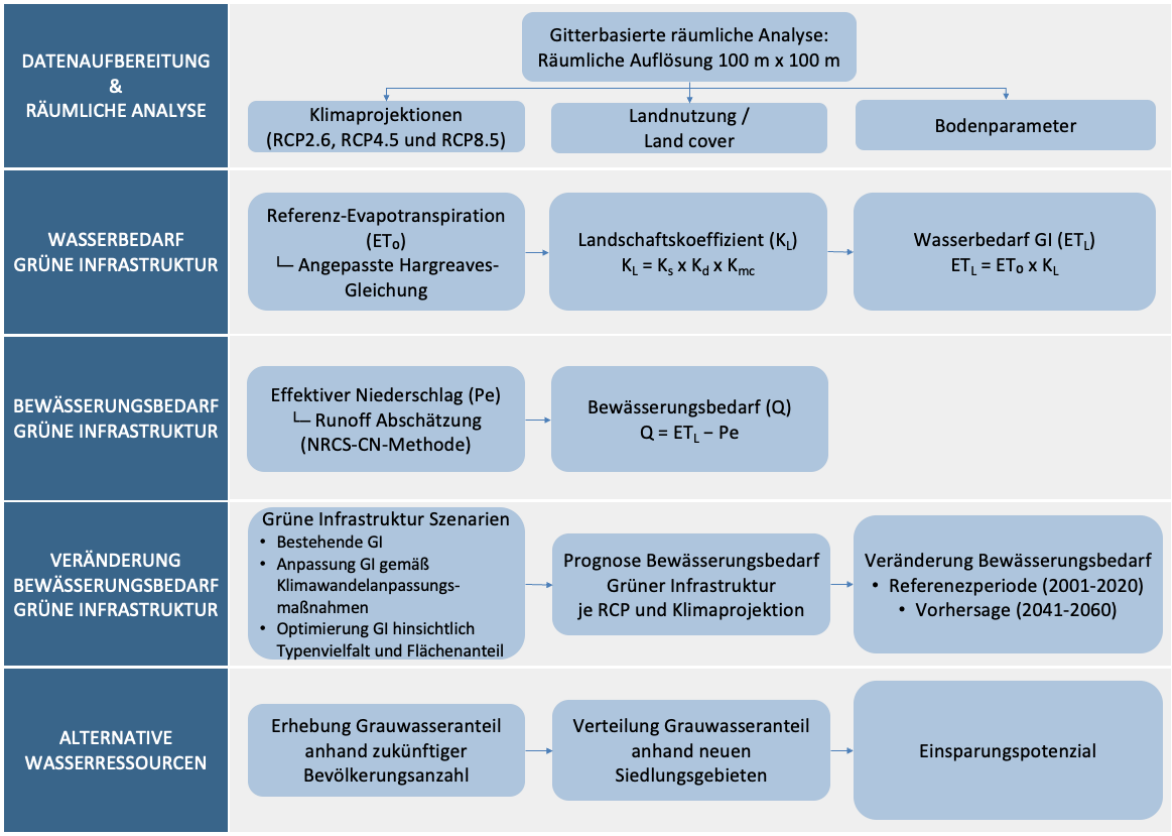
direct rainfall × efficiency (NS_Eff)

6.3 Methodik Regional

Um den zukünftigen Bewässerungsbedarf auf regionaler Ebene abzuschätzen, wurde ein fünfstufiger Prozess entwickelt, der in Abbildung 47 dargestellt ist. Im ersten Schritt erfolgte die im Kapitel 5.2 beschriebene Datenaufbereitung, um eine belastbare Datengrundlage zu schaffen. Im zweiten Schritt wurde der Wasserbedarf der Grünen Infrastruktur ermittelt

(siehe Beschreibung im Kapitel 6.1). Darauf aufbauend wurde im dritten Schritt der Bewässerungsbedarf berechnet. Im vierten Schritt erfolgte die Abschätzung des zukünftigen Bewässerungsbedarfs auf Grundlage der verschiedenen Klimaprojektionen sowie unterschiedlicher Begrünungsszenarien. Abschließend wurde anhand der zukünftigen Bevölkerungsentwicklung der Grauwasseranteil erhoben, welcher als Alternative Wasserressource eingesetzt werden kann und das Einsparungspotenzial aufgezeigt.

Abbildung 47: Flowchart zur Methodik Ermittlung regionaler Bewässerungsbedarf



Die einzelnen Prozessschritte werden in den nachfolgenden Kapiteln detailliert beschrieben.

6.3.1 Ermittlung Regionaler Wasserbedarf GI

Für die Ermittlung des Wasserbedarfs ist die Referenzverdunstung (ET_o) erforderlich. Eine zentrale Eingangsgröße bei der Berechnung der Referenzverdunstung stellt die extraterrestrische Strahlung R_a dar. Da R_a in den verwendeten Klimaprojektionen nicht direkt verfügbar

ist, wird diese Größe auf Grundlage astronomischer Zusammenhänge berechnet. Die Bestimmung der täglichen extraterrestrischen Strahlung erfolgt gemäß den international anerkannten Standards der Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (Allen et al., 1998) und der American Society of Civil Engineers (ASCE) (Technical Committee on Standardization of Reference Evapotranspiration, 2005) anhand der nachfolgenden Gleichung:

$$R_a = \frac{24 \cdot 60}{\pi} \cdot G_{sc} \cdot d_r[\omega_s \sin(\varphi)\sin(\delta) + \cos(\varphi)\cos(\delta)\sin(\omega_s)]$$

Dabei bezeichnet Gsc die Solarkonstante, dr die inverse relative Entfernung zwischen Erde und Sonne, φ den geographischen Breitengrad, δ die Sonnendeklination und ωs den Stundenwinkel zum Zeitpunkt des Sonnenuntergangs. Die Verwendung dieser Formel entspricht den Empfehlungen der FAO-56-Richtlinien (Allen et al., 1998) und ist Standard in evapotranspirationsbasierten Wasserbedarfsanalysen.

Zur Berechnung der Referenzverdunstung ET_o wird die temperaturbasierte Hargreaves-Gleichung verwendet:

$$ET_0 = 0{,}0023 \cdot (T_{mean} + 17{,}8) \cdot \sqrt{T_{max} - T_{min}} \cdot R_a$$

Die anschließende Ermittlung des Landschaftskoeffizienten K_L sowie die Ermittlung des Wasserbedarfs ET_L erfolgt wie in Kapitel 6.1 beschrieben.

6.3.2 Regionaler Bewässerungsbedarf Grüner Infrastruktur

Zur Bestimmung des regionalen Bewässerungsbedarfs ist der effektive Niederschlag notwendig. Hier wurde zur Bestimmung des effektiven Niederschlags die NRCS-Curve-Number-Methode verwendet, die den Anteil des Niederschlags beschreibt, der tatsächlich im Wurzelraum verfügbar ist (NRCS, 2004; Ajmal et al., 2016). Der effektive Niederschlag P_e ergibt sich anschließend aus den folgenden Formeln:

$$P_e = \mathrm{P} - \mathrm{Q}$$

$$Q = \frac{(P - \lambda S)^2}{P + (1 - \lambda)\mathrm{S}}$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

Dabei bezeichnet P den Gesamtniederschlag (mm), P_e den effektiven Niederschlag (mm), Q den Oberflächenabfluss (mm), S das maximale potenzielle Wasserrückhaltevermögen des Bodens (mm), CN den Curve Number-Wert und λ den Anfangsabflussbeiwert, der den Anteil des Wassers beschreibt, der vor dem Einsetzen des Oberflächenabflusses durch Interzeption, Speicherung in Mulden und Infiltration zurückgehalten wird. Die NRCS-CN-Methode ist international etabliert und wird in urbanhydrologischen Studien häufig zur Abschätzung des wirksamen Niederschlags eingesetzt (Cheng et al., 2023; Shojaei et al., 2018).

Das Bewässerungsdefizit bzw. der Bewässerungsbedarf ergibt sich als Differenz zwischen dem vegetationstypabhängigen Wasserbedarf und dem effektiven Niederschlag (Cheng et al., 2023):

$$\mathrm{Q} = ET_L - P_e$$

6.3.3 Veränderung regionaler Bewässerungsbedarf

Zur Bewertung der Auswirkungen des Klimawandels auf den zukünftigen Bewässerungsbedarf werden drei unterschiedliche Entwicklungsszenarien der Grünen Infrastruktur betrachtet. Diese ermöglichen sowohl die Analyse des Status quo als auch die Bewertung verschiedener Anpassungsstrategien hinsichtlich ihres Einflusses auf den Bewässerungsbedarf sowie ihrer klimaökologischen Wirksamkeit.

Im Bestandsszenario wird die bestehende Verteilung der Grünen Infrastruktur unverändert übernommen. Unter Berücksichtigung der zukünftigen Klimaprojektionen wird der Bewässerungsbedarf für die vorhandenen GI-Typen berechnet. Dieses Szenario ermöglicht die Quantifizierung der klimawandelbedingten Veränderungen des Bewässerungsbedarfs und bildet die Referenz für die Bewertung der beiden weiteren Entwicklungsszenarien.

Das zweite Szenario (Planungsszenario) basiert auf den in Kapitel 4 entwickelten Begrünungsszenarien, welche auf den bestehenden Stadtentwicklungs- und Klimawandelanpassungsplänen der jeweiligen Städte aufbauen. Darin werden die vorgesehenen Erweiterungen und Umgestaltungen der Grünen Infrastruktur sowie weitere geplante Maßnahmen zur Klimawandelanpassung berücksichtigt. Die entwickelten Szenarien bilden somit die Grundlage für die Berechnung des zukünftigen Bewässerungsbedarfs unter Berücksichtigung der bereits geplanten städtebaulichen Entwicklungen. Ziel dieses Szenarios ist es, zu bewerten, wie sich die geplanten Anpassungsmaßnahmen auf den zukünftigen Bewässerungsbedarf sowie die Wassernachfrage der Grünen Infrastruktur auswirken.

Das dritte Szenario (Optimierungsszenario) baut auf den in Kapitel 4 entwickelten Begrünungsszenarien auf und entwickelt diese im Hinblick auf ihre klimaökologische Wirksamkeit weiter. Ziel ist eine optimierte Ausstattung mit Grüner Infrastruktur, bei der sowohl die Flächenanteile als auch die Verteilung und Auswahl der GI-Typen gezielt angepasst werden. Dabei wird insbesondere der Anteil klimawirksamer Vegetationsstrukturen erhöht, um die Kühlleistung durch Verschattung und Verdunstung zu maximieren und die Hitzebelastung im urbanen Raum nachhaltig zu reduzieren. Im Gegensatz zum Planungsszenario orientiert sich dieses Szenario nicht ausschließlich an den bestehenden Stadtentwicklungs- und Klimawandelanpassungsplänen, sondern untersucht das Potenzial einer weitergehenden Optimierung der Grünen Infrastruktur. Auf dieser Grundlage wird analysiert, wie sich eine optimierte Ausgestaltung der Grünen Infrastruktur auf den zukünftigen Bewässerungsbedarf sowie die klimaökologische Leistungsfähigkeit der Untersuchungsgebiete auswirkt.

Die Berechnung des Bewässerungsbedarfs erfolgt für alle drei Szenarien iterativ für jedes Rasterelement und jede betrachtete Klimaprojektion. Zunächst wird der Bewässerungsbedarf für den Referenzzeitraum 2001–2020 ermittelt. Anschließend erfolgt die Berechnung des zukünftigen Bewässerungsbedarfs für den Zeitraum 2041–2060. Durch den Vergleich beider Zeiträume können die klimawandelbedingten Veränderungen des Bewässerungsbedarfs rasterweise für die unterschiedlichen Entwicklungsszenarien der Grünen Infrastruktur abgeleitet werden.

Zur Berücksichtigung der Unsicherheiten zukünftiger Klimaentwicklungen werden sämtliche verfügbare Klimaprojektionen sowie alle zugrunde Klimaszenarien (RCPs) in die Berechnungen einbezogen. Die Berechnungen werden daher für jede Kombination aus Entwicklungsszenario der Grünen Infrastruktur, Klimaprojektion und RCP-Szenario durchgeführt.

Auf diese Weise wird die gesamte Bandbreite möglicher zukünftiger Entwicklungen berücksichtigt und eine robuste Bewertung der Auswirkungen des Klimawandels auf den Bewässerungsbedarf ermöglicht.

Ergänzend werden für jede Case Study Auswertungen des gesamten Bewässerungsbedarfs durchgeführt. Die Ergebnisse werden in Form von Boxplots dargestellt, welche die Verteilung der Ergebnisse über alle berücksichtigten Klimaprojektionen und RCP-Szenarien visualisieren. Dadurch können sowohl die Unterschiede zwischen den drei Entwicklungsszenarien als auch die Bandbreiten, Medianwerte und Unsicherheiten der zukünftigen Bewässerungsbedarfe anschaulich dargestellt und miteinander verglichen werden.

Zusätzlich werden rasterbasierte Karten des Bewässerungsbedarfs erstellt, um die räumliche Verteilung des Bewässerungsbedarfs innerhalb der jeweiligen Case Study zu visualisieren. Dadurch können Bereiche mit einem besonders hohen oder niedrigen Bewässerungsbedarf identifiziert und räumliche Hotspots des zukünftigen Wasserbedarfs aufgezeigt werden. Die Karten ermöglichen zudem einen direkten Vergleich der unterschiedlichen Entwicklungsszenarien sowie der verschiedenen Klimaprojektionen und verdeutlichen, in welchen Teilbereichen der Case Studies die größten Veränderungen des Bewässerungsbedarfs infolge des Klimawandels zu erwarten sind.

6.3.4 Alternative Wasserressourcen Regional

Zur Abschätzung der auf regionaler Ebene verfügbaren alternativen Wasserressourcen wurden Grauwasser und Regenwasser als potenzielle Bewässerungsquellen betrachtet. Dabei erfolgt jedoch eine unterschiedliche Berücksichtigung der beiden Wasserressourcen. Während das Grauwasserpotenzial explizit quantifiziert wird, wird Regenwasser auf regionaler Ebene ausschließlich im Hinblick auf das natürliche Bewässerungsangebot der Grünen Infrastruktur berücksichtigt. Eine Berechnung von Regenwasserspeicherpotenzialen auf Basis von Dachflächen, Speichervolumina oder anfallenden Niederschlagsmengen erfolgt auf dieser Maßstabsebene nicht. Stattdessen wird lediglich jenes Niederschlagswasser berücksichtigt, das der Grünen Infrastruktur direkt durch natürliche Niederschläge zur Verfügung steht und somit den Bewässerungsbedarf reduziert.

Zur Ermittlung des Grauwasserpotenzials wird für alle Entwicklungsgebiete angenommen, dass Neubauten mit Grauwassernutzungsanlagen ausgestattet werden und das aufbereitete Grauwasser für Bewässerungszwecke zur Verfügung steht. Die Abschätzung der ver-

fügbaren Grauwassermenge erfolgt auf Grundlage der prognostizierten Bevölkerungsentwicklung gemäß Statistik Austria (ÖROK, 2022) sowie des in Kapitel 6.2.1 beschriebenen Berechnungsansatzes. Auf diese Weise kann das zukünftige Potenzial von Grauwasser als alternative Wasserressource für die Bewässerung der Grünen Infrastruktur in den jeweiligen Entwicklungsgebieten abgeschätzt und dem ermittelten Bewässerungsbedarf gegenübergestellt werden.

7 Ergebnisse Bewässerungsbedarf

In den folgenden Kapiteln werden die Ergebnisse der durchgeführten Analysen vorgestellt. Zunächst werden in Kapitel 7.1 die quartiersbezogenen Ergebnisse präsentiert. Anschließend werden in Kapitel 7.2 die regionalen Ergebnisse dargestellt. Abschließend werden in Kapitel 7.3 die langfristigen Einsparpotenziale und deren Bedeutung für eine nachhaltige Bewässerung urbaner Grüninfrastruktur diskutiert.

7.1 Quartiersbezogene Ergebnisse zum Bewässerungsbedarf und zu alternativen Wasserressourcen

7.1.1 Berechnung Wasserbedarf und alternative Wasserressourcen – Leibnitz

Für die Case Study Leibnitz wird einerseits der Wasserbedarf anhand des Bestands an Grüner Infrastruktur sowie der in der Neuplanung erhöhte Begrünungsanteil berechnet (Tabelle 16). Für die Versorgung wird vor allem Regen- und Grauwasser als alternative Wasserressource berücksichtigt. Zusätzlich wird eruiert, wie sich die zusätzliche Nutzung von gereinigtem Grauwasser für die Toilettenspülung auf die Verfügbarkeit von alternativen Wasserressourcen auswirkt.

Tabelle 16: Grüne Infrastruktur im Bestand und in der Neuplanung für Case Study Leibnitz

Case Study	Category	Subcategory	Grundfläche (m2)
Leibnitz	Baum	Offene, nicht überbaute Pflanzgrube, ohne Unterpflanzung	73
	Hecke	Formhecke	849
	Rasenfläche	Gebrauchsrasenfläche, Blumenrasen	8128
	Rasenfläche	Oberflächenbefestigung mit Fugenbegrünung	293
	Rasenfläche	Zierrasenfläche	2603
Leibnitz Neuplanung	Baum	Offene, nicht überbaute Pflanzgrube, mit Unterpflanzung	3525
	Baum	Offene, überbaute Pflanzgrube, mit bepflanzter Baumscheibe	194
	Baum	Offene, überbaute Pflanzgrube, ohne bepflanzter Baumscheibe	125
	Dachbegrünung	Extensive Dachbegrünung	5639
	Hecke	Formhecke	1213
	Rasenfläche	Gebrauchsrasenfläche, Blumenrasen	16867
	Rasenfläche	Oberflächenbefestigung mit Fugenbegrünung	2399
	Rasenfläche	Strapazierrasenfläche	479
	Rasenfläche	Zierrasenfläche	460
	Staudenfläche	Staudenfläche, Staudenbeete	337

7.1.1.1 Berechnung Wasserbedarf und alternative Wasserressourcen – Leibnitz

Der berechnete monatliche Wasserbedarf für Bewässerung und die Toilettenspülung für ein regenreiches und ein trockenes Jahr sind in Abbildung 48 und Abbildung 49 dargestellt. Beide Abbildungen sind jeweils in einen Ist-Zustand (links, „Leibnitz") und ein Zukunftsszenario (rechts, „Leibnitz_future") unterteilt und stellen vier Größen dar: verfügbares Grau-

wasser (grau), gesammeltes Dachwasser (hellblau), Bewässerungsbedarf der Grünen Infrastruktur (grün) sowie den Bedarf für die Toilettenspülung (orange). Grauwasser stellt in beiden Jahren und in beiden Szenarien die mengenmäßig dominante und zeitlich gleichmäßigste Ressource dar. Es fällt kontinuierlich über das gesamte Jahr an und bildet damit die verlässliche Basis der alternativen Wasserversorgung, unabhängig von der Witterung.

Abbildung 48: Wasserbedarf und alternative Wasserressourcen für das identifizierte regenreiche Jahre (2009) in Leibnitz

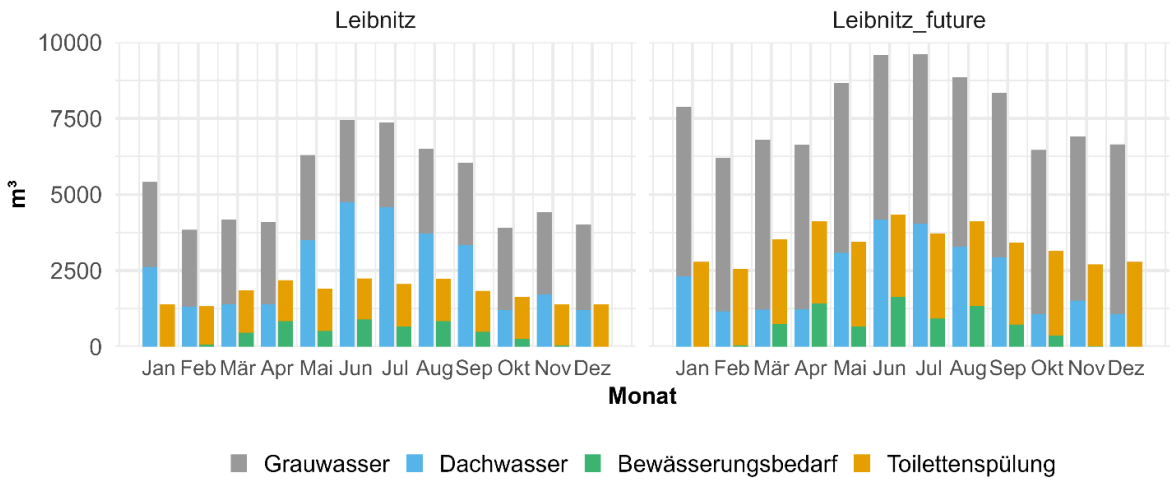
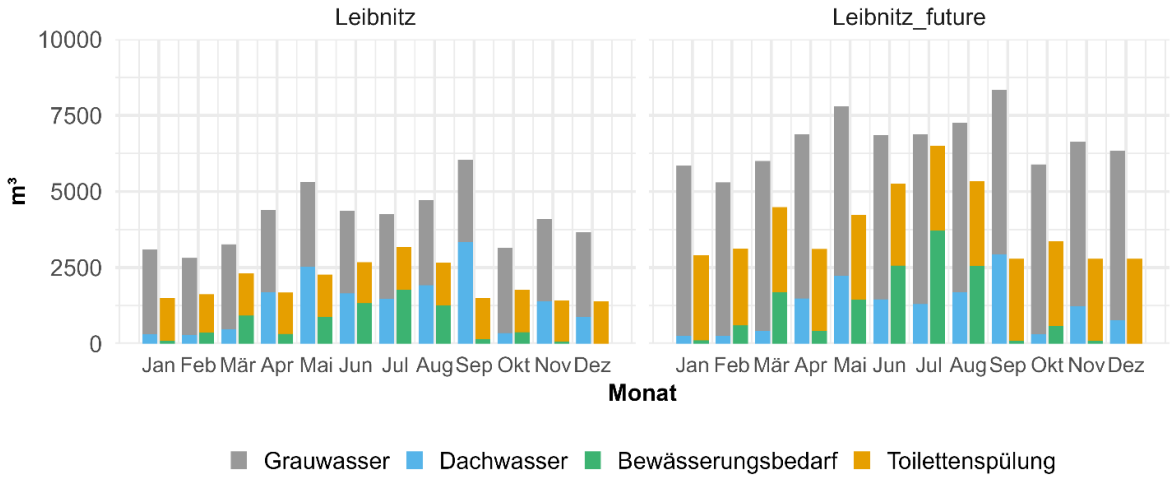


Abbildung 49: Wasserbedarf und alternative Wasserressourcen für das identifizierte trockene Jahre (2022) in Leibnitz



Der deutlichste Unterschied zwischen den beiden Jahren zeigt sich beim Dachwasser: Im regenreichen Jahr 2009 erreicht das Dachwasseraufkommen im Ist-Zustand in den Sommermonaten Spitzenwerte von knapp 5.000 m³ und deckt damit einen erheblichen Anteil des Gesamtbedarfs. Im Trockenjahr 2022 hingegen ist das Dachwasseraufkommen deutlich geringer und kann nur einen ergänzenden Beitrag leisten. Dieser Kontrast verdeutlicht die hohe Abhängigkeit der Regenwassernutzung von der saisonalen Niederschlagsverfügbarkeit und unterstreicht die Notwendigkeit ausreichender Speicherkapazitäten, um Trockenperioden überbrücken zu können.

Der Bewässerungsbedarf konzentriert sich in beiden Jahren auf die Sommermonate Juni bis September und ist im Trockenjahr 2022 erwartungsgemäß höher als im regenreichen Jahr 2009. Im nassen Jahr steht dem erhöhten Dachwasserangebot somit ein geringerer Bewässerungsbedarf gegenüber. Dies führt zu einer günstigeren Kombination, die eine weitgehende Deckung durch alternative Ressourcen ermöglicht. Im Trockenjahr verschärft sich die Situation durch das gleichzeitige Zusammentreffen von erhöhtem Bewässerungsbedarf und reduziertem Dachwasserangebot.

Im Zukunftsszenario (Leibnitz_future) steigen die Gesamtmengen in beiden Jahren deutlich an, was die geplante Erweiterung der Grünen Infrastruktur widerspiegelt. Die Spitzenwerte erreichen im regenreichen Jahr knapp 10.000 m³ und im Trockenjahr rund 8.500 m³. Besonders auffällig ist in beiden Zukunftsszenarien der stark erhöhte Anteil der Toilettenspülung, die im Ist-Zustand eine untergeordnete Rolle spielt, im Zukunftsszenario jedoch zu einer wesentlichen Bedarfskategorie wird. Das Grauwasserangebot wächst im Zukunftsszenario entsprechend mit, da es direkt an die Gebäudenutzung und Einwohnerzahl gekoppelt ist.

Zusammenfassend zeigen die beiden Abbildungen, dass das Grauwasser als witterungsunabhängige Ressource in allen Szenarien eine tragende Rolle spielt, während das Dachwasser stark von der jährlichen Niederschlagssituation abhängt und im Trockenjahr nur begrenzt verfügbar ist. Die Gegenüberstellung der beiden Jahrestypen macht deutlich, dass eine robuste Versorgungsstrategie auf der Kombination beider Ressourcen beruhen sollte, ergänzt durch geeignete Speicherlösungen zur Überbrückung niederschlagsarmer Perioden.

7.1.1.2 Berechnung des benötigten Speichervolumens – Leibnitz

Für die Case Study Leibnitz wurde die erforderliche Speichergröße für ein repräsentatives nasses (2009) und ein repräsentatives trockenes (2022) Jahr ermittelt, jeweils für die Versorgung der Bewässerung allein sowie für die kombinierte Versorgung von Bewässerung und Toilettenspülung.

Im nassen Jahr (Abbildung 50) genügt für die reine Bewässerung ein Speicher von 25 m³, da das Grauwasser und Regenwasser den Bedarf über das Jahr hinweg fast durchgängig decken und der Speicher nur bei einem kurzen Extremereignis Mitte Juni nahezu vollständig entleert wird. Wird zusätzlich die Toilettenspülung über den Speicher versorgt, steigt die erforderliche Größe auf 337 m³. Ursache ist, dass die Toilettenspülung einen ganzjährig nahezu konstanten Grundbedarf darstellt, der auch in niederschlagsarmen Perioden bedient werden muss; dadurch treten deutlich häufiger und länger andauernde Defizitperioden auf (u. a. April, Mai, Juli und August), die durch ein größeres Speichervolumen überbrückt werden müssen.

Im trockenen Jahr (Abbildung 51) verschärft sich dieses Bild deutlich: Die erforderliche Speichergröße steigt für die reine Bewässerung auf 129 m³ und für die kombinierte Versorgung auf 1.178 m³. Anders als im nassen Jahr reicht das natürliche Angebot hier auch für die reine Bewässerung nicht mehr fast durchgängig aus. Der Speicherverlauf zeigt zwischen Mai und August mehrere ausgeprägte Einbrüche bis nahe null, bevor sich der Speicher ab September wieder füllt und bis Jahresende voll bleibt. Die kombinierte Versorgung weist ein noch ausgeprägteres und länger andauerndes Defizit über den gesamten Sommer auf.

Der Vergleich des nassen und trocknen Jahrs zeigt somit zwei Effekte: Erstens steigt die benötigte Speichergröße mit zunehmender Trockenheit für beide Nutzungsszenarien deutlich an (Faktor ~5 bei reiner Bewässerung, Faktor ~3,5 bei kombinierter Nutzung). Zweitens vergrößert die Einbindung der Toilettenspülung den benötigten Speicher in beiden Klimazuständen erheblich (Faktor ~13,5 im nassen bzw. ~9 im trockenen Jahr).

Abbildung 50: Berechnetes Speichervolumen und dessen Tagesverlauf für das identifizierte nasse Jahr 2009, Case Study Leibnitz

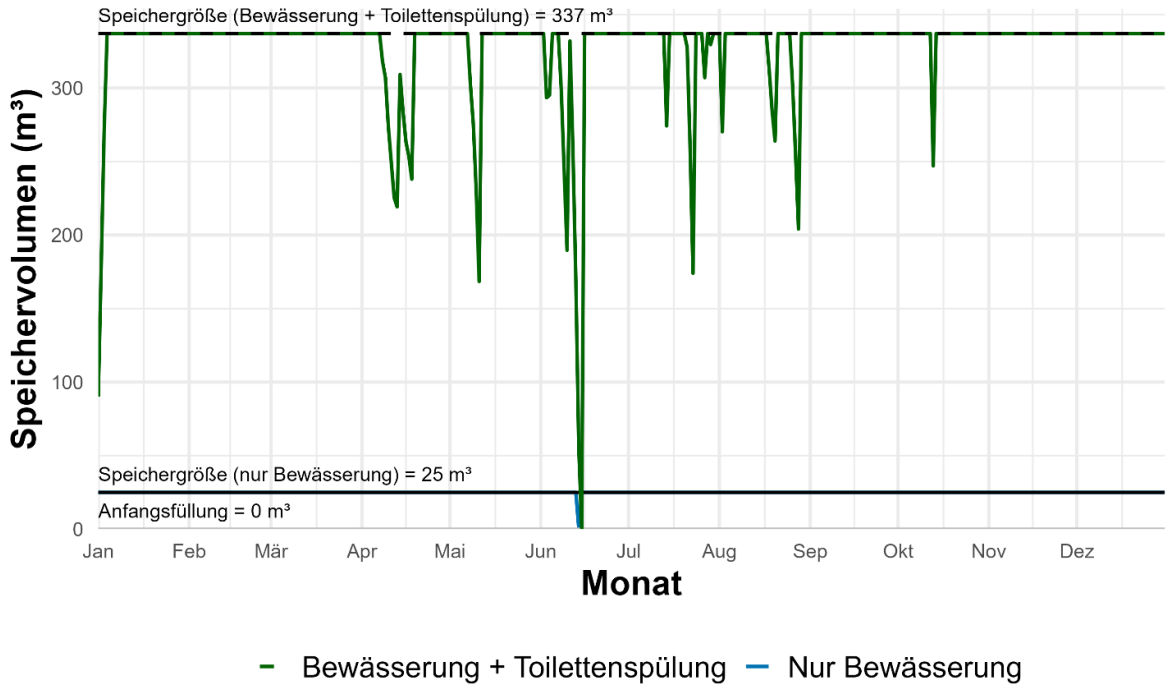
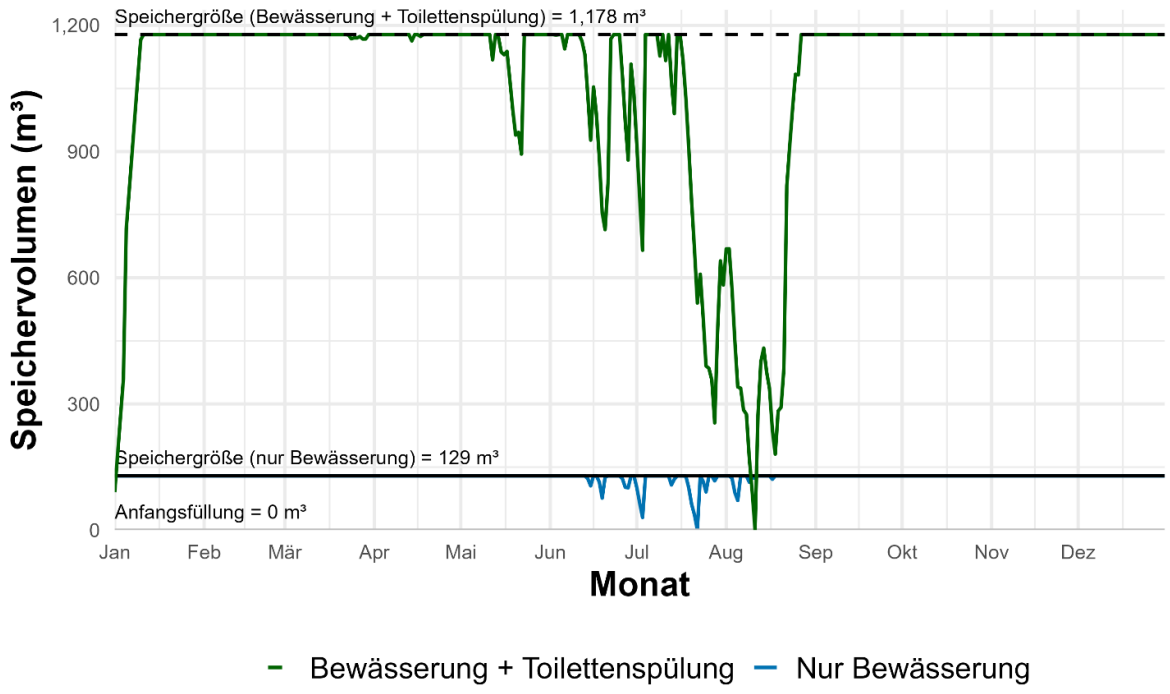


Abbildung 51: Berechnetes Speichervolumen und dessen Tagesverlauf für das identifizierte trockene Jahr 2022, Case Study Leibnitz



7.1.1.3 Einsparung von Trinkwasser – Leibnitz

Um abzuschätzen, wie viel Trinkwasser durch die Nutzung von Grauwasser und Regenwasser in der Case Study Leibnitz eingespart werden kann, wurden neben der optimalen Speichergröße zusätzlich drei kleinere Tankvarianten (75 %, 50 % und 25 % des optimalen Volumens) untersucht. Für jede Variante wurde ausgewertet, wie viele Tage der Speicher vollständig leer ist (Leertage), wie hoch die erzielte Trinkwasserersparnis ausfällt und welche Fehlmenge zusätzlich über Trinkwasser gedeckt werden muss, jeweils für den Bestand (Tabelle 17) und die Neuplanung (Tabelle 18). Bereits eine kleinere Tankvariante ermöglicht einen Großteil der maximal möglichen Einsparung. Im Bestand liefert die Vollvariante (kombinierte Versorgung) im nassen Jahr rund 21.487 m³, im Trockenjahr rund 23.988 m³. Die 50 %-Variante erreicht davon noch 21.312 m³ bzw. 23.670 m³, was einem Verlust von unter 2 % bei nur 8 bzw. 12 Leertagen entspricht. Erst die 25 %-Variante zeigt einen deutlicheren Rückgang (21.047 m³ bzw. 23.188 m³) mit spürbar mehr Leertagen (23 bzw. 27) und Fehlmengen von 440 m³ bzw. 799 m³.

Im Zukunftsszenario liegen die Einsparpotenziale entsprechend höher: 40.719 m³ (nasses Jahr) bzw. 46.687 m³ (Trockenjahr) in der Vollvariante. Auch hier bleibt die 50 %-Variante nahe am Optimum (40.551 m³ bzw. 46.098 m³), während die 25 %-Variante (40.158 m³ bzw. 45.297 m³, Fehlmengen 562 m³ bzw. 1.390 m³) bereits spürbare Einbußen bedeutet. Für die reine Bewässerung fallen die Effekte durchgehend kleiner aus, da hier ohnehin nur geringe Tankgrößen nötig sind (Bestand: 5–23 m³, Zukunft: 25–129 m³); selbst die 25 %-Variante führt hier zu maximalen Fehlmengen von 37 m³ bzw. 216 m³.

Insgesamt bietet die 50 %-Variante in allen Szenarien den besten Kompromiss zwischen Investitionskosten und Trinkwassereinsparung und erreicht meist über 98 % der Vollvariante. Die 25 %-Variante kann als kostenminimierte Option sinnvoll sein, wenn ein moderater Rückgang der Versorgungssicherheit akzeptiert wird.

