

# **EWA – Entscheidungshilfe in der Wasserversorgung unter Einbeziehung von Wandelfaktoren**

Endbericht November 2023

Graz, 21.11.2023

## **Impressum**

Medieninhaber und Herausgeber:

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft,  
Stubenring 1, 1010 Wien

Autorinnen und Autoren: Georg Arbesser-Rastburg, Anika Stelzl, Valentin Adler, David  
Camhy, Johanna Pirker, Daniela Fuchs-Hanusch

Wien, 2022. Stand: 21. November 2023

### **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 für Land-  
und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft 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  
vorgehen.



## Inhalt

<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>6</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>9</b>
<b>2 Bewertung von Wasserversorgungssystemen .....</b>	<b>12</b>
2.1 Leistungsanforderung Wasserversorgung .....	12
2.2 Leistungsindikatoren und deren Gewichtung .....	15
<b>3 Lastfälle und Zukunftsszenarien .....</b>	<b>19</b>
3.1 Lastfälle .....	19
3.2 Wandelfaktoren in der Wasserbedarfsprognose .....	21
3.2.1 Bevölkerungsentwicklung .....	21
3.2.2 Haushaltsprognosen .....	22
3.2.3 Klimaszenarien .....	23
3.3 Ergebnisse Studie Wasserschatz Österreich .....	25
<b>4 Modelle zur Szenarienprognose und Alternativenbewertung .....</b>	<b>27</b>
4.1 Einflussfaktoren Wasserverbrauch .....	27
4.2 Wasserbedarfsprognose .....	28
4.2.1 Gewählte Modellansätze .....	28
4.2.2 Modellentwicklung .....	29
4.2.3 Wasserbedarfsprognose .....	34
4.3 Hydraulische Modellierung im Projekt EWA .....	37
4.3.1 Modellierungsgrundlage .....	38
4.3.2 EWA-Modell .....	40
4.3.3 Verbrauchsbausteine .....	44
4.3.4 Wasserbedarfsskallierung anhand von Wandelfaktoren .....	44
4.3.5 Leistungsindikatorberechnung .....	46
4.3.6 Modellierungs-Workflow .....	49
<b>5 EWA-Tool .....</b>	<b>52</b>
5.1 Software-Architektur .....	52
5.1.1 Simulations Backend .....	53
5.1.2 Datenbank für Wasserbedarf und -dargebot .....	54
5.1.3 Schnittstelle Frontend-Backend und Sicherheit .....	54
5.1.4 Frontend .....	55
5.2 Bedienoberfläche .....	56
5.2.1 Hauptmenü und Modellverwaltung .....	56
5.2.2 Kartenansicht .....	61

5.2.3	Listenansicht und Simulationshistorie.....	70
5.3	Gamification.....	74
5.3.1	Herausforderungen.....	75
5.3.2	Aufgaben.....	78
5.3.3	Aufgabengruppe .....	80
5.3.4	Visualisierung der Herausforderungen in der Oberfläche.....	81
5.3.5	Technische Umsetzung von Herausforderungen .....	84
5.3.6	Debug-Modus .....	85
5.3.7	Bisher erstellte Herausforderungen .....	87
5.3.8	Herausforderungs-Editor .....	91
<b>6</b>	<b>Anwendungsmöglichkeiten und Nutzen EWA Tool .....</b>	<b>97</b>
6.1	Anwendungsmöglichkeiten und Nutzen EWA – Tool in der österreichischen Siedlungswasserwirtschaft .....	97
6.2	Nutzen EWA-Tool durch Gamification.....	99
<b>7</b>	<b>EWA-Workshops und Publikationen .....</b>	<b>101</b>
7.1	Feedbackschleifen Workshops .....	101
7.2	Wissenschaftsdissemination auf Tagungen und Kongressen.....	102
	<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>104</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>105</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>108</b>
	<b>Abkürzungen.....</b>	<b>113</b>

# Zusammenfassung

Die Kernziele des Forschungsvorhabens EWA – Entscheidungsfindung in der Wasserversorgung unter Berücksichtigung von Wandelfaktoren waren zum einen die **Nutzung der Digitalisierung zur Reduktion von Unsicherheiten in der Modellierung von Trinkwasserversorgungssystemen**. Zum anderen war die Auseinandersetzung mit **innovativen Planungsinstrumenten zur strategischen Planung in der Trinkwasserversorgung** ein Kernziel des Projektes. Es kamen **Gaming-Ansätze** zum Einsatz, die es ermöglichen Intuition, Expertenwissen und Modellierung zur Unterstützung der Entscheidungsfindung in der Wasserversorgungsplanung zu vereinen. Die Projektbearbeitung erfolgte in intensiver Interaktion und interdisziplinärer Zusammenarbeit zwischen Wasserversorgungsunternehmen (WVUs), Behörden, Bund sowie dem Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau und dem Game Lab am Institut für Interactive Systems and Data Science der TU Graz.

Um Planungen hinsichtlich deren Eignung für eine langfristige Sicherung der Trinkwasserversorgung bewerten zu können, wurden geeignete Leistungsindikatoren abgeleitet (Kapitel 2). Dabei wurde mit einem partizipativen Ansatz gearbeitet und in einem Workshop Anforderungen an die Wasserversorgung definiert und strukturiert. In einem nächsten Schritt wurden diese in quantifizierbare Indikatoren „übersetzt“ und mittels Analytical Hierarchy Process (AHP) (Saaty, 1987) unter Nutzung eines Online Tools (Goepel, 2018) hinsichtlich deren Wichtigkeit für eine Aufnahme in das EWA-Tool bewertet. Als zentrale Indikatoren ergaben sich die Bedarfsdeckung, die hydraulische Resilienz, die Wasserverlustrate und die Anzahl nicht versorgter Einwohner\*innen je Zeiteinheit.

Eine weitere wichtige Untersuchung im Projekt betraf die Auswahl maßgeblicher Lastfälle für die langfristige Bewertung der Leistungsfähigkeit von Trinkwassernetzen im geplanten EWA-Tool sowie die detaillierte Auseinandersetzung mit möglichen Wandelszenarien in Österreich (Kapitel 3). Die Lastfälle wurden ebenfalls in einem Workshop partizipativ erarbeitet und kategorisiert. Im Kontext zu den Wandelszenarien wurden die Bevölkerungsentwicklung, Haushaltsprognosen und Klimawandelszenarien betrachtet. Für die Bevölkerungsentwicklung in Österreich standen verschiedene Varianten in unterschiedlicher zeitlicher Auflösung zur Verfügung. Eine kleinräumige Bevölkerungsprognose, welche zukünftige Bevölkerungsentwicklungen jährlich bis 2050 auf Bezirksebene aufzeigt (ÖROK, 2022) wurde für die Wasserbedarfsprognose herangezogen. Um die Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserverbrauch ableiten zu können wurden die Klimaprojektionen aus der

ÖKS 15 Studie (Chimani et al., 2015) verwendet. Es wurden Klimaindizes, welche in der ÖKS 15 Studie definiert wurden, auf deren Korrelation mit dem Wasserverbrauch untersucht. Als signifikante Klimaindizes haben sich unter anderem die mittlere Temperatur, Sommertage und Hitzetage, Hitzeepisoden sowie Trockenepisoden erwiesen. Zusätzlich erfolgte auf Anregung der Fördergeber\*innen des BML und der Landesregierungen eine Auseinandersetzung mit der Studie Wasserschatz Österreichs (BMLRT, 2021), um eine Einbindung der Studienergebnisse in das EWA-Tool zu ermöglichen. Die frei zugänglichen Ergebnisse der Wasserschatz-Studie (BMLRT, 2021) sowie die vom Umweltbundesamt übermittelten Geodaten zu den in der Wasserschatz-Studie definierten und verwendeten Szenarienregionen wurden in die EWA-Datenbank überführt und stehen im Tool flächendeckend für Österreich zur Verfügung.

In Projekt wurde zudem auf Basis von Zonenverbrauchszeitreihen unterschiedlicher Wasserversorgungsunternehmen ein allgemein gültiges multiples lineares Regressionsmodells (MLR-Modell) entwickelt, welches den zukünftigen Spitzenwasserverbrauch unter Berücksichtigung der Klimaprojektionen aus der ÖKS 15 Studie (Chimani et al., 2015) prognostizieren kann. Um die Veränderungen des Klimas abbilden zu können, werden die in Kapitel 3 definierten Klimaindizes in der Modellbildung berücksichtigt. Der Modellbildungsprozess, die Überprüfung der Modellgüte und die generierten Ergebnisse werden in Kapitel 4.2 beschrieben. Die entwickelten Modelle wurden auf unterschiedliche Messzonen der teilnehmenden WVUs angewendet und getestet. Der zukünftige Spitzenwasserverbrauch wurde mit Hilfe des generellen MLR-Modells, unter Berücksichtigung der Klimaindizes, ermittelt. In einem weiteren Schritt wurde die Veränderung des Wasserbedarfs aufgrund der Bevölkerungsveränderung mitberücksichtigt. In allen untersuchten Zonen muss mit einer Zunahme des Spitzenwasserverbrauches gerechnet werden, die abhängig von den unterschiedlichen Klimawandelszenarien zwischen 10 und 17 % liegen kann. Die Bevölkerungsentwicklung spielt in den betrachteten Zonen eine entscheidende Rolle bei der Bedarfsveränderung. In der in Kapitel 3 mitbetrachteten Studie Wasserschatz Österreich (BMLRT, 2021) wurde als Bedarfssteigerung, welche auf den Klimawandels zurückzuführen ist, für kommunale Haushalte ein Wert von 2 bis 6 % bis 2050 ermittelt. In Summe ist bis 2050 in den Haushalten mit einer Bedarfssteigerung von 11 bis 15 % zu rechnen. Die Ergebnisse decken sich weitestgehend mit jenen der im Projekt entwickelten detaillierten Langzeitprognosen. Die verfügbaren Grundwasserressourcen in Österreich können bis 2050 regional um bis zu 23 % abnehmen.

Kapitel 4.3 behandelt die hydraulischen Modellierungsansätze, die dem EWA-Tool zugrunde liegen. Die Modellierung basiert auf der Open-Source Modellierungssoftware EPANET. Aufbauend auf EPANET-Modellen wurde ein neuer Modelltyp (EWA-Modell) entwickelt, der neben den räumlichen Dimensionen zusätzlich noch hydraulisch entkoppelte Zeitschritte, sowie unterschiedliche Lastfälle abbilden kann. Diese Modelle können mit Wasserbedarfsprognosen verschnitten und anschließend anhand von Leistungsindikatoren evaluiert werden.

Die Umsetzung des EWA-Tools wird in Kapitel 5 erläutert. Es steht eine webbasierte Lösung zur Verfügung, die in die Service-Landschaft der TU Graz integriert wurde. Über das Tool können Trinkwasserversorgungssysteme in mehreren diskreten Zeitschritten in die Zukunft geplant werden, sowie unterschiedliche Lastfälle berücksichtigt werden. Eine Analyse anhand von Leistungsindikatoren ermöglicht dann die Optimierung des Systems. Dazu können Modelle von Trinkwassernetzen als EPANET Input-Datei hochgeladen und in ein EWA-Modell konvertiert werden. Das Tool kann dabei neben Planungsaufgaben auch zu Schulungen oder zur Bewusstseinsbildung eingesetzt werden. Dies ermöglicht ein flexibles Gamification-System, über das Herausforderungen bestehend aus einzelnen Aufgaben für User\*innen definiert werden können. Die erfolgreiche Absolvierung der Herausforderungen wird mit Pokalen und Punkten als Feedback belohnt. Die Herausforderungen können über einen Editor in der Weboberfläche erstellt und anschließend einem EWA-Modell zugeordnet werden. Tutorials – eine spezielle Art der Herausforderungen, die zum Tool-Onboarding eingesetzt werden können – und andere allgemeine Herausforderungen können zentral an alle Nutzer\*innen verteilt werden. Zusätzlich können Nutzer\*innen ihre eigenen Modelle mit Herausforderungen versehen.

Die Anwendungsmöglichkeiten des EWA-Tools reichen somit von Planungsaufgaben in der öffentlichen Verwaltung über Schulungen von Mitarbeiter\*innen in Wasserversorgungsunternehmen bis hin zu einer Vorevaluierung langfristiger strategischer Planungen in Planungsbüros. Aufgrund der Gamification bietet sich neben der Nutzung des EWA-Tools zu Planungszwecken auch eine Verwendung für Schulungen oder Bewusstseinsbildung an. Je nach Zielgruppe können Aufgaben über hydraulische Modellierung allgemein, oder konkrete Problemstellungen aus realen Trinkwasserversorgungssystemen behandelt werden.



# 1 Einleitung

Als Folge des Klimawandels muss zukünftig auch in Österreich mit einem zunehmenden Risiko für Dürreereignisse gerechnet werden (Haslinger et al., 2023). Dies ergibt sich auf Grund der Zunahme von Hitzetagen und Trockenepisoden (Chimani B. et al., 2016; Russo, Sillmann und Fischer, 2015). Die Folgen zunehmender Hitze- und Trockenepisoden für die Wasserversorgung wurden in den letzten Jahren immer deutlicher. Insbesondere in den Jahren 2003, 2018 und 2022 waren Teile von Österreich von langen Trockenepisoden betroffen (Stangl M. et. al., 2023). In Oberösterreich waren Wasserversorgungsunternehmen 2018 aufgrund der Trockenheit von einem deutlichen Rückgang insbesondere von Quellschüttungen betroffen (Amt der Oö. Landesregierung, 2019). Im Osten und Süden Österreichs kam es im Frühjahr 2023 zu teils kritischen Situationen für die Wasserversorgung, die sich trotz zunehmenden Niederschlags immer noch nicht vollständig entspannt haben (Umweltbundesamt, 2023). Dabei wurde eines deutlich, auch im wasserreichen Land Österreich können Grundwasserressourcen von den Folgen des Klimawandels betroffen sein, zudem haben die Wassernutzungen in den Grundwasserkörpern kontinuierlich zugenommen. Ein Rückgang der Grundwasserstände ist aktuell in ganz Zentraleuropa auch auf Basis von Satellitendatenauswertungen erkennbar (Boergens et. al., 2020). Die Studie Wasserschutz Österreichs prognostiziert, dass die Wassernutzungen in Österreich bis 2050 um 21 % steigen und gleichzeitig die verfügbaren Grundwasserressourcen um 23 % abnehmen werden (BMLRT, 2021).

Aufgrund der genannten zukünftigen Rahmenbedingungen ist mit einer unsicheren Entwicklung des Wasserverbrauchs und der Ressourcenverfügbarkeit in Österreich zu rechnen. Planungen in die Zukunft sollten daher auf Robustheit hinsichtlich der möglichen sozio-demographischen und klimatische Entwicklungen prüfbar sein. Robuste Planungsalternativen sind dabei jene, die für verschiedene Wandelszenarien die Anforderungen an die Wasserversorgung langfristig erfüllen können.

Eine Sensibilisierung der Wasserversorgungsunternehmen, der Verantwortlichen in den Gemeinden und Städten aber auch der Bevölkerung für allfällige zukünftige Herausforderungen für die Wasserversorgung ist erforderlich. Eine funktionierende Trinkwasserversorgung an 365 Tagen im Jahr ohne jegliche Nutzungseinschränkungen ist in Österreich eine Selbstverständlichkeit. Warum das so ist und wodurch, wo und wann es möglich werden kann,

dass ein Wasserversorgungssystem nicht in der gewünschten Form funktioniert, ist zur Erreichung einer solchen Sensibilisierung zu vermitteln. Dazu ist die Auseinandersetzung mit möglichen Zukunftsszenarien für die österreichische Wasserversorgung nötig und es sind Kernanforderungen an die Wasserversorgung der Zukunft zu definieren. Die gewonnenen Erkenntnisse hinsichtlich der zukünftigen Entwicklung des Wasserbedarfes in Österreich sollten in den langfristigen strategischen Planungen Berücksichtigung finden.

Gewonnene Erkenntnisse zu zukünftigen Entwicklungen in der Wasserversorgung sind in geeigneter Form in entsprechende Planungstools einzubinden. Die Planungstools sollten zudem eine möglichst ganzheitliche Bewertung von geplanten Systemerweiterungen bzw. Anpassungen ermöglichen. Die Leistungsfähigkeit der Anlagen sollte dabei über die gesamte Planungsperiode nachvollziehbar sein. Der Zeitpunkt allfälliger zukünftiger Engpässe und welche Zukunftsszenarien zu Engpässen führen können, sollte ein auf langfristige Planungen ausgelegtes strategisches Planungstool ebenfalls abdecken.

Zur Unterstützung des Planungsprozesses und zur Bewusstseinsförderung hinsichtlich möglicher zukünftiger Problemstellungen eignet sich das Konzept der Gamification. Gamification bezeichnet die Verwendung von Elementen des Gamedesigns – wie beispielsweise Highscores oder Abzeichen – in einem nicht spielerischen Kontext (Deterding et. al., 2011). Gamification wird in vielen verschiedenen Bereichen eingesetzt, wie beispielsweise in der Bildung, dem Gesundheitswesen oder der Bewusstseinsbildung.

Das Spiel „MiniLautern“ behandelt beispielsweise die Thematik von neuen Maßnahmen zur Thematik Mobilität und deren Vorteile. Spieler\*innen müssen auf Basis von Vorgaben eines Bürgerrates verschiedene Maßnahmen wie beispielsweise die Reduktion von Parkplätzen vornehmen. Werden die Vorgaben umgesetzt, werden die Spieler\*innen mit Punkten belohnt. Zusätzlich werden die Auswirkungen der Maßnahmen beschrieben (Polst, Tamanini und Elberzhager, 2021). Im Spiel „Cool Choices“ hingegen sollen Spieler\*innen dazu motiviert werden, in einem Team energiesparende Maßnahmen umzusetzen, um somit Punkte zu sammeln und Belohnungen zu erhalten (Ro et. al., 2017). Ähnliche Konzepte können auch in der Siedlungswasserwirtschaft zur Bewusstseinsbildung und Ausbildung genutzt werden.

Im Folgenden werden die im Projekt EWA zur Unterstützung der genannten Herausforderungen für die Wasserversorgung durchgeführten wissenschaftlichen Untersuchungen, die Ergebnisse der abgehaltenen Co-Development Workshops und die Entwicklung eines web-

basierten Planungs-Tools für Wasserversorgungssysteme mit Gamification-Elementen unter Einbeziehung von Wandelszenarien, langfristiger Entwicklung und unterschiedlichen Belastungszuständen im Detail beschrieben.

Der restliche Bericht unterteilt sich dazu in die Kapitel „Bewertung von Wasserversorgungssystemen“, „Lastfälle und Zukunftsszenarien“, „Modelle zur Szenarienprognose und Alternativenbewertung“, „EWA-Tool“ und „Anwendungsmöglichkeiten und Nutzen des EWA-Tools“.

# 2 Bewertung von Wasserversorgungssystemen

Um Planungsalternativen hinsichtlich deren Eignung zur langfristigen Sicherung der Trinkwasserversorgung zu bewerten, wurden geeignete Leistungsindikatoren abgeleitet. Die Indikatoren wurden in einem Co-Development Prozess entwickelt, mittels Multikriterieller Entscheidungsfindung (MCDA) hinsichtlich Wichtigkeit der Implementierung in EWA bewertet. Als wichtigste Indikatoren wurden die Wasserbedarfsdeckung, die Anzahl hydraulisch unterversorgter Knoten, die hydraulische Resilienz und Wasserverluste identifiziert.

## 2.1 Leistungsanforderung Wasserversorgung

Die Ableitung von Leistungsanforderungen und die Wasserversorgung war Gegenstand eines Projektworkshops im ersten Projektjahr. Der Workshop hatte zum Ziel, Leistungsindikatoren sowie Lastfälle (siehe Kapitel 3.1) für das EWA-Tool unter Einbeziehung aller Projektbeteiligten zu definieren.

Covid19 bedingt musste der Workshop online abgehalten werden. Um trotzdem in Gruppen und interaktiv arbeiten zu können wurde zum einen das Online Tool Miro (Miro, 2022) verwendet und zum anderen wurden über WebEx Breakout Sessions (virtuelle Gruppenbesprechungen) organisiert.

Im vorbereiteten Miro-Board wurde ermöglicht, dass mehrere Nutzer gemeinsam an einer virtuellen Flipchart bzw. einem Whiteboard arbeiten. Es wurde die Methode des Brainwritings genutzt, in welcher über „Post-Its“ Anforderungen an eine nachhaltige und leistungsfähige Wasserversorgung (Abbildung 1), die im EWA-Tool Berücksichtigung finden sollen, gesammelt.

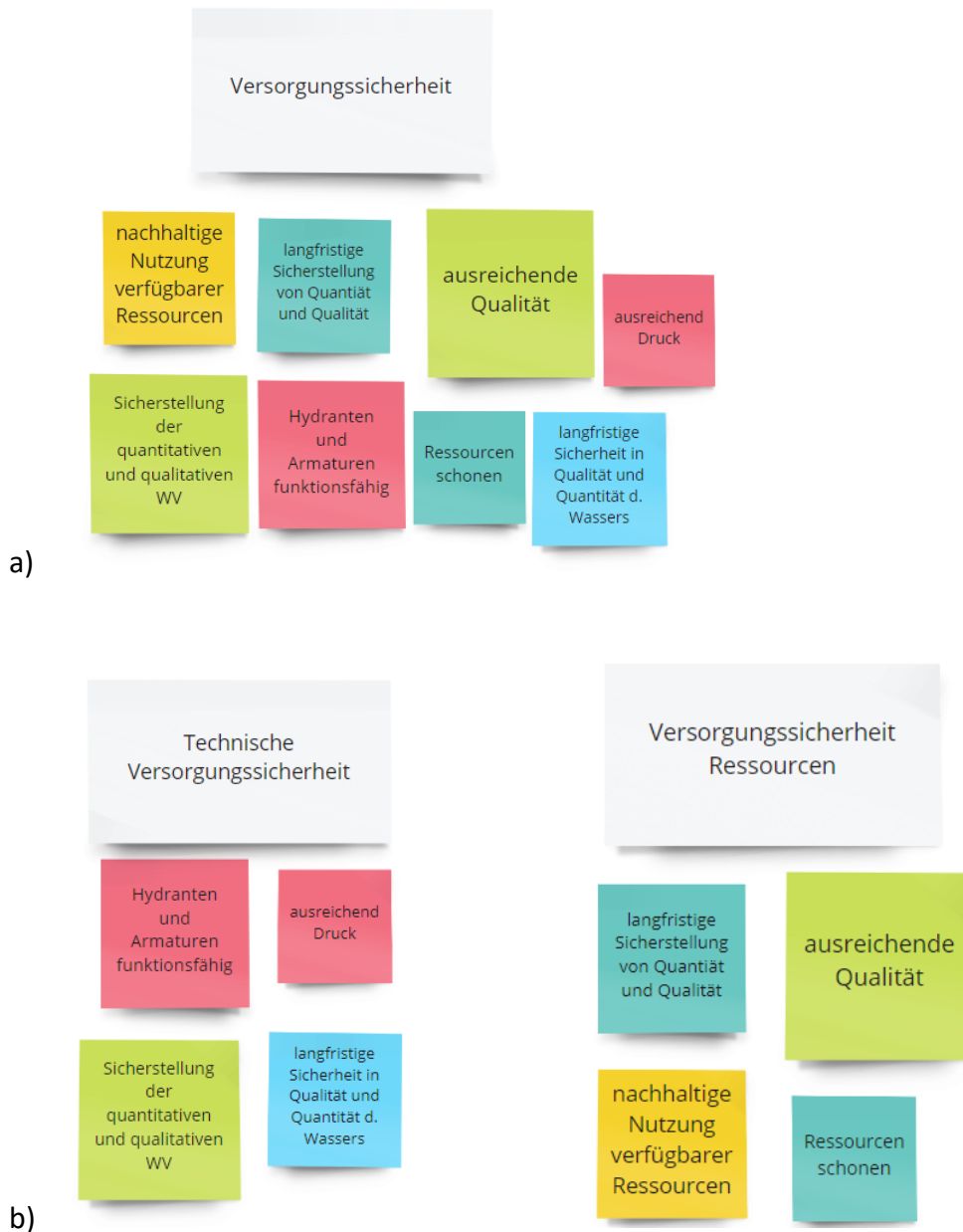
Abbildung 1: Ergebnis Brainwriting WS 1 zu „Leistungsanforderungen Wasserversorgung“



Das Brainwriting Ergebnis zu den Leistungsanforderungen an die Wasserversorgung wurde im Workshop kategorisiert und strukturiert. Die Kategorisierung hatte zum Zweck ähnlich lautende Anforderungen in einer Kategorie zu bündeln. Um eine bessere Diskussion zur Kategorisierung zu ermöglichen, wurden die Teilnehmer\*innen in Gruppen unterteilt. In den Gruppen erfolgte der Austausch zur Kategorisierung über WebEx Breakout Sessions. Gruppe 1 hat dafür die Versorgungssicherheit weiter unterteilt und zwischen technischer und die Ressourcen betreffender Versorgungssicherheit unterschieden. Abbildung 2 zeigt die Zuordnung der Anforderungen aus dem Brainwriting zum Thema „Versorgungssicherheit“ in die beiden Unterkategorien „Technische Versorgungssicherheit“ und „Versorgungssicherheit Ressourcen“. Ein letzter Schritt des Workshops hatte zum Ziel die Anforderungen weiter zu kategorisieren und diese in ökonomische, ökologische, technische und soziale Anforderungen einzuteilen. Ziel war daraus quantifizierbare Leistungsindikatoren ableiten zu können, die im Tool für die Bewertung der Wasserversorgung verwendet werden können.

Im Anschluss an diese weitere Strukturierung wurde das erzielte Ergebnis jeder Gruppe präsentiert und diskutiert.

Abbildung 2: Bsp. unterschiedliche Kategorisierung der Leistungsanforderung Versorgungssicherheit von Gruppe 1 (a) und Gruppe 2 (b)



## 2.2 Leistungsindikatoren und deren Gewichtung

Geeignete Leistungsindikatoren für die Bewertung und Evaluierung von Planungsalternativen in der Wasserversorgung wurden auf Basis der Ergebnisse des in Kapitel 2.1 beschriebenen Workshops sowie einer daran anschließenden Gewichtung mittels AHP festgelegt. Die Co-Development Methode wurde gewählt um Konsens über die zukünftig in das EWA-Tool einfließenden Indikatoren zu erlangen und um das fundierte und breite Wissen der im Projekt beteiligten Personen mit unterschiedlichen Arbeitsschwerpunkten und Anforderungen an die Wasserversorgung zu nutzen. Als Ergebnis des partizipativen Prozesses aus WS 1 ergaben sich folgende in Tabelle 1 aufgelisteten Indikatoren.

Tabelle 1: ökonomisch, ökologische, technische und soziale Leistungsanforderungen an Wasserversorgungsanlagen

Ökonomische Leistungsindikatoren	Technische Leistungsindikatoren	Soziale Leistungsindikatoren	Ökologische Leistungsindikatoren
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kostendeckende Wassergebühr</li> <li>• Erneuerungsrate</li> <li>• Lebenszykluskosten</li> <li>• Kostendeckungsgrad</li> <li>• Ressourcenaufwand pro m<sup>3</sup></li> <li>• Energiebedarf pro m<sup>3</sup> verkauften Wassers</li> <li>• Betriebsmittelaufwand</li> <li>• Anschlussgrad wirtschaftlich anschließbarer Objekte</li> <li>• Investitions- und Reinvestitionsraten</li> <li>• Eigentum an Liegenschaften (Schutzgebiete, Liegenschaften mit Gewinnung)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hydraulische Kapazität</li> <li>• Netzalter</li> <li>• Schadensraten</li> <li>• Anzahl Störfälle pro Leitungslänge</li> <li>• Anzahl Wassermeister/Wasserwarte</li> <li>• Teilnahme Benchmarkprojekt ÖVGW</li> <li>• Wasserverluste</li> <li>• Sanierungsrate</li> <li>• Smart Meter Deckungsgrad</li> <li>• Ausfallzeiten</li> <li>• Bedarfsdeckungsgrad bei Ausfall der ergiebigsten Ressource</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sozial verträglicher Wasserpreis</li> <li>• Anzahl nicht versorgter Einwohner pro Zeiteinheit (Störfall)</li> <li>• Bedarfsdeckung</li> <li>• Reklamationen</li> <li>• Kund*innen-Beschwerden</li> <li>• Siedlungswirtschaft (SWW) Forschungsausgaben</li> <li>• Ausbildungsstunden pro Mitarbeiter</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verhältnis Grundwassernutzung zu -neubildung</li> <li>• Wasserverluste</li> <li>• Bedarfsdeckungsgrad</li> <li>• Anteil der Energie aus Eigenstromgewinnung</li> <li>• Energiebedarf pro m<sup>3</sup> verkauften Wassers</li> </ul>

Ökonomische Leistungsindikatoren	Technische Leistungsindikatoren	Soziale Leistungsindikatoren	Ökologische Leistungsindikatoren
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zahl nicht bewilligter Anlagenteile</li> <li>• Absicherung von Servitutsrechten mit privatrechtlichen Verträgen</li> <li>• Interkommunale Zusammenarbeit</li> </ul>			

Die Indikatoren aus Tabelle 1 wurden im SWW-Team hinsichtlich einer möglichst einfachen Verfügbarkeit der zur Indikatorberechnung nötigen Daten bei österreichischen Wasserversorgungsunternehmen hinterfragt. Zusätzlich wurde überlegt, welche Indikatoren nur geringfügige Relevanz für die Zielsystemplanung mit dem EWA-Tool haben. Es ergab sich daraus folgende verkürzte Indikatorenliste, die für die weitere partizipative Bearbeitung mittels AHP zur Verfügung gestellt wurde:

- Lebenszykluskosten
- Ressourcenaufwand pro m<sup>3</sup>
- Investitions- und Reinvestitionskosten
- Interkommunale Zusammenarbeit
- Anzahl nicht versorgter Einwohner je Zeiteinheit
- Bedarfsdeckung
- Hydraulische Kapazität
- Netzalter
- Schadenraten
- Erneuerungsrate
- Smart Meter Deckungsgrad
- Wasserverluste
- GW-Nutzung/-Neubildung
- Energiebedarf/m<sup>3</sup> verkauftem Wasser
- Grauwasserdeckungsgrad
- Anteil Eigenenergiebedarf

Im AHP Web Tool – AHP – OS (Goepel, 2018) wurde danach eine Indikatorhierarchie aufgebaut, um den paarweisen Vergleich der einzelnen Indikatoren, wie er im Zuge des AHP vorgesehen ist, zu ermöglichen. Der paarweise Vergleich aller Indikatoren nimmt in



etwa 30 bis 45 min in Anspruch, worüber die Teilnehmer\*innen zuvor informiert wurden. Die Teilnehmer\*innen bewerten dabei jeweils, um wie viel wichtiger sie einen Indikator gegenüber einem anderen Indikator empfinden. Es kann zwischen gleich (1), etwas wichtiger (3), viel wichtiger (5) sehr viel wichtiger (7) und außergewöhnlich wichtig (9) gewählt werden. Jeder Indikator ist mit jedem anderen zu vergleichen wodurch sich bei 15 Indikatoren die hohe Dauer der Bewertung ergibt.

Insgesamt haben 13 Personen am AHP teilgenommen. Aus der Steuerungsgruppe (Land und Bund) haben 6 Personen, von den beteiligten WVUS 3 Personen und aus dem Universitäts-team 4 Personen teilgenommen.

Tabelle 2 zeigt das Ergebnis der Reihung der Wichtigkeit aller Teilnehmer\*innen, wobei die Bewertung in der linken Grafik (a) mittels der sogenannten „balanced-Skala“ ausgewertet wurde und (b) gemäß der ursprünglichen 9-stufigen Saaty Skala. Bei der balanced-Skala werden die Gewichte gleichmäßig über den Beurteilungsbereich verteilt. Die lokalen Gewichte der klassische AHP Skala nach Saaty (1987) sind ganze Zahlen von 1 bis 9 und sind nicht gleich verteilt. Um eine Gleichverteilung zu erreichen schlugen Geopel (2018) eine balanced-Skala vor, bei der lokale Gewichte gleichmäßig über den Gewichtsbereich zwischen 0,1 und 0,9 verteilt sind. Während sich die Gewichte selbst bei der Verwendung unterschiedlicher Skalen doch deutlich verändern, bleibt hingegen die Reihung der Wichtigkeit insbesondere bei den als am wichtigsten angesehenen 6 Indikatoren gleich. Platz 7 und 8 der Reihung verschiebt sich allerdings, bei der klassischen Saaty Skala nehmen die Lebenszykluskosten Platz 7 ein, mit der balanced-Skala die Erneuerungsrate. Platz 9 bis 16 bleiben gleich. Bei der Verwendung der balanced-Skala ist zudem positiv, dass sich ein höherer Gruppenkonsens ergibt als bei Verwendung der klassischen Skala. Zudem liegen die Gewichte der 4 wichtigsten Kategorien, und insbesondere Platz 1 und 2 bei der balanced-Skala näher beisammen als bei der klassischen AHP, bei dieser hebt sich die Bedarfsdeckung (mit 16 %) als wichtigster Indikator deutlich von Platz 2, 3 und 4 (mit +/- 10 %) ab. Der ausgewogenere Gruppenkonsens ergibt sich auch daraus, dass einzelne sehr hohe Bewertungen (7 und 9) bei der balanced-Skala die Durchschnittsgewichte weniger stark beeinflussen.

Tabelle 2: Ergebnis AHP – OS alle Teilnehmer\*innen a) balanced-n Skala und b) standard AHP –Skala

Leistungsindikatoren	a) Priorität balanced-n Skala	a) Rang balanced-n Skala	b) Priorität standard AHP- Skala	b) Rang standard AHP- Skala
Lebenszykluskosten	6,4 %	8	6,0 %	7
Ressourcenaufwand pro m <sup>3</sup>	5,8 %	11	4,5 %	11
Investitions- und Reinvestitionskosten	5,9 %	9	4,8 %	9
Interkommunale Zusammenarbeit	4,7 %	13	1,7 %	13
Anzahl nicht versorgter Einwohner je Zeiteinheit	7,5 %	4	9,3 %	4
Bedarfsdeckung	9,8 %	1	16,0 %	1
Hydraulische Kapazität	8,4 %	2	11,2 %	2
Netzialter	5,9 %	10	4,6 %	10
Schadensraten	7,3 %	5	7,9 %	5
Erneuerungsraten	6,4 %	7	5,9 %	8
Smart Meter Deckungsgrad	3,7 %	15	1,8 %	15
Wasserverluste	7,7 %	3	9,4 %	3
GW Nutzung/Neubildung	7,0 %	6	7,9 %	6
Energiebedarf/m <sup>3</sup> verkauftem Wasser	5,3 %	12	3,7 %	12
Grauwasserdeckungsgrad	3,5 %	16	3,7 %	16
Anteil Eigenenergiebedarf	4,6 %	14	1,6 %	14

Aus Tabelle 2 kann abgeleitet werden, dass die Bedarfsdeckung, die hydraulische Kapazität, die Wasserverluste und die Anzahl nicht versorgter Einwohner\*innen im EWA-Tool Berücksichtigung finden sollten. Zusätzlich sollten die Indikatoren Schadensraten, Erneuerungsraten, Lebenszykluskosten und GW-Nutzung/-Neubildung einfließen. Da Untersuchungen zur GW-Neubildung nicht Gegenstand des Projektes waren, wurde die GW-Nutzung vs.-Neubildung nicht berücksichtigt.

