

Interaktion von Grundwasser und Fließgewässern

Relevanz für Grundwasserkörper in Österreich und Methodenanalyse
zur räumlichen Abgrenzung der Interaktion in Pilotgebieten



Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

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

Autorinnen und Autoren: Helga Lindinger, Markus Reischer, Christian Holler (Ingenieurbüro DI Holler), Philip Sander, Ingrid Gattringer, Heike Brielmann

Gesamtumsetzung: Ernst Überreiter (BMLUK)

Fotonachweis: Cover: © B. Gröger

Wien, 2025. Stand: 12. Mai 2026

Copyright und Haftung:

Auszugsweiser Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet, alle sonstigen Rechte sind ohne schriftliche Zustimmung des Medieninhabers unzulässig.

Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung des Bundesministeriums und der Autorin / des Autors ausgeschlossen ist. Rechtausführungen stellen die unverbindliche Meinung der Autorin / des Autors dar und können der Rechtsprechung der unabhängigen Gerichte keinesfalls vorgreifen.

Inhalt

Zusammenfassung	6
1 Einleitung	8
1.1 Hintergrund.....	8
1.2 Ziel.....	11
2 Wechselwirkungen zwischen Grundwasser und Fließgewässern.....	12
2.1 Prozesse	12
2.2 Zeitliche und räumliche Dimensionen	13
2.2.1 Zeitliche Dimension	13
2.2.2 Räumliche Dimension.....	14
2.3 Nachweis- und Erhebungsmethoden	15
3 Klassifikation der Grundwasserkörper	18
3.1 Begriffsbestimmungen.....	18
3.2 Untersuchungsumfang	19
3.2.1 Oberflächennahe Einzelgrundwasserkörper.....	19
3.2.2 Relevante Bereiche in Gruppen von Grundwasserkörpern	19
3.3 Datengrundlagen	20
3.3.1 Grundwasserkörper und Grundwassergebiete.....	20
3.3.2 Gesamtwässernetz	21
3.3.3 Hydrogeologische Karte 1:500.000 und Geologische Karte	21
3.3.4 Verfügbare Grundwasserressource	22
3.3.5 Hydrographische Daten und Niederwasserkennwerte.....	22
3.3.6 Regionalstudien Österreich.....	22
3.3.7 Lage von Entnahmen.....	24
3.4 Vorgangsweise	24
3.4.1 Vorgangsweise für die Ermittlung der Relevanz oberflächengewässer-geprägter Grundwasserressourcen	25
3.4.2 Vorgangsweise für die Ermittlung der Relevanz von Uferfiltrat für die Wassernutzung.....	31
3.5 Ergebnisse	33
3.5.1 Klassifikation der Grundwasserkörper und Teilbereiche hinsichtlich der Relevanz oberflächengewässergeprägter Grundwasserressourcen	33
3.5.2 Klassifikation der Grundwasserkörper (bzw. Teilbereiche) hinsichtlich der Relevanz von Uferfiltrat für die Wassernutzung.....	38
3.6 Schlussfolgerungen und Empfehlungen	41

4 Eingrenzung des Fließgewässer–Grundwasser-Interaktionsbereichs: Methodentests in Pilotgebieten	43
4.1 Auswahl der Pilotgebiete und Methoden	43
4.1.1 GK100036 Eferdinger Becken [DUJ]	43
4.1.2 GK100098 Leibnitzer Feld [MUR]	44
4.1.3 Methoden.....	44
4.2 Visuelle Ganglinienanalyse in ausgewählten Zeitfenstern in den Pilotgebieten	45
4.2.1 Datengrundlagen.....	46
4.2.2 Vorgangsweise	49
4.2.3 Ergebnisse – Grundwasserstands-Reaktionstypen in Bezug auf Oberflächengewässer.....	52
4.3 Halbautomatische Analyse von Zeitreihen der Grundwasserstände mittels Dynamic Time Warping (DTW) und t-Distributed Stochastic Neighbor Embedding (t-SNE)	57
4.3.1 Datengrundlagen.....	58
4.3.2 Vorgangsweise	58
4.3.3 Ergebnisse – Gruppen hydrographischer Messstellen auf Basis von DTW und t- SNE	59
4.4 Multivariate Analyse von Wassergütedaten der GZÜV für die Überprüfung auf Grundwasser-Fließgewässer-Interaktion in den Pilotgebieten	66
4.4.1 Datengrundlagen.....	67
4.4.2 Vorgangsweise	69
4.4.3 Ergebnisse	69
4.5 Isotopenbasierte Überprüfung der Interaktion von Grundwasser und Fließgewässer in den Pilotgebieten	77
4.5.1 Datengrundlagen.....	78
4.5.2 Vorgangsweise	78
4.5.3 Ergebnisse	78
4.6 Temperaturbasierte messstellenspezifische Überprüfung der Interaktion von Grundwasser und Fließgewässer in den Pilotgebieten.....	83
4.6.1 Datengrundlagen.....	83
4.6.2 Vorgangsweise	83
4.6.3 Ergebnisse	84
4.7 Überprüfung auf hydraulische Anbindung von Grundwasser und Fließgewässer in den Pilotgebieten	84
4.7.1 Datengrundlagen.....	84
4.7.2 Vorgangsweise	85
4.7.3 Ergebnisse	86

4.8 Schlussfolgerungen und Empfehlungen	89
5 Tabellenverzeichnis	93
6 Abbildungsverzeichnis	94
Literaturverzeichnis	97

Zusammenfassung

In Österreich werden rund 40 % der gesamten Wassernutzungen durch Grundwasser gedeckt. Die Gewährleistung einer nachhaltigen Bewirtschaftung dieser Ressourcen ist daher ein zentrales Ziel der Wasserwirtschaft, insbesondere im Hinblick auf die langfristige Sicherung der Trinkwasserversorgung, der Ernährungssicherheit und des Wirtschaftsstandortes. Dabei müssen sowohl ökologische Anforderungen als auch sich wandelnde sozioökonomische Rahmenbedingungen und klimawandelbedingte Herausforderungen Berücksichtigung finden.

Im Rahmen des Nationalen Gewässerbewirtschaftungsplans (NGP) erfolgt die mengenmäßige Zustands- und Risikobewertung von Grundwasserkörpern. Ein wesentliches Kriterium für die Definition des guten mengenmäßigen Zustands für einen Grundwasserkörper oder eine Gruppe von Grundwasserkörpern ist, dass die verfügbare Grundwasserressource nicht von der langfristigen mittleren jährlichen Wasserentnahme überschritten wird. Für die Bestimmung der verfügbaren Grundwasserressource sind Kenntnisse über deren Zuordnung und Wasserherkunft – sei es Uferfiltrat oder Grundwasser, das nicht unmittelbar von Oberflächengewässern beeinflusst wird – erforderlich. Eine solche Differenzierung konnte im Rahmen des NGP bisher nur auf Basis bestmöglicher Abschätzungen erfolgen.

Auf Basis bundesweit verfügbarer Daten wurden Kriterien festgelegt und Regeln entwickelt, um Grundwasserkörper – alle Einzelgrundwasserkörper und relevante Porengrundwasserbereiche in Gruppen von Grundwasserkörpern – danach zu klassifizieren, inwieweit Fließgewässer zur Grundwasserneubildung beitragen. Gleichzeitig wurden die Grundwasserkörper hinsichtlich der Relevanz von Uferfiltrat für die Wassernutzung bewertet und die entsprechende Informationslage kartografisch dargestellt. Maßgeblich eingeflossen sind hierbei die vorliegenden Regionalstudien, die in den bisherigen Arbeiten zum NGP erhoben wurden.

Im Ergebnis wurden Grundwasserkörper identifiziert, in denen Fließgewässer maßgeblich zur Grundwasserneubildung beitragen, sowie solche, in denen Uferfiltrat eine hohe Relevanz für die Wassernutzung hat oder künftig an Bedeutung gewinnen könnte. In diesen Grundwasserkörpern sollte Uferfiltrat in der Beurteilung des mengenmäßigen Zustands zukünftig verstärkt berücksichtigt werden.

Die Ergebnisse verbessern die Kenntnisse zur Relevanz von Fließgewässer–Grundwasser-Interaktionen in den Grundwasserkörpern. Sie sind Voraussetzung für die angestrebte systematische Zuordnung von Grundwasserentnahmen zu ihren Herkunftsbereichen aus Uferfiltrat oder Grundwasser ohne signifikante Grundwasserneubildung aus Fließgewässern. Hierfür müssen die vorliegenden Datengrundlagen jedoch weiter verfeinert werden. Empfohlen wird, die Interaktionsbereiche von Fließgewässern und Grundwasser auf Basis von Datengrundlagen zu alluvialen Talböden und den in zwei Pilotgebieten getesteten Methoden räumlich weiter einzugrenzen.

Die beiden Grundwasserkörper Eferdinger Becken [DUJ] und Leibnitzer Feld [MUR] wurden als Pilotgebiete gewählt, um auf Basis bundesweit verfügbarer Daten mehrere Methoden auf ihre Eignung für eine Abgrenzung der Fließgewässer-Grundwasser-Interaktionsbereiche zu testen. Insbesondere die Methode der Überprüfung auf hydraulische Anbindung von Fließgewässern und Grundwasser, die Mischungsanalyse auf Basis von Isotopendaten aus Grund- und Oberflächengewässern sowie die hydrographischen Auswertungen erlauben eine weitere räumliche Differenzierung. Flächenhafte Aussagen sind jedoch nur eingeschränkt möglich und hängen von der Messnetz- und Datendichte sowie einer entsprechenden Weiterverarbeitung der Daten ab (durch Modellierung oder Interpolation, wie sie z. B. in Regionalstudien vorliegen).

Werden die in den Pilotgebieten getesteten Ansätze weiterentwickelt und auf die in der Klassifikation erfassten Grundwasserkörper angewendet, lässt sich dadurch eine Gebietskulisse für die Uferfiltratnutzung ableiten. Auf dieser Grundlage können Lagedaten von Entnahmen künftig diesen Bereichen zugeordnet und die mengenmäßige Erfassung von Entnahmen aus Uferfiltrat systematisch durchgeführt werden.

1 Einleitung

1.1 Hintergrund

Die Umsetzung übergeordneter, integrierter wasserwirtschaftlicher Planung zum langfristigen Schutz der Wasserressourcen erfolgt in Österreich gemäß Wasserrechtsgesetz (WRG 1959, BGBl. Nr. 215/1959 idgF.) bzw. gemäß EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL, RL 2000/60/EG) auf räumlicher Ebene der Wasserkörper. Dazu wird im Rahmen der alle sechs Jahre zu erstellenden Nationalen Gewässerbewirtschaftungspläne (NGPs) überprüft, ob der gute Zustand der Gewässer eingehalten wird oder das Risiko einer Zielverfehlung besteht.

Für das Grundwasser erfolgt die Beurteilung des chemischen und des mengenmäßigen Zustands auf Ebene der Grundwasserkörper.

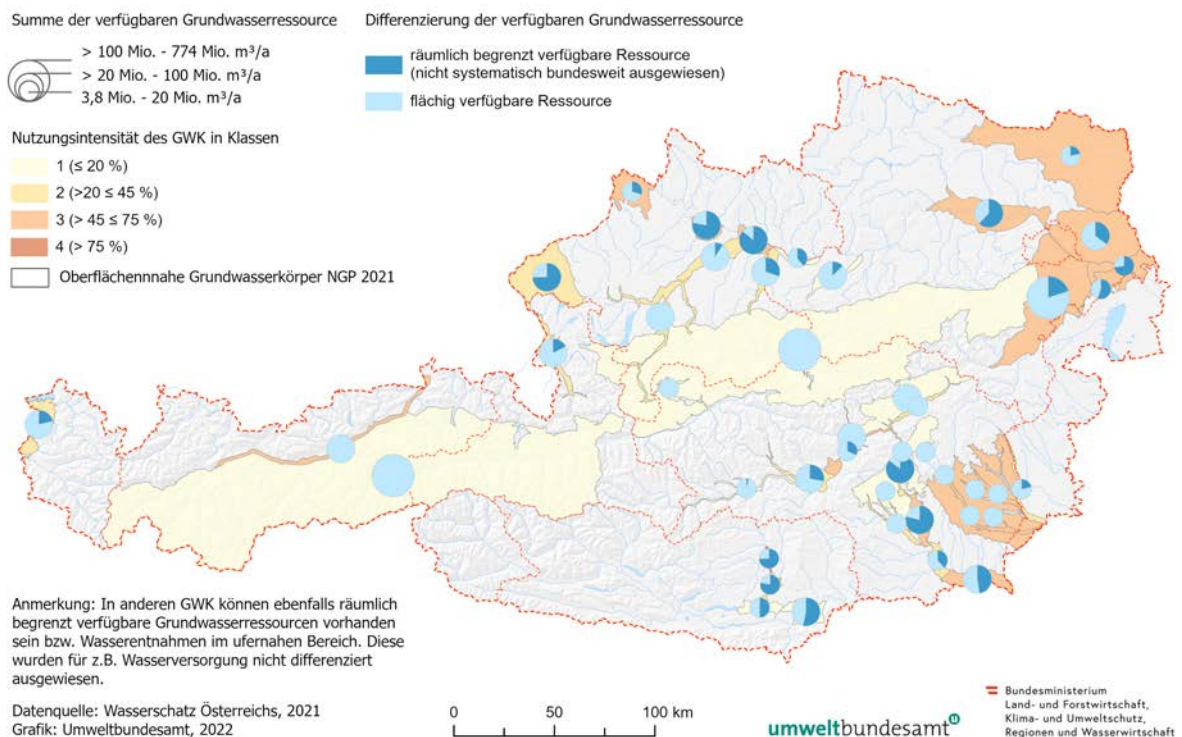
Ein guter mengenmäßiger Zustand ist gegeben, wenn die mittlere jährliche Wasserentnahme aus dem Grundwasser die verfügbaren Ressourcen eines Grundwasserkörpers langfristig nicht übersteigt und der Grundwasserspiegel keinen anthropogenen Veränderungen unterliegt, die das Erreichen der ökologischen Qualitätsziele gemäß Artikel 4 der WRRL für verbundene Oberflächengewässer gefährden oder zu einer signifikanten Beeinträchtigung abhängiger Landökosysteme führen. Damit werden in den Umweltzielen für Grundwasser auch die Wechselwirkungen zwischen einer Bewirtschaftung von Grundwasser und Oberflächengewässern berücksichtigt. Es ist sicherzustellen, dass der mengenmäßige Zustand des Grundwassers durch Entnahmen nicht verschlechtert wird. Die verfügbare Grundwasserressource entspricht der langfristigen mittleren jährlichen Neubildung des Grundwasserkörpers abzüglich des Anteils, der für die Erreichung der ökologischen Qualitätsziele der verbundenen Oberflächengewässer erforderlich ist. Dadurch wird eine signifikante Verschlechterung des ökologischen Zustands dieser Gewässer sowie eine Schädigung der mit ihnen verknüpften Landökosysteme vermieden.

Im Vorfeld des 3. Nationalen Gewässerbewirtschaftungsplans (NGP; BMLRT, 2022) wurden im Rahmen der Studie „Wasserschatz Österreichs“ (BMLRT, 2021) Daten- und Informationsgrundlagen für die Risiko- und Zustandsbeurteilung des mengenmäßigen Grundwasserzustands erarbeitet. Für jeden Grundwasserkörper wurden sowohl der Wasserbedarf der wichtigsten Nutzungssektoren als auch die verfügbaren Grundwasserressourcen erhoben und dargestellt. Unter Berücksichtigung potenzieller Auswirkungen des Klimawandels sowie

sozioökonomischer Entwicklungen wurden Szenarien für das Jahr 2050 erstellt. Zudem erfolgte eine Zuordnung der Wasserentnahmen nach ihrer Herkunft aus Grundwasser, Quellen und Oberflächengewässern. Dabei zeigte sich, dass ein Teil der Grundwasserentnahmestellen in unmittelbarer Nähe zu größeren Fließgewässern liegen und daher anzunehmen ist, dass hier Oberflächengewässer zur Grundwasseranreicherung beitragen. Eine systematische mengenmäßige Erfassung bzw. Zuordnung dieses Beitrages konnte bisher nicht durchgeführt werden.

Abbildung 1: Differenzierung nach räumlich begrenzt und flächig verfügbaren Grundwasserressourcen. Räumlich begrenzt verfügbare Grundwasserressourcen wurden nicht systematisch bundesweit ausgewiesen.

Differenzierung der verfügbaren Grundwasserressource



Grafik: Umweltbundesamt

Für Grundwasserkörper, bei denen „räumlich begrenzt verfügbare Ressourcen“ eine wesentliche Rolle in der Wasserbilanz spielen, wurden diese im Projekt „Wasserschatz Österreichs“ (BMLRT, 2021) ausgewiesen. Hierbei handelt es sich zum Großteil um Ressourcen aus Uferfiltrat, unter bestimmten Voraussetzungen wurden auch Grundwasserressourcen aus Randzuflüssen dieser Kategorie zugeordnet (BMLRT, 2021; vgl. Abbildung 1). Die

Ausweisung „räumlich begrenzt verfügbarer Ressource“ erfolgte dabei nicht bundesweit systematisch, sondern fokussiert auf jene Grundwasserkörper, in denen diese Ressourcen für die mengenmäßige Zustandsbewertung eine wesentliche Bedeutung haben und dazu entsprechende Experteneinschätzungen getroffen werden konnten. In beiden Fällen handelt es sich um Ressourcen, die nur in bestimmten Teilbereichen des jeweiligen Einzel-GWK oder von Gruppen von GWK verfügbar sind. Die räumliche Ausweisung und mengenmäßige Abschätzung erfolgte im Projekt „Wasserschatz Österreichs“ in enger Zusammenarbeit mit den Expertinnen und Experten der Bundesländer sowie unter Einbeziehung vorhandener Regionalstudien.

Insgesamt wurden 403 Mio. m³, d. h. rund 8 % der gesamten verfügbaren Grundwasserressourcen als „räumlich begrenzt verfügbare Ressourcen“ ausgewiesen. Für den Sektor Industrie und Gewerbe sind laut Studie (BMLRT, 2021), mit regional unterschiedlicher Ausprägung, rund 177 Mio. m³ Wasser pro Jahr den Entnahmen aus Brunnen im Nahbereich großer Fließgewässer zuzuordnen, das entspricht rund 20 % der gesamten Brunnenentnahmen. Auch Entnahmen für die Trinkwasserversorgung erfolgen je nach lokalen Gegebenheiten aus derartigen Ressourcen. Im Rahmen der Studie „Wasserschatz Österreichs“ (BMLRT, 2021) wurden für 28 von 133 oberflächennahen Grundwasserkörper Ressourcen, die „räumlich begrenzt verfügbar sind“ ausgewiesen. In zwölf Grundwasserkörpern nahmen diese räumlich begrenzt verfügbaren Ressourcen mehr als die Hälfte der jeweilig verfügbaren Grundwasserressourcen ein (BMLRT, 2021).

Die Ergebnisse der Studie „Wasserschatz Österreichs“ (BMLRT, 2021) zeigen deutlich, dass für eine übergeordnete, langfristige wasserwirtschaftliche Planung eine verbesserte Prüfung und Darstellung der Relevanz der Interaktion von Grundwasser und Oberflächengewässern für **alle** Grundwasserkörper notwendig ist. Insbesondere in Grundwasserkörpern, in denen die verfügbare Grundwasserressource den Wasserbedarf nur knapp deckt, könnten unter geeigneten naturräumlichen und hydrogeologischen Rahmenbedingungen Entnahmen an Bedeutung gewinnen, bei denen Oberflächengewässer gezielt zur Grundwasseranreicherung genutzt werden – vor allem wenn der Wasserbedarf steigt oder die Grundwasserneubildung in Folge des Klimawandels in einzelnen Gebieten abnimmt. Um die entsprechenden wasserwirtschaftlichen Herausforderungen vorausschauend bewältigen zu können und die Grundwasserressourcen nachhaltig zu nutzen, sind Bilanzierungen zu verbessern und die Datengrundlagen zur Interaktion von Oberflächengewässern und Grundwasser sowie zur Herkunft der Entnahmen zu verfeinern.

1.2 Ziel

Für das gegenständliche Projekt wurden in Stakeholder-Workshops gemeinsam mit den Expertinnen und Experten der Bundesländer und des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Klima- und Umweltschutz, Regionen und Wasserwirtschaft (BMLUK) folgende prioritäre wasserwirtschaftliche Fragestellungen definiert:

- Identifizierung jener Grundwasserkörper, in denen eine maßgebliche Interaktion von Grundwasser und Oberflächengewässern vorliegt;
- Identifizierung jener Grundwasserkörper, in denen für die Grundwasseranreicherung genutzte Oberflächengewässer (Uferfiltrat) bereits jetzt einen hohen Anteil an den Ressourcen ausmachen oder künftig an Bedeutung gewinnen können und
- Identifizierung jener Grundwasserkörper, bei denen in der Zustandsbeurteilung diese Grundwasserressourcen vermehrt berücksichtigt werden müssen.
- Eine Ausweisung des zukünftigen Potenzials von Wasserentnahmen aus derartigen Grundwasserressourcen wurde als **Nicht-Ziel** des vorliegenden Projekts definiert.

Die genannten Aspekte sollen auf Ebene der Grundwasserkörper und auf Basis vorhandener Daten und Informationen systematisch ausgewertet und dargestellt werden. Zudem soll die Beschreibung der Grundwasserkörper für eine übergeordnete wasserwirtschaftliche Planung entsprechend vervollständigt und verbessert werden. Dazu wird eine auf bundesweit vorliegenden Daten basierende Methode zur Einordnung (Klassifizierung) von Grundwasserkörpern entwickelt und angewendet. Es wird nur die Interaktion von Fließgewässern und Grundwasser betrachtet, der Einfluss anderer Oberflächengewässer (wie z. B. Seen) bleibt unberücksichtigt.

In ausgewählten Pilotgebieten werden darüber hinaus auf Basis vorliegender, bundesweiter Daten Methoden für eine räumliche Eingrenzung des Interaktionsbereiches von Grund- und Oberflächengewässer getestet und angewendet.

2 Wechselwirkungen zwischen Grundwasser und Fließgewässern

Die relevanten Austauschprozesse zwischen Grundwasser und Fließgewässern, deren zeitliche und räumliche Skalen sowie geeignete Nachweis- und Erhebungsmethoden werden im Folgenden überblicksweise erläutert.

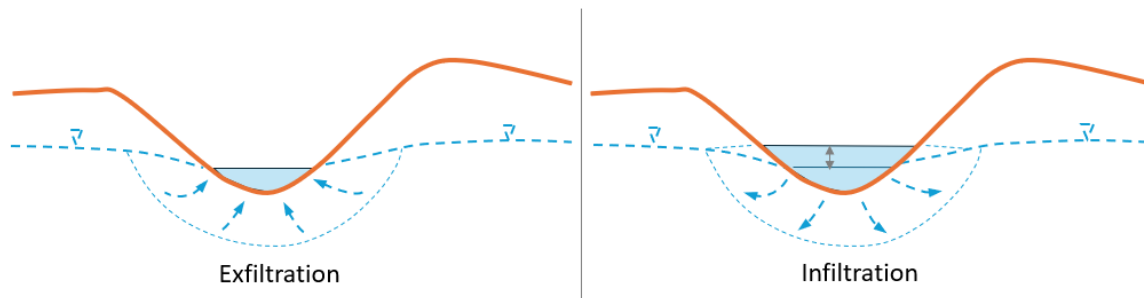
2.1 Prozesse

Die Austauschprozesse (Interaktionen) zwischen Grundwasserkörpern und Fließgewässern können in Abhängigkeit von der Fragestellung auf verschiedenen zeitlichen und räumlichen Skalen sowie mit unterschiedlichen Methoden untersucht werden. Überblicksdarstellungen hierzu sind in der Fachliteratur verfügbar (u.a. Brodie et al., 2007, Barthel und Banzhaf, 2016, Duque et al., 2023, Banerjee und Ganguly, 2023).

Die Intensität und Richtung der Interaktion zwischen Grundwasser und Fließgewässern hängt von den hydraulischen Eigenschaften der Gewässersohle, dem hydraulischen Potenzialgefälle und der Richtung des Potenzialgefälles ab. Daraus ergeben sich verschiedene Möglichkeiten der Interaktion. So können exfiltrierende wie auch infiltrierende Bedingungen vorliegen (Abbildung 2). Dabei bezieht sich Exfiltration auf den Übertritt von Grundwasser in das Fließgewässer und Infiltration auf den Übertritt von Wasser aus Fließgewässern in das Grundwasser.

Ex- und Infiltration können sich in Abhängigkeit von Grundwasserspiegel und Abfluss im Oberflächengewässer zeitlich ändern. Das heißt die exfiltrierenden Bedingungen ändern sich zu infiltrierenden und umgekehrt. Ebenso kann Wasser an einer Seite des Flusses in Grundwasser infiltrieren, während auf der gegenüberliegenden Seite Grundwasser in den Fluss exfiltriert. Diese Vorgänge können sich entlang des Flusslaufs ändern. In anderen Fällen infiltriert Flusswasser in die ungesättigte Zone ohne direkten Kontakt mit dem Grundwasser der gesättigten Zone.

Abbildung 2: Grundwasser-Fließgewässer Interaktionsverhältnisse.



Grafik: Umweltbundesamt 2025

Bei entsprechender Kolmation (d. h. weitgehender Abdichtung der Gewässersohle) kann eine Interaktion auch vollständig unterbunden sein oder nur, bei einem entsprechenden Abfluss, über die Uferböschungen oder das überströmte Vorland erfolgen. Liegt das hydraulische Potenzialgefälle parallel zur Fließrichtung des Fließgewässers, kann sich ein Grundwasserbegleitstrom ohne Austausch mit dem Fließgewässer ausbilden.

2.2 Zeitliche und räumliche Dimensionen

2.2.1 Zeitliche Dimension

Die Erfassung und Analyse der Interaktion von Grundwasser und Fließgewässern kann auf unterschiedlichen Zeitskalen erfolgen (Brodie et al., 2007). Es werden kurz-, mittel- und langfristige Wechselwirkungen unterschieden.

Kurzfristige Wechselwirkungen zwischen Grundwasser und Fließgewässern dauern wenige Stunden bis zu wenigen Monaten. Beispiele dafür sind die Auswirkungen steigender Flusspegel auf den Grundwasserspiegel und angrenzende Auenbereiche in Folge von Niederschlags- oder Schneeschmelzereignissen. Kurzfristige, tägliche und episodische Änderungen der Interaktion können etwa durch Temperaturschwankungen, Verdunstung bzw. Evapotranspiration, oder den Sunk-Schwall-Betrieb eines Kraftwerks entstehen (Brodie et al., 2007).

Mittelfristige Wechselwirkungen zwischen Grundwasser und Fließgewässern dauern mehrere Monate bis Jahre oder betreffen jahreszeitliche Veränderungen. Saisonale Phänomene wie Schneeschmelze, niederschlagsreiche Monate oder Trockenperioden beeinflussen auf

dieser zeitlichen Skala den Basisabfluss von Fließgewässern und den Grundwasserspiegel. Auf mittelfristigen Zeitskalen werden Veränderungen von Wetterlagen und deren Auswirkungen auf Niedrigwasser- und Hochwasserhäufigkeiten betrachtet. Temporäre Wasserhaltungen und Veränderungen der Gewässersohle, wie Kolmation und Suffosion, wirken sich ebenfalls mittel- und langfristig auf die Interaktion von Grundwasser und Fließgewässern aus (Brodie et al., 2007).

Die langfristige Wechselwirkung zwischen Grundwasser und Fließgewässern zeigt sich über Zeiträume von mehreren Jahrzehnten oder länger. Sie umfasst insbesondere klimabedingte Veränderungen und deren Auswirkungen auf die einzelnen Komponenten des Wasserhaushalts. Die Effekte von Landnutzungsänderungen wie Flussbegradigungen, Urbanisierung oder Renaturierung werden ebenso über lange Zeiträume betrachtet. Aufgrund der oft für lange Zeiträume erteilten wasserrechtlichen Bewilligungen, fallen auch die Auswirkungen von Wassernutzungen (Trink- und Nutzwasserversorgung) oder des Betriebs von Wasserkraftwerken häufig unter die langfristigen Effekte.