Tabelle 17: Berechnete Wassereinsparung durch die Nutzung von alternativen Wasserressourcen im Bestand, Case Study Leibnitz

Jahr	Scenario	Optimaler Speicher (%)	Speicher-größe (m³)	Leer-tage	Ersparnis Trink-wasser (m³)	Fehlmenge (m³)
Nasses Jahr 2009	Bestand Bewässerung + WC-Spülung	100%	141	0	21487	0
		75%	106	4	21450	37
		50%	71	8	21312	175
		25%	35	23	21047	440
	Bestand Bewässerung	100%	5	0	5062	0
		75%	4	1	5062	0
		50%	3	2	5059	3
		25%	1	3	5056	7
Trocken-jahr 2022	Bestand Bewässerung + WC-Spülung	100%	346	0	23988	0
		75%	260	6	23882	106
		50%	173	12	23670	317
		25%	87	27	23188	799
	Bestand Bewässerung	100%	23	0	7563	0
		75%	17	2	7554	9
		50%	12	5	7543	20
		25%	6	9	7526	37

Tabelle 18: Berechnete Wassereinsparung durch die Nutzung von alternativen Wasserressourcen in der Neuplanung, Case Study Leibnitz

Jahr	Scenario	Optimaler Speicher (%)	Speichergröße (m³)	Leertage	Ersparnis Trinkwasser (m³)	Fehlmenge (m³)
Nasses Jahr 2009	Zukunft Bewässerung + WC-Spülung	100%	337	0	40719	0
		75%	253	2	40636	84
		50%	169	3	40551	168
		25%	84	13	40158	562
	Zukunft Bewässerung	100%	25	0	7869	0
		75%	19	1	7864	6
		50%	13	1	7857	12
		25%	6	1	7851	18
Trockenjahr 2022	Zukunft Bewässerung + WC-Spülung	100%	1178	0	46687	0
		75%	884	4	46393	294
		50%	589	9	46098	589
		25%	295	21	45297	1390
	Zukunft Bewässerung	100%	129	0	13837	0
		75%	97	2	13803	34
		50%	65	5	13738	99
		25%	32	9	13621	216

7.1.2 Berechnung Wasserbedarf und alternative Wasserressourcen – Wels

Für die Case Study Wels wird einerseits der Wasserbedarf anhand des Bestands an Grüner Infrastruktur sowie der in der Neuplanung erhöhte Begrünungsanteil berechnet (Tabelle 19). Für die Versorgung wird hier Regenwasser als alternative Wasserressource berücksichtigt.

Tabelle 19: Grüne Infrastruktur im Bestand und der Neuplanung für Case Study Wels

Case Study	Category	Subcategory	Grundfläche (m2)
Wels	Baum	Offene, nicht überbaute Pflanzgrube ohne Unterpflanzung	71
	Hecke	Formhecke	30
	Rasenfläche	Gebrauchsrasenfläche, Blumenrasen	6892
Wels future	Baum	Offene, nicht überbaute Pflanzgrube mit Unterpflanzung	2027
	Baum	Offene, nicht überbaute Pflanzgrube ohne Unterpflanzung	273
	Hecke	Formhecke	300
	Rasenfläche	Blumenwiese	1902
	Rasenfläche	Gebrauchsrasenfläche, Blumenrasen	8876
	Rasenfläche	Oberflächenbefestigung mit Fugenbegrünung	5046
	Rasenfläche	Zierrasenfläche	20

Der monatliche Vergleich des Wasserbedarfs und der verfügbaren alternativen Wasserressourcen für das regenreiche Jahr 2016 und das trockene Jahr 2018 sind in Abbildung 52 und Abbildung 53 dargestellt. Beide Abbildungen sind jeweils in einen Ist-Zustand (links, „Wels") und ein Zukunftsszenario (rechts, „Wels_future") unterteilt. Im Unterschied zur Case Study Leibnitz werden hier lediglich zwei Größen dargestellt: das verfügbare Dachwasser (hellblau) und der Bewässerungsbedarf der Grünen Infrastruktur (grün). Grauwasser und Toilettenspülung sind in dieser Case Study nicht berücksichtigt, was auf die spezifische Nutzungsstruktur und die verfügbare Infrastruktur in Wels zurückzuführen ist.

Der Bewässerungsbedarf dominiert in beiden Jahren das Bild und konzentriert sich klar auf die Sommermonate. Im regenreichen Jahr 2016 erreicht er im Ist-Zustand Spitzenwerte von rund 450 m³ (Juli), während er im Trockenjahr 2018 mit bis zu 850 m³ (Juli/August) deutlich höher ausfällt. Dieser Unterschied verdeutlicht, wie stark der Bewässerungsbedarf von der Witterung abhängt. In Trockenjahren steigt er erheblich an, während gleichzeitig weniger Niederschlag für die Dachwassersammlung zur Verfügung steht.

Abbildung 52: Wasserbedarf und alternative Wasserressourcen für das identifizierte regenreiche Jahre (2016) in Wels

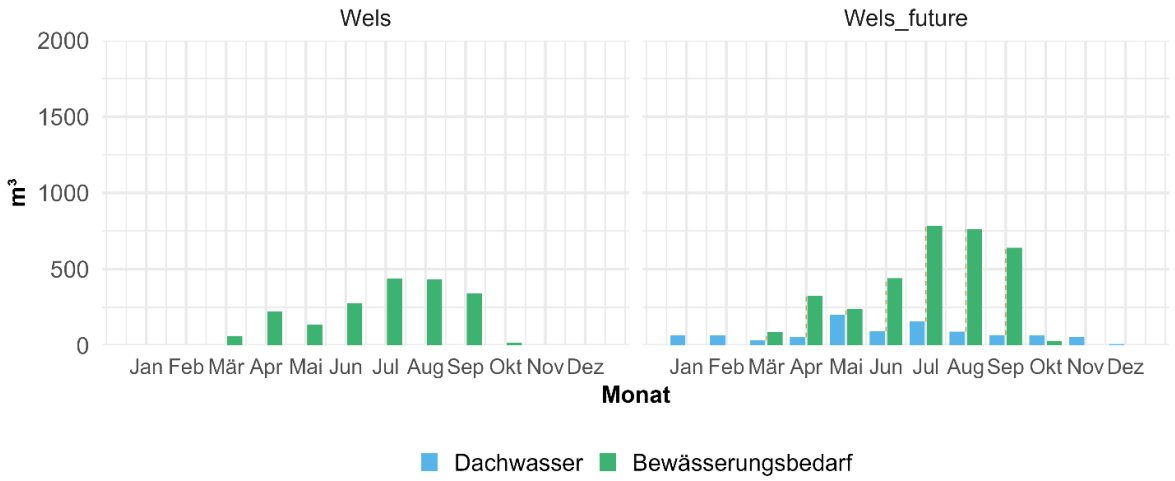
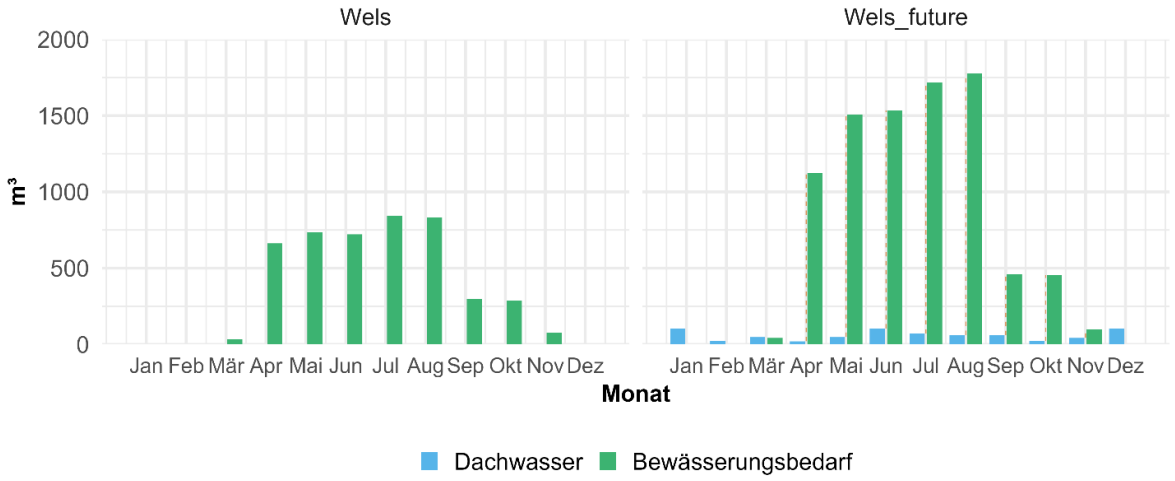


Abbildung 53: Wasserbedarf und alternative Wasserressourcen für das identifizierte trockene Jahre (2018) in Wels



Das Dachwasseraufkommen ist in beiden Jahren und im Ist-Zustand sehr gering und spielt mengenmäßig eine untergeordnete Rolle. Im regenreichen Jahr 2016 sind zwar etwas höhere Dachwassermengen erkennbar, diese bleiben jedoch weit hinter dem Bewässerungsbedarf zurück. Im Trockenjahr 2018 ist das Dachwasserangebot im Ist-Zustand nahezu vernachlässigbar.

Im Zukunftsszenario (Wels_future) steigen die Mengen in beiden Jahren erheblich an, was auf eine deutliche Erweiterung der Grünen Infrastruktur hindeutet. Im regenreichen Jahr 2016 erreicht der Bewässerungsbedarf Spitzenwerte von rund 750–800 m³, im Trockenjahr 2018 sogar bis zu 1.750 m³ in den Sommermonaten Juli bis September. Das Dachwasserangebot nimmt im Zukunftsszenario ebenfalls zu, bleibt aber in beiden Jahren weit hinter dem Bewässerungsbedarf zurück, was auf ein strukturelles Defizit bei der Deckung des Bewässerungsbedarfs allein durch Dachwasser hinweist.

Zusammenfassend zeigen Abbildung 52 und Abbildung 53, dass in der Case Study Wels das Dachwasser als einzige betrachtete alternative Ressource nicht ausreicht, um den Bewässerungsbedarf, insbesondere in Trockenjahren und im Zukunftsszenario, zu decken. Die Ergebnisse unterstreichen den Bedarf an zusätzlichen Wasserressourcen oder ausreichend dimensionierten Speicherlösungen, um die Versorgungslücke in den niederschlagsarmen Sommermonaten zu schließen.

7.1.2.1 Berechnung des benötigten Speichervolumens – Wels

Für die Case Study Wels wurde die erforderliche Speichergröße für ein repräsentatives nasses und ein repräsentatives trockenes Jahr ermittelt. Da es sich beim Lokalbahnplatz um eine öffentliche Freifläche ohne Wohnnutzung handelt, wurde ausschließlich der Bewässerungsbedarf betrachtet.

Im nassen Jahr (Abbildung 54) ergibt sich eine erforderliche Speichergröße von 123 m³. Der Speicher füllt sich kontinuierlich über Jänner und Februar und erreicht bereits im März die volle Kapazität. Mit Beginn der Vegetationsperiode im April fällt das Speichervolumen abrupt auf nahezu null und bleibt bis in den September hinein überwiegend auf niedrigem Niveau, unterbrochen von mehreren kurzen Wiederauffüllungsphasen nach Niederschlagsereignissen. Erst ab Oktober füllt sich der Speicher wieder durchgehend auf und erreicht bis Jahresende erneut die volle Kapazität.

Im trockenen Jahr (Abbildung 55) liegt die erforderliche Speichergröße mit 122 m³ nahezu identisch zum nassen Jahr. Der grundsätzliche Verlauf ähnelt dem des nassen Jahres: rasche Füllung bis Februar, volle Kapazität im März, anschließender scharfer Einbruch im April. Im Unterschied zum nassen Jahr bleibt der Speicher jedoch von April bis Oktober über weite Strecken nahe null und wird nur durch wenige, kurze und vergleichsweise kleine Auffüllpha-

sen unterbrochen (Spitzenwerte um 65 m³ im Juli bzw. 63 m³ im September). Erst im Dezember steigt das Volumen wieder deutlich an und erreicht knapp vor Jahresende die volle Speicherkapazität.

Auffällig ist, dass sich die benötigte Speichergröße zwischen nassem und trockenem Zukunftsjahr in Wels kaum unterscheidet. Der Grund liegt weniger in der Jahressumme des Niederschlags als im saisonalen Muster. In beiden Jahren wird der Speicher bereits im Frühjahr rasch gefüllt, mit Vegetationsbeginn im April jedoch ebenso rasch wieder geleert, und bleibt über den gesamten Sommer hinweg knapp bemessen, unabhängig davon, ob das Jahr insgesamt als nass oder trocken eingestuft wird. Die maßgebliche Speichergröße wird damit primär durch die Überbrückung der ersten sommerlichen Trockenperiode(n) bestimmt und weniger durch die kumulierte Wasserbilanz des gesamten Jahres. Dies ist ein Hinweis darauf, dass am Standort Wels das verfügbare Angebot, vermutlich bedingt durch die vergleichsweise kleine Sammelfläche, den saisonalen Bedarf in beiden Klimazuständen nur knapp deckt.

Abbildung 54: Berechnetes Speichervolumen und dessen Tagesverlauf für das identifizierte nasse Jahr 2016, Case Study Wels

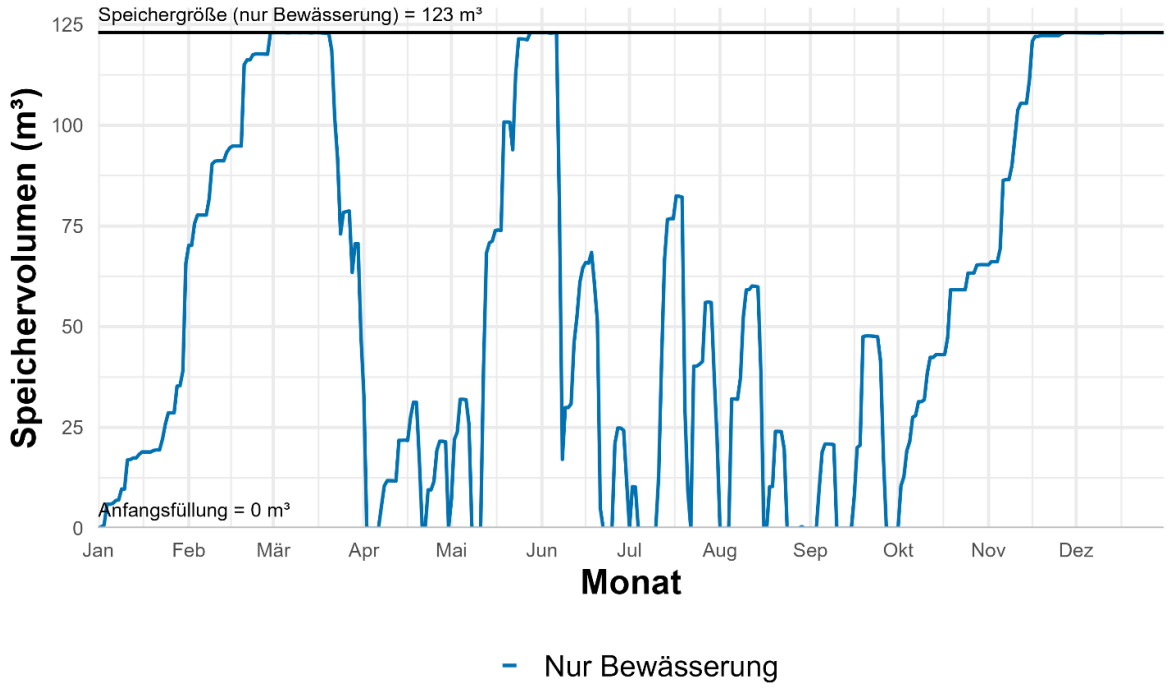
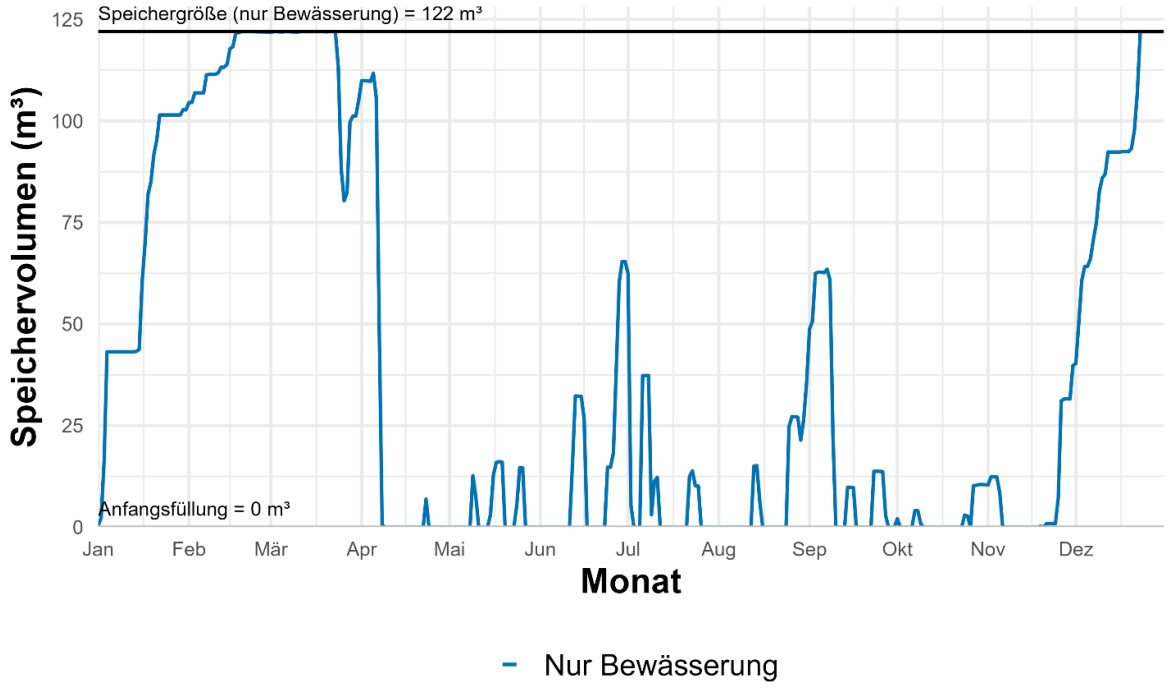


Abbildung 55: Berechnetes Speichervolumen und dessen Tagesverlauf für das identifizierte trockene Jahr 2018, Case Study Wels



7.1.2.2 Einsparung von Trinkwasser – Wels

Für Wels wird die Berechnung des Einsparungspotentials ausschließlich für die Neuplanung durchgeführt, sowohl für das nasse Jahr 2016 als auch für das trockene Jahr 2018; ein Bestandsszenario sowie eine Kombination mit Toilettenspülung liegen hier nicht vor (Tabelle 20). Im Unterschied zu Leibnitz zeigt sich in Wels bereits bei der Vollvariante, dass der Speicher den Bedarf bei Weitem nicht decken kann: Mit 123 m³ (nasses Jahr) bzw. 122 m³ (trockenes Jahr) treten weiterhin 52 bzw. 147 Leertage sowie erhebliche Fehlmengen von 2.556 m³ bzw. 8.176 m³ auf. Die erzielte Trinkwasserersparnis liegt entsprechend niedrig bei 751 m³ im nassen und nur 538 m³ im trockenen Jahr. Grund dafür ist nicht die Tankgröße, sondern das insgesamt begrenzte Dachwasseraufkommen der vergleichsweise kleinen Sammelfläche.

Diese Begrenzung durch das Wasserangebot zeigt sich auch bei den kleineren Varianten: Die 25 %-Variante lässt die Einsparung im nassen Jahr nur von 751 m³ auf 421 m³ sinken (-44%), während die Fehlmenge lediglich von 2.556 m³ auf 2.886 m³ steigt (+13%). Im trockenen Jahr fällt der Unterschied sogar noch geringer aus: Die Einsparung sinkt von 538 m³ auf 369 m³ (-31 %), die Fehlmenge wächst kaum merklich von 8.176 m³ auf 8.345 m³ (+2 %).

Auch die Zahl der Leertage steigt in beiden Jahren nur moderat an (von 52 auf 64 bzw. von 147 auf 154).

Der Variantenvergleich zeigt damit, dass eine kleinere Tankvariante in Wels kaum zusätzliche Nachteile mit sich bringt, da der Nutzen eines größeren Speichers durch das begrenzte Dachwasserangebot ohnehin gedeckelt ist. Selbst die 25 %-Variante bleibt eine vertretbare, deutlich kostengünstigere Option. Eine wirkungsvollere Maßnahme zur Steigerung der Trinkwassereinsparung wäre in Wels daher weniger eine größere Tankvariante als vielmehr eine Erweiterung der verfügbaren Sammelfläche.

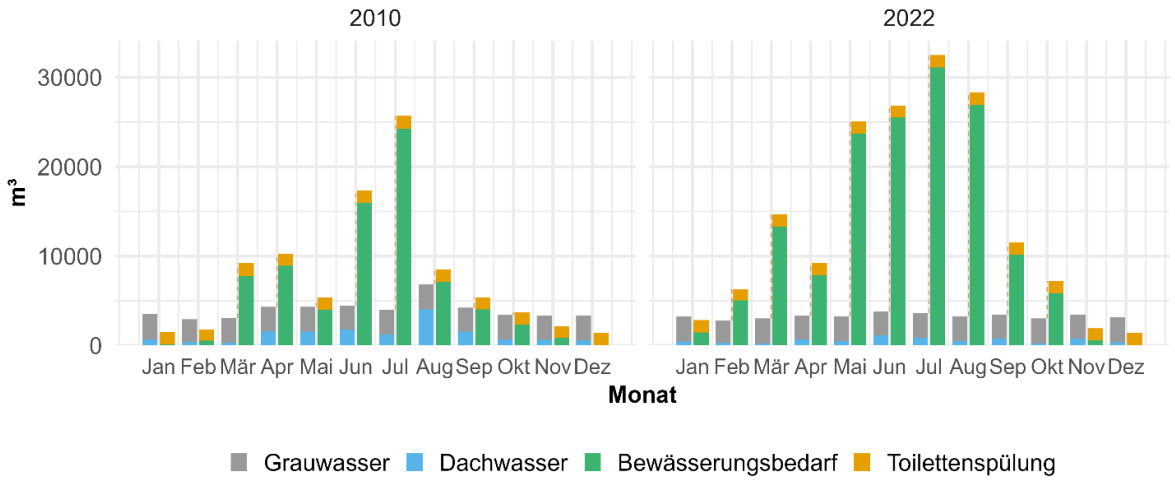
Tabelle 20: Berechnete Wassereinsparung durch die Nutzung von alternativen Wasserressourcen in der Neuplanung, Case Study Wels

Jahr	Scenario	Optimaler Speicher (%)	Speichergröße (m³)	Leertage	Ersparnis Trinkwasser (m³)	Fehlmenge (m³)
Nasses Jahr 2016	Zukunft Bewässerung	100 %	123	52	751	2556
		75 %	92	55	689	2618
		50%	62	58	607	2700
		25 %	31	64	421	2886
Trocken-Jahr 2018	Zukunft Bewässerung	100 %	122	147	538	8176
		75 %	92	148	507	8206
		50%	61	149	470	8244
		25 %	31	154	369	8345

7.1.3 Berechnung Wasserbedarf und alternative Wasserressourcen – Eisenstadt

Die Case Study Eisenstadt wird als Neubau in einem bisher unbebauten Bereich betrachtet. Abbildung 56 zeigt den monatlichen Vergleich des Wasserbedarfs und der verfügbaren alternativen Wasserressourcen für die Case Study Eisenstadt. Da es sich um einen Neubau in einem bisher unbebauten Bereich handelt, wird hier ausschließlich das Szenario der Neuplanung betrachtet. Dargestellt werden zwei Jahrestypen nebeneinander: das regenreiche Jahr 2010 (links) und das trockene Jahr 2022 (rechts). Die Abbildung umfasst vier Größen: verfügbares Grauwasser (grau), gesammeltes Dachwasser (hellblau), den Bewässerungsbedarf der Grünen Infrastruktur (grün) sowie den Bedarf für die Toilettenspülung (orange).

Abbildung 56: Wasserbedarf und alternative Wasserressourcen für das identifizierte trockene Jahr (2022) und regenreiche Jahr (2010) für Eisenstadt



Im Vergleich zu den Case Studies Leibnitz und Wels fallen die absoluten Mengen in Eisenstadt deutlich höher aus. Die monatlichen Gesamtmengen erreichen im regenreichen Jahr 2010 Spitzenwerte von rund 25.000 m³ (Juli) und im Trockenjahr 2022 sogar bis zu 32.000 m³ (Juli), was auf den erheblich größeren Umfang der geplanten Grünen Infrastruktur in diesem Neubaugebiet hindeutet. Die dominierende Größe in beiden Jahren ist der Bewässerungsbedarf (grün), der sich stark auf die Sommermonate konzentriert und den weitaus größten Anteil am Gesamtvolumen ausmacht. Dieser Bedarf ist im Trockenjahr 2022 nochmals deutlich höher als im regenreichen Jahr 2010. Im Juli 2022 werden Werte von über 30.000 m³ erreicht, gegenüber rund 17.000 m³ im Juli 2010. Dieses ausgeprägte saisonale Muster und der starke Unterschied zwischen den beiden Jahrestypen unterstreichen die besondere Herausforderung der Wasserversorgung in Trockenjahren.

Das Grauwasser steht als kontinuierliche Ressource ganzjährig zur Verfügung, macht aber gemessen am Gesamtbedarf nur einen kleinen Anteil aus. Die Toilettenspülung zeigt ebenfalls ein relativ gleichmäßiges Muster über das Jahr, mit leicht erhöhten Werten in den Sommermonaten. Das Dachwasser ist in beiden Jahren nahezu vernachlässigbar gering und leistet praktisch keinen nennenswerten Beitrag zur Bedarfsdeckung.

Zusammenfassend verdeutlicht Abbildung 56, dass in der Case Study Eisenstadt eine erhebliche Versorgungslücke zwischen dem hohen Bewässerungsbedarf, insbesondere in den Sommermonaten des Trockenjahres 2022 und den verfügbaren alternativen Wasserressourcen besteht.

7.1.3.1 Berechnung des benötigten Speichervolumens – Eisenstadt

Für die Case Study Eisenstadt wurde die erforderliche Speichergröße für ein repräsentatives nasses und ein repräsentatives trockenes Jahr ermittelt, jeweils für die reine Bewässerung sowie für die kombinierte Versorgung von Bewässerung und Toilettenspülung.

Im nassen Jahr (Abbildung 57) ergibt sich für die reine Bewässerung eine Speichergröße von 5.796 m³. Der Speicher füllt sich kontinuierlich über Jänner und Februar und erreicht im März nahezu die volle Kapazität. Da der Bewässerungsbedarf in den Wintermonaten praktisch bei null liegt, muss der gesamte winterliche Wasserüberschuss bis zum Beginn der Vegetationsperiode im Speicher zurückgehalten werden. Daraus resultiert die sehr große Speichergröße. Ab April wird der Speicher zunehmend für die Bewässerung entnommen und zeigt bis in den Herbst mehrere Auf- und Abwärtsbewegungen im Bereich zwischen 0 und rund 2.900 m³, bevor er ab Oktober wieder kontinuierlich auf die volle Kapazität ansteigt. Wird zusätzlich die Toilettenspülung über den Speicher versorgt, sinkt die optimale Speichergröße auf etwa die Hälfte des Wertes für die reine Bewässerung. Hier kann nicht mehr Wasser gesammelt werden und es kommt auch zu einer höheren Anzahl an Tagen an denen der Speicher leerläuft.

Im trockenen Zukunftsjahr (Abbildung 58) zeigt sich dasselbe Muster auf niedrigerem Niveau: Für die reine Bewässerung ergibt sich eine Speichergröße von 2.163 m³, für die kombinierte Versorgung nur 841 m³.

Zwei Ergebnisse aus dem Vergleich der vier Szenarien sind hervorzuheben:

Erstens kehrt sich in Eisenstadt der in Leibnitz beobachtete Effekt der Toilettenspülung um: Während in Leibnitz die Einbindung der Spülung den Speicherbedarf vergrößerte, verkleinert sie ihn in Eisenstadt in beiden Klimazuständen deutlich (Faktor ~1,9 im nassen, ~2,6 im trockenen Jahr). Der Grund liegt im unterschiedlichen zeitlichen Zusammenspiel von Angebot und Bedarf: In Eisenstadt fällt das Wasserangebot stark saisonal versetzt zum reinen Bewässerungsbedarf an (Überschuss im Winter, Bedarf im Sommer), sodass ohne einen ganzjährigen Grundverbraucher der gesamte winterliche Überschuss bis zum Sommer gespeichert werden müsste. Ein konstanter Verbraucher wie die Toilettenspülung baut diesen Überschuss bereits im Winter ab und reduziert dadurch die notwendige Speicherkapazität, obwohl die insgesamt entnommene Wassermenge steigt. Dies bestätigt, dass die Wirkung der Toilettenspülung auf die Speichergröße tatsächlich vom Projekt bzw. vom zeitlichen Verhältnis zwischen Angebots- und Bedarfsmuster abhängt und nicht generell in eine Richtung wirkt.

Zweitens verhält sich die Abhängigkeit vom Klimazustand in Eisenstadt gegenläufig zu Leibnitz: Dort erforderte das trockene Jahr die größere Speicherkapazität, in Eisenstadt hingegen benötigt das nasse Jahr in beiden Szenarien den größeren Speicher (5.796 m³ bzw. 3.017 m³ gegenüber 2.163 m³ bzw. 841 m³ im trockenen Jahr). Das erklärt sich dadurch, dass die Speichergröße hier primär durch die Höhe des winterlichen Wasserüberschusses bestimmt wird, der bis zur Vegetationsperiode zurückgehalten werden muss: In einem nassen Jahr fällt dieser Überschuss größer aus als in einem trockenen Jahr, wodurch auch die notwendige Speicherkapazität steigt.

Abbildung 57: Berechnetes Speichervolumen und dessen Tagesverlauf für das identifizierte nasse Jahr 2010, Case Study Eisenstadt

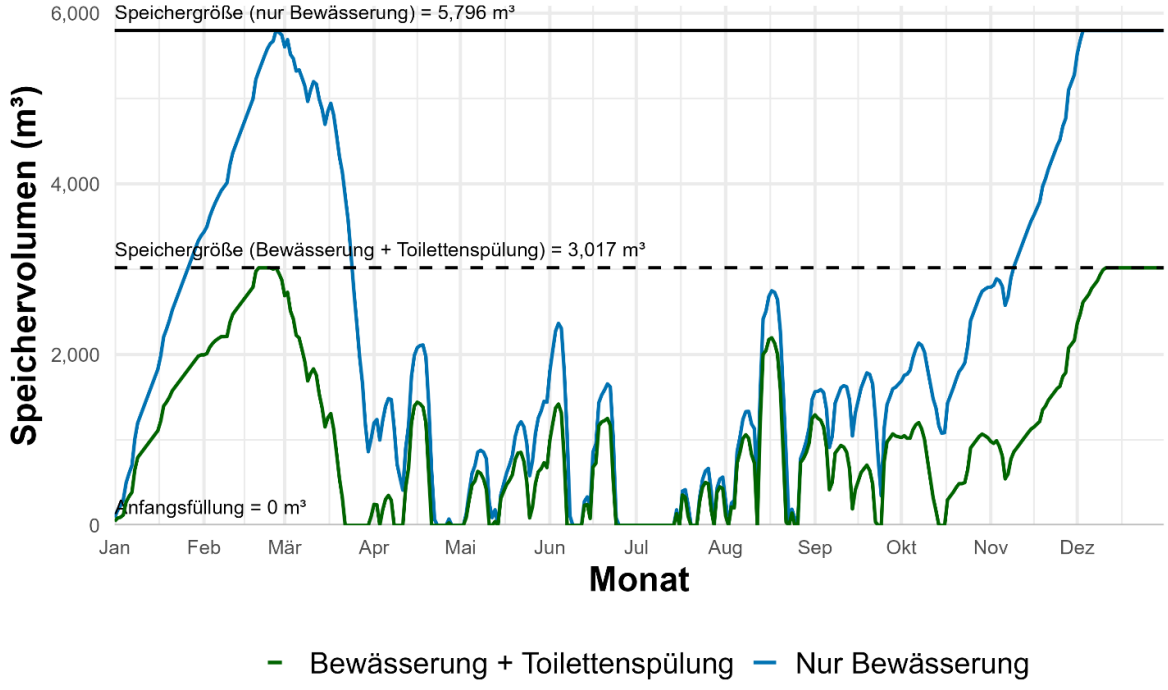
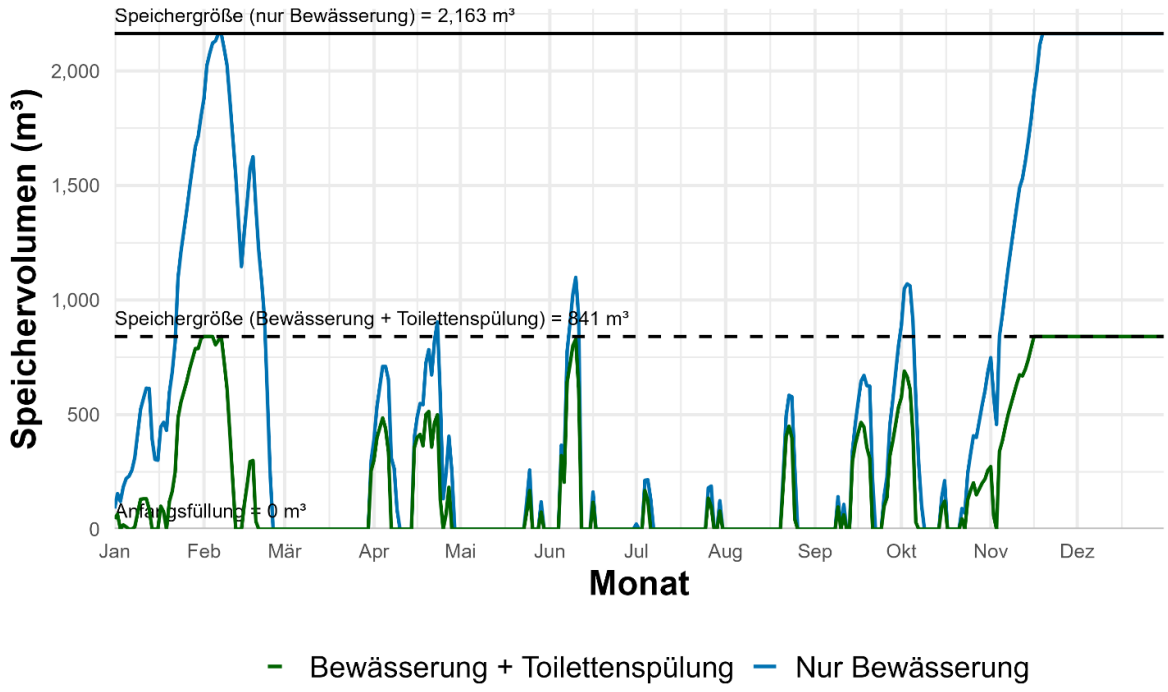


Abbildung 58: Berechnetes Speichervolumen und dessen Tagesverlauf für das identifizierte trockene Jahr 2022, Case Study Eisenstadt



7.1.3.2 Einsparung von Trinkwasser – Eisenstadt

Auch für Eisenstadt wurde untersucht, wie sich unterschiedlich große Tankvarianten auf die erzielbare Trinkwassereinsparung auswirken. Da es sich um einen Neubau in einem bisher unbebauten Bereich handelt, wurde ausschließlich das Zukunftsszenario betrachtet, sowohl für die reine Bewässerung als auch für die kombinierte Versorgung mit Toilettenspülung (Tabelle 21).