# 3 Lastfälle und Zukunftsszenarien

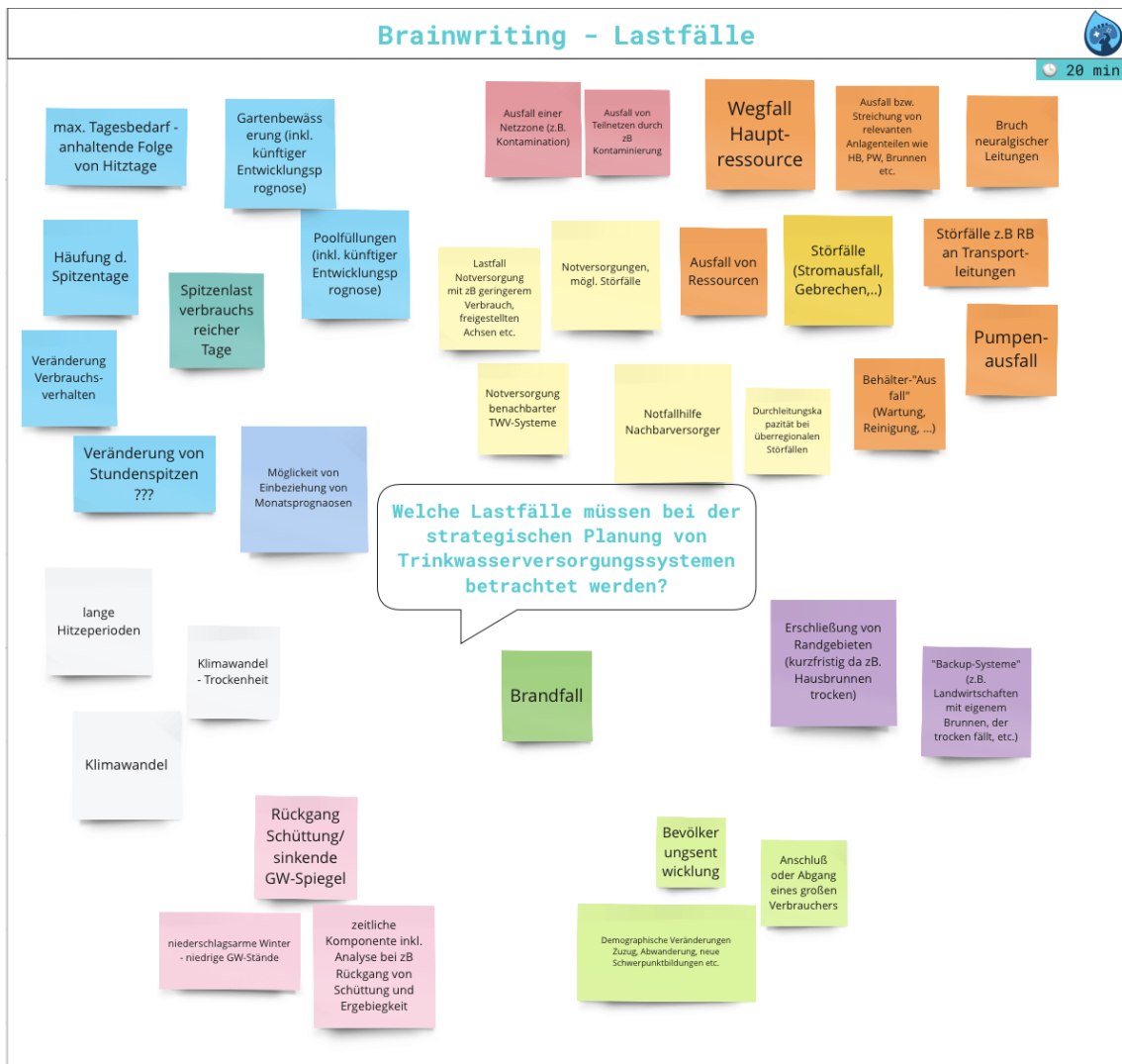
Wasserversorgungssysteme haben auch in Stör- und Extremlastfällen (Spitzenbedarf und Brandfall) die Anforderungen an die Trinkwasserversorgung gemäß Normen zu erfüllen („ÖNORM EN 805 Anforderungen an Wasserversorgungssysteme und deren Bauteile außerhalb von Gebäuden“, 2000; ÖNORM B 2538, 2018). Die für eine zukunftsorientierte Bewertung von Wasserversorgungssystemen geeigneten Lastfälle wurden mittels Co-Development zwischen Universität und projektbeteiligten Fördergeber\*innen festgelegt. Zusätzlich wurden für Österreich signifikante Einflussfaktoren auf den Wasserbedarf definiert. Darauf aufbauend wurden Wandelszenarien festgelegt, die zum einen die demografische Entwicklung und die Haushaltsprognosen (Geschäftsstelle der Österreichischen Raumordnungskonferenz (ÖROK), 2022) abbilden und zum anderen die regionalen Auswirkungen des Klimawandels berücksichtigen (Chimani et al., 2015). Um die Veränderung der Ressourcenverfügbarkeit abbilden zu können, wurde die Wasserschatz-Studie (BMLRT, 2021) herangezogen.

## 3.1 Lastfälle

Im Zuge des ersten Projektworkshops im Oktober 2020 erfolgte partizipativ die Festlegung der Lastfälle, welche in das Tool einfließen sollten. Im ersten Schritt wurde ein Brainwriting mit den Teilnehmer\*innen, mittels MIRO Board durchgeführt. Hierbei wurden mögliche Lastfälle für die Wasserversorgungssimulation gesammelt und anschließend in Gruppen kategorisiert. In Abbildung 3 ist das Ergebnis des Brainwriting dargestellt. Es ergaben sich vier Lastfallkategorien. Diese sind

- Störfälle
- Spitzenverbräuche
- Brandfall
- Rückgang von Ressourcen (Klimawandelfolge)

Abbildung 3: Ergebnis Brainwriting Lastfälle



Bei der Kategorie Störfälle ist erkennbar, dass es nach Ansicht der Teilnehmer\*innen eine Vielzahl an möglichen Fällen gibt, die im EWA-Tool abgebildet werden sollten. Störfälle wie Rohrbruch an Transportleitungen, Pumpenausfälle oder der Wegfall der Hauptressource wurden genannt. Es können im Tool Störfälle, wie zum Beispiel der Wegfall einer Ressource, angelegt werden. Weiters kann der Brandfall simuliert werden und der Rückgang von Ressourcen wurde anhand den Ergebnisse der Wasserschatz-Studie (BMLRT, 2021) implementiert.

## 3.2 Wandelfaktoren in der Wasserbedarfsprognose

Der Wasserbedarf ist von zahlreichen Einflussfaktoren abhängig, zu diesen zählen Wohnform, Haushaltsgröße, Wohlstand, allfällige saisonaler Faktoren (Tourismus) und Klima und Wetter. Für die im Projekt relevanten langfristigen Prognosen des Wasserbedarfs in unterschiedlichen Regionen Österreichs wurden insbesondere Faktoren untersucht, die auf Gebietsebene wirken und einem zukünftigen Wandel unterzogen sind. Dies sind Informationen zur regionalen Bevölkerungsentwicklung (ÖROK, 2022) sowie die zu erwartenden klimatischen Veränderungen welche in Form der Ergebnisse der regionalen Klimaprojektionen für Österreich (Chimani et al., 2015; Chimani B. et al., 2017) zur Verfügung stehen. Im Folgenden werden die für die Wasserbedarfsprognose als relevant identifizierte Faktoren und die dazu verfügbaren Daten im Detail beschrieben

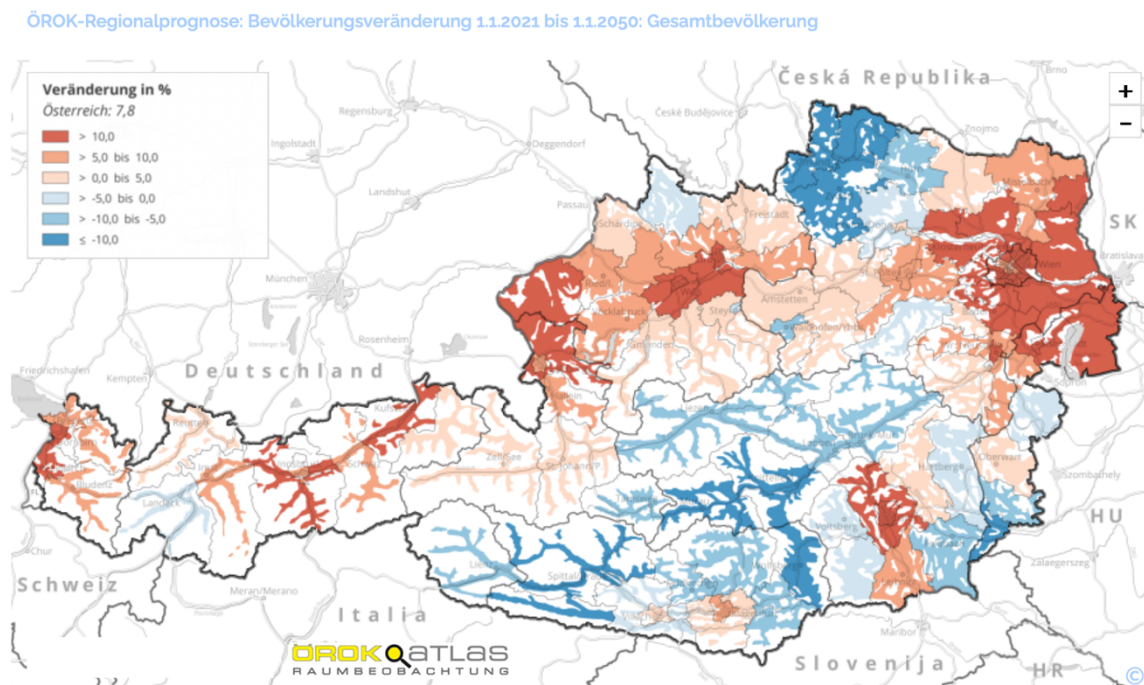
### 3.2.1 Bevölkerungsentwicklung

Für Österreich und die Bundesländer werden laufend Bevölkerungsprognosen von Statistik Austria (STATISTIK AUSTRIA, 2022) erstellt. Die zukünftige Bevölkerungsanzahl und -struktur basiert auf unterschiedlichen Kombinationen hoher, mittlerer und niedriger Annahmen über die Entwicklung der Geburtenzahlen, Sterbefälle und Wanderungsbewegungen. Dies erfolgt, um die Unsicherheiten der möglichen Entwicklung abbilden zu können. Basierend auf diesen Prognosen werden zukünftige alters- und geschlechtsspezifische Teilgruppen abgeschätzt. Für die Bevölkerungsstruktur ist eine Hauptvariante für den Zeitraum 2022-2100 für alle Bundesländer verfügbar. Außerdem sind Alternativvarianten für den Zeitraum 2019-2100 für Österreich vorhanden. Die Alternativvarianten umfassen

- Alterungsszenario
- Hohe Fertilitätsvariante
- Niedrige Fertilitätsvariante
- Hohe Lebenserwartungsvariante
- Niedrige Lebenserwartungsvariante
- Ober Wanderungsvariante
- Untere Wanderungsvariante
- Status Quo Variante
- Variante ohne Wanderung
- Wachstumsszenario

Diese Alternativvarianten sind jedoch nur für ganz Österreich verfügbar und nicht auf Bezirksebene. Des Weiteren ist eine kleinräumige ÖROK-Prognose (Geschäftsstelle der Österreichischen Raumordnungskonferenz (ÖROK), 2022) für den Zeitraum 2021-2050 auf Bezirksebene zugänglich. In dieser kleinräumigen Prognose wird die Bevölkerung geschlechtsspezifisch und nach Alter aufgeteilt. Abbildung 4 zeigt die Bevölkerungsveränderung bis 2050 gemäß ÖLROK Regionalprognose (ÖROK, 2022). Diese kleinräumige ÖROK-Prognose wurde für die Wasserbedarfsprognose in Kapitel 4.2 herangezogen.

Abbildung 4: ÖROK-Regionalprognose Bevölkerungsveränderung 2021 bis 2050 (Geschäftsstelle der Österreichischen Raumordnungskonferenz (ÖROK), 2022)

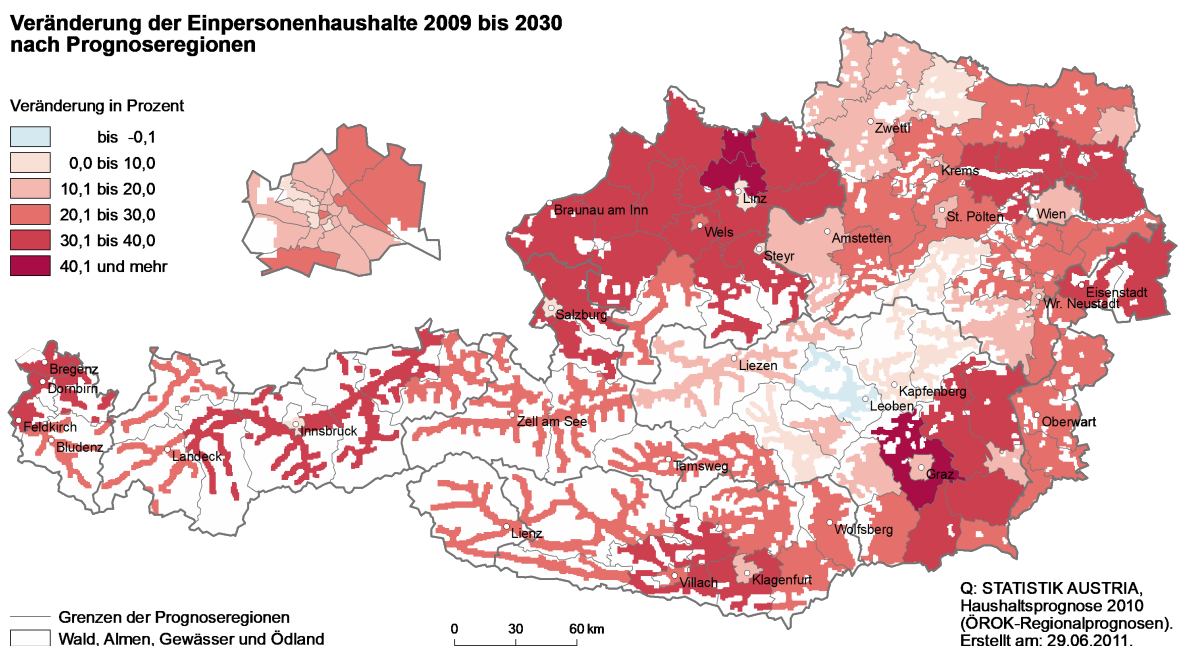


### 3.2.2 Haushaltsprognosen

Zusätzlich werden von Statistik Austria (STATISTIK AUSTRIA, 2020) Haushaltsprognosen für Österreich zur Verfügung gestellt. Diese können in eine Langzeit Haushaltsprognose (2011-2080) in 10 Jahresschritten je Bundesland und in eine kleinräumige jährliche Haushaltsprognose von 2014-2030 je Bezirk unterteilt werden. Die Haushalte werden in Ein- und Mehrpersonenhaushalte kategorisiert. Die Kategorie Privathaushalte wird in 2, 3, 4, 5, 6 und mehr Personen unterteilt.

Für Österreich ist mit einem Anstieg der Einpersonenhaushalte zu rechnen. Dafür ist die Alterung der Bevölkerung und die alleinlebenden Personen nach dem Tod eines Partners oder einer Trennung ausschlaggebend. In Abbildung 5 wird die Veränderung der Einpersonenhaushalte bis 2030 abgebildet. Die Zunahme der Einpersonenhaushalte ist deutlich zu erkennen, das stärkste Wachstum wird um Graz und Linz erwartet. Laut Prognose soll die Anzahl der Einpersonenhaushalte um das Jahr 2050 stagnieren, danach wird für alle Bundesländer (mit Ausnahme von Kärnten) ein Anstieg der Einpersonenhaushalte prognostiziert. Die Anzahl der Mehrpersonenhaushalte wird bis 2080 in allen Bundesländern, mit Ausnahme von Kärnten, ein Wachstum erfahren. Das stärkste Wachstum wird in Wien erwartet.

Abbildung 5: Veränderung der Einpersonenhaushalte 2009 bis 2030 (STATISTIK AUSTRIA, 2011)



### 3.2.3 Klimaszenarien

Im Zuge des fünften Sachstandberichts des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) sind verschiedene repräsentative Konzentrationspfade (RCPs) entwickelt worden (IPCC, 2014). Mit dem Begriff „repräsentativ“ wird vermittelt, dass es sich um Repräsentationen für eine große Anzahl an Szenarien handelt. Die Bezeichnung „Pfad“ beschreibt den zeitlichen Verlauf des langfristigen Konzentrationsniveaus. Bei den definierten RCPs bilden

die Treibhausgaskonzentration und der Strahlungsantrieb den Ausgangspunkt. Daher wurden die Szenarien nach der Änderung des Strahlungsantriebs bis Ende des 21. Jahrhunderts benannt. Es wurden vier verschiedene Szenarien definiert, welche bezüglich der Energiezunahme in relativ niedrig (RCP 2.6), mittel (RCP 4.5), hoch (RCP 6.0) und sehr hoch (RCP 8.5) eingeteilt werden können.

Für Österreich wurden im Zuge der ÖKS 15 Studie (Chimani et al., 2015), unter Berücksichtigung der definierten RCPs, Klimaprojektionen erstellt, welche jeweils eine plausible mögliche Klimaentwicklung für Österreich repräsentieren. Die Klimaprojektionen werden aus verschiedenen Kombinationen von globalen (GCM) und regionalen Klimamodellen (RCM) abgeleitet. Für die ÖKS 15 Studie wird ein Ensemble von GCMs und RCMs verwendet. Jede Einzelsimulation repräsentiert einen plausiblen möglichen Zustand des Klimasystems, wodurch alle Simulationen als gleichwertig betrachtet werden müssen. Für Österreich stehen je 16 Klimaprojektionen für RCP 4.5 und RCP 8.5 zur Verfügung. Weiters sind 8 Klimaprojektionen für RCP 2.6 verfügbar. Unter dem Begriff Klimavariabilität versteht man die natürliche Schwankung des Klimas. Um die Klimavariabilität besser ausgleichen zu können, wird ein längerer Zeitraum betrachtet. Um die Veränderung des Klimawandels besser abbilden zu können, wurden in der ÖKS 15 Studie (Chimani et al., 2015) verschiedene Klimaindizes erarbeitet. Diese Klimaindizes sind temperatur-, niederschlags- oder strahlungs-basiert.

Um den Zusammenhang zwischen Klima und Wasserverbrauch besser darstellen zu können, werden ausgewählte Klimaindizes für die Erstellung der Wasserverbrauchsmodelle (4.2.2) verwendet. Von den 27 definierten Klimaindizes werden die relevanten Indizes abgeleitet. Im ersten Schritt werden Klimaindizes ausgeschieden, welche in den historischen Daten nicht vorhanden sind und die keine Relevanz für den täglichen Wasserverbrauch aufweisen. Mittels einer Korrelationsanalyse wird festgestellt, ob die gewählten Klimaindizes mit dem täglichen Wasserverbrauch korrelieren. In der Tabelle 3 sind die ausgewählten Klimaindizes dargestellt und beschrieben. Die Klimaindizes können aus den vorhandenen Klimaprojektionen ermittelt werden.



Tabelle 3: Beschreibung der EWA relevanten Klimaindizes (Chimani et al., 2015)

Klimaindizes	Beschreibung
<b>Lufttemperatur (°C)</b>	Mittlere Lufttemperatur
<b>Sommertage (Tage)</b>	Als Sommertage werden Tage bezeichnet, an denen die Tageshöchsttemperatur mehr als 25,0 °C erreicht.
<b>Hitzetage (Tage)</b>	Als Hitzetage werden Tage bezeichnet, an denen die Tageshöchsttemperatur mehr als 30,0 °C erreicht.
<b>Hitzeepisoden (Tage)</b>	Eine zumindest drei Tage andauernde durchgängige Episode, in der die Tagesminimumtemperatur mehr als 18,0 °C ist und die Tageshöchsttemperatur mehr als 30,0 °C erreicht. Angegeben wird die Summe aller Tage, die in eine Hitzeepisode fallen.
<b>Niederschlagsepisoden (Tage)</b>	Eine zumindest drei Tage andauernde, durchgängige Episode mit einer Tagesniederschlagssumme von mindestens 1 mm. Angegeben wird die Summe aller Tage, die in eine Niederschlagsepisode fallen.
<b>Trockenepisoden (Tage)</b>	Eine zumindest fünf Tage andauernde durchgängige Episode mit einer Tagesniederschlagssumme unter 1mm. Angegeben wird die Summe aller Tage, die in eine Trockenperiode fallen.

Quelle: (Chimani et al., 2015)

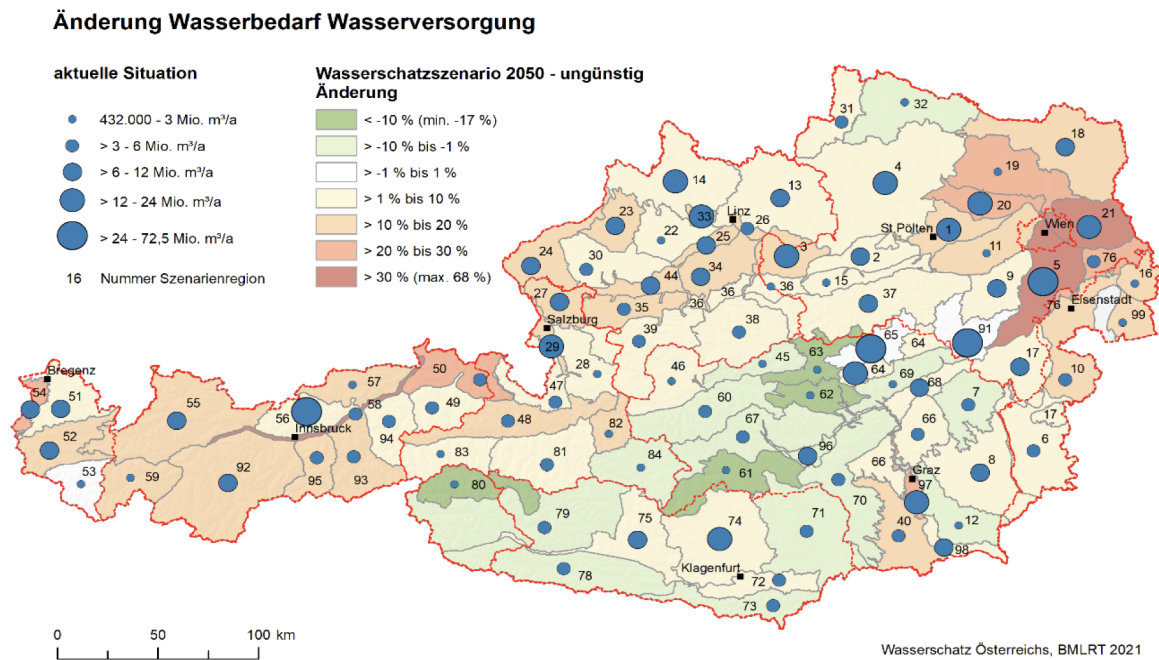
### 3.3 Ergebnisse Studie Wasserschutz Österreich

Mit der Studie Wasserschutz Österreich (BMLRT, 2021) stehen Ergebnisse zum Wasserbedarf (Haushalte, Industrie und Landwirtschaft) sowie zur Ressourcensituation in Österreich für den Zeitraum bis 2050 zur Verfügung. Die Verwendung dieser Ergebnisse im EWA-Tool wurde auf Anregung des BML untersucht und ist im Folgenden beschrieben.

Im Zuge der Wasserschutz-Studie (BMLRT, 2021) wurde zum einen die Auswirkungen des Klimawandels auf die Grundwasserressourcen betrachtet und zum anderen flächendeckend für ganz Österreich die Entwicklung des Wasserbedarfs in den nächsten 30 Jahren unter Berücksichtigung des Klimawandels analysiert. In dieser Studie wurden zwei Szenarien betrachtet, ein günstiges Szenario mit einer geringen Nutzungsintensität und ein ungünstiges mit einer hohen Nutzungsintensität. Die Studie gibt als Hauptursachen für den steigenden Wasserbedarf die Bevölkerungszunahme sowie die Klimawandelauswirkungen an. Es werden laut Studie 2 bis 6 % Bedarfssteigerung erwartet, welche auf den Klimawandel zurück-

zuführen sind. In Summe wird mit einer Bedarfssteigerung von 11 bis 15 % gerechnet. (Abbildung 6) Die verfügbaren Grundwasserressourcen in Österreich können bis 2050 um bis zu 23 % abnehmen.

Abbildung 6: Änderung Wasserbedarf Wasserversorgung Ergebnisse Wasserschutz (BMLRT, 2021)



Die frei zugänglichen Ergebnisse der Wasserschutz-Studie (BMLRT, 2021) sowie die vom Umweltbundesamt übermittelten Geodaten der in der Studie definierten und verwendeten Szenarienregionen wurden in die EWA-Datenbank überführt und stehen im Tool flächendeckend für Österreich zur Verfügung (siehe Kapitel 5.1.2).

# 4 Modelle zur Szenarienprognose und Alternativenbewertung

Ziel des EWA-Projekts ist es eine Wasserbedarfsprognose zu erstellen, welche die Auswirkungen des Klimawandels und der demografischen Entwicklung abbilden kann. Hierzu wurde ein allgemein gültiges Regressionsmodell abgeleitet, welches basierend auf Klimaindizes den Spitzenwasserbedarf prognostizieren kann, in einem weiteren Schritt wird die Veränderung aufgrund der Bevölkerungsentwicklung mitberücksichtigt. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen wurde für die hydraulische Modellierung ein neuer Modelltyp erstellt, der eine dynamische Zukunftsplanung unter Berücksichtigung verschiedener Zukunftsszenarien ermöglicht. Um den Anforderungen an das EWA-Tool gerecht zu werden, ermöglicht diese Modellart außerdem die Berücksichtigung verschiedener Lastfälle.

## 4.1 Einflussfaktoren Wasserverbrauch

Der Wasserverbrauch wird von zahlreichen Faktoren wie dem Klima bzw. Wetter, oder von soziodemografischen Faktoren wie Wohnform oder Wohlstand beeinflusst. Der Einfluss des Wetters und Klimas wirkt sich auf den Haushaltswasserverbrauch und hier im speziellen in Abhängigkeit der Wohnform anders aus als auf den gewerblichen Verbrauch.

Der Zusammenhang zwischen der Temperatur, Trockenperioden und dem Wasserverbrauch von unterschiedlichen Wohnformen wurde für Österreich erstmals in der WAVE-Studie (Neunteufel et al., 2012) aufgezeigt. Die Autor\*innen stellten fest, dass der tägliche Wasserverbrauch bei steigender Temperatur zunimmt. Ebenso wurde gezeigt, dass der Spitzenwasserverbrauch an Tagen mit erhöhten Temperaturen auftritt. Aufgrund des Klimawandels wird mit einem veränderten Verbraucher\*innenverhalten gerechnet, wodurch ein Anstieg des Wasserverbrauchs zu erwarten ist. In der Studie Wasserschatz Österreich (BMLRT, 2021) wird mit einer Wasserbedarfsänderung bis 2050 von 2 bis 6 % gerechnet (Kapitel 3.3). Angesichts dieser Erkenntnisse werden geeignete Wasserverbrauchsprognosemodelle benötigt, um den zukünftigen Wasserverbrauch abschätzen zu können.

Ziel der Wasserbedarfsprognose im Projekt EWA war es, die langfristigen Veränderungen des Spitzenwasserverbrauchs, welche durch die in Kapitel 3 identifizierten Wandelfaktoren herbeigeführt werden, aufzuzeigen. Ziel war es ein Regressionsmodell abzuleiten, welches in der Lage ist den zu erwartenden Spitzenwasserverbrauch, unter Berücksichtigung von Klimaprojektionen der ÖKS 15 Studie (Chimani et al., 2015) sowie der demographischen Entwicklung gemäß ÖROK Regionalmodell (ÖROK, 2020), zu prognostizieren. Als Datenbasis für die Entwicklung des Regressionsmodells dienten Zonenzuflussmessungen, von verschiedenen Druck- und Hochzonen in österreichischen Wasserversorgungsnetzen.

## 4.2 Wasserbedarfsprognose

Die Wasserbedarfsprognose im Projekt EWA zielt auf die Prognose des zukünftigen Spitzenwasserbedarfs ab. Es werden Spitzentagesverbräuche betrachtet, da in EWA die langfristige Versorgungssicherheit und nicht kurzfristige Versorgungsprobleme aufgrund von Stundenspitzen im Fokus ist. Im Zuge des Projekts wurde ein multilineares Regressionsmodell (MLR) entwickelt, welches Klimaindizes einbezieht und die Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserbedarf widerspiegeln kann. Mit diesem Spitzenwasserbedarfsprognosemodell kann der zukünftige Spitzenwasserbedarf in Abhängigkeit unterschiedlicher Klimawandelszenarien (RCP2.6, RCP4.5 und RCP8.5) abgeschätzt werden. Das Modell ist auf langfristige Zonenzuflussdaten (Tagesverbräuche) anwendbar und es können mögliche Bandbreiten der Veränderung des Spitzenwasserbedarfs abgeschätzt werden.

### 4.2.1 Gewählte Modellansätze

Es gibt unterschiedliche Modellansätze, welche für die genannte Fragestellung herangezogen werden können. So wurden zum einen in der Studie von Vonk, Cirkel und Blokker (2019) ein Support Vector Regression Modelansatz gewählt, welcher meteorologische Parameter und Veränderungen der Urlaubsabwesenheit/-anwesenheit (Tourismus) berücksichtigt. In einer weiteren Studie (Donevska und Panov, 2019) wurde beispielsweise ein Multiregressionsmodell für die Wasserbedarfsprognose herangezogen. Auf Basis intensiver Literaturrecherche (siehe Stelzl et al., 2021) wurde der multilineare Regressionsmodell-Ansatz (MLR) als bestgeeigneter Modellansatz für die Spitzenbedarfsprognose identifiziert. Der MLR-Ansatz bietet die Möglichkeit ein generelles Modell abzuleiten, welches auch auf Daten anwendbar ist, die nicht in den Modellbildungsprozess einbezogen wurden. Im Zuge der Modellentwicklung wurde der MLR-Ansatz hinsichtlich Prognosequalität mit weiteren Modellansätzen wie Random Forest, Support Vector Regression und Artificial Neural Networks

verglichen, um sicher gehen zu können, dass die in der Literatur beschriebene Modellqualität auch mit den in Österreich verfügbaren Daten erreicht wird (siehe auch Abbildung 8). Mit der multiplen linearen Regression wird versucht, die Beziehung zwischen einer Reihe von unabhängigen Variablen  $X$  und abhängigen Variablen  $Y$  zu ermitteln. Die folgende Gleichung zeigt die mathematische Gleichung der multiplen linearen Regression (Universität Zürich, 2023)

$$Y = f(X) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \epsilon$$

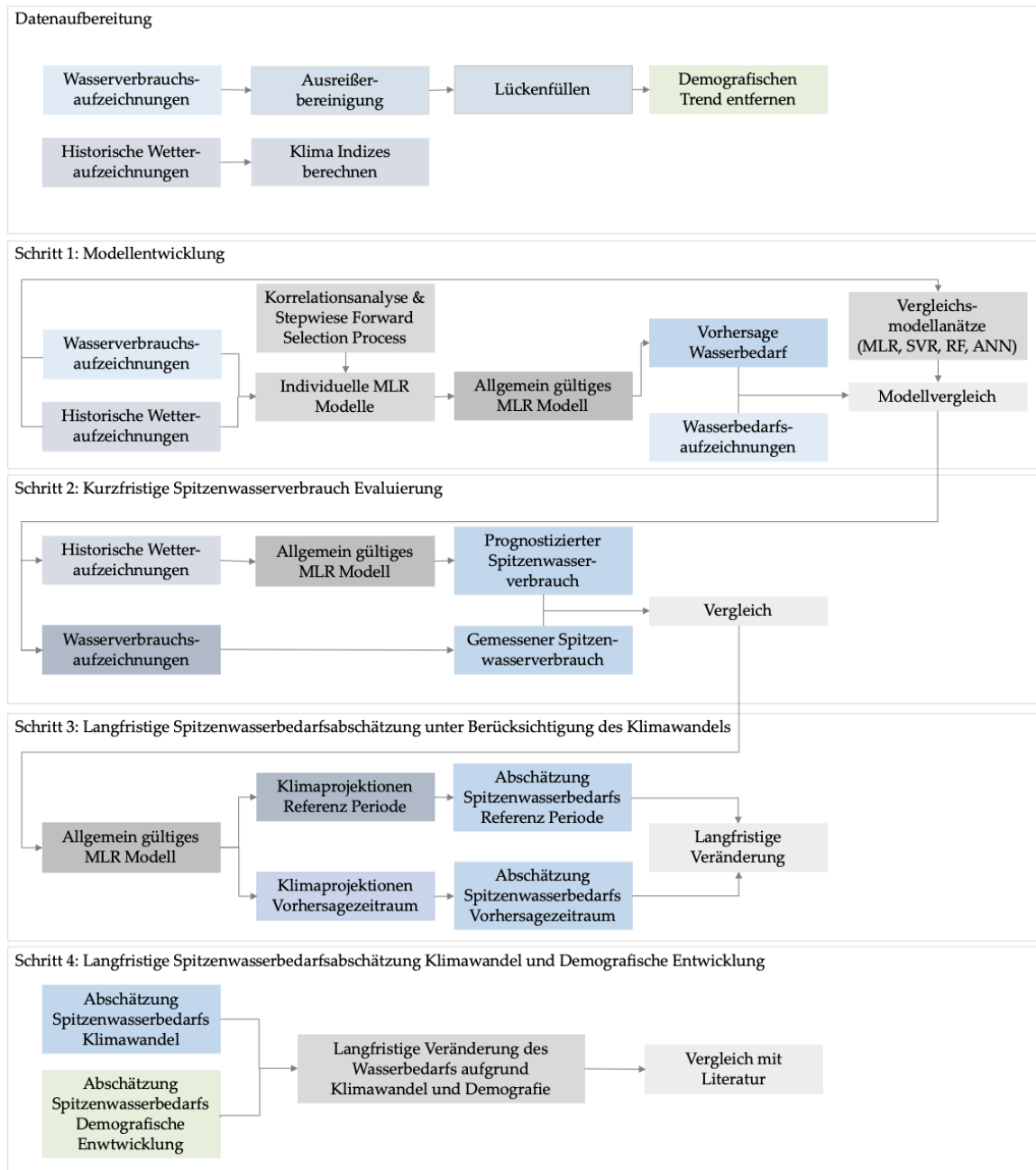
Dabei steht  $\beta_0$  für den Achsenabschnitt,  $\beta_n$  sind die Regressionsparameter für  $n$  unabhängige Variablen und  $\epsilon$  beschreibt den Fehlerterm, welcher klein gehalten werden soll. (Universität Zürich, 2023)

#### **4.2.2 Modellentwicklung**

Der Modellentwicklungsprozess gliedert sich in 4 Arbeitsschritte (Abbildung 7). Im ersten Schritt wurde ein allgemein gültiges multilineares Regressionsmodell abgeleitet und dessen Modellperformance überprüft. Im zweiten Schritt wurde evaluiert, ob die Anzahl der Spitzenwasserverbrauchstage mit dem Modell mit ausreichender Genauigkeit bestimmt werden kann. Im 3. Schritt wurde der zukünftige Spitzenwasserverbrauch unter Berücksichtigung der Klimaprojektionen im Vergleich zur Referenzperiode abgeschätzt und im letzten Schritt wurde die demografische Entwicklung in den Case Studies miteinbezogen und eine mögliche Gesamtveränderung des Wasserbedarfs abgeschätzt.