2.2.2 Räumliche Dimension

Neben der Betrachtung der Interaktion von Fließgewässern und Grundwasser auf unterschiedlichen Zeitskalen (Kapitel 2.2.1) werden verschiedene räumliche Ebenen unterschieden. Brodie et al. (2007) differenzieren beispielweise eine „lokale/punktuelle“ Betrachtung von einer „intermediären“ und einer „regionalen“ Betrachtung (Tabelle 1). Alternative Einteilungen können unter anderem auch folgenden Studien entnommen werden (Barthel und Banzhaf, 2016, Banerjee und Ganguly, 2023).

Tabelle 1: Räumliche Dimension der Interaktion von Grundwasser und Oberflächengewässern.

Räumliche Dimension	Einheit	Größe
punktuell, Messstelle, Entnahmehrunnen lokal	m ²	< 100
Flussabschnitt, Transekt, Flussschleife, Bauvorhaben, Brunnenfeld, Untersuchungsgebiet, Teileinzugsgebiet, intermediär	km ²	1–100
Grundwasserkörper, Einzugsgebiet, regional	km ²	> 100

Quelle: verändert nach Brodie et al., 2007

Auf lokaler Ebene lassen sich physikalische, biologische und chemische Prozesse sehr detailliert untersuchen. Jedoch beschränken sich die Untersuchungsergebnisse auf das Messstellenumfeld. Die lokale bzw. punktuelle Betrachtung eignet sich neben Forschungszwecken (beispielsweise zum Verständnis von Transport- und Abbauprozessen) vor allem für Befundaufklärungen oder im Zusammenhang mit wasserrechtlichen Bewilligungsverfahren. Wasserbilanzbetrachtungen sind auf dieser Ebene nicht möglich, da kein hydrologisch abgegrenztes Einzugsgebiet vorliegt.

Auf intermediärer Ebene werden vor allem für kleinere Einzugsgebiete von Grundwassermessstellen (Teile von Grundwasserkörpern) spezifische, wasserwirtschaftliche Fragestellungen (z. B. zur Abgrenzung von Schutzgebieten) untersucht. Wasserbilanzen können auf dieser Ebene erstellt werden. Die Betrachtung auf einer intermediären Ebene berücksichtigt umfassende hydrogeologische Rahmenbedingungen wie beispielsweise verschiedene geologische Formationen und deren hydraulische Eigenschaften oder deren Zusammenspiel mit der Topografie. In die Betrachtung auf der intermediären Ebene fließen auch signifikante Wassernutzungen und wasserwirtschaftlich relevante Bauwerke ein.

Die regionale Ebene umfasst Grundwasser- oder Oberflächengewässerkörper bzw. Einzugsgebiete von Fließgewässern. Auf dieser Ebene werden insbesondere Fragestellungen der Wasserrahmenrichtlinie (RL 2000/60/EG), Grundwasserrichtlinie (RL 2006/118/EG) und des Wasserrechtsgesetzes (WRG 1959) und der übergeordneten wasserwirtschaftlichen Planung adressiert. Herausfordernd für die Betrachtung auf regionaler Ebene sind häufig die Heterogenität von Daten oder deren unterschiedliche Verfügbarkeit. Auf regionaler Ebene gewinnen zudem sozioökonomische Aspekte und auch technische Aspekte an Bedeutung. Beispielsweise erfolgt auf regionaler Ebene eine Beeinflussung der Interaktion von Grund- und Oberflächengewässern durch hydraulische Maßnahmen, Gewässerüberleitungen und weitere Faktoren.

Die Bedeutung des Betrachtungsmaßstabs wird in der Literatur umfassend analysiert (Barthel und Banzhaf, 2016).

2.3 Nachweis- und Erhebungsmethoden

Für die Untersuchung der Interaktion zwischen Grundwasser und Fließgewässern stehen verschiedenste analytische Methoden und Erhebungsmethoden zur Verfügung. Die

Auswahl der Methode hängt dabei von den zeitlichen Aspekten und dem räumlichen Betrachtungsmaßstab ab (Tabelle 2).

Tabelle 2: Methodengruppen und deren zeitliches und räumliches Anwendungsgebiet.

Art der Methoden	zeitliches Anwendungsfeld	räumliches Anwendungsfeld
Hydrogeologische Kartierungs- und Auswertemethoden	kurz- bis mittelfristig	lokal - regional
Geohydrologische Methoden	kurz- bis mittelfristig	lokal - regional
Sickerwassermessung	kurzfristig	lokal
Hydrografische Methoden	mittel- bis langfristig	intermediär - regional
Wasserbilanzen	kurz- bis mittelfristig	intermediär - regional
Modellierung	mittel- bis langfristig	intermediär - regional
künstliche Markierungsstoffe	kurz- bis mittelfristig	lokal bis intermediär
Hydrochemie und Umweltracer (Hauptinhalts- & Spurenstoffe, Schadstoffe, Wasserisotope, Temperatur)	kurz- bis mittelfristig	lokal bis regional
Wassertemperatur	kurz- bis mittelfristig	lokal
Geophysik und Fernerkundung	kurzfristig	lokal bis regional

Quelle: verändert nach Brodie et al., 2007, Banerjee und Ganguly, 2023 und Duque et al., 2023.

Hydrogeologische Kartierungs- und Auswertemethoden ermöglichen die Identifikation von Grundwasserleitern und Fließrichtungen sowie die Eingrenzung von Bereichen, in denen ein Austausch mit Fließgewässern potenziell möglich ist. Mit geohydrologischen Methoden können hydraulische Eigenschaften wie Durchlässigkeit und Speichervermögen von Grundwasserleitern ermittelt werden, die für die Interaktion zwischen Grundwasser und Fließgewässern relevant sind. Sickerwassermessungen liefern direkte Hinweise auf den Eintritt von Flusswasser in das Grundwasser. Abflussmessungen und Pegelaufzeichnungen (als hydrografische Methoden) ermöglichen die (quantitative) Bestimmung von Exfiltration und Infiltration. Wasserbilanzmethoden erlauben die Quantifizierung der Austauschprozesse auf regionaler Ebene. Mit künstlichen Markierungsstoffen können Fließwege lokal bis regional nachverfolgt werden. Umweltracer ermöglichen Rückschlüsse auf die Herkunft von Grundwasser und Mischungsverhältnisse. Auf Basis von Wassertemperaturmessungen können Interaktionszonen eingegrenzt werden. Nicht-invasiv können mit geophysikalischen Verfahren oder Methoden der Fernerkundung Substrat- oder Geländestrukturen sichtbar gemacht

werden, die Hinweise auf das Potenzial einer Interaktion von Grund- und Fließgewässern liefern.

Zahlreiche Studien (u.a. Brodie et al., 2007, Hölting und Coldewey, 2013, Barthel und Banzhaf, 2016, Duque et al., 2023) bieten eine zusammenfassende Darstellung der Methoden einschließlich einer Diskussion der Vor- und Nachteile sowie deren zeitliche und räumliche Anwendung.

3 Klassifikation der Grundwasserkörper

3.1 Begriffsbestimmungen

In Österreich werden rund 40 % des gesamten Wasserbedarfs aus dem Grundwasser gedeckt. Ein relevanter Teil der gesamten Brunnenentnahmen wird dabei im Nahbereich großer Fließgewässer entnommen (BMLRT, 2021). Der Pumpbetrieb von Brunnen in der Nähe der Vorfluter bewirkt eine Infiltration von Anteilen des Flusswassers durch die Ufer- oder Flusssohle in den Grundwasserleiter und dient somit der Anreicherung des Grundwassers. Die physikalischen, chemischen und biologischen Prozesse entlang des Fließweges wirken dabei als natürliche Filter- und Reinigungsmechanismen. Sie führen in der Regel zu einer Verbesserung der Qualität des infiltrierten Wassers aus Fließgewässern, das so zu Grundwasser wird und als **Uferfiltrat** bezeichnet gewonnen wird. Auch Entnahmen für die Trinkwasserversorgung erfolgen je nach lokalen Gegebenheiten aus derartigen Ressourcen, unterliegen dann aber häufig noch einer weiteren Aufbereitung. Zudem interagieren Fließgewässer und Grundwasser unabhängig von Pumpvorgängen an Brunnen. Natürliche Infiltration von Flusswasser in das Grundwasser wird durch eine gut durchlässige und wenig verblockte Ufer- oder Flusssohle (d. h. das Fehlen von Kolmation und Abdichtungen) und einen ausreichend großen hydraulischen Druckunterschied zwischen Fließgewässer und Grundwasserleiter begünstigt. Sowohl natürliches als auch künstlich induziertes Uferfiltrat weist in der Regel Unterschiede in der hydrochemischen, isotopischen, thermischen, mikrobiellen oder faunistischen Zusammensetzung im Vergleich zu Grundwasser auf, welches flächig durch Niederschläge neugebildet wurde (z. B. Irvine et al., 2024, Schmidt & Hahn, 2012).

Im vorliegenden Projekt werden Grundwasserressourcen, die durch Oberflächengewässer – natürlich oder künstlich induziert – als Uferfiltrat angereichert werden, als „**oberflächengewässergeprägte Grundwasserressource**“ bezeichnet. Während mit dem Begriff **Uferfiltrat** nutzungsbezogene Aspekte erfasst werden, soll mit dem Begriff „oberflächengewässergeprägte Grundwasserressource“ die Genese des Grundwassers in den Vordergrund gestellt werden.

3.2 Untersuchungsumfang

3.2.1 Oberflächennahe Einzelgrundwasserkörper

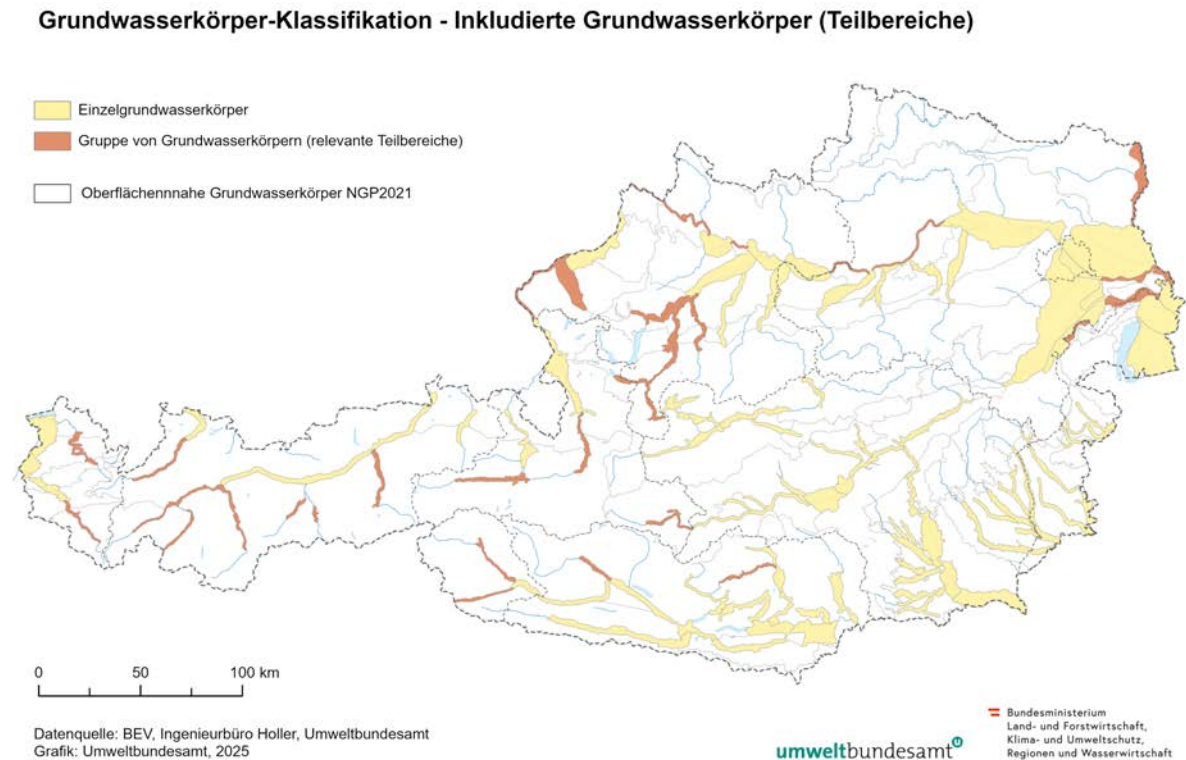
Zur Klassifizierung wurden **alle** 65 oberflächennahen Einzelgrundwasserkörper (Einzel-GWK) des Grundwasserleitertyps Porengrundwasser gemäß NGP 2021 (BMLRT, 2022) für die Klassifizierung herangezogen. Dementsprechend umfasst die erarbeitete Klassifikation auch Einzel-GWK bei denen oberflächengewässergeprägte Grundwasserressourcen **nicht maßgeblich** sind. Zehn der 65 Einzel-GWK wurden zudem fachlich sinnvoll in insgesamt 15 weitere Teilbereiche untergliedert. Abgrenzungskriterien waren hierbei die unterschiedlichen hydrologischen bzw. hydrogeologischen Gegebenheiten mit Auswirkungen auf eine etwaige Interaktion von Grundwasser und Fließgewässern. Insgesamt wurden 80 Einzel-GWK und Teilbereiche bearbeitet.

3.2.2 Relevante Bereiche in Gruppen von Grundwasserkörpern

In die Auswertung wurden ausschließlich Gruppen von Grundwasserkörpern (Gruppen von GWK) einbezogen, bei denen die Interaktion zwischen Grundwasser und Fließgewässern nach derzeitigem Kenntnisstand relevant ist bzw. wurden deren relevante Teilbereiche aufgenommen. Voraussetzung war, dass Porengrundwasserbereiche als „Grundwassergebiete“ in der WebGIS-Applikation eHYD (ehyd.gv.at) ausgewiesen sind und zugleich eine Interaktion mit einem Fließgewässer ab einer definierten Niederwasserführung (Q95) (vgl. Kapitel 3.3.5 und 0) möglich ist. Insgesamt wurden 34 **relevante Teilbereiche** von 15 oberflächennahen Gruppen von GWK in die Klassifikation aufgenommen.

Die in die GWK-Klassifikation aufgenommenen Einzelgrundwasserkörper und relevanten Bereiche in Gruppen von GWK sind in Abbildung 3 kartografisch dargestellt.

Abbildung 3: Untersuchungsumfang – Einzel-GWK und relevante Teilbereiche von Gruppen von GWK.



Quelle: BEV, Ingenieurbüro Holler, Umweltbundesamt

3.3 Datengrundlagen

Im Folgenden werden die für die Analysen verwendeten Datengrundlagen aufgeführt und erläutert.

3.3.1 Grundwasserkörper und Grundwassergebiete

Grundwasserkörper¹ und Grundwassergebiete² bilden die räumliche Grundlage für die gegenständliche Klassifizierung.

¹ [Oberflächennahe Grundwasserkörper, NGP 2021 - Offene Daten Österreich | data.gv.at](https://data.gv.at)

² [eHYD – der Zugang zu hydrographischen Daten Österreichs](#)

Grundwasserkörper sind wasserwirtschaftliche Bewirtschaftungseinheiten und abgegrenzte Grundwasservolumen innerhalb eines oder mehrerer Grundwasserleiter (§ 30c Abs. 3 Z 1 WRG 1959). Die Grundwasservorkommen Österreichs werden durch 142 Grundwasserkörper und Gruppen von GWK erfasst. Insgesamt 65 Grundwasserkörper werden als Einzel-GWK beschrieben, die überwiegend als Porengrundwasserleiter in quartären Sedimenten ausgebildet sind. Andere oberflächennahe Grundwasserkörper wurden zu 68 Gruppen von GWK zusammengefasst und können dem Poren-, Kluft- oder Karstgrundwasserleitertyp zugeordnet werden. Im Rahmen der Klassifizierung wurde auch die Flächengröße der einzelnen Grundwasserkörper berücksichtigt. In Österreich gibt es zudem neun Tiefen Grundwasserkörper, die für die gegenständliche Fragestellung nicht betrachtet werden.

Für die im Zusammenhang mit der Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL; RL 2000/60/EG) erfolgte Abgrenzung von Grundwasserkörpern (BMLFUW, 2004) wurden vorhandene Kenntnisse zu den (Poren)Grundwassergebieten (hydrologisch oder geographisch abgrenzbare Gebiete mit einem Grundwasservorkommen) berücksichtigt. Hierbei handelt es sich um Teilbereiche von Grundwasserkörpern, die insbesondere in den Karst- und Kluftgrundwasserleitern relevante Bereiche entlang von Fließgewässern abgrenzen.

3.3.2 Gesamtgewässernetz

Das Gesamtgewässernetz Österreich (GGN)³ beinhaltet alle für das Projekt relevanten Informationen zur Lage der Fließgewässer und Größe der Einzugsgebiete. Die Länge des Hauptvorfluters im Grundwasserkörper wurde auf Grundlage des Gesamtgewässernetzes als Kennzahl für die Klassifizierung bestimmt.

3.3.3 Hydrogeologische Karte 1:500.000 und Geologische Karte

Zur grundsätzlichen Einschätzung der hydrogeologischen Verhältnisse und einer etwaigen Interaktion von Oberflächengewässern und Grundwasser wurde die Hydrogeologische Karte der Republik Österreich 1:500.000 und die Geologischen Karten 1:25.000 und 1:50.000 der GeoSphere Austria herangezogen⁴.

³ [Gesamtgewässernetz - Fließgewässer \(Routen\) - Offene Daten Österreich | data.gv.at](https://data.gv.at)

⁴ [GeoSphere Austria Web Map Services](https://www.geosphere.austria.at)

3.3.4 Verfügbare Grundwasserressource

Die nachhaltig nutzbare („verfügbare“) Grundwasserressource ist jener Anteil der Grundwasserneubildung, der dauerhaft und ohne negative Auswirkungen, d. h. ohne Übernutzung oder Beeinträchtigung von Ökosystemen, aus dem Grundwasser entnommen werden kann. Für die Klassifizierung wurden Daten des NGP 2021 (BMLRT, 2022) als Kennzahlen herangezogen.

3.3.5 Hydrographische Daten und Niederwasserkennwerte

Für die Ermittlung von Niederwasserkennwerten (Mittlere Hüllwerte) wurden aktuell verfügbare Daten des Hydrographischen Jahrbuchs⁵ herangezogen. Auf die Generierung von Werten aus einheitlichen Zeitreihen wurde verzichtet, da für die Klassifizierung die Größenordnung der Niederwasserkennwerte relevant ist, die Variabilität bei unterschiedlichen Zeitreihen erschien für die Fragestellung vernachlässigbar.

Das Verhältnis der Niederwasserführung der Hauptvorfluter zur verfügbaren Grundwasserressource im Grundwasserkörper liefert Hinweise auf das Potenzial eines zusätzlichen Beitrags aus Oberflächengewässer für die Grundwasserneubildung. Nur Fließgewässer, deren Niederwasserabfluss im Verhältnis zur verfügbaren Grundwasserressource hoch ist, können einen relevanten zusätzlichen Beitrag zur Grundwasserverfügbarkeit leisten. Kleine Fließgewässer mit niedrigem Abfluss haben dagegen kaum Einfluss auf die verfügbare Grundwasserressource. Zudem kann erhöhter Wasserentzug durch flussnahe Grundwasserentnahmen für Fließgewässer in Niederwasserzeiten problematisch werden (z. B. durch Unterschreitung des ökologischen Mindestwasserabflusses). Auch deshalb nimmt die Klassifizierung auf Niederwasserkennwerte Bezug.

Für die Bestimmung des Niedrigwasserkennwertes Q95 (Durchfluss, der an 95 % aller Tage erreicht oder überschritten wird) wurde jeweils der im Grundwasserkörper lagemäßig in etwa mittige Pegel verwendet bzw. der zum Grundwasserkörper nächstliegende Pegel am Hauptvorfluter.

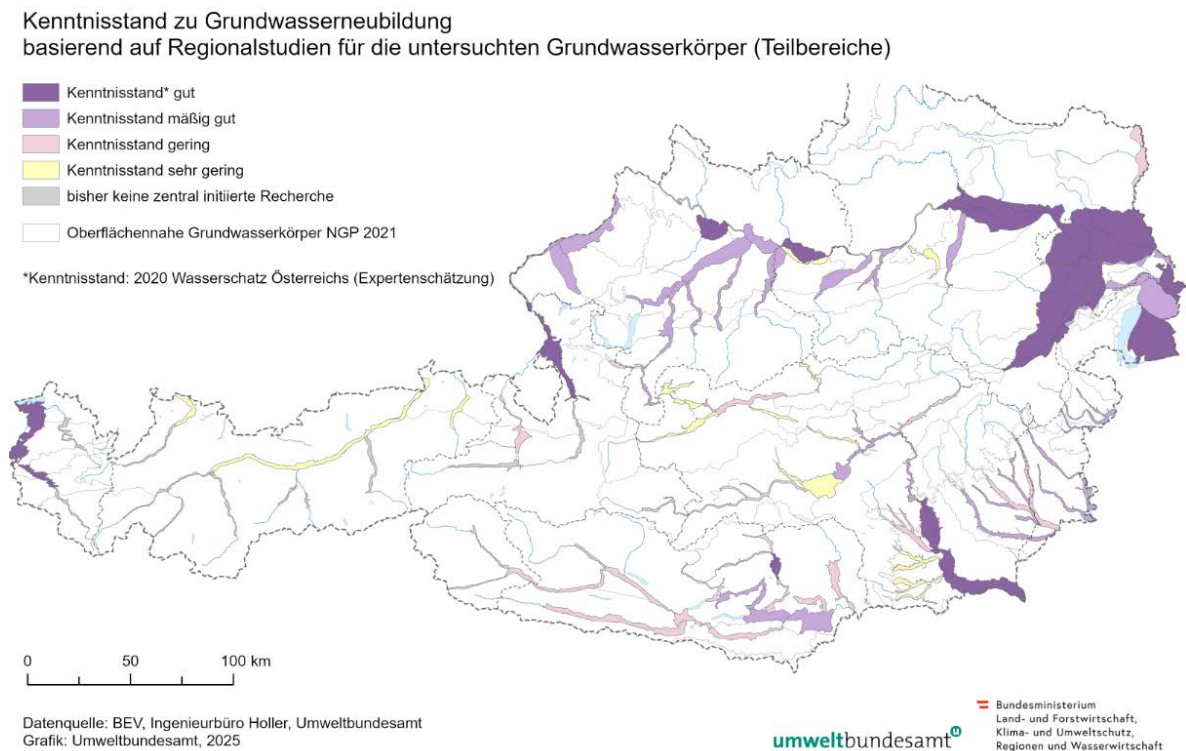
3.3.6 Regionalstudien Österreich

Für die oberflächennahen Einzel-GWK wurden zuletzt für die Studie „Wasserschatz Österreichs“ (BMLRT, 2021) und den NGP 2021 (BMLRT, 2022) in den Bundesländern vorhandene

⁵ [Hydrographisches Jahrbuch - Startseite](#)

Regionalstudien erhoben und im Hinblick auf die Grundwasserneubildung ausgewertet. Bei den Gruppen von GWK wurden Regionalstudien bisher nur vereinzelt berücksichtigt – vor allem bei jenen mit „Ressourcen, die nur in bestimmten Bereichen nutzbar sind“ (z. B. GK100200, GK100011). Im Zuge der gegenständlichen Arbeit wurden die vorliegenden Studien (Erhebungsstand „Wasserschatz Österreichs“) nach Einschätzung des Projektteams hinsichtlich des Kenntnisstandes zu Grundwasserneubildung in vier Klassen eingeteilt (Kenntnisstand „sehr gering“, „gering“, „mäßig gut“ und „gut“) sowie kartografisch (Abbildung 4) aufbereitet.

Abbildung 4: Kenntnisstand zu Grundwasserneubildung basierend auf Regionalstudien für die untersuchten Grundwasserkörper (und relevanten Teilbereiche).



Quelle: BEV, Ingenieurbüro Holler, Umweltbundesamt

Bei den vorhandenen Studien handelt es sich um hydrogeologische Untersuchungen, Grundwassermodelle, Studien zur Grundwasserhöffigkeit, Untersuchungen zu Schutz- und Schongebieten oder zur Errichtung von Wassergewinnungsanlagen und ähnliches. Diese Studien bilden eine wesentliche Basis für die Ermittlung der Grundwasserneubildung und der verfügbaren Grundwasserressourcen der Einzel-GWK. Sie stellen in der Regel den besten Wissensstand (mit Stand 2021) zu den komplexen und in jedem Porengrund-

wasserkörper sehr unterschiedlichen, spezifischen Verhältnissen dar. Die Verfügbarkeit und der Detaillierungsgrad solcher Studien ist jedoch für die einzelnen Grundwasserkörper sehr unterschiedlich. In der Regel sind die Grundwasserkörper mit größerer wasserwirtschaftlicher Bedeutung und höherem Nutzungsgrad auch besser dokumentiert (Abbildung 4). Eine aktualisierte, systematische Erhebung von Grundwassermodellstudien erfolgt im Zusammenhang mit der Erarbeitung des NGP 2027.

Aus den Regionalstudien wurden im gegenständlichen Projekt insbesondere die Informationen zu einer etwaigen Infiltration von Oberflächengewässern in den jeweiligen Grundwasserkörper berücksichtigt.

3.3.7 Lage von Entnahmen

Zur Unterstützung und Plausibilisierung der Klassifizierung wurde auch die Lage der Entnahmestellen berücksichtigt, wie sie in den Wasserbüchern – den öffentlichen Registern bewilligungspflichtiger Wassernutzungen nach § 124–126 Wasserrechtsgesetz (BGBl. Nr. 215/1959 idgF.) – erfasst sind.

3.4 Vorgangsweise

Für die im Untersuchungsumfang erfassten Grundwasserkörper wurde nach einheitlichen Kriterien geprüft, inwieweit oberflächengewässergeprägte Grundwasserressourcen die Grundwasserneubildung beeinflussen und welche Bedeutung Uferfiltrat für die Wassernutzungen hat. Die gewählten Kriterien bildeten die Grundlage für eine systematische Klassifikation der Grundwasserkörper, die die quantitative Bedeutung dieser Grundwasserressourcen nachvollziehbar für alle Grundwasserkörper oder relevante Teilbereiche des Untersuchungsumfangs abbildet. Solche Klassifikationen sind zwangsläufig generalisierend und erfassen die Eigenschaften der Grundwasserkörper in verallgemeinerter Form auf Basis des derzeitigen Kenntnistanandes.

Die Klassifizierung erfolgte auf Basis **bundesweit** vorliegender Daten (vgl. Kapitel 3.3) und Regionalstudien, die auf Bundesebene für den jeweiligen Grundwasserkörper verfügbar sind (Abbildung 4). Der Entwurf der Klassifikation wurde mit den wasserwirtschaftlichen Expertinnen und Experten der Bundesländer diskutiert und auf Basis der Verbesserungsvorschläge adaptiert.

Die Klassifizierung der Grundwasserkörper erfolgte auf Grundlage einer differenzierten Betrachtung:

- **in Bezug auf die Relevanz oberflächengewässergeprägter Grundwasserressourcen** (die Genese des Grundwassers) (Kapitel 3.4.1) und
- **im Hinblick auf die Relevanz von Uferfiltrat für Wassernutzungen** (nutzbare bzw. verfügbare GW-Ressourcen) (Kapitel 3.4.2).

Die Klassifizierung wurde getrennt durchgeführt nach Art der Grundwasserkörper:

- für alle oberflächennahen Einzel-GWK bzw. Teilbereiche (Kapitel 3.5.1.1 und 3.5.2.1) sowie
- für relevante Porengrundwasserbereiche in den oberflächennahen Gruppen von GWK (Kapitel 3.5.1.2 und 3.5.2.2).

3.4.1 Vorgangsweise für die Ermittlung der Relevanz oberflächengewässergeprägter Grundwasserressourcen

3.4.1.1 Einzel-GWK

Die Ermittlung der Relevanz oberflächengewässergeprägter Grundwasserressourcen für die Einzel-GWK bzw. Teilbereiche erfolgte schrittweise wie nachfolgend erläutert. Folgende Kriterien wurden systematisch überprüft:

1. Schritt: Interaktionsmöglichkeit zwischen Grundwasser und Fließgewässern

Zunächst wurde unter Berücksichtigung der Regionalstudien geprüft, ob im Grundwasserkörper (oder in Teilen davon) eine Interaktion zwischen Grundwasser und Fließgewässern:

- **grundsätzlich ausgeschlossen** werden kann (Klasse **A0**) oder aber
- **grundsätzlich möglich** ist (Klasse **B**) (Tabelle 3).