Tabelle 21: Berechnete Wassereinsparung durch die Nutzung von alternativen Wasserressourcen in der Neuplanung, Case Study Eisenstadt

Jahr	Scenario	Optimaler Speicher (%)	Speichergröße (m³)	Leertage	Ersparnis Trinkwasser (m³)	Fehlmenge (m³)
Nasses Jahr 2010	Zukunft Bewässerung	100%	5796	41	39136	36794
		75%	4347	48	37687	38243
		50%	2898	52	36238	39692
		25%	1449	61	32113	43817
	Zukunft Bewässerung WC-Spülung	100%	3017	69	43429	48927
		75%	2263	72	42674	49681
		50%	1509	77	41231	51124
		25%	754	91	36557	55798
Trockenjahr 2022	Zukunft Bewässerung WC-Spülung	100%	841	192	35645	132246
		75%	631	195	35178	132714
		50%	421	196	34315	133577
		25%	210	203	32691	135201
	Zukunft Bewässerung	100%	2163	165	32614	118853
		75%	1622	167	32073	119393
		50%	1082	169	31515	119951
		25%	541	177	29197	122270

Im Vergleich zu Leibnitz und Wels fallen die absoluten Einsparpotenziale in Eisenstadt deutlich höher aus, die Fehlmengen jedoch ebenso. Bei reiner Bewässerung erreicht die Vollvariante im nassen Jahr eine Einsparung von 39.136 m³ bei einer Fehlmenge von 36.794 m³, im trockenen Jahr 32.614 m³ Einsparung bei bereits 118.853 m³ Fehlmenge. Bei kombinierter Versorgung mit Toilettenspülung liegt die Einsparung im nassen Jahr bei 43.429 m³ (Fehlmenge 48.927 m³), im trockenen Jahr bei 35.645 m³ (Fehlmenge 132.246 m³). Die hohen Fehlmengen zeigen, dass selbst die optimal dimensionierten Tanks den Bedarf, insbesondere im Trockenjahr, zwar nicht decken können, aber eine Einsparung von ca. der Hälfte im Vergleich zur reinen Trinkwassernutzung ermöglichen.

Bei den kleineren Varianten fällt der Rückgang der Einsparung vergleichsweise moderat aus. Bei reiner Bewässerung sinkt die Einsparung im nassen Jahr von der Voll- zur 25 %-Variante nur von 39.136 m³ auf 32.113 m³ (-18 %), im trockenen Jahr von 32.614 m³ auf 29.197 m³

(-10 %). Bei kombinierter Versorgung zeigt sich ein ähnliches Bild: Im nassen Jahr sinkt die Einsparung von 43.429 m³ auf 36.557 m³ (-16 %), im trockenen Jahr von 35.645 m³ auf 32.691 m³ (-8 %). Die Fehlmengen steigen entsprechend an, bleiben aber angesichts des insgesamt hohen Bedarfs relativ moderat.

Der Variantenvergleich zeigt damit, dass auch in Eisenstadt bereits deutlich kleinere Tankvarianten einen Großteil der möglichen Trinkwassereinsparung sichern, da ähnlich wie in Wels, der insgesamt begrenzte Wasserüberschuss und nicht primär die Tankgröße die erzielbare Einsparung limitiert. Angesichts des sehr hohen Bewässerungsbedarfs, insbesondere im Trockenjahr, dürfte in Eisenstadt aber selbst mit der Vollvariante keine annähernd vollständige Deckung durch alternative Ressourcen erreichbar sein. Eine kleinere, kostengünstigere Tankvariante stellt daher auch hier eine sinnvolle Option dar, ohne die relative Versorgungssicherheit wesentlich zu verschlechtern.

7.1.4 Interpretation der Ergebnisse

Die drei Case Studies unterscheiden sich deutlich hinsichtlich Siedlungstyp, Umfang der Grünen Infrastruktur und berücksichtigter alternativer Wasserressourcen. Dennoch lassen sich aus dem Vergleich mehrere übergreifende Erkenntnisse ableiten.

In Leibnitz und Eisenstadt erweist sich Grauwasser als mengenmäßig verlässlichste Ressource, da es direkt an die Einwohnerzahl gekoppelt ist und ganzjährig nahezu konstant anfällt. Dachwasser ist dagegen in allen drei Case Studies stark witterungsabhängig: In regenreichen Jahren leistet es einen erheblichen Beitrag, bricht in Trockenjahren jedoch deutlich ein. Der Bewässerungsbedarf zeigt überall das erwartete saisonale Muster mit Konzentration auf die Sommermonate und deutlichem Anstieg im Trockenjahr. In den Zukunftsszenarien steigen Bedarf und Ressourcenmengen durchgehend an, und die Toilettenspülung gewinnt merklich an Bedeutung.

Die erforderlichen Speichervolumina unterscheiden sich um mehr als eine Größenordnung: von 25 bis 1.178 m³ in Leibnitz über rund 122 bis 123 m³ in Wels bis zu 841 bis 5.796 m³ in Eisenstadt. Grund ist vor allem der unterschiedliche Umfang der Grünen Infrastruktur. Eisenstadt wird als großflächige Neuplanung auf bislang unbebauter Fläche betrachtet, wodurch Bedarf und Speicherbedarf entsprechend höher ausfallen.

Zwei zentrale, teils gegenläufige Muster fallen auf: Erstens wirkt sich die Einbindung der Toilettenspülung je nach Standort unterschiedlich auf die Speichergröße aus. In Leibnitz

vergrößert sie den Bedarf deutlich (Faktor ~13,5 bzw. ~9), da sie einen ganzjährig konstanten Grundbedarf erzeugt, der auch in Trockenperioden gedeckt werden muss. In Eisenstadt hingegen verkleinert sie ihn (Faktor ~1,9 bzw. ~2,6), weil der winterliche Wasserüberschuss dort sonst ungenutzt bis zum Sommer gespeichert werden müsste. Zweitens verhält sich auch die Klimaabhängigkeit nicht einheitlich. In Leibnitz erfordert das trockene Jahr den größeren Speicher (Faktor ~5 bzw. ~3,5), in Eisenstadt das nasse Jahr (da der winterliche Überschuss dort größer ausfällt), und in Wels unterscheiden sich nasses und trockenes Jahr kaum, da die Speichergröße primär durch die erste sommerliche Trockenperiode bestimmt wird.

Auch die erzielbare Trinkwassereinsparung in Prozent des Gesamtbedarfs unterscheidet sich stark zwischen den Case Studies. In Leibnitz deckt der optimal dimensionierte Speicher den Bedarf nahezu vollständig (Fehlmenge ≈ 0 %, sowohl im Bestand als auch in der Neuplanung). In Eisenstadt liegt der Deckungsgrad trotz großer Speicher deutlich niedriger: rund 47-52 % im nassen und nur rund 21 % im trockenen Jahr, da der sommerliche Bewässerungsbedarf das verfügbare Angebot dort strukturell übersteigt. Am geringsten fällt die Deckung in Wels aus, wo mangels Grauwasser nur Dachwasser zur Verfügung steht: rund 23 % im nassen und lediglich rund 6 % im trockenen Jahr. Dieser Vergleich zeigt, dass eine hohe absolute Speichergröße allein keine hohe Versorgungssicherheit garantiert, entscheidend ist das Verhältnis von Ressourcenangebot zu Bedarf am jeweiligen Standort.

Diese Muster machen deutlich, dass sich die benötigte Speichergröße nicht anhand einfacher Faustregeln abschätzen lässt, sondern vom standortspezifischen Zusammenspiel von Angebot und Bedarf abhängt. Für die Praxis bedeutet dies, dass eine belastbare Dimensionierung eine standortspezifische Tagesbilanzsimulation erfordert

7.2 Regionale Ergebnisse zum Bewässerungsbedarf und zu alternativen Wasserressourcen

Es wurde für die drei Städte Eisenstadt, Leibnitz und Wels der regionale Bewässerungsbedarf erhoben. Zu Beginn der Analysen wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, um zu untersuchen, welche Eingangsparameter den größten Einfluss auf den Bewässerungsbedarf besitzen und welche Wechselwirkungen zwischen den Parametern bestehen. Hierfür wurde eine Sobol-Sensitivitätsanalyse (Saltelli et al., 2008) angewendet. Die globale Sobol-Sensitivitätsanalyse wurde eingesetzt, um den Einfluss der Eingangsparameter auf den Bewässerungsbedarf zu quantifizieren. Dabei beschreibt der First-Order-Index (blau) den direkten

Beitrag eines Parameters zur Ergebnisvarianz, während der Total-Order-Index (grün) zusätzlich alle Wechselwirkungen mit anderen Parametern berücksichtigt (Saltelli et al., 2008). Dadurch können sowohl die wichtigsten Einflussgrößen als auch deren Interaktionen identifiziert werden. Das Ergebnis ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt. Es ist ersichtlich, dass vor allem der Species-Faktor Ks und die Referenz-Evapotranspiration ET_0 die maßgebenden Parameter sind.

Abbildung 59: Ergebnisse Sobol-Sensitivitätsanalyse



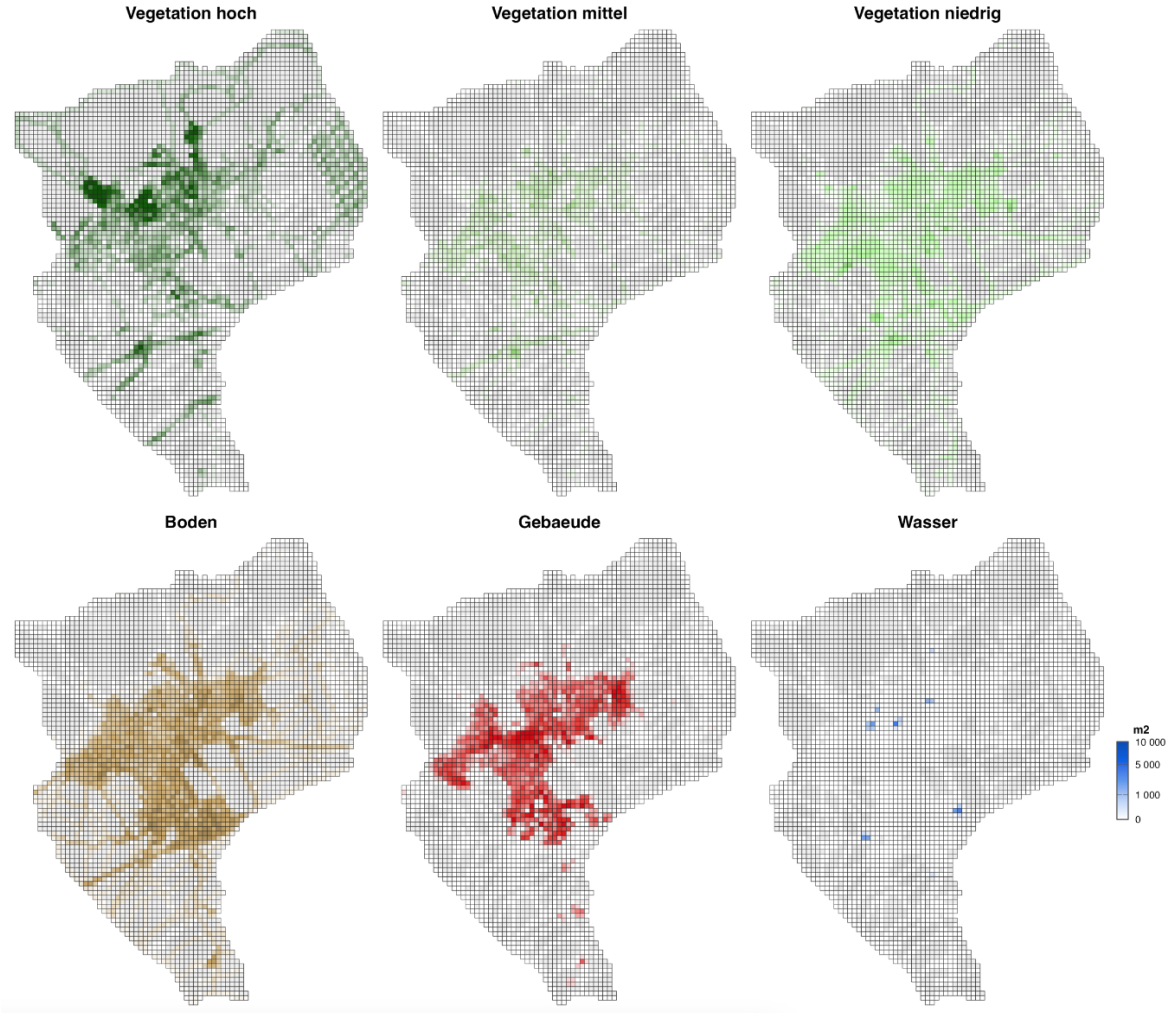
Anschließend wurde für jede Case Study die bestehende Landnutzung ausgewertet und mithilfe von Rasterdarstellungen sowie Torten-Diagrammen analysiert und visualisiert. Die Ergebnisse zur Ermittlung des Bewässerungsbedarfs wurden sowohl rasterbasiert als auch mithilfe von Boxplots dargestellt, um die räumliche Verteilung und die statistische Streuung der Ergebnisse zu veranschaulichen. Im Folgenden werden die Ergebnisse für die einzelnen Case-Study-Städte vorgestellt und miteinander verglichen.

7.2.1 Eisenstadt

Als eine der ersten Auswertungen wurde die Landbedeckung (Land Cover) der Case Studies analysiert. Die nachfolgende Abbildung 60 zeigt die räumliche Verteilung der einzelnen Landbedeckungskategorien. Die Darstellung erfolgt rasterbasiert, wobei für jedes Raster

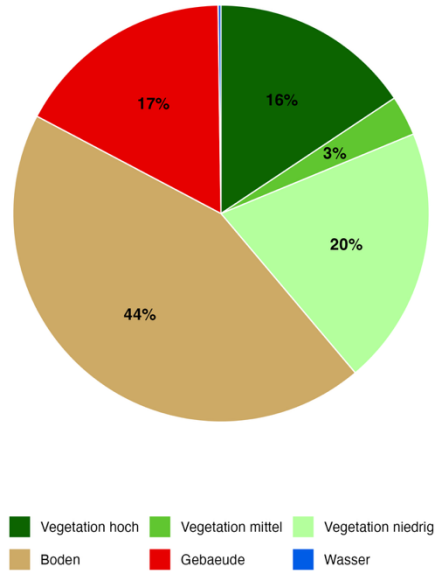
der jeweilige Flächenanteil einer Kategorie ausgewiesen wird. Je dunkler ein Raster dargestellt ist, desto höher ist der Anteil der entsprechenden Landbedeckungskategorie innerhalb dieser Rasterzelle. Die grau dargestellten Raster weisen überwiegend landwirtschaftlich genutzte Flächen oder Waldflächen auf. Diese Bereiche wurden von der weiteren Analyse ausgeschlossen und bei der Ermittlung des Bewässerungsbedarfs nicht berücksichtigt.

Abbildung 60: Landcover Eisenstadt



In Abbildung 61 zeigt die prozentuale Verteilung der Landbedeckung im Untersuchungsgebiet Eisenstadt. Es ist ersichtlich, dass die Kategorie Boden mit rund 44 % den größten Flächenanteil einnimmt. Die Kategorie Vegetation macht mit etwa 39 % den zweitgrößten Anteil aus.

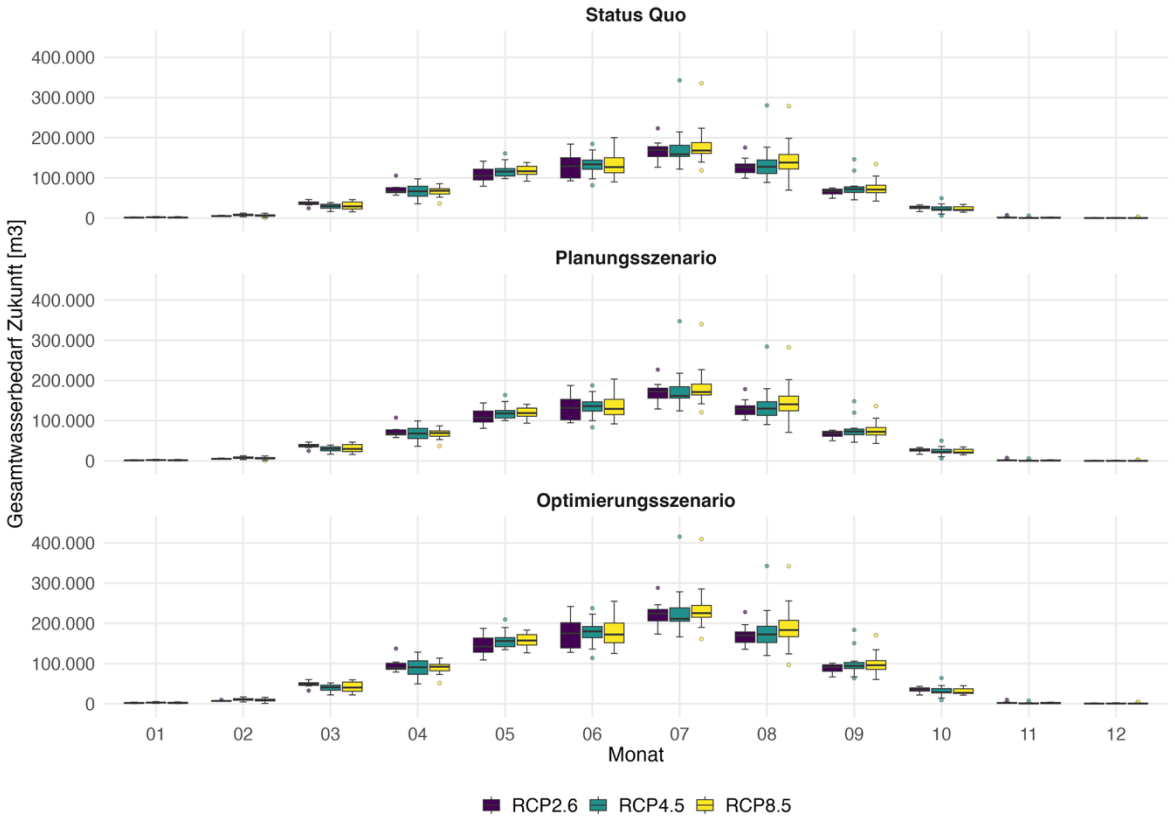
Abbildung 61: Prozentuelle Verteilung Landbedeckung Eisenstadt ohne Wald und landwirtschaftlicher Fläche



Für jedes Begrünungsszenario und jedes RCP-Szenario wurde der gesamte Bewässerungsbedarf für das Untersuchungsgebiet ermittelt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 62 dargestellt. Es ist deutlich erkennbar, dass der Bewässerungsbedarf in allen Szenarien während der Sommermonate stark ansteigt und im Juli sowie August seine höchsten Werte erreicht. Die unterschiedlichen Emissionsszenarien sind farblich dargestellt, wobei Violett das Szenario RCP2.6, Grün das Szenario RCP4.5 und Gelb das Szenario RCP8.5 repräsentiert. Die dargestellten Spannweiten ergeben sich aus den verschiedenen Klimaprojektionen innerhalb des jeweiligen RCP-Szenarios und verdeutlichen die Unsicherheiten der Klimamodellierung. Zwischen den einzelnen RCP-Szenarien sind insbesondere in den Sommermonaten Unterschiede erkennbar. Beispielsweise zeigt sich im Status-quo-Szenario für den Monat August ein deutlich höherer Bewässerungsbedarf unter RCP8.5 als unter RCP2.6, was auf die höheren projizierten Temperaturen und die veränderten Niederschlagsverhältnisse im Hoch-Emissionsszenario zurückzuführen ist. Ein Vergleich der Begrünungsszenarien zeigt, dass sich der gesamte Bewässerungsbedarf zwischen dem Status quo und dem Planungsszenario, welches die vorgesehenen Klimawandelanpassungsmaßnahmen abbildet, nur geringfügig unterscheidet. Dies ist darauf zurückzuführen, dass sich der Gesamtflächenanteil der Grünen Infrastruktur gegenüber dem Bestand nur in begrenztem Ausmaß verändert. Im Planungsszenario wurden die bestehenden Grünflächen um rund 14 % erweitert. Im Optimierungsszenario wurden zusätzlich zu den Maßnahmen des Planungsszenarios bestehende Grünflächen hinsichtlich ihrer GI-Typen optimiert. Dabei wurden Vegetationsflächen mit geringem Kühlpotenzial durch Vegetationsflächen mit höherem Kühlpotenzial ersetzt.

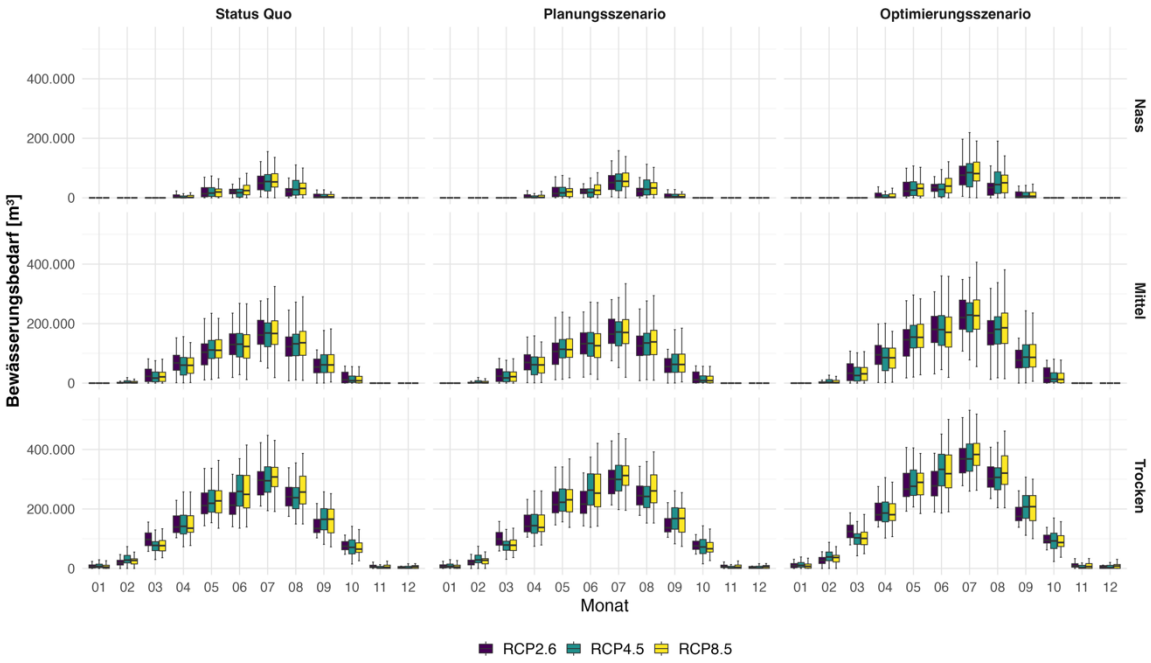
Diese qualitative Aufwertung der Grünen Infrastruktur führt zu einem deutlich höheren Bewässerungsbedarf, da die leistungsfähigeren Vegetationstypen zugleich einen höheren Wasserbedarf aufweisen.

Abbildung 62: Zukünftiger monatlicher Gesamtbewässerungsbedarf je Begrünungsszenario und RCP in Eisenstadt



Da die Klimaprojektionen unterschiedliche mögliche Entwicklungen der zukünftigen klimatischen Bedingungen abbilden, wurde der Bewässerungsbedarf zusätzlich für nasse, mittlere und trockene Jahre ausgewertet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 63 dargestellt. Es zeigt sich deutlich, dass der Bewässerungsbedarf in nassen Jahren wesentlich geringer ausfällt als in mittleren oder trockenen Jahren. Gleichzeitig weisen die Ergebnisse für nasse Jahre eine deutlich geringere Spannweite auf, was auf eine geringere Variabilität der klimatischen Randbedingungen zurückzuführen ist. Für trockene Jahre hingegen wird ein deutlich höherer Bewässerungsbedarf prognostiziert.

Abbildung 63: Vergleich des Bewässerungsbedarfs Eisenstadt für nasse, mittlere und trockene Jahre



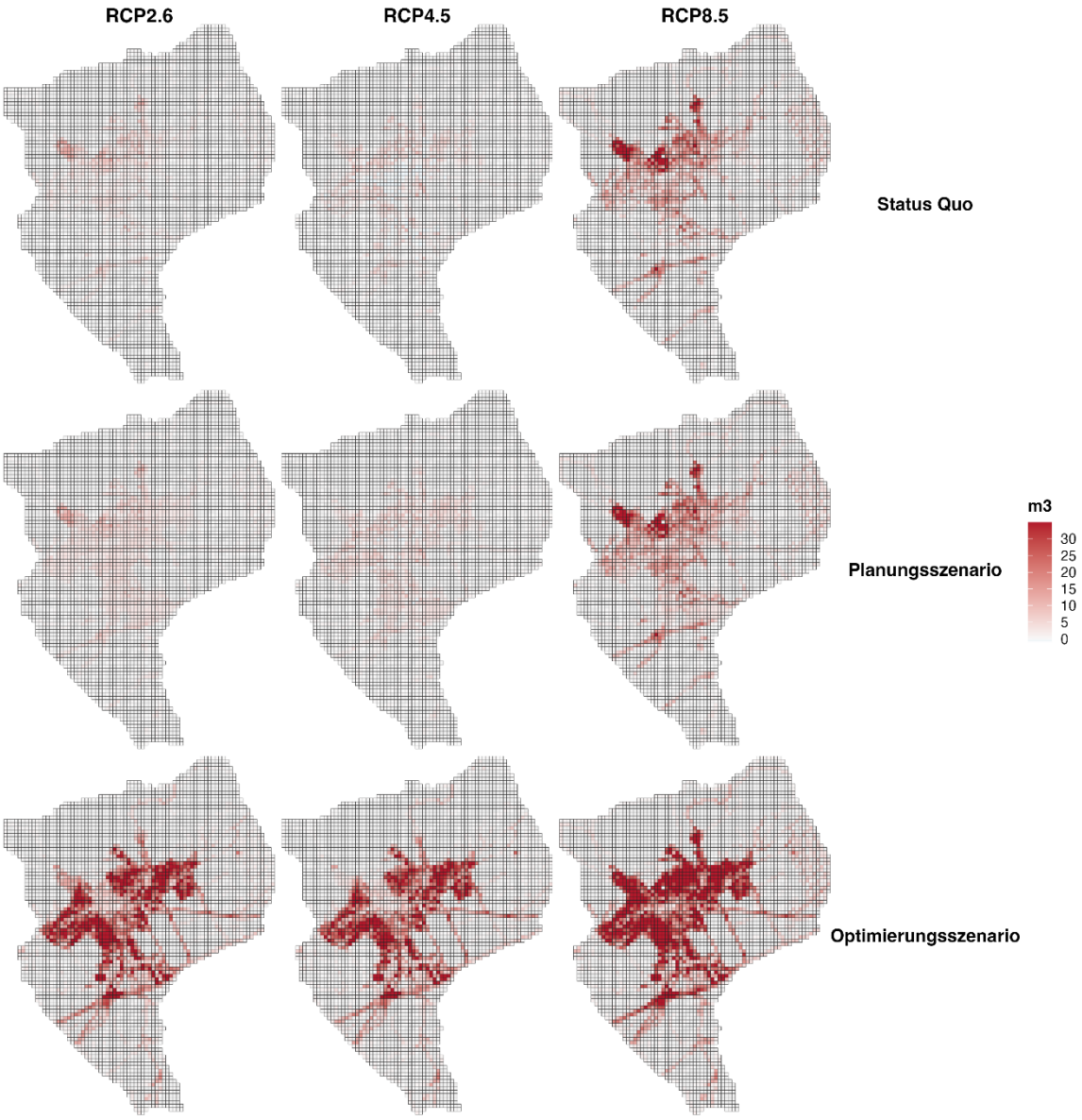
Um die räumliche Verteilung des Bewässerungsbedarfs analysieren zu können, wurden die Ergebnisse zusätzlich rasterbasiert dargestellt. Abbildung 64 zeigt die räumliche Verteilung des Bewässerungsbedarfs im Juli für das Klimaszenario RCP4.5. Die linke Darstellung bildet den Bewässerungsbedarf im Status quo ab. In der mittleren Darstellung ist der zusätzliche Bewässerungsbedarf dargestellt, der sich durch die Umsetzung der im Planungsszenario vorgesehenen Maßnahmen ergibt. Dieser Mehrbedarf entsteht durch die Erweiterung der Grünen Infrastruktur und den damit verbundenen zusätzlichen Wasserbedarf. Die rechte Darstellung zeigt den zusätzlichen Bewässerungsbedarf des Optimierungsszenarios gegenüber dem Planungsszenario. Dieser fällt deutlich höher aus, da neben der Erweiterung der Grünen Infrastruktur auch eine qualitative Aufwertung bestehender Vegetationsflächen erfolgt. Insbesondere die Umwandlung von Vegetationsflächen mit geringerem Kühlpotenzial in leistungsfähigere GI-Typen führt zu einem höheren Bewässerungsbedarf, gleichzeitig jedoch auch zu einer verbesserten klimatischen Wirksamkeit der Grünen Infrastruktur.

Abbildung 64: Räumliche Darstellung des Bewässerungsbedarfs im Juli für das Klimaszenario RCP4.5. Links: Bewässerungsbedarf im Status quo. Mitte: zusätzlicher Bewässerungsbedarf infolge der vorgesehenen Maßnahmen des Planungsszenarios gegenüber dem Status quo. Rechts: zusätzlicher Bewässerungsbedarf infolge der Optimierungsmaßnahmen des Optimierungsszenarios gegenüber dem Status quo.



Abbildung 65 zeigt beispielhaft für den Monat September die Veränderung des medianen Bewässerungsbedarfs je Rasterzelle zwischen der Referenzperiode (2001–2020) und der Zukunftsperiode (2041–2060). Für das Status-quo-Szenario, sind die Auswirkungen des Klimawandels auf den Bewässerungsbedarf sichtbar. Es ist eine Zunahme des Bewässerungsbedarfs zwischen der Referenz- und der Zukunftsperiode für das RRCP8.5 erkennbar. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass der Klimawandel bereits ohne Änderungen der Landnutzung oder der Grünen Infrastruktur zu einem erhöhten Bewässerungsbedarf führt und sich dieser Effekt insbesondere unter dem Hoch-Emissionsszenario weiter verstärkt.

Abbildung 65: Beispielhafte Darstellung Veränderung des Bewässerungsbedarf je Begrünungsszenario und RCP im September



Zusätzlich wurde das zukünftige Potenzial der Grauwassernutzung zur Bewässerung untersucht. Dabei wurde, wie in Kapitel 3.1 beschrieben, ein Ansatz gewählt, bei dem das Grauwasseraufkommen der prognostizierten zukünftigen Bevölkerung als potenzielle Wasserquelle für die Bewässerung herangezogen wird. Für Eisenstadt wird ein Bevölkerungswachstum von rund 17 % prognostiziert (ÖROK, 2022). Unter der Annahme eines Grauwasseranfalls von etwa 60 Litern pro Person und Tag ergibt sich daraus ein jährliches Grauwasserpotenzial von rund 30.500 m³. Ein Vergleich dieses Potenzials mit dem ermittelten Bewässerungsbedarf (Abbildung 62) zeigt, dass das künftig anfallende Grauwasser allein aus der

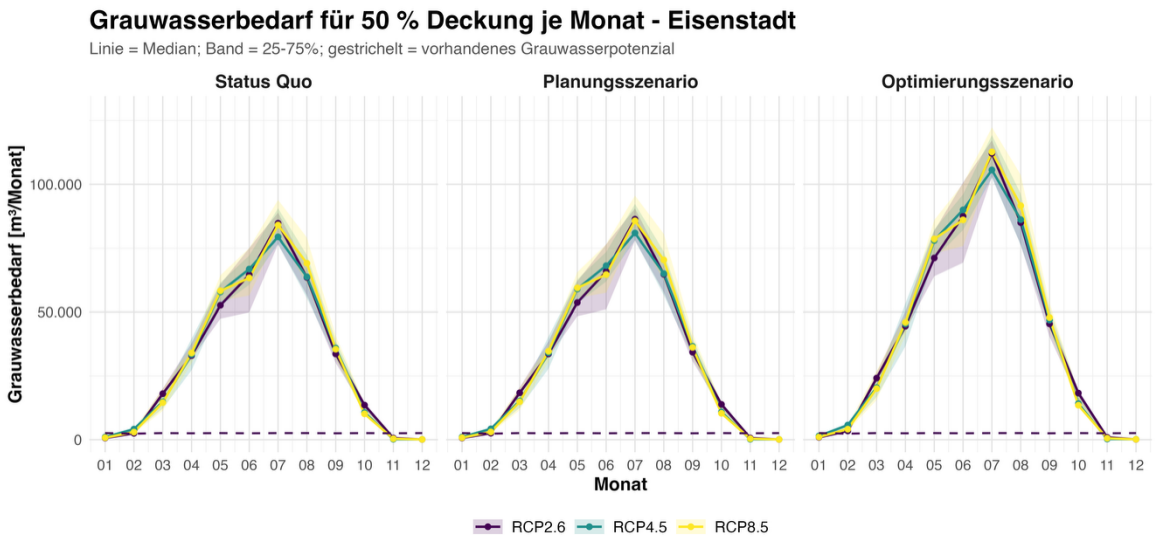
wachsenden Bevölkerung nicht ausreicht, um den Bewässerungsbedarf des gesamten Untersuchungsgebiets zu decken. Insbesondere in den Sommermonaten übersteigt der Wasserbedarf das verfügbare Grauwasserpotenzial deutlich. Um den verbleibenden Wasserbedarf zu quantifizieren, sind in Tabelle 22 für jedes Begrünungsszenario die Versorgungslücken zur Deckung von 50 % des Bewässerungsbedarfs im Zeitraum April bis Oktober dargestellt. Zusätzlich wird die erforderliche Anzahl an Einwohnern ausgewiesen, deren Grauwasseraufkommen notwendig wäre, um diese Wassermenge bereitzustellen.

Tabelle 22: Versorgungslücken zur Deckung 50 % des Bewässerungsbedarfs in Eisenstadt

Stadt	Szenario	Faktor für 50 % Deckung	Zusätzliche Lücke [m³]	Zusätzliche Personen
Eisenstadt	Status Quo	19,2-20,1	324.400-341.600	25.300-26.600
Eisenstadt	Planungsszenario	19,6-20,5	331.100-348.800	25.800-27.200
Eisenstadt	Optimierungsszenario	25,7-27,2	441.200-467.000	34.400-36.400

Abbildung 66 zeigt den erforderlichen Grauwasserbedarf zur Deckung von 50 % des Bewässerungsbedarfs für die einzelnen Monate und RCP-Szenarien. Dabei ist RCP2.6 in Violett, RCP4.5 in Grün und RCP8.5 in Gelb dargestellt. Die gestrichelte Linie kennzeichnet das künftig verfügbare Grauwasserpotenzial, das sich auf Grundlage des prognostizierten Bevölkerungswachstums ergibt. In den Sommermonaten, insbesondere von Juni bis August, übersteigt der erforderliche Grauwasserbedarf das verfügbare Potenzial jedoch deutlich.

Abbildung 66: Grauwasserbedarf für 50% Deckung je Monat in Eisenstadt



7.2.2 Leibnitz

Die nachfolgende Abbildung 67 zeigt die rasterbasierte räumliche Verteilung der einzelnen Landbedeckungskategorien in Leibnitz. Für jede Rasterzelle wird der Flächenanteil der jeweiligen Landbedeckungskategorie dargestellt. Je dunkler eine Rasterzelle eingefärbt ist, desto höher ist der Anteil der entsprechenden Landbedeckungskategorie innerhalb dieser Zelle. Die grau dargestellten Rasterzellen repräsentieren überwiegend landwirtschaftlich genutzte Flächen sowie Waldflächen. Diese Bereiche wurden von den weiteren Analysen sowie der Ermittlung des Bewässerungsbedarfs ausgeschlossen.