Die Modellbildung ohne den Einbezug der demografischen Entwicklung wurde in der Publikation „Estimating Future Peak Water Demand with a Regression Model Considering Climate Indices“ (Stelzl et al., 2021) veröffentlicht. Zum Zeitpunkt der Publikation wurde nur das RCP 8.5 betrachtet. Im Zuge des Projekts wurden zusätzlich RCP 2.6 und RCP 4.5 betrachtet und die demografische Entwicklung miteinbezogen. Im Folgenden werden die einzelnen Schritte des Modellbildungsprozesses genauer beschrieben.

Abbildung 7: Flowchart – Darstellung der Schritte für die Modellerstellung



Dem Modellbildungsprozess geht eine intensive Datenaufbereitung voran. Die Datenaufbereitung bildet hierbei eine wichtige Grundlage, da diese die Modellperformance sowie die Ergebnisse beeinflussen kann. Für die ausgewählten Case Studies waren mehrjährige Wasserverbrauchsaufzeichnungen verfügbar. Da das Prognosemodell die Veränderung des Spitzenwasserbedarfs vorhersagen soll, wurden nur Wasserbedarfsaufzeichnungen verwendet, in denen es im Aufzeichnungszeitraum zu keinen Systemumstellungen gekommen ist. Im

ersten Schritt wurde somit eine Ausreißerbereinigung durchgeführt, es wurden nicht plausible Spitzen- und Minimumwerte entfernt. Anschließend wurden die entstandenen Lücken mittels linearer Interpolation gefüllt. Da bei mehrjährigen Aufzeichnungen auch die Bevölkerungsveränderung in den Zonen eine wesentliche Rolle spielt, wurde dieser Trend exkludiert. Für die Modellentwicklung wurden historische Wetteraufzeichnungen verwendet. Durch die Verwendung der historischen Wetteraufzeichnungen, konnte der direkte Zusammenhang zwischen Klimaindizes (Kapitel 3) und Spitzenwasserbedarf analysiert werden. Aus den Wetteraufzeichnungen konnten die Klimaindizes abgeleitet werden. Dies geschah, um den Zusammenhang zwischen Klimaindizes und täglichem Wasserbedarf abzubilden und in weiterer Folge die Veränderung des Wasserbedarfs auf Basis der Veränderung der Klimaindizes abzuschätzen.

Im Folgenden wird die Modellentwicklung genauer beschrieben. Im ersten Schritt der Modellentwicklung wurde unter Verwendung der Wasserverbrauchs- und der Wetteraufzeichnungen für die ausgewählten Zonen je ein individuelles MLR-Modell erstellt. Der vorhandene Datensatz wurde in einen Trainings- und einen Testdatensatz geteilt. Hierbei wurde eine Aufteilung von 2/3 zu 1/3 gewählt. Der 2/3-Datensatz wurde verwendet, um das Modell zu erstellen sowie zu trainieren. Eine Korrelationsanalyse wurde durchgeführt, um Klimaindizes zu bestimmen, welche in der Modellbildung berücksichtigt werden sollten. Hierbei stellten sich vor allem temperaturbasierende Indizes als relevant heraus. Im Zuge der Modellbildung wurde ein stepwise forward variable selection process (Gedefaw et. al., 2018) durchgeführt, um die signifikanten Klimaindizes (Kapitel 3), die generellen Variablen (Wochentage und Monat) und die Kombinationen aus Klimaindizes und generellen Variablen ableiten zu können. Bei dem stepwise forward variable selection process (Gedefaw et. al., 2018) wurden alle Variablen und Kombinationen von Variablen in das Modell aufgenommen. Es wurde der p-Wert mit Hilfe des Chi-Quadrat-Tests für jede Variable und alle Kombinationen berechnet. Im nächsten Schritt wurde ein Modell mit allen Variablen und Kombinationen erstellt, deren p-Wert kleiner als 0,1 war. Anschließend wurden die neuen p-Werte berechnet und alle Variablen mit einem Wert größer als 0,1 aus dem Modell entfernt. Ziel war es ein Modell zu abzuleiten, in dem nur noch Variablen und deren Kombinationen mit einem p-Wert  $< 0,1$  vorhanden sind, daher wurde dieser Schritt so lange wiederholt, bis alle p-Wert unter 0,1 lagen.

Da das Ziel war, ein allgemein gültiges MLR-Modell abzuleiten, wurden im nächsten Schritt die einzelnen MLR-Modelle miteinander verglichen und jene Klimaindizes/Variablen abge-

leitet, welche in den meisten Modellen verwendet wurden. Aus den abgeleiteten Klimaindizes/Variablen wurde ein allgemein gültiges MLR-Modell erstellt. Folgende Klimaindizes/Variablen wurden in diesem MLR-Modell verwendet:

- Mittlere Temperatur
- Maximale Temperatur
- Sommertage
- Hitzetage
- Trockenepisoden (ÖKS15)
- Wochentage
- Monat
- Kombination mittlere Temperatur und Monat
- Kombination mittlere Temperatur und Monat
- Kombination Hitzetage und Trockentage (Tage mit weniger als 1 mm Niederschlag)

Mit Hilfe des generellen MLR wurde anschließend der Wasserverbrauch, für den Trainings- und den Testdatensatz prognostiziert. Im nächsten Schritt wurde die Modellperformance der allgemein gültigen MLR-Modelle überprüft. Um die Modellperformance zu überprüfen, wurde die Modellgüte des Trainings- und Testdatensatzes mit gängigen Methoden (Mittlere Absolute Prozentuale Abweichung, Korrelation, Mittlere Absolute Abweichung, Wurzel aus der mittleren quadratischen Abweichung) berechnet. Weiters wurde mit gängigen Modellansätzen (Support Vector, Random Forest und Neuronales Netz) ebenfalls der Wasserbedarf für den Trainings- und Testdatensatz prognostiziert und die Modellqualität ermittelt. In einem weiteren Schritt wurden diese Ergebnisse mit den Ergebnissen des allgemein gültigen MLR-Modells verglichen. Es wurde bestätigt, dass das MLR-Modell gleichwertige Ergebnisse lieferte wie die Vergleichsmodellansätze und somit eine zufriedenstellende Modellqualität aufweist (Stelzl et al., 2021).

Im zweiten Schritt wurde evaluiert, ob das allgemein gültige Modell die Spitzenwasserverbrauchstage, die innerhalb eines Jahres in den Wasserverbrauchsaufzeichnungen auftreten, mit ausreichender Genauigkeit vorhersagen kann. Als Spitzenwasserverbrauchstage, wurden die oberen 10 % des Wasserverbrauchs definiert. Mit dem MLR-Modell und den Wetteraufzeichnungen wurde der Wasserverbrauch für die ausgewählten Verbrauchszonen ermittelt. In diesem Schritt wurde das generelle Modell auch auf weiteren verfügbaren Verbrauchszonen angewendet, um zu prüfen, ob auch hier akzeptable Ergebnisse erreicht werden und das Modell somit auch auf weitere Zonen angewendet werden kann. In Abbildung



8 ist der Vergleich zwischen gemessenen Wasserverbrauch und prognostizierten Wasserverbrauch dargestellt. Es ist zu erkennen, dass alle Modellansätze die Spitzen ausreichend genau abbilden können. Weiters wurde untersucht, welchen Einfluss die Auswahl der Klimaindizes, die generellen Variablen und die Kombinationen auf die Prognose haben. In Abbildung 9 sind die Ergebnisse der Modelle dargestellt, in denen die Variablen nicht mittels Korrelationsanalyse und anschließenden stepwise forward selection process (MLR) selektiert worden sind. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Modelle schlechtere Ergebnisse lieferten und die Spitzen nicht ausreichend genau abgebildet werden konnten.

Abbildung 8: Vergleich gemessener Wasserbedarf und prognostizierter Wasserbedarf

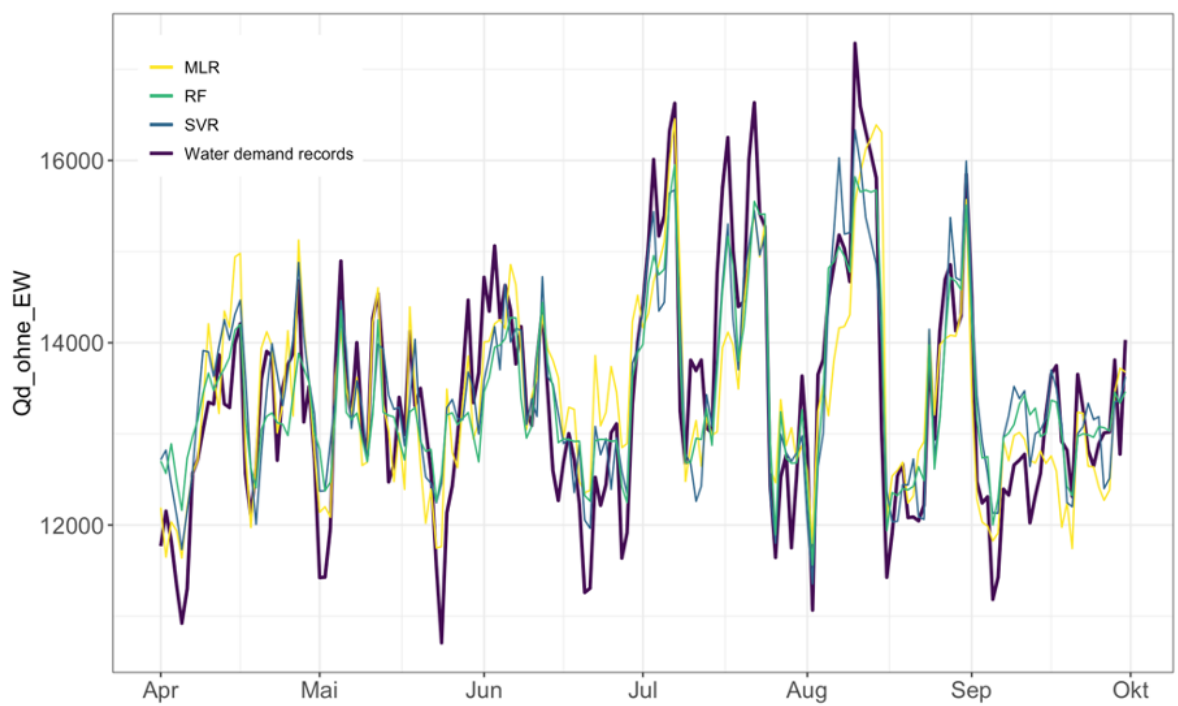
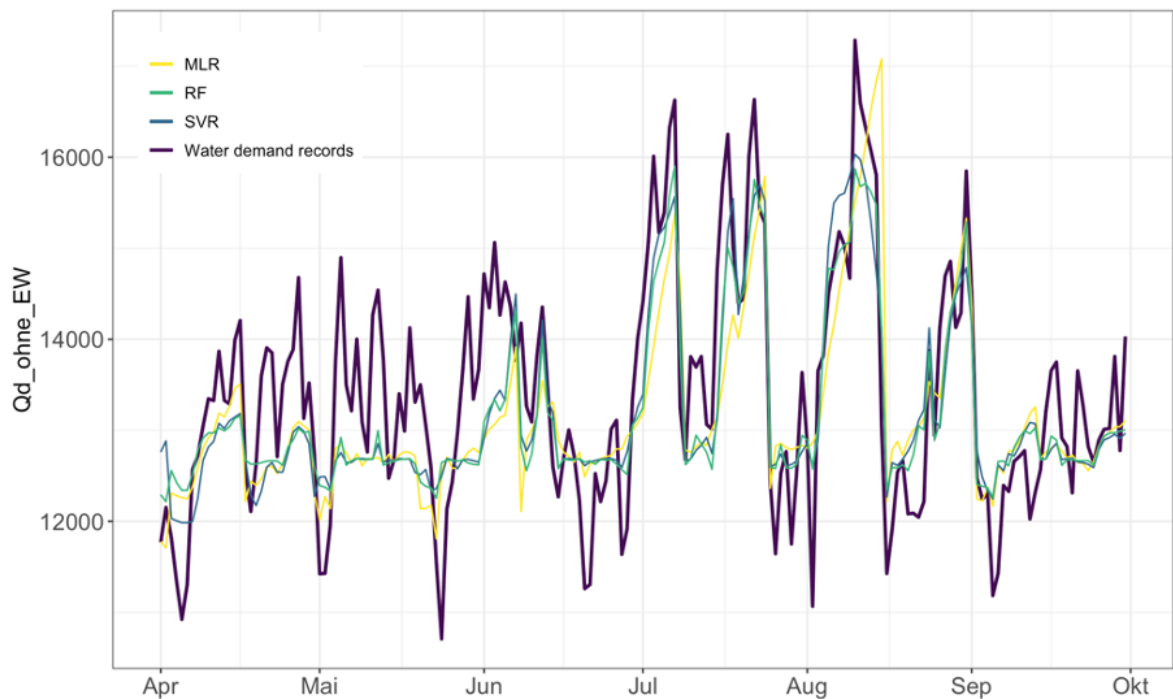


Abbildung 9: Vergleich Messung und Prognose ohne stepwise forward selection process



Im Schritt 3 wurde das Modell für die Langzeitanalyse angewendet, welche im nächsten Kapitel beschrieben wird.

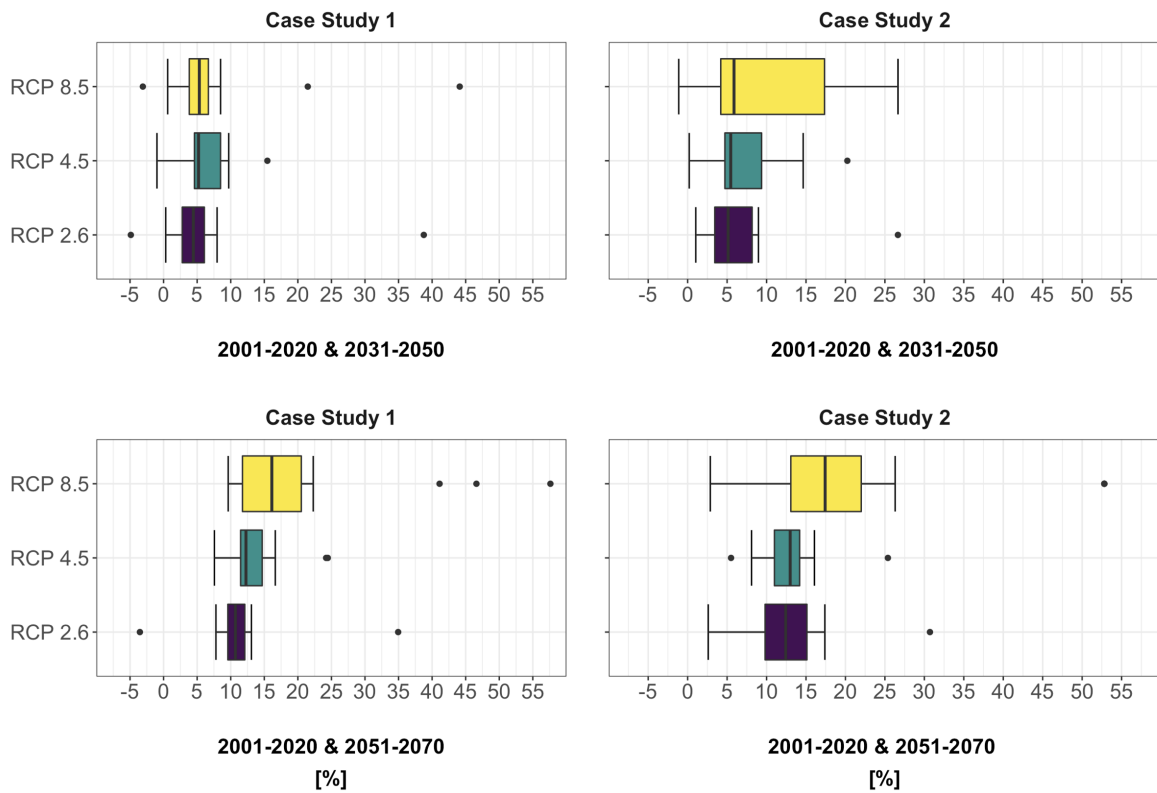
### 4.2.3 Wasserbedarfsprognose

Hier wurde mit dem generellen MLR-Modell der Wasserverbrauch für eine Referenzperiode und unterschiedliche Zukunftsperioden prognostiziert. Es wurden verschiedene Perioden analysiert, im Folgenden werden die Ergebnisse für die Referenzperiode 2001-2020 und den zwei Zukunftsperioden 2031-2050 sowie 2051-2070 dargestellt.

Um eine plausible Aussage über das Klima der Zukunft treffen zu können, ist ein großes Ensemble an Simulationen pro Treibhausgaszenario notwendig. Für Österreich wurden in der ÖKS 15 Studie (Chimani et al., 2015) je 16 Klimaprojektionen für die Szenarien RCP 4.5 und RCP 8.5 berechnet. Weiters stehen 8 Klimaprojektionen für RCP 2.6 zur Verfügung. Da jede Klimaprojektion eine plausible mögliche Veränderung des Klimas darstellt, wurden auch in unseren Untersuchungen alle verfügbaren Klimaprojektionen aus der ÖKS 15 Studie verwendet. Die Verwendung des breiten Ensembles an Klimaprojektionen führt zu einer Bandbreite an Klimaprognosen und weiters zu einer Bandbreite an möglichen Wasserverbräuchen für die Zukunft. Um die jährliche Klimavariabilität besser abdecken zu können, wurde ein Prognosezeitraum von 20 Jahren gewählt.

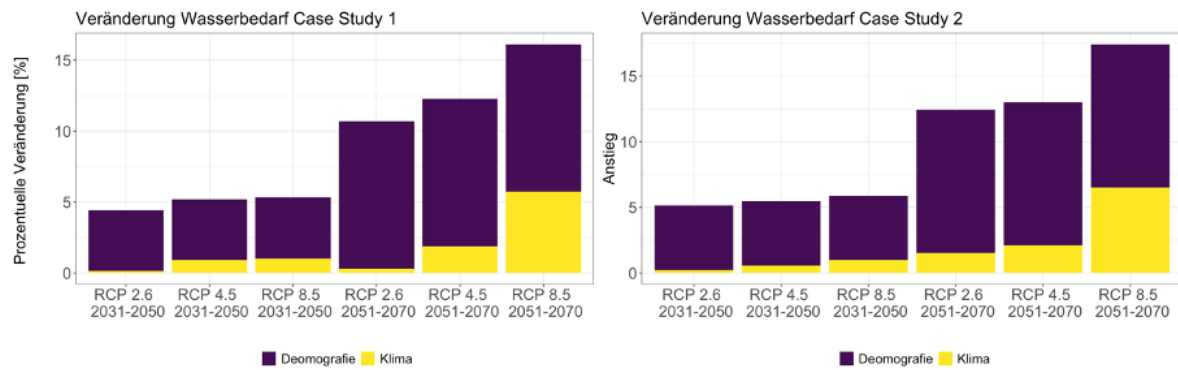
Für die zukünftige Wasserbedarfsprognose wurde das davor abgeleitete MLR-Modell an den Klimaprojektionen angewendet. Hierbei wurden alle zur Verfügung stehenden Klimaprojektionen für die Klimawandelszenarien RCP2.6, RCP4.5 und RCP8.5 verwendet. In diesem Schritt wurde der Wasserbedarf prognostiziert und anschließend die Veränderung des Spitzenwasserbedarfs berechnet, in dem der prognostizierte Wasserbedarf der Vorhersagezeiträume mit dem prognostizierten Wasserbedarf der Referenzperiode verglichen wurde. Hier ist zu erwähnen, dass in diesem Schritt nur die Veränderung, welche aufgrund des Klimawandels auftreten könnte, betrachtet wurde. In einem nächsten Schritt wurde die Veränderung des Wasserbedarfs, welcher aufgrund der Bevölkerungsveränderung (Geschäftsstelle der Österreichischen Raumordnungskonferenz (ÖROK), 2022) herbeigeführt wird, mitberücksichtigt und dann zu einer möglichen Gesamtveränderung des Spitzenwasserbedarfs zusammengeführt. Das Ergebnis sind mögliche Bandbreiten (Abbildung 10) des Spitzenwasserbedarfs je Klimawandelszenario. In Abbildung 10 wird die Veränderung des Spitzenwasserbedarfs aufgrund des Klimawandels und der Demografischen Entwicklung dargestellt. Die Bandbreiten ergeben sich aufgrund der Vielzahl an Klimaprojektionen je Klimawandelszenario. In den oberen zwei Plots ist der Vergleich zwischen der Referenz Periode (2001-2020) und der nahen Zukunft (2031-2050) dargestellt und in den zwei unteren Plots der Vergleich mit der fernen Zukunft (2051-2070). Es ist gut zu erkennen, dass für die angeführten Case Studies der Bedarf in Abhängigkeit der Klimawandelszenarien aber auch in Abhängigkeit der unterschiedlichen Klimaprojektion innerhalb des Klimaszenarios teilweise stark variiert.

Abbildung 10: Veränderung Spitzenwasserbedarf aufgrund Klimawandel und Demografische Entwicklung



Um den Einfluss bezüglich demografische Entwicklung und Klimawandel besser darstellen zu können wurde Abbildung 11 erstellt. Hierbei wurde der Median der Veränderungen des Spitzenwasserbedarfs ermittelt. In beiden Case Studies ist deutlich zu erkennen, dass die Zunahme der Bevölkerung für den Großteil der Zunahme verantwortlich ist. Klimawandel und demographische Entwicklung können in beiden Case Studies zu einer Zunahme von bis zu 17 % führen (Periode 2051-2070; RCP 8.5). Es wird darauf hingewiesen, dass die Bandbreiten der Veränderung des Spitzenwasserbedarfs, in unterschiedlichen Regionen Österreichs von den hier gezeigten Ergebnissen deutlich abweichen können.

Abbildung 11: Veränderung Spitzenwasserbedarf in Abhängigkeit des Klimawandels sowie der Demografischen Entwicklung



Die Wasserbedarfsprognose hat für die ausgewählten Case Studies zufriedenstellende Ergebnisse geliefert. Diese Modelle können für eine langfristige detaillierte Prognose für unterschiedliche Zonenzuflüsse angewendet werden.

### 4.3 Hydraulische Modellierung im Projekt EWA

Hauptziel im Projekt EWA war es, Trinkwasserversorgungssysteme anhand von hydraulischen Modellen unter Berücksichtigung von Wandelfaktoren zu bewerten. Zu diesem Zweck sollen in der hydraulischen Modellierung mehrere Zeitschritte, Zukunftsszenarien und Lastfälle gleichzeitig berücksichtigt werden. Auf dieser Basis soll dann im EWA-Tool die Entwicklung von robusten Wasserversorgungssystemen unterstützt werden.

Unter Zukunftsszenarien werden dabei Prognosen für Wasserbedarf und -dargebot auf Basis von Klimaszenarien und unterschiedlichen demographischen Prognosen verstanden, während Lastfälle unterschiedliche Systemzustände eines topologisch ansonsten unveränderten Systems bezeichnen (beispielsweise Brände oder Systemstörungen). Mit unterschiedlichen Zeitschritten soll die zeitliche Entwicklung des Systems dargestellt werden.

Zeitschritte und Lastfälle beziehen sich dabei direkt auf das betrachtete Wasserversorgungssystem und stehen mit diesem in enger Beziehung, da sie sich auf konkrete, einzelne Bauteile im System beziehen. Die Wasserbedarfsprognosen hingegen beziehen sich auf das gesamte System. Es musste daher ein Modellansatz gefunden werden, der Wasserverbrauch, Zeitschritte und Lastfälle ganzheitlich integriert, und dabei eine Wasserbedarfsskalierung auf Basis von Prognosen ermöglicht.

### 4.3.1 Modellierungsgrundlage

Zur Simulation der hydraulischen Modelle wird EPANET (Rossman et. al., 2020), ein Open-Source Modellierungstool, verwendet. Als Schnittstelle zu EPANET wiederum wird OOPNET (Object-Oriented Python Network Analysis Tool) eingesetzt. Bei OOPNET handelt es sich um eine in der Programmiersprache Python geschriebene Open-Source Programmierschnittstelle, die am Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau entwickelt wurde (Steffelbauer and Fuchs-Hanusch, 2015).

Mittels dieser Schnittstelle ist es möglich, EPANET-Modelle in Form von EPANET-Input-Dateien einzulesen, einzelne Komponenten und Eigenschaften dieser Modelle zu manipulieren, Simulationen in EPANET zu starten und deren Ergebnisse einzulesen sowie auszuwerten.

Um Störfälle und andere druckdefizitäre Systemzustände besser simulieren zu können, wurde OOPNET aktualisiert, um die momentan aktuelle EPANET-Version 2.2 zu nutzen. Diese ermöglicht neben einer klassischen Demand Driven Analysis (DDA), bei der die Knotenverbräuche als konstant angenommen werden, auch die Möglichkeit einer Pressure Driven Analysis (PDA). Folgend sollen die Unterschiede zwischen DDA und PDA beleuchtet werden (Rossman et. al., 2020).

Bei einer DDA werden für den Massenerhaltungssatz die Leitungen im Modell betrachtet

wobei  $h_i$  und  $h_j$  die hydraulischen Druckhöhen an den Knoten  $i$  und  $j$  beschreiben und  $h_{Lij}(q_{ij})$  den Druckhöhenverlust entlang einer Leitung zwischen  $i$  und  $j$  bei einem Durchfluss durch die Leitung  $q$ .

Um den Massenerhaltungssatz zu beschreiben, werden die einzelnen Knoten betrachtet



wobei  $q_{ij}$  den Zufluss vom Knoten  $j$  zum Knoten  $i$  und  $D_i$  den bekannten Verbrauch des Knoten  $i$  darstellen.  $q_{ij}$  hat dabei in Fließrichtung vom Knoten  $j$  zum Knoten  $i$  ein positives Vorzeichen, bei umgekehrter Fließrichtung ein negatives.

Dieses Gleichungssystem wird von EPANET anschließend mithilfe des Global Gradient Algorithm gelöst, um Durchfluss und Druckhöhenverluste je Leitung zu berechnen.

Dieser Ansatz weist jedoch einen Nachteil bei der Berechnung von druckdefizitären Zuständen auf. Da die Knotenverbräuche als konstant angesehen werden, werden sie selbst bei einem Druck  $P = 0$  angesetzt, was keinem realistischen Verbrauchsverhalten entspricht. Die Ergebnisse einer solchen Simulation sind demnach mit großer Vorsicht zu genießen.

Das EWA-Tool sollte es jedoch auch ermöglichen, derartige Betriebszustände zu simulieren. Diese Zustände könnten beispielsweise bei einer mangelhaften Leitungsdimensionierung und/oder hohen Knotenverbräuchen auftreten, oder auch bei Störfällen, bei denen es durch die Verlagerung von Fließwegen ebenfalls zu Druckdefiziten kommen kann.

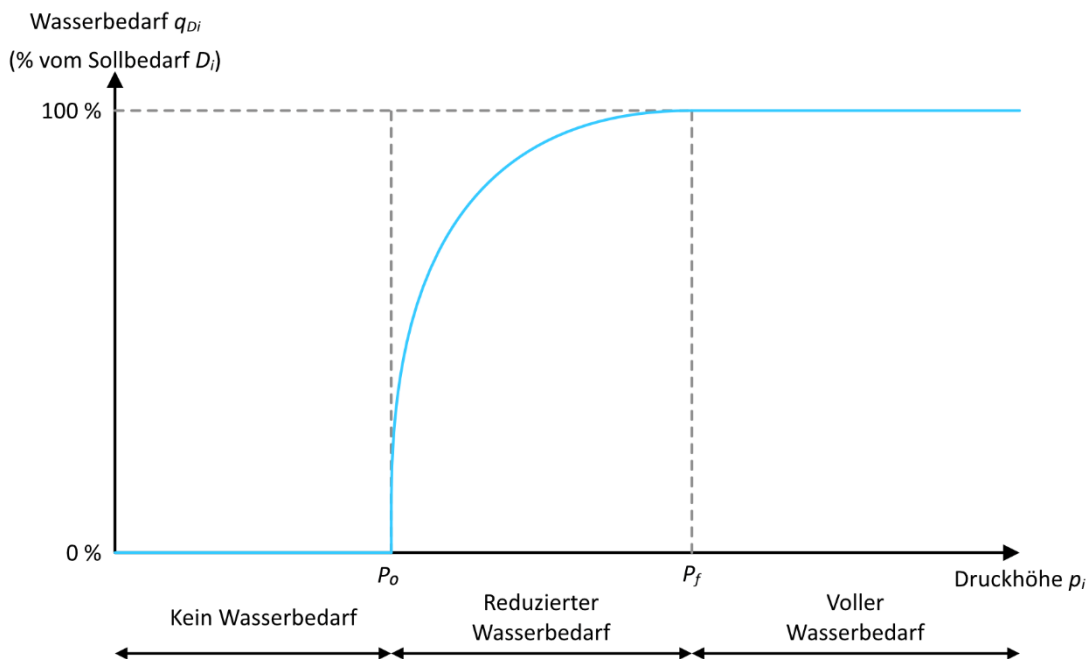
Eine genauere Simulation ist mithilfe von druckabhängigen Verbräuchen möglich. Dieser Modellierungsansatz wird als Pressure Driven Analysis bezeichnet. Die 2020 veröffentlichte EPANET-Version 2.2 ermöglicht eine PDA auf Basis der von Wagner, Shamir and Marks (1988) entwickelten Gleichungen.

Dabei wird der Knotenverbrauch am Knoten  $i$ ,  $q_{Di}$ , in Abhängigkeit des am Knoten herrschenden Drucks bestimmt

$$q_{D_i} = \begin{cases} D_i \left( \frac{p_i - P_0}{P_f - P_0} \right)^{\frac{1}{e}}, & P_0 < p_i < P_f \\ 0, & p_i \leq P_0 \end{cases}$$

wobei  $D_i$  den vollen im Modell angesetzten Knotenverbrauch beschreibt, wenn der Druck am Knoten  $i$ ,  $p_i$ , mindestens dem Druck  $P_f$  entspricht. Beträgt der Druck hingegen nur  $P_0$  oder weniger, wird ein Knotenverbrauch zu 0 bestimmt. Zwischen  $P_0$  und  $P_f$  steigt der Knotenverbrauch in Abhängigkeit vom Exponenten  $1/e$  an, wobei dieser meist mit 0,5 angenommen wird. Abbildung 12 zeigt schematisch den Zusammenhang zwischen dem Knotenwasserbedarf  $q_{Di}$  und der Druckhöhe  $p_i$ .

Abbildung 12: Pressure Driven Analysis – Zusammenhang Druckhöhe und Knotenwasserbedarf (Wagner, Shamir and Marks, 1988, mod.).



### 4.3.2 EWA-Modell

Klassische hydraulische Modelle auf Basis von EPANET beinhalten bereits eine zeitliche Dimension, da Modelle auf Basis von Verbrauchsmustern über mehrere Stunden oder Tage hinweg simuliert werden können (Langzeitsimulation bzw. extended period simulation). Simulationen von einzelnen Zeitschritten werden dabei nacheinander durchgeführt, wobei die Ergebnisse zum Zeitpunkt  $t$  Randbedingung für die Simulation zum Zeitpunkt  $t + 1$  darstellen. Es besteht damit jedoch keine Möglichkeit, die zeitliche Entwicklung des Systems über mehrere Jahrzehnte hinweg abzubilden. Lastfälle können ebenso nicht direkt in dieser Modellform abgebildet werden. (Rossman et al., 2020)

#### 4.3.2.1 Komponentenattribute

Ein EWA-Modell ist ein mehrdimensionales hydraulisches Modell, das neben den üblichen räumlichen Dimensionen zusätzlich Lastfall- und Zeitschrittspezifische Komponentenattribute beinhaltet. Die Attribute der aus EPANET bekannten Komponententypen (Junction, Tank, Reservoir, Pipe, Pump und Valve) wurden dabei so adaptiert, dass nun die folgenden drei verschiedenen Arten von Attributen zur Verfügung stehen:



1. Statische Attribute
2. Zeitabhängige Attribute
3. Lastfallabhängige Attribute

**Statische Attribute** beschreiben Eigenschaften, die über alle Zeitschritte und Lastfälle hinweg konstant bleiben. Beispiele dafür sind Komponenten-IDs und -Beschreibungen sowie die Position von Komponenten.

**Zeitabhängige Attribute** wiederum sind über alle Lastfälle hinweg konstant und ändern sich nur von Zeitschritt zu Zeitschritt. Der Großteil aller Komponentenattribute fällt in diese Kategorie, wie beispielsweise Knotenverbräuche, Leitungsdurchmesser oder Pumpenleistungen.

**Lastfallabhängige Attribute** schlussendlich sind über alle Zeitschritte hinweg konstant und unterscheiden sich nur in den verschiedenen Lastfällen. Mit einem EWA-Modell ist die Modellierung eines Basislastfalles sowie von Brand- und Störfällen möglich. Bei Knoten kann über ein neues Attribut der Löschwasserbedarf im Brandfall angegeben werden. Bei der Störfallmodellierung kann hingegen der Status von Kantenkomponenten (offen bzw. geschlossen) gesteuert und somit der Ausfall von Leitungen, Pumpen oder Ventilen simuliert werden.

Mittels dieser Attributtypen hat ein hydraulisches Modell damit nicht nur einen definierten Zustand (topologisch und funktional), sondern kann unterschiedliche, voneinander hydraulisch entkoppelte Zustände in verschiedenen Lastfällen und Zeitschritten einnehmen.

Um zu berücksichtigen, dass Komponenten eines Systems nur in einem gewissen zeitlich abgegrenzten Bereich im System existieren, wurde für alle Komponenten ein zusätzliches statisches Attribut „Lebenszeit“ eingeführt. Über dieses Attribut wird jene Zeitspanne definiert, in der das betreffende Element im Modell vorhanden ist. Somit kann beispielsweise ein Hochbehälter in einem gewissen Jahr außer Betrieb genommen werden, indem die Lebenszeit des Behälters in diesem Jahr endet. Eine neue Leitung kann hingegen in Betrieb genommen werden, indem die Lebenszeit mit dem Verlegejahr beginnt.

Leitungen erhalten zusätzlich die beiden zeitabhängigen Attribute „Verlegejahr“ und „Leitungsmaterial“, die für Analysen verwendet werden können. Diese beiden Attribute wurden zeitabhängig umgesetzt, um damit den Austausch bestehender durch neue Leitungen – mit

einem dementsprechend neuen Verlegejahr und bei Bedarf auch anderem Material – zu ermöglichen.

Um bei Bedarf zu erlauben, dass manche Verbrauchsknoten im hydraulischen Modell von der Skalierung des Wasserbedarfs ausgenommen werden können (z.B. Industriebetriebe), wurde das zeitabhängigen Attribut „Bedarfsskalierung“ eingeführt. Dieses Attribut erlaubt das Ausnehmen eines Verbrauchsknotens von der Wasserbedarfsskalierung auf Basis von Wandelfaktoren (siehe Kapitel 4.3.4).

### **4.3.2.3 Komponenten**

EWA-Modelle unterstützen grundsätzlich alle in EPANET vorhandenen Komponenten. Zusätzlich wurden zwei weitere Elemente zur intuitiveren Modellierung von Systemeinspeisungen hinzugefügt: Quellen und Brunnen. Bei beiden Typen kann eine Entnahmemenge eingestellt werden, die in Kombination mit den Zukunftsszenarien aus Kapitel 3.3 je nach Zukunftsszenario und Zeitschritt optional skaliert werden. Diese Skalierung kann über ein eigenes Attribut „Einspeigungsskalierung“ deaktiviert werden.

Beide Komponententypen werden im Hintergrund als Verbrauchsknoten mit negativen Knotenverbräuchen modelliert. Bei dieser Modellierungsart ist es möglich, einen konstanten Zufluss in das System abzubilden. EPANET errechnet dann automatisch jenen Druck, der an den Knoten mit negativen Verbräuchen vorhanden sein muss, um diese Einspeisung zu ermöglichen. Dies bedeutet wiederum, dass das Druckniveau im Netz bereits entweder durch Behälter oder Reservoirs vorgegeben sein muss.