Tabelle 3: Klassen der Einzel-GWK bzw. Teilbereiche in Bezug auf oberflächengewässer-geprägte Grundwasserressourcen.

Kriterium	Klasse	Bezeichnung
Kommunikation GW-OW	A	Keine Kommunikation GW-OW
	B	Kommunikation GW-OW gegeben
Wasserführung	A0	GWK ohne ehebliche Verbindung zu Fließgewässern
	B1.0	GWK an kleinen Fließgewässern
	B2	GWK an mittelgroßen Fließgewässern
	B3	GWK an großen bis sehr großen Fließgewässern
	B4	GWK mit komplexen Verhältnissen und Sonderfälle
Intensität des Austausches	B2.0, B3.0	Keine maßgebliche Beeinflussung des GWK durch Fließgewässer
	B2.1, B3.1	Zumindest bereichsweiser intensiver Austausch zwischen GWK und Fließgewässern
Talbreite und räumliche Ausdehnung des Austausches	B2.1.1, B3.1.1	Schmale Flusstäler mit Austausch GW-OW über mehr oder weniger gesamte Talbreite
	B2.1.2, B3.1.2	Breitere Täler mit Austausch GW-OW in Teilbereichen des GWK

Quelle: Ingenieurbüro Holler, Umweltbundesamt, Ämter der Landesregierungen

Auf allen Ebenen der Klassifikation steht „0“ in der Kurzbezeichnung der jeweiligen Klasse dafür, dass **keine** maßgebliche Beeinflussung des Grundwasserkörpers durch Oberflächengewässer anzunehmen ist. Zwei Porengrundwasserkörper: Parndorfer Platte [LRR] und Seewinkel [LRR] sind der Klasse A0 zuzuordnen. Alle anderen Einzel-GWK fallen in die Klasse B.

2. Schritt: Wasserführung

Anschließend wurden die Grundwasserkörper über die Niederwasserführung (Q95), das Verhältnis von Niederwasserführung zur verfügbaren Grundwasserressource ($Q95/GW_{\text{verfügbar}}$) und das Verhältnis von Einzugsgebiet des Hauptvorfluters zur Fläche des GWK nach Fließgewässergrößen unterteilt (Tabelle 4):

- GWK an **kleinen** Fließgewässern (Klasse **B1.0**),
- GWK an **mittelgroßen** Fließgewässern (Klasse **B2**),
- GWK an **großen bis sehr großen** Fließgewässern (**B3**).

- Information zur verfügbaren Grundwasserressource basiert auf den Ergebnissen des 3. NGP 2021.

Tabelle 4: Klassifikation der Wasserführung der mit dem Grundwasserkörper in Verbindung stehenden Oberflächengewässer (Fließgewässer).

Klasse	Fließgewässergröße	Q95	Q95/GW _{verfügbar}	Einzugsgebiet des Hauptvorfluters
B1.0	klein	< 1 m ³ /s	–	entspricht GWK oder einem Teil des GWK
		1 bis 3 m ³ /s	≤ 15	entspricht GWK oder einem Teil des GWK
B2	mittelgroß	3 bis 6 m ³ /s	≥ 9	reicht deutlich über GWK hinaus
		1 bis 3 m ³ /s	> 15	reicht deutlich über GWK hinaus
B3	groß bis sehr groß	6 bis 10 m ³ /s	≥ 15	reicht deutlich über GWK hinaus
		> 10 m ³ /s	≥ 9	reicht deutlich über GWK hinaus
B4	Komplexe Verhältnisse und Sonderfälle	–	–	–

Quelle: Ingenieurbüro Holler, Ämter der Landesregierungen, Umweltbundesamt

Erhöhter Wasserentzug durch flussnahe Grundwasserentnahmen kann für Fließgewässer in Niederwasserzeiten problematisch werden (z. B. Unterschreitung des ökologischen Mindestwasserabflusses), daher wurde als Maß für die „Größe“ der Fließgewässer das Q95 herangezogen. Zudem können nur Fließgewässer, deren Niederwasserabfluss im Verhältnis zur verfügbaren Grundwasserressource hoch ist, einen relevanten zusätzlichen Beitrag zur Grundwasserverfügbarkeit leisten. Kleine Flüsse mit niedrigem Abfluss haben dagegen kaum Einfluss auf die verfügbare Grundwasserressource.

In diesem Schritt wurden zudem „Grundwasserkörper mit komplexen Verhältnissen und Sonderfälle“ in der Klasse **B4** unabhängig von der Fließgewässergröße zusammengefasst (Tabelle 3). Bei Grundwasserkörpern dieser Klasse liegt jedenfalls ein maßgeblicher Einfluss durch Fließgewässer vor. Allerdings bestehen komplexe Wechselwirkungen, z. B.:

- zwischen dem GWK und verschiedenen (mehreren größeren) Fließgewässern,
- bei künstlich gesteuerten Grundwasser-Regimen im GWK (z. B. Kraftwerksbetrieb),
- oder zwischen verschiedenen Grundwasserstockwerken und Fließgewässern.

Beispielsweise versickert bei einem der Sonderfälle (GK100068 Tiebel [DRA]) Wasser aus einem Fließgewässer (Gurk) und tritt benachbart an Quellen aus, die wiederum eine anderes Oberflächengewässer (Tiebel) speisen.

3. Schritt: Intensität des Austausches (Regionalstudien)

Auf Basis von Detailinformation aus den Regionalstudien wurde ferner überprüft, ob:

- bereichsweise intensiver Austausch zwischen GWK und Fließgewässern gegeben ist (Wechsel von Ex- und Infiltration), wie in den Klassen **B2.1** und **B3.1** oder ob
- keine maßgebliche Beeinflussung des GWK durch Fließgewässer vorliegt (nur Exfiltration in die Vorfluter; Kolmation, abgedichtete Stauhaltungen und dergleichen), wie in den Klassen **B2.0** und **B3.0** (Tabelle 3).

4. Schritt: Talbreite und räumliche Ausdehnung des Austauschs

Wenn eine maßgebliche Beeinflussung des Grundwasserkörpers durch Fließgewässer anzunehmen ist, wurde weiter unterschieden, wie weitreichend der Austausch möglich ist. Das heißt:

- **bei schmalen Flusstälern** mit einer entsprechenden Talfüllung die weitgehend über die gesamte Talbreite einen Austausch ermöglicht, erfolgte die Zuordnung zu den Klassen **B2.1.1** bzw. **B3.1.1**
- **bei breiten Tälern und in größeren Becken**, wo ein Austausch nur in Teilbereichen möglich ist, erfolgte die Zuordnung zu den Klassen **B2.1.2** bzw. **B3.1.2** (Tabelle 3).

Auf diese Weise wurden 80 Einzel-GWK bzw. deren Teilbereiche hinsichtlich der Relevanz oberflächengewässergeprägter Grundwasserressourcen klassifiziert (3.5.1.1).

3.4.1.2 Relevante Bereiche in Gruppen von GWK

Die Ermittlung der Relevanz oberflächengewässergeprägter Grundwasserressourcen in den Porengrundwasserbereichen der Gruppen von GWK (Tabelle 6) erfolgte auf ähnliche Weise wie bei den Einzel-GWK durch schrittweise Überprüfung folgender Kriterien:

Schritt 1: Auswahl relevanter Bereiche in den Gruppen von GWK

In die Auswertung einbezogen wurden ausschließlich Teilbereiche von Gruppen von GWK, die eine Relevanz für die Interaktion zwischen Grundwasser und Oberflächengewässern aufweisen. Für die Berücksichtigung mussten die im Folgenden genannten Kriterien gleichzeitig erfüllt sein:

- ein „Grundwassergebiet“ ist ausgewiesen (ehyd.gv.at),
- in der Österreichischen Hydrogeologischen Karte (HAÖ⁶) ist ein zusammenhängendes Kies-Sand Vorkommen (Porengrundwasserleiter) in diesem Grundwassergebiet ausgewiesen,
- Q95 des Hauptvorfluters > 2 m³/s.

Die Durchbruchtäler der Donau wurden unabhängig von den ersten beiden Kriterien in der Klassifikation berücksichtigt. Auf Grund der festgelegten Kriterien kommen keine Klassen vor, bei denen in der Kurzbezeichnung „0“ aufscheint. Nur ein relevanter Teilbereich einer Gruppe von GWK wurde der Klasse B4 („komplexe Verhältnisse und Sonderfälle“) zugeordnet. Von den 15 auf diese Weise identifizierten Gruppen von GWK wurden sieben weiter differenziert, sodass insgesamt 34 Gruppen von GWK bzw. relevante Teilbereiche in die Klassifikation einbezogen wurden.

2. Schritt: Wasserführung

In diesem Schritt wird (wie bei den Einzel-GWK) auf die Wasserführung („Größe“) des mit dem relevanten Bereich in Verbindung stehenden Oberflächengewässers Bezug genommen. Als Maß für die „Größe“ der Fließgewässer wurde wiederum das Q95 herangezogen. Die Kriterien für die Abgrenzung sind in Tabelle 5 dargestellt.

⁶ Hydrologischer Atlas Österreichs: ehao.boku.ac.at

Tabelle 5: Klassifikation der Wasserführung der mit dem Grundwasserkörper in Verbindung stehenden Fließgewässer für relevante Teilbereiche von Gruppen von GWK.

Klasse	Kriterium Q95	Einzugsgebiet
B2 - GWK an mittelgroßen Fließgewässern	Q95 von > 2 bis 6 m ³ /s	–
	–	Einzugsgebiet des Hauptvorfluters reicht deutlich über GWK hinaus
B3 - GWK an großen bis sehr großen Fließgewässern	Q95 >6 m ³ /s	–
	–	Einzugsgebiet des Hauptvorfluters reicht deutlich über GWK hinaus

Anmerkung: Die Verhältniszahlen von Q95 zur verfügbaren Grundwasserressource können für die relevanten Bereiche der Gruppen von GWK nicht ermittelt werden, da für diese bisher keine verfügbare Grundwasserressource ermittelt wurde.

Quelle: Ingenieurbüro Holler, Umweltbundesamt

3. Schritt: Intensität des Austausches (Regionalstudien)

Auf Basis von Detailinformationen aus den Regionalstudien wurde weiters überprüft, ob der Austausch zwischen Grundwasser und Oberflächengewässern über mehr oder weniger weite Bereiche möglich ist:

- Die Zuordnung zu den Klassen **B2.1.1** bzw. **B3.1.1** erfolgte bei schmalen Flusstälern mit einer entsprechenden Talfüllung, die weitgehend über die gesamte Talbreite einen Austausch ermöglicht.
- Die Zuordnung zu den Klassen **B2.1.2** bzw. **B3.1.2** erfolgte, wenn dies nur in Teilbereichen möglich ist, wie dies meist bei breiten Tälern und in größeren Becken der Fall ist.

Insgesamt wurden 34 relevante Teilbereiche in den Gruppen von GWK hinsichtlich der Relevanz von oberflächengewässergeprägten Grundwasserressourcen klassifiziert (3.5.1.2). Aufgrund der entsprechenden Vorselektion sind alle diese Bereiche Klassen mit intensivem Austausch zwischen Grundwasserkörper und Fließgewässer (B2.1.1, B2.1.2, B3.1.1, B3.1.2) zugeordnet (Tabelle 6).

Tabelle 6: Klassifizierung relevanter Teilbereiche von relevanten Gruppen von GWK in Bezug auf oberflächengewässergeprägte Grundwasserressourcen (Klasse B – Interaktion möglich).

Kriterium	Klasse	Bezeichnung
Kommunikation GW-OW	B	Kommunikation GW-OW gegeben
Wasserführung	B2	GWK an mittelgroßen Fließgewässern
	B3	GWK an großen bis sehr großen Fließgewässern
Intensität des Austausches	B2.1, B3.1	Zumindest bereichsweiser intensiver Austausch zwischen GWK und Fließgewässern
Talbreite und räumliche Ausdehnung des Austausches	B2.1.1, B3.1.1	Schmale Flusstäler mit Austausch GW-OW über mehr oder weniger gesamte Talbreite
	B2.1.2, B3.1.2	Breitere Täler mit Austausch GW-OW in Teilbereichen des GWK

Quelle: Ingenieurbüro Holler, Umweltbundesamt

3.4.2 Vorgangsweise für die Ermittlung der Relevanz von Uferfiltrat für die Wassernutzung

Neben der Klassifikation von Grundwasserkörpern im Hinblick auf eine Relevanz von oberflächengewässergeprägten Grundwasserressourcen im Zusammenhang mit der Genese des Grundwassers, erfolgte zudem eine Betrachtung der Grundwasserkörper hinsichtlich der Relevanz von Uferfiltrat für die Wassernutzung.

Bei dieser nutzungsbezogenen Betrachtung wurde zunächst davon ausgegangen, dass es bei allen Einzel-GWK und Teilbereichen von Einzel-GWK der Klassen B2.1, B3.1 und B4 sowie bei allen relevanten Bereichen der Gruppen von GWK der Klassen B2.1 und B3.1 auch möglich ist, die von Oberflächengewässern geprägten Ressourcen aktiv zu nutzen, d. h. in Form von ufernahen Brunnen als Uferfiltrat zu mobilisieren. Dabei wurde keine Unterscheidung getroffen, ob derartige Nutzungen schon bestehen, oder ob es sich um ein Potenzial für künftige (Mehr-)Nutzungen von Grundwasser aus Uferfiltrat handelt. Soweit lt. Stellungnahme der zuständigen Bundesländer nur mehr ein eingeschränktes Potenzial für künftige Wassernutzungen gegeben ist, wurde dies in der Klassifikation berücksichtigt.

Die Klassifikation der Relevanz von Uferfiltrat für die Wassernutzung erfolgt in folgenden Ausprägungen:

- hoch
- mäßig bis eingeschränkt
- keine bis sehr eingeschränkt

Die Klassen A0, B1.0, B2.0 und B3.0 (mit keiner maßgeblichen Beeinflussung des Grundwasserkörpers durch Oberflächengewässer in der Grundwassergenese) werden hinsichtlich einer Relevanz von Uferfiltrat für die Wassernutzung in die Klasse „keine bis eingeschränkte Relevanz“ eingeordnet.

Auf Grund der geringeren Wasserführung der Oberflächengewässer in Klasse B2 (GWK an mittelgroßen Fließgewässern mit Q_{95} bis $6 \text{ m}^3/\text{s}$) wird hier davon ausgegangen, dass auf Grund gewässerökologischer Anforderungen die aktive Wassernutzung mengenmäßig nur eingeschränkt möglich ist, daher erfolgt generell die Zuordnung zu „keine bis eingeschränkte Relevanz“ für die Wassernutzung.

Bei den Klassen B3.1 und B4 wurde zunächst generell von einer „hohen Relevanz“ für die Wassernutzung ausgegangen, das heißt, es wurde angenommen, dass mengenmäßig bedeutende aktive Wasserentnahmen aus oberflächengewässergeprägten Grundwasserressourcen möglich sind. In weiterer Folge wurde diese Zuordnung mit den Expertinnen und Experten der Bundesländer diskutiert. In einzelnen Fällen wurde eine „Herabstufung“ auf eine „eingeschränkte Relevanz“ notwendig. Dies war der Fall, wenn:

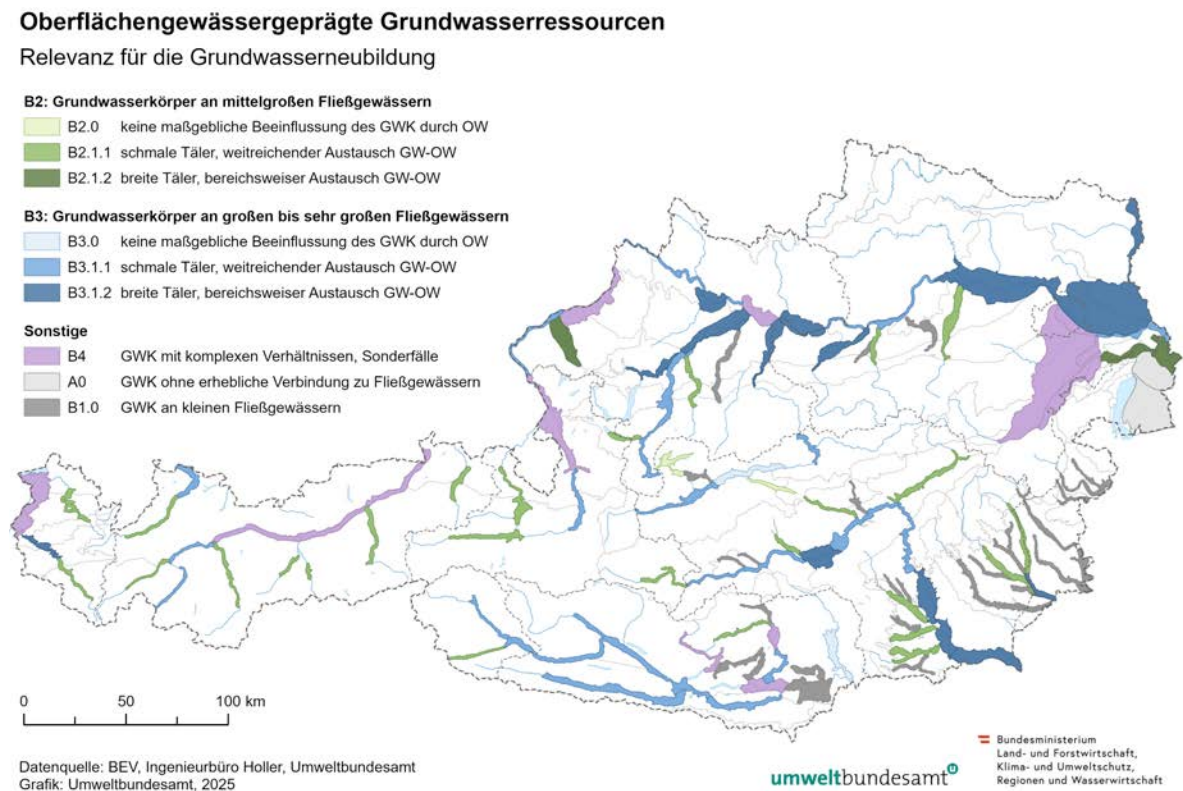
- auf Grund der hydrogeologischen Situation die technische Gewinnbarkeit eingeschränkt ist (dies trifft bei einigen Tälern der Klasse B3.1.1. zu), oder
- die Sohle der Oberflächengewässer immer über dem Grundwasserspiegel liegt und daher die Infiltrationsmengen weitgehend unabhängig vom Grundwasserspiegel bzw. von Grundwasserspiegelabsenkungen durch Wasserentnahmen sind (z. B. im Einzel-GWK Aichfeld-Murboden [MUR]), oder
- ein künstlich gesteuertes Grundwasserregime auf bestimmte Austauschmengen zwischen Grund- und Oberflächengewässer eingestellt ist (z. B. Einflussbereich des Kraftwerkes Freudenu im Südl. Wiener Becken [DUJ]), oder
- bereits aktuell mengenmäßige Herausforderungen bestehen (z. B. im Einzel-GWK Krappfeld [DRA]).

3.5 Ergebnisse

3.5.1 Klassifikation der Grundwasserkörper und Teilbereiche hinsichtlich der Relevanz oberflächengewässergeprägter Grundwasserressourcen

Das Ergebnis der Klassifizierung hinsichtlich der Relevanz oberflächengewässergeprägter Grundwasserressourcen in den Einzel-GWK und relevanten Teilbereichen von Gruppen von GWK ist in der nachfolgenden Karte (Abbildung 5) dargestellt.

Abbildung 5: Klassifikation der Einzel-GWK und der relevanten Teilbereiche von Gruppen von GWK hinsichtlich der Relevanz oberflächengewässergeprägter Grundwasserressourcen.



Quelle: Ingenieurbüro Holler, Umweltbundesamt, Ämter der Landesregierungen

3.5.1.1 Relevanz oberflächengewässergeprägter Grundwasserressourcen in Einzel-GWK (und Teilbereichen)

In der nachfolgenden Tabelle 7 ist das Ergebnis der Klassifizierung hinsichtlich der Relevanz oberflächengewässergeprägter Grundwasserressourcen in den Einzel-GWK und deren Teilbereichen für jede einzelne Klasse dargestellt.

Tabelle 7: Klassifikation der Einzel-GWK (und Teilbereichen) hinsichtlich der Relevanz oberflächengewässergeprägter Grundwasserressourcen.

Klassen	Einzel-GWK und Teilbereiche von Einzel-GWK	Anzahl
A0	Kommunikation GWK mit Fließgewässern nicht gegeben – keine OW-Infiltration in den GWK durch Regionalstudien dokumentiert; GWK ohne erhebliche Verbindung zu Fließgewässern Parndorfer Platte [LRR]; Seewinkel [LRR]	2
B1.0	GWK an kleinen Fließgewässern, GW-Ressourcen stammen nur aus dem unmittelbaren Einzugsgebiet od./u. Gewinnung von Uferfiltrat würde genauso zu Lasten des OW gehen wie GW-Entnahme in größerer Entfernung zum OW Erlauftal/Pöchlerner Feld [DUJ]; Tal der Kl. Erlauf; Pielachtal [DUJ]; Mittleres Ennstal [DUJ]; Grimmingbachtal; Oberes Ennstal [DUJ]; Mitterndorfer Becken; Altes Gurktal [DRA]; Glantal [DRA]; Jauntal [DRA] (Zubringer); Metnitztal [DRA]; Mittl. Murtal Knittelfeld bis Bruck/Mur [MUR]; Vordernbergertal; Oberes Murtal [MUR]; Wölzertal; Oberes Murtal [MUR]; Katschbachtal; Kainach [MUR]; Liebochbachtal; Kainach [MUR]; Södingbachtal; Lassnitz, Stainzbach [MUR]; Stainzbachtal; Günstal [LRR]; Pinkatal [LRR]; Raabtal [LRR]; Rabnitztal [LRR]; Safental [LRR]; Stooberbachtal [LRR]; Stremtal [LRR]; Ilz und Rittscheintal [LRR]; Saggautal [MUR]; Kremstal [DUJ]	24
B2.1.1	GWK an mittelgroßen Fließgewässern; zumindest bereichsweiser intensiver Austausch zwischen GWK und Fließgewässern gegeben, Wechsel von Ex- und Infiltration, schmale Flusstäler mit Austausch Grundwasser-Oberflächengewässer über mehr oder weniger gesamte Talbreite Großsache [DBJ]; Pinzgauer Saalachtal [DBJ]; Erlauftal/Pöchlerner Feld [DUJ]; Tal der Gr. Erlauf; Traisental [DUJ]; Liesing [MUR]; Aichfeld-Murboden [MUR]; Pölstal; Kainach [MUR]; Kainachtal; Lassnitz, Stainzbach [MUR]; Lassnitztal; Feistritztal [LRR]; Lafnitztal [LRR]; Oberes Lafnitztal; Mürz [MUR]; Sulmtal [MUR]	12
B2.1.2	GWK an mittelgroßen Fließgewässern; zumindest bereichsweiser intensiver Austausch zwischen GWK und Fließgewässern gegeben, Wechsel von Ex- und Infiltration; breitere Täler mit Austausch GW–OW in Teilbereichen des GWK Heideboden [DUJ]	1
B2.0	GWK an mittelgroßen Fließgewässern; keine maßgebliche Beeinflussung des GWK durch Fließgewässer, nur GW-Exfiltration in die Vorfluter; oder Kolmation, abgedichtete Stauhaltungen, u. dergl. Palten [DUJ]; Traun [DUJ]	2

Klassen	Einzel-GWK und Teilbereiche von Einzel-GWK	Anzahl
B3.1.1	<p>GWK an großen bis sehr großen Fließgewässern; zumindest bereichsweiser intensiver Austausch zwischen GWK und Fließgewässern gegeben, Wechsel von Ex- und Infiltration, schmale Flusstäler mit Austausch GW–OW über mehr oder weniger gesamte Talbreite</p> <p>Lechtal [DBJ]; Erlaufthal/Pöchlerner Feld [DUJ]; Donaubereich im Pöchlerner Feld; Oberes Ennstal [DUJ]; Ennstal; Unteres Ennstal (Stmk) [DUJ]; Drautal [DRA]; Gailtal [DRA]; Rosental [DRA]; Unteres Gurktal [DRA]; Mittl. Murtal Knittelfeld bis Bruck/Mur [MUR]; Murtal; Murdurchbruchstal (Bruck/Mur - Graz/Andritz) [MUR]; Oberes Murtal [MUR]; Murtal</p>	11
B3.1.2	<p>GWK an großen bis sehr großen Fließgewässern; zumindest bereichsweiser intensiver Austausch zwischen GWK und Fließgewässern gegeben, Wechsel von Ex- und Infiltration, breitere Täler oder Becken mit Austausch GW–OW in Teilbereichen des GWK</p> <p>Machland [DUJ]; Marchfeld [DUJ]; Südl. Machland [DUJ]; Tullnerfeld [DUJ]; Unteres Ennstal (NÖ, OÖ) [DUJ]; Ybbstal/Ybbser Scheibe [DUJ]; Eferdinger Becken [DUJ]; Welser Heide [DUJ]; Aichfeld-Murboden [MUR]; Aichfeld-Murboden; Grazer Feld [MUR]; Leibnitzer Feld [MUR]; Unteres Murtal [MUR]; Lafnitztal [LRR]; Unteres Lafnitztal; Walgau [RHE]</p>	14
B3.0	<p>GWK an großen bis sehr großen Fließgewässern; keine maßgebliche Beeinflussung des GWK durch Fließgewässer, GW-Exfiltration in die Vorfluter vorherrschend oder Kolmation, abgedichtete Stauhaltungen u. dergl.</p> <p>Mittleres Ennstal [DUJ]; Ennstal; Lavanttal [DRA]</p>	2
B4	<p>GWK mit komplexen Verhältnissen und Sonderfälle; komplexe Wechselwirkungen zwischen GWK und verschiedenen Oberflächengewässern; künstlich gesteuerte GW-Regime</p> <p>Inntal [DBJ]; Unteres Salzachtal [DBJ]; Südl. Wiener Becken [DUJ]; Rechtes Donauufer; Südl. Wiener Becken [DUJ]; ohne Donau-Unt.Fischa-Leitha; Südl. Wiener Becken [DUJ]; Untere Fischa; Südl. Wiener Becken [DUJ]; Leithaniederung; Linzer Becken [DUJ]; Klagenfurter Becken [DRA]; Krappfeld [DRA]; Tiebel [DRA]; Rheintal [RHE]; Unteres Inntal [DBJ]</p>	12
Summe		80

Anmerkung: [Wasserwirtschaftlicher Planungsraum]: DBJ – Donau bis Jochenstein, DUJ – Donau unterhalb Jochenstein, LRR – Leitha, Raab und Rabnitz, MAR – March, DRA – Drau, MUR – Mur, RHE – Rhein

Quelle: Ingenieurbüro Holler, Umweltbundesamt

3.5.1.2 Relevanz oberflächengewässergeprägter Grundwasserressourcen in relevanten Teilbereichen von Gruppen von GWK

Das Ergebnis der Klassifizierung hinsichtlich der Relevanz oberflächengewässergeprägter Grundwasserressourcen in den Gruppen von Grundwasserkörpern ist ebenfalls in Abbildung 5 und zudem in der nachfolgenden Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 8: Klassifikation der relevanten Teilbereiche von Gruppen von GWK hinsichtlich der Relevanz von oberflächengewässergeprägten Grundwasserressourcen.