Abbildung 67: Landcover Leibnitz

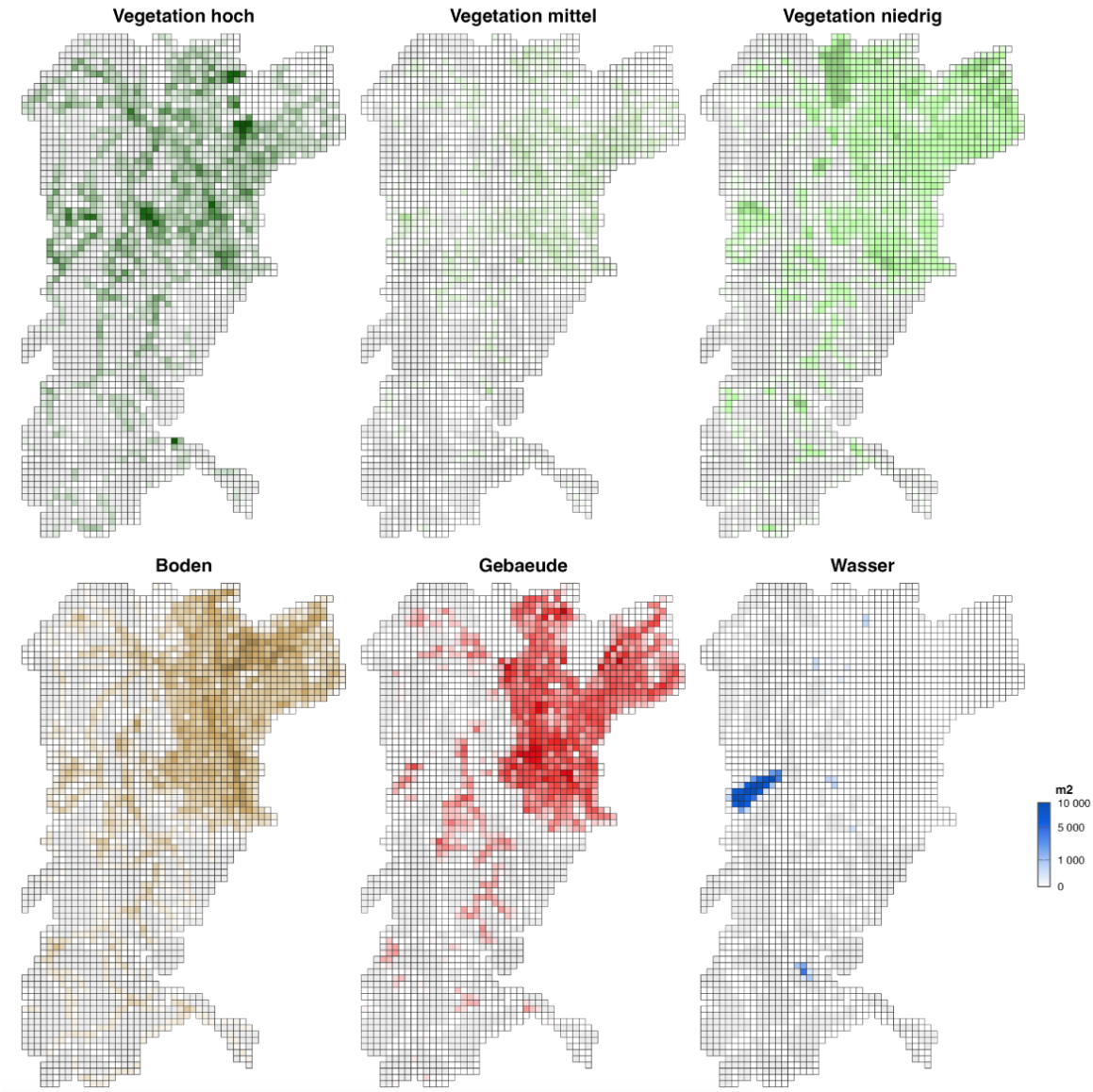
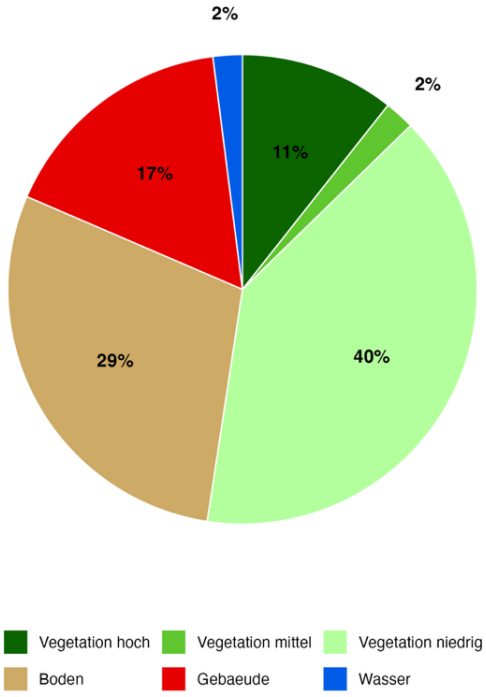


Abbildung 68 zeigt die prozentuale Verteilung der aktuellen Landbedeckung in Leibnitz. Den größten Flächenanteil nehmen Vegetationsflächen mit rund 53 % ein. An zweiter Stelle folgt die Bodenkategorie mit einem Anteil von rund 29 %. Die verbleibenden Flächen verteilen sich auf Gebäude und die Kategorie Wasser.

Abbildung 68: Prozentuelle Verteilung Landbedeckung Leibnitz



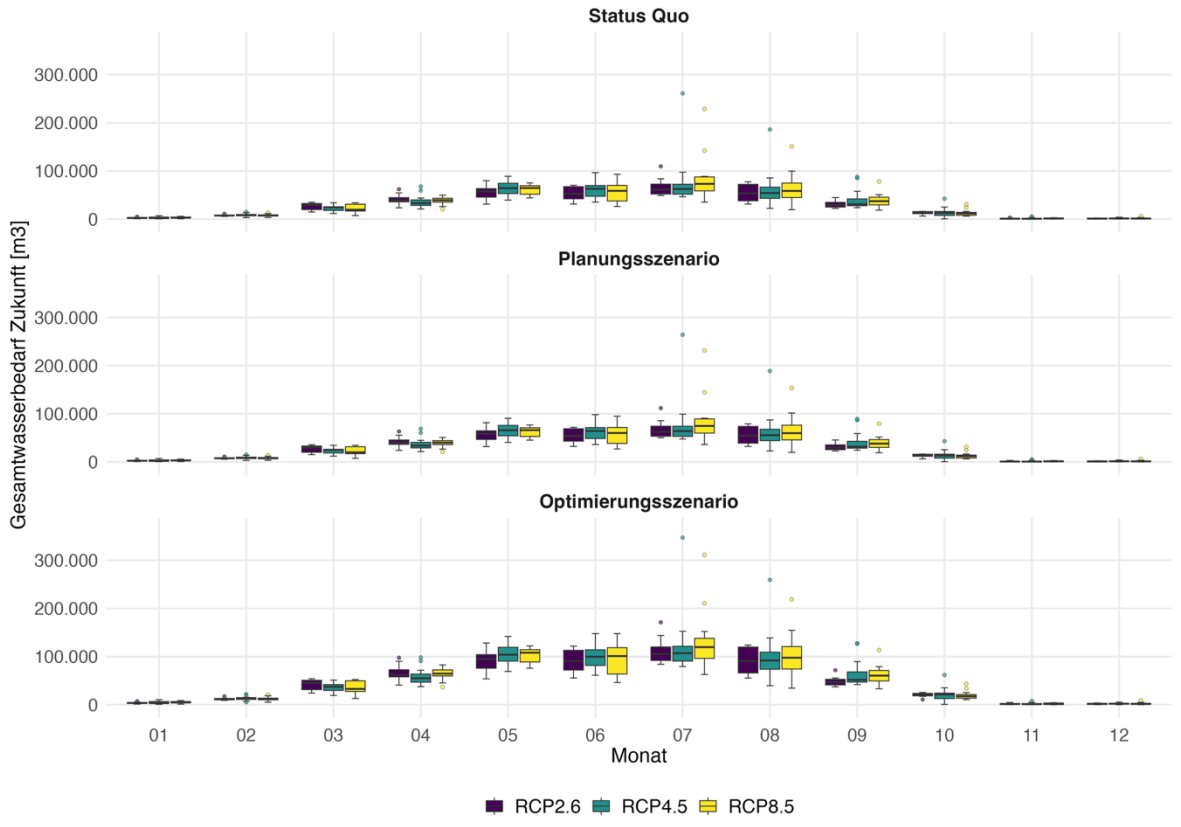
Für alle Begrünungsszenarien wurde der monatliche Bewässerungsbedarf unter den Klimaszenarien RCP2.6, RCP4.5 und RCP8.5 ermittelt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 69 dargestellt. Unabhängig vom betrachteten Begrünungsszenario zeigt sich ein deutlicher saisonaler Verlauf des Bewässerungsbedarfs. Während in den Wintermonaten kaum Bewässerungsmengen erforderlich sind, steigt der Wasserbedarf ab dem Frühjahr kontinuierlich an und erreicht in den Monaten Juli und August seine höchsten Werte.

Die unterschiedlichen Emissionsszenarien sind farblich gekennzeichnet, wobei Violett für RCP2.6, Grün für RCP4.5 und Gelb für RCP8.5 steht. Die Spannweiten innerhalb der einzelnen Szenarien ergeben sich aus den verschiedenen zugrunde liegenden Klimaprojektionen und verdeutlichen die Unsicherheiten der zukünftigen klimatischen Entwicklung. Insbesondere während der Sommermonate werden deutliche Unterschiede zwischen den Emissionsszenarien sichtbar. So weist beispielsweise das Status-quo-Szenario im Juli unter RCP8.5 einen deutlich höheren Bewässerungsbedarf auf als unter RCP2.6.

Der Vergleich der drei Begrünungsszenarien zeigt, dass sich der Gesamtbewässerungsbedarf zwischen dem Status quo und dem Planungsszenario nur geringfügig unterscheidet. Dies ist darauf zurückzuführen, dass sich der Gesamtanteil der Grünen Infrastruktur gegenüber dem Bestand lediglich in begrenztem Umfang verändert. Im Planungsszenario wurden

die bestehenden Grünflächen um rund 13 % erweitert, wodurch sich der zusätzliche Bewässerungsbedarf auf die neu geschaffenen Flächen beschränkt. Im Optimierungsszenario steigt der Bewässerungsbedarf hingegen deutlich an. Zusätzlich zur Erweiterung der Grünen Infrastruktur wurden bestehende Vegetationsflächen hinsichtlich ihrer GI-Typen aufgewertet, indem Flächen mit geringerem Kühlpotenzial durch Vegetationstypen mit höherer klimatischer Wirksamkeit ersetzt wurden. Diese qualitative Optimierung erhöht zwar den Wasserbedarf der Grünflächen, verbessert gleichzeitig jedoch deren Kühlleistung und damit den Beitrag zur Klimawandelanpassung.

Abbildung 69: Zukünftiger monatlicher Gesamtbewässerungsbedarf je Begrünungsszenario und RCP in Leibnitz



Die Auswertung (Abbildung 70) für nasse, mittlere und trockene Jahre zeigt, dass der Bewässerungsbedarf mit zunehmender Trockenheit deutlich ansteigt. Während in nassen Jahren vergleichsweise kaum Bewässerungsmengen erforderlich sind, weisen trockene Jahre den höchsten Wasserbedarf auf. Gleichzeitig nimmt die Bandbreite der Ergebnisse zu, wodurch die größere Unsicherheit zukünftiger klimatischer Entwicklungen insbesondere für Trockenjahre sichtbar wird.

Abbildung 70: Vergleich Bewässerungsbedarf Leibnitz für nasse, mittlere und trockene Jahre

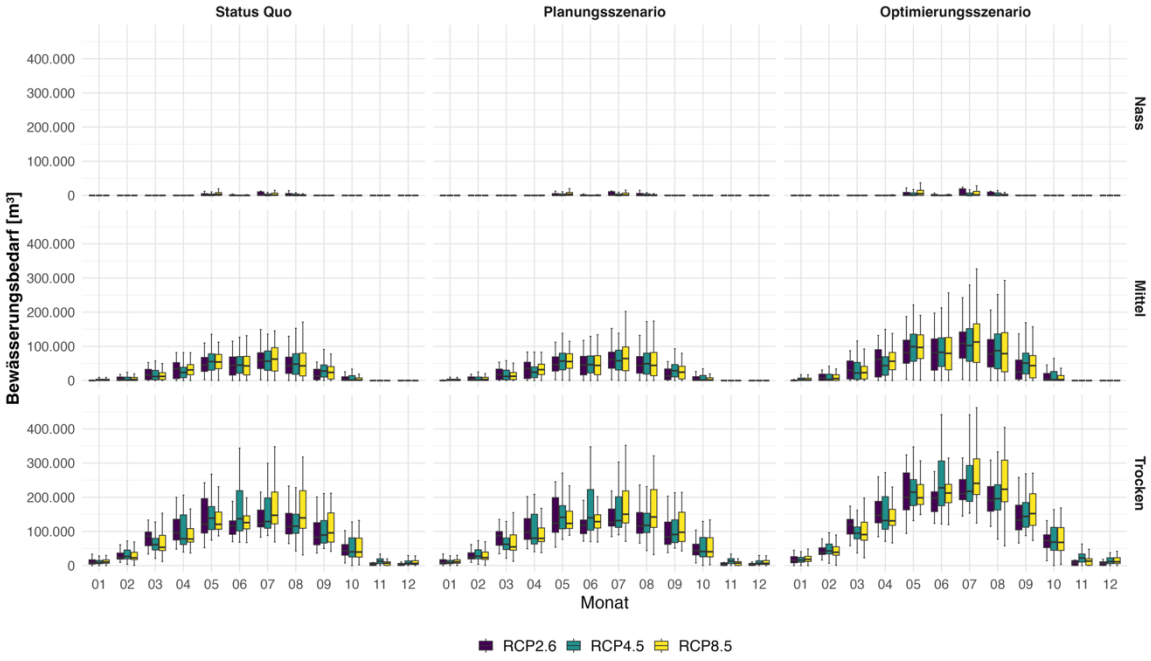
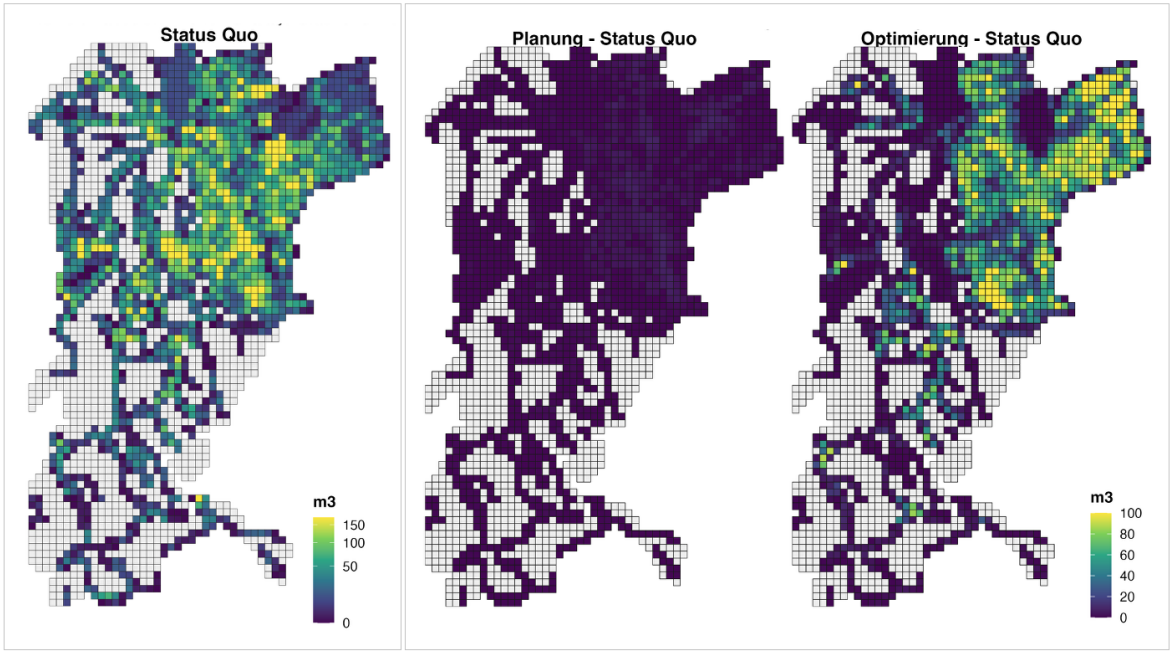


Abbildung 71 zeigt die räumlichen Veränderungen des Bewässerungsbedarfs für die drei Begrünungsszenarien. Links ist der Bewässerungsbedarf im Status quo dargestellt, die mittlere Abbildung zeigt den zusätzlichen Bewässerungsbedarf infolge der Maßnahmen des Planungsszenarios gegenüber dem Status quo und die rechte Abbildung den zusätzlichen Bewässerungsbedarf des Optimierungsszenarios gegenüber dem Status quo. Während sich im Planungsszenario gegenüber dem Status quo nur geringe Veränderungen ergeben, ist im Optimierungsszenario ein deutlich höherer zusätzlicher Bewässerungsbedarf erkennbar. Dieser ist auf die Optimierung der bestehenden Grünflächen und den Einsatz leistungsfähigerer GI-Typen mit höherem Wasserbedarf zurückzuführen.

Abbildung 71: Räumliche Darstellung des Bewässerungsbedarfs im Juli für das Klimaszenario RCP4.5. Links: Bewässerungsbedarf im Status quo. Mitte: zusätzlicher Bewässerungsbedarf infolge der vorgesehenen Maßnahmen des Planungsszenarios gegenüber dem Status quo. Rechts: zusätzlicher Bewässerungsbedarf infolge der Optimierungsmaßnahmen des Optimierungsszenarios gegenüber dem Status quo.



Die Veränderung des medianen Bewässerungsbedarfs zwischen der Referenzperiode (2001–2020) und der Zukunftsperiode (2041–2060) ist für den Monat September in Abbildung 72 dargestellt. Im Status-quo-Szenario zeigt sich insbesondere unter RCP8.5 ein erhöhter Bewässerungsbedarf.

Abbildung 72: Beispielhafte Darstellung Veränderung des Bewässerungsbedarf je Begrünungsszenario und RCP im September



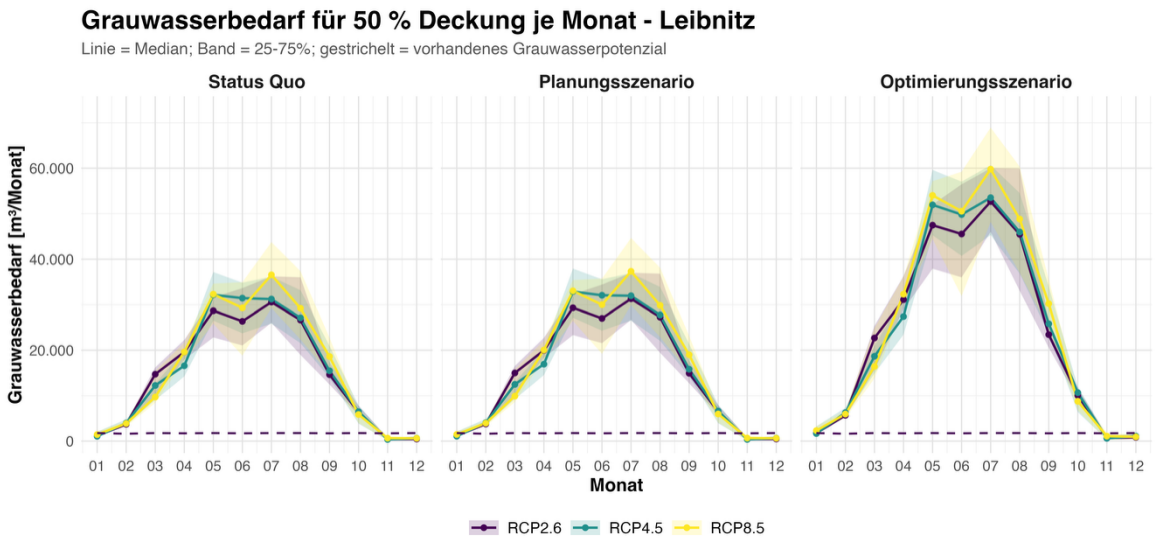
Zusätzlich wurde das zukünftige Grauwasserpotenzial zur Bewässerung auf Basis der prognostizierten Bevölkerungsentwicklung ermittelt. Unter Berücksichtigung eines Grauwasseranfalls von 60 L pro Person und Tag ergibt sich für das Untersuchungsgebiet ein jährliches Grauwasserpotenzial von rund 20.700 m³. Der Vergleich mit dem Bewässerungsbedarf (Abbildung 69) zeigt, dass dieses Potenzial insbesondere in den Sommermonaten nicht ausreicht, um den Wasserbedarf vollständig zu decken. Tabelle 23 stellt für die einzelnen Begrünungsszenarien die Versorgungslücke zur Deckung von 50 % des Bewässerungsbedarfs sowie die hierfür zusätzlich erforderliche Einwohnerzahl dar.

Tabelle 23: Versorgungslücke zur Deckung von 50 % des zukünftigen Bewässerungsbedarfs in Leibnitz

Stadt	Szenario	Faktor für 50 % Deckung	Zusätzliche Lücke [m³]	Zusätzliche Personen
Leibnitz	Status Quo	12,9-14,1	144.300-158.400	11.200-12.300
Leibnitz	Planungsszenario	13,2-14,4	147.800-162.000	11.500-12.600
Leibnitz	Optimierungsszenario	21,4-23,7	247.900-275.900	19.300-21.500

In Abbildung 73 ist der zur Deckung von 50 % des Bewässerungsbedarfs erforderliche Grauwasserbedarf den zukünftig verfügbaren Grauwassermengen gegenübergestellt. Die Klimaszenarien RCP2.6, RCP4.5 und RCP8.5 sind dabei in Violett, Grün beziehungsweise Gelb dargestellt. Die gestrichelte horizontale Linie stellt das verfügbare Grauwasserpotenzial dar. Insbesondere in den Monaten Juni bis August wird deutlich, dass der erforderliche Grauwasserbedarf das verfügbare Potenzial übersteigt.

Abbildung 73: Grauwasserbedarf für 50 % Deckung je Monat in Leibnitz



7.2.3 Wels

Die nachfolgende Abbildung 74 veranschaulicht die räumliche Verteilung der Landbedeckungskategorien auf Rasterebene. Dargestellt ist der jeweilige Flächenanteil einer Landbedeckungskategorie innerhalb jeder Rasterzelle. Mit zunehmender Farbintensität steigt der

Anteil der entsprechenden Landbedeckungskategorie in der jeweiligen Rasterzelle. Grau eingefärbte Rasterzellen kennzeichnen Bereiche, die überwiegend von landwirtschaftlichen Nutzflächen oder Wald dominiert werden. Diese Flächen wurden bei der Berechnung des Bewässerungsbedarfs und den weiteren Auswertungen nicht berücksichtigt.

Abbildung 74: Landcover Wels

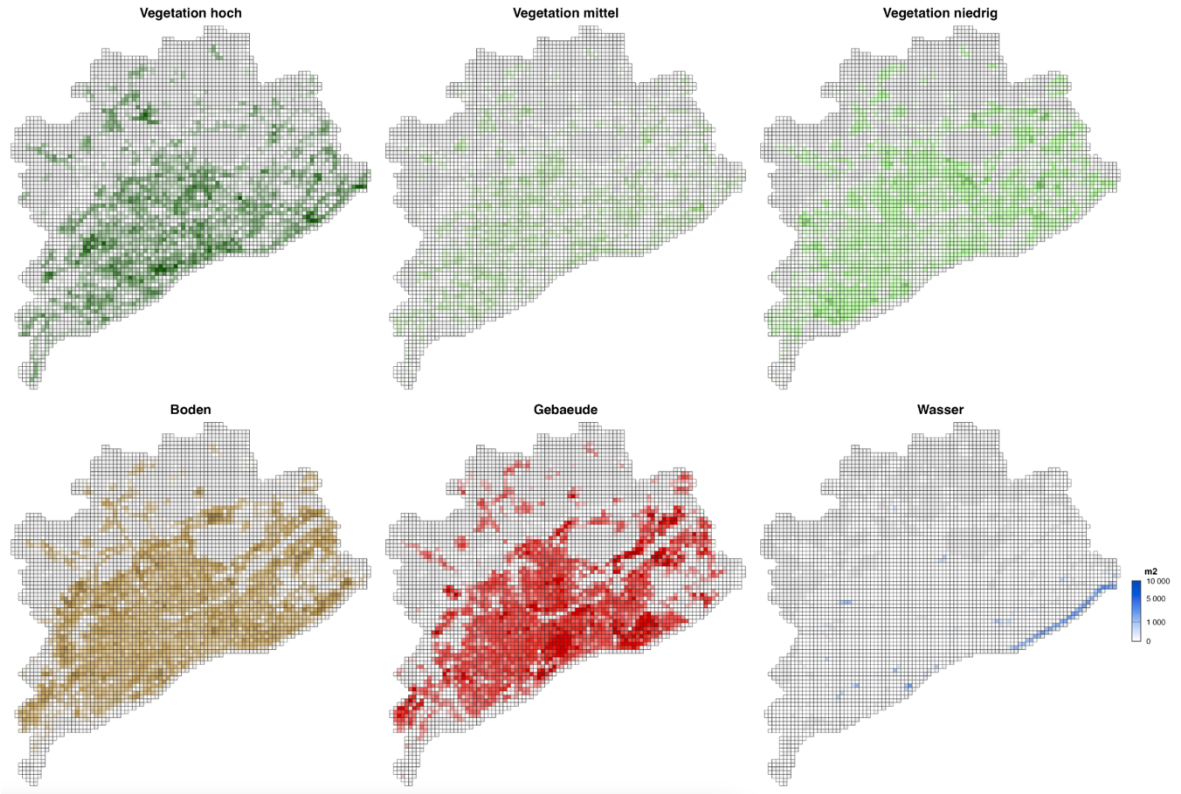
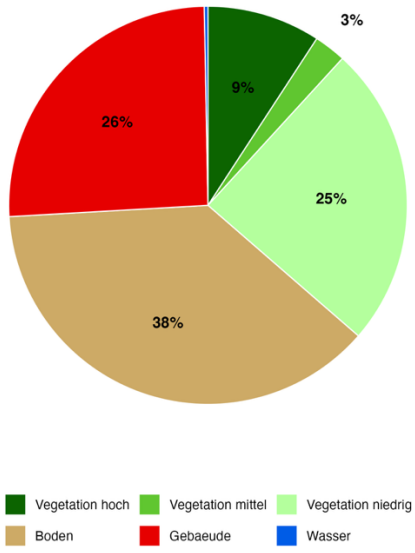


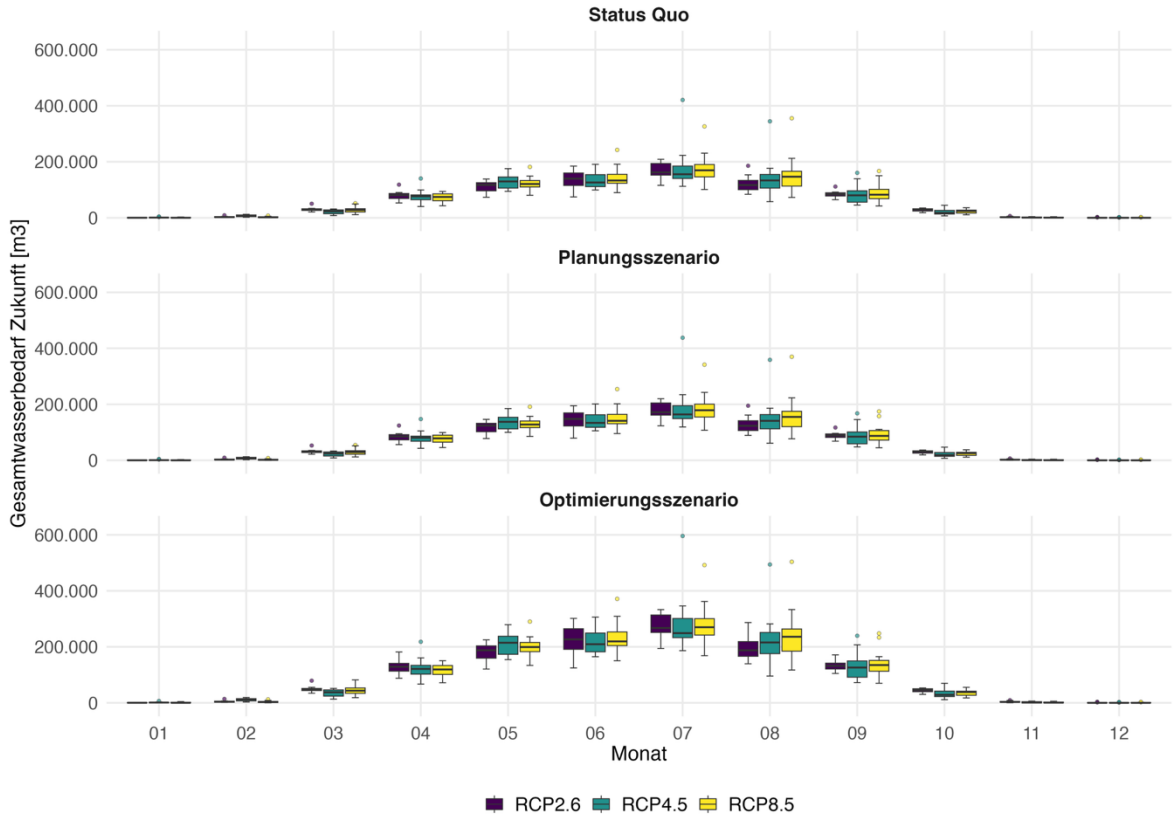
Abbildung 75 zeigt die prozentuelle Verteilung der Landcover in Wels. In Wels macht die Kategorie Boden den größten Teil der Landcover aus, gefolgt von der Vegetation mit rund 37 %.

Abbildung 75: Prozentuelle Verteilung der Landbedeckung in Wels



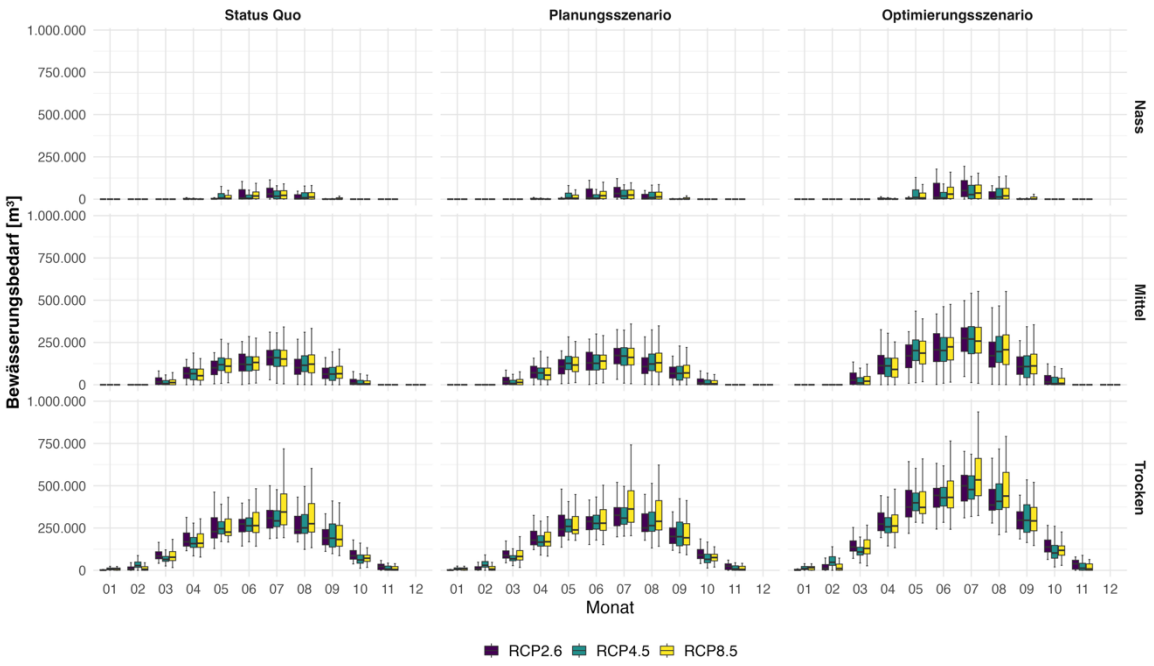
In Abbildung 76 ist der Gesamtbewässerungsbedarf je Begrünungsszenario und RCP dargestellt. Die unterschiedlichen Emissionsszenarien sind farblich dargestellt (RCP2.6 in Violett, RCP4.5 in Grün und RCP8.5 in Gelb). Der Vergleich der Begrünungsszenarien in zeigt, dass sich der Bewässerungsbedarf zwischen dem Status quo und dem Planungsszenario nur geringfügig erhöht. Dies ist darauf zurückzuführen, dass sich der Gesamtanteil der Grünen Infrastruktur gegenüber dem Bestand lediglich in geringem Umfang verändert. Durch die geplanten Begrünungsmaßnahmen erhöht sich der Bewässerungsbedarf daher nur geringfügig. Im Optimierungsszenario ist hingegen ein deutlicher Anstieg des Bewässerungsbedarfs zu erkennen. Neben der Erweiterung der Grünen Infrastruktur wurden bestehende Vegetationsflächen hinsichtlich ihrer GI-Typen aufgewertet. Der Einsatz leistungsfähigerer Vegetationstypen führt zwar zu einem höheren Wasserbedarf, gleichzeitig jedoch auch zu einer verbesserten klimatischen Wirksamkeit und einem höheren Kühlpotenzial der Grünflächen.

Abbildung 76: Zukünftiger monatlicher Gesamtbewässerungsbedarf je Begrünungsszenario und RCP in Wels



Zur Berücksichtigung der Bandbreite zukünftiger klimatischer Entwicklungen wurde der Bewässerungsbedarf getrennt für nasse, mittlere und trockene Jahre ausgewertet. Die Ergebnisse (Abbildung 77) zeigen, dass der Bewässerungsbedarf in mittleren und insbesondere in trockenen Jahren deutlich ansteigt. Gleichzeitig nimmt mit zunehmender Trockenheit auch die Spannweite der Ergebnisse zu, was die größere Unsicherheit und Variabilität zukünftiger klimatischer Bedingungen widerspiegelt.

Abbildung 77: Vergleich Bewässerungsbedarf Wels für nasse, mittlere und trockene Jahre



Die rasterbasierte Darstellung des Bewässerungsbedarfs ist in Abbildung 78 dargestellt. Die linke Darstellung zeigt den Bewässerungsbedarf im Status quo. In der mittleren Darstellung ist der zusätzliche Bewässerungsbedarf durch die Umsetzung des Planungsszenarios gegenüber dem Status quo dargestellt, während die rechte Darstellung den zusätzlichen Bewässerungsbedarf des Optimierungsszenarios gegenüber dem Status quo zeigt. Im Vergleich zum Status quo führt das Planungsszenario lediglich zu einer geringen Zunahme des Bewässerungsbedarfs, die sich auf die neu geschaffenen Grünflächen beschränkt. Im Optimierungsszenario fällt der zusätzliche Bewässerungsbedarf hingegen deutlich höher aus. Ursache hierfür ist die qualitative Aufwertung bestehender Vegetationsflächen.

Abbildung 78: Räumliche Darstellung des Bewässerungsbedarfs im Juli für das Klimaszenario RCP4.5. Links: Bewässerungsbedarf im Status quo. Mitte: zusätzlicher Bewässerungsbedarf infolge der vorgesehenen Maßnahmen des Planungsszenarios gegenüber dem Status quo. Rechts: zusätzlicher Bewässerungsbedarf infolge der Optimierungsmaßnahmen des Optimierungsszenarios gegenüber dem Status quo.