In Tabelle 4 sind die verfügbaren Attribute je Komponentengruppe (knoten- und linienförmig) sowie Komponententyp aufgelistet sowie den unterschiedlichen Attributkategorien zugeordnet.

Tabelle 4: Komponentenattribute im EWA-Modell

	Komponententyp	Attribut	Stat.	Zeitabh.	Lastfallabh.	
<b>Allgemein Attribute</b>	Alle	ID	X			
	Alle	Beschreibung	X			
	Alle	Lebenszeit	X			
<b>Knotenförmige Komponenten</b>	Verbrauchsknoten	Wasserbedarf (L/s)		X		
		Bedarfsskalierung		X		
		Löschwasserbedarf (L/s)				X
	Behälter	Durchmesser (mm)			X	
		Wasserstand (m)			X	
	Reservoirs	Druckhöhe (m)		X		
	Brunnen					
	Quellen	Einspeisemenge			X	
	<b>Linienförmige Komponenten</b>	Leitungen	Durchmesser (mm)		X	
Rauigkeit (mm)				X		
Status						X
Verlegejahr					X	
Leitungsmaterial					X	
Pumpen		Leistung (kW)			X	
		Pumpenkennlinie			X	
		Status				X
Alle Ventile		Durchmesser (mm)			X	
		Status				X
Druckreduzierventil (PRV)		Max. Druck (m)			X	
Schieber (TCV)		Druckverlustkoeff.			X	
Druckhalteventil (PSV)		Drucklimit (m)			X	

Komponententyp	Attribut	Stat.	Zeitabh.	Lastfallabh.
Mehrzweckventil (GPV)	Druckverlustkurve		X	
Druckbrecherventil (PBV)	Druckverlust (m)		X	
Durchflussregelventil (FCV)	Max. Durchfluss (L/s)		X	

### 4.3.3 Verbrauchsbausteine

Um Verbrauchsbausteine auf Objektebene im EWA-Modell vorsehen zu können, wurden diese als lineares Modell implementiert. Je Knoten können beliebig viele Verbrauchsbausteine angegeben werden, deren Wasserbedarf für die Simulation in einen klassischen Wasserbedarf umgerechnet werden kann.

Um den Verbrauch eines Knotens  $i$ , an dem  $n$  Verbrauchsbausteine hinterlegt sind, zu berechnen, wird die Summe über die in klassische Verbräuche umgerechneten Verbrauchsbausteine gebildet. Jeder Verbrauchsbaustein  $j$  ist dabei durch einen objektspezifischen Grundwasserbedarf  $D_j$  und einen variablen Skalierungsfaktor  $\beta_{i,j}$  definiert, mithilfe derer der Wasserbedarf je Verbrauchsbaustein bestimmt werden kann. Der Gesamtwasserbedarf  $d_i$  des Knotens errechnet sich damit zu

$$d_i = \sum_{j=1}^n D_j * \beta_{i,j}$$

Der Basiswasserbedarf je Objekttyp kann aus einer Datenbank ausgelesen werden, womit diese zentral verwaltet werden können.

### 4.3.4 Wasserbedarfsskallierung anhand von Wandelfaktoren

Aufbauend auf den Erkenntnissen hinsichtlich der Prognose des Spitzenwasserbedarfs eines Trinkwasserversorgungssystems auf Basis von Klimaprojektionen und demographischen Prognosen, wurde eine Schnittstelle zur Skalierung des Gesamtwasserbedarfs in hydraulischen Modellen implementiert. Dabei werden Verbrauchsänderungen aliquot auf Basis der Verbräuche im Modell verteilt.

Grundlage für die Skalierung sind Realisierungen der Wasserbedarfsprognosen, die beispielsweise durch zufälliges Ziehen aus Verteilungen oder Bildung des arithmetischen Mittels verschiedener Prognosen bestimmt werden. Im EWA-Tool sind diese Realisierungen das „günstige“ und „ungünstige“ Szenario der Studie Wasserschutz Österreich (BMLRT, 2021).

Eine Realisierung wird durch ein Zieljahr  $t$  (beispielsweise 2045) sowie einen Skalierungsfaktor  $k_t$  beschrieben. Der Skalierungsfaktor bezieht sich dabei immer auf ein Referenzjahr  $t_0$  (beispielsweise 2025). Der prognostizierte Gesamtwasserbedarf  $\hat{D}_{tot,t}$  im Zieljahr errechnet sich somit auf Basis des Gesamtwasserbedarfs im Referenzjahr  $D_{tot,0}$  zu

Zusätzlich müssen aber auch Änderungen im System berücksichtigt werden, damit beispielsweise das händische Hinzufügen von Verbrauchsknoten zur Modellierung von neuen Siedlungsgebieten in EWA-Modellen nicht zu einer Diskrepanz mit den Wasserbedarfsprognosen führt, die bereits demographische Veränderungen berücksichtigen.

Dazu wird die Differenz zwischen dem prognostizierten Wasserbedarf für das Jahr  $t$ ,  $\hat{D}_{tot,t}$ , und dem (unskalierten) Gesamtwasserbedarf  $D_{tot,t}$  im EWA-Modell zum Zeitpunkt  $t$  ermittelt:

Diese Differenzwassermenge wird dann aliquot auf die Verbrauchsknoten im Ziel-Modell verteilt. Dazu wird ein neuer Skalierungsfaktor  $\lambda_t$  bestimmt, mit dem die Verbräuche im Modell zum Zeitpunkt  $t$  multipliziert werden.

$$D_{tot,t}$$

Schlussendlich soll die Summe über alle Verbräuche  $d_t$  der  $n$  Knoten im System dem prognostizierten Wasserbedarf  $\hat{D}_{tot,t}$  entsprechen. Damit gilt

$$\lambda_{tot,t} = \sum_{i=1}^n u_{i,t} \cdot \lambda_t$$

Dies führt dazu, dass beispielsweise bei einer Steigerung des Gesamtwasserbedarfs aufgrund von Wandelfaktoren nur der Mehrbedarf zu bereits händisch durchgeführten Änderungen im System verteilt wird, sofern  $\hat{D}_{\text{tot},t} > D_{\text{tot},t}$  gilt. Bei  $\hat{D}_{\text{tot},t} < D_{\text{tot},t}$  gilt folglich auch  $\Delta D_t < 0$  und schlussendlich auch  $\lambda_t < 1$ . Somit wird der Verbrauch der Verbrauchsknoten im Modell für den Zeitpunkt  $t$  reduziert, um in Summe nach wie vor den Wasserbedarfsprognosen zu entsprechen.

Verbrauchsknoten, deren Wasserbedarf nicht skaliert werden sollen, werden auch bei der Berechnung von  $D_{\text{tot},t}$  bzw.  $D_{\text{tot},0}$  ausgenommen. Der Verbrauch dieser Verbrauchsknoten ist somit konstant und hat keinen Einfluss auf die Wasserbedarfsskalierung.

### 4.3.5 Leistungsindikatorberechnung

Zur Bewertung der Leistungsfähigkeit wurden vier Leistungsindikatoren implementiert:

- **Resilience Index**  
Bewertet die Ausnutzung der hydraulischen Kapazität eines Trinkwasserversorgungssystems.
- **Anzahl unterversorgter Verbrauchsknoten**  
Bewertet das Ausmaß eines Systemversagens.
- **Verhältnis Einspeisemenge zu Wasserbedarf**  
Bewertet die Relation zwischen Gesamteinspeisemenge und Gesamtwasserbedarf.
- **Durchschnittliches Netzalter**  
Gibt Einblick in das Alter des Systems.

#### 4.3.5.1 Resilience Index

Der Resilience Index beschreibt das Verhältnis zwischen dem Energieüberschuss im System und der insgesamt dem System zugeführter Energie. Ursprünglich für DDAs entwickelt (Todini, 2000), wurde mittlerweile auch eine auf PDAs abgestimmte Fassung veröffentlicht (Creaco et al., 2016). Für EWA-Modelle wurde die PDA-Variante gewählt, die folgend erläutert wird.

Um den Resilience Index für Modelle mit PDA zu berechnen, wird zuerst die dem System zugeführte Energie  $P_{\text{tot}}$  bestimmt

$$P_{tot} = \gamma \sum_{k=1} Q_k H_k + \sum_{j=1} Q_j H_j$$

wobei der erste Term die durch Wassereinspeisungen in das System eingebrachte Energie und der zweite Term die durch Pumpen zugeführte Energie beschreiben.  $\gamma$  bezeichnet die Wichte von Wasser,  $Q_k$  die zugeführte Wassermenge und  $H_k$  den Einspeisedruck zuzüglich der jeweiligen Knotenhöhen der Einspeisung  $k$  bei  $n_r$  Einspeisungen. Zusätzlich wird für die  $n_p$  Pumpen im System die jeweils zugeführte Energie in Form des generierten Durchflusses  $Q_j$  und Förderhöhe  $H_j$  addiert.

Die in Summe zugeführte Energie kann nun in zwei Teile aufgespalten werden

wobei  $P_{int}$  die durch Druckhöhenverluste im System „verlorene“ Energie und  $P_{ext}$  die an den Verbrauchsknoten zur Verfügung stehende Energie bezeichnen.  $P_{ext}$  kann in weiterer Folge als

$$P_{ext} = \gamma \sum_{i=1} q_i h_i$$

angeschrieben werden.  $Q_i$  und  $h_i$  beschreiben die an den  $n_n$  Verbrauchsknoten zur Verfügung gestellte Wassermenge und den zugehörigen an den Verbrauchsknoten anstehenden Druck.

Es lässt sich nun jene Energie  $P_{int}^*$  ausdrücken, die bei Versorgung der Verbrauchsknoten mit dem jeweiligen Soll-Wasserbedarf  $q_i^*$  im System aufgrund von Rohrreibung und lokalen Verlusten „verbraucht“ wird:

$$P_{int}^* = P_{tot} - \gamma \sum_{i=1} q_i^* h_i$$

Analog dazu lässt sich jene Energie  $P_{max}^*$  berechnen, die im System verbraucht werden muss, um an den Verbrauchsknoten jeweils den Soll-Wasserbedarf  $q_i^*$  und genau einen Mindest-Druck  $h_i^*$  zur Verfügung zu stellen:

$$P_{max}^* = P_{tot} - \gamma \sum_{i=1}^{n_i} q_i n_i$$

Auf Basis der oben angeführten Gleichungen wird der Resilience Index  $I_r$  wie folgt definiert

$$I_r = \frac{P_{max}^*}{P_{tot}}$$

Woraus durch Substitution schlussendlich folgt

$$I_r = \frac{\sum_{k=1}^{n_r} Q_k H_k + \sum_{j=1}^{n_p} Q_j H_j - \sum_{i=1}^{n_n} q_i h_i^*}{P_{tot}}$$

Für das EWA-Tool wurde  $h_i^*$  analog zu  $P_f$  mit 20 m festgelegt.

#### 4.3.5.2 Anzahl unterversorgter Knoten

Um die Auswirkungen eines Systemversagens zu quantifizieren, soll die Anzahl der vom Systemversagen betroffenen Einwohner\*innen bestimmt werden. Da in einem hydraulischen Modell keine Daten hinsichtlich der Anzahl an Einwohner\*innen, die über einen Verbrauchsknoten versorgt werden, verfügbar ist, wurde die Anzahl an unterversorgten Knoten als Leistungsindikator implementiert.

Als unterversorgte Knoten gelten all jene Knoten, an denen der Druck  $P_f$  bzw.  $h_i^*$  nicht erreicht wird und wo es somit nicht mehr zu einer Versorgung des Knotens mit dem vollständigen Soll-Wasserbedarf kommt.

#### 4.3.5.3 Verhältnis Einspeisemenge zu Wasserbedarf

Aufgrund der Integration von Quellen und Brunnen in EWA-Modelle können Einspeisungen als Volumenströme im System hinterlegt werden. Dies erlaubt die Berechnung der Relation  $\varepsilon$  zwischen der Gesamteinspeisemenge  $Q_{in,tot}$  und dem Gesamtwasserbedarf  $Q_{tot}$  im System:

$$\varepsilon = \frac{Q_{in,tot}}{Q_{tot}}$$



$Q_{in,tot}$  ist dabei die Summe aller bei Brunnen und Quellen hinterlegten Einspeisemengen und  $Q_{tot}$  die Summe des Wasserbedarfs aller Knoten im System. Ein  $\varepsilon > 1$  bedeutet demnach, dass ein Überschuss vorliegt und im System befindliche Behälter befüllt werden können, während bei  $\varepsilon < 1$ , diese Behälter die Fehlmenge im Wasserbedarf ausgleichen.

Es soll jedoch angemerkt werden, dass dieser Ansatz nur sinnvolle Aussagen liefert, so lange alle Einspeisungen in das System mittels Quellen und Brunnen modelliert wurden. Werden hingegen Reservoirs dazu verwendet, kann dieser Indikator nicht sinnvoll berechnet werden, da bei Reservoirs nur eine Druckhöhe eingestellt werden kann. Diese Druckhöhe bedingt dann wiederum die tatsächliche Einspeisung basierend auf den Druckverhältnissen im System.

#### 4.3.5.4 Durchschnittliches Netzalter

Da ein EWA-Modell das Verlegejahr jeder Leitung beinhaltet, kann ein längenbezogenes durchschnittliches Netzalter  $\bar{\tau}$  berechnet werden. Dazu wird für jede Leitung  $i$  von insgesamt  $n$  Leitungen das Produkt von Länge  $l$  und Alter  $\tau$  berechnet und anschließend durch die Gesamtleitungslänge des Systems  $l_{tot}$  dividiert:

$$l_{tot}$$

Der Indikator durchschnittliches Netzalter stellt die Basis für eine zukünftig vorgesehene Implementierung des Indikators „Wasserverlustrate“ dar, welcher im Zuge des Co-Development Prozesses „Leistungsindikatoren“ Kapitel 2 als weiterer wichtiger Indikator für die Bewertung von Wasserversorgungsnetzen definiert wurde. Das mittlere Alter ist ein erstes Indiz für eine Netzüberalterung und potentielle Zunahme von Wasserverlusten. Eine Proportionalität zwischen Wasserverlusten und Netzalter ist gegeben. Zusätzlich sind Wasserverluste jedoch auch abhängig vom Rohrmaterial und vom Druck.

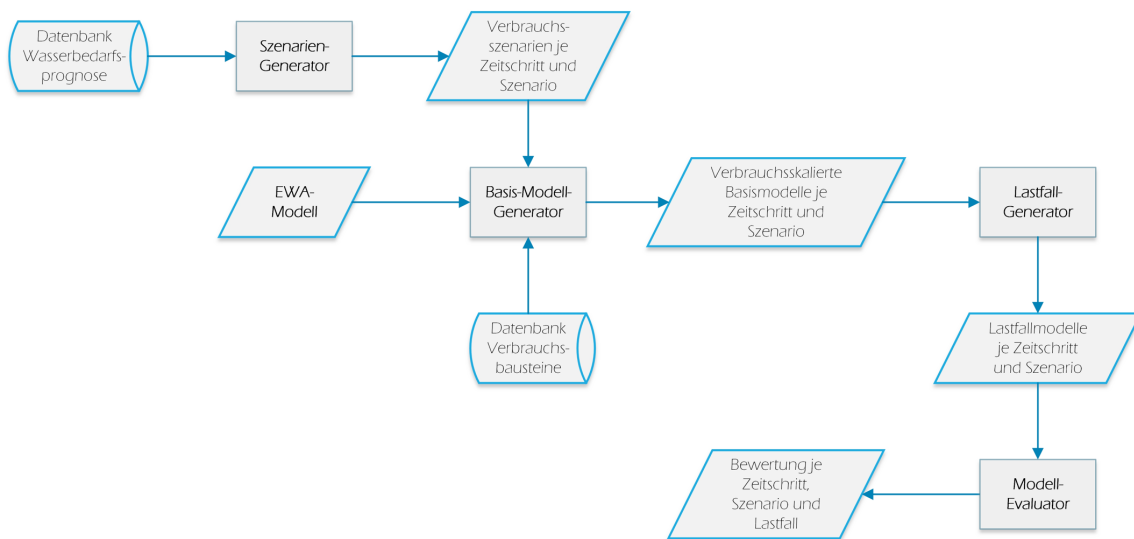
#### 4.3.6 Modellierungs-Workflow

Ziel der hydraulischen Modellierung ist es ein EWA-Modell zu bewerten, um aufbauend auf dieser Bewertung das Modell zu optimieren und robuste Planungsalternativen zu generieren.

Um ein EWA-Modell bewerten zu können, müssen die konkreten Realisierungen des Modells für die verschiedenen Zeitschritte, Zukunftsszenarien und Lastfälle generiert werden.

Eine derartige Realisierung wird als „EWA-Submodell“ bezeichnet und ist ein hydraulisches Modell, das eine bestimmte Kombination von Zeitschritt, Zukunftsszenario und Lastfall abbildet. Abbildung 13 zeigt den Workflow, mithilfe dessen alle Realisierungen gebildet werden.

Abbildung 13: Workflow zur hydraulischen Modellierung in EWA



Zuerst sollen die verbrauchsskalierten Modelle für den Basislastfall für jeden Zeitschritt generiert werden (Basis-Modell-Generator in Abbildung 13).

Zuerst wird aus dem EWA-Modell für jeden Zeitschritt ein Basismodell extrahiert, das die topologischen Änderungen beinhaltet. So werden im Zeitschritt  $t$  nur jene Komponenten zum EWA-Submodell hinzugefügt, deren Lebenszeit diesen Zeitschritt umfasst. Außerdem werden alle zeitabhängigen Attribute entsprechend im Modell gesetzt. Zusätzlich werden die Verbrauchsbausteine in einen Wasserbedarf konvertiert.

Anschließend wird der Wasserbedarf in den Basismodellen anhand von vorab definierten Zukunftsszenarien skaliert. Dazu wird eine Datenbank genutzt, in der Faktoren zur Bestimmung des zukünftigen Spitzenwasserbedarfs gespeichert werden. Aus dieser Datenbank werden die Verbrauchsszenarien je Zeitschritt und Zukunftsszenario ausgelesen (Szenarien-Generator in Abbildung 13). Anschließend werden diese Szenarien auf die Basismodelle angewendet, sodass je ein Modell pro Zeitschritt und Zukunftsszenario vorliegt. Zusätzlich

werden analog aus der Datenbank auch Faktoren zur Skalierung der Einspeisemenge ausgelesen und auf Brunnen und Quellen im System angewandt.

Abschließend werden je Zeitschritt die Submodelle für die unterschiedlichen Lastfälle generiert. Dabei werden ausgehend vom jeweiligen Basismodell für jeden Lastfall die jeweils in den Komponenten hinterlegten lastfallabhängigen Attribute im Modell angesetzt. Konkret bedeutet dies, dass in Brandfällen bei jenen Knoten, bei denen ein Löschwasserbedarf hinterlegt ist, dieser zum Knotenverbrauch addiert wird. Bei Störfällen hingegen werden die Status-Attribute der Kantenelemente adaptiert. Dieser Schritt wird für jedes verbrauchsskalierte Modell und damit für alle Zukunftsszenarien durchgeführt (Lastfall-Generator in Abbildung 13).

Dadurch stehen für jeden Lastfall, jeden Zeitschritt und jedes Zukunftsszenario ein EWA-Submodell zur Verfügung, das anschließend evaluiert werden kann (Modell-Evaluator in Abbildung 13). Diese Einzelbewertungen können anschließend beliebig aggregiert werden, womit Auswertungen je Lastfall, Zeitschritt oder Leistungsindikator möglich sind.

# 5 EWA-Tool

Das EWA-Tool kumuliert die im Projekt EWA gewonnenen Erkenntnisse und ermöglicht die Zukunftsplanung von Trinkwasserversorgungssystemen. Im Planungsprozess können dabei verschiedene Zukunftsszenarien und Lastfälle berücksichtigt werden, sowie Planungsschritte zu unterschiedlichen Zeitpunkten in der Zukunft vorgenommen werden. Das Tool steht als webbasierte Lösung zur Verfügung, ein User-Konto an der TU Graz ist zur Nutzung notwendig. Das Tool enthält ein Gamification-System, das beispielsweise zum Tool-Onboarding für neue Nutzer\*innen sowie zu Schulungszwecken genutzt werden kann. Bei der Entwicklung wurde großer Wert auf Datensicherheit sowie Skalierbarkeit gelegt.

## 5.1 Software-Architektur

Für eine einfache Verteilung, simple Updatemechanismen und Plattformunabhängigkeit wurde ein webbasierter Ansatz gewählt. Dieser ermöglicht es, Updates innerhalb weniger Minuten sämtlichen Nutzer\*innen zur Verfügung zu stellen. Zusätzlich lässt sich das Tool somit auf jedem Betriebssystem mit einem gängigen Webbrowser bedienen, ohne dass eine vorherige Installation von zusätzlichen Softwareprodukten am eingesetzten Endgerät notwendig ist.

Es wurde bei der Konzeptionierung auf eine strikte Trennung des Frontends (Bedienoberfläche im Webbrowser) und Backends (zuständig für die Datenverarbeitung, Simulation und Analyse) geachtet, um flexibel auf neue Anforderungen reagieren zu können und eine schnelle Entwicklung zu gewährleisten.

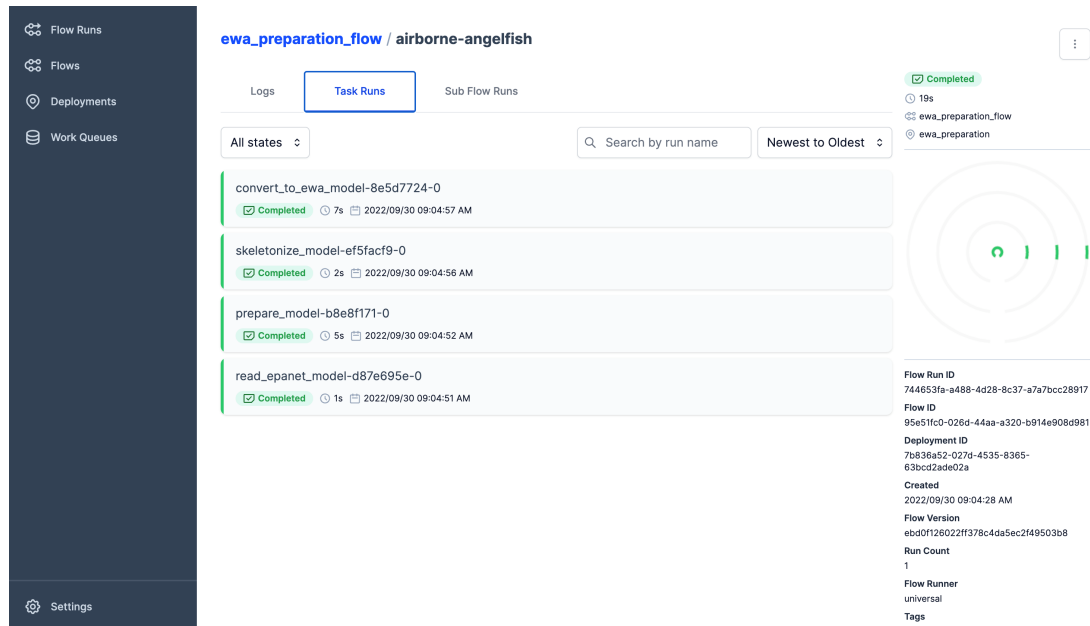
Die einzelnen Komponenten des Backends wurden in ihre Kernfunktionen aufgesplittet (Microservicearchitektur) und in Containern ausgeführt. Container sind abgekapselte Prozesse, die vom Rest des Systems isoliert sind. Dies hat neben dem einhergehenden Sicherheitsgewinn – ein Fehler/Bug in einem Service hat keine Auswirkung auf die anderen Bestandteile des Systems – auch den Vorteil, dass diese Container auf einer bestehenden Rechnerinfrastruktur mit Hilfe von Kubernetes (einem Tool zur Orchestrierung von Containern) verteilt werden können und somit die zugrundeliegenden Rechner (Nodes) bestmög-

lich genutzt werden. Zusätzlich ist es somit auch leichter möglich Anwendungen zu skalieren, da in diesem Fall, sofern Serverressourcen verfügbar sind, weitere Container gestartet werden können (Kubernetes, 2021).

### 5.1.1 Simulations Backend

Das Simulations-Backend beruht auf der Python-Bibliothek Prefect (Prefect 2.0, 2022), mit der Workflows orchestriert werden können. Workflows können sowohl lokal als auch in Rechenclustern ausgeführt werden. Für die Ausführung von Berechnungen in einem Cluster greift Prefect auf die Bibliothek Dask (Dask, 2019) zurück. Prefect wurde gewählt, da es bereits fertige Lösungen für Monitoring und Logging beinhaltet, womit die Auslastung des Rechenclusters leicht überwacht werden kann und aufgetretene Fehler leichter nachvollzogen sowie im Frontend angezeigt werden können. Außerdem können über eine Web-Oberfläche Workflows auch unabhängig vom EWA-Tool ausgeführt und getestet werden. Abbildung 14 zeigt die Web-Oberfläche von Prefect.

Abbildung 14: Web-Oberfläche von Prefect



Die in Kapitel 4.3.2 beschriebenen EWA-Modelle werden als GeoJSON (Butler et al., 2016) – einer auf Geodaten spezialisierten Form des Datenformats JSON (JavaScript Object Notation) – gespeichert und verarbeitet. JSON wurde gewählt, da dieses in einer Vielzahl an Softwarepaketen unterstützt wird. Dazu wird die Bibliothek Pydantic (Colvin, 2022) genutzt, mit

der leicht Datenmodelle implementiert werden können. Pydantic bietet auch die Möglichkeit zu überprüfen, ob Daten mit dem hinterlegten Datenmodell übereinstimmen (Validierung). Auch die Simulationsergebnisse werden in einer JSON-Datei gespeichert.

### **5.1.2 Datenbank für Wasserbedarf und -dargebot**

Die Daten der Studie Wasserschatz Österreich wurden in einer PostgreSQL-Datenbank georeferenziert abgelegt. Zur Skalierung von Wasserbedarf und Einspeisemengen wird zunächst die passende Szenarienregion über den geographischen Mittelpunkt des EWA-Modells ermittelt (d.h. Mittelwert der Koordinaten aller Knoten im Modell). Danach werden für jeden Zeitschritt die entsprechenden Skalierungsfaktoren für beide Szenarien ausgelesen. Diese Faktoren werden danach wie in Kapitel 4.3.4 beschrieben auf das Modell angewandt. Die Daten dieser Studie wurden verwendet, da diese sowohl die Veränderungen des Wasserbedarfs, als auch des -dargebots beinhalten, und diese somit gemeinsam betrachtet werden können. Weiters ist durch die Integration der Ergebnisse der Wasserschatz-Studie keine aufwendige Rechenleistung notwendig, da die Ergebnisse direkt in der Datenbank gespeichert werden konnten.

### **5.1.3 Schnittstelle Frontend-Backend und Sicherheit**

Als Schnittstelle zwischen Front- und Backend wurde eine Web-API (Application Programming Interface) auf Basis der Python-Bibliothek FastAPI (Ramírez, 2022) implementiert. Diese API übernimmt folgende Aufgaben:

- Verwaltungen von hydraulischen Modellen und Simulationsergebnissen
- Starten von Simulationen eines EWA-Modells
- Status-Abfragen von Simulations-Durchläufen in Prefect sowie Auslesen der Ergebnisse
- Auslesen von Prefect-Logs um Fehlermeldungen an das Frontend weitergeben zu können
- Token-basierte User-Authentifizierung und -Autorisierung über Keycloak (Keycloak, 2021), einem Open-Source Authentifizierungsgateway.

Vom Zentralen Informatikdienst der Technischen Universität Graz (ZID) wird eine Keycloak-Instanz zur User-Verwaltung und zum Berechtigungsmanagement eingesetzt. Das EWA-

Tool nutzt diesen zentralen Service zur User-Authentifizierung. Dadurch kann auf die Speicherung von personenbezogenen User-Daten wie beispielsweise E-Mail-Adressen oder Passwörtern auf Instituts-Servern verzichtet werden.

Für die Nutzung des EWA-Tools geht aber damit zwangsweise eine Registrierung an der TU Graz einher. Es besteht jedoch die Möglichkeit, sich auch als externe\*r Nutzer\*in bei der TU Graz zu registrieren. Zur Nutzung des EWA-Tools ist nach erfolgter Registrierung nur ein Login über das Single-Sign-On-System der TU notwendig. Zum Login ist außerdem eine 2-Faktor-Authentifizierung notwendig, was das Schutzniveau weiter steigert.

Mithilfe von Keycloak wird über die API auch sichergestellt, dass Nutzer\*innen nur auf jene Modelle und Simulationsergebnisse Zugriff haben, die ihnen zugewiesen sind. Beim Senden einer Anfrage vom Frontend an die API wird ein von Keycloak erstelltes Token im Request-Header übermittelt. Über dieses Token kann der/die Nutzer\*in eindeutig identifiziert werden, womit Zugriffsbeschränkungen implementiert werden konnten. Außerdem beinhaltet das Token eine anonymisierte, User-spezifische ID. Diese ID wird verwendet, um Modelle und Simulationsergebnisse zu speichern. Soll ein gespeichertes Model oder ein Analyseergebnis abgerufen werden, muss dafür die im Token übermittelte anonymisierte ID mit der bei den gespeicherten Daten hinterlegten ID übereinstimmen.

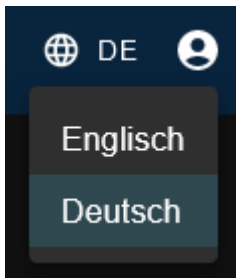
Schlussendlich wird für die Kommunikation zwischen Client und Servern eine verschlüsselte Verbindung genutzt (SSL – Secure Sockets Layer), um ein Auslesen des Datenverkehrs durch Dritte zu erschweren.

#### **5.1.4 Frontend**

Das Frontend wurde mit dem Web-Framework React (React, 2022) entwickelt. Bei React handelt es sich um eine JavaScript-Bibliothek, mit der interaktive Web-Oberflächen erstellt werden können.

Das Frontend ermöglicht die Verwaltung der gespeicherten Modelle in einem Hauptmenü, sowie deren Bearbeitung in einer Kartenansicht. Es ist mehrsprachig und unterstützt zurzeit Deutsch und Englisch als Anzeigesprachen, kann aber um weitere Sprachen erweitert werden. Die angezeigte Sprache kann jederzeit über ein Auswahlmü rechts oben geändert werden (Abbildung 15). Englisch ist zurzeit als Standardsprache eingestellt.

Abbildung 15: Auswahl der Sprache



## 5.2 Bedienoberfläche

Die Bedienoberfläche des Tools ist in mehrere Bereiche aufgeteilt:

- Hauptmenü
- Kartenansicht
- Listenansicht
- Simulationshistorie

Im folgenden Abschnitt sollen die unterschiedlichen Bereiche im Detail erklärt werden.

### 5.2.1 Hauptmenü und Modellverwaltung

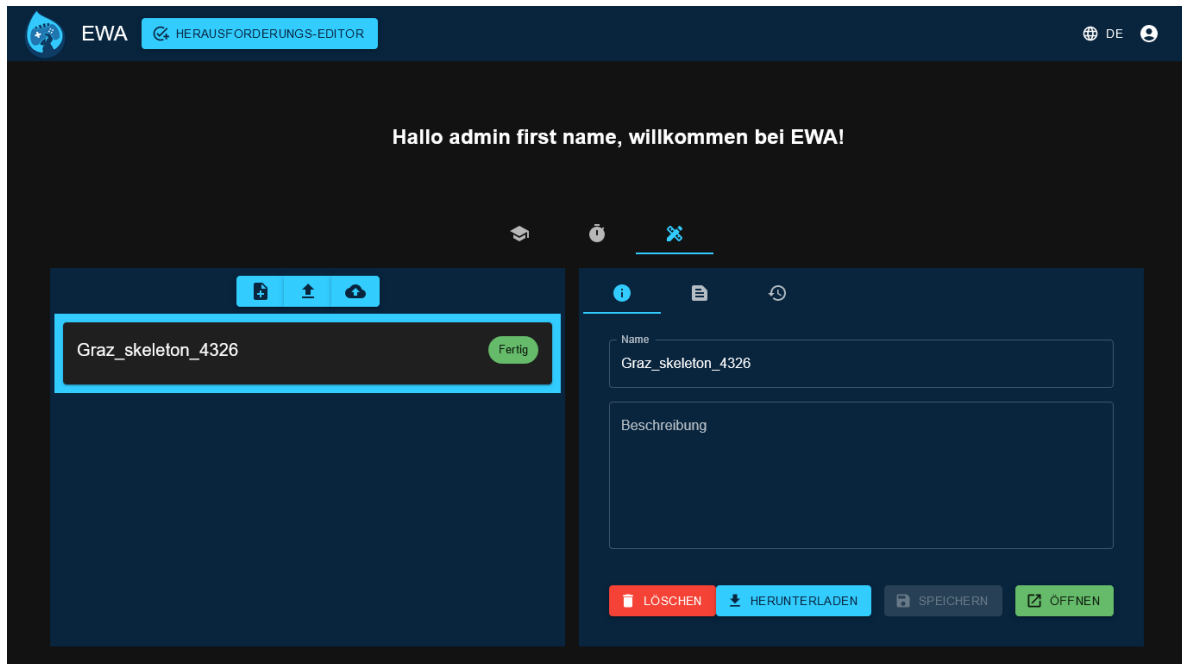
Das Frontend ermöglicht im Hauptmenü eine vollumfängliche Verwaltung von EWA-Modellen. Diese Verwaltung umfasst folgende Funktionen:

- Erstellung von neuen EWA-Modellen
- Generierung von EWA-Modellen aus EPANET-Modellen
- Editieren von Modell-Metadaten (Name und Beschreibung)
- Export von EWA-Modellen als ewa-Datei
- Import von EWA-Modellen als ewa-Datei oder json-Datei
- Löschen von existierenden EWA-Modellen
- Laden von gespeicherten EWA-Modellen
- bei Übungen bzw. Herausforderungen: Import einer Challenge

Abbildung 16 zeigt das Hauptmenü.



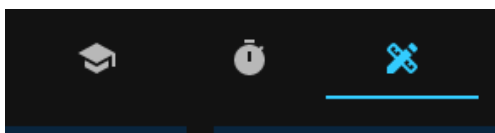
Abbildung 16: Hauptmenü des EWA-Tools



Oben werden die Nutzer\*innen mit einer kurzen Nachricht namentlich begrüßt. Der angezeigte Name wird aus dem Authentifizierungs-Token ausgelesen und wird nicht gespeichert.

Unterhalb der Begrüßung befinden sich drei Reiter (Abbildung 17) für die verschiedenen Modell-Kategorien. Der erste Reiter ist für „Tutorials“ vorgesehen, also Modelle mit angehängten Herausforderungen, welche zur Erlernung des EWA-Tools dienen sollen. Die zweite Kategorie ist „Herausforderungen“ – darin befinden sich ebenfalls Modelle mit angehängten Herausforderungen, im Gegensatz zu Tutorials sollten diese jedoch herausfordernde Sachverhalte beinhalten. Der letzte Reiter ist für reguläre EWA-Modelle vorgesehen.