Klassen	Gruppen von GWK und Teilbereiche von Gruppen von GWK	Anzahl
A0	–	–
B1.0	–	–
B2.1.1	GWK an mittelgroßen Fließgewässern, zumindest bereichsweiser intensiver Austausch zwischen GWK und Fließgewässern gegeben, Wechsel von Ex- und Infiltration, schmale Flusstäler mit Austausch GW–OW über mehr oder weniger gesamte Talbreite Oberes Lechtal (Steeg bis Forchach) – Lech; Oberpinzgau und Zeller Becken (Mühlbach bis Fuscherach) – Salzach; Unt. u. Mittl. Ötztal (Sölden bis Inntal) – Ötztaler Ache; Paznauntal (Galtür bis Landeck) – Trisanna, Sanna; Wipptal (Stainach bis Pfons) – Sill; Stubaital (Milders bis Oweges) – Ruetz; Zillertal (Mayerhofen bis Inntal) – Ziller; Pustertal (Erlach bis Burgfrieden) – Drau; Bregenzerwald (Schoppertal bis Egg) – Bregenzerache; Montafon (Gaschurn bis Lorüns) – Ill; Lungau (St. Michael bis Kendlbruck) – Mur, Taurach; Mittleres Gurktal (D.Griffen bis Hohenfeld) – Gurk; Ischler Becken u. Ischltal (Wolfgangsee bis Bd. Ischl) – Ischl (Ischler Ache); Almtal (Grünau bis Hafeld) – Alm	14
B2.1.2	GWK an mittelgroßen Fließgewässern, zumindest bereichsweiser intensiver Austausch zwischen GWK und Fließgewässern gegeben, Wechsel von Ex- und Infiltration, breitere Täler mit Austausch GW–OW in Teilbereichen des GWK Brucker Pforte (Leithaniederung) Leitha; Enknach- und Mattigtal (zw. Weilhartsforst u. Mattig) – Mattig, Enknach	2
B2.0	–	–
B3.1.1	GWK an großen bis sehr großen Fließgewässern, zumindest bereichsweiser intensiver Austausch zwischen GWK und Fließgewässern gegeben, Wechsel von Ex- und Infiltration, schmale Flusstäler mit Austausch GW–OW über mehr oder weniger gesamte Talbreite Mittleres Salzachtal (Großarlerbach bis Lammer) – Salzach; Oberinntal (Landeck bis Roppen) – Inn; Oberes Gericht (Ob. Inntal) (Schalkl bis Zoll) – Inn; Donautal (Passau bis Engelhartzell) – Donau; Rechtes Donauufer (Fischamend bis Hainburger Pforte) – Donau; Mölltal (Obervellach bis Mühlendorf) – Möll; Iseltal und Matreier Becken (Matrei bis Oberlienz) – Isel; Donautal (Engelhartzell bis Aschach) – Donau; Donautal (Wilhering bis Urfahr) – Donau; Strudengau (Adagger Mkt. bis Ybbs a.D.) – Donau; Linkes Donauufer (zw. Strudengau u. Wachau) – Donau; Wachau (Emmersdorf bis	15

Klassen	Gruppen von GWK und Teilbereiche von Gruppen von GWK	Anzahl
	Krems a.D.) – Donau; Inntal (Salzach bis Mattig-Münd.) – Inn; Salzachtal (St. Georgen bis Inn-Münd.) – Salzach; Trauntal (Bd. Goisern bis Lambach) – Traun	
B3.1.2	GWK an großen bis sehr großen Fließgewässern, zumindest bereichsweiser intensiver Austausch zwischen GWK und Fließgewässern gegeben, Wechsel von Ex- und Infiltration, breitere Täler oder Becken mit Austausch GW - OW in Teilbereichen Marchtal (Bernhardsthal bis Mannersdorf a.d.M.) – March; Vöckla-Ager-Tal (Langwiese (Frkbg.Redl) bis Stadl Paura) – Vöckla, Ager	2
B3.0	–	–
B4	GWK mit komplexen Verhältnissen und Sonderfälle; komplexe Wechselwirkungen zwischen GWK und verschiedenen Oberflächengewässern; künstlich gesteuerte GW-Regime Rechte Leithaniederung (Neufeld bis Leithaprodersdf.) Leitha***	1
Summe		34

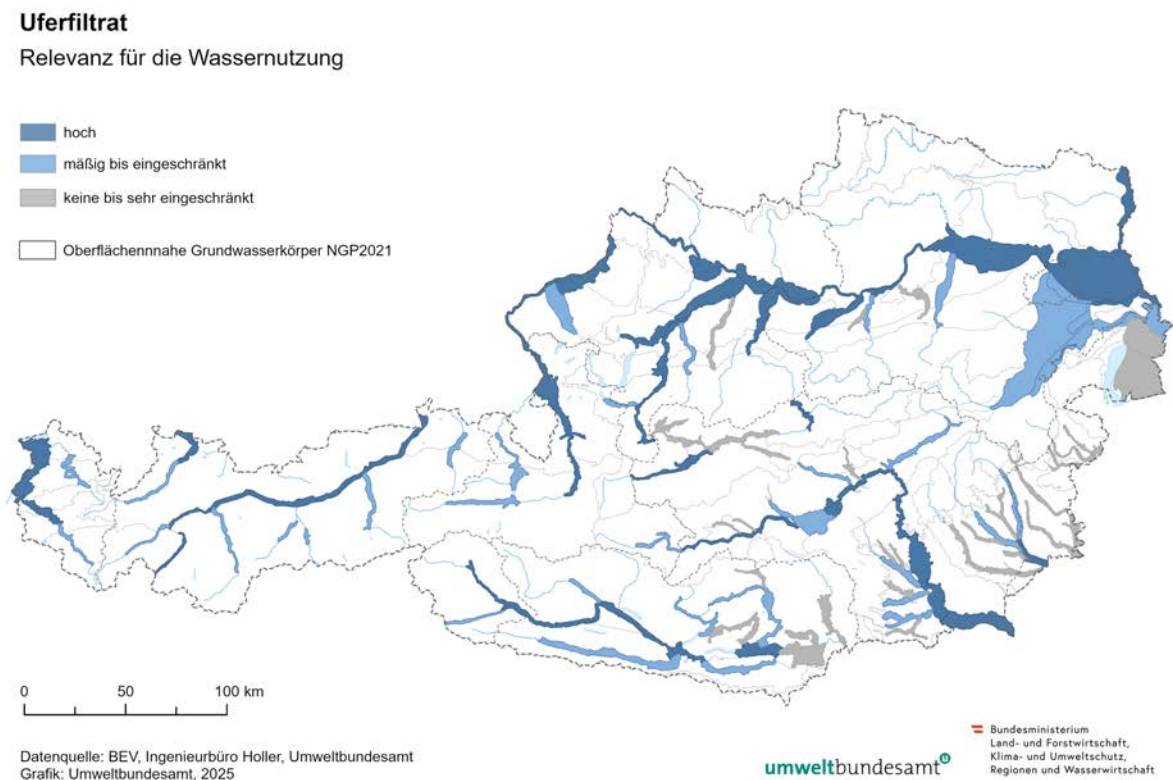
***Die rechtsufrige (bgl.) Leithaniederung wurde bei der GWK-Einteilung durch die Länder mit der Landesgrenze NÖ/Bgld. vom Südl. Wr. Becken abgetrennt und der GWK-Gruppe Südl. Wiener Becken – Ostrand zugeteilt. Hydrogeologisch sind die linke und die rechte Uferseite gleichartig. Aus dieser Sicht ist die rechtsufrige Niederung als Teil des Südl. Wr. Beckens auch in die Klasse B4 zu stellen.

Quelle: Ingenieurbüro Holler, Umweltbundesamt

3.5.2 Klassifikation der Grundwasserkörper (bzw. Teilbereiche) hinsichtlich der Relevanz von Uferfiltrat für die Wassernutzung

Das Ergebnis der Klassifizierung hinsichtlich der Relevanz von Uferfiltrat für die Wassernutzung in den Einzel-GWK und relevanten Teilbereichen von Gruppen von GWK ist in der nachfolgenden Karte (Abbildung 6) dargestellt.

Abbildung 6: Klassifikation der Einzel-GWK und relevanten Teilbereiche von Gruppen von GWK hinsichtlich der Relevanz von Uferfiltrat für die Wassernutzung.



Quelle: Ingenieurbüro Holler, Umweltbundesamt, Ämter der Landesregierungen

3.5.2.1 Relevanz von Uferfiltrat für die Wassernutzung in Einzel-GWK

Von den 80 Einzel-GWK bzw. deren Teilbereichen weisen 30 „keine bis sehr eingeschränkte“ Relevanz von Uferfiltrat für die Wassernutzung auf, 22 werden als „mäßig bis eingeschränkt relevant“ betrachtet und 27 weisen eine „hohe Relevanz“ auf (Abbildung 6, Tabelle 9). Grundwasserkörper mit hoher Relevanz von Uferfiltrat für die Wassernutzung sind vor allem, aber nicht nur, flussbegleitende Porengrundwasserkörper entlang großer Fließgewässer wie Rhein, Inn, Salzach, Traun, Drau, Donau, Enns und Mur (Abbildung 6).

Tabelle 9: Klassifikation der Einzel-GWK (und Teilbereiche) hinsichtlich der Relevanz von Uferfiltrat für die Nutzung.

Klassen	Einzel-GWK und Teilbereiche von Einzel-GWK	Anzahl
hoch	hohe Relevanz von Uferfiltrat für die Wassernutzung Inntal [DBJ]; Lechtal [DBJ]; Unteres Salzbachtal [DBJ]; Erlauftal/Pöchlerner Feld [DUJ]; Donaubereich im Pöchlerner Feld; Machland [DUJ]; Marchfeld [DUJ]; Südl. Machland [DUJ]; Tullnerfeld [DUJ]; Unteres Ennstal (NÖ, OÖ) [DUJ]; Ybbstal / Ybbscher Scheibe [DUJ]; Eferdinger Becken [DUJ]; Linzer Becken [DUJ]; Oberes Ennstal (Landesgrenze bis Trautenfels) [DUJ]; Ennstal; Unteres Ennstal (Stmk) [DUJ]; Welser Heide [DUJ]; Drautal [DRA]; Klagenfurter Becken [DRA]; Grazer Feld (Graz/Andritz – Wildon) [MUR]; Leibnitzer Feld [MUR]; Mittl. Murtal Knittelfeld bis Bruck/Mur [MUR]; Murtal; Murdurchbruchstal (Bruck/Mur – Graz/Andritz) [MUR]; Oberes Murtal [MUR]; Murtal; Unteres Murtal [MUR]; Lafnitztal [LRR]; Unteres Lafnitztal*; Rheintal [RHE]; Walgau [RHE]; Unteres Inntal [DBJ]	27
mäßig bis eingeschränkt	mäßig bis eingeschränkte Relevanz von Uferfiltrat für die Wassernutzung Großsache [DBJ]; Pinzgauer Saalachtal [DBJ]; Erlauftal/Pöchlerner Feld [DUJ]; Tal der Gr. Erlauf; Heideboden [DUJ]; Südl. Wiener Becken [DUJ]; Rechtes Donauufer; Südl. Wiener Becken [DUJ]; ohne ReDonau-UntFischa-Leitha*; Südl. Wiener Becken [DUJ]; Untere Fischa; Südl. Wiener Becken [DUJ]; Leithaniederung*; Traisental [DUJ]; Liesing [MUR]; Gailtal [DRA]; Krappfeld [DRA]; Rosental [DRA]; Tiebel [DRA]; Unteres Gurktal [DRA]; Aichfeld-Murboden (Judenburg – Knittelfeld) [MUR]; Pölstal; Aichfeld-Murboden (Judenburg – Knittelfeld) [MUR]; Aichfeld-Murboden; Kainach [MUR]; Kainachtal; Lassnitz, Stainzbach [MUR]; Lassnitztal; Feistritztal [LRR]; Lafnitztal [LRR]; Oberes Lafnitztal; Mürz [MUR]; Sulmtal [MUR]	23
Keine bis sehr eingeschränkt	keine bis sehr eingeschränkte Relevanz von Uferfiltrat für die Wassernutzung Erlauftal/Pöchlerner Feld [DUJ]; Tal der Kl. Erlauf; Parndorfer Platte [LRR]; Pielachtal [DUJ]; Mittleres Ennstal (Trautenfels bis Gesäuse) [DUJ]; Ennstal; Mittleres Ennstal (Trautenfels bis Gesäuse) [DUJ]; Grimmingbachtal; Oberes Ennstal (Landesgrenze bis Trautenfels) [DUJ]; Mitterndorfer Becken; Palten [DUJ]; Traun [DUJ]; Altes Gurktal [DRA]; Glantal [DRA]; Jauntal [DRA]; Lavanttal [DRA]; Metnitztal [DRA]; Mittl. Murtal Knittelfeld bis Bruck/Mur [MUR]; Vordernbergertal; Oberes Murtal [MUR]; Wölzertal; Oberes Murtal [MUR]; Katschbachtal; Kainach [MUR]; Liebochbachtal; Kainach [MUR]; Södingbachtal; Lassnitz, Stainzbach [MUR]; Stainzbachtal; Günstal [LRR]; Pinkatal [LRR]; Raabtal [LRR]; Rabnitztal [LRR]; Safental [LRR]; Seewinkel [LRR]; Stooberbachtal [LRR]; Stremtal [LRR]; Ilz und Rittscheintal [LRR]; Saggautal [MUR]; Kremstal [DUJ]	30
Summe		80

*Eingeschränktes Potenzial für künftige Wassernutzungen lt. Stellungnahme des zuständigen Bundeslandes

Quelle: Ingenieurbüro Holler, Umweltbundesamt, Ämter der Landesregierungen

3.5.2.2 Relevanz von Uferfiltrat für die Wassernutzung in relevanten Teilbereichen der Gruppen von GWK

Bei den in die Klassifikation einbezogenen 34 Teilbereichen von Gruppen von GWK werden 18 als „mäßig bis eingeschränkt relevant“ und 16 als „hoch relevant“ hinsichtlich einer Nutzung von Uferfiltrat betrachtet (Abbildung 6, Tabelle 10). Hohe Relevanz für die Nutzung von Uferfiltrat liegt in den Gruppen von GWK beispielsweise für das (Poren-)Grundwassergebiet im Bereich St. Georgen bei Salzburg bis zur Inn-Mündung in der Gruppe Zwischen Salzach und Mattig [DBJ] oder das Donautal im Bereich Engelhartzell bis Aschach in der Böhmischen Masse [DUJ] vor.

Tabelle 10: Klassifikation von relevanten Teilbereichen der Gruppen von GWK hinsichtlich der Relevanz von Uferfiltrat für die Wassernutzung.

Klassen	Gruppen von GWK und relevante Teilbereiche von Gruppen von GWK	Anzahl
hoch	hohe Relevanz von Uferfiltrat für die Wassernutzung Mittleres Salzachtal (Großarlerbach bis Lammer) Salzach; Oberinntal (Landeck bis Roppen) Inn; Oberes Gericht (Ob. Inntal) (Schalkl bis Zoll) Inn; Donautal (Passau bis Engelhartzell) Donau; Marchtal (Bernhardsthal bis Mannersdorf a.d.M.) March; Rechtes Donauufer (Fischamend bis Hainburger Pforte) Donau; Iseltal und Matreier Becken (Matrei bis Oberlienz) Isel; Donautal (Engelhartzell bis Aschach) Donau; Donautal (Wilhering bis Urfahr) Donau; Strudengau (Ardagger Mkt. bis Ybbs a.D.) Donau; Linkes Donauufer (zw. Strudengau u. Wachau) Donau; Wachau (Emmersdorf bis Krems a.D.) Donau; Inntal (Salzach bis Mattig-Münd.) Inn; Salzachtal (St. Georgen bis Inn-Münd.) Salzach; Trauntal (Bd. Goisern bis Lambach) Traun; Vöckla-Ager-Tal (Langwiese (Frkbg.Redl) bis Stadl Paura) Vöckla, Ager	16
mäßig bis eingeschränkt	mäßig bis eingeschränkte Relevanz von Uferfiltrat für die Wassernutzung Oberes Lechtal (Steeg bis Forchach) Lech; Paznauntal (Galtür bis Landeck) Trisanna, Sanna; Oberpinzgau und Zeller Becken (Mühlbach bis Fuscherach) Salzach; Unt. u. Mittl. Ötztal (Sölden bis Inntal) Ötztaler Ache; Wipptal (Stainach bis Pfons) Sill; Zillertal (Mayerhofen bis Inntal) Ziller; Stubaital (Milders bis Oweges) Ruetz; Pustertal (Erlach bis Burgfrieden) Drau; Bregenzerwald (Schoppertal bis Egg) Bregenzerache; Montafon (Gaschurn bis Lorüns) Ill; Brucker Pforte (Leithaniederung) Leitha; Rechte Leithaniederung (Neufeld bis Leithaprodersdorf) Leitha; Lungau (St. Michael bis Kendlbruck) Mur, Taurach; Mittleres Gurktal (D.Griffen bis Hohenfeld) Gurk; Mölltal (Obervellach bis Mühldorf) Möll; Ischler Becken u. Ischltal (Wolfgangsee bis Bd. Ischl) Ischl (Ischler Ache); Enknach- und Mattigtal (zw. Weilhartsforst u. Mattig) Mattig, Enknach; Almtal (Grünau bis Hafeld) Alm	18
Summe		34

Quelle: Ingenieurbüro Holler, Umweltbundesamt, Ämter der Landesregierungen

3.6 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Auf Basis bundesweiter Daten wurden Kriterien und Regeln entwickelt, um Grundwasserkörper (alle Einzel-GWK und relevante Teilbereiche der Gruppen von GWK) danach zu klassifizieren, inwieweit Fließgewässer zur Grundwasserneubildung beitragen. Ebenso wurden diese Grundwasserkörper hinsichtlich einer Relevanz von Uferfiltrat für die Wassernutzung bewertet und klassifiziert. Vorliegende Regionalstudien wurden zur Plausibilisierung und Präzisierung der Klassifikation herangezogen.

Im Ergebnis wurden zum einen jene Grundwasserkörper bzw. deren Teilbereiche identifiziert, in denen eine maßgebliche Interaktion von Grundwasser und Fließgewässern vorliegt und relevante Anteile des Grundwassers durch Fließgewässer neugebildet werden. Zum anderen wurden Grundwasserkörper bzw. Teilbereiche ausgewiesen, in denen die Nutzung von Uferfiltrat einen hohen Anteil der Nutzung der Grundwasserressource ausmacht oder zukünftig an Bedeutung gewinnen könnte. Insbesondere bei diesen Grundwasserkörpern sollten die räumlich begrenzt verfügbaren Grundwasserressourcen aus Uferfiltrat in der Beurteilung des mengenmäßigen Zustands der Grundwasserkörper vermehrt berücksichtigt werden. Die Klassifikation stellt hierfür eine geeignete Gebietskulisse bereit. Mit den vorliegenden Klassifikationen wurde zudem die Beschreibung der Grundwasserkörper im Sinne des Anhangs II der WRRL (RL 2000/60/EG) verbessert, so dass die Grundwasserkörper-Stammdatenblätter⁷ im Wasser Informationssystem Austria (WISA) diesbezüglich erweitert werden können.

Die Ergebnisse des vorliegenden Projekts ermöglichen eine verbesserte Einschätzung der Bedeutung von Interaktionen zwischen Fließgewässern und Grundwasserkörpern und sind Grundlage für die verbesserte Zuordnung von Wasserentnahmen zu ihren Herkunftsbereichen. Mengenmäßige Aussagen zu den tatsächlich aus Uferfiltrat genutzten Ressourcen liegen damit noch nicht vor; dazu sind vorliegende Abschätzungen zu Wasserentnahmen in den räumlichen Bezug zu den Bereichen mit relevanter Interaktion von Grundwasser und Fließgewässern zu stellen.

Die genauere räumliche Eingrenzung von Bereichen, in denen Uferfiltrat genutzt wird oder eine relevante Interaktion von Fließgewässern mit dem Grundwasser stattfindet, ist bereits Gegenstand weiterführender Untersuchungen. Hierzu sei insbesondere auf das Forschungsprojekt Ufer-Los⁸ (Potenzial der Uferfiltration für Österreich) der Technischen Universität

⁷ [H2O Fachdatenbank - Grundwasserkörperabfrage](#)

⁸ [Ufer-Los | TU Wien](#)

Wien hingewiesen, an dem auch das Umweltbundesamt beteiligt ist. In Ufer-Los werden – unter Einbeziehung des zeitgleich am Umweltbundesamt erstellten Datensatzes „Talböden“, der sowohl die in den Geologischen Karten von GeoSphere Austria ausgewiesenen alluvialen Talböden als auch die gering geneigten Flächen im Nahbereich von Gewässern umfasst, die ebenfalls als Talböden identifizierbar sind – die potenziellen Grundwasser-Fließgewässer-Interaktionsbereiche weiter räumlich eingegrenzt. Darüber hinaus kommen weitere, nachfolgend dargestellte und in den Pilotgebieten getestete methodische Ansätze zu eben diesem Zweck zum Einsatz. Diese methodischen Ansätze werden im folgenden Kapitel 4 erläutert und zusammengefasst.

4 Eingrenzung des Fließgewässer– Grundwasser-Interaktionsbereichs: Methodentests in Pilotgebieten

4.1 Auswahl der Pilotgebiete und Methoden

Der Auswahl der Pilotgebiete liegen zwei zentrale Kriterien zugrunde: erstens die Relevanz oberflächengewässergeprägter Grundwasserressourcen, abgeleitet aus dem aktuellen Kenntnisstand, der sich auch in der Klassifikation der Grundwasserkörper widerspiegelt, und zweitens die Verfügbarkeit der für eine Detailbetrachtung erforderlichen bundesweiten bzw. regionalen Datengrundlagen. In Abstimmung mit Vertreterinnen und Vertretern der wasserwirtschaftlichen Planung wurden die Grundwasserkörper Eferdinger Becken [DUJ] (Oberösterreich) und Leibnitzer Feld [MUR] (Steiermark) bzw. Teile davon für die Erprobung von Methoden zur Eingrenzung von Interaktionsbereichen auf Basis bundesweit verfügbarer Daten ausgewählt.

4.1.1 GK100036 Eferdinger Becken [DUJ]

Der mittlere Jahresniederschlag im Grundwasserkörper Eferdinger Becken [DUJ] beträgt rund 800 mm/a, die mittlere jährliche Grundwasserneubildung auf Basis des Niederschlags im Bezugszeitraum 1998–2017 rund 150 mm/a. Die Neubildung des Grundwassers erfolgt zu rund 30 % aus der Versickerung von Niederschlägen, zu etwa 36 % durch Randzuflüsse und zu rund 34 % durch Infiltration von Oberflächengewässern. Von den ausgewiesenen 38,5 Mio. m³ verfügbarer Grundwasserressource stammen 5 Mio. m³ aus flächiger Grundwasserneubildung, 3,5 Mio. m³ aus randlichen Zuflüssen und rund 30 Mio. m³ aus Infiltration, 30 Mio. m³ sind nur im Donaubegleitstrom nutzbar (H2O GWK-Datenblatt)⁹.

Im Rahmen der Klassifikation der Grundwasserkörper in Bezug auf die Relevanz oberflächengewässergeprägter Ressourcen für die Grundwasserneubildung (vgl. Kapitel 3.4.1) wird das Eferdinger Becken [DUJ] in die Klasse B3.1.2 eingeordnet (GWK an großen bis sehr großen Fließgewässern; zumindest bereichsweiser intensiver Austausch zwischen GWK und

⁹ [H2O Fachdatenbank - Grundwasserkörperabfrage](#)

Fließgewässern gegeben, Wechsel von Ex- und Infiltration, breitere Täler oder Becken mit Austausch GW–OW in Teilbereichen des GWK). Hinsichtlich der Relevanz von Uferfiltrat für die Wassernutzung wird das Eferdinger Becken [DUJ] mit „hoher Relevanz“ klassifiziert (vgl. Kapitel 3.5.2.1).

Für die Erprobung der ausgewählten Methoden wurde der Fokus in Abstimmung mit den Expertinnen und Experten der Bundesländer auf das westliche Eferdinger Becken gelegt.

4.1.2 GK100098 Leibnitzer Feld [MUR]

Der mittlere Jahresniederschlag im Leibnitzer Feld [MUR] beträgt rund 880 mm/a, die mittlere jährliche Grundwasserneubildung rund 300 mm/a (Bezugszeitraum 1998–2017). Die Neubildung des Grundwassers erfolgt zu etwa 61 % durch Versickerung von Niederschlag und zu etwa 39 % durch Infiltration aus der Mur. Für das Leibnitzer Feld [MUR] werden 10,2 Mio. m³ Ressourcen aus flächiger Grundwasserneubildung ausgewiesen und 6,5 Mio. m³ Grundwasserressourcen aus Infiltration, die nur in Bereichen mit Infiltration aus der Mur und dem Weißenegger Mühlgang, der aus der Mur dotiert ist, nutzbar sind (H2O GWK-Datenblatt)¹⁰.

Auch das Leibnitzer Feld [MUR] wird im Rahmen der Klassifikation der Grundwasserkörper in Bezug auf die Relevanz oberflächengewässergeprägter Ressourcen (vgl. Kapitel 3.5.1.1) der Klasse B3.1.2 zugeordnet (GWK an großen bis sehr großen Fließgewässern; zumindest bereichsweiser intensiver Austausch zwischen GWK und Fließgewässern gegeben, Wechsel von Ex- und Infiltration, breitere Täler oder Becken mit Austausch GW–OW in Teilbereichen des GWK). Hinsichtlich der Relevanz von Uferfiltrat für die Wassernutzung wird der Grundwasserkörper Leibnitzer Feld ebenso wie das Eferdinger Becken mit „hoher Relevanz“ klassifiziert (vgl. Kapitel 3.5.2.1).

Für die Erprobung der ausgewählten Methoden wurde der Fokus in Abstimmung mit den Expertinnen und Experten der Bundesländer auf das westliche Leibnitzer Feld gelegt.

4.1.3 Methoden

Aus einem möglichen Spektrum an Methoden (vgl. Kapitel 2.3; Tabelle 2) wurden jene ausgewählt, für die bundesweit verfügbare Datensätze mit geeigneter räumlicher und zeitlicher

¹⁰ [H2O Fachdatenbank - Grundwasserkörperabfrage](#)

Auflösung zur Verfügung standen. Folgende methodische Ansätze wurden in den Pilotgebieten für die Eingrenzung von Interaktionsbereichen getestet:

- Visuelle Ganglinienanalyse für ausgewählte 90-Tage-Zeitfenster;
- Halbautomatische Analyse von Zeitreihen der Grundwasserstände mittels Dynamic Time Warping (DTW) und t-Distributed Stochastic Neighbor Embedding (t-SNE);
- Multivariate messstellenspezifische Analyse von GZÜV-Daten gemäß Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV; BGBl. II Nr. 479/2006 idgF.);
- Isotopenbasierte messstellenspezifische Analyse;
- Temperaturbasierte messstellenspezifische Analyse;
- Überprüfung auf hydraulische Anbindung von Grundwasser und Fließgewässern.

4.2 Visuelle Ganglinienanalyse in ausgewählten Zeitfenstern in den Pilotgebieten

Grundwasserspiegellagen in einem Grundwasserkörper werden grundsätzlich durch folgende Faktoren beeinflusst:

- flächenhafte Grundwasserneubildung aus dem Niederschlag über dem Grundwasserkörper,
- Interaktion des Grundwassers mit den Oberflächengewässern,
- randliche Zuflüsse aus dem Umfeld des Grundwasserkörpers sowie
- Grundwasserentnahmen und sonstige anthropogene Beeinflussungen.

Die Interaktion der Oberflächengewässer mit dem Grundwasser ist meist durch einen räumlichen und zeitlichen Wechsel von Ex- und Infiltration charakterisiert. Die verschiedenen Neubildungsprozesse lassen sich oft nur schwer voneinander trennen.

Die Methode zur Eingrenzung der Interaktionsbereiche von relevanten Fließgewässern auf Grundwasserressourcen mittels Ganglinienanalyse in ausgewählten Zeitfenstern wird u. a. bei Nestler (2014) beschrieben. Sie basiert auf der Annahme, dass bei einer bestimmten Abfolge von niederschlagsarmen und niederschlagsreichen Perioden, bzw. einer entsprechenden Abfolge von hohen oder niedrigen Grundwasserspiegellagen und Wasserständen, in den Oberflächengewässern eine bessere Differenzierung von Neubildungsprozessen möglich ist und jene Bereiche eines Grundwasserkörpers identifizierbar sind, in denen sich Oberflächengewässer nachweisbar auf die Grundwasserneubildung auswirken.

4.2.1 Datengrundlagen

Folgende Datengrundlagen standen bundesweit zur Verfügung und wurden für die visuelle Ganglinienanalyse in ausgewählten Zeitfenstern herangezogen:

- Hydrographische Daten aus der WebGIS-Applikation eHYD¹¹: Grundwasserstände, Abflussdaten der Oberflächengewässer, Niederschlagsdaten für den gewählten Bezugszeitraum 01.01.2000–31.12.2021;
- Meteorologische Daten bzw. Kennwerte (SPEI90, SPEI30 aus dem WINFORE-Datensatz der GeoSphere Austria¹²) für den gewählten Bezugszeitraum 01.01.2000–31.12.2021.