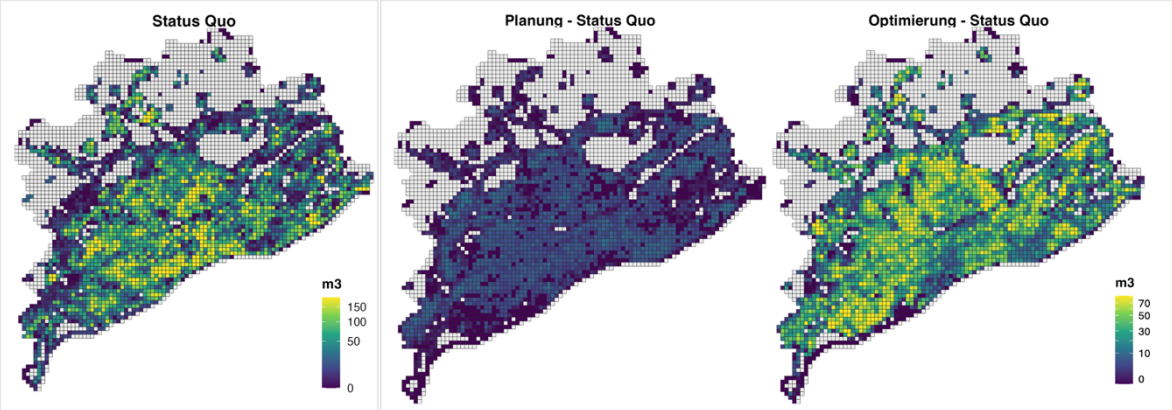
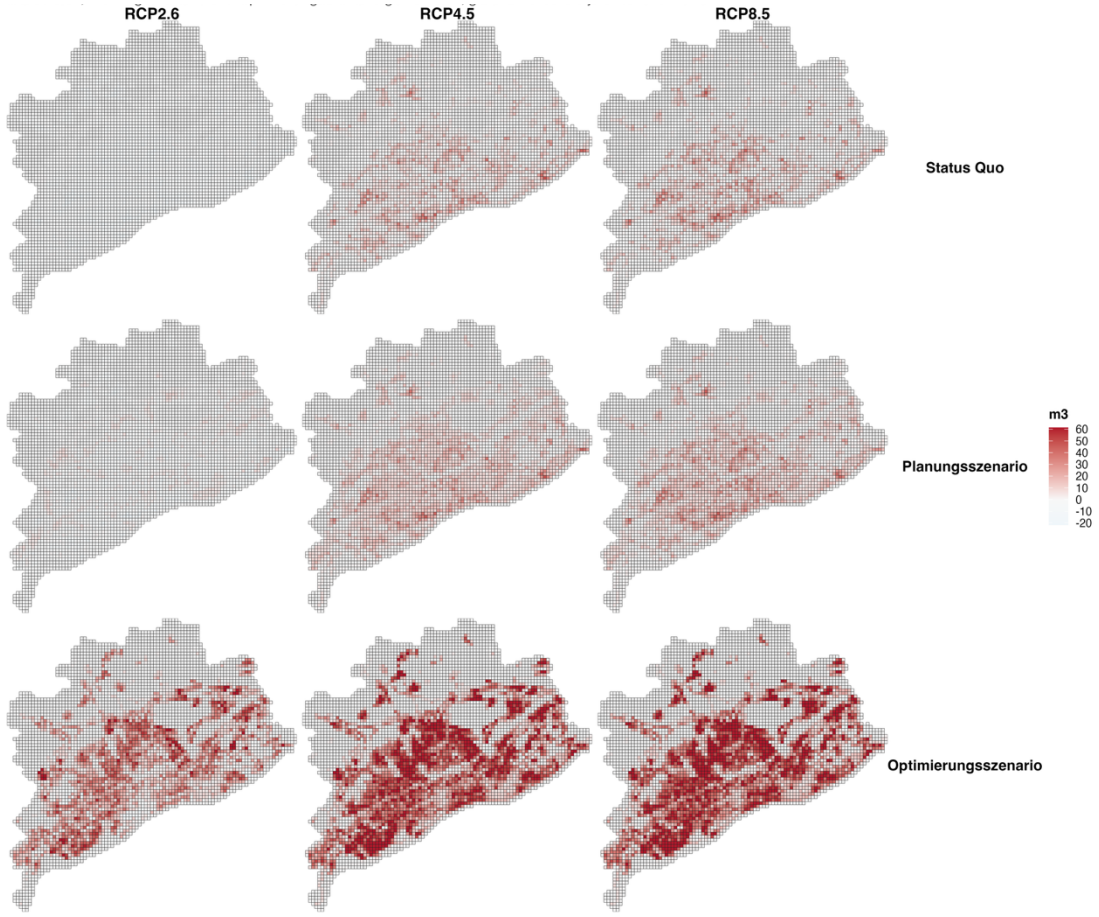


Abbildung 79 zeigt für den Monat August die Veränderung des medianen Bewässerungsbedarfs je Rasterzelle zwischen der Referenzperiode (2001–2020) und der Zukunftsperiode (2041–2060). Es wird deutlich, dass der Bewässerungsbedarf unter RCP8.5 gegenüber der Referenzperiode zunimmt.

Abbildung 79: Beispielhafte Darstellung Veränderung des Bewässerungsbedarf je Begrünungsszenario und RCP im August



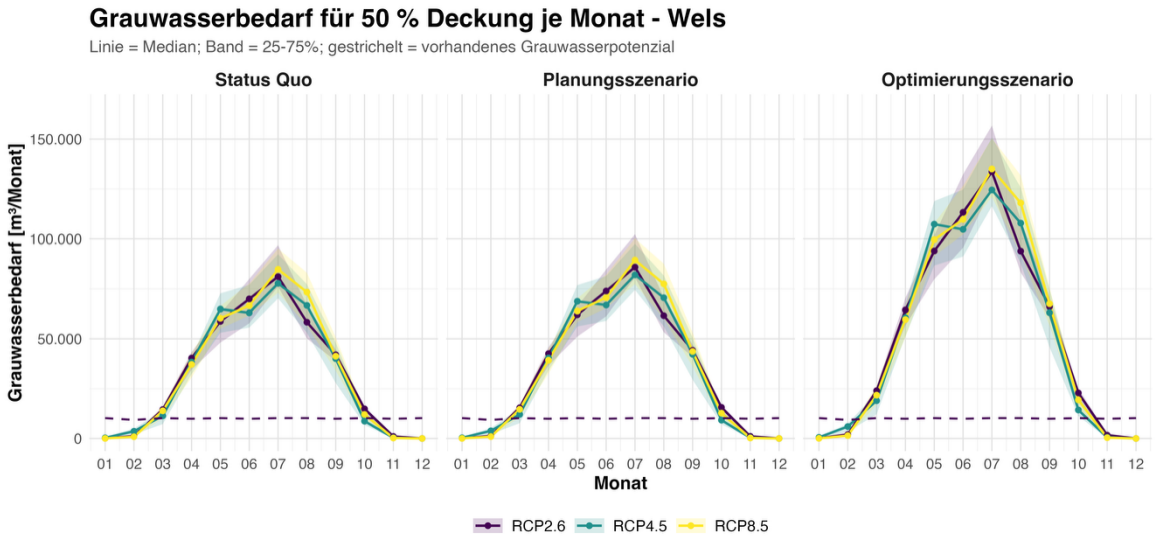
Auf Grundlage der prognostizierten Bevölkerungsentwicklung wurde das zukünftig verfügbare Grauwasserpotenzial (rund 120.500 m^3 im Jahr) als alternative Wasserressource berechnet. Trotz des erwarteten Bevölkerungswachstums reicht das verfügbare Grauwasser insbesondere während der bewässerungsintensiven Sommermonate nicht aus, um den ermittelten Bewässerungsbedarf vollständig zu decken (Abbildung 76). Die verbleibende Versorgungslücke ist für alle Begrünungsszenarien in Tabelle 24 dargestellt. Zusätzlich wird die Anzahl der Einwohner ausgewiesen, deren Grauwasseraufkommen erforderlich wäre, um 50 % des Bewässerungsbedarfs im Zeitraum von April bis Oktober bereitzustellen.

Tabelle 24: Versorgungslücke zur Deckung von 50 % des zukünftigen Bewässerungsbedarfs in Wels

Stadt	Szenario	Faktor für 50 % Deckung	Zusätzliche Lücke [m³]	Zusätzliche Personen
Wels	Status Quo	5,1-5,4	292.600-312.400	22.800-24.300
Wels	Planungsszenario	5,4-5,7	313.300-333.800	24.400-26.000
Wels	Optimierungsszenario	8,3-8,7	516.900-545.900	40.300-42.500

Abbildung 80 zeigt den Grauwasserbedarf zur Deckung von 50 % des Bewässerungsbedarfs für die einzelnen Monate und Klimaszenarien. Dabei ist RCP2.6 in Violett, RCP4.5 in Grün und RCP8.5 in Gelb dargestellt. Die gestrichelte horizontale Linie kennzeichnet das zukünftig verfügbare Grauwasserpotenzial auf Grundlage der prognostizierten Bevölkerungsentwicklung. Es zeigt sich, dass dieses Potenzial insbesondere in den Sommermonaten von Juni bis August nicht ausreicht, um den erforderlichen Grauwasserbedarf zu decken.

Abbildung 80: Grauwasserbedarf für 50% Deckung je Monat in Wels



7.3 Langfristige Trinkwassereinsparpotenziale durch alternative Wasserressourcen und optimierte Bewässerung

Die Ergebnisse der untersuchten Case Studies zeigen, dass durch die Nutzung von Grauwasser und Regenwasser langfristig deutliche Trinkwassereinsparungen möglich sind. Das Einsparungspotenzial hängt jedoch stark vom jeweiligen Standort ab und kann nicht allein über die Speichergröße erklärt werden. Entscheidend ist das Zusammenspiel aus verfügbarem Wasserangebot, Bewässerungsbedarf, Einwohnerzahl, Dachflächen, Umfang der Grünen Infrastruktur, möglicher Einbindung der Toilettenspülung sowie der Effizienz der Bewässerung. Daher müssen Einsparungspotenziale sowohl auf Quartiersebene als auch auf regionaler Ebene differenziert betrachtet werden.

Auf Quartiersebene liegt das größte Potenzial darin, alternative Wasserressourcen direkt dort zu nutzen, wo sie anfallen oder benötigt werden. Grauwasser entsteht im Zusammenhang mit der Wohnnutzung und fällt im Vergleich zu Regenwasser ganzjährig relativ konstant an. Dadurch eignet es sich besonders zur Deckung eines kontinuierlichen Grundbedarfs, etwa für Toilettenspülung oder einen Teil der Bewässerung. Regenwasser kann ergänzend genutzt werden, ist jedoch stark witterungsabhängig. In nassen Jahren kann es einen wichtigen Beitrag leisten, während es in Trockenjahren gerade dann weniger verfügbar ist, wenn der Bewässerungsbedarf am höchsten ist.

Die Ergebnisse aus Leibnitz zeigen, dass kombinierte Systeme aus Grauwasser und Regenwasser auf Quartiersebene sehr hohe Trinkwassereinsparungen ermöglichen können. Besonders auffällig ist, dass bereits kleinere Tankvarianten einen Großteil der maximal möglichen Einsparung erreichen. Die 50 %-Variante stellt hier einen sinnvollen Kompromiss zwischen Investitionskosten, Speicherbedarf und Einsparwirkung dar, da sie meist über 98 % der Vollvariante erreicht. Daraus lässt sich ableiten, dass langfristig nicht immer die größtmögliche Speicherlösung notwendig ist. Entscheidend ist vielmehr eine standortspezifische Dimensionierung, die Kosten und Nutzen sinnvoll abwägt.

In Wels zeigt sich hingegen, dass die Speichergröße nicht der alleinige begrenzende Faktor ist. Da dort nur Dachwasser berücksichtigt wird und die Sammelfläche begrenzt ist, bleibt auch bei größerem Speicher das Einsparungspotenzial vergleichsweise niedrig. Eine Vergrößerung des Tanks bringt daher nur begrenzten Zusatznutzen. Auf Quartiersebene wäre es in einem solchen Fall wirkungsvoller, zusätzliche Sammelflächen zu erschließen, weitere alternative Wasserressourcen einzubinden oder den Bewässerungsbedarf gezielt zu senken. In Eisenstadt wiederum sind die absoluten Einsparpotenziale zwar hoch, gleichzeitig bleiben

besonders im Trockenjahr große Fehlmengen bestehen. Ursache ist der sehr hohe Bewässerungsbedarf durch die großflächige Grüne Infrastruktur. Dies zeigt, dass auch optimal dimensionierte Speicher keine vollständige Versorgungssicherheit garantieren, wenn der Bedarf das verfügbare Wasserangebot strukturell übersteigt.

Ein wichtiger zusätzlicher Hebel ist daher die optimierte Bewässerung. Während Speicherlösungen das verfügbare Wasser besser nutzbar machen, setzt eine optimierte Bewässerung direkt beim Bedarf an. Dazu zählen eine bedarfsgerechte Steuerung nach Bodenfeuchte, Wetterdaten und Jahreszeit, die Bewässerung in kühleren Tageszeiten, der Einsatz von Tropf- oder Unterflurbewässerung sowie die Vermeidung unnötiger Verdunstungsverluste. Dadurch kann der Wasserbedarf reduziert werden, ohne die Funktion der Grünen Infrastruktur grundsätzlich einzuschränken. Besonders in Trockenjahren kann eine solche Bewässerungsstrategie dazu beitragen, Speicher länger nutzbar zu halten, Leertage zu reduzieren und Fehlmengen zu verringern.

Auf Quartiersebene bedeutet optimierte Bewässerung auch, Grünflächen nicht einheitlich, sondern nach ihrer Funktion und Empfindlichkeit zu versorgen. Junge Bäume, stark versiegelte Hitzeinseln oder besonders klimawirksame Grünflächen können priorisiert werden, während robustere Vegetationsflächen mit geringeren Wassermengen auskommen. Dadurch wird das vorhandene Grau- und Regenwasser gezielter eingesetzt. Gleichzeitig entsteht ein Zielkonflikt: Mehr Grüne Infrastruktur ist für Klimaanpassung, Kühlung, Aufenthaltsqualität und Biodiversität wichtig, erhöht aber auch den Bewässerungsbedarf. Trinkwassereinsparung kann daher nicht nur durch zusätzliche Wasserquellen erreicht werden, sondern muss mit wassersparender Vegetationswahl, effizienter Bewässerung und geeigneter Pflege kombiniert werden.

Auf regionaler Ebene verschiebt sich die Betrachtung von der technischen Umsetzung einzelner Anlagen hin zu Versorgungssicherheit, Klimaanpassung und Skalierbarkeit. Wenn viele Quartiere alternative Wasserressourcen nutzen und ihren Bewässerungsbedarf senken, kann dies langfristig die öffentliche Trinkwasserversorgung entlasten. Besonders in Trockenperioden ist jede Reduktion des Trinkwasserverbrauchs relevant. Gleichzeitig sind die regionalen Voraussetzungen unterschiedlich: Regionen mit ausreichendem Niederschlag, geeigneten Dachflächen und dichter Bebauung können stärker von dezentralen Grau- und Regenwassersystemen profitieren. In trockeneren Regionen oder bei sehr hohem Bewässerungsbedarf gewinnt dagegen die Verbrauchsreduktion durch optimierte Bewässerung zusätzlich an Bedeutung.

Eine regionale Strategie sollte daher nicht nur Speicher fördern, sondern auch technische Standards, Wartungskonzepte, Monitoring und Vorgaben für wassersensible Neubau- und Bestandsquartiere berücksichtigen. Besonders Grauwassernutzung erfordert getrennte Leitungsnetze, hygienisch sichere Aufbereitung und klare Zuständigkeiten im Betrieb. Sensorbasierte Bewässerungssysteme benötigen ebenfalls regelmäßige Wartung und Anpassung an Wetter- und Klimadaten. Ohne langfristige Betriebs- und Pflegekonzepte besteht die Gefahr, dass technische Potenziale in der Praxis nicht vollständig ausgeschöpft werden.

Zusammenfassend zeigen die Case Studies, dass langfristige Trinkwassereinsparungen realistisch sind, aber nur durch standortspezifische und mehrstufige Strategien erreicht werden können. Auf Quartiersebene sind kombinierte Systeme aus Grauwasser, Regenwasser, angepasster Speichergröße und optimierter Bewässerung besonders wirkungsvoll. Auf regionaler Ebene können solche Quartierslösungen einen wichtigen Beitrag zur Entlastung der Trinkwasserversorgung und zur Klimaanpassung leisten. Besonders zukunftsfähig sind Ansätze, die nicht allein auf größere Tanks setzen, sondern Wasserangebot und Wasserbedarf gemeinsam betrachten, alternative Ressourcen nutzen, Bewässerung effizient steuern und Grüne Infrastruktur so planen, dass sie auch unter trockeneren Klimabedingungen langfristig tragfähig bleibt.

8 Erweiterung EWA-Planungstool

Abschließend wurden die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse in das bestehende EWA-Tool, welches im Zuge des EWA-Projekts (Entscheidungshilfe in der Wasserversorgung unter Einbeziehung von Wandelfaktoren) entwickelt wurde, integriert und für die praktische Anwendung aufbereitet. Ziel ist es, die im Rahmen der vorangegangenen Arbeitspakete entwickelten Ansätze zur Ermittlung des Bewässerungsbedarfs urbaner Grüner Infrastruktur in das anwenderfreundliche Entscheidungsunterstützungssystem zu überführen. Dadurch sollen die Projektergebnisse nicht nur wissenschaftlich dokumentiert, sondern auch für Planungs- und Entscheidungsprozesse von Wasserversorgungsunternehmen, Gemeinden und Städten nutzbar gemacht werden. Hierfür werden neue Verbrauchsbausteine für unterschiedliche Typen Grüner Infrastruktur entwickelt und in das EWA-Tool integriert. Dadurch kann der zusätzliche Wasserbedarf infolge geplanter Begrünungsmaßnahmen bereits in frühen Planungsphasen abgeschätzt und der Einfluss verschiedener Begrünungs- und Bewässerungsszenarien auf die Trinkwasserversorgung bewertet werden. Neben der methodischen Erweiterung des EWA-Tools werden die Projektergebnisse in Form interaktiver Challenges aufbereitet. Mithilfe von Storytelling-Ansätzen und anschaulichen Visualisierungen werden die Auswirkungen des Klimawandels auf den Bewässerungsbedarf verständlich vermittelt. Dadurch soll das Bewusstsein für die Bedeutung einer klimaangepassten Bewässerungsplanung und eines nachhaltigen Umgangs mit Wasserressourcen gestärkt werden.

8.1 Rückblick EWA-Planungstool

Das EWA-Planungstool ist ein webbasiertes Entscheidungs- und Planungsinstrument zur strategischen Planung von Trinkwasserversorgungssystemen. Es soll Wasserversorgungsunternehmen, Planungsbüros und öffentliche Stellen dabei unterstützen, die langfristige Leistungsfähigkeit von Wasserversorgungssystemen zu bewerten. Im Fokus steht die Frage, wie robust bestehende oder geplante Systeme gegenüber zukünftigen Herausforderungen wie dem Klimawandel, demografischen Veränderungen und steigendem Wasserbedarf sind.

Funktional basiert EWA auf der Kombination aus Wasserbedarfsprognosen, hydraulischer Simulation und indikatorbasierter Bewertung. Ausgangspunkt sind hydraulische Modelle von Trinkwasserversorgungssystemen, die auf Basis von Klimaprognosen bis zum Jahr 2055

für unterschiedliche Lastfälle und Zukunftsszenarien simuliert werden. Die Ergebnisse werden anhand definierter Leistungsindikatoren wie Bedarfsdeckung, hydraulischer Resilienz oder der Anzahl nicht versorgter Einwohner:innen interpretiert, sodass Engpässe, Schwachstellen und zeitliche Entwicklungen transparent sichtbar werden. Ergänzend ermöglicht ein Gamification-Ansatz das explorative Durchspielen von Szenarien und soll Lernen sowie Bewusstseinsbildung fördern.

Das EWA-Tool besteht aus mehreren eng gekoppelten Bestandteilen. Zentrale Komponenten sind ein Simulations-Backend auf Basis hydraulischer Modellierung, eine Datenbank zur Verwaltung von Wasserbedarfs-, Ressourcen- und Szenariodaten sowie ein webbasiertes Frontend zur Modellverwaltung, zur Visualisierung und zur Analyse. Ergänzt wird dies durch optionale Gamification-Elemente, mit denen Aufgaben, Herausforderungen und Trainingsszenarien abgebildet werden können. Zusammen bilden diese Komponenten eine integrierte Plattform für die langfristige, szenariobasierte Planung der Wasserversorgung.

8.2 Zielsetzung der Weiterentwicklung

Das EWA-Tool wurde im Zuge der Weiterentwicklung technisch und funktionell angepasst. Diese Anpassungen betreffen sowohl die Systemarchitektur als auch den Umfang des Tools für Nutzer:innen. Ziel der Weiterentwicklung war es, die Wartbarkeit und Robustheit des Systems zu verbessern sowie das Tool, um weitere Werkzeuge und inhaltliche Anwendungsfälle zu erweitern.

Der Fokus lag auf der Überarbeitung der Schnittstellen zwischen Frontend und Backend, der Modernisierung des Frontends und des Simulationshandlings im Backend. Zusätzlich wurde das Tool um weitere Knotenpunkte in Form von Gebäuden sowie Planungstools für Grüne Infrastruktur erweitert, die dem Tool zusätzliche planerische Möglichkeiten bieten. Weiters wurde das Gamification-System des Tools erweitert.

Die Datenbank zur Verwaltung des Wasserbedarfs sowie die grundlegende Funktionalität des Tools bleiben unverändert. Das EWA-Tool basiert weiterhin auf hydraulischen Modellen und Klimaprognosen. Zukunftsszenarien werden bis 2060 simuliert. Die Änderungen führen daher weder zu einer Änderung am bisherigen Ansatz noch an der Simulationslogik, sondern stellen eine Weiterentwicklung des bereits bestehenden Systems dar.

8.3 Überarbeitung der Softwarearchitektur

Die bestehende Systemarchitektur wurde während der Weiterentwicklung grundlegend überarbeitet. Ziel war es, eine langfristige Wartung und Erweiterbarkeit zu ermöglichen sowie das Frontend in eine gemeinsame Struktur mit dem Backend zu überführen. Die bisherige Trennung zwischen Frontend und Backend wurde durch eine monorepobasierte Projektstruktur ersetzt, wodurch Frontend, Backend, API-Definitionen und gemeinsame Datenmodelle zentral und konsistent verwaltet werden können.

8.3.1 Frontend

Das Frontend des EWA-Tools erfordert neben der Visualisierung der Benutzeroberfläche auch serverseitige Datenverarbeitung, Authentifizierung sowie den Zugriff auf Informationen aus Simulationen, aus diesem Grund wurde es auf eine Next.js basierende Architektur umgestellt. Next.js koordiniert sowohl die Benutzer:innenoberfläche als auch serverseitige Funktionen, UI-Komponenten, serverseitige Logik und Datenmodelle sollen dadurch übersichtlicher miteinander verknüpft werden. Client- und serverseitige Komponenten werden durch die Umstellung auf die neue Architektur gemeinsam entwickelt und klarer voneinander abgegrenzt.

Zusätzlich wurde die Kommunikation zwischen Frontend und Backend auf oRPC umgestellt. Die Umstellung auf oRPC dient dazu, die Kommunikation zwischen Frontend und Backend klarer zu gestalten, Daten werden gezielt und ohne unnötigen Mehraufwand übertragen, was die Performance des Tools positiv beeinflusst.

Die Kombination aus Next.js und oRPC ermöglicht ein strukturierteres Frontend sowie eine bessere Kommunikation zwischen Frontend und Backend, was langfristig die Erweiterbarkeit verbessert, und die Integration neuer Funktionen im weiteren Projektverlauf unterstützt.

8.3.2 Backend

Auch das Backend wurde grundlegend überarbeitet. Die zuvor eingesetzte Simulationslogik auf Basis der Python-Bibliothek Prefect wurde durch die schlankere und performantere Bibliothek Temporal ersetzt. Diese Umstellung betrifft sowohl die Ausführung der einzelnen

Simulationsschritte als auch die allgemeine Performance der Simulationen. Das Backend besteht aus einer Python-basierten Umgebung, in der hydraulische Berechnungen, geographische Datenverarbeitung sowie die Auswertung hinterlegter Datenmodelle und Datenquellen zu einzelnen Prozessen zusammengefasst sind. Temporal übernimmt und verarbeitet diese Prozesse und bildet dadurch die Simulation des EWA-Tools. Diese Prozesse werden durch Temporal im ersten Schritt in einzelne Activities zusammengefasst und in klarer Abfolge ausgeführt. Activities werden in übergeordneten Workflows zusammengefasst, die schlussendlich die von den Nutzer:innen gestarteten Simulationen im Hintergrund ausführen. Workflows verwalten den Ablauf, den Status und die Fehlerzustände der Simulationen. Durch die Trennung von Activities und Workflows lassen sich einzelne Phasen der Simulation voneinander betrachten und analysieren. Die Umstellung auf Temporal ermöglicht eine schnellere und stabilere Ausführung, auch bei umfangreichen und zeitintensiven Simulationen, sowie eine deutlichere Nachvollziehbarkeit der einzelnen Prozesse.

8.4 Erweiterung um Gebäudetypen

Eine Erweiterung des EWA-Tools ist die Einführung neuer Knotenpunkte in Form von Gebäudetypen. Diese Knoten stellen Einfamilienhäuser, Einfamilienhäuser mit Pool sowie Mehrparteienhäuser mit ihren jeweils spezifischen Wasserverbräuchen dar. Ziel dieser Erweiterung ist es, den Nutzer:innen die Möglichkeit zu geben, Siedlungsgebiete einfach und schnell abzubilden. Der Wasserverbrauch und die daraus resultierenden Simulationen sollen dadurch näher an realistische Strukturen herangeführt werden.

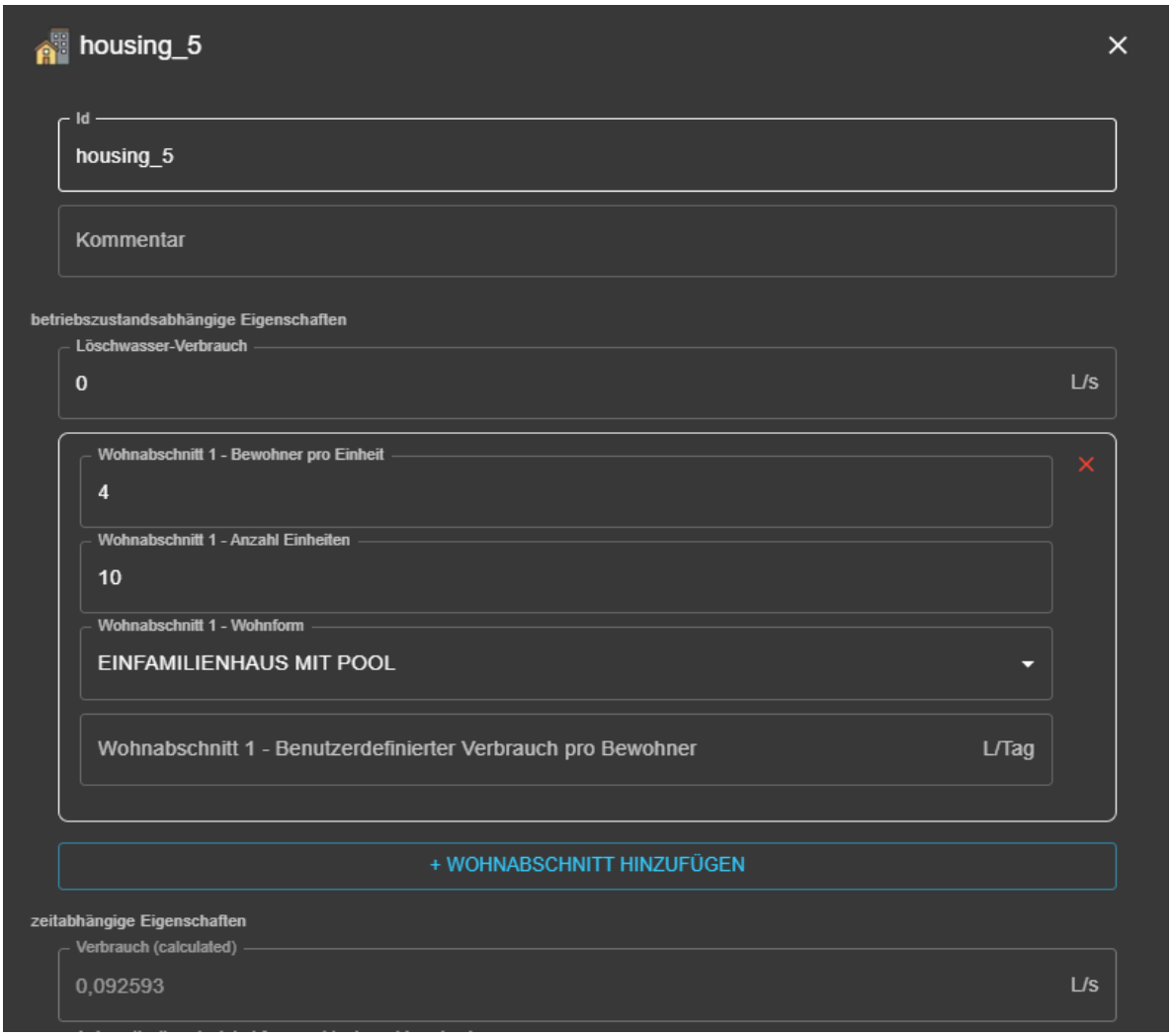
Der Wasserbedarf der Gebäude-Knoten basiert auf bestehenden Erkenntnissen zum Wasserverbrauch unterschiedlicher Gebäudetypen (Neunteufel et al., 2024) sowie der Anzahl der Bewohnerinnen und Bewohner je Einheit.

8.4.1 Integration in die bestehende Modellstruktur

Gebäude-Knoten entsprechen in ihrer Funktionsweise den bereits vorhandenen Knotenpunkten im EWA-Tool. Die Einbindung ins Netz erfolgt auf dieselbe Weise, und die Simulationslogik ist ebenfalls dieselbe. Wie bereits beschrieben, ist der Wasserbedarf der Gebäudeknoten vom Gebäudetyp und der Anzahl der Bewohner:innen abhängig, während normale Knoten lediglich einen Wasserverbrauchsparameter aufweisen. Diese Parameter kön-

nen von Nutzer:innen frei gewählt werden. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, den Wasserbedarf einzelner Gebäudetypen manuell anzupassen, wodurch die Berechnung verschiedener Zukunftsszenarien ermöglicht wird. Weiters besteht die Möglichkeit, mehrere Gebäudetypen sowie die Anzahl der Gebäude innerhalb eines Knotens zu clustern. Diese Cluster sollen es ermöglichen, größere Siedlungen zu simulieren, ohne die Modellstruktur unnötig zu verkomplizieren und dabei eine übersichtliche Darstellung im Tool zu sichern. Die Summe der Wasserverbräuche im Cluster fließt in die Simulation ein.

Abbildung 81: Parameter eines Gebäudeknoten im EWA-Planungstool



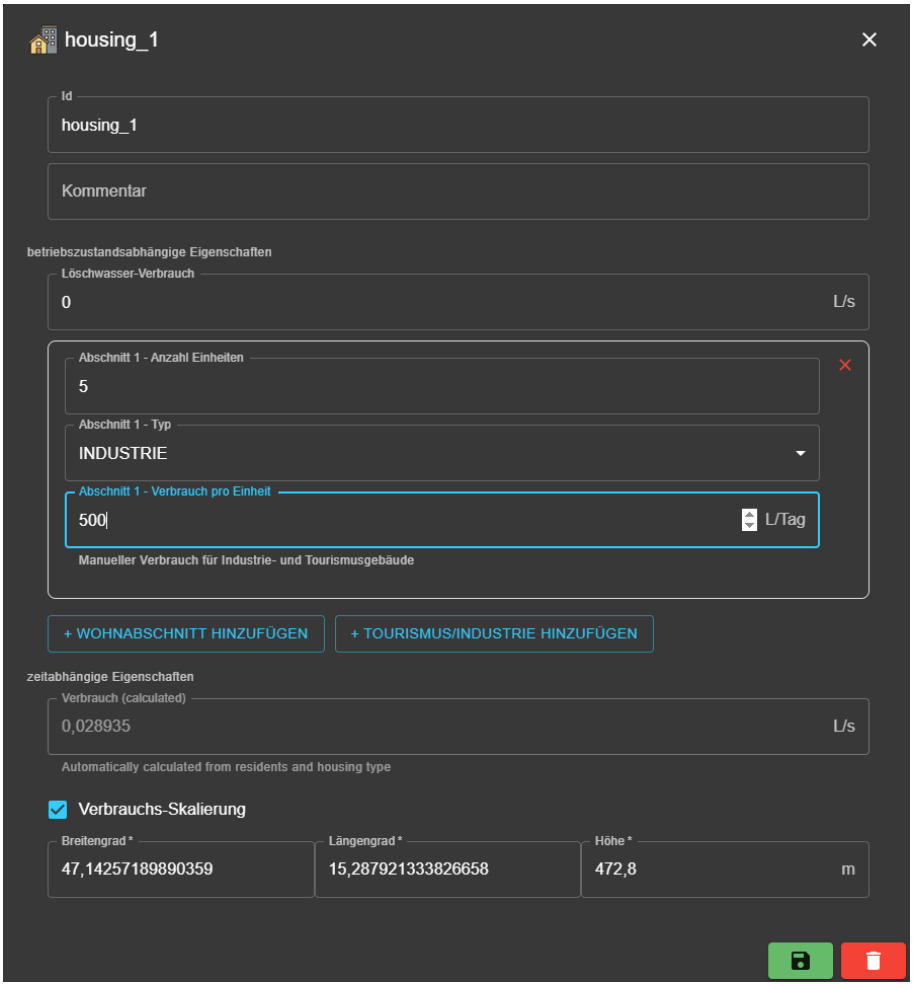
Auch die Cluster bekommen im Simulationsprozess keine Sonderbehandlung, somit stellen Gebäudeknoten keine Veränderung der hydraulischen und rechnerischen Logik dar, sondern erweitern das Modell nur um ein weiteres Tool.

8.4.2 Integration von Industrie und Tourismus

Gebäudeknoten wurden zusätzlich um Industrie- und Tourismusgebäude erweitert. Im Gegensatz zu Wohngebäuden erfolgt deren Modellierung in vereinfachter Form, da der Wasserbedarf dieser Nutzungen von der jeweiligen Größe der Industrie- bzw. Tourismusgebäude abhängt. Aus diesem Grund werden Anzahl der Einheiten sowie der Wasserverbrauch pro Einheit direkt von den Nutzerinnen und Nutzern festgelegt.

Die Integration erfolgt innerhalb der Gebäudeknoten und erfordert keine Anpassung der Modellstruktur. Dadurch können Industrie- und Tourismusgebäude gemeinsam mit Wohngebäuden innerhalb eines Knotens abgebildet und in die bestehenden Simulationen integriert werden. Die Berechnung des Wasserbedarfs erfolgt analog zu den übrigen Gebäudeknoten. Der berechnete Wasserbedarf fließt unmittelbar in die hydraulische Simulation ein.