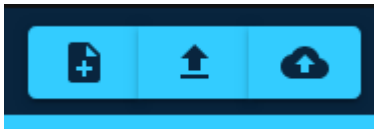
Abbildung 17: Reiter für EWA-Modell-Kategorien



Die Modellliste befindet sich auf der linken unteren Seite. Oberhalb dieser Liste in der Mitte sind drei Buttons angeordnet, mit denen ein neues Modell zur Modellliste hinzugefügt werden kann (Abbildung 18). Mit ihnen kann entweder ein neues EWA-Modell erstellt oder ein

EWA- oder EPANET-Modell importiert werden. Der letzte Button steht nur im Reiter für reguläre EWA-Modelle zur Verfügung. Serverseitig können EWA-Modelle definiert werden, die allen Nutzer\*innen zur Verfügung gestellt werden sollen. Dies kann genutzt werden, um Trainings-Modelle oder Herausforderungen zentral zu verteilen.

Abbildung 18: Buttons zur Erstellung von neuen Modellen, zum Import eines EWA-Modells sowie zum Import eines EPANET-Modells (v.l.n.r.)



Wird ein EPANET-Modell hochgeladen (Abbildung 19), wird dieses über Prefect zuerst in ein EWA-Modell konvertiert und in das vom Frontend verwendete Koordinatensystem EPSG:4326 transformiert. Das hochgeladene Modell wird dabei als Basislastfall verwendet, der erste Zeitschritt im EWA-Modell ist das im Dialog gewählte Modell-Jahr. Dieses bezeichnet jenes Jahr, das im Modell abgebildet ist.

Abbildung 19: Upload-Dialog für ein EPANET-Modell

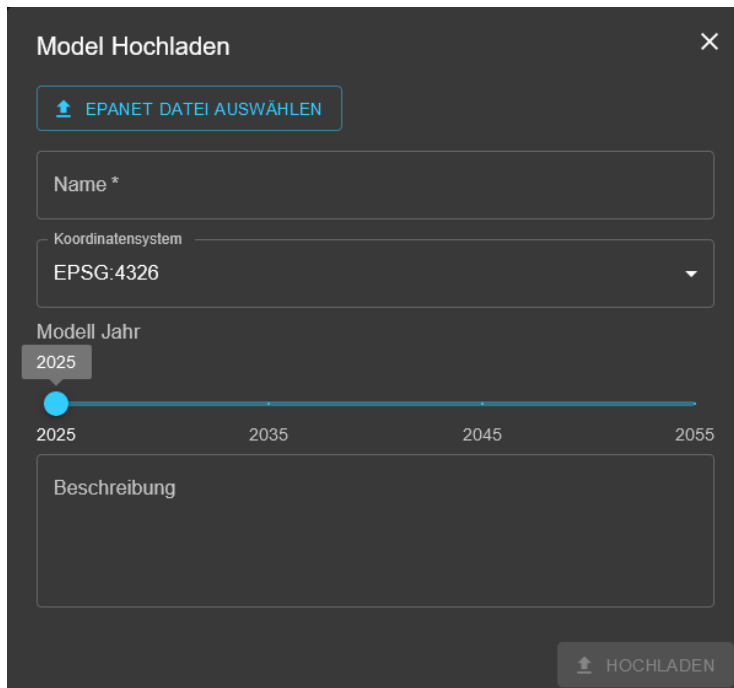
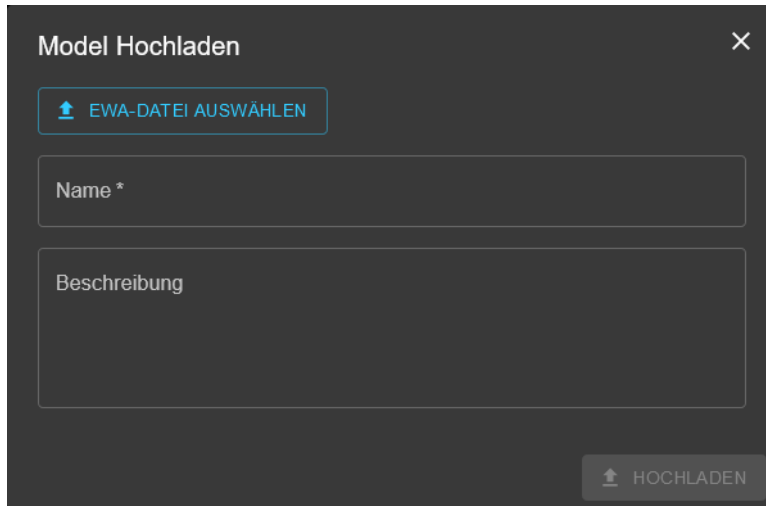
The image shows a dark-themed dialog box titled 'Model Hochladen' with a close button (X) in the top right corner. Inside the dialog, there is a button labeled 'EPANET DATEI AUSWÄHLEN' with an upward arrow icon. Below this is a text input field for 'Name \*'. Underneath is a dropdown menu for 'Koordinatensystem' with 'EPSG:4326' selected. Below that is a 'Modell Jahr' section with a slider. The slider has a blue circle at the start, with markers for 2025, 2035, 2045, and 2055. Below the slider is a large text area for 'Beschreibung'. At the bottom right, there is a button labeled 'HOCHLADEN' with an upward arrow icon.

Abbildung 20 zeigt den Dialog zum Upload eines vorher exportierten EWA-Modells. Hier muss lediglich ein Modellname und eine (optionale) -Beschreibung angegeben werden.

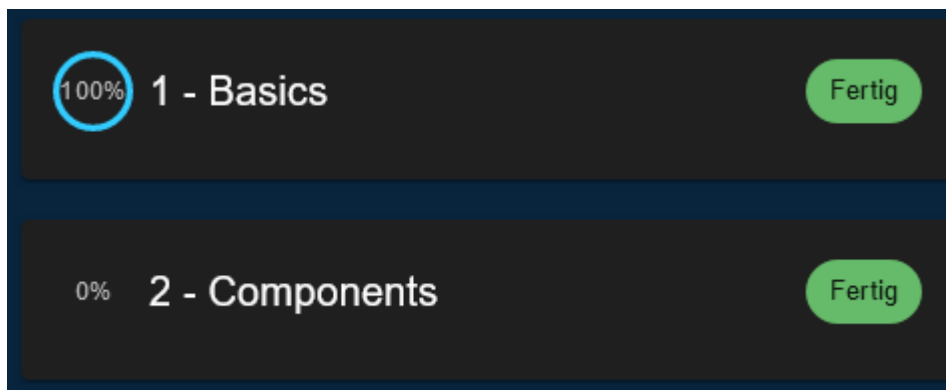
Abbildung 20: Upload-Dialog für ein EWA-Modell



The image shows a dark-themed dialog box titled "Model Hochladen" with a close button (X) in the top right corner. Below the title bar, there is a button labeled "EWA-DATEI AUSWÄHLEN" with an upward arrow icon. Underneath is a text input field labeled "Name \*". Below that is a larger text area labeled "Beschreibung". At the bottom right, there is a button labeled "HOCHLADEN" with an upward arrow icon.

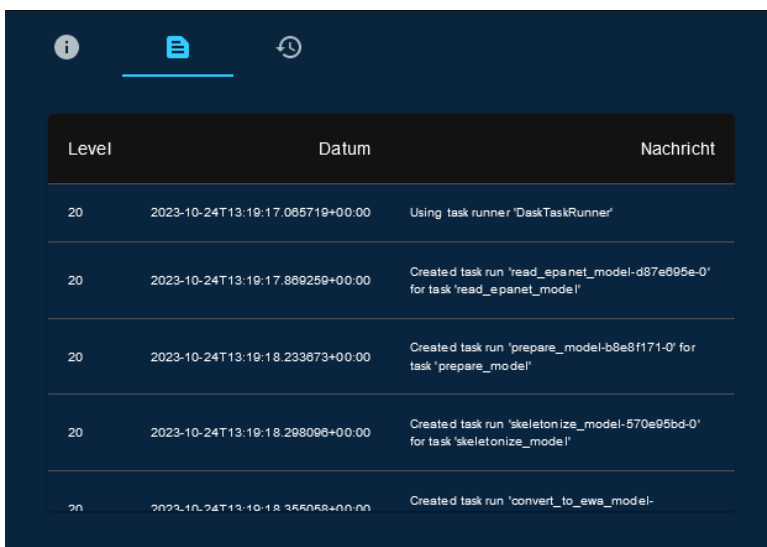
Bei jedem Modell wird der Status des Modells angezeigt. Wird ein EPANET-Modell hochgeladen durchläuft das Modell mehrere Zustände („Geplant“, „Bevorstehend“, „Läuft“), die sich auf den Status der Konvertierung im Cluster beziehen. Schlägt die Konvertierung fehl, wird „Fehlgeschlagen“ als Status angegeben. Bei einem „Fertig“-Status steht das Modell zur Verwendung im Tool bereit. Bei einem im EWA-Tool erstellten Modell oder einem EWA-Modell-Import wird immer „Fertig“ als Status angezeigt. Modelle mit einer angehängten Herausforderung haben zusätzlich noch einen Indikator über den Fortschritt (Abbildung 21), welcher prozentual die Anzahl der erledigten Aufgaben darstellt.

Abbildung 21: Modelle mit Herausforderungen und Fortschritt-Indikator



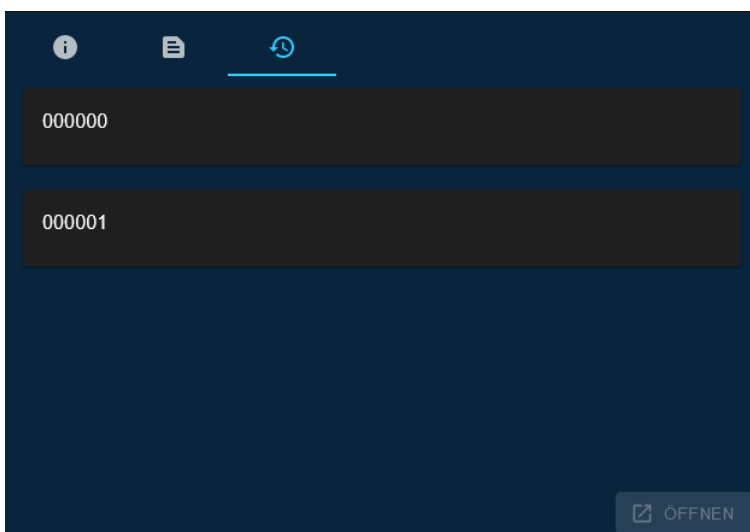
Bei einem Klick auf ein bestehendes Modell öffnet sich rechts unten eine Anzeige mit mehreren Reitern. Im ersten Reiter können Modellname und -beschreibung angepasst werden, sowie das Modell gelöscht, heruntergeladen und geöffnet werden. Im zweiten Reiter werden die Log-Meldungen der Konvertierung des Modells angezeigt (Abbildung 22). Damit können Fehler in der Konvertierung vor allem während der Tool-Entwicklung leicht nachvollzogen werden. Im letzten Reiter werden die verschiedenen Versionen des Modells aufgelistet (Abbildung 23), welche bei Bedarf geöffnet werden können.

Abbildung 22: Prefect-Logs im Hauptmenü beim Upload eines EPANET-Modells



Level	Datum	Nachricht
20	2023-10-24T13:19:17.065719+00:00	Using task runner 'DaskTaskRunner'
20	2023-10-24T13:19:17.869259+00:00	Created task run 'read_epanet_model-d87e695e-0' for task 'read_epanet_model'
20	2023-10-24T13:19:18.233673+00:00	Created task run 'prepare_model-b8e8f171-0' for task 'prepare_model'
20	2023-10-24T13:19:18.298096+00:00	Created task run 'skeletonize_model-570a95bd-0' for task 'skeletonize_model'
20	2023-10-24T13:19:18.355058+00:00	Created task run 'convert_to_ews_model-

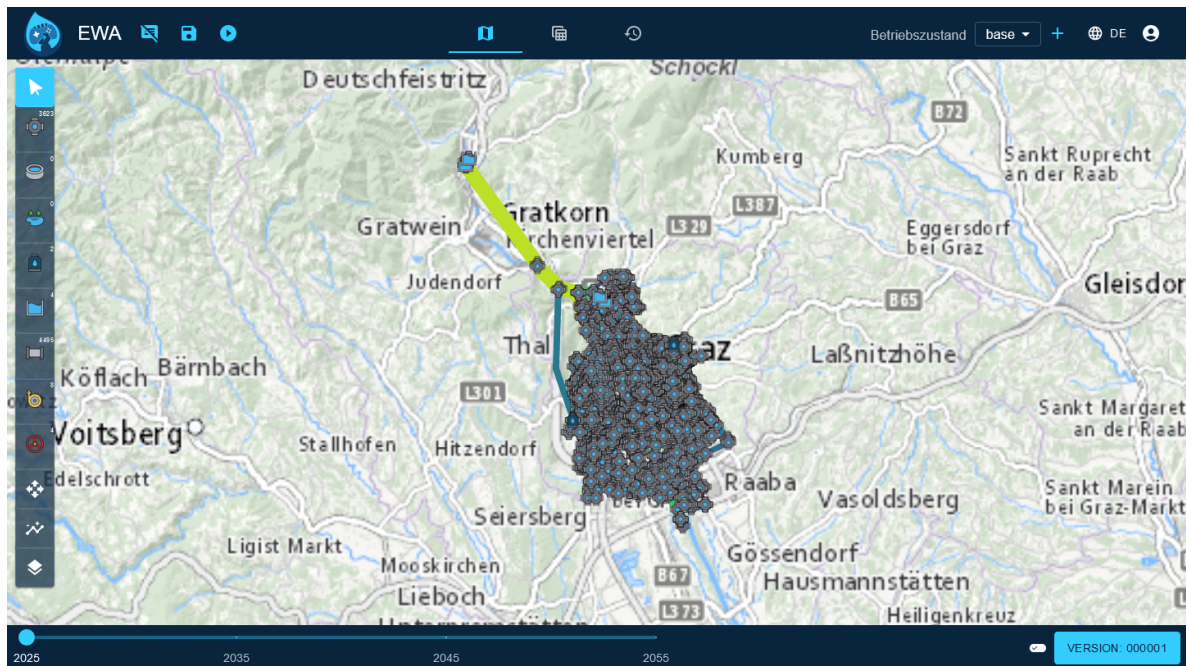
Abbildung 23: Modellversionen im Hauptmenü



## 5.2.2 Kartenansicht

Die Kartenansicht wird aufgerufen, wenn ein Modell über das Hauptmenü geöffnet wird. Bei einem leeren Modell wird derzeit Graz in der Mitte der Karte dargestellt. Ist bereits ein Trinkwasserversorgungssystem im Modell vorhanden, werden Zoomstufe und Zentrum der Karte so gesetzt, dass das gesamte Modell in der Karte sichtbar ist. Abbildung 24 zeigt die Kartenansicht bei Aufruf eines Modells von Graz.

Abbildung 24: Kartenansicht bei Aufruf eines Modells von Graz



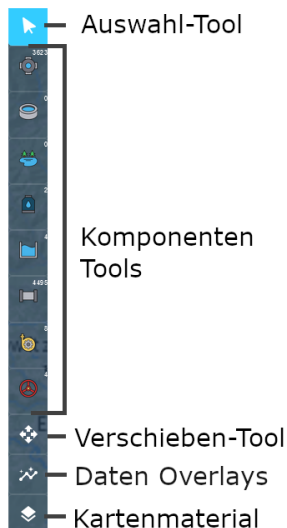
Mit gedrückter linker Maustaste kann die Kamera über die Karte geschoben werden, mit dem Mausekranz kann die Zoomstufe geändert werden.

In weiterer Folge sollen hier die verschiedenen Bedienelemente des Tools erklärt werden.

### 5.2.2.1 Werkzeugleiste

Am linken Rand der Karte stehen mehrere Werkzeuge in einer Leiste zur Verfügung (Abbildung 25).

Abbildung 25: Werkzeugleiste in der Kartenansicht



Mit dem obersten Werkzeug können einzelne Modellkomponenten auf der Karte ausgewählt werden. Wird eine Komponente ausgewählt, öffnet sich ein Overlay rechts unten in der Karte (Kapitel 5.2.2).

Für die verschiedenen Komponenten gibt es jeweils ein eigenes Untermenü (Abbildung 26), in dem man die jeweilige Komponente erstellen kann. Zusätzlich kann man für die jeweilige Komponente den Mehrfach-Auswahl-Modus aktivieren und die Sichtbarkeit in der Karte einstellen. Die Menü-Buttons der jeweiligen Komponenten beinhalten auch die Anzahl der im Modell vorhandenen Komponenten dieser Art. Die Untermenüs werden geöffnet, indem man auf einen Button für eine Komponententart klickt. Zur Verfügung stehen jene Modellkomponenten, die in einem EWA-Modell abgebildet werden können, also Knoten, Wasserbehälter, Reservoir, Leitungen, Ventile und Pumpen auf Basis von EPANET, sowie Brunnen und Quellen. Um eine punktförmige Komponente zur Karte hinzuzufügen, wird die entsprechende Kategorie im Bau-Menü durch Links-Klick ausgewählt und anschließend die Komponente mit einem Links-Klick auf der Karte platziert. Um eine linienförmige Komponente hinzuzufügen, muss nach der Wahl der Kategorie im Bau-Menü nacheinander der Start- und der Endknoten der Komponente auf der Karte mit Links-Klick ausgewählt werden.

Abbildung 26: Ausgeklapptes Bau-Menü für Knotenpunkte



Das nächste Werkzeug ist das Verschiebe-Werkzeug. Damit können Knoten auf der Karte verschoben werden. Zusätzlich kann die Form von linienförmigen Komponenten verändert werden, indem Zwischenpunkte zwischen Start- und Endpunkt platziert und verschoben werden können.

Darunter befinden sich die Daten-Overlays für das Modell und Ergebnisse – näheres dazu in Kapitel 4.2.2.

Im letzten Untermenü der Werkzeugleiste kann das Kartenmaterial, welches im Hintergrund der Karte angezeigt wird, ausgewählt werden. Zur Verfügung stehen:

- Basemap (Grau): farbreduzierte Raster-Karte von Basemap
- Openstreetmap: buntere Raster-Karte von Basemap
- Basemap (Orthofoto): Satellitenbilder

Standardmäßig ist Basemap (Grau) eingestellt, da durch diese farbreduzierte Karte die Modell-Komponenten besser sichtbar sind.

### 5.2.2.2 Zeitachse

Links unter der Karte wird eine Zeitachse angezeigt. Hier kann das aktuell dargestellte Jahr ausgewählt werden. Änderungen am Modell zwischen den Zeitschritten werden sofort geladen und die Darstellung entsprechend aktualisiert. Das aktuell ausgewählte Jahr wird außerdem über ein kleines graues Fenster angegeben. Abbildung 27 zeigt die Zeitachse, in der 2025 als Jahr ausgewählt ist.

Abbildung 27: Zeitachse in der Kartenansicht



### 5.2.2.3 Lastfallverwaltung

In der rechten oberen Ecke können die Lastfälle zum Modell hinzugefügt und auch wieder gelöscht werden (Abbildung 28). Der aktuelle gewählte Lastfall kann über ein Dropdown-Menü gewechselt werden. Über einen Klick auf das Plus kann ein neuer Lastfall hinzugefügt werden. Dazu wird ein Dialog eingeblendet, in dem ein Name sowie eine Beschreibung für den Lastfall frei als Text eingegeben werden kann (Abbildung 29). Über ein Dropdown-Menü kann bei der Lastfallerstellung außerdem zwischen Brandfällen und Störfällen gewählt werden.

Abbildung 28: Auswahlmenü Lastfälle

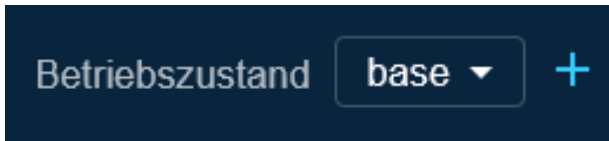


Abbildung 29: Dialog zur Erstellung eines neuen Lastfalls

A dark grey dialog box titled "Neuer Betriebszustand" with a close button (X) in the top right corner. The dialog contains the following elements:

- Instructional text: "Um einen neuen Betriebszustand zu erstellen, gib bitte einen Namen und eine Beschreibung ein."
- A text input field labeled "Name \*".
- A text input field labeled "Beschreibung".
- A dropdown menu labeled "Betriebszustand-Typ" with "Brandfall" selected.
- An "OK" button in the bottom right corner.



### 5.2.2.4 Eigenschaften Menü

Wird eine Komponente auf der Karte mit dem Auswahl-Werkzeug selektiert, öffnet sich rechts unten in der Karte ein Overlay, in dem die ausgewählte Komponente gelöscht werden kann. Alternativ kann durch Klick auf das Stift-Icon das Eigenschaften-Menü geöffnet werden. Hier können die verschiedenen Eigenschaften der Komponente eingesehen und verändert werden. Abbildung 30 zeigt die Eigenschaften eines Knotens.

Abbildung 30: Eigenschaftenmenü eines Knotens

The screenshot shows a properties menu for a node named 'junction\_1'. The fields are as follows:

- id:** junction\_1
- Kommentar:** (empty text field)
- betriebszustandsabhängige Eigenschaften:**
  - Löschwasser-Verbrauch:** 0 L/s
- zeitabhängige Eigenschaften:**
  - Verbrauch \*:** 0 L/s
- Verbrauchs-Skalierung:**
- Breitengrad \*:** 47.04803406985769
- Längengrad \*:** 15.389944283920068
- Höhe \*:** 359.29998779296875 m

At the bottom, there is a time axis from 2025 to 2055. Below the axis are two buttons: a green 'Speichern' button and a red 'Löschen' button. Lines connect the labels 'Speichern' and 'Löschen' to their respective buttons.

Unterschieden wird auch hier in der Darstellung zwischen statischen, zeitabhängigen und lastfallabhängigen Eigenschaften. Bei den zeitabhängigen Attributen hängt der dargestellte Wert vom in der Zeitachse eingestellten Jahr ab, welches über die vorhandene Zeitachse hier auch verändert werden kann. Die angezeigten Werte der Lastfallattribute hängen wiederum vom momentan ausgewählten Lastfall ab.

Über einen Klick auf den Löschen-Knopf wird die momentan selektierte Komponente aus dem Modell gelöscht. Änderungen der Werte müssen über einen Klick auf den Speichern-Knopf bestätigt werden. Verpflichtend anzugebende Eigenschaften sind mit einem Stern \* markiert.

Das Eigenschaften-Menü kann durch Klick auf „x“ rechts oben geschlossen werden. Ausgewählte Komponenten können durch Links-Klick in der Karte wieder de-selektiert werden. Falls dann keine Komponenten mehr ausgewählt sind, verschwindet auch das entsprechende Overlay.

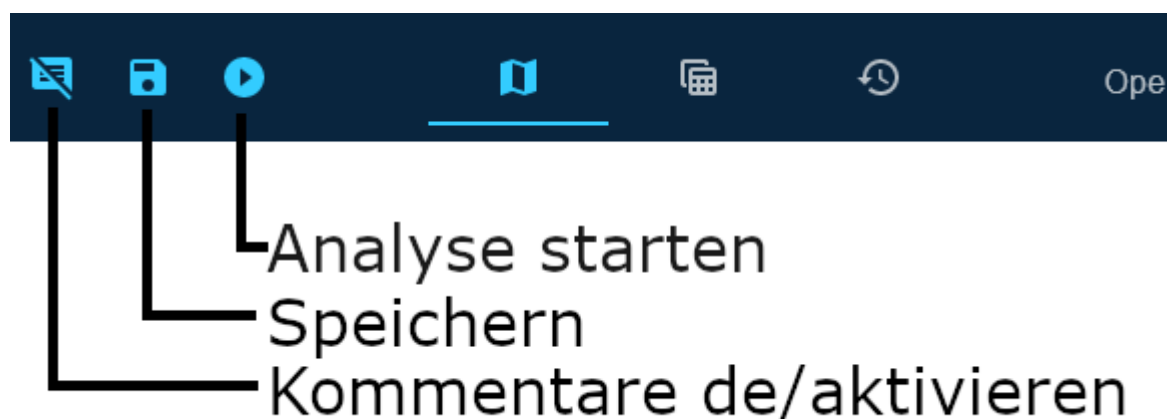
### 5.2.2.5 Speichern und Analysen starten

Links über der Karte befinden sich zwei Knöpfe zum Speichern des Modells bzw. zum Starten einer Analyse (Abbildung 31).

Bei einem Speichervorgang wird das Modell als neue Version gespeichert, falls es sich im Vergleich zur letzten vorhandenen Version geändert hat. Dasselbe geschieht auch bei einem Klick auf den Analyse-Button. Hier wird nur anschließend an den Speichervorgang eine Simulations-Anfrage an die API geschickt. Nach Ende der Simulation, stehen die Ergebnisse der Analyse im Frontend zur Verfügung.

Analysen und Modell-Versionen können auch kommentiert werden – was über den Button links neben dem Speichern-Button an- bzw. ausgeschaltet werden kann. Falls Kommentare aktiviert sind, wird jedes Mal vor dem Speichern bzw. dem Start einer Analyse abgefragt, ob ein Kommentar hinterlegt werden soll. Bei Analysen kann man zusätzlich noch einen eigenen Namen vergeben.

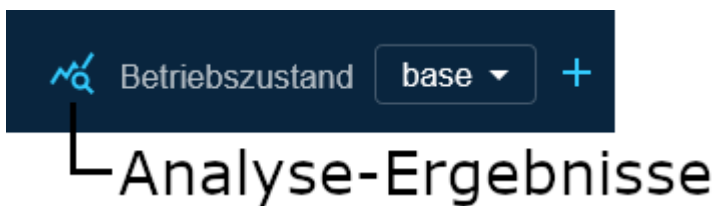
Abbildung 31: Buttons zum Speichern und Starten einer Analyse



### 5.2.2.6 Darstellung der Analyseergebnisse

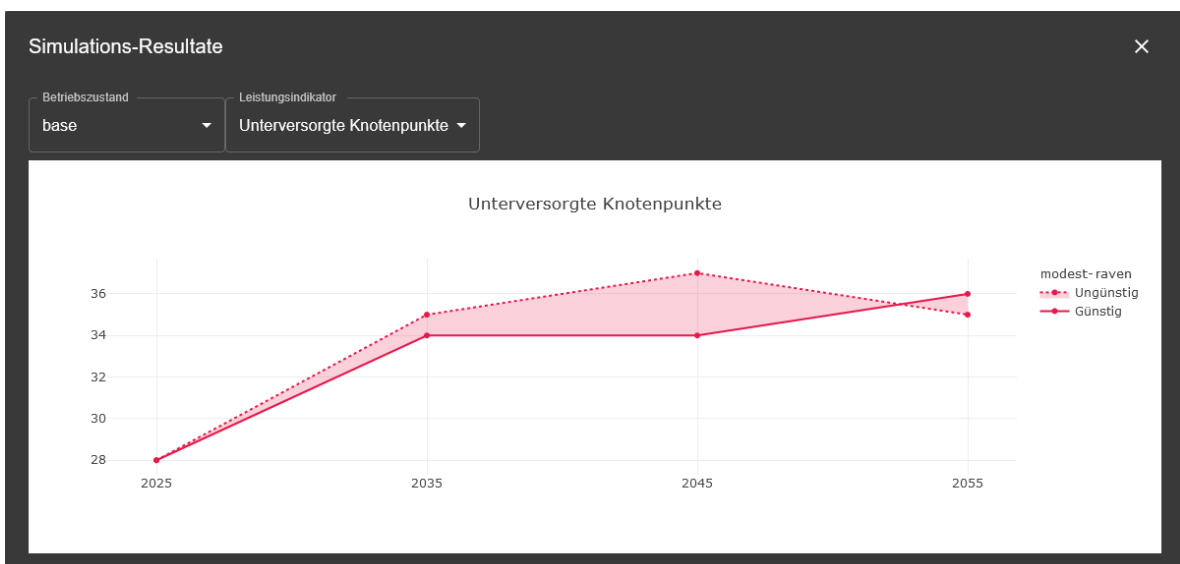
Gibt es eine erfolgreich abgeschlossene Analyse, kann man über einen Button links neben den Betriebszustand-Einstellungen in der Kopfleiste (Abbildung 32) oben die Ergebnisse dieser Analyse anzeigen lassen. Dabei wird dann ein Dialogfenster geöffnet, welches beispielhaft in Abbildung 33 zu sehen ist.

Abbildung 32: Button zur Anzeige von Analyse-Ergebnissen



Hier können die vier implementierten Leistungsindikatoren betrachtet werden. Der „Resilience Index“, der die hydraulische Kapazität widerspiegeln soll (Creaco et al., 2016), die Anzahl an unterversorgten Verbrauchsknoten (Abbildung 33), die „Relation Einspeisung/Verbrauch“ und das durchschnittliche Netzalter (siehe Kapitel 4.3.5).

Abbildung 33: Analyse-Ergebnisse in der Kartenansicht



Im Analyse-Panel werden die aktiven Ergebnisse dargestellt, standardmäßig sind das die zuletzt erfolgreich berechneten Ergebnisse. Für die Visualisierung werden Linienplots verwendet, bei denen der jeweilige Leistungsindikator gegen die Zeit aufgetragen ist. Bei der Berechnung eines Leistungsindikators für mehrere Zukunftsszenarien ergibt sich eine Spannweite der Ergebnisse, da je Szenario ein Ergebnis vorliegt. Über Dropdown Menüs kann zwischen den Betriebszuständen und Leistungsindikatoren gewechselt werden.

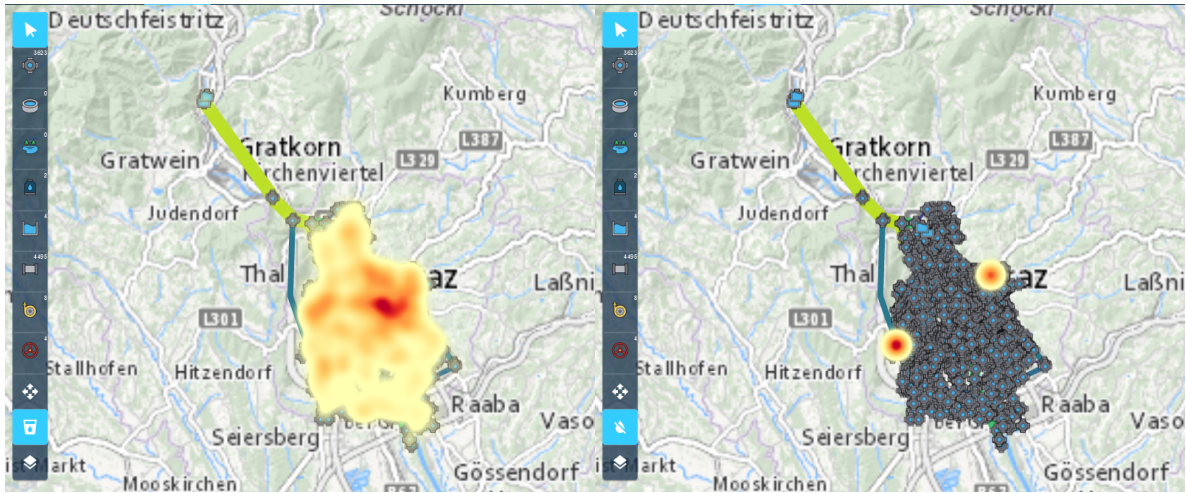
### 5.2.2.7 Modell- und Ergebnisdarstellung auf der Karte

Wie in Kapitel 5.2.2 angesprochen, können Ergebnisse als Daten-Overlays eingeblendet werden. Dazu gibt es ein Untermenü (Abbildung 34) in der Werkzeugleiste links unten. Es können hier weiterhin die unterversorgten Knoten sowie die Knotenverbräuche als Heatmap auf der Karte eingeblendet werden (Abbildung 35). Die Leitungsdurchmesser werden anhand einer Farbskala (viridis) und Linienstärke dargestellt.

Abbildung 34: Buttons zur Adaption der Kartenvisualisierung



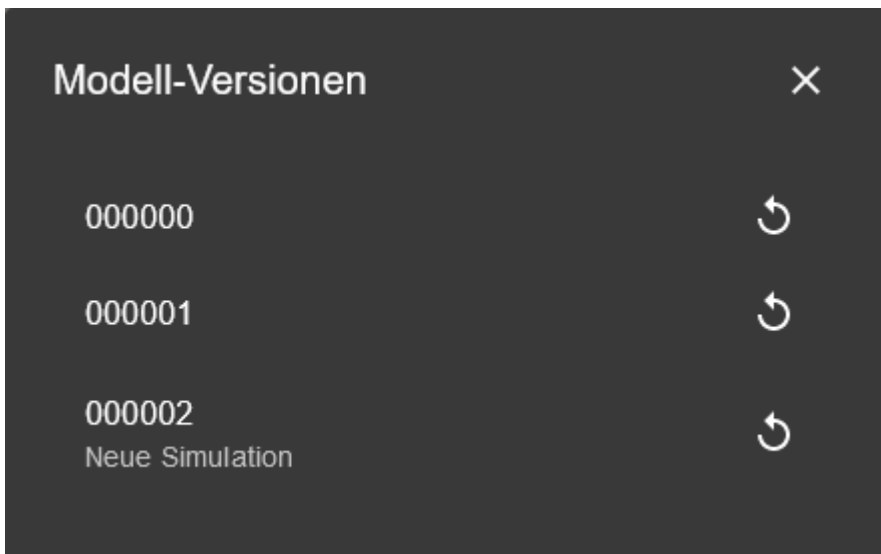
Abbildung 35: Visualisierung von Knotenverbräuchen (links) und unterversorgten Knoten (rechts)



### 5.2.2.8 Versionsmenü

In der rechten unteren Ecke wird die aktuelle Version des Modells angezeigt. Durch Klick auf diesen Button öffnet sich ein Dialogfenster (Abbildung 34), in dem Nutzer\*innen bisherigen Versionen des Modells sehen und bei Wunsch auch laden können. Wurde ein Kommentar beim Speichern oder Start einer Analyse angegeben, dann erscheint dieses im Versionsmenü (Abbildung 36).

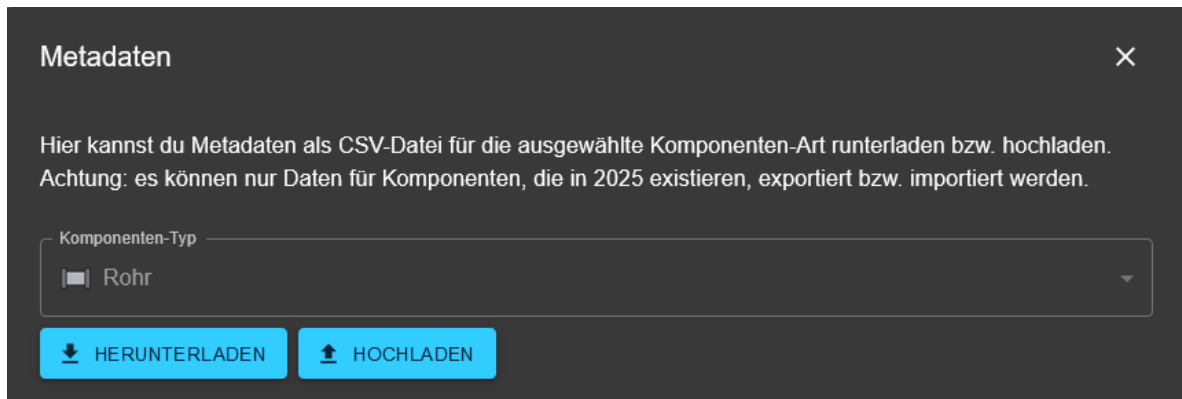
Abbildung 36: Versionsmenü



### 5.2.2.9 Metadaten

Es gibt auch die Möglichkeit Metadaten als CSV-Datei hoch-/herunterzuladen. Dazu gibt es links neben dem Versions-Button in der rechten unteren Ecke einen Button, der ein Dialogfenster öffnet (Abbildung 37).

Abbildung 37: Dialogfenster für Metadaten



Metadaten können dabei nur für Komponenten, die im Jahr 2025 existieren, ex-/importiert werden. Zurzeit werden hier nur Rohrleitungen unterstützt.