Voraussetzung für die Anwendung der Methode ist, dass die Grundwasserkörper räumlich repräsentativ durch hydrographische Grundwassermessstellen und Niederschlagsstationen erfasst sind und dass für relevante Hauptvorfluter und Zubringer Wasserstands- und Abflussdaten in ausreichender zeitlicher Auflösung an für den Grundwasserkörper repräsentativen Pegeln vorliegen.

Für die Interpretation, Einordnung und Plausibilisierung der Ergebnisse der Methode wurden zudem weitere Datengrundlagen wie Digitales Geländemodell und Orthofoto (basemap¹³), Gesamtgewässernetz (Kapitel 3.3.2), Geologische Karten zur Differenzierung von Quartärbereichen (Kapitel 3.3.3), Regionalstudien (Kapitel 3.3.6), die Lage von Entnahmen (Kapitel 3.3.7), Informationen zu Kraftwerksstandorten (WIS¹⁴) und Überflutungsflächen (HORA¹⁵) berücksichtigt.

4.2.1.1 Datenlage Eferdinger Becken [DUJ] – westlicher Teil

Das Westliche Eferdinger Becken mit einer Fläche von ca. 45 km² wurde für die Bearbeitung als jener Teil des Südlichen Eferdinger Beckens (76 km²) abgegrenzt, der zwischen Donau und Innbach liegt, wobei das orographisch rechte (südliche) Ufer des Innbaches ebenfalls einbezogen wurde. Das heißt, Grundwassermessstellen, die unmittelbar südlich des Innbaches liegen, wurden in die Analyse einbezogen (Abbildung 7). Das Südliche und Nördliche Eferdinger Becken sind Teile des Eferdinger Beckens [DUJ] mit einer Gesamtfläche von ca. 120 km². Im Bearbeitungsgebiet wurden 31 hydrografische Grundwassermessstellen in

¹¹ [eHYD – der Zugang zu hydrographischen Daten Österreichs](#)

¹² [GeoSphere Austria Data Hub](#)

¹³ [geoland.at](#)

¹⁴ [Wasserinformationssysteme der Bundesländer](#)

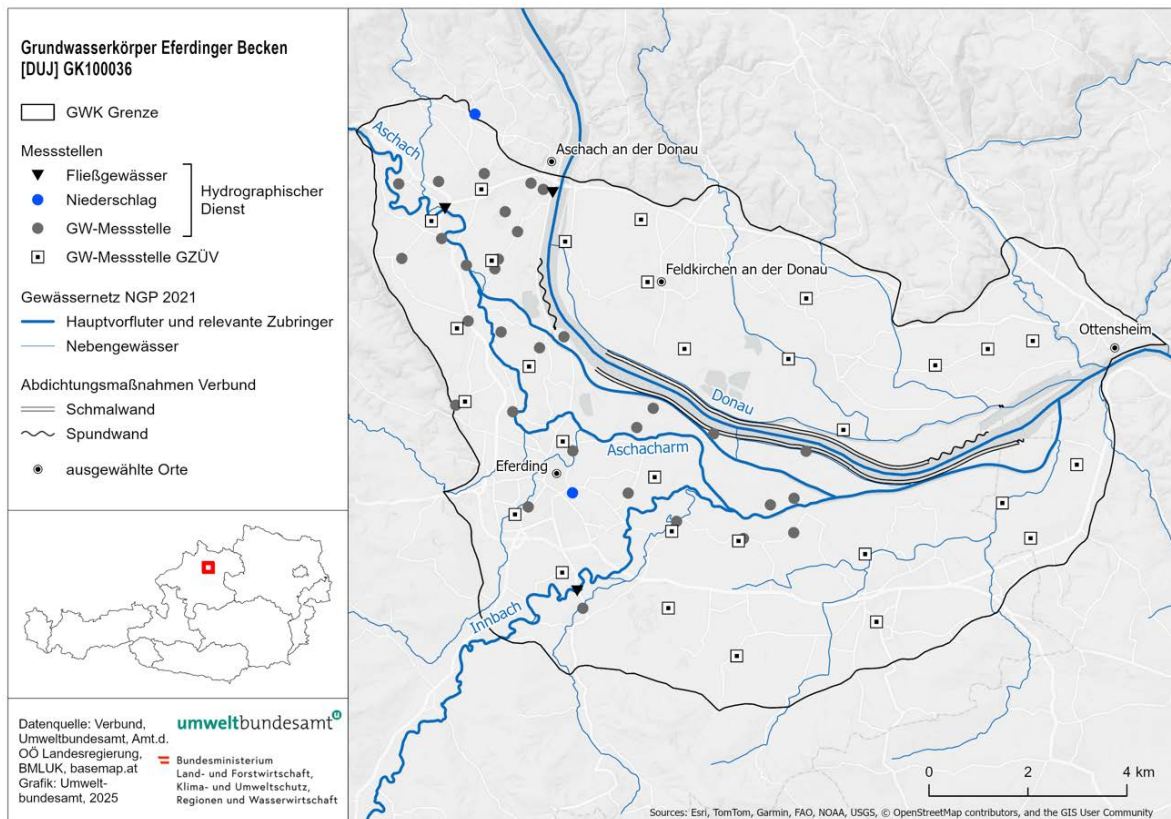
¹⁵ [HORA - Natural Hazard Overview & Risk Assessment Austria](#)

die Ganglinienanalyse einbezogen. Der Niederschlag wird durch die Daten der Messstationen Aschach und Eferding berücksichtigt (Abbildung 7).

Im Westlichen Eferdinger Becken wurden die Donau als Hauptvorfluter sowie Aschach und Innbach als relevante Zubringer in der Ganglinienanalyse berücksichtigt. Die folgenden Pegel an den Fließgewässern wurden hierfür verwendet (mit Einzugsgebietsgrößen und charakteristischen Wasserständen):

- Pegel Aschach/Donau (EZG = 78.195 km², MW = 460 cm, MJHW = 617 cm),
- Pegel Pfaffing/Aschach (EZG = 352 km², MW = 87 cm, MJHW = 396 cm) und
- Pegel Fraham/Innbach (EZG = 375 km², MW = 124 cm, MJHW = 332 cm).

Abbildung 7: Übersichtskarte der im Eferdinger Becken [DUJ] herangezogenen HD- oder GZÜV-Messstellen.

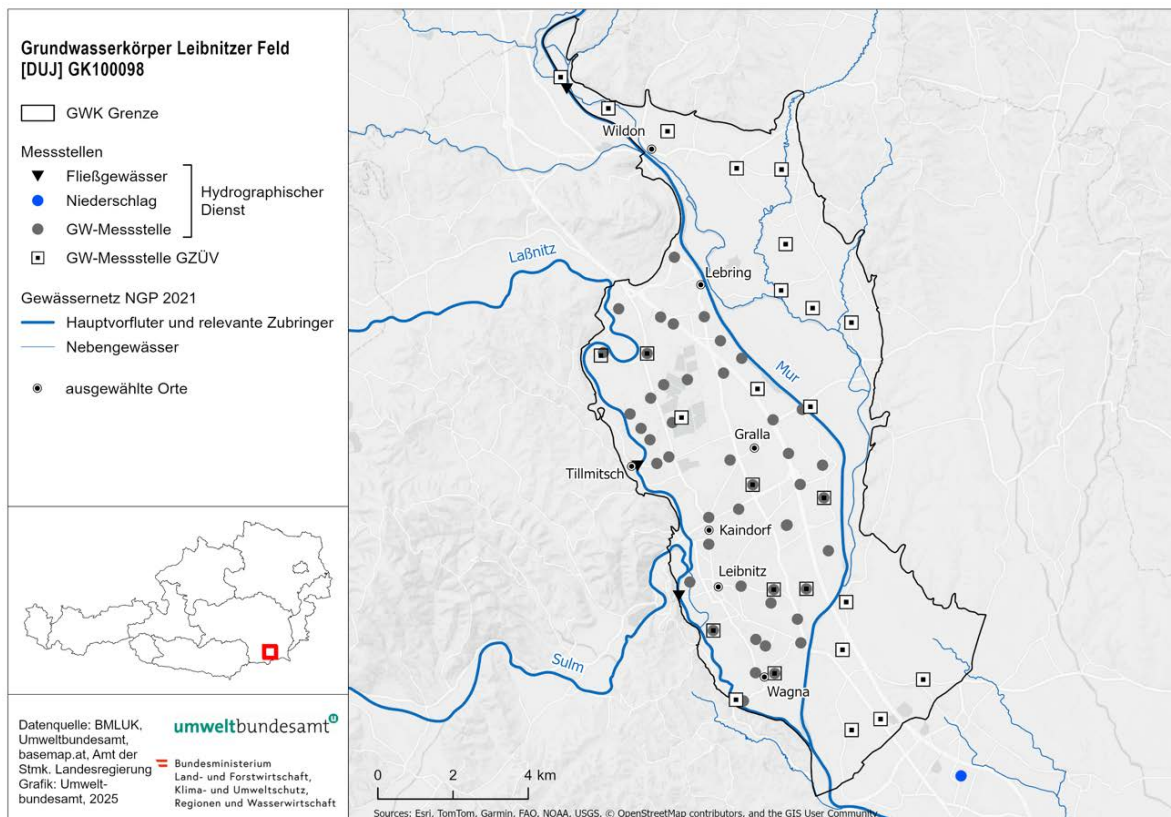


Quelle: Verbund, Umweltbundesamt, Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, BMLUK, basemap.at

4.2.1.2 Datenlage Leibnitzer Feld [MUR] – westlicher Teil

Das Westliche Leibnitzer Feld mit einer Fläche von ca. 50 km² entspricht dem orographisch rechts (westlich) der Mur liegenden Teil des GWK Leibnitzer Feld [MUR], der eine Gesamtfläche von ca. 103 km² aufweist. Für das Leibnitzer Feld [MUR] wurden die Daten der Niederschlags-Messstation Straß in die Analyse einbezogen (Abbildung 8).

Abbildung 8: Übersichtskarte der im Leibnitzer Feld [MUR] herangezogenen HD- oder GZÜV-Messstellen.



Quelle: Umweltbundesamt, BMLUK, Amt der Steiermärkischen Landesregierung

Außerdem wurde die Mur als Hauptvorfluter sowie Laßnitz und Sulm als relevante Zubringer in der Ganglinienanalyse berücksichtigt. Die folgenden Pegel an den Fließgewässern wurden hierfür verwendet (mit Einzugsgebietsgrößen (EZG) und charakteristischen Abflüssen):

- Pegel Mellach/Mur inkl. Mühlkanal (EZG = 7.296 km², MQ = 110 m³/s, HQ1 = 460 m³/s),
- Pegel Tillmitsch/Laßnitz (EZG = 480 km², MQ = 6,4 m³/s, HQ1 = 81 m³/s) und

- Leibnitz/Sulm (EZG = 1.103 km², MQ = 14,1 m³/s, HQ1 = 180 m³/s).

Insgesamt wurden 46 hydrografische Grundwassermessstellen berücksichtigt (Abbildung 8).

4.2.2 Vorgangsweise

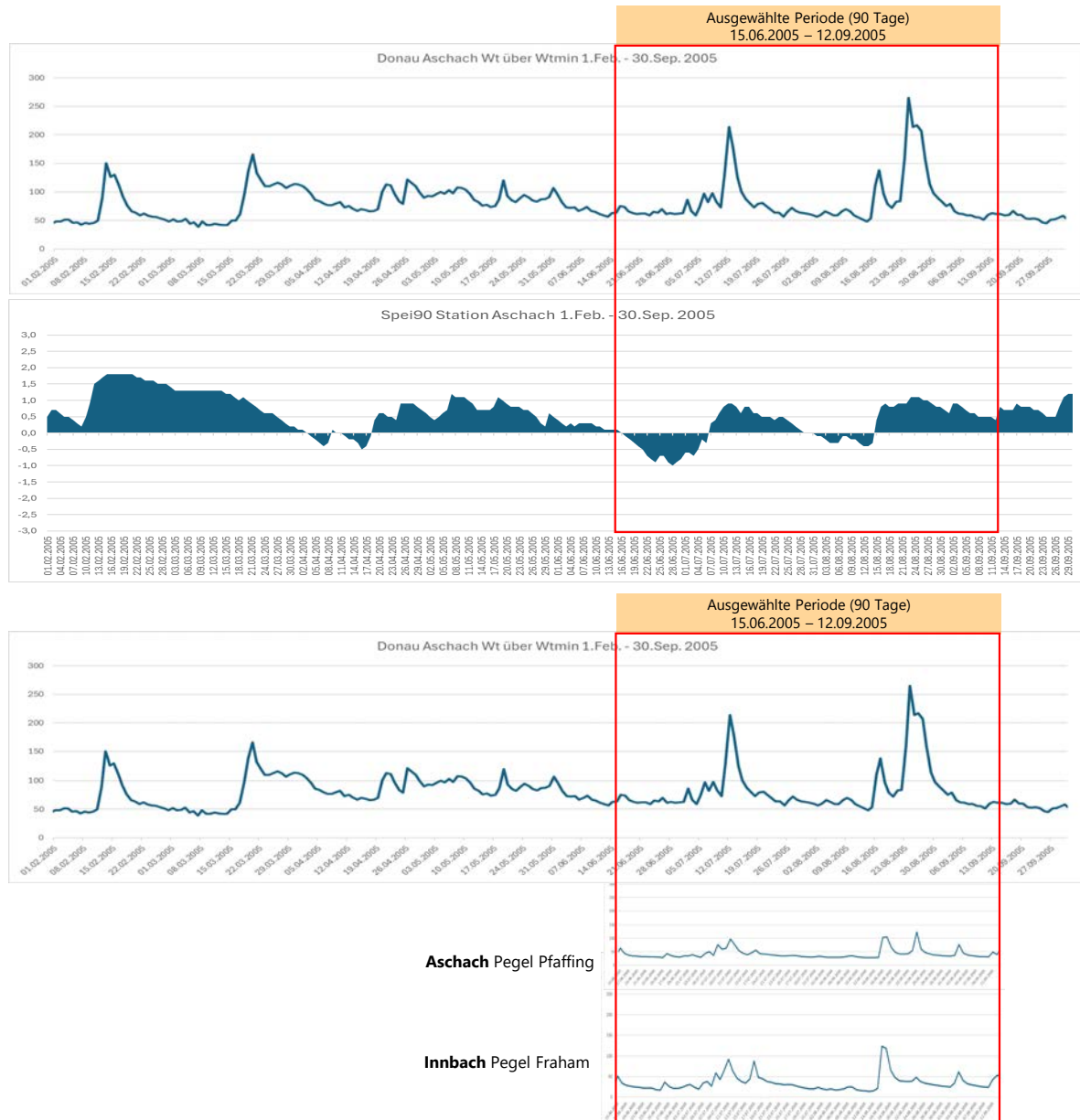
4.2.2.1 Auswahl aussagekräftiger 90-Tage-Zeitfenster

Die Auswahl geeigneter 90-Tage-Zeitfenster erfolgte im Bezugszeitraum (01.01.2000–31.12.2021) unter Visualisierung und Analyse der Ganglinien geeigneter hydrologischer bzw. meteorologischer Kenndaten und Indizes (siehe auch exemplarisch in Abbildung 9):

- aktuelle Wasserstände (Wt) und Abflüsse (Qt) relevanter Fließgewässer;
- normierte Wasserstände (Wt/Wt-Min) relevanter Fließgewässer, d. h. Verhältnis des aktuellen Wasserstands am Pegel zum minimalen Wasserstand des Pegels im Bezugszeitraum;
- Tagessummen der Niederschläge (N) der relevanten Bezugsstationen;
- Niederschlagssummen der vergangenen 90 Tage (N90) der relevanten Bezugsstationen;
- standardisierte Indexwerte der klimatischen Wasserbilanz (SPEI – *Standardized Precipitation Evapotranspiration Index*), aufsummierte Werte der klimatischen Wasserbilanz der vergangenen 30 (SPEI30) bzw. 90 Tage (SPEI90).

Ziel war es, Zeitfenster zu finden, in denen hohe Abflüsse in den relevanten Fließgewässern – gespeist von außerhalb des Grundwasserkörpers – auf länger andauernde niederschlagsarme oder Trockenperioden mit entsprechend niedrigen Grundwasserständen im Grundwasserkörper treffen. Zudem sollten Zeitfenster identifiziert werden, in denen sich die Abflüsse relevanter Zubringer unterschiedlich zum Hauptvorfluter verhalten (z. B. Hochwasser im Hauptvorfluter trifft auf Trockenperiode im Grundwasserkörper in der auch die Zubringer geringe Wasserführung aufweisen, oder umgekehrt). Es sollten zumindest zwei unabhängige 90-Tage-Zeitfenster ausgewählt werden (z. B.: Abflussspitze im Hauptvorfluter aus der Schneeschmelze im Einzugsgebiet trifft auf anhaltende Trockenperiode im Grundwasserkörper; sommerliche Abflussspitze im Hauptvorfluter aus Niederschlagsereignissen im Einzugsgebiet trifft auf Periode mit geringen bis mäßigen Niederschlägen und hoher sommerlicher Evapotranspiration im Grundwasserkörper).

Abbildung 9: Exemplarische Darstellung der normierten Wasserstände der Donau am Pegel Aschach, der Aschach am Pegel Pfaffing, des Innbaches am Pegel Fraham sowie des SPEI90 als Index für die klimatische Wasserbilanz im gewählten 90-Tage-Zeitfenster für den Grundwasserkörper Eferdinger Becken [DUJ] – westlicher Teil.



Quelle: Ingenieurbüro Christian Holler

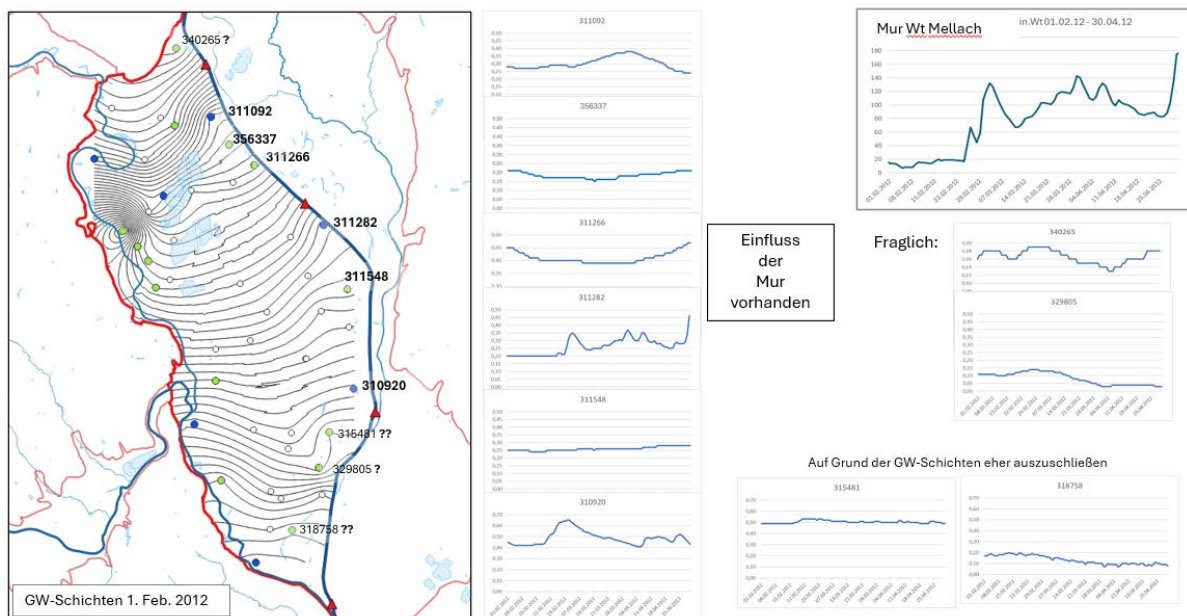
Für die beiden Pilotgebiete wurden die folgenden 90-Tage-Zeitfenster als geeignet für die Ganglinienanalyse ermittelt und entsprechend ausgewertet:

- Westliches Eferdinger Becken: 01.03.2006–29.05.2006 und 15.06.2005–12.09.2005;
- Westliches Leibnitzer Feld: 01.02.2012–30.04.2012 und 15.06.2012–12.09.2012.

4.2.2.2 Reaktionstypen messstellenspezifischer Ganglinien der Grundwasserstände

Die Ganglinien der Grundwasserstände der ausgewählten 90-Tage-Zeitfenster der Messstellen wurden visuell sogenannten „Reaktionstypen“ zugeordnet. Diese Reaktionstypen spiegeln wider, wie stark die Grundwasserstände an den Messstellen auf die angrenzenden Fließgewässer reagieren, also ob sie analog zur Vorgangsweise in Nestler (2014) auf Wasserstandsänderungen im Fließgewässer reagieren, „schwach“ reagieren oder nicht reagieren. Die Einteilung in Reaktionstypen (Abbildung 10) wurde ggf. anhand eines zweiten 90-Tage-Zeitfensters überprüft und adaptiert.

Abbildung 10: Exemplarische Darstellung der visuellen Ermittlung von Reaktionstypen für das Zeitfenster 01.02.2012–30.04.2012 im Grundwasserkörper Leibnitzer Feld [MUR].



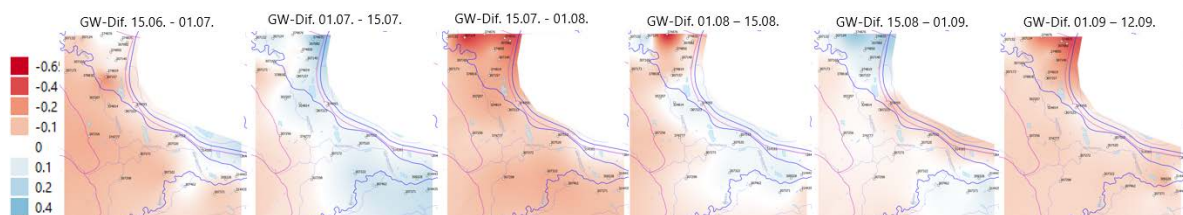
Quelle: Ingenieurbüro Christian Holler

4.2.2.3 Flächige Interpolation von Grundwasserständen

Außerdem wurden flächig interpolierte Entwicklungen der Grundwasserstände, das digitale Geländemodell und ggf. vorhandene Grundwassergleichenpläne zur Plausibilisierung und Adaption der Einschätzungen herangezogen. Dazu erfolgte:

- eine flächige Interpolation der Grundwasserstände im 15-Tage-Intervall auf Basis der Tageswerte der Messstellen mittels Standard-Kriging (*Ordinary Kriging*) und
- die Differenzflächenbildung aus der flächigen Interpolation der Grundwasserstände im 15-Tage-Intervall (Abbildung 11);
- ein Abgleich der Ergebnisse mit dem digitalen Geländemodell;
- ein Abgleich der Ergebnisse mit vorhandenen Grundwassergleichenplänen (MGW).

Abbildung 11: Exemplarische Darstellung der Differenzflächen aus der flächigen Interpolation der Grundwasserstände im Grundwasserkörper Eferdinger Becken [DUJ].



Quelle: Ingenieurbüro Holler

Die auf aufgrund der Ganglinien klassifizierten Reaktionstypen der hydrographischen Grundwassermessstellen wurden anschließend mit Ergebnissen und Aussagen vorliegender Grundwassermodelle und Regionalstudien verglichen und diskutiert (Kapitel 4.2.3).

4.2.3 Ergebnisse – Grundwasserstands-Reaktionstypen in Bezug auf Oberflächengewässer

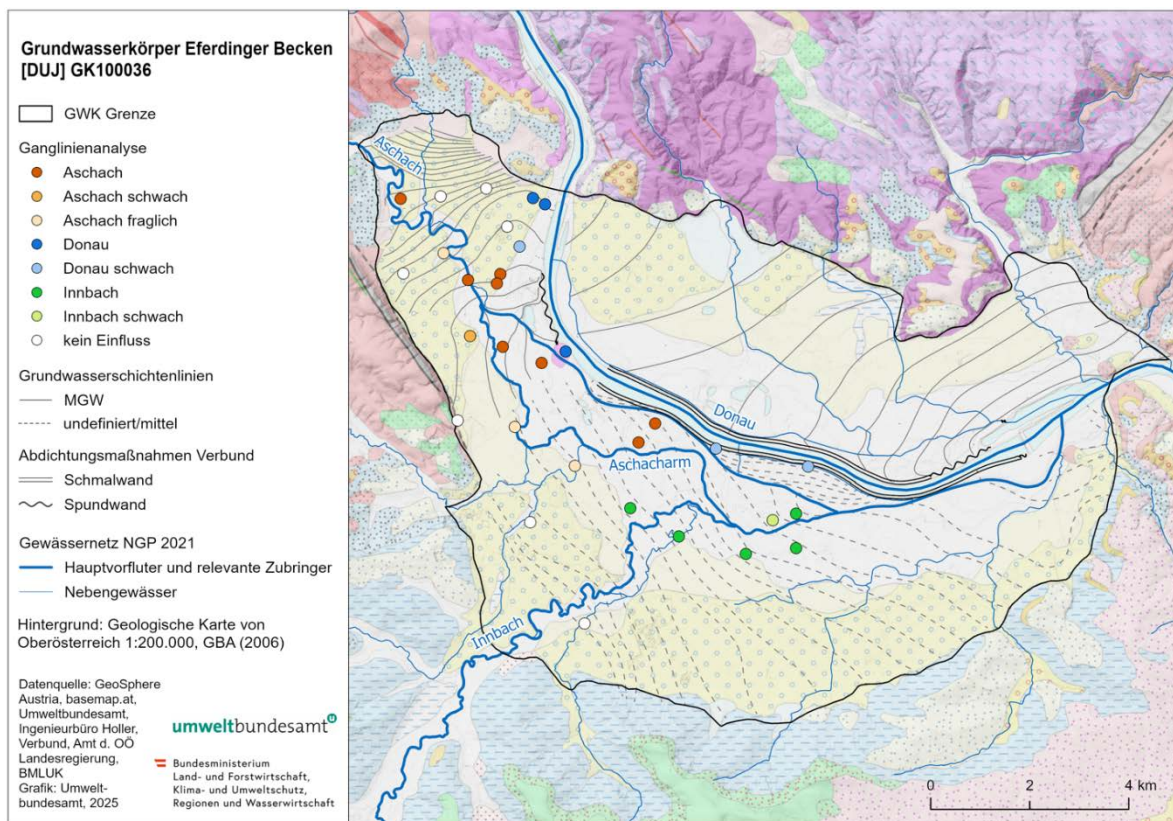
4.2.3.1 Eferdinger Becken [DUJ] – westlicher Bereich

Zwar konnten im Eferdinger Becken keine *optimalen* Zeitfenster (siehe Kapitel 4.2) für die visuelle Ganglinienanalyse identifiziert werden, dennoch liefern die beiden gewählten Zeitfenster ein gutes Bild der weitreichenden Einflussbereiche der Fließgewässer im westlichen Teil des Grundwasserkörpers Eferdinger Becken. Eine eindeutige Trennung der Einflüsse

von Donau, Aschach und Innbach ist aber aufgrund überlagernder Einflussfaktoren und hydraulischer Verbindungen (z. B. durch Altläufe und Dotationen) nur eingeschränkt möglich.

Nachfolgend werden die Ergebnisse der visuellen Ganglinienanalyse in Zusammenschau mit den vorliegenden Grundwassermodell- bzw. Regionalstudien diskutiert.

Abbildung 12: Reaktion der hydrografischen Grundwassermessstellen im westlichen Teil des Grundwasserkörpers Eferdinger Becken [DUJ] auf eine Beeinflussung durch Donau, Aschach oder Innbach.



Quelle: GeoSphere Austria, basemap.at, Umweltbundesamt, Ingenieurbüro Holler, Verbund, Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, BMLUK.