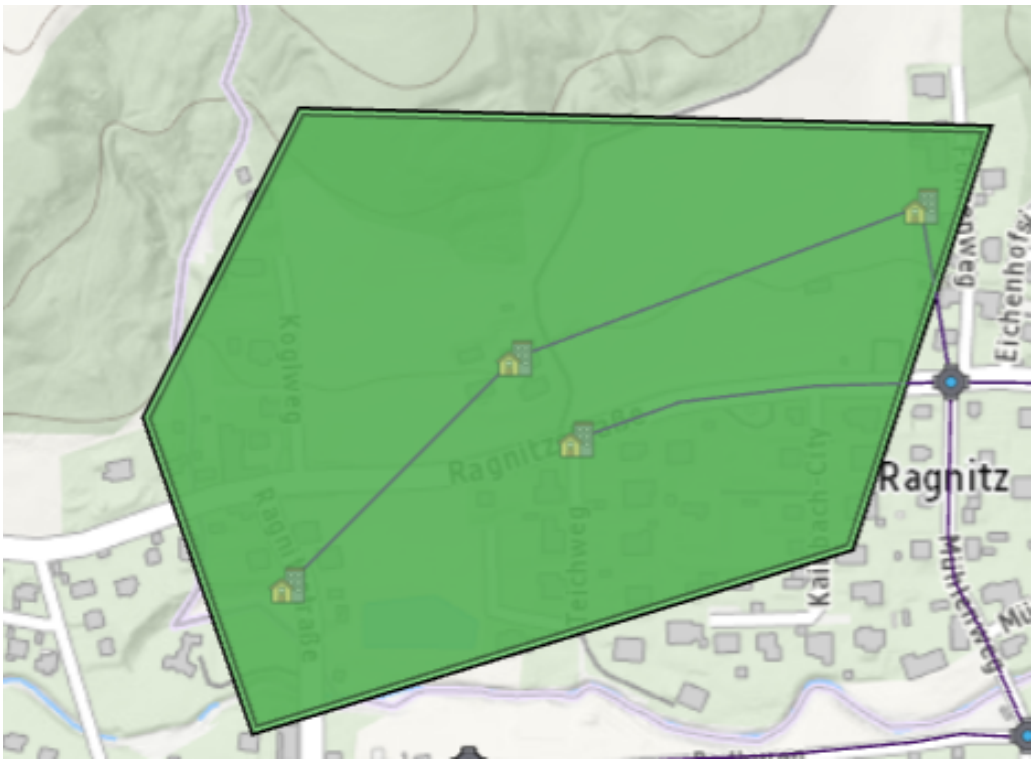
Abbildung 82: Paramater der Industrie- und Tourismusgebäudeknoten



8.5 Integration Grüner Infrastruktur

Eine weitere Erweiterung des EWA-Tools betrifft die Integration Grüner Infrastruktur. Nutzerinnen und Nutzer können mittels Polygone gezielt Bereiche definieren, in denen Grüne Infrastruktur im Tool als planerische Maßnahme eingesetzt werden kann. Eine polygonbasierte Zuweisung erlaubt es, den Nutzerinnen und Nutzern Gebiete unterschiedlicher Größenordnung Grüne Infrastruktur zuzuweisen, von einzelnen Knotenpunkten bis hin zu größeren Siedlungsgebieten. Somit können spezifische Entwicklungsgebiete flexibel betrachtet und simuliert werden. Nach der Definition des ausgewählten Gebiets stehen den Nutzerinnen und Nutzern zehn unterschiedliche Ausprägungen Grüner Infrastruktur zur Verfügung. Je nach Art der Maßnahme erfolgt die Eingabe entweder flächenbezogen in Quadratmetern oder über die Anzahl der vorhandenen Bäume. Flächenbezogene Maßnahmen umfassen z. B. Rasenflächen, Dachbegrünungen oder Staudenflächen, während Bäume in drei verschiedenen Varianten als einzelne Elemente modelliert und daher über ihre Anzahl erfasst werden. Die Größe der einzelnen Maßnahmen kann von den Nutzerinnen und Nutzern frei gewählt werden. Jede Maßnahme weist einen spezifischen Wasserbedarf auf, der in die weitere Berechnung einfließt. Die Nutzerinnen und Nutzer können jedoch auch individuelle Verbrauchswerte definieren.

Abbildung 83: Polygonbasierte Zuweisung Grüner Infrastruktur im EWA-Planungstool



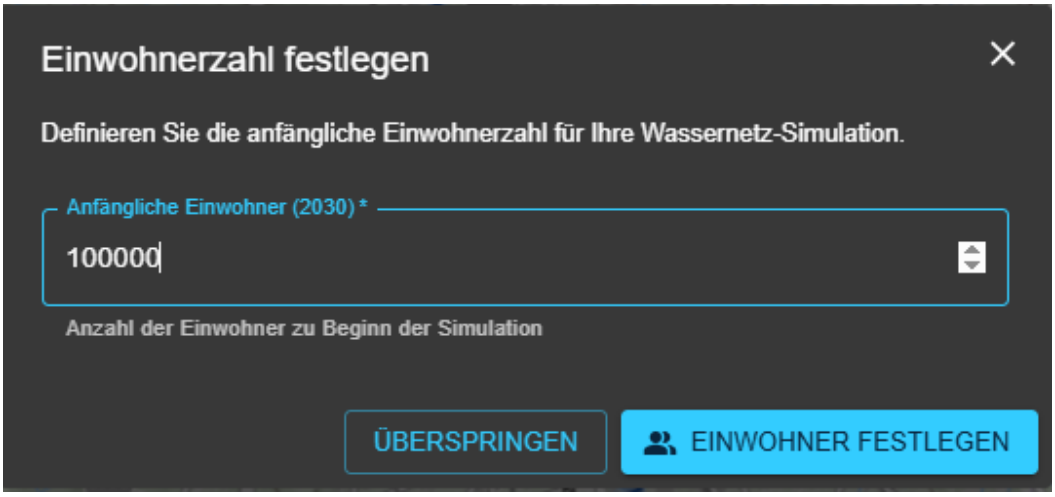
Die Zuweisung beeinflusst den kumulierten Wasserverbrauch der im Polygon enthaltenen Knotenpunkte. Dabei spielt es keine Rolle, ob es sich um normale Knotenpunkte oder um Gebäudeknoten handelt. Die genaue Wirkungsweise orientiert sich an den im Tool hinterlegten Annahmen zum Wasserbedarf sowie zu den Einsparpotenzialen Grüner Infrastruktur.

Mittels dieser Erweiterung können flächendeckende Szenarien untersucht werden, in denen Grüne Infrastruktur eine Rolle spielt. Dadurch stehen den Nutzerinnen und Nutzern neue strategische Maßnahmen zur Planung, Simulation und Bewältigung von Challenges zur Verfügung.

8.5.1 Leistungsindikator Grüne Infrastruktur pro Einwohner

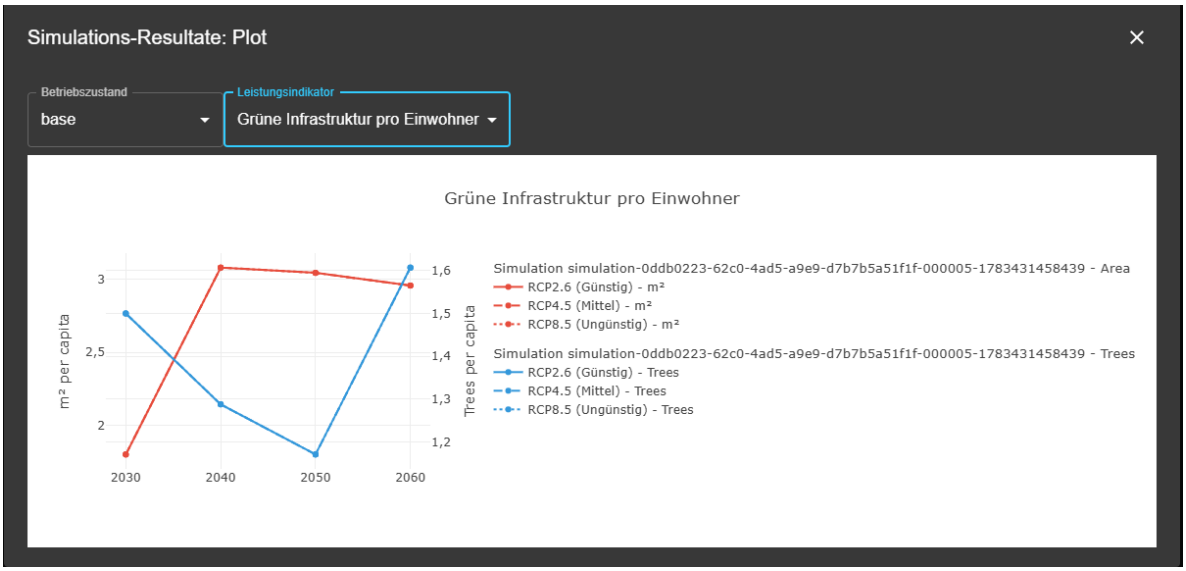
Im Zuge der Integration Grüner Infrastruktur und der Erweiterung der Challenges wurde zusätzlich ein neuer Leistungsindikator entwickelt. Dieser bewertet das Verhältnis der vorhandenen Grünen Infrastruktur zur Einwohnerzahl des Versorgungsgebiets und stellt dieses grafisch dar. Grundlage für die Berechnung ist die Einwohnerzahl, welche vor Beginn der Simulation einmalig durch die Nutzerinnen und Nutzer festgelegt wird. Diese Information ist ein neuer Bestandteil des Tools und muss für jedes Modell separat hinterlegt werden. Die Einwohnerzahl entwickelt sich in den weiteren Simulationsjahren entsprechend der im Tool hinterlegten Entwicklungsszenarien.

Abbildung 84: Festlegen der Einwohnerzahl im Planungstool



Der Leistungsindikator berechnet für jedes Simulationsjahr sowohl die vorhandene Fläche Grüner Infrastruktur in Quadratmetern pro Einwohner als auch die Anzahl der Bäume pro Einwohner, wobei beide Kenngrößen getrennt betrachtet werden. Nach Abschluss der Simulation werden beide Kennzahlen gemeinsam als zeitlicher Verlauf über die einzelnen Simulationsjahre in einem Diagramm dargestellt. Dadurch kann die Entwicklung der Grünen Infrastruktur im Verhältnis zur Einwohnerzahl bewertet und zusätzliche Maßnahmen für die Zukunft geplant werden.

Abbildung 85: Darstellung Leistungsindikator Grüne Infrastruktur pro Einwohner



Der Leistungsindikator dient als Grundlage für zukünftige Challenges innerhalb des EWA-Tools und erweitert die Möglichkeiten zur Bewertung und zum Vergleich unterschiedlicher Planungsvarianten.

8.6 Erweiterung Gamification-System

Gamification bezeichnet den Einsatz von Spielelementen in nicht-spielerischen Anwendungskontexten. Dazu zählen etwa Aufgaben, Zielzustände, Fortschrittsanzeigen, Punkte, Auszeichnungen, Feedbackmechanismen, Rollen, narrative Elemente oder schrittweise freigeschaltete Inhalte. Im Unterschied zu einem vollwertigen Spiel wird dabei nicht zwingend eine eigenständige Spielwelt entwickelt. Vielmehr werden ausgewählte Gestaltungsprinzipien aus Spielen genutzt, um bestehende Arbeits-, Lern- oder Planungsprozesse verständlicher, motivierender und interaktiver zu gestalten. In der Literatur wird Gamification

häufig als „the use of game design elements in non-game contexts“ definiert (Deterding et al., 2011). Studien zeigen, dass Gamification positive Effekte auf Motivation, Engagement und Lernverhalten haben kann, wobei diese Effekte stark vom Anwendungskontext, den eingesetzten Spielelementen und der Zielgruppe abhängen (J. Hamari, J. Koivisto, and H. Sarsa, 2014).

Das bisher bestehende Gamification-System im EWA-Planungstool dient dazu, komplexe Fragestellungen der Trinkwasserversorgung in eine interaktive und nachvollziehbare Form zu überführen. Zentrales Element sind sogenannte Challenges, die aus mehreren Aufgaben und Aufgabengruppen bestehen und auf konkreten Planungs- oder Betriebssituationen basieren. Nutzer:innen bearbeiten diese Aufgaben direkt im Versorgungsnetz, indem sie beispielsweise die Leitungsinfrastruktur anpassen oder Betriebsparameter verändern.

Die Aufgaben können dabei aus einem vordefinierten Pool ausgewählt und bei der Erstellung einer Challenge angepasst werden. Der Fortschritt wird kontinuierlich überprüft, indem die Ergebnisse der hydraulischen Simulationen und Zustandsänderungen mit vordefinierten Zielkriterien verglichen werden. Auf diese Weise werden planerische Entscheidungen unmittelbar mit ihren Auswirkungen auf die Versorgungssicherheit, die Leistungsindikatoren und das Netzverhalten verknüpft.

Ergänzend dazu nutzt das Gamification-System visuelle Rückmeldungen und Belohnungsmechanismen, um Lernprozesse zu unterstützen und die Motivation zu fördern. Das erfolgreiche Abschließen von Aufgaben und Herausforderungen wird durch Punkte, Pokale oder Statusanzeigen sichtbar gemacht, wodurch Nutzer:innen Rückmeldung über ihren Fortschritt erhalten. Gleichzeitig ermöglicht das System die schrittweise Einführung neuer Inhalte, sodass sich der Schwierigkeitsgrad anpassen lässt und komplexe wasserwirtschaftliche Zusammenhänge nachvollziehbar vermittelt werden können.

Das bisherige System hatte jedoch Einschränkungen, die im gegenständlichen Projekt behoben wurden. Außerdem wurden die oben beschriebenen Neuerungen hinsichtlich neuer Knotentypen und Grüner Infrastruktur berücksichtigt, damit diese in neue Challenges einbezogen werden können.

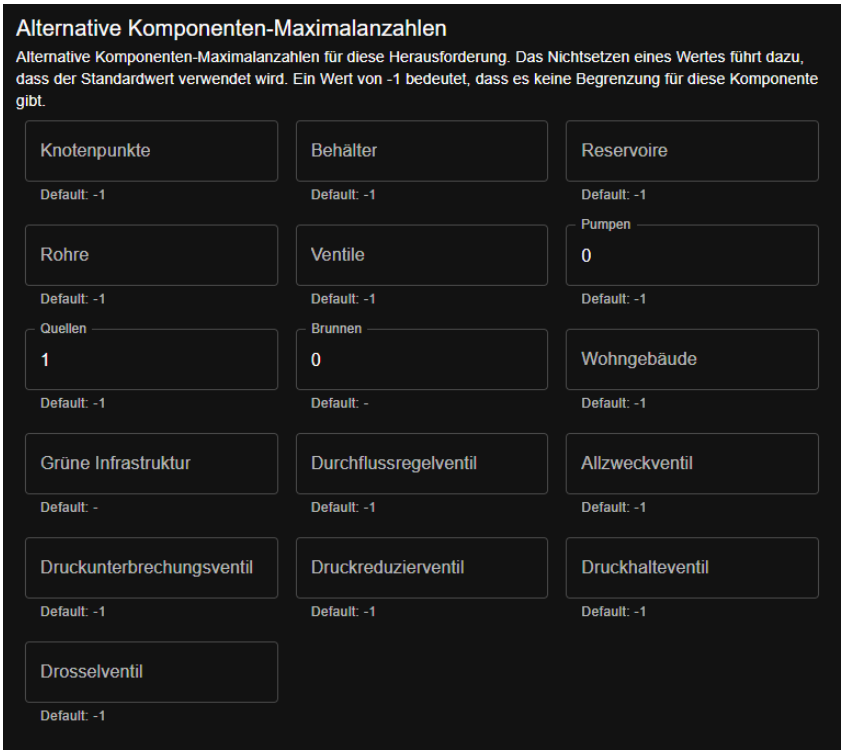
8.6.1 Limitierung der platzierbaren Komponenten

Im Zuge des Projekts EWA zeigte sich, dass es notwendig ist, die Anzahl der platzierbaren Infrastrukturkomponenten zu begrenzen, da viele Aufgabenstellungen beispielsweise

durch das massive Platzieren neuer Brunnen gelöst werden können. Fachlich ergeben solche Lösungen jedoch offensichtlich wenig Sinn und sind didaktisch ebenfalls nicht zielführend. Aus wasserwirtschaftlicher Sicht ermöglicht diese Erweiterung deshalb eine deutlich realistischere Abbildung planerischer Randbedingungen, da in realen Versorgungssystemen neue Brunnen, Quellen oder andere Anlagen nicht beliebig häufig errichtet werden können. Die Begrenzung zwingt Spielende dazu, bestehende Ressourcen effizient zu nutzen, unterschiedliche Lösungsansätze gegeneinander abzuwägen und Maßnahmen gezielt dort einzusetzen, wo sie unter den gegebenen Rahmenbedingungen die größte Wirkung entfalten. In Abbildung 86 ist das Menü zur Einstellung der maximal zulässigen Anzahl einzelner Komponentenarten bei der Erstellung einer Challenge dargestellt.

Diese Funktionalität wurde umgesetzt, indem eine sogenannte „maxCountsMap“ eingeführt wurde, die in den Einstellungen einer Challenge innerhalb eines EWA-Modells hinterlegt werden kann. In dieser Zuordnung kann für jeden Komponententyp eine maximale Anzahl definiert werden, die den Spielenden während der Bearbeitung der Challenge zur Verfügung steht. Wird für einen Komponententyp der Wert 0 festgelegt, ist dieser innerhalb der jeweiligen Challenge vollständig ausgeschlossen. Auf diese Weise lassen sich sowohl restriktive Planungsszenarien als auch gezielte didaktische Fragestellungen abbilden, in denen bestimmte Lösungswege bewusst eingeschränkt oder ausgeschlossen werden.

Abbildung 86: Einstellung der maximalen Anzahl an platzierbaren Komponenten beim Erstellen einer Challenge



8.6.2 Automatisierte Modelladaption

Außerdem zeigte sich im Projektverlauf, dass eine automatisierte und zeitlich gesteuerte Veränderung des Versorgungssystems während einer Challenge neue didaktische und planerische Möglichkeiten eröffnen könnte. Aus diesem Grund wurde eine Funktion eingeführt, mit der bestimmte Systembestandteile dem Modell erst schrittweise im Verlauf einer Challenge hinzugefügt werden können. Dadurch ist es beispielsweise möglich, neue Versorgungsgebiete, zusätzliche Verbrauchsknoten oder Einspeisequellen erst nach dem Erreichen definierter Zwischenziele freizuschalten. Solche Mechanismen ermöglichen die realitätsnahe Abbildung von Ausbauphasen oder zeitlich gestaffelten Maßnahmen. Die entsprechende Einstellung kann bei der Erstellung einer Challenge für jede einzelne Modellkomponente vorgenommen werden. Abbildung 87 zeigt beispielsweise einen Knotenpunkt, der erst nach dem erfolgreichen Abschluss der Aufgabengruppe “TaskGroup 1” zum Modell hinzugefügt wird.

Diese Funktionalität wird über ein neues Attribut “appearAfterTaskGroupIndex” umgesetzt, das bei allen Modellkomponenten gesetzt werden kann und somit als Teil eines EWA-Modells gespeichert wird. In der Kartenansicht werden diese Komponenten ausgeblendet, bis

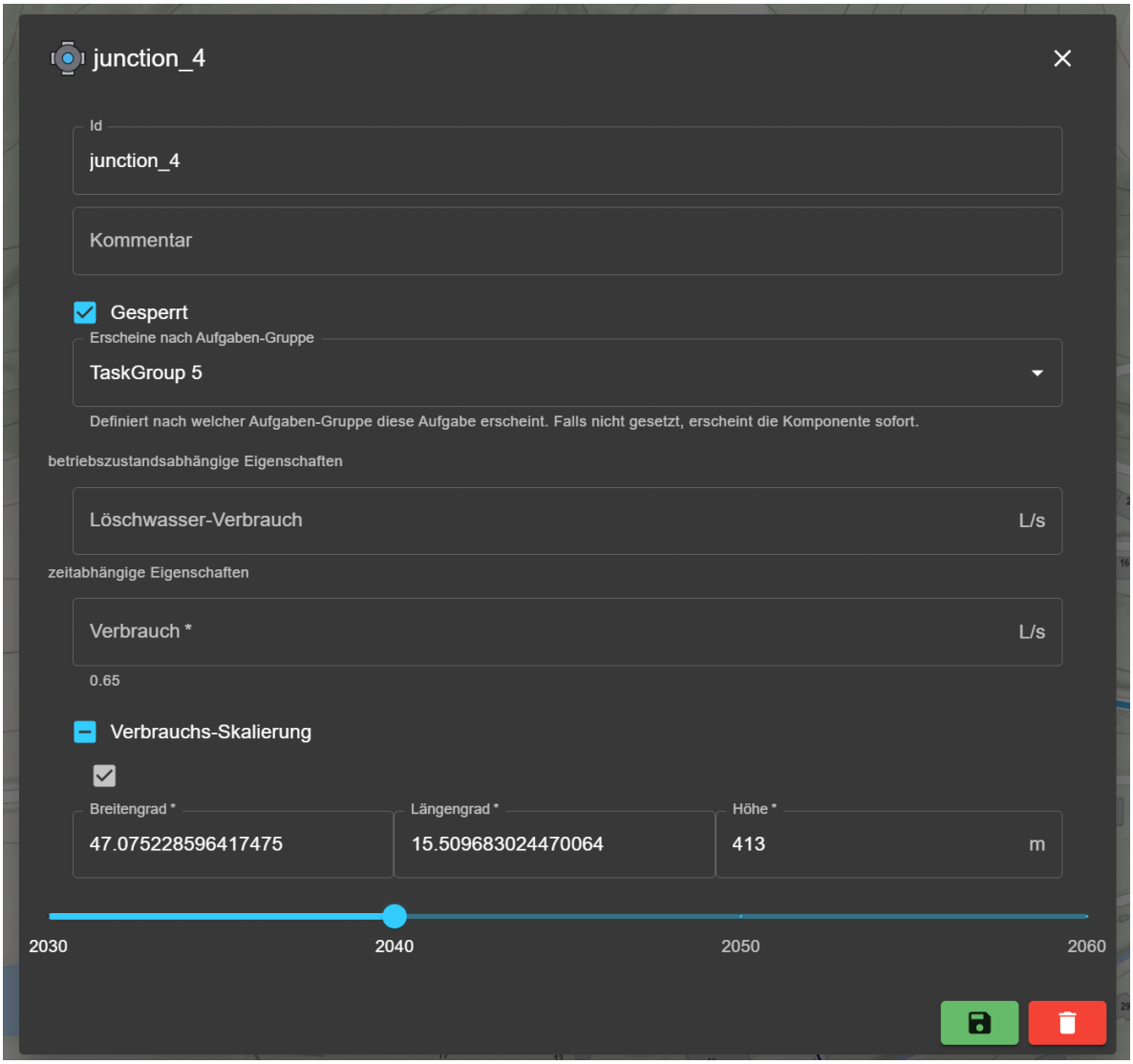
die jeweils angegebene Aufgabengruppe erreicht ist. Neben der Visualisierung in der Weboberfläche werden diese Komponenten in der hydraulischen Simulation erst nach dem Erreichen der Aufgabengruppe berücksichtigt.

8.6.3 Sperren von Modellkomponenten

Zusätzlich kann nun für jede Challenge festgelegt werden, in welchem Umfang zu Beginn vorhandene Modellkomponenten von den Spielenden verändert oder entfernt werden dürfen. Diese Erweiterung adressiert ein zentrales Problem früherer Challenges, bei denen Zielzustände teilweise durch das bloße Löschen unterversorgter Netzbestandteile erreicht werden konnten, ohne sich mit den zugrunde liegenden planerischen Ursachen auseinanderzusetzen. Durch das gezielte Sperren ausgewählter Komponenten lassen sich nun fixe Rahmenbedingungen definieren, etwa bestehende Siedlungsstrukturen, unveränderliche Einspeisepunkte oder vorgegebene Netzabschnitte. Dadurch rücken realitätsnahe planerische Fragestellungen stärker in den Vordergrund, bei denen mit den gegebenen infrastrukturellen und betrieblichen Randbedingungen gearbeitet werden muss, statt sie zu umgehen.

Die Umsetzung dieser Funktionalität erfolgt über ein neues Attribut „locked“, das für jede Komponente eines EWA-Modells definiert werden kann. Gesperrte Komponenten können in der Kartenansicht weder verschoben noch gelöscht werden, zudem sind Änderungen an ihren Eigenschaften nicht mehr möglich. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass zentrale Strukturelemente eines Szenarios während einer Challenge unverändert bleiben. Die Sperrung wird in der Benutzeroberfläche durch eine entsprechende Kennzeichnung im Eigenschaftenmenü der jeweiligen Komponente angezeigt. Abbildung 87 zeigt exemplarisch die Eigenschaften eines Knotenpunkts, der für die Bearbeitung durch die Spielenden gesperrt wurde.

Abbildung 87: Eigenschaften eines Knotenpunkts, der von den Spielenden nicht verändert werden kann (aktivierte “Gesperrt”-Option) und der erst nach erfolgreicher Absolvierung der Aufgabengruppe “TaskGroup 5” im Modell angezeigt wird.

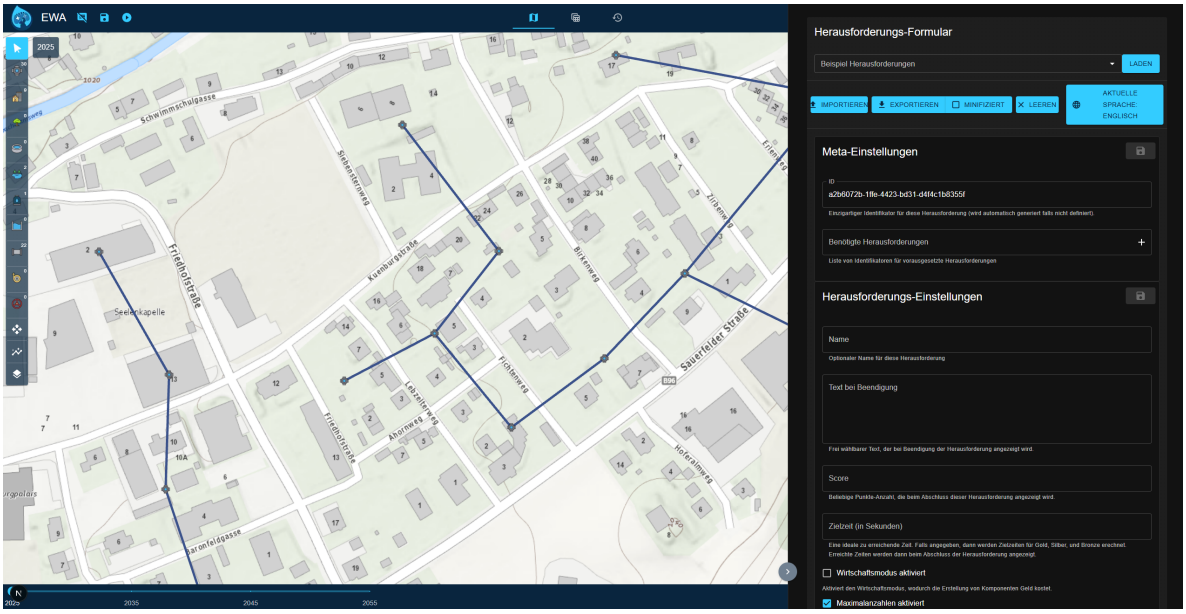


8.6.4 Szenario-Editor

Schlussendlich erforderte die Einführung dieser erweiterten Gamification-Funktionalitäten eine grundlegende Überarbeitung des bisherigen Challenge-Editors. Im bisherigen Workflow waren die Erstellung von Modellen, die Definition von Aufgaben sowie die Festlegung challenge-spezifischer Randbedingungen voneinander getrennt. So wurden die Modelle in der Kartenansicht vorbereitet, während die Challenges im Challenge-Editor erstellt und nachträglich in die Modelle importiert wurden. Im Zuge des Projekts GAIA wurde ein neuer Szenario-Editor entwickelt, der die Kartenansicht direkt mit dem Challenge-Editor kombi-

niert und somit die räumliche Struktur des Versorgungsnetzes unmittelbar mit den spielerischen und planerischen Vorgaben verknüpft. Dadurch können Modelle, Aufgaben und Randbedingungen in einem gemeinsamen, konsistenten Arbeitsprozess erstellt und angepasst werden, ohne zwischen unterschiedlichen Ansichten wechseln zu müssen. Dies war insbesondere für das Sperren von Komponenten und das phasenweise Freischalten von Netzabschnitten zwingend erforderlich. Abbildung 88 zeigt den neuen Szenario-Editor mit der Kartenansicht links und den Einstellungen der Challenge rechts.

Abbildung 88: Szenario-Editor mit einer kombinierten Ansicht aus Challenge-Editor und Kartenansicht



8.6.5 Aufgabentypen für Gebäudebausteine

Zusätzlich zu den oben beschriebenen grundsätzlichen Erweiterungen des Gamification-Systems wurden auch die im Projekt GAIA gewonnenen Erkenntnisse sowie die neuen Funktionalitäten des EWA-Tools berücksichtigt. Dafür wurden neue Aufgabentypen im vordefinierten Aufgabenpool hinterlegt, damit sie in neuen Challenges verwendet werden können.

Die folgenden neuen Aufgaben stehen nun im Szenario-Editor zur Verfügung:

- Gebäudetyp hinzufügen oder löschen
- Anzahl an Wohneinheiten in einem Gebäudetyp ändern

- Attribute eines Wohnabschnitts ändern (geodätische Höhe, Wasserbedarf, Löschwasserbedarf, Lebenszeit, Kommentar)
- Bewohnerzahl einer Wohneinheit ändern
- Einwohnerspezifischen Wasserbedarf einer Wohneinheit ändern
- Wohnformtyp ändern

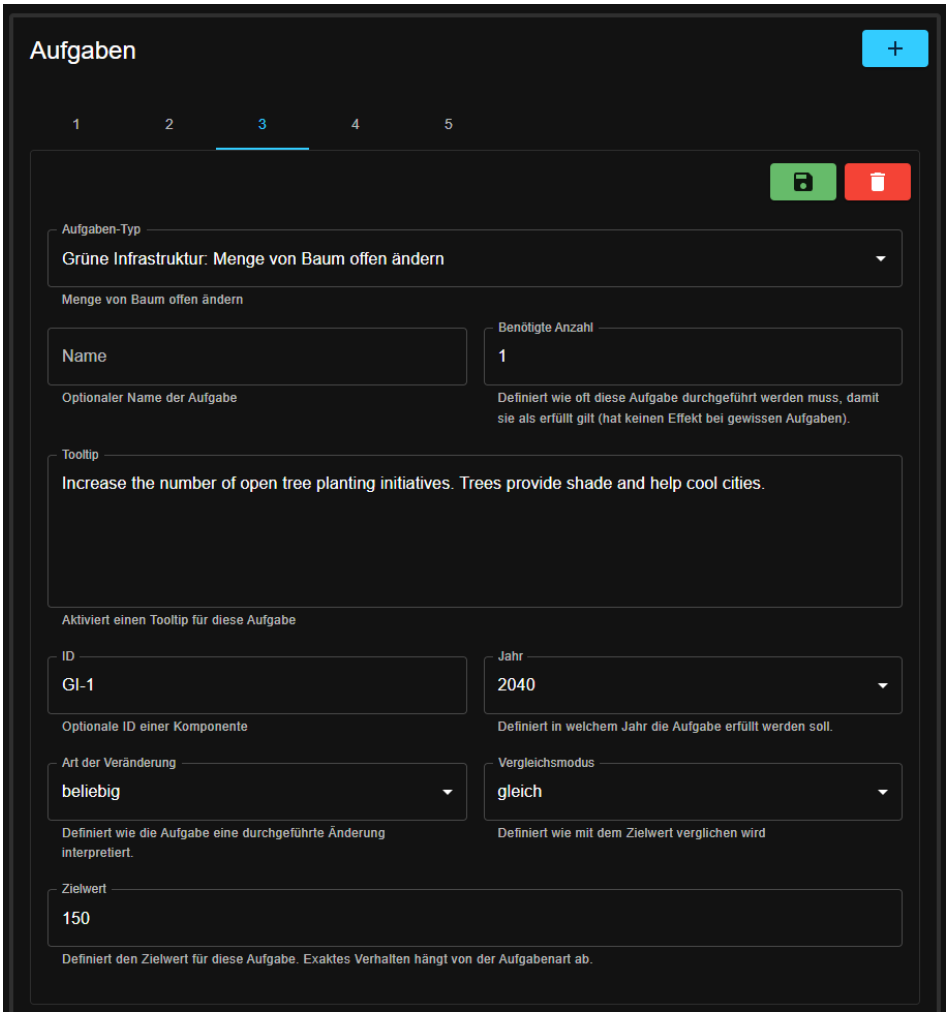
8.6.6 Aufgabentypen für Grüne Infrastruktur

Auch die Integration Grüner Infrastruktur (GI) wurde im Aufgabenpool des Gamification-Systems berücksichtigt. Für die im Tool verfügbaren Typen Grüner Infrastruktur können nun Aufgaben definiert werden, mit denen entweder die Größe bzw. Anzahl der GI-Elemente oder deren Wasserverbrauch angepasst werden.

Die Aufgaben lassen sich zusätzlich präzisieren: Es kann festgelegt werden, welches konkrete GI-Element angepasst werden soll und in welchem Jahr die Anpassung erfolgen soll. Darüber hinaus kann ein Zielwert definiert werden, der entweder exakt erreicht werden muss oder mittels Vergleichsoperatoren beschrieben werden kann. Unterstützt werden dabei Bedingungen wie gleich, ungleich, größer als, größer gleich, kleiner gleich oder kleiner als.

Damit können Grüne-Infrastruktur-Maßnahmen gezielt in Challenges eingebunden werden. Nutzer:innen können beispielsweise untersuchen, wie sich unterschiedliche Begrünungsmaßnahmen auf den Wasserbedarf auswirken, welche Maßnahmen unter bestimmten Randbedingungen zulässig sind und wie Grüne Infrastruktur in langfristige Versorgungsszenarien integriert werden kann. Abbildung 89 zeigt beispielhaft die Aufgabeneinstellungen für eine Aufgabe zur Änderung eines GI-Elements vom Typ „Baum offen“.

Abbildung 89: Aufgabeneinstellungen für eine Aufgabe zur Änderung eines GI-Elements vom Typ „Baum offen“



8.6.7 Demonstrations-Challenge für die erweiterten Funktionen

Zur Demonstration der neuen Funktionalitäten im EWA-Tool sowie zur Einbettung der neuen Verbrauchsbausteine und der Grünen Infrastruktur wurde eine neue Challenge erstellt. Grundlage dafür war die bereits bestehende und im EWA-Tool genutzte Challenge „Future Problems“, in der zwei Trinkwasserversorgungssysteme miteinander verbunden, optimiert und unter veränderten Rahmenbedingungen stabilisiert werden mussten. Während in der ursprünglichen Challenge insbesondere hydraulische Probleme aufgrund zurückgehender Ressourcen und steigender Wasserbedarfe im Vordergrund standen, wurde die neue Challenge so vorbereitet, dass zu Beginn keine unmittelbaren hydraulischen Defizite in den Netzen auftreten. Der Fokus liegt stattdessen auf der schrittweisen Vermittlung der neuen Funktionen und deren Anwendung in einem zusammenhängenden Planungsszenario.

Die Challenge besteht aus zwei fiktiven Trinkwasserversorgungssystemen, die topologisch aus der bestehenden Vorlage übernommen und für die neue Aufgabenstellung erweitert wurden. Das „Netz West“ umfasst eine Ringleitung mit mehreren Stichleitungen, einen Wasserbehälter sowie eine Quelle, mit der das System versorgt wird. Das kleinere „Netz Ost“ verfügt über keine Ringleitung und wird über einen Brunnen kombiniert mit einem Hochbehälter versorgt. Im Laufe der Challenge wird das System dabei schrittweise erweitert. Abbildung 90 zeigt die Netztopologie der Challenge mit den beiden getrennten Systemen in der Endphase der Challenge, Abbildung 91 die Topologie zu Beginn.