### 5.2.3 Listenansicht und Simulationshistorie

Über der Karte befinden sich drei Buttons, mit denen neben der Kartenansicht auch zwei weiteren Ansichten aufgerufen werden können (Abbildung 38): Eine Listenansicht aller im Modell befindlichen Komponenten (Abbildung 39), sowie eine Simulationshistorie (Abbildung 40).

Abbildung 38: Buttons zum Wechseln zwischen Karten- und Listenansicht sowie Simulationshistorie (v.l.n.r.)



In der Listenansicht können auf der linken Seite die verschiedenen Komponententypen ausgewählt werden. Die Liste der Komponenten wird danach aktualisiert, um der Auswahl zu

entsprechen. In der Liste können die einzelnen Komponenten über den Löschen-Button gelöscht werden, und über den Stift-Button kann der Bearbeitungsmodus für die jeweilige Komponente gestartet werden. Die Komponenten können hier auch nach Attributen sortiert bzw. gefiltert werden. Das Verhalten der Filter hängt jeweils von der Art der Attribute ab. Zum Beispiel gibt es für Texte ein Suchfeld, für numerische Werte können hingegen minimale und maximale Werte angegeben werden.

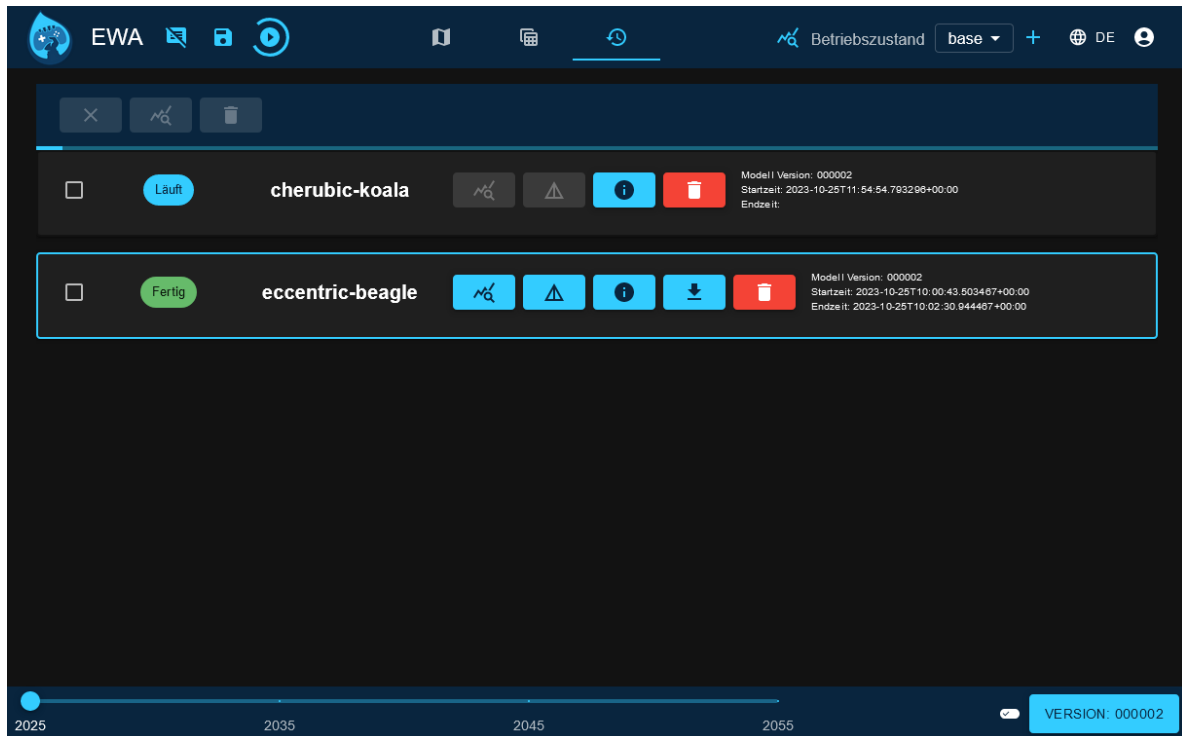
Abbildung 39: Listenansicht im EWA-Tool

Aktionen	ID	Verbrauch (L/s)	Verbrauchs-Skalierung	Löschwasser-Verbrauch (L/s)
	Nach ID filtern	Min Max	Nach Verbrauchs-Skalierung filtern	Min Max
	10141613	0	<input checked="" type="checkbox"/>	0
	10456278	0,13602	<input checked="" type="checkbox"/>	0
	10459656	0	<input checked="" type="checkbox"/>	0
	10459660	0	<input checked="" type="checkbox"/>	0
	10459664	0,91851	<input checked="" type="checkbox"/>	0
	10477674	0,4252	<input checked="" type="checkbox"/>	0

In der Simulationshistorie werden alle bisher durchgeführten Analysen aufgelistet. Die Simulationen werden analog zur Modell-Konvertierung mittels Prefect ausgeführt. Je Analyse wird wieder ein Status angezeigt, der den Status der Analyse im Cluster beschreibt.

Je Analyse wird ein zufällig von Prefect vergebener Name (falls keiner explizit angegeben wurde), sowie Start- und Endzeit der Analyse angezeigt. Zusätzlich wird auch die Modellversion angegeben, mit der die Analyse durchgeführt wurde.

Abbildung 40: Simulationshistorie im EWA-Tool



Bei den jeweiligen Listen-Elementen gibt es mehrere Buttons, mit denen man mit den jeweiligen Analysen interagieren kann. Die Analyse-Ergebnisse kann man über den ersten Button in einem Dialogfenster ansehen. Der zweite Button öffnet die gleichen Ergebnisse in einem weiteren Dialogfenster, wo diese im Detail angesehen werden können (Abbildung 42). Mit dem dritten Button wird ein Dialogfenster (Abbildung 41), welches die einzelnen im Cluster ausgeführten Berechnungsschritte anzeigt, geöffnet. Darin ist ersichtlich, wie weit eine Analyse ist. Wenn eine Analyse erfolgreich abgeschlossen wurde, kann man über den vierten Button diese aktivieren, um dann z.B. die Daten-Overlays für diese Analyse anzusehen. Normalerweise ist immer die letzte gültige Analyse aktiv, aber wenn Nutzer\*innen ältere Ergebnisse wieder ansehen möchten, kann das über diesen Button erledigt werden. Die aktive Analyse ist über einen blauen Rand erkennbar. Letztendlich können einzelne Analysen auch gelöscht werden.

Mehrere Analysen können auch über die Checkboxes am linken Rand ausgewählt werden, um diesen dann über den Analyse-Button oberhalb der Liste zu vergleichen. Dabei wird wie gewöhnlich ein Dialogfenster geöffnet, und die ausgewählten Analysen werden in den Plots mit unterschiedlichen Farben angezeigt (Abbildung 43). Mehrere Analysen können auch gleichzeitig über den Löschen-Button gelöscht werden.



Abbildung 41: Anzeige der einzelnen Analyse-Schritte in Prefect

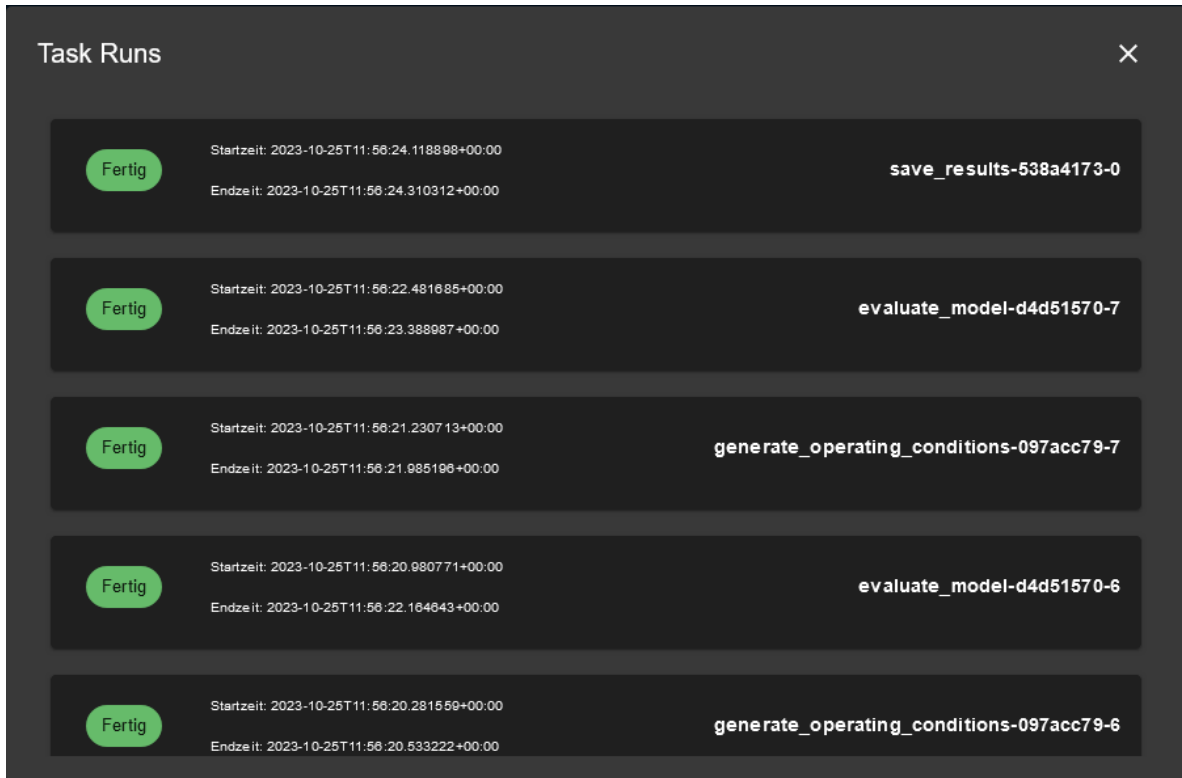


Abbildung 42: Visualisierung der Ergebnisdatei in der Simulationshistorie

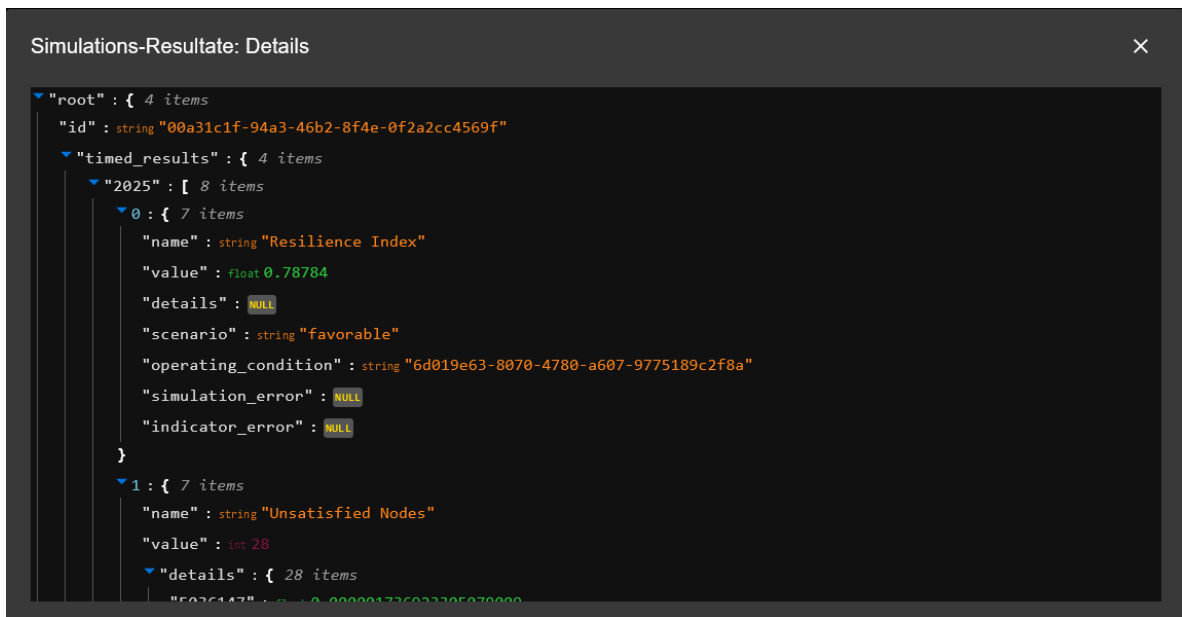
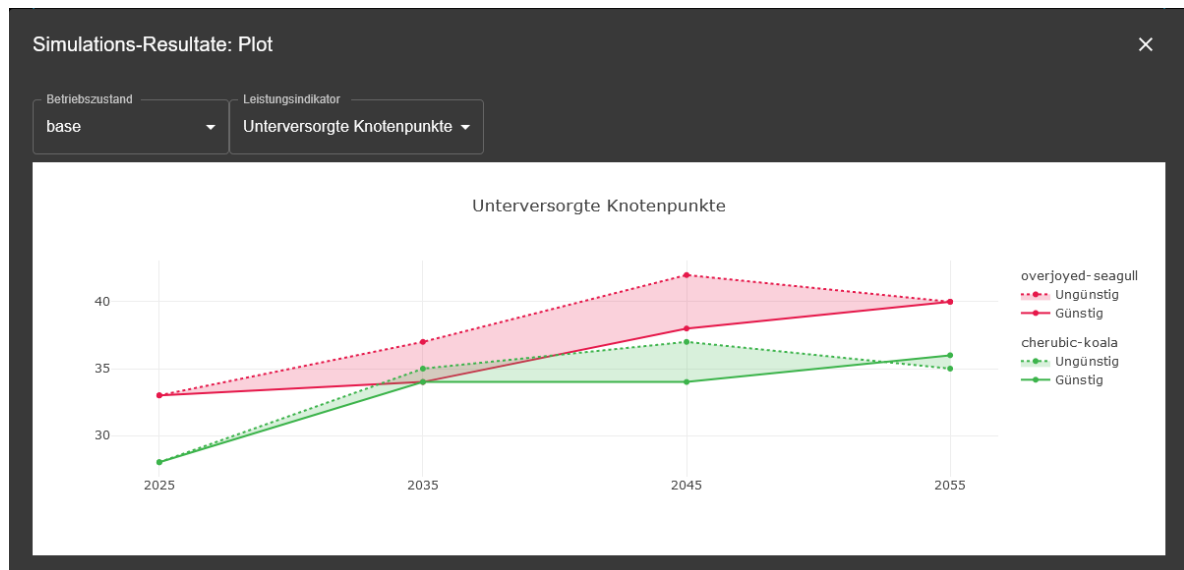


Abbildung 43: Vergleich von zwei Analysen



### 5.3 Gamification

Gamification bezeichnet die Integration von Spieldesign-Elementen in einem nicht-spielerischen Kontext. So werden beispielsweise Punktesysteme oder Bestenlisten genutzt, um die Motivation von Spieler\*innen zu erhöhen (Deterding et al., 2011).

Zugrunde liegt dabei die Intention, die Motivation ein System zu nutzen zu steigern bzw. zu erhalten. Eingesetzt werden dabei verschiedene Interaktionsschleifen, bei denen Nutzer\*innen für Interaktionen Feedback und Belohnungen erhalten. Durch einen Zyklus aus Aktion und Belohnung soll die Motivation zu weiterer Interaktion aufrechterhalten werden. Es werden dabei verschiedene Arten von Schleifen unterschieden.

Motivationsschleifen sollen Nutzer\*innen auf einem Mikrolevel zu einer Zielaktivität motivieren, jede Interaktion führt zu einer weiteren Aktivität, wobei den Nutzer\*innen nach jeder Aktivität Feedback gegeben wird. Durch das regelmäßige Feedback sollen Nutzer\*innen immer weiter motiviert werden. Fortschrittsstufen zeigen hingegen den Fortschritt der Nutzer\*innen auf einer übergeordneten, längerfristigen Ebene an. (Werbach, Hunter und Dixon, 2012)

Für das EWA-Tool wurde ein Herausforderungen-System entwickelt, mit dem Benutzer\*innen die Anwendung des EWA-Tools selbst oder reale Abläufe spielerisch erlernen können.

Herausforderungen („Challenges“) bestehen aus Gruppen von Aufgaben („Tasks Groups“ bzw. „Tasks“), die im Tool abgearbeitet werden müssen.

Es wurde eine Reihe an Aufgaben sowie Herausforderungen in Form von interaktiven Tutorials und eine Herausforderung zum Verbund zweier Netze erstellt. Zusätzlich wurde auch ein eigener Herausforderungs-Editor implementiert.

### **5.3.1 Herausforderungen**

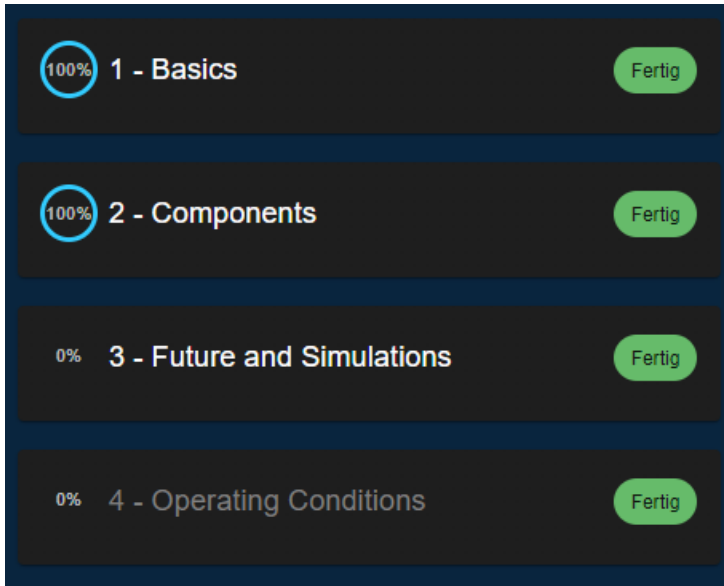
Herausforderungen sind das Kernelemente der Gamification des EWA-Tools. Mit ihnen können verschiedene Aspekte des Tools spielerisch erklärt werden, aber auch das Erzählen von Geschichten ist damit möglich.

Eine Herausforderung ist immer mit einem EWA-Modell verknüpft und kann auf dieses auch Bezug nehmen, indem beispielsweise ein Attribut einer bestimmten Komponente im Modell geändert werden muss. Es ist außerdem möglich, mehrere Herausforderungen samt Modellen aufeinander aufbauen zu lassen. In diesem Fall kann eine Reihenfolge vorgegeben werden, in der die einzelnen Herausforderungen abgearbeitet werden müssen.

Im Hauptmenü werden Modelle mit integrierter Herausforderung etwas anders als reguläre Modelle dargestellt. Neben dem Titel der Herausforderung wird ein Indikator angezeigt, der über den Fortschritt der Herausforderung in Form der erledigten Aufgaben (in Prozent) Aufschluss bietet. Sind für eine Herausforderung noch nicht alle Voraussetzungen erfüllt, wird die Herausforderung in der Modellliste ausgegraut.

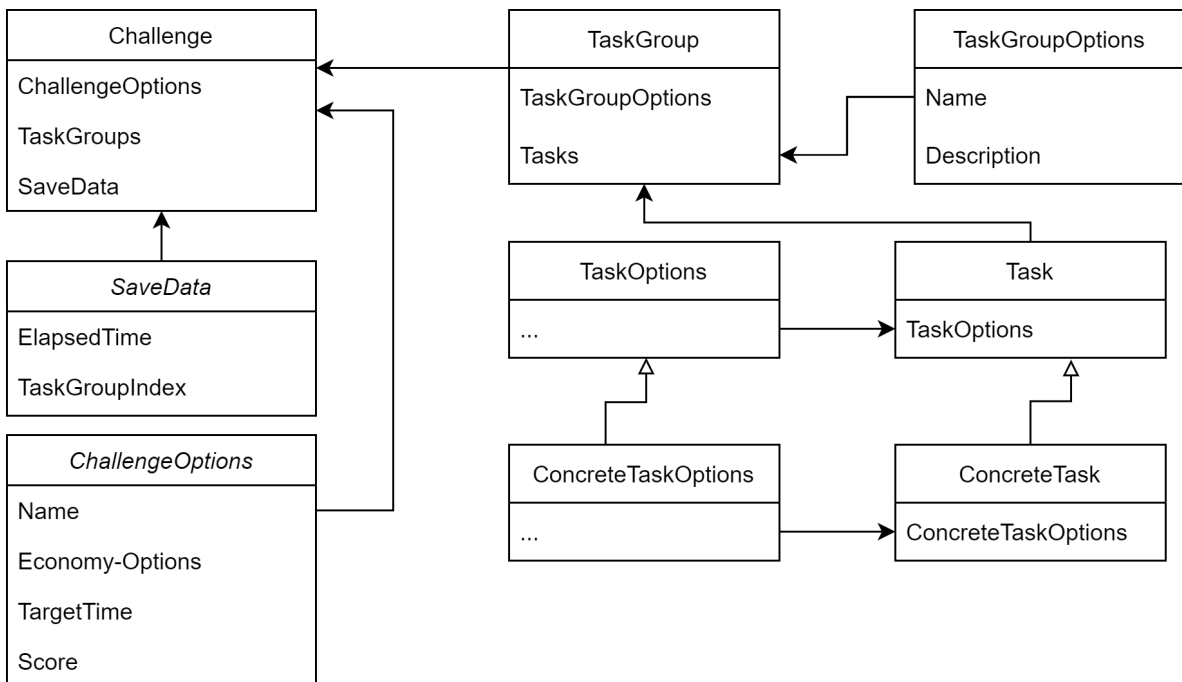
Abbildung 44 zeigt das Menü mit hinterlegten, teilweise abgearbeiteten Herausforderungen.

Abbildung 44: Modelle mit Herausforderungen und Fortschritts-Indikator



Nun soll die konkrete Umsetzung von Herausforderungen und Aufgaben diskutiert werden. Abbildung 45 gibt eine grobe Übersicht über die Hierarchie und Zusammensetzung von Herausforderungen.

Abbildung 45: Struktur Herausforderungen (Challenges), Aufgaben (Tasks) und Aufgabengruppen (Task Groups)



Herausforderungen können vielfältig konfiguriert werden. Eine Herausforderung beinhaltet Optionen („ChallengeOptions“), eine Liste von Aufgaben-Gruppen und optional Speicherdaten („SaveData“).

Mittels der Optionen werden Herausforderung konfiguriert, wobei folgende Einstellungen zur Verfügung stehen:

- Name: Name der Herausforderung
- Economy-Options: Optionen für den optionalen Economy-Modus
- Score: Mögliche Punkte bei Abschluss der Herausforderung
- TargetTime: Zielzeit für den Abschluss der Herausforderung. Basierend darauf werden Zielzeiten für Gold-, Silber-, und Bronzemedailles ermittelt.

Im Economy-Modus kostet das Platzieren von Netzkomponenten Geld, welches vom vorgegebenen EconomyBudget abgezogen wird. Die Preise können je nach Komponenten-Art pro Herausforderung frei definiert werden, es sind aber auch arbiträre Standardpreise hinterlegt. Das verbleibende Budget wird unterhalb der Karte neben der Zeitachse angezeigt (Abbildung 46).

Abbildung 46: Jahres-Schieberegler mit aktivem Budget



Die Preise werden im Bau-Menü jeweils unter den Komponenten angezeigt (Abbildung 47). Der Preis von Leitungen ist dabei je Laufmeter zu verstehen.

Abbildung 47: Knotenmenü mit Baupreisen



Die Speicherdaten beinhaltet wichtige Daten zur Wiederherstellung des Fortschritts einer Herausforderung. Damit kann eine Herausforderung auch weiterbearbeitet werden, wenn das Browser-Fenster geschlossen wird. Dazu werden die folgenden Daten gespeichert:

- ElapsedTime: bisher benötigte Zeit
- TaskGroupIndex: Index der zuletzt aktiven Aufgaben-Gruppe

Beim Start einer Herausforderung wird der Startzeitpunkt gespeichert, um nach Abschluss der Challenge die benötigte Zeit ermitteln zu können. Wird eine Herausforderung unterbrochen und erst später wieder fortgesetzt, wird die bisher benötigte Zeit in den Speicherdaten hinterlegt, um damit den tatsächlichen Zeitaufwand ermitteln zu können.

Über den hinterlegten TaskGroupIndex kann außerdem beim erneuten Aufruf einer bereits begonnenen Herausforderung bei der zuletzt aktiven Task-Gruppe fortgesetzt werden.

Um eine Herausforderung abzuschließen, müssen die Aufgaben in den einzelnen Aufgabengruppen sukzessive erledigt werden. Dabei ist immer nur eine Aufgabengruppe aktiv, nach deren Abschluss die nächste Aufgabengruppe angezeigt wird.

Sobald alle Aufgaben in der letzten Aufgabengruppe absolviert wurden, wird die Herausforderung beendet. In Folge wird ein Dialogfenster geöffnet, in dem ein frei konfigurierbarer Abschlusstext, sowie optional auch Belohnungen zu sehen sind. Diese bestehen aus einem Score und/oder Medaillen.

Eine Gold-Medaille wird bei Einhaltung der definierten Zielzeit (TargetTime) erreicht. Für die Grenzwerte für die Silber- und Bronzemedailles wird die Zielzeit mit den Faktoren 1,2 bzw. 1,4 multipliziert.

Sämtliche Textfelder auf allen Ebenen einer Herausforderung können auch übersetzt werden, um die Mehrsprachigkeit des EWA-Tools zu unterstützen.

### **5.3.2 Aufgaben**

Tasks bzw. Aufgaben sind konkrete Handlungsaufforderungen, die im Tool zu erfüllen sind. Sie bilden die Basis des Herausforderungssystems.

Aufgaben basieren auf dem Zählen von Ereignissen (beispielsweise der Erstellung eines Verbrauchsknotens). Je Aufgabe müssen zwei numerische Werte festgelegt werden:

- RequiredCount: bestimmt, wie oft eine Aufgabe durchgeführt werden muss
- CurrentCount: aktueller Zähler von erfolgreichen Durchführungen einer Aufgabe

Sobald CurrentCount gleich dem RequiredCount ist, gilt die Aufgabe als abgeschlossen. Die verschiedenen Aufgabentypen unterscheiden sich hauptsächlich darin, unter welchen Umständen CurrentCount erhöht wird. Dieser Wert wird beim Speichern ebenfalls exportiert, und kann somit wiederhergestellt werden. Bei manchen Aufgaben kann CurrentCount auch wieder sinken, wodurch eine Aufgabe nicht mehr als abgeschlossen gilt. Ein Beispiel dafür ist eine Aufgabe, wo das vorhandene Budget über 0 bleiben muss. Falls Nutzer\*innen dann mehr Geld ausgeben, als vorhanden ist, kann die Herausforderung nicht abgeschlossen werden.

Die aktuell verfügbaren Tasks können in folgende Gruppe unterteilt werden:

- Allgemeine Aufgaben
  - Aktuelles Jahr ändern
  - Lastfälle erstellen/löschen/ändern
  - Ergebnisse anzeigen/ausblenden
  - Simulation starten
  - Auf Simulation warten
  - Positives Budget beibehalten
  - Model speichern
  - Zwischen Karte/Liste/Simulationsliste wechseln
  - Hintergrundkarte ändern
- Komponenten-Aufgaben
  - Eigenschaftenmenü öffnen
  - Komponente erstellen/löschen/bewegen
  - Komponenten ausblenden/einblenden
  - Komponente bearbeiten:  
Für jeden Komponententyp gibt es jeweils für die verschiedenen Attribute eigene Tasks. Beispiele dafür sind
    - Wasserbedarf eines Knotens ändern
    - Durchmesser einer Leitung ändern
    - Leistung einer Pumpe ändern
- Leistungsindikatoren-Aufgaben

Bei diesen Aufgaben werden die Leistungsindikatoren mit Schwellwerten verglichen. Sie gelten als abgeschlossen, wenn berechnete Werte unter bzw. über dem Schwellwert liegt, können aber auch wieder als ausstehend gelten, falls sich die Ergebnisse bei neuen Analysen entsprechend ändern.

  - Durchschnittliches Netzalter

- Resillience Index
- Relation Einspeisung/Verbrauch
- Unterversorgte Knotenpunkte

Abhängig vom Aufgabentyp können die Aufgaben weiter konfiguriert werden. Bei Aufgaben, die die Änderung eines numerischen Werts eines Attributs beinhalten (beispielsweise der Änderung eines Behälter-Durchmessers), kann entweder ein absoluter oder relativer Zielwert angegeben werden. Außerdem können je nach Aufgabentyp eine konkrete Komponenten-ID (bei Attributänderungen) oder Zieljahre angegeben werden, in denen die Aufgabe durchgeführt werden muss.

Durch die Objekt-orientierte Implementierung können neue Aufgaben mit wenig Aufwand hinzugefügt werden.

### 5.3.3 Aufgabengruppe

Aufgabengruppen bzw. Task Groups sind Sammlungen zusammengehörender Aufgaben, die im Rahmen einer Herausforderung gemeinsam gelöst werden müssen. Außerdem kann für eine Aufgabengruppe ein (wenn nötig mehrseitiger) Beschreibungstext hinterlegt werden, der als Pop-Up in der Kartenansicht geöffnet werden kann (Abbildung 48).

Für die Erstellung der Beschreibungstexte wird Markdown verwendet, sodass die Beschreibungen leicht mit Bildern, Hyperlinks oder Tabellen angereichert werden können, um je nach Erfordernis verschiedenste Formen des Story-Tellings zu ermöglichen.

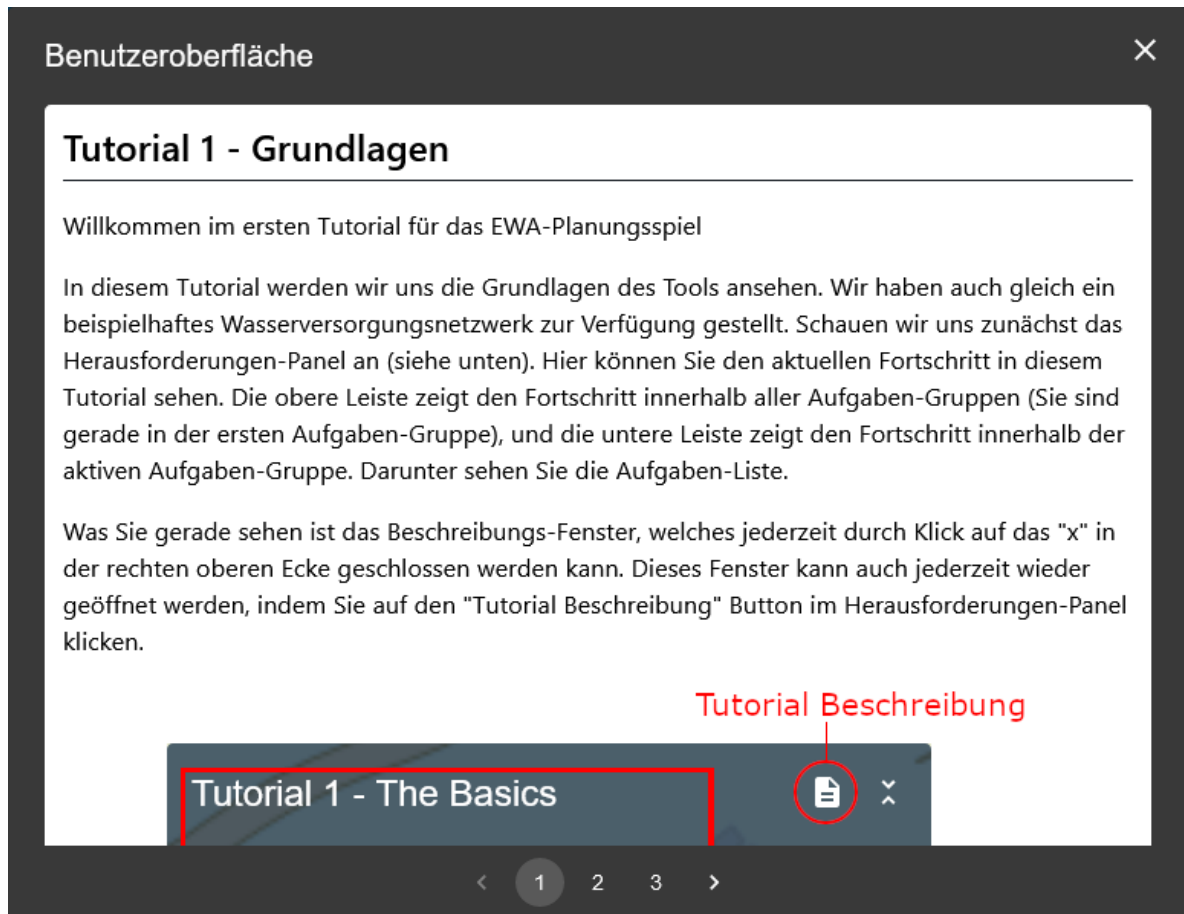
Über die folgenden Einstellungen können Aufgaben-Gruppen konfiguriert werden:

- Name
- Eine Einstellung, die beschreibt, ob das Beschreibungsfenster beim Aktivieren der Aufgabengruppe geöffnet werden soll

Jede Aufgabengruppe hat neben den Einstellungen eine Liste von zu erledigenden Aufgaben. Sind alle Aufgaben einer Aufgabengruppe erledigt, gilt die Aufgabengruppe als erledigt.



Abbildung 48: Beispiel-Beschreibung einer Aufgabengruppe

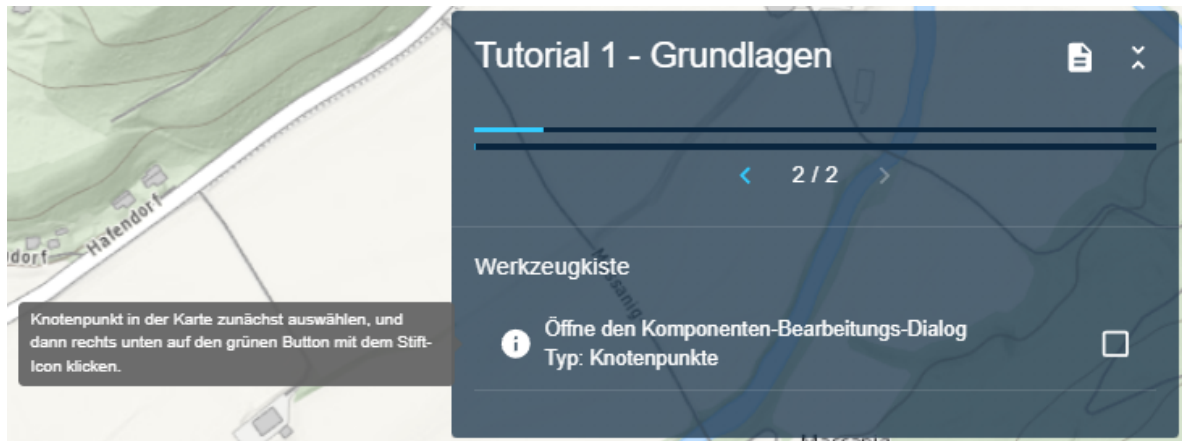


### 5.3.4 Visualisierung der Herausforderungen in der Oberfläche

Beim Laden eines Modells, für das Herausforderungen definiert wurden, öffnet sich je nach Einstellungen der ersten Aufgabengruppe das Beschreibungsfenster derselben.

In der Kartenansicht selbst werden die Herausforderungen und Aufgaben in einem Panel rechts oben eingeblendet (Abbildung 49).