Messstellen (Abbildung 12), die aufgrund der Ganglinienanalyse den Reaktionstypen „**Donau**“ bzw. „Donau schwach“ zugeordnet sind, liegen in einem Bereich des westlichen Eferdinger Beckens, für den Infiltration der Donau bekannt ist. Gemäß bisherigen Studien infiltriert die Donau zwischen dem Ort Aschach an der Donau bis nördlich von Brandstatt in das Eferdinger Becken (Moser, G., Loidl, J. 2005; Lohberger, W., Lang, H., Moser, G. 2007; Loidl 2021; Moser G. 2006). In weiterer Folge strömt das Grundwasser in Richtung Süden und

dotiert zwischen dem Puppinger Wehr und Brandstatt die Aschach. Ebenso erfolgt ein konstanter Qualmwassereintritt¹⁶ von Seiten der Donau im Bereich der Rutzinger Au (Lohberger, 1998).

Hinsichtlich der Interaktion von Grundwasser und **Aschach** wird eine an Wehranlagen gebundene starke Wechselwirkung von Fließgewässer und Grundwasser beschrieben. Ebenso ist im Bereich von Fließstrecken eine Interaktion zwischen Grundwasser und Fließgewässer anzunehmen. Im Bereich von Stillwasserverhältnissen ist von Kolmation und somit nur geringer Interaktion mit dem Grundwasser auszugehen. Im Zuge einer Grundwassermodellstudie wurde eine Korrelation des Pegel Aschachs mit verschiedenen Grundwassermessstellen gezeigt, jedoch wurden keine Hinweise auf eine nennenswerte Infiltration der Aschach gefunden (Nachtnebel et al., 1992). Die Zuweisung von Messstellen zu den Reaktionstypen „Aschach“, „Aschach schwach“ und „Aschach fraglich“ ist daher im Nahbereich von Wehranlagen und im Nahbereich der Aschach als zuverlässig einzustufen. Die getroffene Zuordnung von Messstellen zwischen Eferding und Puppung zu den Reaktionstypen stimmt jedoch nicht mit den bisherigen Erkenntnissen überein. Die beiden Messstellen östlich von Karling unterliegen wahrscheinlich einem Donaueinfluss.

Im Bereich Taubenbrunn ist das Innbach-Bachbett weitgehend abgedichtet, und der Grundwasserspiegel liegt bei niedrigen und mittleren Pegelständen unterhalb der Gewässersohle (Lohberger 1998). Bei hohen Grundwasserständen dotiert das Grundwasser den Bach. Oberhalb der Aschach-Einmündung liegt der Innbach stets über dem Grundwasserspiegel, was auf Infiltration hinweist. Die Zuordnung der Messstellen östlich der Aschach-Einmündung zu den Reaktionstypen „Innbach“ bzw. „Innbach schwach“ entspricht diesen Beobachtungen, während die Zuweisung der beiden Messstellen nordwestlich bzw. südöstlich von Taubenbrunn zum Reaktionstyp „Innbach“ nicht mit den bisherigen Erkenntnissen übereinstimmt.

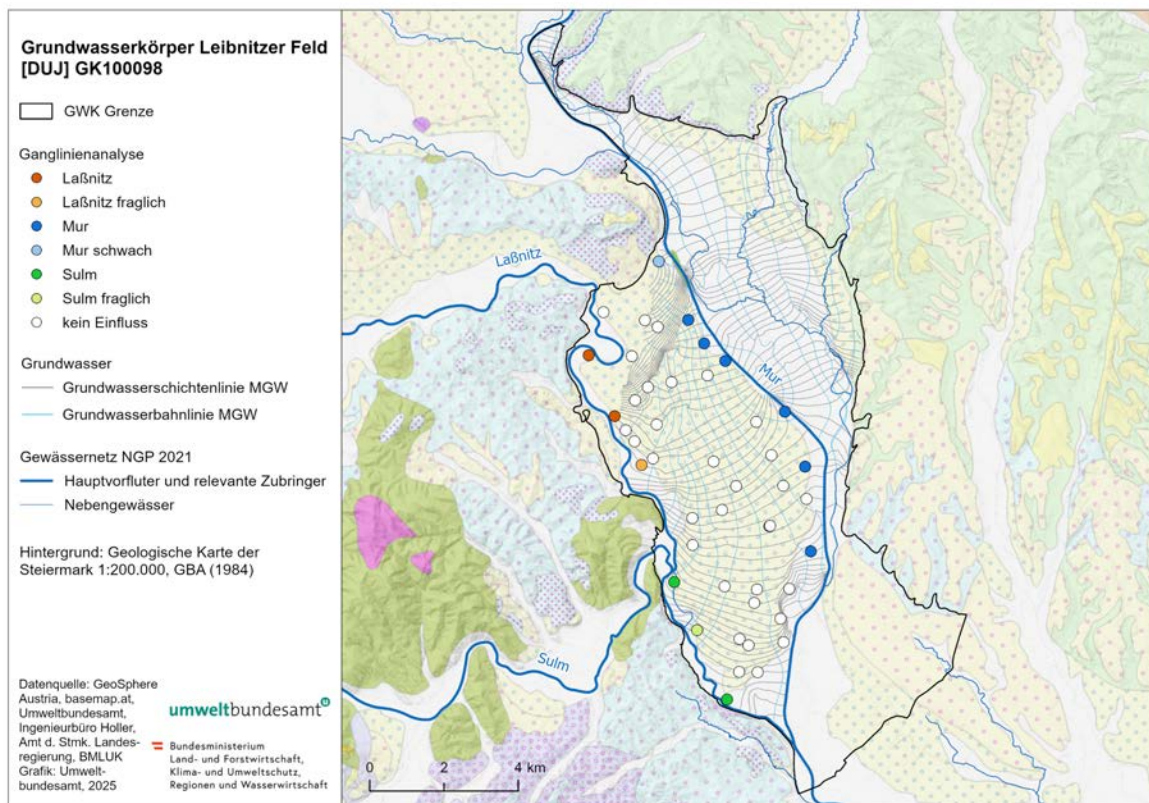
Gründe für die unterschiedlichen Ergebnisse im Vergleich der visuellen Ganglinienanalyse und den vorliegenden Studien liegen eventuell an der Kommunikation zwischen diesen Gewässern (Verbindung zwischen den Altläufen, Dotation aus der Donau, Einmündung von Aschach und Innbach in alten Donaulauf), an der Auswahl der Auswerteperiode, der zeitlichen Auflösung der Daten wie auch möglicherweise der Messnetzdichte.

¹⁶ Qualmwasser: Wasser, das unter einem durch Hochwasser eingestauten Deich durchsickert und an der Luftseite des Deiches aus dem Boden aufsteigt.

4.2.3.2 Leibnitzer Feld [MUR] – westlicher Teil

Für das Leibnitzer Feld bestätigt sich das von Nestler (2014) verwendete Zeitfenster (Herbst 2011 bis Frühling 2012) als besonders günstig für die Analyse des Einflusses der Mur. Dieses Zeitfenster eignet sich jedoch weniger, um mögliche Einflüsse von Laßnitz und Sulm zu erkennen. Hierzu lieferte der zweite gewählte Zeitabschnitt (15.06.2012–12.09.2012) ergänzende Informationen. Das Gesamtergebnis (Abbildung 13) zeigt, dass der Einfluss der Fließgewässer auf das westliche Leibnitzer Feld abschnittsweise und räumlich eng begrenzt entlang der Flussläufe auftritt.

Abbildung 13: Reaktion der hydrografischen Grundwassermessstellen im westlichen Teil des Grundwasserkörpers Leibnitzer Feld [MUR] auf eine Beeinflussung durch Mur, Laßnitz oder Sulm.



Quelle: GeoSphere Austria, basemap.at, Umweltbundesamt, Ingenieurbüro Holler, Amt der Steiermärkischen Landesregierung, BMLUK

Im Gegensatz zu Nestler (2014), der für das Leibnitzer Feld – im Unterschied zum Grazer Feld und Unteren Murtal – keinen Einfluss der Mur an Messstellen feststellen konnte,

zeigen die vorliegenden Auswertungen einen solchen Einfluss. Wahrscheinlich beruht die unterschiedliche Bewertung auf der Verwendung verschiedener Messstellen, was bei kleinräumig wechselnden Verhältnissen stärkere Unterschiede hervorruft. Darüber hinaus dokumentieren die vorliegenden Ergebnisse auch Einflüsse von Laßnitz und Sulm, die bei Nestler (2014) nicht untersucht wurden.

Messstellen, die den Reaktionstypen „**Mur**“ bzw. „Mur schwach“ zugeordnet sind, liegen entlang der Mur (orographisch rechts). Der Großteil dieser Messstellen befindet sich in einem Bereich, in dem auch das Grundwassermodell für das Leibnitzer Feld aufgrund des Umströmens von Kraftwerken Ex- bzw. Infiltration der Mur anzeigt (Mach et al., 2019). Damit bestätigen die Ergebnisse weitgehend die bekannten Befunde für die Mur. Gemäß Grundwassermodell stammt das Grundwasser bei den beiden nördlichsten Messstellen mit dem Reaktionstyp „Mur“ jedoch nicht von der Mur. Im Gegensatz dazu wurden weiter westlich liegende Messstellen, die zwischen Kraftwerk Gralla und Gemeinde Gralla liegen und lt. Grundwassermodell durch die Mur beeinflusst sind, in der gegenständlichen Analyse nicht dem Reaktionstyp „Mur“ zugewiesen.

Messstellen, die dem Reaktionstyp „**Laßnitz**“ zugewiesen sind, liegen nah an der Laßnitz. Die Messstellen liegen außerhalb des GW-Modellgebiets, ein Vergleich ist daher nicht möglich. Eine Messstelle wurde als „Laßnitz fraglich“ ausgewiesen. Gemäß Grundwassermodell ist jedoch von einer Dotierung der Laßnitz auszugehen.

Messstellen mit dem Reaktionstyp „**Sulm**“ und „Sulm fraglich“ liegen in einem Bereich, in dem es gemäß Grundwassermodell generell zur Dotierung der Sulm durch das Grundwasser kommt. Jedoch zeigt das Grundwassermodell auch eine Infiltration aus dem Laßnitz Nebengerinne südlich der Mündung von Laßnitz in die Sulm bei niedrigen Grundwasserhältnissen. Ebenso infiltrierte die Sulm unterstromig von Aflenz an der Sulm in das Grundwasser. Diese beiden Infiltrationsbereiche decken sich mit der Lage der beiden Messstellen mit Reaktionstyp „Sulm“.

Unterschiede zwischen den Ergebnissen der Ganglinienanalyse und dem Grundwassermodell sind möglicherweise auf Modellunsicherheiten und/oder die Auswahl der Zeitfenster, unterschiedliche Datengrundlagen (Messnetzdicke, Zeiträume) oder auch überlagernde Effekte (z. B. Entnahmen) zurückzuführen. Dabei ist zu beachten, dass das numerische Grundwassermodell nicht in der Lage ist, kurzfristige Hoch- oder Niedrigstände des Grundwassers jederzeit abzubilden. Die Nichtausweisung einer Beeinflussung durch die Mur kann zudem auf eine Überprägung des Signals durch lokale Grundwasserneubildung,

anthropogene Einflüsse wie Grundwasserentnahmen sowie auf die Signaldämpfung mit zunehmendem Abstand von der Mur zurückzuführen sein.

Des Weiteren kann auch die gewählte Interpolationsmethode, die in dieser Studie zur Ermittlung der Grundwasserschichtenlinie verwendet wurde, und die Messstellendichte, die der Interpolation zu Grunde liegt, das Ergebnis beeinflussen.

Im Östlichen Leibnitzer Feld ist die Grundwasserströmungsrichtung grundsätzlich parallel zur Mur ausgerichtet, was nicht zuletzt auf die Wirkung des Weissenegger Mühlganges zurückzuführen ist. Bei ihrem Eintritt in das Leibnitzer Feld reichert die Mur das Grundwasser an. Einen wesentlichen Einfluss auf die Grundwasserströmung hat das Kraftwerk Lebring. Hier kommt es im Bereich der Haslacher Au zu einer Umströmung des Kraftwerkstandortes. Unterhalb des Kraftwerkes führt die Unterwassereintiefung zu einem Übertritt des Grundwassers in die Mur.

4.3 Halbautomatische Analyse von Zeitreihen der Grundwasserstände mittels Dynamic Time Warping (DTW) und t-Distributed Stochastic Neighbor Embedding (t-SNE)

Da die visuelle Ganglinienanalyse überwiegend manuell erfolgt und zeitaufwändig ist, wurde für die beiden Pilotgebiete geprüft, ob halb- oder vollautomatische, statistisch basierte Analysen der messstellenspezifischen Zeitreihen der Grundwasserstände ebenfalls Aussagen über die Interaktion von Grundwasser und Fließgewässern ermöglichen. Hierzu wurde eine Kombination aus drei statistischen Verfahren angewendet:

- **Dynamic Time Warping (DTW)** (Senin, 2008) ist eine Methode zur Messung der Ähnlichkeit zwischen Zeitreihen, selbst wenn diese zeitlich verschoben oder unterschiedlich skaliert sind. Sie eignet sich besonders, um zeitlich versetzte Reaktionen im Grundwasserverhalten zu berücksichtigen.
- Zur Bestimmung der Clusterzentren wurde das **Dynamic Barycenter Averaging (DBA)** verwendet, das eine durchschnittliche Repräsentation der Zeitreihen innerhalb eines Clusters (Gruppe von Messstellen) liefert. Die optimale Clusteranzahl wurde mit der **Silhouetten-Methode** ermittelt, die die interne Homogenität und externe Trennschärfe der Cluster (Gruppe von Messstellen) quantifiziert.
- Zur Visualisierung und weiteren Analyse der Cluster wurde **t-Distributed Stochastic Neighbor Embedding (t-SNE)**, (van der Maaten und Hinton, 2008)) eingesetzt, eine

Dimensionsreduktionsmethode, die hochdimensionale Zeitreihen in eine zweidimensionale Darstellung überführt. Dadurch konnten Ähnlichkeitsstrukturen zwischen den Zeitreihen visuell nachvollzogen werden.

4.3.1 Datengrundlagen

Folgende Datengrundlagen standen bundesweit zur Verfügung und wurden für die visuelle Ganglinienanalyse in ausgewählten Zeitfenstern herangezogen:

- Hydrographische Daten aus der WebGIS-Applikation eHYD¹⁷: Grundwasserstände, Abflussdaten der Oberflächengewässer.

Für den Grundwasserkörper Eferdinger Becken [DUJ] wurden 91 Grundwassermessstellen auf Basis von Tagesmittelwerten für den Zeitraum vom 20.03.2006–13.05.2006 untersucht. Für den Grundwasserkörper Leibnitzer Feld [MUR] wurden die Grundwasserstandsdaten von 86 Messstellen auf Basis von Tagesmittelwerten für den Zeitraum vom 15.06.2012–12.09.2012 genutzt.

4.3.2 Vorgangsweise

Im ersten Schritt wurde **Dynamic Time Warping (DTW; Senin 2009)** eingesetzt, um die Ähnlichkeit zwischen Zeitreihen zu berechnen und Cluster, d. h. Gruppen von Messstellen mit ähnlichem Verhalten, zu bilden. Im Gegensatz zu klassischen Clusteringmethoden vergleicht DTW nicht nur Werte zu identischen Zeitpunkten, sondern sucht die beste Übereinstimmung zwischen den Punkten zweier Zeitreihen über unterschiedliche Zeitindizes hinweg. Dadurch eignet sich DTW besonders, um Reaktionsverzögerungen und zeitlich versetzt auftretende Grundwasserstände zu berücksichtigen – ein Vorteil angesichts der langsamen Fließgeschwindigkeit des Grundwassers und der damit verbundenen verzögerten Reaktionen auf Änderungen der Wasserstände im Oberflächengewässer.

Für die Anwendung von DTW wurde die Anzahl der zu erstellenden Cluster (Gruppen) im Vorhinein festgelegt. Die geeignete Clusteranzahl wurde anhand der **Silhouetten-Methode** bestimmt, die die Qualität der Cluster bewertet, indem sie für jede Zeitreihe die Ähnlichkeit zum eigenen Cluster mit der Ähnlichkeit zum nächstgelegenen Cluster vergleicht. Der Silhouettenkoeffizient liegt auf einer Skala von -1 bis +1: Ein Wert nahe 1 zeigt eine gute

¹⁷ [eHYD – der Zugang zu hydrographischen Daten Österreichs](#)

Zuordnung innerhalb des Clusters, während ein negativer Wert nahe -1 darauf hinweist, dass die Zeitreihe eher einem anderen Cluster zugeordnet werden sollte.

Wesentlich zur Bildung von Clustern ist das Clusterzentrum. Dieses stellt eine durchschnittliche Zeitreihe aller zum Cluster gehörigen Zeitreihen dar und kann anhand verschiedener Ansätze berechnet werden. In der vorliegenden Studie wurde dazu das **Dynamic Barycenter Averaging (DBA)** verwendet, das ebenso die Dynamik der Zeitreihen berücksichtigt und somit zum Vergleich zeitlich verschobener Zeitreihen geeignet ist.

Zur Visualisierung der Ergebnisse diente **t-SNE** (van der Maaten & Hinton 2008), das hochdimensionale Zeitreihen in 2D projiziert und ähnliche Muster räumlich zusammenführt. t-SNE optimiert die Anordnung der zu Punkten reduzierten Grundwasserganglinien so, dass ähnliche Zeitreihen im niedrigdimensionalen Raum näher beieinanderliegen, während unähnliche Zeitreihen weiter voneinander entfernt angeordnet sind.

Zur besseren Vergleichbarkeit der Zeitreihen wurde vor der Analyse eine Baseline-Korrektur durchgeführt, bei der alle Werte um den ersten Wert der jeweiligen Zeitreihe verschoben wurden, sodass nur die Änderung der Grundwasserstände im Untersuchungszeitraum ausgewertet wurde. Nur vollständige Zeitreihen ohne Datenlücken konnten verwendet werden, wodurch sich die Anzahl der analysierten Zeitreihen reduzierte. Es zeigte sich, dass die Methoden bei Zeitreihenlängen von ein bis drei Monaten deutlich bessere Ergebnisse lieferten als bei Jahresbetrachtungen.

Die Umsetzung erfolgte mittels der Software R mithilfe der Pakete Rtsne (Krijthe & van der Maaten, 2023) und dtwclust (Sarda-Espinosa, 2024).

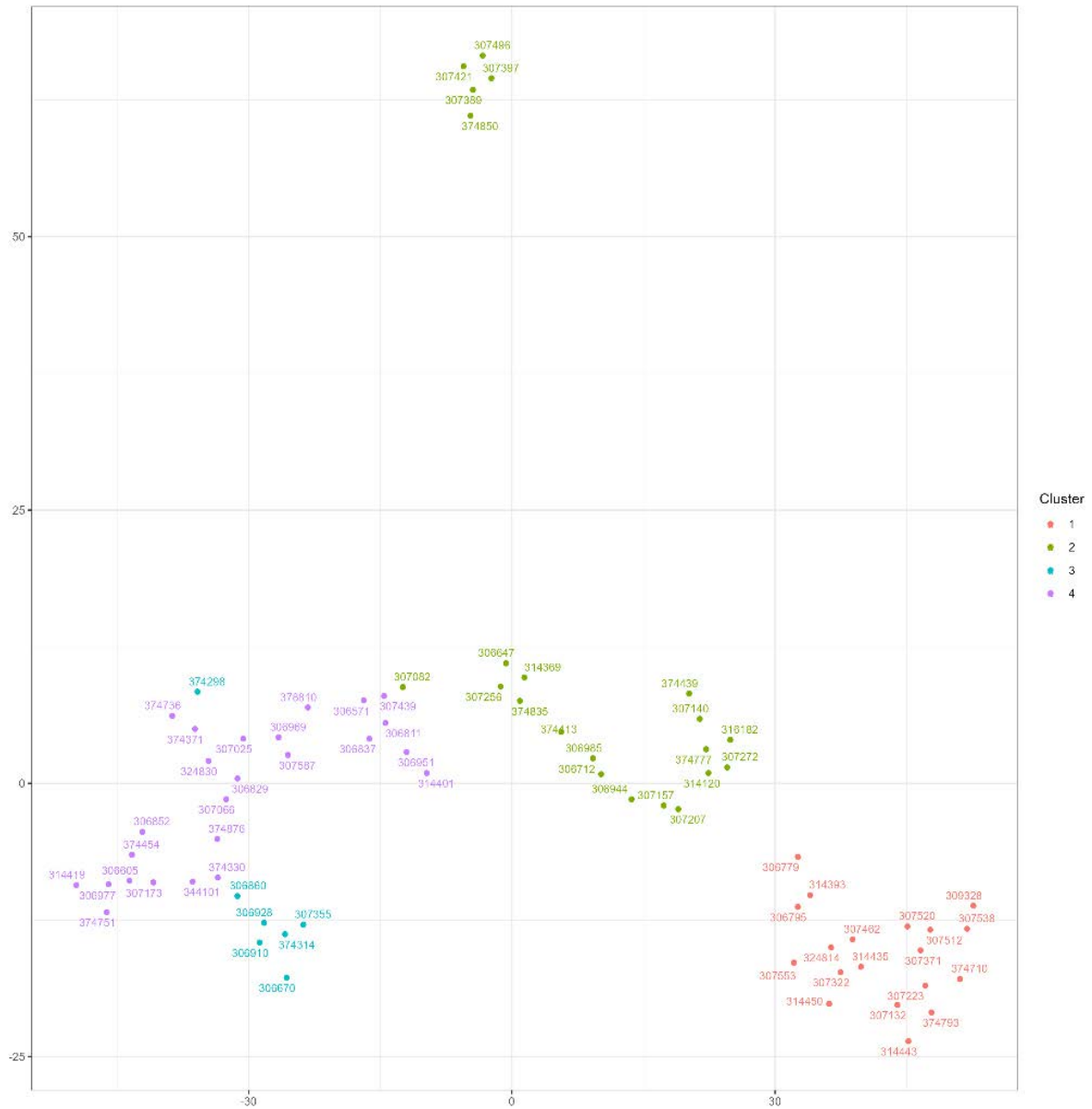
4.3.3 Ergebnisse – Gruppen hydrographischer Messstellen auf Basis von DTW und t-SNE

4.3.3.1 Eferdinger Becken [DUJ]

Für das Eferdinger Becken wurde der Untersuchungszeitraum vom 20.03.2006–13.05.2006 ausgewählt. Für das Clustering der DTW-Methode wurden mittels Silhouetten-Methode vier Cluster als eine geeignete Anzahl bestimmt.

Die Ergebnisse beider Clustering-Methoden (DTW und t-SNE) sind in Abbildung 14 gemeinsam dargestellt. Die Farbgebung entspricht dabei den Ergebnissen des DTW, die räumliche Anordnung entspricht dem Ergebnis der t-SNE-Methode. Die auf Basis von zwei Verfahren gebildeten Gruppen zeigen große Übereinstimmungen. Im oberen Teil der Abbildung 14 sind fünf Grundwassermessstellen gruppiert, die nach DTW zum Cluster 2 (grün) gehören. Ein Teil der Grundwassermessstellen des Clusters 2 (grün) werden durch das t-SNE deutlich distanziert von den anderen Grundwassermessstellen angeordnet. Cluster 1 (rot) grenzt sich in der räumlichen Darstellung deutlich von den übrigen Clustern ab und wird auch durch das DTW als eigenständiger Cluster erkannt. Zwischen Cluster 3 (blau) und 4 (violett) besteht in Abbildung 14 eine räumliche Nähe, eine eindeutige Gruppierung wie in Cluster 1 (rot) ist hier nicht gegeben. Die Grundwassermessstelle 307082 des Clusters 2 (grün) wird im Vergleich der beiden Methoden nicht eindeutig zugeordnet.

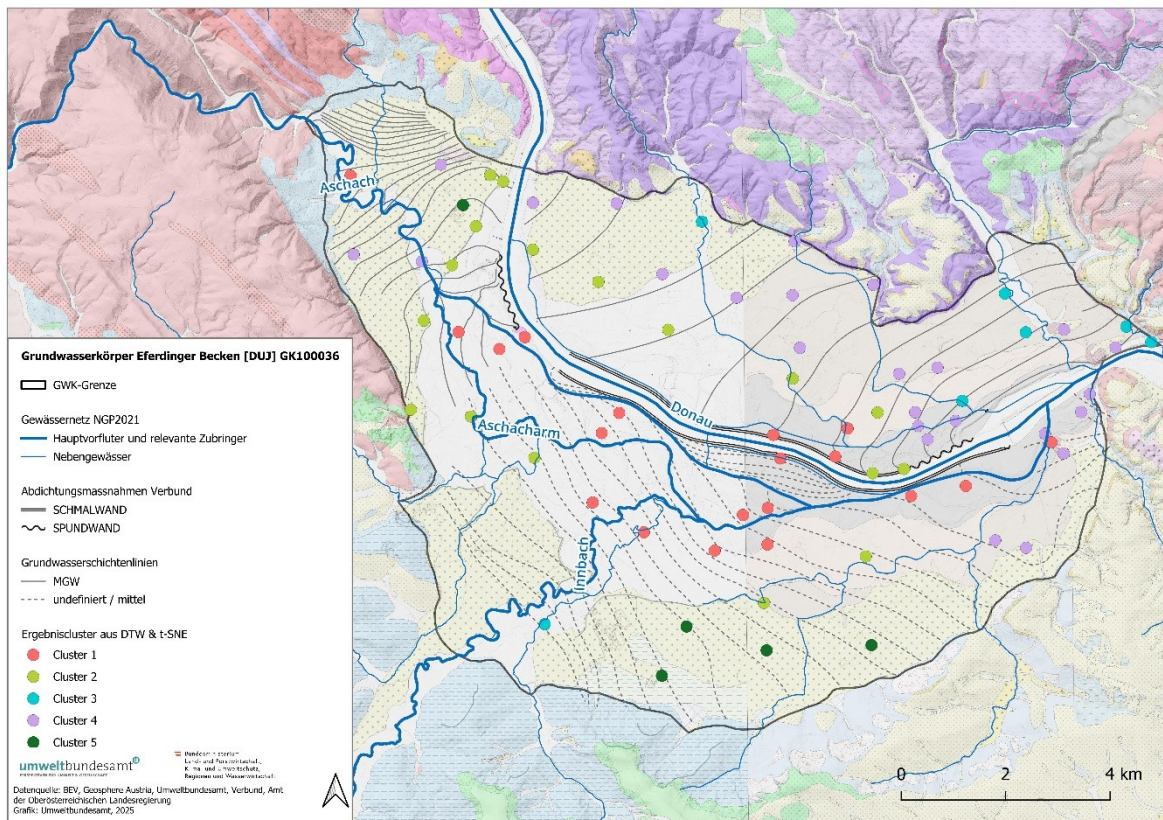
Abbildung 14: Clusterbildung mittels DTW (farblich) und t-SNE (räumlich) für den Zeitraum 20.03.2006–13.05.2006 im Grundwasserkörper Eferdinger Becken [DUJ].



Quelle: Umweltbundesamt

Die räumliche Anordnung der Grundwassermessstellen und ihre den Clustern der Abbildung 14 entsprechende Farbgebung ist in der nachfolgenden Karte (Abbildung 15) dargestellt.

Abbildung 15: Lage von mittels DTW und t-SNE ermittelten Gruppen hydrographischer Messstellen im Eferdinger Becken [DUJ] für den Zeitraum 20.03.2006–13.05.2006.



Quelle: BEV, GeoSphere Austria, Umweltbundesamt, Verbund, Amt der Oberösterreichischen Landesregierung

Aufgrund der in Abbildung 14 gezeigten Unterschiede der Gruppierung des Clusters 2 (grün), wird dieser in der Kartendarstellung geteilt. Die fünf gemeinsam gruppierten Grundwassermessstellen sind in dunkelgrüner Farbe dargestellt. Cluster 1 (rot) weist eine deutliche Nähe zu den Fließgewässern Aschach (Aschacharm) und Innbach auf, und der Großteil der Grundwassermessstellen befindet sich leicht südlich der Donau. Alle Grundwassermessstellen des Clusters 3 (blau) weisen sehr geringe Distanzen zu kleineren Fließgewässern nördlich der Donau auf, lediglich eine Messstelle befindet sich südlich der Donau am Blumbach. Die Verteilung der in Cluster 2 (grün) gruppierten Grundwassermessstellen ist diffuser. Es befinden sich Grundwassermessstellen sowohl nördlich als auch südlich der Donau, und sowohl an Fließgewässern als auch in räumlicher Distanz zu diesen. Vier der fünf in Abbildung 14 durch das t-SNE separat gruppierten Grundwassermessstellen, in Abbildung 15 dunkelgrün dargestellt, befinden sich im südlichsten Teil des Eferdinger Beckens in großer räumlicher Distanz zu Fließgewässern. Die Messstellen des Clusters 4 (violett) befinden

sich überwiegend nördlich der Donau, teils angrenzend an kleineren Fließgewässern, teils in räumlicher Distanz zu diesen. Es zeigt sich eine Akkumulierung der Grundwassermessstellen der Clusters 3 (blau) und 4 (violett) im nordöstlichen Teil des Eferdinger Beckens. Diese räumliche Nähe lässt sich auch in Abbildung 14 nachvollziehen.