Abbildung 90: Finale Netztopologie der Challenge, bestehend aus den beiden getrennten Systemen „Netz West“ und „Netz Ost“

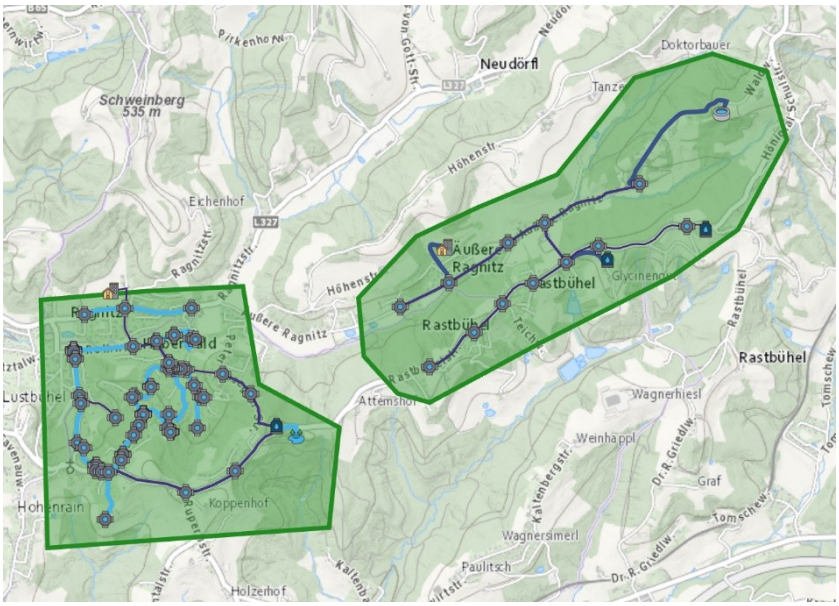
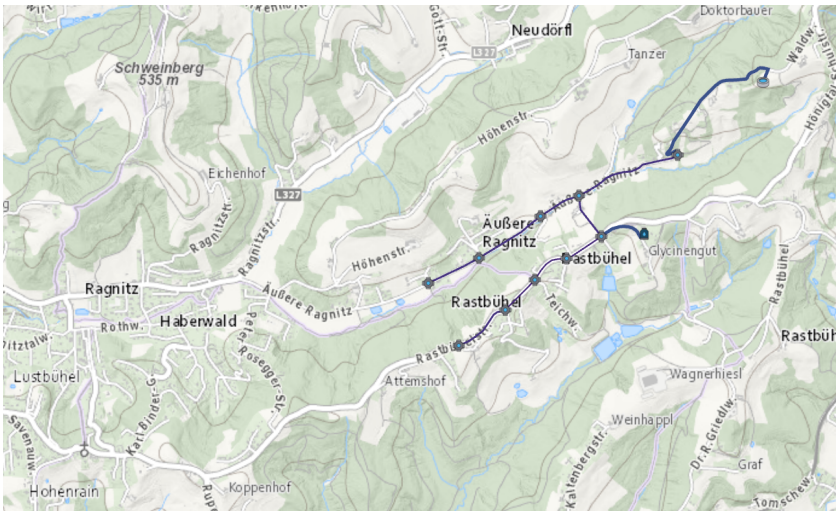


Abbildung 91: Netztopologie zu Beginn der Challenge. Sichtbar ist lediglich das "Netz Ost"

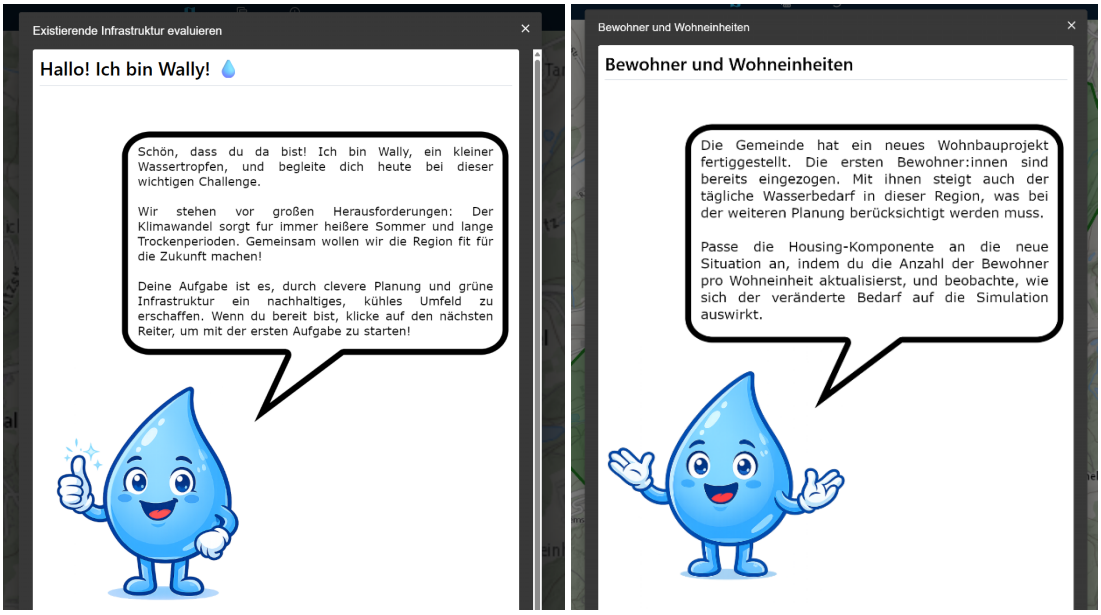


Das System wird im Verlauf der Challenge in mehreren Schritten erweitert und angepasst. Zu Beginn wird ausschließlich das „Netz Ost“ dargestellt, noch ohne Gebäudebausteine oder Grüne Infrastruktur. Danach wird das Netz um eine erste GI-Komponente erweitert, die von den Nutzer:innen angepasst werden muss. Anschließend wird ein neues Versorgungsgebiet in Form eines Gebäudebausteins freigeschaltet, dessen Parameter ebenfalls angepasst werden. Nach diesen Bearbeitungsschritten führen die Nutzer:innen jeweils eine Simulation durch, um die Auswirkungen der vorgenommenen Änderungen auf den Wasserbedarf, das Verhalten des Versorgungssystems sowie den neuen oben beschriebenen Leistungsindikator zu Grüner Infrastruktur zu analysieren. In der finalen Phase wird zusätzlich das „Netz West“ freigeschaltet, das ebenfalls mit verschiedenen GI-Elementen versehen wird. Dadurch wird die Funktionalität der automatisierten Modelladaption genutzt, um das Szenario nicht vollständig auf einmal, sondern schrittweise und didaktisch geführt aufzubauen.

Zur Vermittlung der Inhalte wurde ein geschlechtsneutraler Avatar "Wally" gestaltet, der comicartig in Sprechblasen mit den Nutzer:innen kommuniziert. Die Verwendung eines Avatars mit Sprechblasen dient in der Anwendung nicht als intelligenter pädagogischer Agent, sondern als visuell-personalisierte Vermittlungsform. Im Vergleich zu rein textbasierten Darstellungen können dialogisch aufbereitete Inhalte zugänglicher wirken, da Informationen einer sprechenden Figur zugeordnet, stärker segmentiert und in einer persönlicheren Kommunikationsform präsentiert werden. Forschung zum Personalisierungsprinzip in multimedialen Lernumgebungen zeigt, dass Lernende Inhalte unter bestimmten Bedingungen besser verarbeiten können, wenn Erklärungen in einem konversationellen statt in einem

rein formalen Stil formuliert sind (Mayer et al., 2004; Kartal, 2010). Abbildung 92 zeigt beispielhaft die Einführung in die erste Aufgabengruppe durch den Avatar.

Abbildung 92: Darstellung einer Aufgabenstellung durch den "Wally"-Avatar im Rahmen einer Challenge



Die Challenge umfasst insgesamt sechs Aufgabengruppen. In der ersten Aufgabengruppe wird der aktuelle Zustand der Region analysiert. Die Nutzer:innen starten eine Simulation, um sich mit dem Ist-Zustand des Versorgungsgebiets vertraut zu machen, bevor planerische Maßnahmen ergriffen werden. Diese Phase dient der Orientierung im Modell und vermittelt die Ausgangssituation der Trinkwasserversorgung im betrachteten Gebiet.

In der zweiten Aufgabengruppe platzieren bzw. bearbeiten die Nutzer:innen ihre erste Maßnahme der Grünen Infrastruktur innerhalb eines vordefinierten Bereichs. Dabei wird die Anzahl offener Baumpflanzungen über das Einstellungsmenü der Grünen Infrastruktur erhöht, wobei diese Art der Grünen Infrastruktur den Nutzer:innen auch erklärt wird. Auf diese Weise wird exemplarisch gezeigt, wie GI-Elemente im Modell angepasst werden können und wie sich diese Änderungen in der anschließenden Simulation auswirken. Die dritte Aufgabengruppe erweitert das Spektrum der eingesetzten Begrünungstypen. Die Nutzer:innen fügen weitere GI-Maßnahmen hinzu, darunter extensive Dachbegrünungen und Staudenflächen.

In der vierten Aufgabengruppe verlagert sich der Fokus von der Begrünung hin zur Bedarfsseite der Wasserversorgung. Der Avatar informiert die Nutzer:innen darüber, dass in der Beispielregion eine neue Wohnsiedlung fertiggestellt wurde und erste Bewohnerinnen eingezogen sind. Dadurch steigt der tägliche Wasserbedarf in der Region, der in der weiteren Planung zu berücksichtigen ist. Die Nutzer:innen passen daraufhin die Anzahl der Bewohner:innen pro Wohneinheit des zuvor freigeschalteten Gebäudeknotens an und analysieren anschließend, wie sich der veränderte Verbrauch auf die Simulationsergebnisse auswirkt. Abbildung 93 zeigt den Vergleich des „Netz Ost“ vor und nach der Freischaltung des neuen Gebäudeknotens.

Abbildung 93: Vergleich des ”Netz Ost” vor (links) und nach (rechts) der Freischaltung eines neuen Gebäudeknotens durch die zugehörige Aufgabengruppe



In der fünften Aufgabengruppe liegt der Fokus erneut auf der Vegetationsstruktur. Durch die Erhöhung der Anzahl an Bäumen mit Unterpflanzung wird die Wirkung mehrschichtiger Vegetationssysteme auf das lokale Mikroklima thematisiert und mit einfacheren Begrünungsformen aus den vorangegangenen Aufgabengruppen verglichen.

Die sechste und letzte Aufgabengruppe überträgt die zuvor erarbeiteten Prinzipien auf ein weiteres, bis dahin noch nicht bearbeitetes Gebiet, das "Netz West". Dieses wird den Nutzer:innen erst nach Abschluss der vorherigen Aufgabengruppen freigeschaltet. Dadurch wird die Funktion der phasenweisen Modellfreischaltung erneut eingesetzt und mit der inhaltlichen Progression der Challenge verknüpft. Auch im "Netz West" müssen die Nutzer:innen nun verschiedene GI-Elemente platzieren.

Über den gesamten Verlauf der Challenge hinweg wird zusätzlich die Funktionalität zur Begrenzung der maximal zulässigen Anzahl an platzierbaren Komponenten genutzt. Dadurch wird verhindert, dass Zielzustände durch das übermäßige Platzieren einzelner GI-Elemente erreicht werden. Die Nutzer:innen müssen stattdessen innerhalb definierter planerischer Rahmenbedingungen arbeiten und unterschiedliche Maßnahmen gezielt einsetzen. Zusätzlich wurden die bestehenden Systembestandteile gesperrt, sodass nur jene Komponenten bearbeitet werden können, die für die erfolgreiche Bearbeitung der Challenge erforderlich sind. Auf diese Weise demonstriert die Challenge das Zusammenspiel der neuen Gebäudebausteine, der Integration Grüner Infrastruktur sowie der erweiterten Gamification-Mechanismen in einem konsistenten, schrittweise aufgebauten Szenario. Sie zeigt exemplarisch, wie die im Projekt GAIA entwickelten Erweiterungen des EWA-Tools genutzt werden können, um wasserwirtschaftliche und klimabezogene Planungszusammenhänge praxisnah, interaktiv und nachvollziehbar zu vermitteln.

9 Zusammenfassung

Ausgangspunkt dieses Projekts ist die zunehmende Belastung urbaner Räume durch den Klimawandel. Steigende Temperaturen, längere Hitze- und Trockenperioden sowie veränderte Niederschlagsmuster wirken sich direkt auf das Stadtklima, den urbanen Wasserhaushalt und die Siedlungswasserwirtschaft aus. Gleichzeitig gewinnt die Grüne Infrastruktur als Maßnahme zur Klimawandelanpassung zunehmend an Bedeutung. Sie verbessert durch Verdunstung, Verschattung, Biodiversität und Regenwasserrückhalt die Lebensqualität in Städten. Um diese Funktionen auch während längerer Hitze- und Trockenperioden aufrechtzuerhalten, ist eine ausreichende Wasserverfügbarkeit erforderlich. Da urbane Grünflächen häufig mit Trinkwasser bewässert werden, entsteht ein zentraler Zielkonflikt: Der Ausbau Grüner Infrastruktur stärkt zwar die Klimaresilienz von Städten, erhöht jedoch gleichzeitig den Bewässerungsbedarf und kann die Trinkwasserversorgung zusätzlich belasten.

Ziel dieser Arbeit war es, den zukünftigen Bewässerungsbedarf urbaner Grüner Infrastruktur unter Berücksichtigung von Klimawandel und Stadtentwicklung zu quantifizieren sowie das Potenzial alternativer Wasserressourcen zur Reduktion des Trinkwasserbedarfs zu bewerten.

Zur Erreichung dieses Ziels wurden im Projekt die fachlichen, methodischen und technischen Grundlagen entwickelt. In Kapitel 2 wurden unterschiedliche Typen Grüner Infrastruktur, geeignete Bewässerungsstrategien und relevante Datengrundlagen analysiert. Hieraus entstand ein Katalog mit neun GI-Typen, der verschiedene Pflanzen- und Begrünungstypen und deren wasserbezogene Eigenschaften systematisch zusammenfasst. Zur Erarbeitung praxisnaher Ergebnisse wurden in Kapitel 4 die drei Case Studies Leibnitz, Wels und Eisenstadt untersucht. Sie unterscheiden sich hinsichtlich Stadtstruktur, Bebauungsdichte, Grünraumanteil und zukünftiger Stadtentwicklung und bilden damit unterschiedliche Randbedingungen für die Bewässerung urbaner Grüner Infrastruktur ab. Für jede Case Study wurden städtebauliche Analysen durchgeführt und standortspezifische Begrünungsszenarien entwickelt.

Auf Grundlage der Case Studies wurden die für die Berechnung des Bewässerungsbedarfs nach der Landscape Coefficient Method (LCM) erforderlichen Eingangsparameter abgeleitet. Dazu zählen insbesondere die räumliche Verteilung der GI-Typen, deren Flächenanteile,

vegetationsspezifische Wasserbedarfskoeffizienten sowie klimatische Eingangsgrößen. Der Bewässerungsbedarf wurde sowohl auf Quartiers- als auch auf regionaler Ebene berechnet. Während die Quartiersebene kleinräumige Unterschiede sowie konkrete Anforderungen an Bewässerungs- und Speicherkonzepte sichtbar macht, erlaubt die regionale Ebene eine übergeordnete Abschätzung zukünftiger Entwicklungen und deren Bedeutung für die Trinkwasserversorgung. Die Verknüpfung von Landbedeckung, Flächenwidmung, Klimaprojektionen und Begrünungsszenarien ermöglichte eine räumlich differenzierte und szenarienbasierte Abschätzung des zukünftigen Bewässerungsbedarfs. Zur Berücksichtigung klimatischer Unsicherheiten wurden neben den Klimaszenarien auch Trocken-, Durchschnitts- und Nassjahre ausgewertet. Dadurch konnte die Bandbreite des zukünftigen Bewässerungsbedarfs aufgezeigt und die Variabilität zwischen unterschiedlichen Witterungsbedingungen berücksichtigt werden. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass insbesondere Trockenjahre die höchsten Anforderungen an Bewässerungs- und Speichersysteme stellen und daher bei der langfristigen Planung berücksichtigt werden müssen.

Die regionalen Analysen zeigen, dass der zukünftige Bewässerungsbedarf sowohl durch den Klimawandel als auch durch den Ausbau Grüner Infrastruktur beeinflusst wird. Bereits unter den bestehenden Begrünungsstrukturen führt der Klimawandel zu einem steigenden Bewässerungsbedarf, der durch zusätzliche Begrünungsmaßnahmen weiter zunimmt. Besonders ausgeprägt ist diese Entwicklung in Optimierungsszenarien mit einem höheren Anteil klimatisch wirksamer Vegetation. Gleichzeitig unterscheiden sich die regionalen Handlungsspielräume deutlich, da Wasserangebot, Siedlungsstruktur, Sammelflächen, Grauwasserpotenzial und Umfang der Grünen Infrastruktur standortspezifisch variieren. Für die Planung ist insbesondere die Vegetationsperiode von April bis Oktober entscheidend. Dabei sind nicht Jahresmittelwerte ausschlaggebend, sondern Trockenjahre, Leertage und Spitzenwasserbedarfstage, da sie die Anforderungen an die Versorgungssicherheit maßgeblich bestimmen. Die Ergebnisse zeigen damit, dass die Dimensionierung zukünftiger Bewässerungs- und Speichersysteme auf Extremereignissen und nicht ausschließlich auf mittleren Klimabedingungen basieren sollte.

Die Case Studies verdeutlichen diese Unterschiede auf Quartiersebene. In Leibnitz zeigte sich das größte Potenzial zur Reduktion des Trinkwasserbedarfs durch die kombinierte Nutzung von Grau- und Regenwasser. Bereits mittelgroße Speicher ermöglichten einen Großteil der maximal erreichbaren Einsparungen. In Wels war das Potenzial aufgrund der ausschließlichen Nutzung von Regenwasser vor allem durch das verfügbare Wasserangebot begrenzt. Hier erwies sich nicht die Speichergröße, sondern die verfügbare Wassermenge als limitierender Faktor. Eisenstadt zeigte hingegen, dass hohe Einsparpotenziale nicht zwangsläufig

eine hohe Versorgungssicherheit bedeuten. Trotz großer Speicher bleibt der Bewässerungsbedarf während längerer Trockenperioden aufgrund des hohen Grünflächenanteils vergleichsweise hoch. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass standortspezifische Randbedingungen den Nutzen alternativer Wasserressourcen maßgeblich beeinflussen und pauschale Bewässerungskonzepte nicht zielführend sind.

Ein weiterer Schwerpunkt war die Bewertung alternativer Wasserressourcen. Grauwasser stellt aufgrund seiner kontinuierlichen Verfügbarkeit eine zuverlässige Ressource zur Deckung des Grundbedarfs dar, während Regenwasser stärker von Niederschlagsverteilung, Sammelflächen und Speicherkapazitäten abhängt. Die größten Einsparpotenziale ergeben sich daher durch die Kombination beider Ressourcen. Gleichzeitig zeigen die regionalen Analysen, dass das verfügbare Grauwasserpotenzial allein nicht ausreicht, um den zukünftigen Bewässerungsbedarf während der Vegetationsperiode vollständig zu decken. Alternative Wasserressourcen können den Trinkwasserbedarf somit deutlich reduzieren, ihn jedoch insbesondere während längerer Trockenperioden nicht vollständig ersetzen.

Die Untersuchungen zeigen außerdem, dass größere Speicher nicht zwangsläufig zu höheren Trinkwassereinsparungen führen. Entscheidend ist vielmehr das Verhältnis zwischen Wasserangebot und Bewässerungsbedarf. Die untersuchten 50 %-Speichervarianten erwiesen sich häufig als guter Kompromiss zwischen Speichergröße, Investitionskosten und Trinkwassereinsparung. Für die Auslegung zukünftiger Systeme sind daher weniger die Jahresmengen als vielmehr saisonale Verläufe, Leertage, Fehlmengen und Spitzenwasserbedarfstage zu berücksichtigen. Eine bedarfsgerechte Bewässerungssteuerung kann zusätzlich Wasserverluste reduzieren und die Versorgungssicherheit erhöhen.

Im Rahmen des Projekts wurde außerdem das EWA-Tool technisch und funktional erweitert. Neue Verbrauchssteine zur Abbildung von Gebäudeknoten und Grüner Infrastruktur sowie ein neuer Leistungsindikator erweitern die Anwendungsmöglichkeiten des Tools. Ergänzend wurde das Gamification-System ausgebaut, wodurch unterschiedliche Begrünungs- und Bewässerungsszenarien interaktiv analysiert und die Bewusstseinsbildung für eine klimaresiliente und wassersensible Stadtentwicklung unterstützt werden können. Damit stehen die entwickelten Methoden auch für die praxisorientierte Planung und Bewertung klimaresilienter Wasserversorgungskonzepte zur Verfügung.

Insgesamt zeigt das Projekt, dass der zukünftige Bewässerungsbedarf aus dem Zusammenspiel von Klimawandel, Stadtentwicklung und Wasserverfügbarkeit entsteht und daher nicht isoliert betrachtet werden kann. Eine klimaresiliente Stadtentwicklung erfordert eine

integrierte Planung von Grüner Infrastruktur und Wasserversorgung. Alternative Wasserressourcen können den Trinkwasserbedarf deutlich reduzieren, eine vollständige Substitution ist jedoch insbesondere während Trockenperioden nicht möglich. Eine nachhaltige Bewässerungsstrategie basiert auf der Kombination mit einer standort-angepassten Begrünung und einer entsprechenden, bedarfsgerechten Bewässerungssteuerung, sowie mit der Nutzung von Grau- und Regenwasser und mit geeigneten Speicher-lösungen ergibt eine potenzielle Lösung zum zukünftigen Umgang mit der Ressource Wasser in einem resilienten, urbanen Siedlungsraum.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Richtwerte je Durchgang und Jahressumme des Bewässerungsbedarfs der definierten GI-Typen 23
Tabelle 2: Gegenüberstellung der Anforderungen an die Qualität von gereinigtem Ab- und Grauwasser für unterschiedliche Anwendungen (KBE…Koloniebildende Einheiten; NTU…Nephelometrische Trübungseinheit) 33
Tabelle 3: Gegenüberstellung der maßgebenden Parameter für die Bewässerung bezogen auf das ÖWAV-Regelblatt 407: Empfehlungen für die landwirtschaftliche Bewässerung und die Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser 35
Tabelle 4: Matrix der Entscheidungshilfe 44
Tabelle 5: Ressourcenvergleich für die Bewässerung Grüner Infrastruktur 45
Tabelle 6: Beispiel zur Anwendung der Entscheidungshilfe am Beispiel der Bewässerung von Grüner Infrastruktur 47
Tabelle 7: Flächenanteile Eisenstadt 68
Tabelle 8: Bestandserhebung der Parkplätze am Raiffeisenplatz 74
Tabelle 9: Parkplatzauslastung vor den gewerblichen Öffnungszeiten (6:30–8:30 Uhr) 76
Tabelle 10: Parkplatzauslastung während der Geschäftszeiten (9:00–12:00 Uhr) 76
Tabelle 11: Gegenüberstellung der Parkplatzauslastung 77
Tabelle 12: Übersicht der kategorisierten Parameter „Effektiver Niederschlag“ und „Bewässerungseffizienz“ je GI-Typ nach Xiao et al., 2000; Smets et al., 2019; Säle, 2019; Umweltbundesamt, 2020; Bean et al., 2021; Sinabell, Streicher and Haslmayr, 2021; Sinha, 2022; Lucas-Borja et al., 2023; Gao et al., 2024; Hydro-Air International Irrigation Systems GmbH, 2024 85
Tabelle 13: Zuordnung der LCM-Faktoren in die Kategorien very low, low, moderate/average und high nach University of California (2000) 86
Tabelle 14: Zuweisung des Species-Faktors (Ks) am Beispiel der GI-Typen „Staudenfläche“ und „Baumpflanzung, offene nicht überbaute Pflanzgrube mit/ohne Unterpflanzung“ durch Beispielarten und Ergebnisse aus vorherigen Tasks 88
Tabelle 15: Zuweisung des Density-Faktors (Kd) am Beispiel der relevanten GI-Typen 90
Tabelle 16: Grüne Infrastruktur im Bestand und in der Neuplanung für Case Study Leibnitz 110
Tabelle 17: Berechnete Wassereinsparung durch die Nutzung von alternativen Wasserressourcen im Bestand, Case Study Leibnitz 116
Tabelle 18: Berechnete Wassereinsparung durch die Nutzung von alternativen Wasserressourcen in der Neuplanung, Case Study Leibnitz 117
Tabelle 19: Grüne Infrastruktur im Bestand und der Neuplanung für Case Study Wels ... 118

Tabelle 20: Berechnete Wassereinsparung durch die Nutzung von alternativen Wasserressourcen in der Neuplanung, Case Study Wels 123
Tabelle 21: Berechnete Wassereinsparung durch die Nutzung von alternativen Wasserressourcen in der Neuplanung, Case Study Eisenstadt 128
Tabelle 22: Versorgungslücken zur Deckung 50 % des Bewässerungsbedarfs in Eisenstadt 138
Tabelle 23: Versorgungslücke zur Deckung von 50 % des zukünftigen Bewässerungsbedarfs in Leibnitz 146
Tabelle 24: Versorgungslücke zur Deckung von 50 % des zukünftigen Bewässerungsbedarfs in Wels 153

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Typ A, Gebrauchsrasen im Park. Brno, CZ (Pitha 2024) 11
Abbildung 2: Typ B, Pflaster mit Fugenbegrünung. Hamburg, DE (Pitha 2022) 12
Abbildung 3: Typ C, Staudenflächen im Park. Genf, CH (Pitha 2024) 13
Abbildung 4: Typ D, Wechselflor mit Sommer-blumen im Park. Thun, CH (Pitha 2024) 14
Abbildung 5: Typ E, Strauchfläche im Winter. Wien, AT (Buttinger 2024) 15
Abbildung 6: Typ F, Formhecken im Park. Thun, CH (Pitha 2024) 16
Abbildung 7: Typ G, Baumpflanzung mit Stauden. Tulln an der Donau, AT (Pitha 2023) 17
Abbildung 8: Typ G, Jungbaumpflanzung auf einem Platz. Wien, AT (Pitha 2023). 18
Abbildung 9: Typ H, Extensive Dachbegrünung auf Schrägdach. Wien, AT (Pitha 2023) 19
Abbildung 10: Typ H, Intensive Dachbegrünung als Dachgarten. Wien, AT (Pitha 2022) 20
Abbildung 11: Typ I, Bodengebunden Vertikalbegrünung. Brno, CZ (Pitha 2024) 21
Abbildung 12: Typ I, Wandgebundene Vertikalbegrünung. Wien, AT (Pitha 2023) 22
Abbildung 13: Case Study Gebiet Wels 53
Abbildung 14: Case Study Gebiet Eisenstadt 53
Abbildung 15: Case Study Gebiet Leibnitz 54
Abbildung 16: Großraumkarte Leibnitz – Grünraum 56
Abbildung 17: Ausschnitt städtebauliche Karte Leibnitz – Grünraumtypen 57
Abbildung 18: Ausschnitt städtebauliche Karte Leibnitz – Versiegelung 58
Abbildung 19: Ausschnitt Großraumkarte Eisenstadt – städtische Aktivitäten 59
Abbildung 20: Ausschnitt städtebauliche Karte Eisenstadt – Höhenentwicklung 60
Abbildung 21: Ausschnitt Großraumkarte Eisenstadt – Mobilität 61
Abbildung 22: Ausschnitt städtebauliche Karte Wels – städtische Aktivitäten 62
Abbildung 23: Grünraumanalyse Bestand (links) und Neuplanung (rechts) Wels 64
Abbildung 24: Entwicklungsszenario Eisenstadt 66
Abbildung 25: Entwicklungsszenario Eisenstadt axonometrische Ansicht 67
Abbildung 26: Entwicklungsszenario Eisenstadt Detailansicht 67
Abbildung 27: Flächenanteile Eisenstadt 69
Abbildung 28: Platzsituation im Untersuchungsgebiet Leibnitz 70
Abbildung 29: Bestand Quartier Leibnitz 71
Abbildung 30: Bestand Quartier Leibnitz – axonometrische Ansicht 72
Abbildung 31: Parkmöglichkeiten im Untersuchungsgebiet Leibnitz 73
Abbildung 32: Zonendarstellung am Raiffeisenplatz. In Rot sind die Kunden/Besucherparkplätze dargestellt und in Blau die privat genutzten Parkplätze. 74
Abbildung 33: Oberflächenbefestigungen am Raiffeisenplatz 75
Abbildung 34: Auslastung der Parkplätze vor und während der Geschäftszeiten 77

Abbildung 35: Raiffeisenplatz Leibnitz 78
Abbildung 36: Szenario 1 – Reorganisierung des Raiffeisenplatzes..... 80
Abbildung 37: Szenario 1 – axonometrische Darstellung 80
Abbildung 38: Szenario 2 – Restrukturierung des Gebietes 81
Abbildung 39: Szenario 2 – axonometrische Darstellung 82
Abbildung 40: Siedlungsstruktur Leibnitz..... 83
Abbildung 41: Schattenstudie (genordet) in Eisenstadt zur Sommersonnenwende (21. Juni) zwischen 10:00 und 18:00 Uhr..... 91
Abbildung 42: Schattenstudie (genordet) in Leibnitz zur Sommersonnenwende (21. Juni) zwischen 10:00 und 18:00 Uhr..... 92
Abbildung 43: Schattenstudie (genordet) in Wels zur Sommersonnenwende (21. Juni) zwischen 10:00 und 18:00 Uhr..... 92
Abbildung 44: Zuordnung des Faktors Kmc in Eisenstadt. Low = grün, average = gelb, high = rot 93
Abbildung 45: Zuordnung des Faktors Kmc in Leibnitz. Low = grün, average = gelb, high = rot 94
Abbildung 46: Zuordnung des Faktors Kmc in Wels. Low = grün, average = gelb, high = rot 94
Abbildung 47: Flowchart zur Methodik Ermittlung regionaler Bewässerungsbedarf 103
Abbildung 48: Wasserbedarf und alternative Wasserressourcen für das identifizierte regenreiche Jahre (2009) in Leibnitz..... 111
Abbildung 49: Wasserbedarf und alternative Wasserressourcen für das identifizierte trockene Jahre (2022) in Leibnitz..... 111
Abbildung 50: Berechnetes Speichervolumen und dessen Tagesverlauf für das identifizierte nasse Jahr 2009, Case Study Leibnitz 114
Abbildung 51: Berechnetes Speichervolumen und dessen Tagesverlauf für das identifizierte trockene Jahr 2022, Case Study Leibnitz 114
Abbildung 52: Wasserbedarf und alternative Wasserressourcen für das identifizierte regenreiche Jahre (2016) in Wels..... 119
Abbildung 53: Wasserbedarf und alternative Wasserressourcen für das identifizierte trockene Jahre (2018) in Wels..... 119
Abbildung 54: Berechnetes Speichervolumen und dessen Tagesverlauf für das identifizierte nasse Jahr 2016, Case Study Wels..... 121
Abbildung 55: Berechnetes Speichervolumen und dessen Tagesverlauf für das identifizierte trockene Jahr 2018, Case Study Wels..... 122
Abbildung 56: Wasserbedarf und alternative Wasserressourcen für das identifizierte trockene Jahr (2022) und regenreiche Jahr (2010) für Eisenstadt..... 124

Abbildung 57: Berechnetes Speichervolumen und dessen Tagesverlauf für das identifizierte nasse Jahr 2010, Case Study Eisenstadt 126
Abbildung 58: Berechnetes Speichervolumen und dessen Tagesverlauf für das identifizierte trockene Jahr 2022, Case Study Eisenstadt 127
Abbildung 59: Ergebnisse Sobol-Sensitivitätsanalyse 131
Abbildung 60: Landcover Eisenstadt 132
Abbildung 61: Prozentuelle Verteilung Landbedeckung Eisenstadt ohne Wald und landwirtschaftlicher Fläche 133
Abbildung 62: Zukünftiger monatlicher Gesamtbewässerungsbedarf je Begrünungsszenario und RCP in Eisenstadt 134
Abbildung 63: Vergleich des Bewässerungsbedarfs Eisenstadt für nasse, mittlere und trockene Jahre 135
Abbildung 64: Räumliche Darstellung des Bewässerungsbedarfs im Juli für das Klimaszenario RCP4.5. Links: Bewässerungsbedarf im Status quo. Mitte: zusätzlicher Bewässerungsbedarf infolge der vorgesehenen Maßnahmen des Planungsszenarios gegenüber dem Status quo. Rechts: zusätzlicher Bewässerungsbedarf infolge der Optimierungsmaßnahmen des Optimierungsszenarios gegenüber dem Status quo. 136
Abbildung 65: Beispielhafte Darstellung Veränderung des Bewässerungsbedarf je Begrünungsszenario und RCP im September 137
Abbildung 66: Grauwasserbedarf für 50% Deckung je Monat in Eisenstadt 139
Abbildung 67: Landcover Leibnitz 140
Abbildung 68: Prozentuelle Verteilung Landbedeckung Leibnitz 141
Abbildung 69: Zukünftiger monatlicher Gesamtbewässerungsbedarf je Begrünungsszenario und RCP in Leibnitz 142
Abbildung 70: Vergleich Bewässerungsbedarf Leibnitz für nasse, mittlere und trockene Jahre 143
Abbildung 71: Räumliche Darstellung des Bewässerungsbedarfs im Juli für das Klimaszenario RCP4.5. Links: Bewässerungsbedarf im Status quo. Mitte: zusätzlicher Bewässerungsbedarf infolge der vorgesehenen Maßnahmen des Planungsszenarios gegenüber dem Status quo. Rechts: zusätzlicher Bewässerungsbedarf infolge der Optimierungsmaßnahmen des Optimierungsszenarios gegenüber dem Status quo. 144
Abbildung 72: Beispielhafte Darstellung Veränderung des Bewässerungsbedarf je Begrünungsszenario und RCP im September 145
Abbildung 73: Grauwasserbedarf für 50 % Deckung je Monat in Leibnitz 146
Abbildung 74: Landcover Wels 147
Abbildung 75: Prozentuelle Verteilung der Landbedeckung in Wels 148

Abbildung 76: Zukünftiger monatlicher Gesamtbewässerungsbedarf je Begrünungsszenario und RCP in Wels 149
Abbildung 77: Vergleich Bewässerungsbedarf Wels für nasse, mittlere und trockene Jahre 150
Abbildung 78: Räumliche Darstellung des Bewässerungsbedarfs im Juli für das Klimaszenario RCP4.5. Links: Bewässerungsbedarf im Status quo. Mitte: zusätzlicher Bewässerungsbedarf infolge der vorgesehenen Maßnahmen des Planungsszenarios gegenüber dem Status quo. Rechts: zusätzlicher Bewässerungsbedarf infolge der Optimierungsmaßnahmen des Optimierungsszenarios gegenüber dem Status quo. 151
Abbildung 79: Beispielhafte Darstellung Veränderung des Bewässerungsbedarf je Begrünungsszenario und RCP im August 152
Abbildung 80: Grauwasserbedarf für 50% Deckung je Monat in Wels 153
Abbildung 81: Parameter eines Gebäudeknoten im EWA-Planungstool 161
Abbildung 82: Paramater der Industrie- und Tourismusgebäudeknoten 162
Abbildung 83: Polygonbasierte Zuweisung Grüner Infrastruktur im EWA-Planungstool 163
Abbildung 84: Festlegen der Einwohnerzahl im Planungstool 164
Abbildung 85: Darstellung Leistungsindikator Grüne Infrastruktur pro Einwohner 165
Abbildung 86: Einstellung der maximalen Anzahl an platzierbaren Komponenten beim Erstellen einer Challenge 168
Abbildung 87: Eigenschaften eines Knotenpunkts, der von den Spielenden nicht verändert werden kann (aktivierte “Gesperrt”-Option) und der erst nach erfolgreicher Absolvierung der Aufgabengruppe “TaskGroup 5” im Modell angezeigt wird. 170
Abbildung 88: Szenario-Editor mit einer kombinierten Ansicht aus Challenge-Editor und Kartenansicht 171
Abbildung 89: Aufgabeneinstellungen für eine Aufgabe zur Änderung eines GI-Elements vom Typ „Baum offen“ 173
Abbildung 90: Finale Netztopologie der Challenge, bestehend aus den beiden getrennten Systemen „Netz West“ und „Netz Ost“ 174
Abbildung 91: Netztopologie zu Beginn der Challenge. Sichtbar ist lediglich das "Netz Ost" 175
Abbildung 92: Darstellung einer Aufgabenstellung durch den "Wally"-Avatar im Rahmen einer Challenge 176
Abbildung 93: Vergleich des ”Netz Ost” vor (links) und nach (rechts) der Freischaltung eines neuen Gebäudeknotens durch die zugehörige Aufgabengruppe 177

Literaturverzeichnis

Ajmal, M. et al. (2016) “Runoff Estimation Using the NRCS Slope-Adjusted Curve Number in Mountainous Watersheds,” Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 142(4), p. 04016002. Available at: https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000998.

Allabashi, R. et al. (2022) Grauwasser als Quelle für eine nachhaltige Bewässerung, Patzer Verlag GmbH & Co. Available at: https://neuelandschaft.de/artikel/grauwasser-als-quelle-fuer-eine-nachhaltige-bewaesserung-8732 (Accessed: November 4, 2023).