Abbildung 49: Herausforderungs-Panel in der Kartenansicht

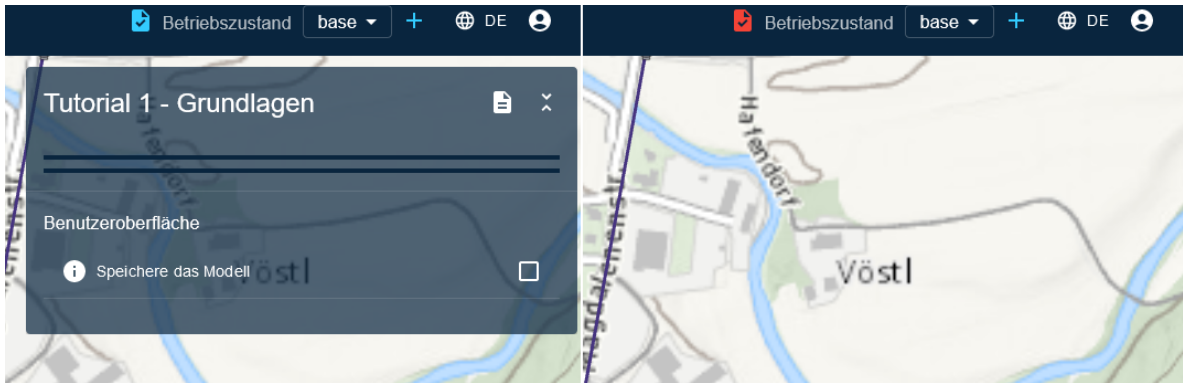


Bei der in Abbildung 49 dargestellten Herausforderung wurde bereits die erste TaskGroup absolviert, es wird Gruppe 2/2 angezeigt. Es ist jedoch jederzeit möglich über die Pfeile neben „2/2“ die vorhergehende TaskGroup wieder anzusehen. Das Notiz-Icon rechts oben weist darauf hin, dass für diese TaskGroup Beschreibungen hinterlegt sind. Durch Klick auf das Icon werden die Beschreibungen in einem Dialogfenster angezeigt.

Der im Panel angezeigte Text je Aufgabe besteht aus einem Namen in der oberen Zeile (optional) und der Beschreibung darunter. Diese Beschreibung wird je nach Aufgabentyp automatisch generiert. Zusätzlich kann es noch je nach Aufgabentyp weitere Informationen geben, wie zum Beispiel in welchem Jahr ein Task erfüllt werden soll. Optional kann auch Text für einen Tooltip für eine Aufgabe hinterlegt werden, um die Aufgabe detaillierter beschreiben zu können. Durch Mouseover wird der Tooltip automatisch angezeigt.

Das Herausforderungspanel kann über einen Button ausgeblendet werden, der sich links neben der Betriebszustand-Verwaltung in der Kopfleiste befindet. Dieser Button ist nur sichtbar, wenn eine Herausforderung im Modell hinterlegt wurde (Abbildung 50).

Abbildung 50: Ein- und Ausblenden des Herausforderungspanels



Nach vollständiger Erledigung aller Taskgruppen wird schlussendlich ein Fenster angezeigt, das den frei konfigurierbaren Abschlusstext, die benötigte Zeit, die erreichten Medaillen sowie den erzielten Score beinhaltet (Abbildung 51).

Abbildung 51: Abschlussfenster einer Herausforderung



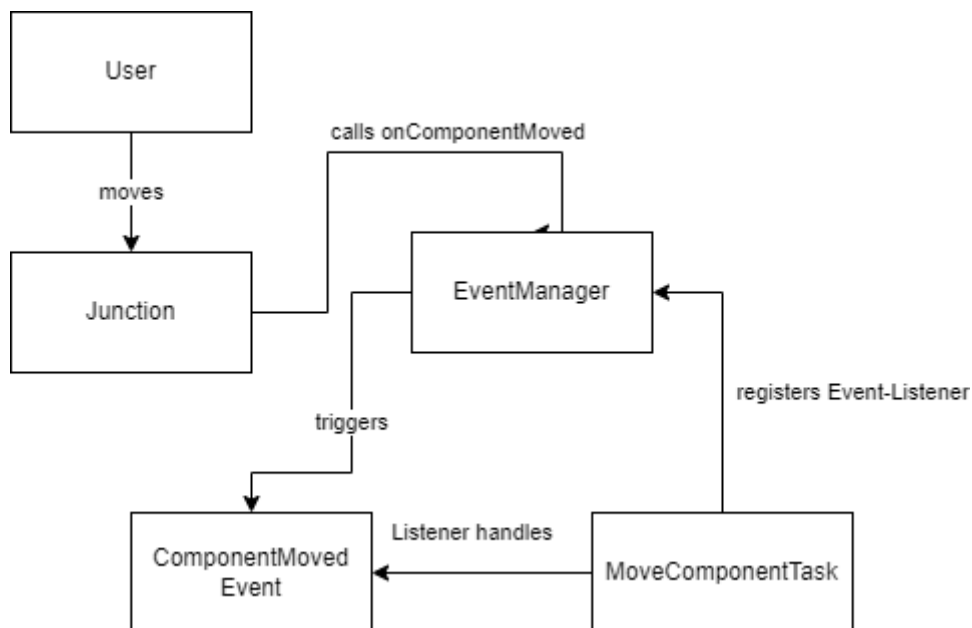
### 5.3.5 Technische Umsetzung von Herausforderungen

Herausforderungen sollten möglichst flexibel in das Tool integriert werden, sodass sie möglichst universell eingesetzt werden können. Dazu war es notwendig, eine Kommunikation zwischen dem Herausforderungssystem und dem Tool zu implementieren. Dabei ist es notwendig, dass die Abläufe im Tool nicht vom Herausforderungssystem beeinträchtigt werden. Sogenannte Ereignisse („Events“) sind dazu ideal: Ein Ereignis kann an einer beliebigen Stelle ausgelöst werden, ohne den weiteren Ablauf des ursprünglichen Vorgangs massiv zu beeinträchtigen. Die Reaktion auf Ereignisse erfolgt asynchron über optional zugeteilte „Listener“. Browser verfügen über ein flexibles Ereignis-System, das leicht erweitert werden kann.

Beim EWA-Tool gibt es dazu einen dedizierten EventManager, wo über vordefinierte Funktionen die für die Herausforderungen notwendigen Ereignisse ausgelöst werden können. Die Ereignisse stehen dabei überall im Tool zur Verfügung. In Zukunft können hier auch weitere Ereignisse für mögliche Erweiterungen des EWA-Tools definiert werden.

Abbildung 52 zeigt den Ablauf für ein ComponentMoved-Ereignis mit einem aktiven MoveComponentTask.

Abbildung 52: Ablauf eines ComponentMoved-Ereignisses

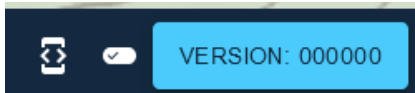


Wird ein Knoten („Junction“) bewegt, wird ein ComponentMoved-Ereignis über den Event-Manager abgeschickt. Ein aktiver MoveComponentTask hat zuvor beim EventManager einen Listener registriert, der auf das ComponentMoved-Ereignis hört. Sobald ein solches Ereignis ausgelöst wird, behandelt der Task dieses und überprüft, ob beim Task ein Fortschritt vorliegt oder nicht.

### 5.3.6 Debug-Modus

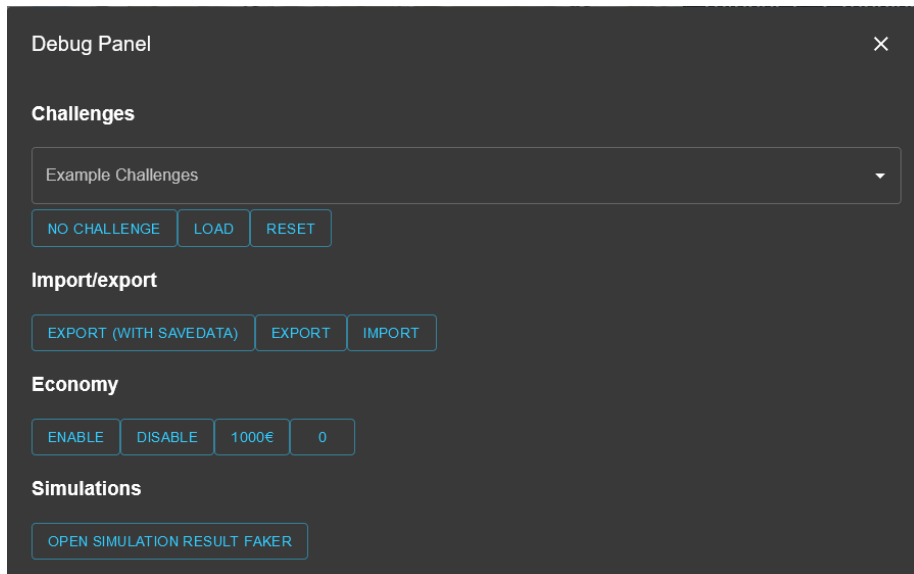
In der Kartenansicht steht ein eigener Modus zur Verfügung, der in erster Linie zum Testen der Herausforderungen im EWA-Tool verwendet werden kann (Debug-Modus). Der Debug-Modus wird aktiviert, indem in der Kartenansicht “?debug=true“ an die momentane URL angehängt wird.

Abbildung 53: Zusätzlicher Button im Debug-Modus



Wird der Debug-Modus aktiviert, dann gibt es rechts unten neben der Versionsnummer einen neuen Button. Dieser ist als erster Button in Abbildung 53 zu sehen. Durch Klick auf diesen Button öffnet sich ein neues Dialogfenster (Abbildung 54).

Abbildung 54: Debug-Panel



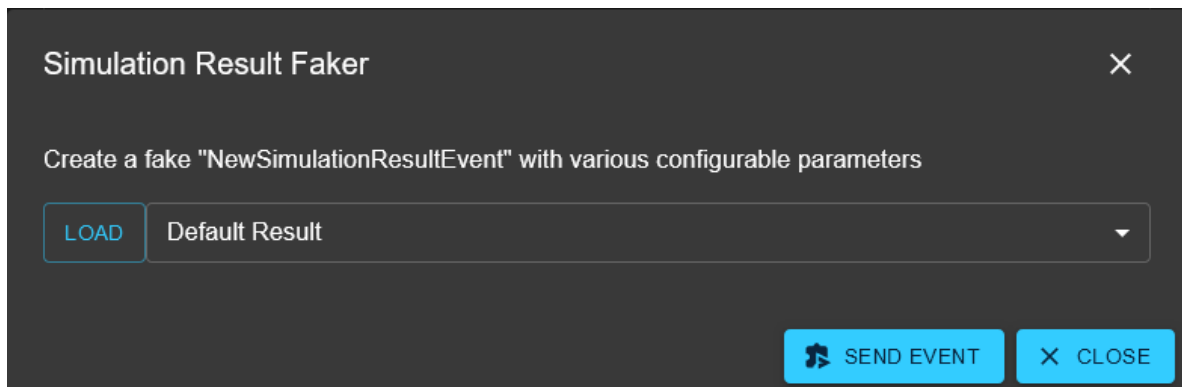
Im Debug-Panel können vordefinierte Herausforderungen über ein Dropdown-Menü ausgewählt und über „Load“ geladen sowie über „No Challenge“ wieder entfernt werden. Über „Reset“ kann die Herausforderung wieder in den Ursprungszustand zurückgesetzt werden, sodass etwaige Fortschritte bei der Herausforderung wieder gelöscht werden.

Im Import- und Exportbereich können Herausforderungen als JSON-Datei importiert und exportiert werden. Dadurch können vorher erstellte Herausforderungen einfach importiert und im Tool getestet werden.

Wird nach dem Laden einer Herausforderung das gesamte EWA-Modell gespeichert, wird auch die Herausforderung als Teil des Modells mitgespeichert. Wird das Modell dann über das Hauptmenü des EWA-Tools danach wieder aufgerufen, wird auch die entsprechende Herausforderung geladen und angezeigt.

Zusätzlich gibt es im Debug-Panel auch noch ein Tool zur Vortäuschung neuer Simulationsergebnisse: „Simulation Result Faker“ (Abbildung 55). Damit ist es möglich, beliebige Simulationsergebnisse zu erstellen, um damit Leistungsindikatoren-Aufgaben besser testen zu können.

Abbildung 55: Simulation Result Faker



### 5.3.7 Bisher erstellte Herausforderungen

Bisher wurden einerseits verschiedene Herausforderungen zum Testen der Funktionalität erstellt, sowie vier Tutorials, anhand derer der aktuelle Funktionsumfang des EWA-Tools erklärt wird.

Die Tutorials bauen inhaltlich aufeinander auf:

- Tutorial 1: Grundlagen  
In diesem Tutorial werden die Grundzüge der Bedienoberfläche erklärt.
- Tutorial 2: Komponenten  
Die verschiedenen Komponententypen werden vorgestellt.
- Tutorial 3: Zeitreisen und Analysen  
Hier werden die zeitlichen Aspekte des EWA-Tools erläutert sowie erste Analysen betrachtet.
- Tutorial 4: Lastfälle  
Schlussendlich wird im letzten Tutorial die Handhabung von Lastfällen erläutert.

In den Tutorials wird über die Beschreibungstexte der Aufgabengruppen detailliert der Inhalt des Tutorials erklärt und mit Bildern versehen (Abbildung 56). Die erklärten Inhalte sollen dann über Aufgaben gelernt und geübt werden. Auch die Tooltips der Aufgaben werden genutzt, um die Spieler\*innen bei der Bearbeitung der Aufgaben weiter zu unterstützen (Abbildung 57).

Abbildung 56: Ausschnitt aus Tutorial 1

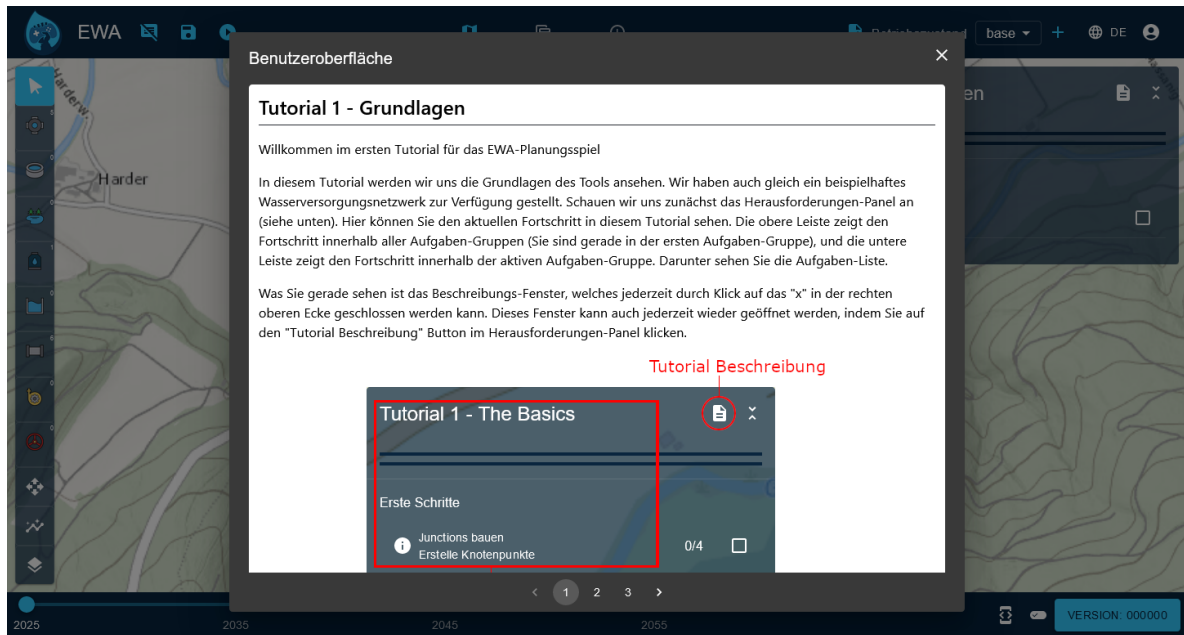
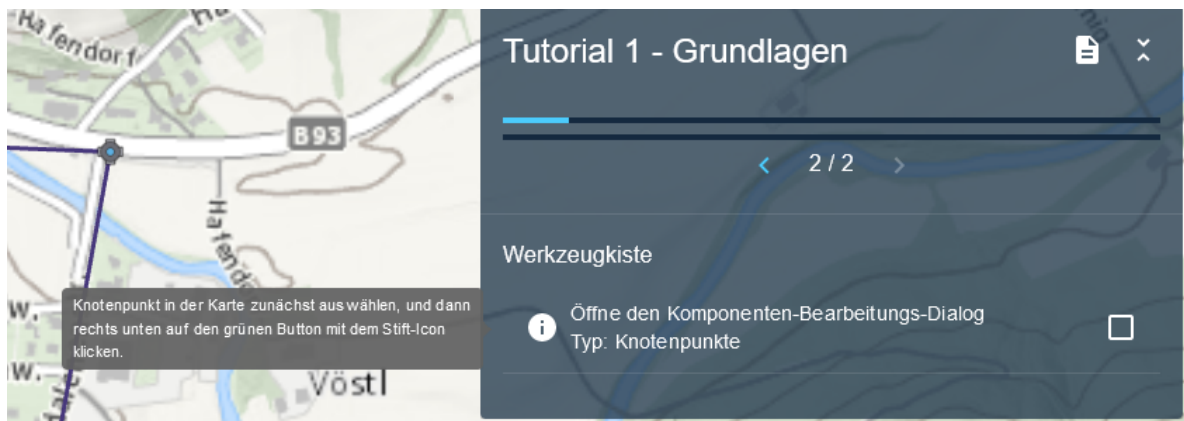


Abbildung 57: Aufgaben aus Tutorial 1 mit eingeblendetem Tooltip



Verwendet wird dabei ein aus lediglich fünf Knoten bestehendes Modell, das in den Tutorials 3 und 4 im Jahr 2055 um einen Knoten im Nord-Westen erweitert wird (Abbildung 58). Durch die Erweiterung wird in Tutorial 3 eine Situation erreicht, die zur Unterversorgung eines Knotens führt (Abbildung 59). Diese Situation muss dann spielerisch gelöst werden, sodass alle Knoten ausreichend mit Wasser versorgt werden können.



Abbildung 58: Tutorial-Modell in Tutorial 3

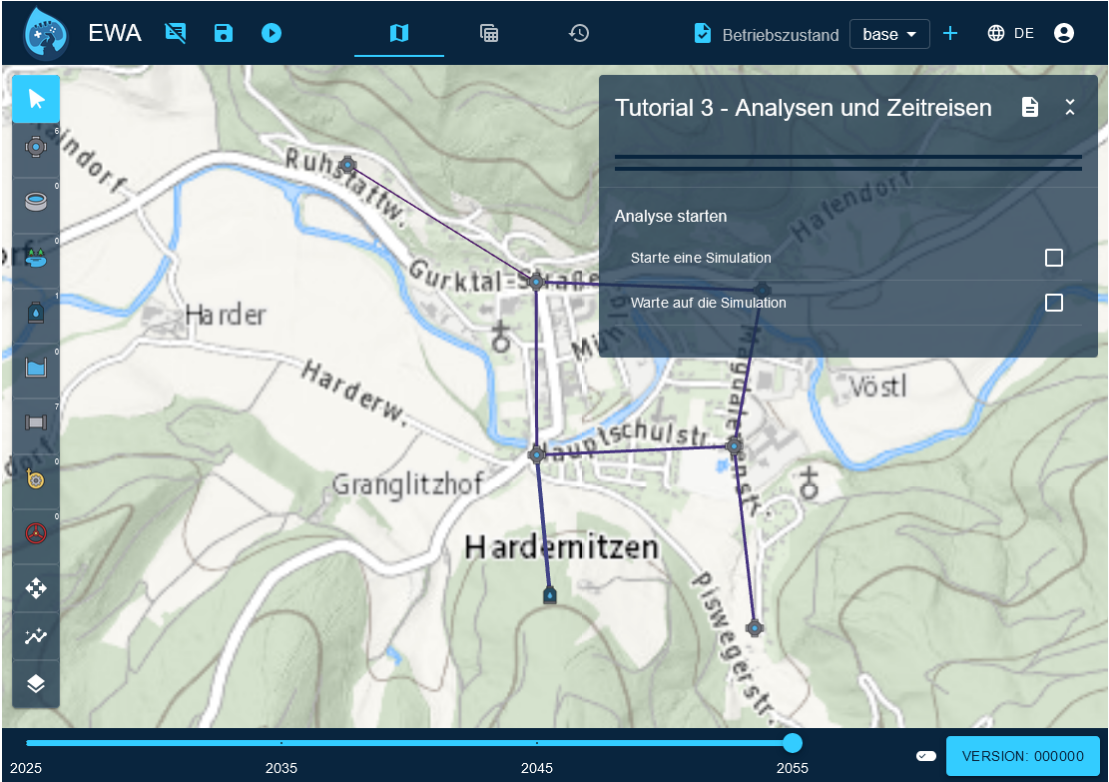
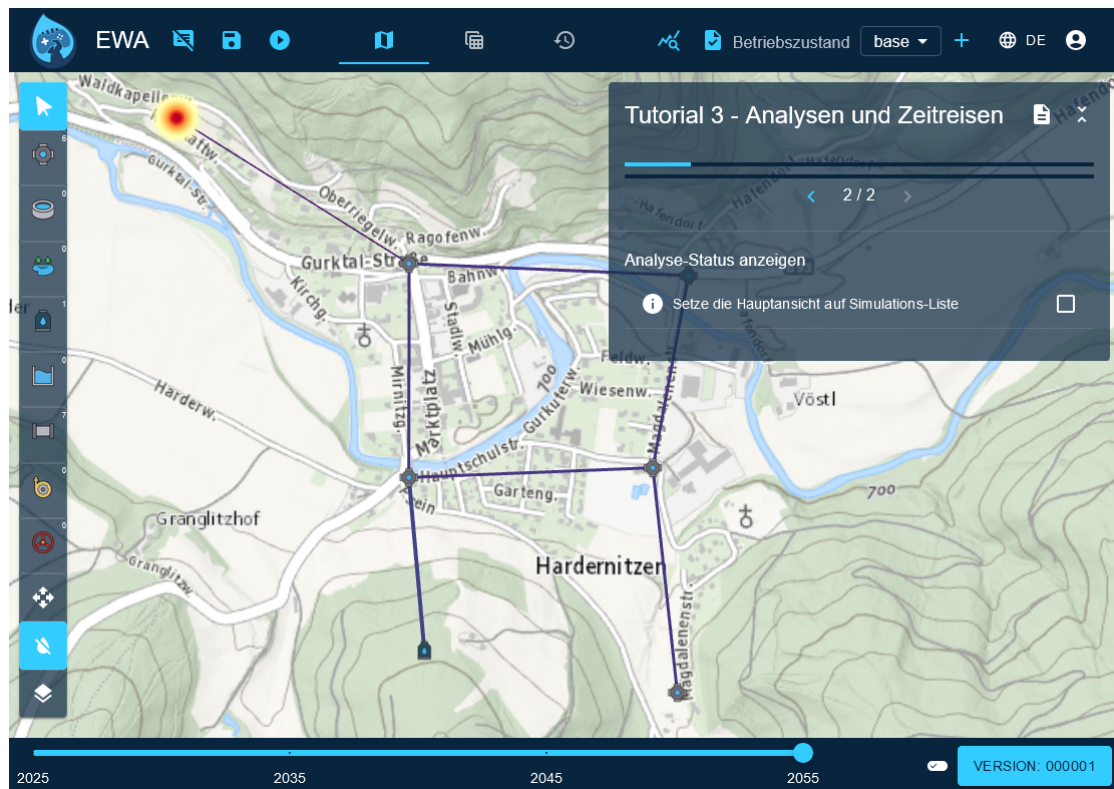


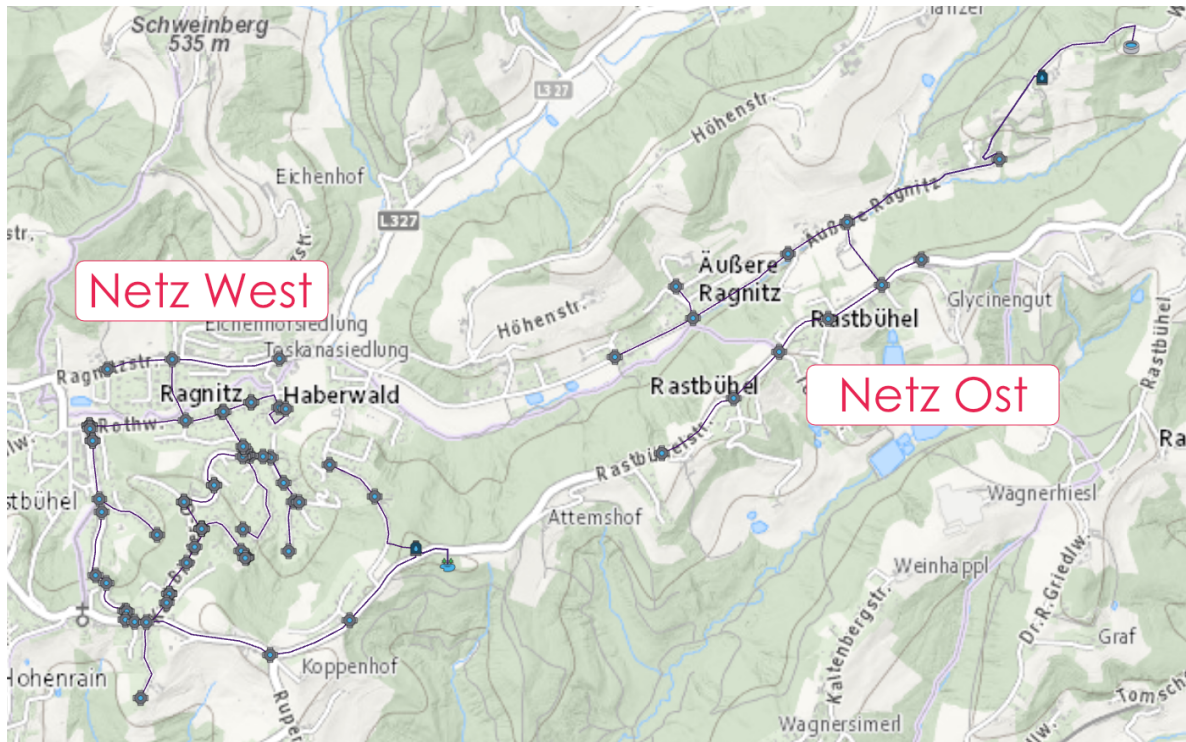
Abbildung 59: Tutorial-Modell in Tutorial 3 mit eingeblendeten unterversorgten Knoten



Zusätzlich zu den Tutorials wurde eine komplexere Herausforderung namens „Future Problems“ erstellt. In dieser werden zwei Trinkwassernetze (Abbildung 60) betrachtet, bei denen es aufgrund fehlender Redundanzen zu Versorgungsproblemen bei gewissen Störfällen kommt. Außerdem führt ein Brandfall in einem der Netze zu einer Überlastung des Systems. Weiters verschiebt sich das Verhältnis von Einspeisung zu Wasserbedarf aufgrund der prognostizierten Entwicklung von Wasserbedarf und -dargebot in eine ungünstige Richtung. Schlussendlich soll eines der Netze in der Zukunft erweitert werden, das aktuelle Druckniveau reicht jedoch nicht zur Versorgung des neuen Gebietes aus.

Eine mögliche Lösung dieser Problemstellung ist dabei der Zusammenschluss der beiden Netze zu einem Ringnetz, sowie die Erschließung einer zusätzlichen Einspeisung in der Nähe des Brandortes. In Kombination mit Pumpstationen im System lassen sich somit alle unterversorgten Knoten in allen Betriebsfällen lösen.

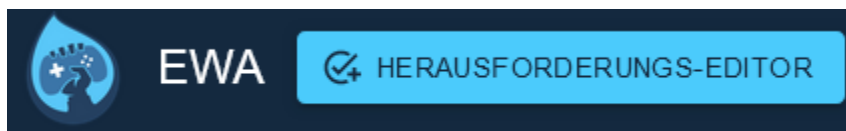
Abbildung 60: Herausforderung „Future Problems“ mit beiden Netzen



### 5.3.8 Herausforderungs-Editor

Um die Erstellung von Herausforderungen zu vereinfachen, wurde ein eigener Editor entwickelt. Mit diesem ist es möglich, neue Herausforderungen auf Basis von hinterlegten Aufgaben zu erstellen, sowie Beschreibungstexte und Einstellungen anzugeben. Der Editor ist Teil des Frontends und wird ebenfalls über einen Browser bedient. Dieser Editor ist über einen Button links oben im Hauptmenü erreichbar (Abbildung 61).

Abbildung 61: Button für Herausforderungen-Editor



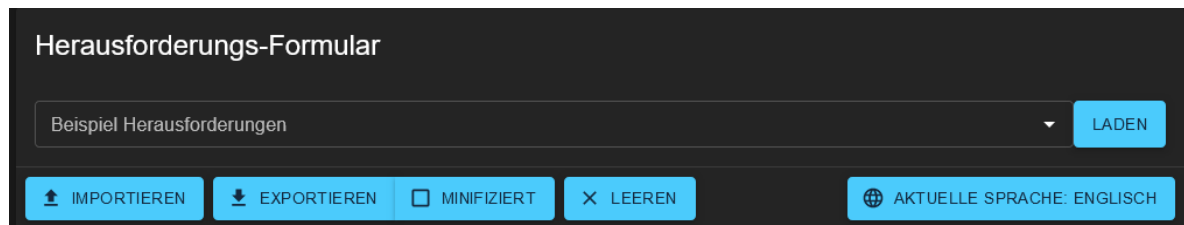
Im Editor können Herausforderungen auf Basis der in Kapitel 5.3.2 beschriebenen vordefinierten Aufgaben zusammengestellt werden. Aufgaben und Aufgabengruppen sowie allgemeine Einstellungen der Herausforderung können dabei frei konfiguriert werden. Zusätzlich

gibt es bei den Eingabefeldern auch Hinweise, die den Zweck der verschiedenen Einstellungen näher erklären.

### 5.3.8.1 Editor Einstellungen

Im obersten Teil des Editors (Abbildung 62) können Herausforderungen exportiert und importiert werden. Herausforderungen können dabei über Dialogfenster direkt als Text kopiert, aber auch als JSON-Datei hochgeladen oder heruntergeladen werden. Hier wird JSON als Dateiformat verwendet, damit die Herausforderung in ein ebenfalls als JSON gespeichertes EWA-Modell integriert werden kann.

Abbildung 62: Einstellungen im Herausforderungen-Editor



Da das EWA-Tool mehrsprachig ist und Herausforderungen ebenso Übersetzungen unterstützen, können Nutzer\*innen hier auch die aktuelle Sprache der Texte einstellen. Diese Einstellung ist unabhängig von der Anzeigesprache des EWA-Tools.

### 5.3.8.2 Allgemein Herausforderungs-Einstellungen

Im nächsten Teil des Editors können allgemeine Einstellungen der Herausforderung festgelegt werden. Abbildung 63 zeigt den Teil für die allgemeinen Einstellungen einer Herausforderung im Editor.

Abbildung 63: Teil des Herausforderungs-Editors mit allgemeinen Herausforderungs-Einstellungen

**Herausforderungs-Einstellungen**

Name

Optionaler Name für diese Herausforderung

Text bei Beendigung

Frei wählbarer Text, der bei Beendigung der Herausforderung angezeigt wird.

Score

Beliebige Punkte-Anzahl, die beim Abschluss dieser Herausforderung angezeigt wird.

Zielzeit (in Sekunden)

Eine ideale zu erreichende Zeit. Falls angegeben, dann werden Zielzeiten für Gold, Silber, und Bronze errechnet. Erreichte Zeiten werden dann beim Abschluss der Herausforderung angezeigt.

Wirtschaftsmodus aktiviert

Aktiviert den Wirtschaftsmodus, wodurch die Erstellung von Komponenten Geld kostet.

Hier kann einer Herausforderung auch eine ID vergeben werden. Standardmäßig bekommt jede Herausforderung eine zufällige ID, es kann aber auch explizit eine vergeben werden. Diese ID kann dann verwendet werden, um den Abschluss einer Herausforderung für eine andere vorauszusetzen.

In diesem Teil des Editors kann auch der Name der Herausforderung geändert, sowie eine Zielzeit (in Sekunden) und ein Gesamtscore für die Herausforderung festgelegt werden. Schlussendlich kann auch der Economy-Modus samt Komponentenpreisen hier konfiguriert werden. Für die Komponentenpreise sind Standard-Werte hinterlegt, die nach Belieben verändert werden können.

### 5.3.8.3 Aufgabengruppen Einstellungen

Im nächsten Teil des Editors werden die Aufgabengruppen definiert (Abbildung 64). Es können beliebig viele Aufgabengruppen über den „+“-Button rechts oben zur Herausforderung hinzugefügt werden.

Abbildung 64: Aufgabengruppen im Herausforderungs-Editor

Aufgaben-Gruppen

1

Name

Optionaler Name der Aufgaben-Gruppe

Beschreibungs-Fenster automatisch öffnen

Wenn aktiviert, dann wird das Beschreibungs-Fenster immer automatisch geöffnet, sobald die Aufgaben-Gruppe angezeigt wird.

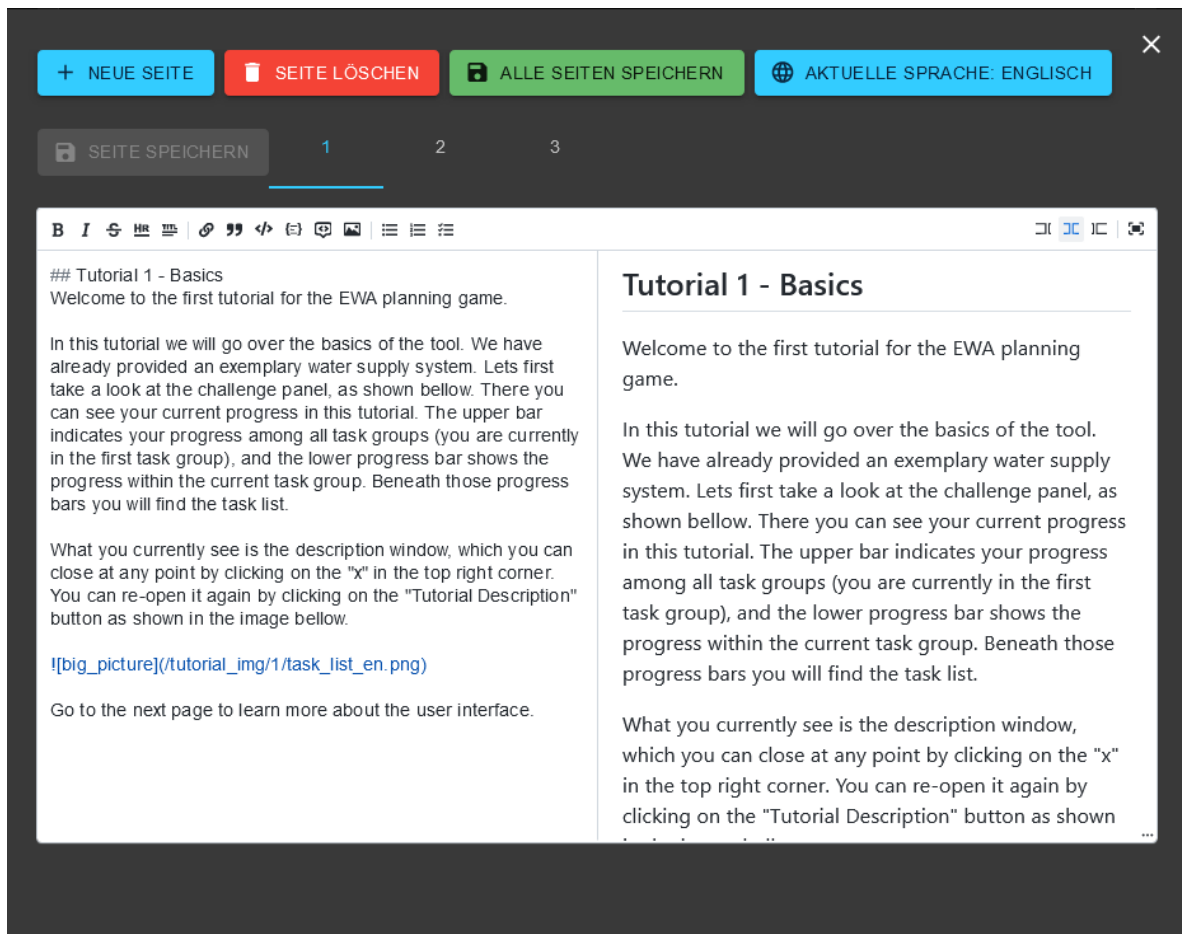
BESCHREIBUNG

Aufgaben

Jeder Aufgabengruppe kann ein Name gegeben werden, sowie eine Beschreibung hinzugefügt werden. Weiters kann eingestellt werden, ob die Beschreibung automatisch angezeigt werden soll, sobald die Herausforderung aktiv ist. Die Bearbeitung der Beschreibung kann über den „Beschreibung“-Button geöffnet werden.