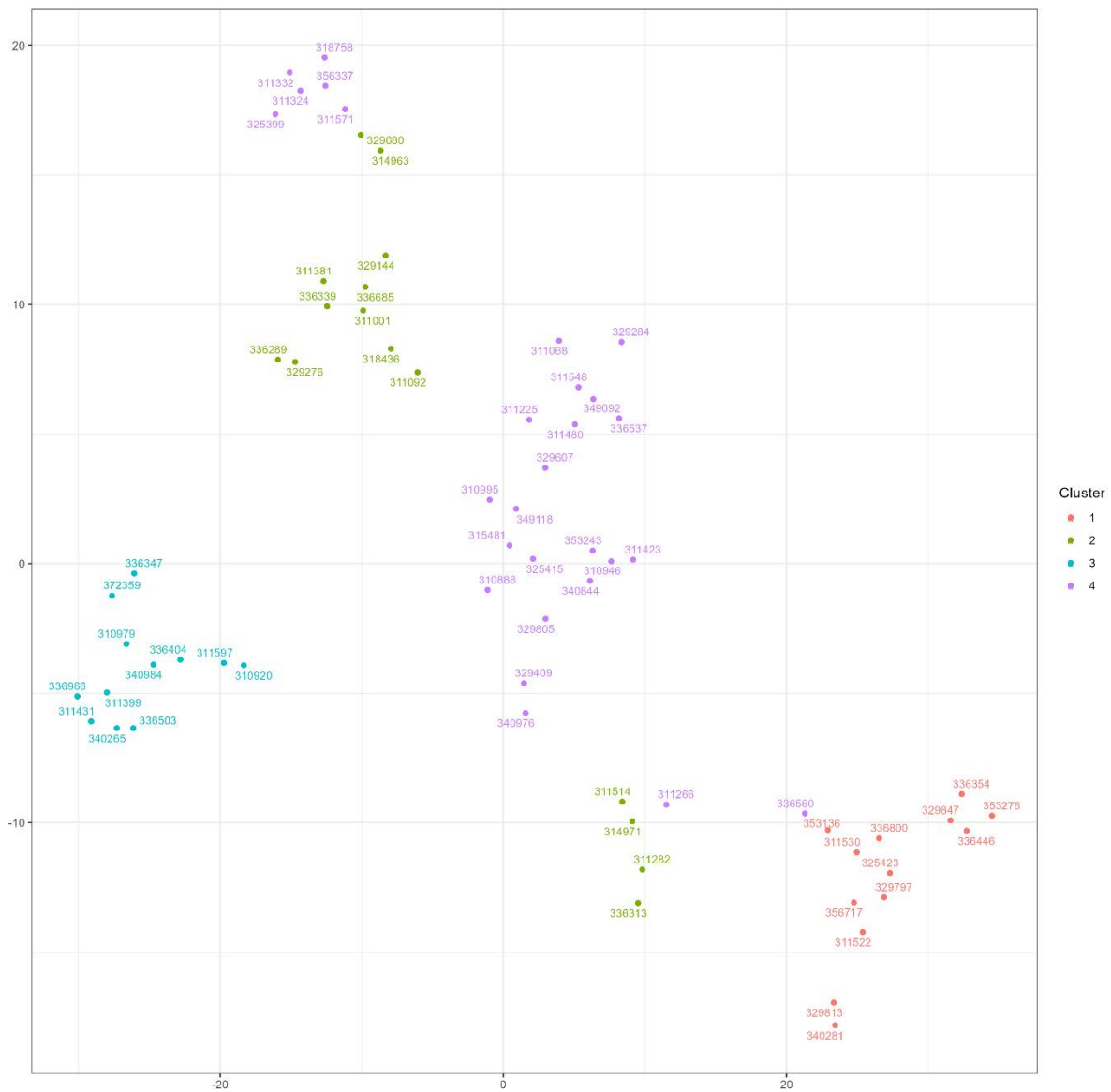
Die Ergebnisse zeigen, dass die durchgeführten statistischen Analysen die objektive, bearbeiterunabhängige Bildung räumlich sinnvoller Gruppen **in einem spezifischen Betrachtungszeitraum** im Grundwasserkörper Eferdinger Becken erlauben, welche die hydraulischen Verhältnisse in den Teilbereichen des Grundwasserkörpers Eferdinger Becken für dieses Zeitfenster gut abbilden. Die Frage nach einer Interaktion der Fließgewässer mit dem Grundwasser kann durch diese statistischen Analysen nicht eindeutig beantwortet werden, da sie lediglich hydraulische Muster im Grundwasserkörpers identifizieren, jedoch keine direkten Informationen über Austauschprozesse im Fließgewässer-Grundwasser-Übergangsbereich liefern.

4.3.3.2 Leibnitzer Feld [MUR]

Für den Grundwasserkörper Leibnitzer Feld wurde der Untersuchungszeitraum vom 15.06.2012 – 12.09.2012 ausgewählt. Für das Clustering der DTW-Methode wurden mittels Silhouetten-Methode vier Cluster als eine geeignete Anzahl bestimmt. In Abbildung 16 sind die Ergebnisse beider Clustering-Methoden gemeinsam dargestellt. Die Farbgebung entspricht den Ergebnissen des DTW, die räumliche Anordnung entspricht dem Ergebnis der t-SNE-Methode.

Zwei der vier Cluster werden in beiden Methoden sehr ähnlich erstellt, während die anderen beiden größere Unterschiede aufweisen. Im linken Teil der Abbildung grenzt sich Cluster 3 (blau) räumlich sehr deutlich von den übrigen Grundwassermessstellen ab, ähnlich wie Cluster 1 (rot) im rechten unteren Teil der Abbildung. Lediglich die Grundwassermessstelle 336560 wird durch die Methode t-SNE deutlich dem Cluster 1 (rot) zugeordnet, während sie mit der Methode DTW Cluster 4 (violett) zugeordnet wurde. Cluster 2 (grün) und 4 (violett) weisen in der räumlichen Darstellung des t-SNE eine heterogene Verteilung auf, mit einer teilweisen Vermischung mit dem jeweils anderen Cluster.

Abbildung 16: Clusterbildung mittels DTW (farblich) und t-SNE (räumlich) für den Zeitraum 15.06.2012–12.09.2012 im Grundwasserkörper Leibnitzer Feld [MUR].

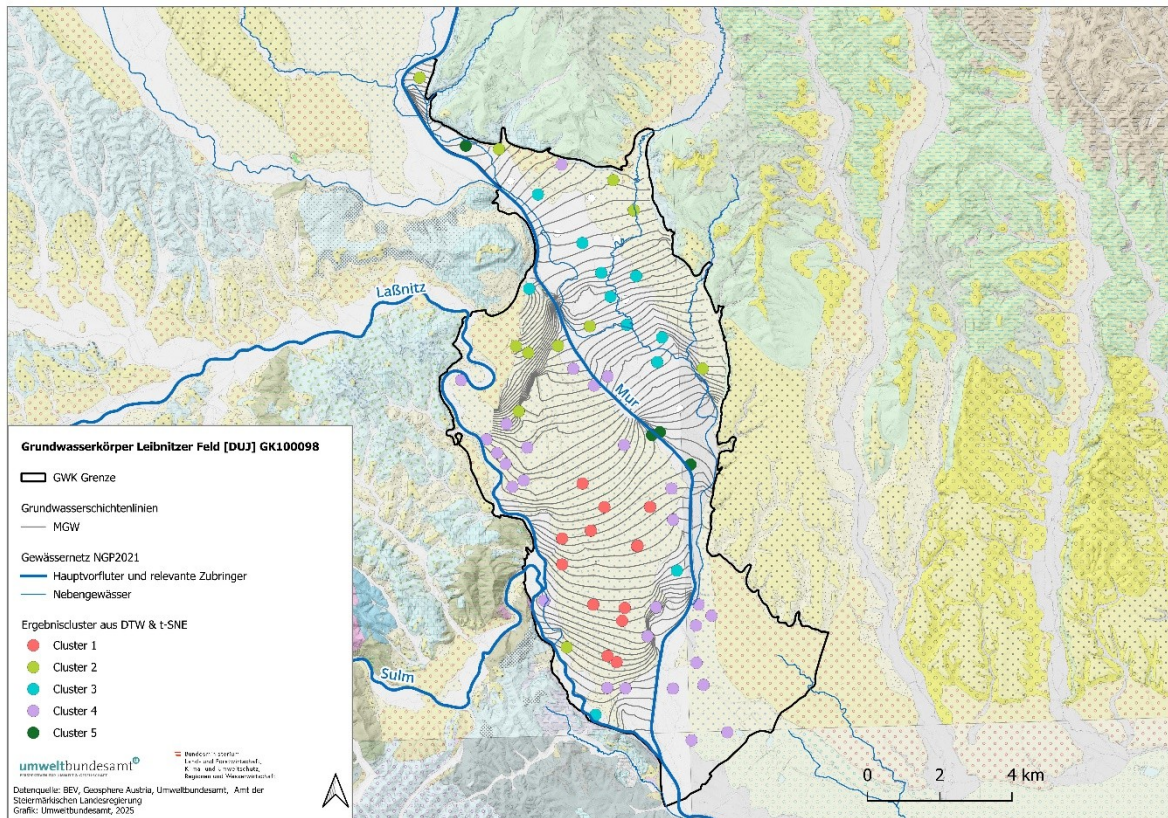


Quelle: Umweltbundesamt

Die räumliche Anordnung der Grundwassermessstellen und die Farbgebung nach Clustern ist in Abbildung 17 dargestellt. Aufgrund der in Abbildung 16 gezeigten unterschiedlichen Clusterzuordnung der Methoden DTW und t-SNE wurde aus den im unteren Teil von Abbildung 16 dargestellten Grundwassermessstellen des Clusters 4 (violett) ein neuer Cluster erstellt, dargestellt in dunkelgrüner Farbe. Für weitere unterschiedliche Clusterzuordnungen ergab sich keine Verbesserung bei Zuteilung in andere Cluster. Cluster 1 (rot) ist, ebenso wie in Abbildung 16, homogen gruppiert und liegt östlich der Mur im mittleren und südlichen Teil des Leibnitzer Felds, in einiger Distanz zu Fließgewässern. Cluster 2 (grün) weist

eine heterogene Verteilung auf, teils sehr nah an Fließgewässern, teils weiter von diesen entfernt.

Abbildung 17: Lage von mittels DTW und t-SNE ermittelten Gruppen hydrographischer Messstellen im Leibnitzer Feld für den Zeitraum 15.06.2012–12.09.2012.



Quelle: BEV, GeoSphere Austria, Umweltbundesamt, Amt der Steiermärkischen Landesregierung

Die durch die t-SNE räumlich vom Rest des Clusters getrennten Grundwassermessstellen wurden in einen neu erstellten Cluster 5 (dunkelgrün) gruppiert (Abbildung 17). Die Grundwassermessstellen dieses Clusters liegen direkt an der Mur, drei davon in geringer räumlicher Distanz zueinander sowie eine im nördlichen Teil des Leibnitzer Felds.

Cluster 3 (blau) weist eine große Nähe zu Fließgewässern auf und konzentriert sich überwiegend auf den nördlichen Teil des Untersuchungsgebietes (z. B. entlang der Stiefing). Dies spiegelt die homogene Gruppierung in Abbildung 16 wider. Cluster 4 (violett) weist keine eindeutige Zuordnung auf. Es befindet sich überwiegend im mittleren und südlichen Teil des Leibnitzer Feldes mit meist geringer Distanz zu Fließgewässern, allerdings auch mit

einigen Grundwassermessstellen in größerer Distanz zu Fließgewässern, insbesondere im Südosten des Leibnitzer Feldes.

Auch für den Grundwasserkörper Leibnitzer Feld konnten für den spezifischen Betrachtungszeitraum objektive, bearbeiterunabhängige räumlich sinnvolle Gruppen gebildet werden, welche die hydraulischen Verhältnisse in den Teilbereichen des Grundwasserkörpers für dieses Zeitfenster abbilden. Direkte Informationen über Austauschprozesse im Fließgewässer-Grundwasser-Übergangsbereich liefern die Analysen nicht.

4.4 Multivariate Analyse von Wassergütedaten der GZÜV für die Überprüfung auf Grundwasser-Fließgewässer-Interaktion in den Pilotgebieten

Neben hydrographischen Verfahren (vgl. Kapitel 4.2 und 4.3) sind tracerbasierte Methoden etablierte, robuste Ansätze zur Untersuchung der Interaktion von Grundwasser und Fließgewässern (Bertrand et al. 2014; Bichler 2016). Umwelttracer wie stabile Wasserisotope ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$), Edelgase (Ne, He, Ar), physikalisch-chemische Parameter (z. B. Wassertemperatur, siehe Kapitel 4.6; elektrische Leitfähigkeit, pH-Wert, Sauerstoffgehalt) oder Spurenstoffe (z. B. Pharmazeutika, Süßstoffe) ermöglichen Rückschlüsse auf Interaktionen und Mischungsverhältnisse. Voraussetzung für die Anwendung derartiger Analysen ist, dass die Mischungskomponenten (Grundwasser, Fließgewässer u. a.) klar unterschiedliche Tracer-Signaturen aufweisen und ausreichend charakterisiert werden – durch geeignete Probenahmen sowie zeitlich und räumlich hoch aufgelöste Datenerhebungen (Suzuki et al., 2025).

Für Frühwarnsysteme, z. B. bei Wasserfassungsanlagen zur Brauch- oder Trinkwassergewinnung aus Uferfiltrat, die in unmittelbarer Nähe zu Flüssen oder Seen liegen, sind häufig zeitlich und räumlich hochaufgelöste Untersuchungsprogramme erforderlich, um potenzielle Eintragsrisiken frühzeitig zu erkennen und geeignete Betriebs- und Schutzmaßnahmen ableiten zu können. Kontinuierliche Messungen entlang von Querprofilen (Transekten) ermöglichen es dabei, potenzielle Verunreinigungen, Änderungen der Fließrichtungen und Mischungsverhältnisse frühzeitig zu erfassen.

Im Unterschied dazu sollte im vorliegenden Projekt untersucht werden, inwieweit sich bundesweit vorliegende Daten der Gewässerzustandsüberwachung (GZÜV, BGBl. II Nr. 479/2006 idgF.) zur Identifizierung von Interaktionsbereichen zwischen Grundwasser und Fließgewässern eignen. Die räumliche und zeitliche Auflösung der aus diesen Daten

generierten Information ist dabei von vornherein durch die Lage der Messstellen der GZÜV sowie durch die Frequenz ihrer Beprobung begrenzt.

Voraussetzung für die Anwendung dieses Ansatzes ist, dass für den jeweiligen Grundwasserkörper sowohl an Grundwassermessstellen als auch an Fließgewässermessstellen vergleichbare und zeitlich abgestimmte Datensätze der relevanten Parameter vorliegen. Nur bei ausreichender Datenverfügbarkeit in beiden Wasserkompartimenten lässt sich eine fundierte Bewertung der Wechselwirkungen und potenziellen Beiträge des Oberflächenwassers zur Grundwasserneubildung vornehmen.

Dies ist aufgrund der zuvor beschriebenen Ausrichtung des GZÜV-Monitorings nur sehr eingeschränkt gegeben. Als ebenfalls herausfordernd erwiesen sich die harmonisierte Zuordnung der Fließgewässer- und Grundwasserparameter (z. B. keine durchgehend einheitliche Benennung, z. T. unterschiedliche Maßeinheiten) sowie die Identifikation von Fließgewässermessstellen, die sowohl räumlich repräsentativ für den jeweiligen Grundwasserkörper sind als auch über einen für die statistischen Analysen geeigneten Parameterumfang verfügen.

4.4.1 Datengrundlagen

Folgende Datengrundlagen standen bundesweit zur Verfügung und wurden für die multivariate messstellenspezifische Analyse herangezogen:

- GZÜV-Wassergütedaten aus der H2O-Fachdatenbank des Wasser Informationssystems Austria (WISA)¹⁸.

Es wurden Daten des Zeitraumes 2019 bis 2024 verwendet. Dieser Zeitraum schließt auch das Erstbeobachtungsjahr 2019 im Rahmen der überblicksweisen Überwachung (§ 4 GZÜV; BGBl. 479/2006 idGF.) ein. Die Daten wurden als Mittelwerte je Messstelle und Parameter aggregiert. Messwerte unterhalb der Nachweis- bzw. Bestimmungsgrenze wurden auf den Wert Null gesetzt.

Messstellenumfang, Parameterauswahl, Beobachtungsumfang und Beobachtungsfrequenz der Überwachung der Wassergüte in Österreich sind durch die Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV; BGBl. II Nr. 479/2006 idGF.) geregelt, eine genaue Beschreibung

¹⁸ [H2O Fachdatenbank - Abfrage Qualitätsdaten](#)

der entsprechenden Umfänge und Vorgaben findet sich in den Jahresberichten zur Wasser-
güte (z. B. BML, 2024).

In der Regel liegen für die ca. 2.000 GZÜV-**Grundwassermessstellen** pro Jahr ein bis drei
quartalsweise Untersuchungen zu den in der GZÜV (Anlage 15, Parameterblock 1 und 2)
geregelt Parametern vor. Darüber hinaus liegen (häufig stichprobenartige) Erhebungen
nicht geregelter, grundwasserrelevanter Spurenstoffe oder anderer Indikatorparameter
aus GZÜV-Sondermessprogrammen vor (BML, 2024).

GZÜV-**Fließgewässermessstellen** der überblicksweisen Überwachung werden in der Regel
zwölfmal jährlich auf physikalisch-chemische Grundparameter und, falls relevant, auf zu-
sätzliche Schadstoffe untersucht. Derzeit umfasst das Messnetz der überblicksweisen Über-
wachung 76 Fließgewässermessstellen. In Oberflächenwasserkörpern mit einem Risiko der
Zielverfehlung werden an operativen Messstellen zusätzliche Untersuchungen durchge-
führt. In der Beobachtungsperiode 2019–2021 wurden 169 Fließgewässermessstellen im
Rahmen des operativen Monitorings untersucht (BML, 2024).

Die genannten Daten sind über das Wasserinformationssystem Austria (WISA)¹⁹ öffentlich
zugänglich. Zu berücksichtigen ist, dass die Überwachungsprogramme zur Wasserqualität
von Grundwasser und Oberflächengewässer primär auf die Anforderungen der jeweiligen
Zustands- und Risikobeurteilung gemäß den Vorgaben der GZÜV bzw. der jeweiligen Quali-
tätszielverordnungen (QZV Chemie GW (BGBl. II Nr. 98/2010 idgF.), QZV Chemie OW
(BGBl. II Nr. 96/2006 idgF.) ausgerichtet sind. Die Fragestellung der Wechselwirkungen zwi-
schen Grund- und Fließgewässern – insbesondere im Hinblick auf Uferfiltration und deren
räumliche Ausdehnung – ist nicht vorrangiger Gegenstand der Monitoringkonzepte.

Dies spiegelt sich, wie bereits erwähnt, deutlich in der räumlichen Verteilung, zeitlichen
Auflösung und Parameterauswahl der verfügbaren Daten wider: Während chemisch-physi-
kalische Parameter zur Bewertung des chemischen Zustands von Grundwasser und Ober-
flächengewässern regelmäßig erfasst werden, liegen Isotopendaten oder Daten von Tra-
cern, die für die Identifikation von Interaktionen oftmals besonders geeignet sind, nur im
Kontext ausgewählter Sondermessprogramme vor. Auch die Lage der Messstellen ist meist
nicht gezielt auf Übergangsbereiche zwischen Fließgewässern und angrenzenden Grund-
wasserkörpern, sondern auf eine für den Grundwasserkörper repräsentative Erfassung

¹⁹ [Wasser und Daten \(WISA\)](#)

ausgerichtet, sodass potenziell relevante Austauschprozesse vielerorts nicht erfasst werden können.

4.4.2 Vorgangsweise

Zunächst wurden hydrochemische Parameter und Spurenstoffe mittels Hauptkomponentenanalyse (PCA²⁰) und anschließender hierarchischer Clusteranalyse (HCA) ausgewertet, um Messstellen mit ähnlicher Wasserzusammensetzung zu identifizieren und potenzielle Zonen mit Beeinflussung durch Oberflächengewässer statistisch zu klassifizieren. Die Hauptkomponentenanalyse (PCA) ermittelt hierbei die dominierenden hydrochemischen Gradienten in den Daten, etwa geogen- und/oder redoxbedingte Muster sowie anthropogene Einflüsse oder Einflüsse von Fließgewässern. Die Daten wurden vorab standardisiert.

Auf Basis der PCA-Ergebnisse erfolgte ein Datenclustering mittels K-Means-Clustering. Die geeignete Anzahl an Clustern wurde mit der Silhouetten-Methode bestimmt. Die Umsetzung erfolgte in R mithilfe der Pakete FactoMineR (Lê et al., 2008) und factoextra (Kassambara & Mundt, 2020).

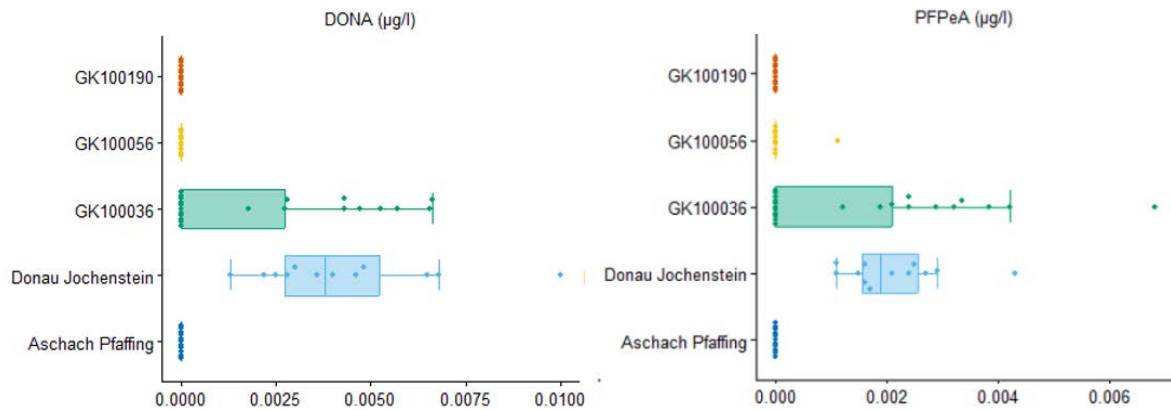
4.4.3 Ergebnisse

4.4.3.1 Eferdinger Becken [DUJ]

Für den Nachweis einer Beeinflussung durch die Donau eignen sich im Grundwasserkörper Eferdinger Becken insbesondere die PFAS-Verbindung DONA (bzw. ADONA), deren Eintrag in die Donau fast ausschließlich auf den Chemiepark Gendorf in Deutschland zurückgeführt werden kann (BML, 2023, Gonaus, 2024) und die PFAS-Verbindung PFPeA (Perfluorpentansäure). Beide Substanzen wurden in der Donau und in einigen Grundwassermessstellen in Spurenkonzentrationen gemessen, nicht aber in der Aschach oder in Grundwassermessstellen der angrenzenden Grundwasserkörper Böhmisches Masse [DUJ] und Schlierhügelland [DUJ] (Abbildung 18). Andere PFAS wiederum sind gar nicht oder nur in Spuren auch in der Aschach und/oder den Grundwasserkörpern Böhmisches Masse [DUJ] und Schlierhügelland [DUJ] nachweisbar (Daten nicht dargestellt). Sie eignen sich deshalb nicht für eine eindeutige Zuordnung eines Donaeinflusses.

²⁰ PCA – Principal Component Analysis

Abbildung 18: Nachweis von DONA und PFPeA in Grundwassermessstellen des Eferdinger Beckens [DUJ], des Schlierhügellandes [DUJ] und der Böhmisches Masse [DUJ] sowie Fließgewässermessstellen der Donau und der Aschach.

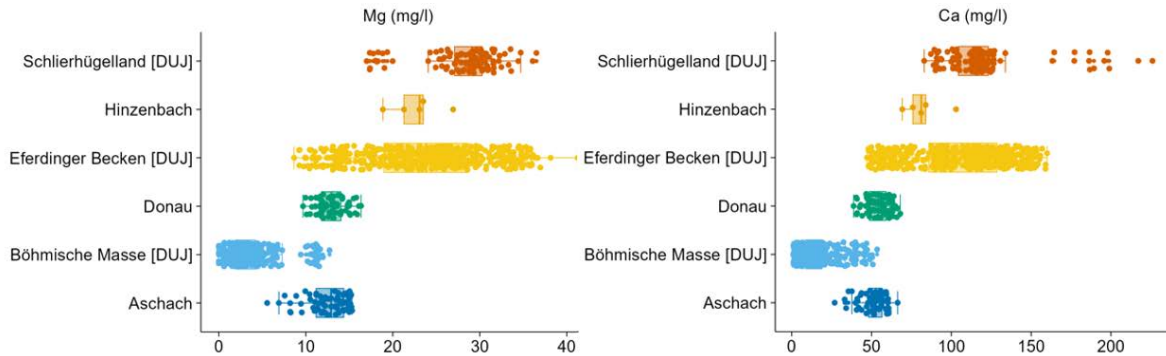


Erläuterung: Einzelmesswerte im Zeitraum 2019–2024. Messwerte unterhalb der Nachweis- bzw. Bestimmungsgrenze wurden auf den Wert Null gesetzt.

Quelle: GZÜV, BMLUK, Ämter der Landesregierungen, Umweltbundesamt

Messstellen, in denen die PFAS-Substanz DONA in geringen Spurenkonzentrationen nachgewiesen wurden, sind in der Karte in Abbildung 22 als „GW donaubeeinflusst“ ausgewiesen. Andere Wasserinhaltsstoffe, wie in Abbildung 19 beispielhaft für Magnesium und Calcium gezeigt, ermöglichen keine ebenso eindeutige Ableitung eines Einflusses der Donau, erlauben aber in der multivariaten Analyse die Differenzierung von stärker mineralisiertem Grundwasser bzw. Wässern unterschiedlicher Herkunft oder Beeinflussung, wie in Abbildung 20 und Abbildung 21 dargestellt.

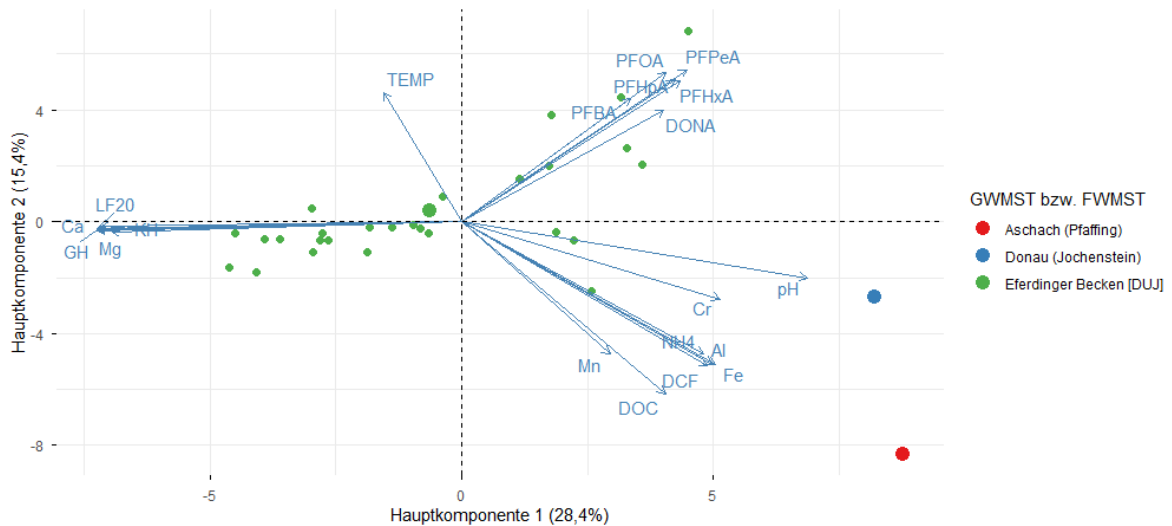
Abbildung 19: Ionenkonzentrationen von Magnesium und Calcium in Grundwassermessstellen des Eferdinger Beckens [DUJ], des Schlierhügellandes [DUJ] und der Böhmisches Masse [DUJ] sowie in den Fließgewässermessstellen der Donau, des Hinzenbaches und der Aschach.