Allen, R. G., Dukes, M. D., Snyder, R. L., Kjelgren, R., & Kilic, A. (2020). A Review of Landscape Water Requirements Using a Multicomponent Landscape Coefficient. Transactions of the ASABE, 63(6), 2039–2058. https://doi.org/10.13031/trans.13948

Allen, R.G. et al. (1998) “Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56.”

Amt der Steiermärkischen Landesregierung (no date) Orthophoto. Available at: https://gis.stmk.gv.at/image/rest/services/OGD_DOP (Accessed: January 29, 2026).

Arbesser-Rastburg, G. et al. (2023) EWA – Entscheidungshilfe in der Wasserversorgung unter Einbeziehung von Wandelfaktoren.

ARD Alpha (2022) Jahreszeiten und Sonnenwenden Warum die Sonne mal hoch, mal tief steht, ARD Alpha. Available at: https://www.ardalpha.de/wissen/weltall/astronomie/sterngucker/jahreszeiten-sonnenwenden-erdachse-umlaufbahn-100.html (Accessed: January 19, 2026).

ASI (2019) “Gartengestaltung und Landschaftsbau - Technische Ausführung.” Wien: Austrian Standards International.

ASI - Austrian Standards International (2021) “ÖNORM L 1136: 2021 04 01 Vertikalbegrünung im Außenraum: Anforderungen an Planung, Ausführung, Pflege und Kontrolle.” Austrian Standards International.

ASI - Austrian Standards International (2022) “ÖNORM L 1112: 2022 11 15 Anforderungen an die Bewässerung von Vegetationsflächen.” Austrian Standards International.

ASI - Austrian Standards International (2026) “ÖNORM B 1131: 2026 04 15 Begrünung von Dächern und Decken auf Bauwerken - Planung, Ausführung und Erhaltung.” Austrian Standards International.

Austrosaat AG (ohne Jahr) Blumenwiese “Paradiesgarten” naturnaher Lebensraum, Austrosaat - Qualität die man sät! Available at: https://www.austrosaat.at/Sortiment/Blumenwiese/Blumenwiese.htm (Accessed: January 10, 2026).

Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG) (2004) “Winterharte Trog- und Kübelbepflanzung.” LWG - Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau. Würzburg/Veitshöchheim.

Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG) (2019) “Veitshöchheimer Staudenmischungen für halbschattige und schattige Standorte.” LWG - Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau. Würzburg/Veitshöchheim. Available at: https://www.lwg.bayern.de/mam/cms06/landespflege/dateien/merkblatt_schattenmischungen.pdf (Accessed: December 8, 2025).

Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG) (2021) “Veitshöchheimer Staudenmischpflanzungen für sonnige Standorte im privaten und öffentlichen Grün.” LWG - Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau. Würzburg/Veitshöchheim. Available at: https://www.lwg.bayern.de/mam/cms06/landespflege/dateien/mischpflanzen_bf.pdf (Accessed: December 8, 2026).

Beguería, S. et al. (2014) “Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) revisited: parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets and drought monitoring,” International Journal of Climatology, 34(10), pp. 3001–3023. Available at: https://doi.org/10.1002/joc.3887.

BOKU University, IBLB (ohne Jahra) BOKU-Blumenrasen, BOKU University. Available at: https://boku.ac.at/lawi/iblb/forschung/entwicklungen/boku-blumenrasen (Accessed: January 10, 2026).

BOKU University, IBLB (ohne Jahr) BOKU-Schotterrasen, BOKU University. Available at: https://boku.ac.at/lawi/iblb/forschung/entwicklungen/boku-schotterrasen (Accessed: January 10, 2026).

Bouillon, J. (2013) Handbuch der Staudenverwendung: Aus dem Arbeitskreis Pflanzenverwendung im Bund deutscher Staudengärtner. Stuttgart: Eugen Ulmer KG.

Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV) (2024) “Land Cover.” Available at: https://www.bev.gv.at/Services/Produkte/Land-Cover/Land-Cover.html (Accessed: December 3, 2025).

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW). Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser (QZV Chemie GW), BGBl. II Nr. 98/2010. Wien: BMLFUW, 2010

Cheng, H. et al. (2023) “Water requirement of Urban Green Infrastructure under climate change,” Science of The Total Environment, 893, p. 164887. Available at: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164887.

Chimani B. et al. (2016) ÖKS15 – Klimaszenarien für Österreich. Daten, Methoden und Klimaanalyse. Projektendbericht. Wien.

CN Tables (2026). Available at: https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmstrm/cn-tables (Accessed: January 26, 2026).

Costello, L. R., Jones, K. S. (1994). WUCOLS: Water use classification of landscape species: A guide to the water needs of landscape plants. California Department of Water Resources.

Department of Water Resources (2000) A Guide to Estimating Irrigation Water Needs of Landscape Plantings in California - The Landscape Coefficient Method and WUCOLS III. California, USA: Universität of California, p. 160. Available at: https://cimis.water.ca.gov/Content/PDF/wucols00.pdf (Accessed: November 19, 2025).

Deterding, S. et al. (2011) “From game design elements to gamefulness: defining ‘gamification,’” Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference: Envisioning Future Media Environments. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery (MindTrek ’11), pp. 9–15. Available at: https://doi.org/10.1145/2181037.2181040.

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA). (2017). Merkblatt DWA-M 277: Hinweise zur Auslegung von Anlagen zur Behandlung und Nutzung von Grauwasser und Grauwasserteilströmen. DWA.

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA). (2025). DWA-M 1200-1: Wasserwiederverwendung für landwirtschaftliche und urbane Zwecke in Deutschland – Teil 1: Grundsätze zur Wasserwiederverwendung für unterschiedliche Nutzungen (Entwurf). DWA.

Deutscher Fußball Bund (2017) Sprotplatzbau- und erhaltung. 5th ed. Frankfurt am Main: DFB.

Die Umweltberatung (no date) “Heimische Gehölze im Garten - Bäume, Sträucher, Hecken und Kletterpflanzen im Protrait.” Stadt Wien. Available at: https://www.umweltberatung.at/download/?id=Heimische_Gehoelze-1109-umweltberatung.pdf (Accessed: December 2, 2025).

Dreßler, A. et al. (2021) Trockenstress bei Bäumen: Ursachen, Strategien, Praxis. Wiedelsheim: Quelle & Meyer.

Drewes, J. E., Ahmadi, J., Aumeier, B. M., Hübner, U., Zumkeller, F., Walter, H., Heller, H., Kirchner, S., Baumann, L., Gerdes, H., Ergh, M., Tiehm, A., Ho, J., Pittmann, T., Wett, M., Wencki, K., Kruse, J. L., Levai, P., Kebinger, B., Ried, A., Gebhardt, J., Scheyer, N., & Büttner, M. (2025). Abschlussbericht BMFTR-Verbundprojekt: Nutzwasserbereitstellung und Planungsoptionen für die urbane und landwirtschaftliche Bewässerung (Nutzwasser als alternative Wasserressource) (Berichte aus der Siedlungswasserwirtschaft, Berichtsheft Nr. 228). Technische Universität München. ISSN 0942-914X

Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union. Verordnung (EU) 2020/741 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Mai 2020 über Mindestanforderungen für die Wasserwiederverwendung. Amtsblatt der Europäischen Union, L 177, 5. Juni 2020 .https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020R0741&from=EN

Florineth, F. (2012) Pflanzen statt Beton: Sichern und gestalten mit Pflanzen. 2nd ed. Berlin und Hannover: Patzer.

Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (2010) “Empfehlungen für Baumpflanzungen: Teil 2: Standortvorbereitungen für Neupflanzungen; Pflanzgruben und Wurzelraumerweiterung, Bauweisen und Substrate.” Bonn: FLL.

Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (2015) Empfehlungen für Baumpflanzungen Teil 1: Planung, Pflanzearbeiten, Pflege. 2. Ausg., Ausg. 2015. Bonn: FLL (Baumpflanzungen, 1).

Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (2018a) “Dachbegrünungsrichtlinie: Richtlinien für Planung, Bau und Instandhaltung von Dachbe-grünungen.” Bonn: FLL.

Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (2018b) “Fassadenbegrünungsrichtlinien: Richtlinien für die Planung, Ausführung und Pflege von Wand- und Fassadenbegrünungen.” Bonn: FLL.

Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (2024) “Regel-Saatgut-Mischungen Rasen - RSM Rasen 2024.” Bonn: FLL.

Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (ed.) (2018c) Richtlinien für Planung, Bau und Instandhaltung von begrünbaren Flächenbefestigungen. 2. Ausgabe. Bonn: Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL).

GALK e.V. (2026) GALK-Straßenbaumliste, GALK e.V. Deutsche Gartenamtsleiterkonferenz. Available at: https://galk.de/arbeitskreise/stadtbaeume/themenuebersicht/strassenbaumliste/ (Accessed: January 21, 2026).

GeoSphere Austria (2025) GeoSphere Austria Data Hub. Available at: https://data.hub.geosphere.at/dataset/ (Accessed: May 12, 2025).

Gräf, M. et al. (2021) “Water-Stressed Plants Do Not Cool: Leaf Surface Temperature of Living Wall Plants under Drought Stress,” Sustainability, 13(7). Available at: https://doi.org/10.3390/su13073910.

Gräf, M., Pucher, B., Hietz, P., Hofbauer, K., Allabashi, R., Pitha, U., Hood-nowotny, R., Stangl, R. (2022) Application of leaf analysis in addition to growth assessment to evaluate

the suitability of greywater for irrigation of Tilia cordata and Acer pseudoplatanus. Sci. Total Environ. 836, 155745. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155745.

Grieb, O. and Schöler, M. (2021) Der Werker. Garten- und Landschaftsbau. 3. Auflage. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer.

Hayat, F., AL-Zayadneh, W., Khan, U., Asghar, S., Rehman, T., Kandhan, K., & Alyafei, M. (2026). Treated wastewater irrigation: unlocking sustainability in agriculture and food security—a comprehensive review. Frontiers in Sustainable Food Systems, 9. https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1595066

Hirsinger, E. and Bondolfi, A. (2022) "Nachhaltige und naturnahe Wechselflor Empfehlungen und Kriterien für die öffentliche Beschaffung." Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern, Zürich.

IPCC (2014) Climate Change 2013 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press. Available at: https://www.cambridge.org/core/books/climate-change-2013-the-physical-science-basis/BE9453E500DEF3640B383BADDC332C3E.

J. Hamari, J. Koivisto, and H. Sarsa (2014) "Does Gamification Work? -- A Literature Review of Empirical Studies on Gamification," 2014 47th Hawaii International Conference on System Sciences. 2014 47th Hawaii International Conference on System Sciences, pp. 3025–3034. Available at: https://doi.org/10.1109/HICSS.2014.377.

Kartal, G. (2010) "Does language matter in multimedia learning? Personalization principle revisited," Journal of Educational Psychology, 102(3), pp. 615–624. Available at: https://doi.org/10.1037/a0019345.

Katastralmappe und Sachdaten digital (2025). Available at: https://www.bev.gv.at/Services/Produkte/Kataster-und-Verzeichnisse/Katastralmappe-und-Sachdaten-digital.html (Accessed: January 29, 2026).

klimaszenarien.AT Steering Committee (2026) ÖKS15 - Empfehlungen zum Umgang mit der Unterschätzung der Temperaturtrends, Version 1a. Available at: https://klimaszenarien.at/oeks15-empfehlungen/ (Accessed: July 28, 2026).

Königliches Dekret 1620 (2007). Spanische Verordnung zur Wasserwiederverwendung: Spanische Assoziation für nachhaltige Wasserwiederverwendung. ASERSA

Kraus, F. et al. (2019) “Leitfaden Fassadenbegrünung.” Stadt Wien - MA22 Umweltschutz (Hrsg.). Wien. Available at: https://www.wien.gv.at/umwelt/leitfaden-fassadenbegruenung (Accessed: December 3, 2025).

Lahnsteiner, J., Honer, T., Ashipala, L., Nikodemus, K., Poussade, Y., & van Rensburg, P. (2024). Windhoek/Goreangab Direct Potable Water Reuse, Case Study Namibia. In Handbook of Water and Used Water Purification (pp. 1301–1318). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-78000-9_170

LAWA. (2022). Endbericht der LAWA-Ad hoc AG/KG Water Reuse an die 163. LAWA-Vollversammlung. https://www.lawa.de/documents/endbericht-lawa-ag-water-reuse-an-die-163-lawa-vollversammlung_1655190856.pdf

MA42 Wiener Stadtgärten (2025) Stauden- und Gräsermischungen der Wiener Stadtgärten, Stadt Wien. Available at: https://www.wien.gv.at/freizeit/graeser-staudenbeete-der-wiener-stadtgaerten (Accessed: November 19, 2025).

Maraun, D. and Mendlik, T. (2018) “STARC-Impact Bias Corrected ENSEMBLES Model Temperature,Radiation, and Precipitation.” GeoSphere Austria. Available at: https://doi.org/10.60669/2ESX-HR44.

Masi, F., Langergraber, G., Santoni, M., Istenič, D., Atanasova, N., & Buttiglieri, G. (2020). Possibilities of nature-based and hybrid decentralized solutions for reclaimed water reuse (Vol. 5, pp. 145–187). https://doi.org/10.1016/bs.apmp.2020.07.004

Mayer, R.E. et al. (2004) “A Personalization Effect in Multimedia Learning: Students Learn Better When Words Are in Conversational Style Rather Than Formal Style,” Journal of Educational Psychology, 96(2), pp. 389–395. Available at: https://doi.org/10.1037/0022-0663.96.2.389.

Mendlik, T. et al. (2018) STARC-Impact Bias Corrected ENSEMBLES, Version 1. Vienna, Austria. CCCA Data Centre. Available at: https://data.ccca.ac.at/group/starc-impact.

Moss, R.H. et al. (2010) “The next generation of scenarios for climate change research and assessment,” Nature, 463(7282), pp. 747–756. Available at: https://doi.org/10.1038/nature08823.

Neunteufel, R. et al. (2024) Wasserverbrauch in österreichischen Haushalten. Available at: https://info.bml.gv.at/service/publikationen/wasser/wasserverbrauch-in-oesterreichischen-haushalten.html.

NRCS, U. (2004) “National engineering handbook: Part 630—hydrology,” USDA Soil Conservation Service: Washington, DC, USA, pp. 11–5.

Olivieri, A., Pecson, B., Crook, J., Hultquist, R. (2020) California water reuse—Past, present and future perspectives. In Advances in Chemical Pollution, Environmental Management and Protection (pp. 65–111). Elsevier. https://doi.org/10.1016/bs.apmp.2020.07.002

ÖNORM 12056-1 Schwerkraftentwässerungsanlagen innerhalb von Gebäuden - Teil 1: Allgemeine und Ausführungsanforderungen. Austrian Standards International

ÖNORM EN16941-1:2024 Vor-Ort-Anlagen für Nicht-Trinkwasser - Teil 1: Anlagen für die Verwendung von Regenwasser. Austrian Standards International

ÖNORM EN16941-2:2022 Vor-Ort-Anlagen für Nicht-Trinkwasser-Teil 2: Anlagen für die Verwendung von behandeltem Grauwasser. Austrian Standards International

Optigrün international AG (no date a) “Pflanzenliste - Flachballen - Stauden.” Optigrün international AG. Available at: https://www.optigruen.de/fileadmin/02_DOKUMENTE/Pflanzenlisten/DE/Produkte/Pflanzenliste-kraeuter-flachballen_Optigruen.pdf (Accessed: December 2, 2025).

Optigrün international AG (no date b) “Pflanzenliste - Sedum Flachballen - Stauden.” Optigrün international AG. Available at: https://www.optigruen.de/fileadmin/02_DOKUMENTE/Pflanzenlisten/DE/Produkte/Pflanzenliste_SedumFlachballen_Optigruen.pdf (Accessed: December 2, 2025).

ÖROK (2022) Kleinräumige Bevölkerungsprognose für Österreich 2021-2051, oerok.gv.at. Available at: https://www.oerok.gv.at/news/detail/kleinraeumige-bevoelkerungsprognose-fuer-oesterreich-2021-2051-oerok-prognose (Accessed: October 29, 2024).

Österreich eBOD (2022) eBOD2. Available at: https://bodenkarte.at/ (Accessed: October 18, 2022).

ÖWAV (Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband) (Hrsg.) (2025): ÖWAV-Regelblatt 407: Empfehlungen für die landwirtschaftliche Bewässerung. 2., vollständig überarbeitete Auflage, Wien

Pinto, G. O., da Silva Junior, L. C. S., Nagem Assad, D. B., Pereira, S. H., & de Brito Mello, L. C. B. (2021). Trends in global greywater reuse: A bibliometric analysis. Water Science and Technology, 84(10–11), 3257–3276. https://doi.org/10.2166/wst.2021.429

Pisani, P., Menge, J. G. (2013). Direct potable reclamation in Windhoek: a critical review of the design philosophy of new Goreangab drinking water reclamation plant. Water Supply, 13(2), 214–226. https://doi.org/10.2166/ws.2013.009

Pitha, U. et al. (2021) "Leitfaden Dachbegrünung." Stadt Wien - MA22 Umweltschutz (Hrsg.). Wien. Available at: https://www.wien.gv.at/pdf/bv08/ma22/gruendaecher-leitfaden.pdf (Accessed: January 21, 2026).

Prenner, F., Kretschmer, F. and Pucher, B. (2023) "Nutzungsorientierte Verwendung urbaner Wasserressourcen – Visionen, Potenziale und Herausforderungen," Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, 75(3), pp. 178–188. Available at: https://doi.org/10.1007/s00506-023-00932-6.

Pucher, B., Zluwa, I., Spörl, P., Pitha, U., Langergraber, G., (2022) Evaluation of the multifunctionality of a vertical greening system using different irrigation strategies on cooling, plant development and greywater use. Sci. Total Environ. 849, 157842. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157842

Richtlinie (EU) 2024/3019 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. November 2024 über die Behandlung von kommunalem Abwasser (Neufassung). (2024). Amtsblatt der Europäischen Union, L 2024/3019. https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2024/3019/oj

Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. (2000). Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, L 327, 1–73. https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2000/60/oj

Saltelli, A. et al. (2008) Global sensitivity analysis: the primer. Chichester, England Hoboken, NJ: John Wiley. Available at: https://doi.org/10.1002/9780470725184.

Scharf, B. (2001) Blumenrasen - Untersuchungen an den Saatgutmischungen 1998 und 1999. Masterarbeit. BOKU University.

Schneider-Werres, S., Kohlhepp, G., Müller, G., Spurling, K., Kaller, F., Al-Hakim, Y., Roselt, K., Schubert, J., Smarsly, K., Klümper, C., & Beier, S. (2023). Abschlussbericht INNOWATER: Innovative und wissensbasierte Quartiersentwicklung für ein energie- und ressourceneffizientes Wohnen (Az. 38351/01). Deutsche Bundesstiftung Umwelt. https://opac.dbu.de/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-38351_01-Hauptbericht.pdf

Schöberl & Pöll GmbH. (2024). QUEEN Gudrun II: Vorzeige-Quartierserneuerung hinsichtlich Energieeffizienz und Nachhaltigkeit – Blocksanierungsgebiet Gudrunstraße II. Ergebnis- & Wirkungspapier (Smart Cities Demo – Living Urban Innovation 2019, Call 11). Klima- und Energiefonds. https://www.klimafonds.gv.at/wp-content/uploads/2024/09/Ergebnis-Wirkungspapier-QUEENGudrun-2024-03-11.pdf

Seipel, H. (2021) Arbeitsheft Gärtner/-innen Grundlagen der Vegetationskunde: 1. und 2. Ausbildungsjahr - Alle Fachrichtungen. 2nd ed. Hamburg: Handwerk und Technik GmbH.

Shaikh, I.N. and Ahammed, M.M. (2020) "Quantity and quality characteristics of greywater: A review," Journal of Environmental Management, 261, p. 110266. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110266.

Shojaei, P. et al. (2018) “Water requirements of urban landscape plants in an arid environment: The example of a botanic garden and a forest park,” Ecological Engineering, 123, pp. 43–53. Available at: https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.08.021.

Sievers, J. C. (2018). Charakterisierung von Grauwasser (Schriftenreihe des Bauhaus-Instituts für zukunftsweisende Infrastruktursysteme, Band 37). Rhombos-Verlag.

Technical Committee on Standardization of Reference Evapotranspiration (2005) The ASCE Standardized Reference Evapotranspiration Equation. Edited by R.G. Allen et al. Reston, VA: American Society of Civil Engineers. Available at: https://doi.org/10.1061/9780784408056.

University of California (2025) Water Use Classification of Landscape Species (WUCOLS), University of California UC Davis. Available at: https://wucols.ucdavis.edu/ (Accessed: January 21, 2026).

Vobruba, T., Hartl, M., Langergraber, G., Pucher, B., Gattringer, H., Bertino, G., Panzenböck, F., & Kisser, J. (2025). vertECO® vertical green wall system demonstration for domestic wastewater treatment and on-site reuse in an Austrian eco-village. Ecological Engineering, 211, 107460. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2024.107460

World Health Organization, & United Nations Environment Programme. (2006). Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater: Volume 2. Wastewater use in agriculture (3rd ed.). World Health Organization. https://www.who.int/publications/i/item/9241546832

World Health Organization. (2017). Potable reuse: Guidance for producing safe drinking-water. World Health Organization. https://iris.who.int/handle/10665/258715

World Health Organization. (2026). Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition incorporating the first, second and third addenda. https://www.who.int/publications/i/item/9789240121225

Abkürzungen

DPR	Direkte Wiederverwendung von Trinkwasser
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall
GI	Grüne Infrastruktur
IPR	Indirekte Wiederverwendung von Trinkwasser
KBE	Koloniebildende Einheit
NTU	Nephelometrische Trübungseinheit
LCM	Landscape Coefficient Method
ÖWAV	Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband
QMRA	Quantitative mikrobielle Risikobewertung
QZV	Qualitätszielverordnung
RCP	Repräsentativen Konzentrationspfad
WHO	Weltgesundheitsorganisation

Anhang 01

GI-Typ	Outcome Task 1.1/1.2	Region 2 WUCOLS (2000) - Beispielarten	Species-Faktor (ks)
Zierrasenfläche	intensive Bewässerung, Pflegeanspruch hoch bis sehr hoch, geringe bis mittlere Belastbarkeit (Seipel, 2021; Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2024)	(Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2024): *L. perenne* – 0,80 *F. rubra* – 0,40 – 0,60	0,7 – 0,9
Blumenwiese	Extensiv genutzte Fläche, Pflegeanspruch gering bis mittel (Seipel, 2021), nasse, schattige oder trockene Standorte (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2024)	(Austrosaat AG, ohne Jahr): *F. rubra* – 0,40 – 0,60 *S. pratensis* – 0,40 – 0,60 *A. millefolium* – 0,10 - 0,30 *A. vulgaris* – 0,10 – 0,30 *Linum ssp.* - <0,10	0,1 – 0,3
Gebrauchsrasenfläche, Blumenrasen	Bewässerung gering bis hoch, Pflegeanspruch mittel bis hoch, geringe bis hohe Belastbarkeit (Scharf, 2001; Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2024)	(Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2024; BOKU University, IBLB, ohne Jahra): *F. ovina* – 0,40 – 0,60 *P. pratensis* – 0,80 *F. rubra* – 0,40 – 0,60 *S. pratensis* – 0,40 – 0,60 *A. millefolium* – 0,10 – 0,30	0,4 – 0,6
Strapazierrasenfläche	Intensive Pflege und Bewässerung, sehr strapazierfähig und hohe Belastung (Deutscher Fußball Bund, 2017; Seipel, 2021; Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2024)	(Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2024): *L. perenne* – 0,80 *P. pratensis* – 0,80	0,7 – 0,9
Schotterrasenfläche	Pflege und Bewässerung extensiv, sehr strapazierfähig und hohe Belastung, technischer Aufbau (ASI, 2019; Seipel, 2021; Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2024)	(BOKU University, IBLB, ohne Jahrb): *F. ovina* – 0,40 – 0,60 *F. rubra* – 0,40 – 0,60 *A. millefolium* – 0,10 – 0,30 *P. saxifraga* – 0,10 – 0,30 *T. pannonicus* – 0,10 – 0,30	0,1 – 0,3

Oberflächenbefestigung mit Fugenbegrünung	Tritt- und trockenheitsresistente Arten, geringer Wasserbedarf, extensive Pflege (Seipel, 2021)	(BOKU University, IBLB, ohne Jahrb): *F. ovina* – 0,40 – 0,60 *F. rubra* – 0,40 – 0,60 *A. millefolium* – 0,10 – 0,30 *P. saxifraga* – 0,10 – 0,30 *T. pannonicus* – 0,10 – 0,30	0,1 – 0,3
Staudenfläche	Niedriger bis hoher Wasserbedarf und Pflegebedarf, je nach Artenauswahl (Bouillon, 2013; Seipel, 2021)	Low (Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG), 2019, 2021; MA42 Wiener Stadtgärten, 2025): *A. millefolium* – 0,10 – 0,30 *A. vulgaris* – 0,10 – 0,30 *B. crassifolia* – 0,10 – 0,30 *B. gracilis* – 0,10 – 0,30 *C. x acutiflora* – 0,10 – 0,30 *F. mairei* – 0,10 – 0,30 *L. angustifolia* – 0,10 – 0,30 *N. x faassenii* – 0,10 – 0,30 Average (Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG), 2019, 2021; MA42 Wiener Stadtgärten, 2025) *A. japonica* – 0,40 – 0,60 *Aster ssp.* – 0,40 – 0,60 *C. morrowii* – 0,40 – 0,60 *Echinacea ssp.* – 0,40 – 0.60 *Geranium ssp.* – 0,40 – 0,60 *Hosta ssp.* – 0,40 – 0,60 *M. sinensis* – 0,40 – 0,60 *R. fulgida* – 0,40 – 0,60 High (Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG), 2019, 2021; MA42 Wiener Stadtgärten, 2025) *A. chinensis* – 0,70 – 0,90 *B. macrophylla* – 0,70 – 0,90 *Campanula ssp.* – 0,70 – 0,90 *I. cylindrica* – 0,70 – 0,90 *P. odoratum* – 0,70 – 0,90 *P. setiferum* – 0,70 – 0,90	0.1 – 0.3/ 0,4 – 0,6/ 0,7 – 0,9

Wechselbepflanzung	Jahreszeitlich abhängige Neukultivierung, hoher Ressourceneinsatz, intensive Bewässerung und Pflege (Grieb and Schöler, 2021; Hirsinger and Bondolfi, 2022)	(Grieb and Schöler, 2021): *B. semperflorens* – 0,40 – 0,60 *Fuchsia ssp.* – 0,40 – 0,60 *B. perennis* – 0,40 – 0,60 *Pelargonium ssp.* – 0,40 – 0,60 *H. angustifolius* – 0,70 – 0,90 *Viola ssp.* – 0,40 – 0,60 *Myosotis ssp.* – 0,40 – 0,60	0,4 – 0,6/ 0,7 – 0,9
Strauchfläche (offene, nicht überbaute Fläche)	Nach Anwuchsphase geringer Pflege und Bewässerungaufwand (Florineth, 2012)	(Die Umweltberatung, no date): *A. ovalis* – 0,40 – 0,60 *C. sanguinea* – 0,70 – 0,90 *C. monogyna* – 0,40 – 0,60 *C. avellana* – 0,40 – 0,60 *L. vulgare* – 0,10 – 0,30 *V. lantana* – 0,40 – 0,60 *C. coggygria* – 0,10 – 0,30 *I. aquifolium* – 0,40 – 0,60	0,4 – 0,6
Formhecke	Schnittverträglich, Pflegeaufwand, um Form beizubehalten, Bewässerungsaufwand moderat, nach Anwuchsphase gering (Florineth, 2012)	(Die Umweltberatung, no date): *C. betulus* – 0,40 – 0,60 *A. campestre* – 0,40 –0,60 *L. vulgare* – 0,10 – 0,30 *T. baccata* – 0,40 – 0,60 *P. laurocerasus* – 0,40 – 0,60	0,4 – 0,6
Freiwachsende Hecke	drei- bis vierjähriger Schnitt, geringer Pflege- und Bewässerungsaufwand (anfangs moderat) (Florineth, 2012)	(Die Umweltberatung, no date): *A. ovalis* – 0,40 – 0,60 *C. sanguinea* – 0,70 – 0,90 *C. monogyna* – 0,40 – 0,60 *C. avellana* – 0,40 – 0,60 *L. vulgare* – 0,10 – 0,30 *V. lantana* – 0,40 – 0 60 *C. coggygria* – 0,10 – 0,30 *I. aquifolium* – 0,40 – 0,60	0,4 – 0,6
Baumpflanzung (offene, nicht überbaute Pflanzgrube ohne Unterpflanzung)	Bewässerungsbedarf artenspezifisch, Pflanzgrube min. 12 m³ und nicht belastet, Pflege extensiv (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung	(Dreßler et al., 2021; GALK e.V., 2026): *A. campestre* – 0,40 – 0,60 *C. australis* – 0,40 – 0,60	0,4 – 0,6

	Landschaftsbau e.V., 2010; Bouillon, 2013)	*F. ornus* – 0,40 – 0,60 *K. paniculata* – 0,40 – 0,60 *P. x hispanica* – 0,40 – 0,60 *Z. serrata* – 0,40 – 0,60 *G. biloba* – 0,40 – 0,60 *P. nigra* – 0,40 – 0,60 *R. pseudoacacia* – 0,10 – 0,30	
Baumpflanzung (offene, nicht überbaute Pflanzgrube mit Unterpflanzung)	Bewässerungsbedarf artenspezifisch, Pflanzgrube min. 12 m³ und nicht belastet, Pflege intensiver durch Unterpflanzung (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2010; Bouillon, 2013; Seipel, 2021)	Baumpflanzung: siehe Arten oben (Dreßler et al., 2021; GALK e.V., 2026) Unterpflanzung: siehe Arten GI-Typen „Staudenpflanzung“, „Zierrasenfläche“, „Gebrauchsrasen, Blumenrasen“	0,4 – 0,6/ 0,7 – 0,9
Baumpflanzung (überbaute Pflanzgrube, ohne bepflanzte Baumscheibe)	Bewässerungsbedarf artenspezifisch, Substrat tragfähig, überbauter Wurzelraum, Pflege extensiv (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2010)	Baumpflanzung: siehe Arten oben (Dreßler et al., 2021; GALK e.V., 2026)	0,4 – 0,6
Baumpflanzung (überbaute Pflanzgrube, mit bepflanzter Baumscheibe)	Bewässerungsbedarf artenspezifisch, Substrat tragfähig, überbauter Wurzelraum, Pflege intensiver durch Unterpflanzung (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2010; Bouillon, 2013; Seipel, 2021)	Baumpflanzung: siehe Arten oben (Dreßler et al., 2021; GALK e.V., 2026) Unterpflanzung: siehe Arten GI-Typen „Staudenpflanzung“, „Zierrasenfläche“, „Gebrauchsrasen, Blumenrasen“	0,4 – 0,6/ 0,7 – 0,9
Extensive Dachbegrünung	Pflege extensiv, trockenheitsresistent und nach Anwuchsphase keine künstliche Bewässerung üblich, natürlicher Niederschlag (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2018a)	(Optigrün international AG, no date b): *Sedum ssp.* – 0,10 – 0,30 *Semperviv. ssp.* – 0,10 – 0,30 *P. saxifraga* – 0,10 – 0,30 *C. tomentosum* – 0,10 – 0,30	0,1 – 0,3
Reduziert-intensive Dachbegrünung	Pflege intensiver, höhere Artenvielfalt, regelmäßige Pflege und künstliche Bewässerung empfohlen (Florineth, 2012; Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2018a; ASI, 2019)	(Optigrün international AG, no date a): *A. montanum* – 0,40 – 0,60 *D. arenarius* – 0,40 – 0,60 *I. sempervirens* – 0,40 – 0,60 *O. vulgare* – 0,40 – 0,60 *S. nemorosa* – 0,40 – 0,60 *S. chamaecyparissus* – 0,40 – 0,60 *T. vulgare* – 0,40 – 0,60	0,4 – 0,6

Intensive Dachbegrünung	Pflege intensiv, hohe Artenvielfalt, regelmäßig Pflege und künstliche Bewässerung erforderlich (Florineth, 2012; Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2018a; Pitha et al., 2021)	Hohe Vielfalt möglich, siehe Arten andere GI-Typen	0.4-0.6/ 0,7 – 0,9
Vertikalbegrünung (bodengebunden, ohne Unterpflanzung)	Resilient und extensiv hinsichtlich Pflege und Bewässerungsbedarf, standortspezifisch (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2018b)	Typische Kletterpflanzen (Kraus et al., 2019): *H. helix* – 0,40-0,60 *P. tricuspidata* – 0,40 – 0,60 *P. quinquefolia* – 0,40 – 0,60 *Wisteria ssp.* – 0,40 – 0,60 *A. quinata* – 0,40 – 0,60 *Clematis hyb.* – 0,40 – 0,60 *V. vinifera* – 0,40 – 0,60	0,4 – 0,6
Vertikalbegrünung (bodengebunden, mit Unterpflanzung)	Resilient und extensiv hinsichtlich Pflege und Bewässerungsbedarf, standortspezifisch (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2018b) Pflege und Wasserbedarf bei Unterpflanzung je nach Artenauswahl niedrig bis hoch (Bouillon, 2013; Seipel, 2021)	Kletterpflanzen: siehe Arten oben (Kraus et al., 2019): Unterpflanzung: siehe Arten GI-Typen „Staudenpflanzung“, „Zierrasenfläche“, „Gebrauchsrasen, Blumenrasen“	0,4 – 0,6/ 0,7 – 0,9
Vertikalbegrünung (troggebunden, ohne Unterpflanzung)	Technische Bewässerung erforderlich, Wurzelraum begrenzt, Pflegeaufwand vergleichbar mit bodengebundener Vertikalbegrünung (Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG), 2004)	Kletterpflanzen: siehe Arten oben (Kraus et al., 2019)	0,4 – 0,6
Vertikalbegrünung (troggebunden, mit Unterpflanzung)	Technische Bewässerung erforderlich, standortspezifisch, Wurzelraum begrenzt, Pflegeaufwand vergleichbar mit bodengebundener Vertikalbegrünung (Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG), 2004) Pflege und Wasserbedarf bei Unterpflanzung je nach Artenauswahl niedrig bis hoch (Bouillon, 2013; Seipel, 2021)	Kletterpflanzen: siehe Arten oben (Kraus et al., 2019): Unterpflanzung: siehe Arten GI-Typen „Staudenpflanzung“, „Zierrasenfläche“, „Gebrauchsrasen, Blumenrasen“	0,4 – 0,6/ 0,7 – 0,9

Vertikalbegrünung (wandgebunden, teilflächige Vegetationsträger)	Hoher Pflege und Bewässerungsaufwand, Abhängigkeit von System, Standort und Bepflanzung (Kraus et al., 2019)	Typische Gräser (Kraus et al., 2019): *C. morrowii* – 0,40 – 0,60 *L. nivea* – 0,40 – 0,60 *P. alopecuroides* – 0,10 – 0,30 *F. ovina* – 0,40 – 0,60 Typische Stauden (Kraus et al., 2019): *Nepeta ssp.* – 0,10 – 0,30 *Iberis ssp.* – 0,40 – 0,60 *Geranium ssp.* – 0,40 – 0,60 *Heuchera ssp.* – 0,40 – 0,60 *Bergenia ssp.* – 0,40 – 0,60 *Dianthus ssp.* – 0,40 – 0,60 *A. mollis* – 0,10 – 0,30 *A. millefolium* – 0,10 – 0,30	0,4 – 0,6/ 0.7-0.9
Vertikalbegrünung (wandgebunden, vollflächige Vegetationsträger)	Hoher Pflege und Bewässerungsaufwand, Abhängigkeit von System, Standort und Bepflanzung, Winterhärte kann eingeschränkt sein (Kraus et al., 2019)	Gräser und Stauden: siehe Arten oben (Kraus et al., 2019)	0,4 – 0,6/ 0,7 – 0,9