Mithilfe dieses Buttons wird ein Markdown-Editor geöffnet, in dem mehrseitige Beschreibungstexte erstellt werden können. Dieser Editor startet geteilt mit der linken Seite für die Eingabe von Markdown und mit einer Vorschau auf der rechten Seite. Alternativ kann man die Vorschau auch deaktivieren, oder den Editor ausblenden. Der Editor bietet auch einige nützliche Werkzeuge zur Formatierung des Texts oder zum Einfügen von Bildern. Mittels Klicks auf „Alle Seiten Speichern“ wird der Beschreibungstext gespeichert und der Beschreibungs-Editor geschlossen.

Abbildung 65: Editor-Modus im Beschreibungstext-Editor mit eingeblendeter Vorschau



#### 5.3.8.4 Aufgaben-Einstellungen

Zum Schluss werden Tasks zu den Aufgabengruppen hinzugefügt und bearbeitet (Abbildung 66). Dazu muss zuerst ein Aufgabentyp aus einer Dropdown-List gewählt werden. Danach kann der Name der Aufgabe angepasst, sowie ein Tooltip eingestellt werden. Schließlich kann angegeben werden, wie oft die Aufgabe ausgeführt werden soll und (optional) welches Jahr bei Erledigung der Aufgabe ausgewählt werden soll. Weitere zur Verfügung stehende Einstellungen hängen vom ausgewählten Aufgabentyp ab. Beispielsweise wird in der Abbildung 66 eine Aufgabe definiert, bei der eine neue Komponente hinzugefügt werden muss. In diesem Fall kann der Typ der Komponente eingestellt werden.

Abbildung 66: Aufgaben-Einstellungen im Herausforderungs-Editor

## Aufgaben +

1 2

📁 🗑️

**Aufgaben-Typ**  
Komponente erstellen ▾  
Eine neue Komponente erstellen

**Name**  
Optionaler Name der Aufgabe

**Benötigte Anzahl**  
1 ↕  
Definiert wie oft diese Aufgabe durchgeführt werden muss, damit sie als erfüllt gilt (hat keinen Effekt bei gewissen Aufgaben).

**Tooltip**  
Aktiviert einen Tooltip für diese Aufgabe

**Jahr**  
Definiert in welchem Jahr die Aufgabe erfüllt werden soll.

**Komponenten-Typ**  
Limitiert für welche Komponenten diese Aufgabe gilt. Kann leer bleiben, um die Aufgabe für alle Typen gültig zu machen (bzw. bei manchen Aufgaben wird dann ein Standardwert genommen).



# 6 Anwendungsmöglichkeiten und Nutzen EWA Tool

Die Anwendungsmöglichkeiten des EWA-Tools reichen von Planungsaufgaben in der öffentlichen Verwaltung über Schulungen von Mitarbeitern in Wasserversorgungsunternehmen bis hin zu einer Vorevaluierung langfristiger strategischer Planungen in Ingenieurbüros. Aufgrund der Gamification bietet sich neben der Nutzung des EWA-Tools zu Planungszwecken auch eine Verwendung für Schulungen oder zu Bewusstseinsbildungen an. Je nach Zielgruppe können Aufgaben über hydraulische Modellierung allgemein, oder konkrete Problemstellungen aus realen Trinkwasserversorgungssystemen behandelt werden.

## 6.1 Anwendungsmöglichkeiten und Nutzen EWA – Tool in der österreichischen Siedlungswasserwirtschaft

Da die Auswirkungen des Klimawandels und der demografischen Entwicklungen durch die Einbindung der Wasserschatz-Studie für ganz Österreich im Tool abgebildet sind, können die genannten Anwendungen in ganz Österreich durchgeführt werden. Die Unsicherheit in der zukünftigen Entwicklung des Wasserbedarfes sowie der Ressourcensituation in Österreich ist über die zwei in der Wasserschatz-Studie definierten Szenarien „günstig“ und „ungünstig“ abgebildet. Die Ergebnisse der EWA-Simulationen werden somit in einer Bandbreite angegeben, wodurch die Robustheit der durchgeführten Planungen abgeleitet werden kann. Eine robuste Planungsalternative gegenüber einer unsicheren zukünftigen Entwicklung ist jene, die für beide Szenarien die gewünschten Anforderungen erfüllt. Die Anforderungen an die Wasserversorgung werden im Tool über mehrere Leistungsindikatoren abgebildet (Kapitel 4.3.5). Es kann beispielsweise eine Bewertung der Bedarfsdeckung über den Indikator Verhältnis Einspeisemenge zu Wasserbedarf durchgeführt werden. In den EWA Simulationsmodellen wird dazu sowohl ein allfälliger Ressourcenrückgang bei den Einspeisepunkten als auch die allfällige Zunahme des Wasserbedarfes an den Verbrauchsknoten berücksichtigt. Ob die hydraulische Kapazität im Spitzenbedarfsfall oder in Störfällen noch ausreicht, um alle Kundinnen zufriedenstellend mit Trinkwasser zu versorgen, kann über den Indikator „unterversorgte Knoten“ oder „Resilienz-Index“ geprüft werden. Ein

weiterer Indikator „durchschnittliches Netzalter“ lässt erahnen, ob die Trinkwasserleitungen adäquaten Erneuerungsmaßnahmen unterzogen werden.

Anwendungsbeispiele in der öffentlichen Verwaltung könnten beispielsweise die Untersuchungen zu möglichen Zusammenschlüssen von Gemeindenetzen sein. Das Tool ermöglicht es nach dem Import vorhandener hydraulischer Modelle einzelner Gemeinden geeignete Verbindungsleitungen zu setzen, den nötigen Durchmesser zu wählen und in 10 Jahreschritten bis ins Jahr 2050 das zusammengeschlossene System anhand der oben genannten Indikatoren zu überprüfen. Diese Überprüfung wird durch die im EWA-Tool integrierte, voll funktionsfähige hydraulische Simulation ermöglicht (siehe Kapitel 4.3). Genauso können die importierten Systeme getrennt voneinander auf ihre Resilienz gegenüber zukünftigen Entwicklungen geprüft werden. Insbesondere die Störfallsimulation ermöglicht es hier zu zeigen, ob und inwiefern sich die Störfallsicherheit durch den Zusammenschluss der Systeme im Vergleich zur getrennten Versorgung der Gemeinden verbessern lässt. Auch eine Vorprüfung von überregionalen Netzen und großräumigen Zusammenschlüssen von Wasserversorgungssystemen (Verbundnetzen) wird durch das EWA-Tool ermöglicht. Ein Schritt für Schritt Ausbau solcher Verbundnetze kann durch die implementierte Möglichkeit der zeitlich gestaffelten Planung simuliert werden. Wird beispielsweise erkennbar, dass ab einem bestimmten Jahr manche Störfälle, oder Extremsituationen der Ressourcenverfügbarkeit zu Versorgungsengpässen führen, kann durch einen geeigneten Ausbau des Systems im vorangegangenen Zeitschritt simuliert werden ob diese Engpässe vermieden werden können.

Die oben genannten Beispiele zu Anwendungen für die öffentliche Verwaltung können in gleicherweise auch für Betreiber von Wasserversorgungsverbänden von Interesse sein. Auch kleinere Wasserversorgungsunternehmen, die sich zusammenschließen wollen, können das EWA-Tool für Erstanalysen als Basis für weitergehende Detailuntersuchungen nutzen. Insbesondere kann betreffend Ressourcenverfügbarkeit getestet werden, wo und in welcher Größenordnung ein Aufstocken von Ressourcen erforderlich ist und ob Zusammenschlüsse Abhilfe, bei zukünftigen Engpässen, schaffen können. Grundsätzlich sind Simulationen im eigenen Versorgungsgebiet für Wasserversorgungsunternehmen jeglicher Größe möglich, sofern ein hydraulisches Modell zur Simulation des aktuellen Spitzenwasserbedarfes vorliegt.

Eine weitere Anwendungsmöglichkeit des EWA-Tools ist im Schulungs- und Bewusstseinsbildungsbereich bei Interessensverbänden, in Wasserversorgungsunternehmen und Gemeinden und wird im Kapitel 6.2 beschrieben. Der Einsatz in der universitären Lehre um

Studierenden mögliche künftige Probleme in der Wasserversorgung näher zu bringen, ist eine weitere Anwendungsmöglichkeit des EWA-Tools.

Das EWA-Tool ist über die EWA Landing Page <https://sww-ewa.tugraz.at> verfügbar. Es kann genutzt werden, sobald ein TU Graz Account angelegt wurde. Ein Link mit einer Anleitung dazu ist auf der EWA Landing Page verfügbar. Die nötige 2-Faktor Authentifizierung, um das Tool verwenden zu können, ist aus Gründen des Datenschutzes und der Cyber-Sicherheit erforderlich.

## 6.2 Nutzen EWA-Tool durch Gamification

Das leicht anpassbare Herausforderungssystem, welches in das EWA-Tool integriert wurde, kann auf verschiedene Arten genutzt werden. Einerseits können damit Tutorials erstellt werden, die neue Nutzer\*innen an die Tool-Nutzung heranzuführen. Sollten neue Inhalt zum Tool hinzugefügt werden, können auch diese in Tutorials abgebildet werden.

Gleichzeitig bietet das System verschiedene Möglichkeiten im Schulungsbereich. Es können allgemeine Herausforderungen erstellt werden, die in der Hochschullehre zum Thema Trinkwasserversorgung, insbesondere im Kontext der Zielsystemplanung unter Berücksichtigung von Wandelfaktoren zum Einsatz kommen. Da das System auf EPANET basiert, sind auch generelle Herausforderungen im Bereich der hydraulischen Modellierung denkbar, wie beispielsweise die Festlegung der Höhe von Trinkwasserbehältern zur Einhaltung der Anforderungen der EN 805 oder ÖNORM B 2538. Da auch Medien in die Beschreibungen der Herausforderungen eingebunden werden können, ist auch eine Verwendung zum Zweck der Bewusstseinsbildung denkbar. Hintergrundwissen könnte als interaktive Geschichte mit Bildern und/oder Videos vermittelt werden.

Gleichzeitig können aber auch spezifische, auf ein konkretes Planungsgebiet anwendbare Herausforderungen erstellt werden. Dies könnte genutzt werden, um Mitarbeiter\*innen eines Trinkwasserversorgungsunternehmens in Hinblick auf das System zu schulen und Steuerungsmöglichkeiten in Hinblick auf Systemstörungen zu veranschaulichen. Andererseits könnten solche Herausforderungen auch genutzt werden, um anderen Stakeholder\*innen – beispielsweise in Planungsprozessen auf kommunaler Ebene – aktuelle oder zukünftige Problemstellungen eines Systems näher zu bringen.

Der in das Tool integrierte Challenge-Editor (Herausforderungs-Editor) erlaubt dabei jederzeit die Erstellung neuer Herausforderungen (Challenges). Er ermöglicht nicht nur die Erstellung einzelner Herausforderungen, sondern auch das Verknüpfen mehrerer Herausforderungen zu einer Serie, die sukzessive abgearbeitet werden muss. Dies eröffnet insbesondere im Bereich der Bildung weitere Möglichkeiten, da anhand von unterschiedlichen hydraulischen Modellen, verschiedene Aspekte der Modellierung beleuchtet werden können. Wie im EWA-Tool neue Tutorials und Herausforderungen erstellt werden können, ist in Kapitel 5.3.8 im Detail beschrieben.

Die Motivation der Nutzer\*innen bei der Bewältigung von Aufgaben im EWA-Tool wird durch ein Feedbacksystem auf Mikroebene mit Belohnung für das erfolgreiche Erledigen einer Herausforderung gefördert. Auf Makroebene werden die Nutzer\*innen durch das Verschränken mehrerer Herausforderungen zu einem Strang gefordert und motiviert sich zu verbessern und alle geforderten Aufgaben zu erledigen.

# 7 EWA-Workshops und Publikationen

Im Folgenden werden die bisher durchgeführten EWA – Workshops, Ergebnisse der dort durchgeführten Feedbackrunden sowie Veröffentlichungen und Vorträge auf nationalen und internationalen Kongressen sowie in Fachjournalen zusammengefasst.

## 7.1 Feedbackschleifen Workshops

Es wurden mehrere Workshops mit unterschiedlichen Nutzer\*innen abgehalten. Bei der zweiten Zwischenpräsentation wurde nach der Tool Vorstellung eine Feedback-Runde sowie eine Feedback-Umfrage abgehalten. Basierend auf dem erhaltenen Feedback dieses Workshops wurde das Tool verbessert und erweitert.

Im Mai 2023 wurde ein weiterer interner Workshop am Game Lab Graz mit unterschiedlichen Personengruppen durchgeführt. Dieser Workshop diente dazu, die Usability des Tools zu testen. Für die Feedback-Umfrage wurde hier unter anderem die System Usability Scale (SUS) (Sauro, 2011) verwendet. Dabei handelt es sich um eine kurze Umfrage bestehend aus zehn allgemeinen Fragen zur Usability, welche jeweils in diskreten Schritten von 1 („Stimme überhaupt nicht zu“) bis 5 („Stimme voll zu“) bewertet werden. Nach der Auswertung ergibt sich ein Wert zwischen 0 und 100 – dieser Wert ist jedoch nicht als direkter Prozentsatz zu sehen. Man kann daher nicht sagen, dass etwas „80% Usability“ hat. Basierend auf den Ergebnissen von (Sauro, 2011) ergab sich ein durchschnittlicher Wert von 68 bei 500 untersuchten Studien. Ein Score über 68 wäre daher überdurchschnittlich, und ein Wert darunter unterdurchschnittlich. Beim internen Workshop am ISDS wurde ein durchschnittlicher Wert von 66,1 erzielt – also leicht unterdurchschnittlich. Das Feedback und die Verbesserungsvorschläge aus diesem Workshop wurden ebenfalls im Tool integriert.

Beim Endworkshop kam ebenfalls SUS zum Einsatz, mit einem Ergebnis von 73,3 – ein überdurchschnittlicher Wert und wesentlich verbessertes Ergebnis im Vergleich zum vorherigen Workshop. Das verbesserte Ergebnis lässt darauf schließen, dass das Feedback sowie Verbesserungsvorschläge erfolgreich umgesetzt werden konnten. Zusätzlich zu den 10 definierten Fragen wurde beim Endworkshop die Frage „Ob die Teilnehmenden das Tool weiter-

empfehlen würden“ abgefragt, hier wurde ein durchschnittliches Ergebnis von 4,4/5 erreicht. Daraus lässt sich schließen, dass die Teilnehmer das Tool durchaus weiterempfehlen würden.

## **7.2 Wissenschaftsdissemination auf Tagungen und Kongressen**

Unter dem Titel „EWA – Ein Serious Game für die Wasserversorgung“ wurde das Tool anhand von Videos und einer Präsentation auf dem ÖVGW Kongress 2023 in Innsbruck von Frau DI Anika Stelzl präsentiert. Das Tool wurde ebenfalls im Tagungsband vorgestellt. (Stelzl et. al., 2023b)

Bei der General Assembly 2023, organisiert durch European Geosciences Union (EGU) in Wien, wurde zum einen eine Präsentation von Herrn DI Georg Arbesser-Rastburg über das Serious Game allgemein sowie der Ausbau des Tool gehalten (Fuchs-Hanusch et. al., 2023) und zum anderen wurden von Frau DI Anika Stelzl mittels einem Posters die finale Wasserbedarfsprognose in Abhängigkeit des Klimawandels und der demografischen Entwicklung präsentiert. (Stelzl und Fuchs-Hanusch, 2023)

Auf der Water Innovation and Circularity Conference, in Athen, Griechenland, wurde das Serious Game von Frau DI Anika Stelzl vorgestellt sowie ein zwei Seiten Abstract für den Konferenzband erstellt. (Stelzl et. al., 2023a)

Das System zur Simulation von hydraulischen Modellen in Clustern mit zentraler Modell- und Ergebnisverwaltung, wie es im Projekt EWA zum Einsatz kommt, wurde auf der 2<sup>nd</sup> International Joint Conference on Water Distribution Systems Analysis & Computing and Control in the Water Industry (WDSA/CCWI) vorgestellt. Ein im Rahmen der Konferenz verfasstes Paper wurde im Juli 2022 zur Veröffentlichung eingereicht. (Arbesser-Rastburg et al., 2022)

Am Environmental and Water Resources Management Kongress (EWRI, 2022) der American Society of Civil Engineering in Atlanta, USA Anfang Juni 2022, wurden die im Projekt entwickelten und getesteten Modelle zur Wasserbedarfsprognose unter Einbeziehung von Wandelfaktoren von Frau DI Anika Stelzl präsentiert. (Stelzl und Fuchs-Hanusch, 2022)

Am Environmental and Water Resources Management Kongress (EWRI, 2021) der American Society of Civil Engineering, online, Anfang Juni 2021, wurden die ersten Schritte der Wasserbedarfsprognose von Frau DI Anika Stelzl präsentiert (Stelzl, Pointl und Fuchs-Hanusch, 2021).

Die Wasserbedarfsmodellentwicklung sowie erste Ergebnisse des Forschungsprojekts zur Veränderung des Spitzenwasserbedarfs wurden 2021 in folgender Publikation veröffentlicht. Stelzl, A., Pointl, M. K., & Fuchs-Hanusch, D. (2021). Estimating Future Peak Water Demand with a Regression Model Considering Climate Indices. *Water (Switzerland)*, 13(14), [1912]. <https://doi.org/10.3390/w13141912>

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: ökonomisch, ökologische, technische und soziale Leistungsanforderungen an Wasserversorgungsanlagen .....	15
Tabelle 2: Ergebnis AHP – OS alle Teilnehmer*innen a) balanced-n skala und b) standard AHP –skala .....	18
Tabelle 3: Beschreibung der EWA relevante Klimaindizes (Chimani et al., 2015) .....	25
Tabelle 4: Komponentenattribute im EWA-Modell .....	43



## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ergebnis Brainwriting WS 1 zu „Leistungsanforderungen Wasserversorgung“ .....	13
Abbildung 2: Bsp. unterschiedliche Kategorisierung der Leistungsanforderung Versorgungssicherheit von Gruppe 1 (a) und Gruppe 2 (b).....	14
Abbildung 3: Ergebnis Brainwriting Lastfälle .....	20
Abbildung 4: ÖROK-Regionalprognose Bevölkerungsveränderung 2021 bis 2050 (Geschäftsstelle der Österreichischen Raumordnungskonferenz (ÖROK), 2022) .....	22
Abbildung 5: Veränderung der Einpersonenhaushalte 2009 bis 2030 (STATISTIK AUSTRIA, 2011).....	23
Abbildung 6: Änderung Wasserbedarf Wasserversorgung Ergebnisse Wasserschatz (BMLRT, 2021) .....	26
Abbildung 7: Flowchart – Darstellung der Schritte für die Modellerstellung.....	30
Abbildung 8: Vergleich gemessener Wasserbedarf und prognostizierter Wasserbedarf ...	33
Abbildung 9: Vergleich Messung und Prognose ohne stepwise forward selection process	34
Abbildung 10: Veränderung Spitzenwasserbedarf aufgrund Klimawandel und Demografische Entwicklung.....	36
Abbildung 11: Veränderung Spitzenwasserbedarf in Abhängigkeit des Klimawandels sowie der Demografischen Entwicklung .....	37
Abbildung 12: Pressure Driven Analysis – Zusammenhang Druckhöhe und Knotenwasserbedarf (Wagner, Shamir and Marks, 1988, mod.) .....	40
Abbildung 13: Workflow zur hydraulischen Modellierung in EWA.....	50
Abbildung 14: Web-Oberfläche von Prefect .....	53
Abbildung 15: Auswahl der Sprache .....	56
Abbildung 16: Hauptmenü des EWA-Tools .....	57
Abbildung 17: Reiter für EWA-Modell-Kategorien.....	57
Abbildung 18: Buttons zur Erstellung von neuen Modellen, zum Import eines EWA-Modells sowie zum Import eines EPANET-Modells (v.l.n.r.).....	58
Abbildung 19: Upload-Dialog für ein EPANET-Modell .....	58
Abbildung 20: Upload-Dialog für ein EWA-Modell .....	59
Abbildung 21: Modelle mit Herausforderungen und Fortschritt-Indikator.....	59
Abbildung 22: Prefect-Logs im Hauptmenü beim Upload eines EPANET-Modells.....	60
Abbildung 23: Modellversionen im Hauptmenü.....	60
Abbildung 24: Kartenansicht bei Aufruf eines Modells von Graz .....	61
Abbildung 25: Werkzeugleiste in der Kartenansicht.....	62
Abbildung 26: Ausgeklapptes Bau-Menü für Knotenpunkte .....	63

Abbildung 27: Zeitachse in der Kartenansicht .....	64
Abbildung 28: Auswahlmenü Lastfälle .....	64
Abbildung 29: Dialog zur Erstellung eines neuen Lastfalls.....	64
Abbildung 30: Eigenschaftenmenü eines Knotens.....	65
Abbildung 31: Buttons zum Speichern und Starten einer Analyse .....	66
Abbildung 32: Button zur Anzeige von Analyse-Ergebnissen .....	67
Abbildung 33: Analyse-Ergebnisse in der Kartenansicht.....	67
Abbildung 34: Buttons zur Adaption der Kartenvisualisierung.....	68
Abbildung 35: Visualisierung von Knotenverbräuchen (links) und unterversorgten Knoten (rechts) .....	69
Abbildung 36: Versionsmenü .....	69
Abbildung 37: Dialogfenster für Metadaten .....	70
Abbildung 38: Buttons zum Wechseln zwischen Karten- und Listenansicht sowie Simulationshistorie (v.l.n.r.) .....	70
Abbildung 39: Listenansicht im EWA-Tool .....	71
Abbildung 40: Simulationshistorie im EWA-Tool .....	72
Abbildung 41: Anzeige der einzelnen Analyse-Schritte in Prefect.....	73
Abbildung 42: Visualisierung der Ergebnisdatei in der Simulationshistorie .....	73
Abbildung 43: Vergleich von zwei Analysen.....	74
Abbildung 44: Modelle mit Herausforderungen und Fortschritts-Indikator .....	76
Abbildung 45: Struktur Herausforderungen (Challenges), Aufgaben (Tasks) und Aufgabengruppen (Task Groups) .....	76
Abbildung 46: Jahres-Schieberegler mit aktivem Budget .....	77
Abbildung 47: Knotenmenü mit Baupreisen.....	77
Abbildung 48: Beispiel-Beschreibung einer Aufgabengruppe .....	81
Abbildung 49: Herausforderungs-Panel in der Kartenansicht .....	82
Abbildung 50: Ein- und Ausblenden des Herausforderungspanels.....	83
Abbildung 51: Abschlussfenster einer Herausforderung .....	83
Abbildung 52: Ablauf eines ComponentMoved-Ereignisses .....	84
Abbildung 53: Zusätzlicher Button im Debug-Modus .....	85
Abbildung 54: Debug-Panel.....	86
Abbildung 55: Simulation Result Faker .....	87
Abbildung 56: Ausschnitt aus Tutorial 1.....	88
Abbildung 57: Aufgaben aus Tutorial 1 mit eingeblendetem Tooltip.....	88
Abbildung 58: Tutorial-Modell in Tutorial 3.....	89
Abbildung 59: Tutorial-Modell in Tutorial 3 mit eingeblendeten unterversorgten Knoten	90
Abbildung 60: Herausforderung „Future Problems“ mit beiden Netzen.....	91

Abbildung 61: Button für Herausforderungen-Editor .....	91
Abbildung 62: Einstellungen im Herausforderungen-Editor .....	92
Abbildung 63: Teil des Herausforderungs-Editors mit allgemeinen Herausforderungs- Einstellungen .....	93
Abbildung 64: Aufgabengruppen im Herausforderungs-Editor .....	94
Abbildung 65: Editor-Modus im Beschreibungstext-Editor mit eingeblendeter Vorschau .	95
Abbildung 66: Aufgaben-Einstellungen im Herausforderungs-Editor.....	96

## Literaturverzeichnis

**Amt der OÖ. Landesregierung (2019):** Wasserversorgung in Oberösterreich: Situationsbericht, geplante Maßnahmen und Empfehlungen gegen Auswirkungen des Klimawandels. Linz: Direktion Umwelt und Wasserwirtschaft Abteilung Wasserwirtschaft. Verfügbar unter: [https://www.land-oberoesterreich.gv.at/Mediendateien/Formulare/Dokumente%20UWD%20Abt\\_WW/2019\\_Trockenheit\\_und\\_Wasserversorgung.pdf](https://www.land-oberoesterreich.gv.at/Mediendateien/Formulare/Dokumente%20UWD%20Abt_WW/2019_Trockenheit_und_Wasserversorgung.pdf).

**Arbesser-Rastburg, G., Camhy, D. und Fuchs-Hanusch, D. (2022):** COSMOS – A Framework for Containerised, Distributed, Execution and Analysis of Hydraulic Water Distribution System Models. 2nd International Joint Conference on Water Distribution Systems Analysis & Computing and Control in the Water Industry, Valencia, Spanien.

**BMLRT (2021):** Wasserschatz Österreichs. Verfügbar unter: [https://info.bmlrt.gv.at/dam/jcr:75a703dd-9c25-452a-ac06-5240abbd118a/Bericht\\_Wasserschatz.pdf](https://info.bmlrt.gv.at/dam/jcr:75a703dd-9c25-452a-ac06-5240abbd118a/Bericht_Wasserschatz.pdf).

**Boergens, E., Günter A., Dobslaw H. und Dahle C. (2020):** Quantifying the Central European Droughts in 2018 and 2019 With GRACE Follow-On. Geophysical Research Letters, 47(14), p. e2020GL087285. doi: 10.1029/2020GL087285.

**Chimani B., Heinrich G., Hofstätter M., Kerschbaumer M., Kienberger S., Leuprecht A., Lexer A., Peßenteiner S., Poetsch M.S., Salzmann M., Spiekermann R., Switanek M. und Truhetz H. (2016):** ÖKS15 – Klimaszenarien für Österreich. Daten, Methoden und Klimaanalyse. Projektendbericht. Wien.

**Chimani B., Matulla C., Etzinger J., Hiebl J. Hofstätter M. Kubu G., Maraun D., Mendlik T, Schellander-Gorgas T. und Thaler S. (2017):** GUIDELINE zur Nutzung der ÖKS15-Klimawandelsimulationen sowie der entsprechenden gegitterten Beobachtungsdatensätze. CCCA. Verfügbar unter: [https://ccca.ac.at/fileadmin/00\\_DokumenteHauptmenue/02\\_Klimawissen/Guideline\\_STA\\_RC\\_Impact\\_2018.pdf](https://ccca.ac.at/fileadmin/00_DokumenteHauptmenue/02_Klimawissen/Guideline_STA_RC_Impact_2018.pdf).

**Deterding, S., Dixon D., Khaled R. und Nacke L. (2011):** From game design elements to gamefulness: defining 'gamification,'. In 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. doi: 10.1145/2181037.2181040.

**Donevska, K. und Panov, A. (2019):** Climate change impact on water supply demands: case study of the city of Skopje. *Water Supply*, 19(7), pp. 2172–2178. doi: 10.2166/ws.2019.098.

**Fuchs-Hanusch, D., Arbesser-Rastburg G., Adler V., Stelzl A., Camhy D., Pointl M. und Pirker J. (2023):** Gamification of Hydraulic Modeling to Create Awareness for the Effects of Climate Change and Urbanization on Water Supply. EGU23-16427. Copernicus Meetings. doi: 10.5194/egusphere-egu23-16427.

**Gedefaw, M., Hao W., Denghua Y., Girma A. und Khamis M. (2018):** Variable selection methods for water demand forecasting in Ethiopia: Case study Gondar town. *Cogent Environmental Science*. Edited by M. I. Khamis, 4(1), p. 1537067. doi: 10.1080/23311843.2018.1537067.

**Geschäftsstelle der Österreichischen Raumordnungskonferenz (ÖROK) (ed.) (2022):** ÖROK-Regionalprognosen 2021–2050: Bevölkerung. Wien: Österreichische Raumordnungskonferenz (Österreichische Raumordnungskonferenz, 212).

**Goepel, K. D. (2018):** Implementation of an Online Software Tool for the Analytic Hierarchy Process (AHP-OS). *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 10(3). doi: 10.13033/ijahp.v10i3.590.

**Haslinger, K., Schöner W., Abermann J., Laaha G., Andre K. Olefs M. und Koch R. (2023):** Apparent contradiction in the projected climatic water balance for Austria: wetter conditions on average versus higher probability of meteorological droughts. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 23(8), pp. 2749–2768. doi: 10.5194/nhess-23-2749-2023.

**Kubernetes (2021):** Verfügbar unter: <https://kubernetes.io/>.

**Miro (2022):** RealTimeBoard, Inc. Verfügbar unter: <https://miro.com>.

**Österreichisches Normungsinstitut (2018):** ÖNORM B 2538 Wasserversorgung – Anforderungen an Wasserversorgungssysteme und deren Bauteile außerhalb von Gebäuden – Ergänzende Bestimmungen zu ÖNORM EN 805.

**Österreichisches Normungsinstitut (2000):** ÖNORM EN 805 Anforderungen an Wasserversorgungssysteme und deren Bauteile außerhalb von Gebäuden.

**Polst, S., Tamanini, J. und Elberzhager, F. (2021):** Changing Citizens' Attitude Towards Novel Mobility Measures with a Game: Procedure and Game Concept. in Stephanidis, C., Antona, M., and Ntoa, S. (eds.) HCI International 2021 – Posters. Cham: Springer International Publishing (Communications in Computer and Information Science), pp. 170–178. doi: 10.1007/978-3-030-78645-8\_22.

**Prefect 2.0 (2022):**. Verfügbar unter: <https://orion-docs.prefect.io/>.

**Ro, M., Brauer M., Kuntz K., Shukla R. und Bensch I. (2017):** “Making Cool Choices for sustainability: Testing the effectiveness of a game-based approach to promoting pro-environmental behaviors, Journal of Environmental Psychology, 53, pp. 20–30. doi: 10.1016/j.jenvp.2017.06.007.

**Rossmann, L. Woo H., Tryby M., Shang F., Janke R. und Haxton T. (2020):** EPANET 2.2 User Manual. Washington, D.C: U.S. Environmental Protection Agency.

**Russo, S., Sillmann, J. und Fischer, E. M. (2015):** Top ten European heatwaves since 1950 and their occurrence in the coming decades. Environmental Research Letters, 10(12), p. 124003. doi: 10.1088/1748-9326/10/12/124003.

**Saaty, R. W. (1987):** The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. Mathematical Modelling, 9(3), pp. 161–176.

**Sauro, J. (2011):** A Practical Guide to the Systems Usability Scale. CreateSpace Independent Publishing Platform.

**Stangl M., Formayer H., Hiebl J., Orlik A. Hinger D., Bauer C., Wilfinger P. und Wolf A. (2023):** Klimastatusbericht Österreich 2022. Wien. Verfügbar unter: [https://www.noel.gv.at/noel/Klima/Klimastatusbericht\\_2022\\_OE.pdf](https://www.noel.gv.at/noel/Klima/Klimastatusbericht_2022_OE.pdf).

**STATISTIK AUSTRIA (2020)** Haushaltsprognosen. Verfügbar unter:

[https://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/menschen\\_und\\_gesellschaft/bevoelkerung/demographische\\_prognosen/haushaltsprognosen/index.html](https://www.statistik.at/web_de/statistiken/menschen_und_gesellschaft/bevoelkerung/demographische_prognosen/haushaltsprognosen/index.html).

**STATISTIK AUSTRIA (2022):** Bevölkerungsprognosen für Österreich und die Bundesländer, STATISTIK AUSTRIA. Verfügbar unter: <https://www.statistik.at/statistiken/bevoelkerung-und-soziales/bevoelkerung/demographische-prognosen/bevoelkerungsprognosen-fuer-oesterreich-und-die-bundeslaender>.

**Stelzl, A. Adler V., Arbesser-Rastburg G., Camhy D., Pirker J. und Fuchs-Hanusch D.**

**(2023a):** Development of a web-based serious game to create awareness for the impact of climate change and demographic development on water supply systems in Austria. Water Innovation and Circularity Conference, Athen, Griechenland.

**Stelzl, A. Adler V., Arbesser-Rastburg G., Camhy D., Pirker J. und Fuchs-Hanusch D.**

**(2023b):** EWA – Ein Serious Game für die Wasserversorgung. ÖVGW Kongress, Innsbruck, Österreich.

**Stelzl, A. und Fuchs-Hanusch, D. (2022):** Estimating the impact of climate indices and demographic development on future peak water demand in Austria. World Environmental and Water Resources Congress 2022, Atlanta, United States.

**Stelzl, A. und Fuchs-Hanusch, D. (2023):** Predicting future water demand in Austria due to climate change and demographic development. EGU23-14124. Copernicus Meetings. doi: 10.5194/egusphere-egu23-14124.

**Stelzl, A., Pointl, M. und Fuchs-Hanusch, D. (2021):** Modeling the effects of climate change on daily water consumption in Austria. World Environmental and Water Resources Congress 2021, Virtuell.

**Umweltbundesamt (2023):** Anhaltende Trockenperiode in ganz Europa und ihre Folgen.

Verfügbar unter:

<https://www.klimawandelanpassung.at/newsletter/nl59/trockenperiode-europa>.

**Universität Zürich (2023):** Multiple Regressionsanalyse. Verfügbar unter:

[http://www.methodenberatung.uzh.ch/de/datenanalyse\\_spss/zusammenhaenge/mreg.html](http://www.methodenberatung.uzh.ch/de/datenanalyse_spss/zusammenhaenge/mreg.html).

**Vonk, E., Cirkel, D. G. und Blokker, M. (2019):** Estimating Peak Daily Water Demand under Different Climate Change and Vacation Scenarios, *Water*, 11(9), p. 1874. doi: 10.3390/w11091874.

**Werbach, K., Hunter, D. und Dixon, W. (2012):** For the win: How game thinking can revolutionize your business. Philadelphia: Wharton Digital Press.



## Abkürzungen

AHP	Analytical Hierarchy Process
API	Application Programming Interface
DDA	Demand Driven Analysis
EWA	Entscheidungshilfe in der Wasserversorgung unter Einbeziehung von Wandelfaktoren
GCM	Globales Klimamodell
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
MCDA	Multikriterieller Entscheidungsfindung
MLR	Multiple lineare Regression
PDA	Pressure Driven Analysis
RCM	Regionales Klimamodell
RCP	Repräsentative Konzentrationspfade
SUS	System Usability Scale
SWW	Siedlungswasserwirtschaft
WVU	Wasserversorgungsunternehmen

**Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft**

Stubenring 1, 1010 Wien

[bml.gv.at](http://bml.gv.at)