Erläuterung: Einzelmesswerte im Zeitraum 2019–2024. Messwerte unterhalb der Nachweis- bzw. Bestimmungsgrenze wurden auf den Wert Null gesetzt.

Quelle: GZÜV, BMLUK, Ämter der Landesregierungen, Umweltbundesamt

Abbildung 20: Hauptkomponentenanalyse – Eferdinger Becken [DUJ].



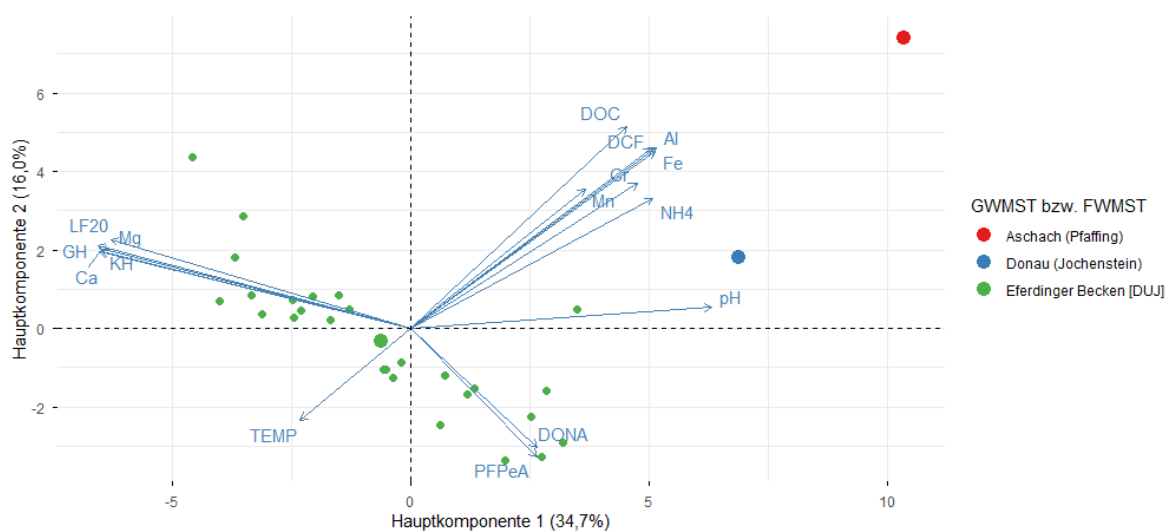
Quelle: Umweltbundesamt

Auf Basis der Darstellung der ersten und zweiten Hauptkomponente lassen sich drei wesentliche hydrochemische Gradienten ausmachen:

- ein Mineralisierungsgradient (gekennzeichnet durch die hohe Bedeutung der Parameter Magnesium, Calcium, elektrische Leitfähigkeit bei 20°C sowie Karbonat- und Gesamthärte);
- ein redox- bzw. gewässerbeeinflusster Gradient (gekennzeichnet durch eine hohe Bedeutung der Parameter Eisen, Mangan, Ammonium) aber auch durch Chrom, Aluminium, DOC und Diclofenac;
- ein PFAS-Gradient (gekennzeichnet durch eine hohe Bedeutung einiger PFAS-Parameter. Es handelt sich hierbei um Spurenkonzentrationen).

Der PFAS-Parameterumfang für die Hauptkomponentenanalyse wird reduziert, weil – wie in Abbildung 20 gezeigt – nur DONA (und PFPeA) relativ zuverlässig eine eindeutige Beeinflussung des Grundwassers durch die Donau anzeigen. Zahlreiche Grundwassermessstellen liegen auf einem Gradienten (Abbildung 21), der an einem Ende durch gering mineralisiertes Grundwasser mit Spurenbefunden für DONA und am anderen Ende durch stärker mineralisiertes Grundwasser ohne DONA gekennzeichnet ist. Eine Messstelle im 2. Quadranten deutet zudem auf einen möglichen Einfluss der Aschach hin.

Abbildung 21: Hauptkomponentenanalyse – Eferdinger Becken [DUJ], reduzierter PFAS-Parameterumfang.

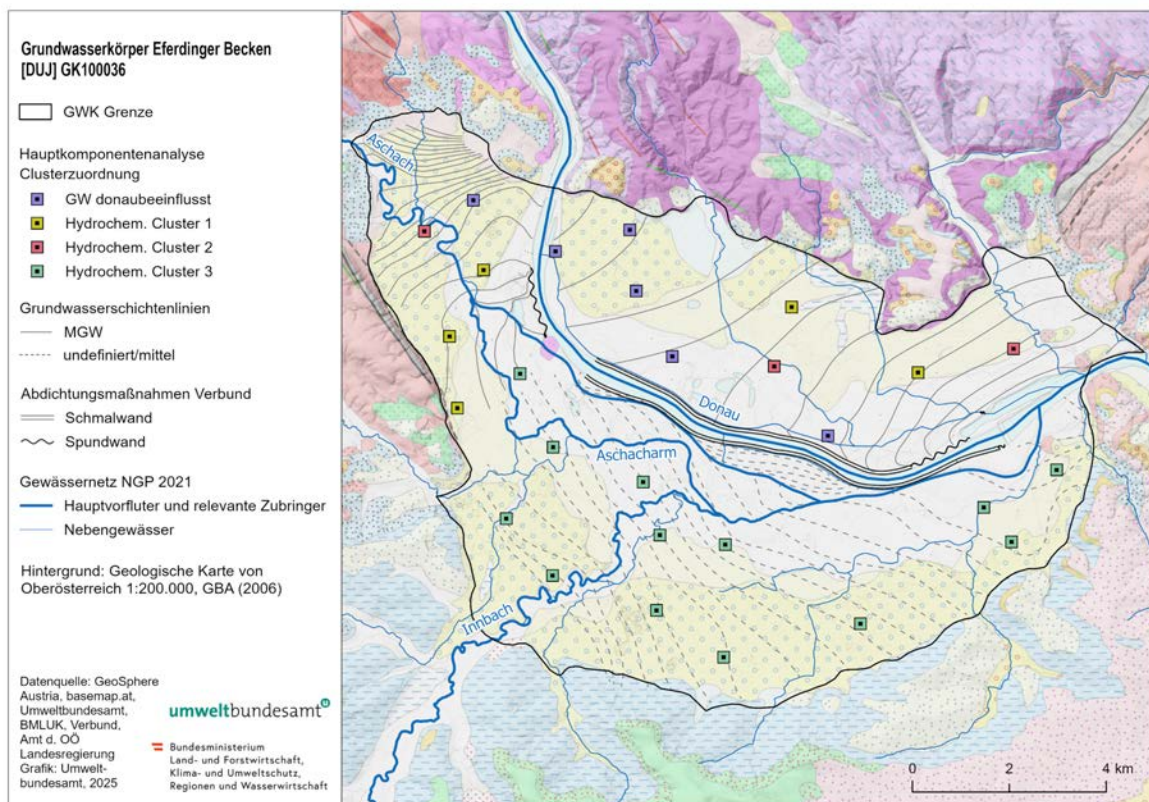


Quelle: Umweltbundesamt

Mit der ersten und zweiten Hauptkomponente (Abbildung 21) können jeweils 34,7 % bzw. 16,0 % (bei reduziertem PFAS-Parameterumfang) der Gesamtvariabilität im untersuchten hydrochemischen Datensatz erklärt werden.

Eine Gruppe von Grundwassermessstellen („GW donaubeeinflusst“) ist durch Spurenkonzentrationen von DONA und PFPeA gekennzeichnet und wird in unterschiedlichen Anteilen durch infiltriertes Donauwasser gespeist. Die Messstellen liegen links der Donau im nördlichen Eferdinger Becken, entlang eines gedachten Fließpfades von Aschach über Feldkirchen an der Donau bis Goldwörth und darüber hinaus (Abbildung 22).

Abbildung 22: Hydrochemische Cluster und deutlich durch die Donau beeinflusste Grundwassermessstellen im Grundwasserkörper Eferdinger Becken.



Quelle: GeoSphere Austria, basemap.at, Umweltbundesamt, BMLUK, Verbund, Amt der Oberösterreichischen Landesregierung

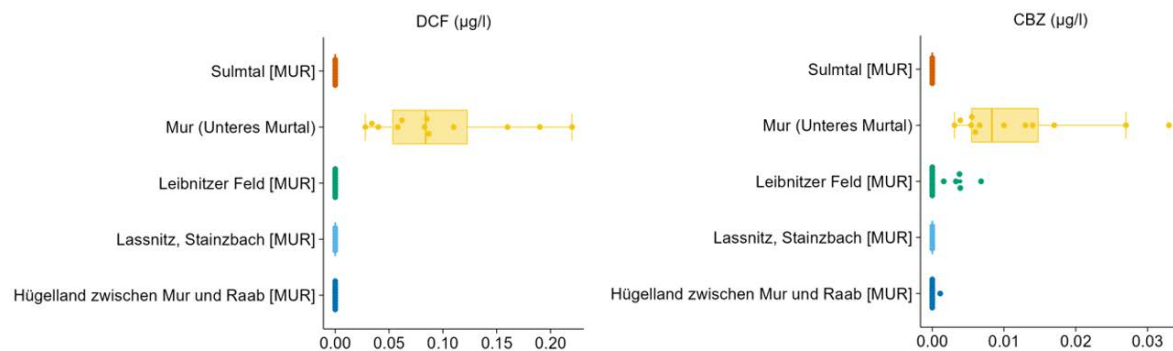
Die hydrochemischen Cluster 1, 2 und 3 (Abbildung 22) umfassen räumlich sinnvolle Gruppen und spiegeln wahrscheinlich in erster Linie die hydrochemischen Einflüsse der

Randbereiche des Eferdinger Beckens (Schlierhügelland, Böhmisches Masse) oder der von dort zufließenden Fließgewässer wider. Weitere oder andere Differenzierungen sind grundsätzlich möglich, je nachdem, welche Parametergruppen bei der multivariaten Analyse betrachtet werden (z. B. Nährstoffe, Spurenelemente, Metalle).

4.4.3.2 Leibnitzer Feld [MUR]

Für den Nachweis einer Beeinflussung durch die Mur eignet sich im Grundwasserkörper Leibnitzer Feld potenziell der Arzneimittelwirkstoff Carbamazepin, der in Spurenkonzentrationen aus Abläufen von Kläranlagen in die Mur und andere Fließgewässer mit Kläranlageneinleitungen gelangt (Abbildung 23). Für die Laßnitz lagen im Untersuchungszeitraum keine Daten zu Arzneimittelwirkstoffen vor.

Abbildung 23: Nachweis von Carbamazepin und Diclofenac in Grundwassermessstellen des Leibnitzer Feldes, des Sulmtals und des Hügellandes zwischen Mur und Raab sowie in den Fließgewässermessstellen der Mur, Laßnitz und Sulm.

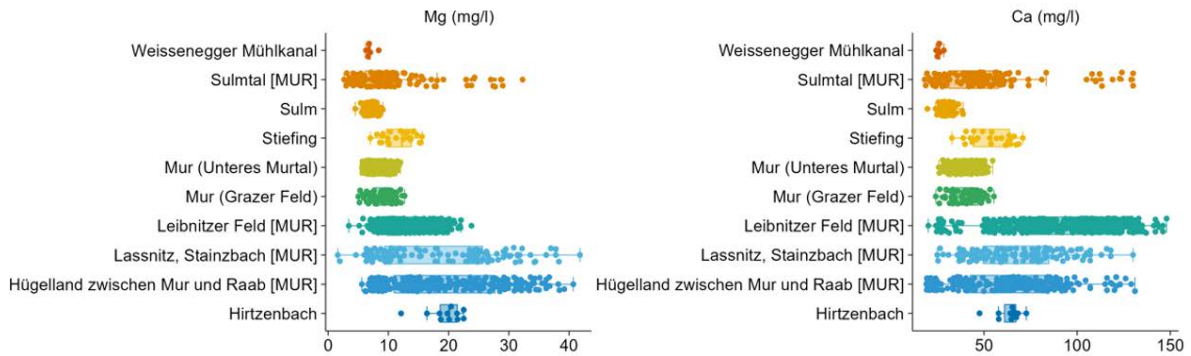


Erläuterung: Einzelmesswerte im Zeitraum 2019–2024. Messwerte unterhalb der Nachweis- bzw. Bestimmungsgrenze wurden auf den Wert Null gesetzt.

Quelle: GZÜV, BMLUK, Ämter der Landesregierungen, Umweltbundesamt

Messstellen, in denen die Substanz Carbamazepin in geringen Spurenkonzentrationen nachgewiesen wurden, sind in der Karte in Abbildung 26 als potenziell oberflächengewässerbeeinflusst („Carbamazepin – quant. Nachweis (pot. OW)“) ausgewiesen. Andere Wasserinhaltsstoffe erlauben, wie in Abbildung 24 beispielhaft für Magnesium und Calcium gezeigt, die Differenzierung von stärker mineralisiertem Grundwasser bzw. Wässern unterschiedlicher Herkunft oder Beeinflussung.

Abbildung 24: Ionenkonzentrationen von Magnesium und Calcium in Grundwassermessstellen des Leibnitzer Feldes, des Sulmtals und des Hügellandes zwischen Mur und Raab sowie in den Fließgewässermessstellen der Mur, Laßnitz und Sulm.



Erläuterung: Einzelmesswerte im Zeitraum 2019–2024. Messwerte unterhalb der Nachweis- bzw. Bestimmungsgrenze wurden auf den Wert Null gesetzt.

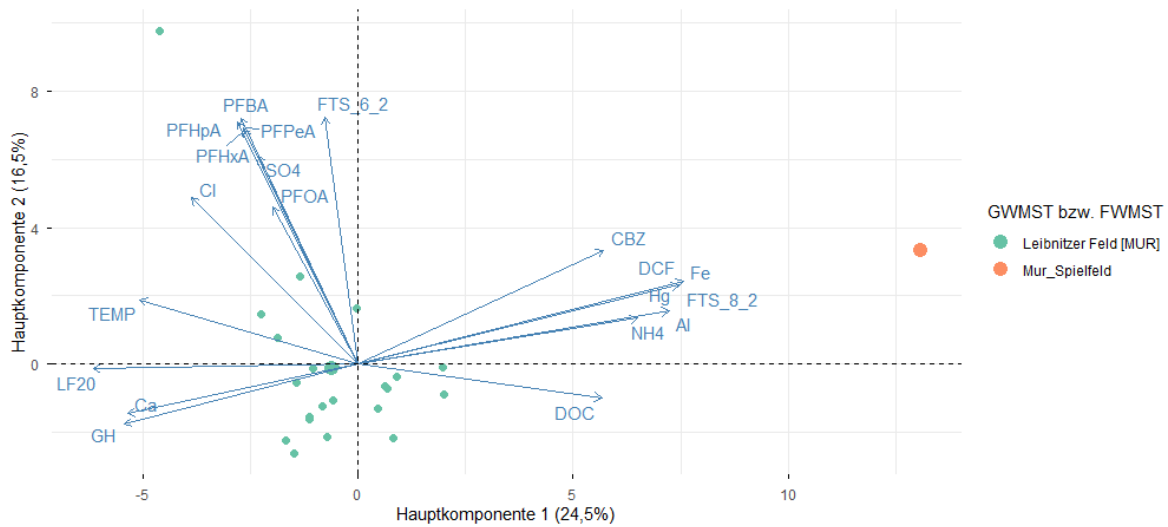
Quelle: GZÜV, BMLUK, Ämter der Landesregierungen, Umweltbundesamt

Auf Basis der Darstellung der ersten und zweiten Hauptkomponente (Abbildung 25) lassen sich für das Leibnitzer Feld [MUR] folgende wesentliche hydrochemischen Gradienten ausmachen:

- ein Mineralisierungsgradient (gekennzeichnet durch die hohe Bedeutung der Parameter Calcium, elektrische Leitfähigkeit bei 20°C sowie Gesamthärte);
- ein PFAS-Gradient (gekennzeichnet durch eine hohe Bedeutung einiger PFAS-Parameter. Es handelt sich hierbei um Spurenkonzentrationen.) und
- ein Gradient, der durch eine hohe Bedeutung der Parameter Carbamazepin, Diclofenac, Quecksilber, Eisen, Ammonium und eine PFAS-Substanz (8:2 FTS) gekennzeichnet ist.

Im zweiten Gradienten (Abbildung 25), der unter anderem durch Carbamazepin und Diclofenac geprägt ist, liegt auch die Grundwassermessstelle Mur/Spielfeld, die hier als Referenz für die Mur herangezogen wurde.

Abbildung 25: Hauptkomponentenanalyse – Leibnitzer Feld [MUR]

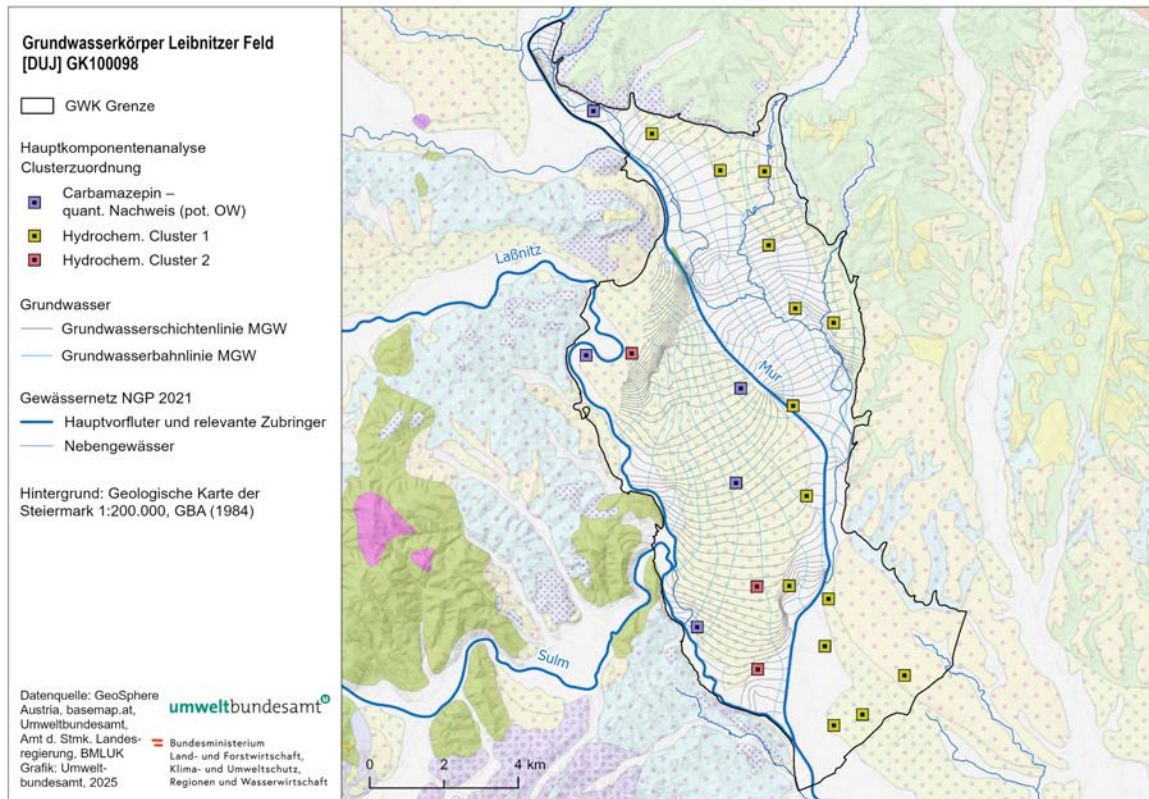


Quelle: Umweltbundesamt

Mit der ersten und zweiten Hauptkomponente (Abbildung 25) können jeweils 24,5 % bzw. 16,5 % der Gesamtvariabilität im untersuchten hydrochemischen Datensatz erklärt werden.

Eine Gruppe von Grundwassermessstellen („Carbamazepin – quant. Nachweis (pot. OW)“) ist durch Spurenkonzentrationen von Carbamazepin gekennzeichnet und wird in unterschiedlichen Anteilen durch infiltriertes Wasser aus der Mur oder infiltriertes Wasser aus der Laßnitz gespeist. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass für die Laßnitz selbst, im Untersuchungszeitraum keine Daten zu Carbamazepin vorlagen. Die potenziell durch infiltriertes Murwasser gespeisten Grundwassermessstellen liegen im Bereich Wildon, Gralla und Obergralla. Die potenziell durch die Laßnitz gespeisten Grundwassermessstellen liegen in ihrem Nahbereich bei Jöß und Altenmarkt (Abbildung 26). Die Ergebnisse sind mit Unsicherheiten behaftet, da Carbamazepin theoretisch auch aus undichten Abwasserleitungen in das Grundwasser gelangen kann. Die Lage der als potenziell oberflächengewässerbeeinflussten Grundwassermessstellen scheint jedoch plausibel.

Abbildung 26: Hydrochemische Cluster und potenziell durch die Mur oder Laßnitz beeinflusste Grundwassermessstellen im Grundwasserkörper Leibnitzer Feld [MUR].



Quelle: GeoSphere Austria, basemap.at, Umweltbundesamt, BMLUK, Verbund, Amt der Oberösterreichischen Landesregierung

4.5 Isotopenbasierte Überprüfung der Interaktion von Grundwasser und Fließgewässern in den Pilotgebieten

Die stabilen Isotope des Wassers ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$) können als natürliche Tracer genutzt werden, um die Interaktion von Grundwasser und Fließgewässern messstellenspezifisch zu überprüfen. Grundwasser und Fließgewässer weisen aufgrund ihrer unterschiedlichen Herkunft (z. B. aus höhergelegenen Einzugsgebieten im Falle der Fließgewässer) und Verdunstungs- bzw. Niederschlagsprozessen charakteristische Isotopensignaturen auf. Durch den Vergleich der isotopischen Zusammensetzung von Grundwasserproben an verschiedenen Messstellen entlang eines Fließgewässers mit der isotopischen Zusammensetzung des Fließgewässers lässt sich somit erkennen, wo und in welchem Ausmaß eine Durchmischung bzw. Interaktion stattfindet.

4.5.1 Datengrundlagen

Folgende Datengrundlagen standen bundesweit zur Verfügung und wurden für die isoto-penbasierte messtellenspezifische Analyse herangezogen:

- Daten der Wasser-Isotopenkarte Österreichs²¹;
- Daten der Projekte zur Ermittlung der mittleren Verweilzeiten des Grundwassers in den Grundwasserkörpern²².

4.5.2 Vorgangsweise

Vorhandene Isotopendaten aus bundesweiten Datengrundlagen zu unterschiedlichen Was-serkompartimenten (Niederschlag, Grundwasser, Fließgewässer) in den beiden Pilotgebie-ten wurden in Mischungsdiagrammen der stabilen Isotope des Wassers ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$) darge-stellt. Proben, die auf eine Interaktion von Grundwasser und Fließgewässer hinweisen, lie-gen im Diagramm auf einer Mischungslinie zwischen dem Isotopensignal des Fließgewäs-sers und dem mittleren Isotopensignal des Gebietsniederschlags. Die Berechnung des An-teils von Flusswasser in einer Grundwasserprobe erfolgt über eine einfache lineare Mi-schungsgleichung:

$$f_{\text{Fluss}} = (\delta_{\text{Grundwasserprobe}} - \delta_{\text{Niederschlag}}) / (\delta_{\text{Fluss}} - \delta_{\text{Niederschlag}})$$

wobei f_{Fluss} der Anteil des Flusswassers in der Grundwasserprobe ist, $\delta_{\text{Grundwasserprobe}}$ die Iso-topensignatur der Grundwasserprobe, $\delta_{\text{Niederschlag}}$ die mittlere Isotopensignatur des Gebiets-niederschlags als Proxy für die mittlere Isotopensignatur des Grundwassers im Untersu-chungsgebiet sowie δ_{Fluss} die Isotopensignatur des Fließgewässers ist.

4.5.3 Ergebnisse

4.5.3.1 Eferdinger Becken [DUJ]

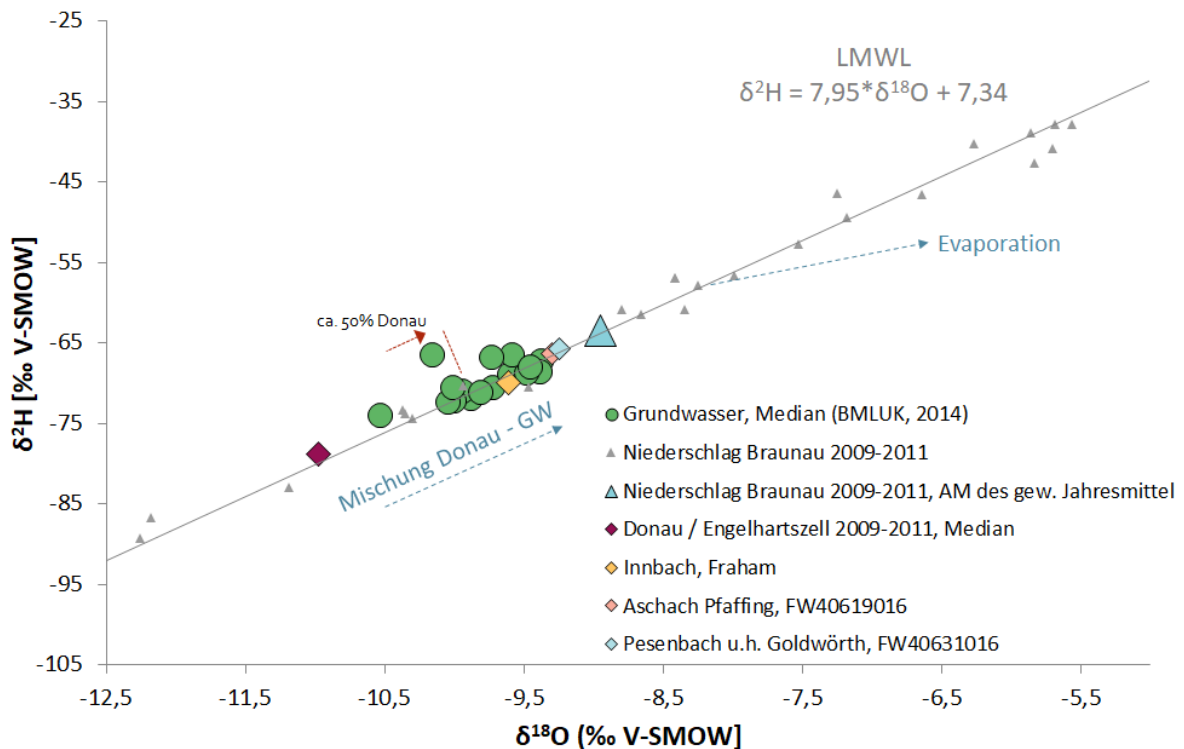
Das Wasser der Donau ist aufgrund signifikanter Anteile alpiner Herkunft im Vergleich zum Grundwasser im Eferdinger Becken isotopisch leichter, d. h. es weist deutlich negativere $\delta^{18}\text{O}$ - und $\delta^2\text{H}$ -Werte auf als das arithmetische Mittel der gewichteten Jahresmittel des Nie-derschlags an der Station Braunau (Abbildung 27). Die Isotopensignaturen von Aschach,

²¹ [Wasserisotopenkarte Österreichs](#)

²² [Grundwasseralter 2021-2023](#)

Innbach und Pesenbach ähneln hingegen stärker jenen des Grundwassers im Eferdinger Becken, da sie überwiegend durch Niederschläge aus dem unmittelbaren Einzugsgebiet des Grundwasserkörpers geprägt sind (Abbildung 27).

Abbildung 27: Mischungsdiagramm der stabilen Wasserisotope ($\delta^{18}\text{O}$ gegen $\delta^2\text{H}$) zur Visualisierung der Isotopensignaturen von Grundwasser, Fließgewässern und Niederschlag im Grundwasserkörper Eferdinger Becken [DUJ]

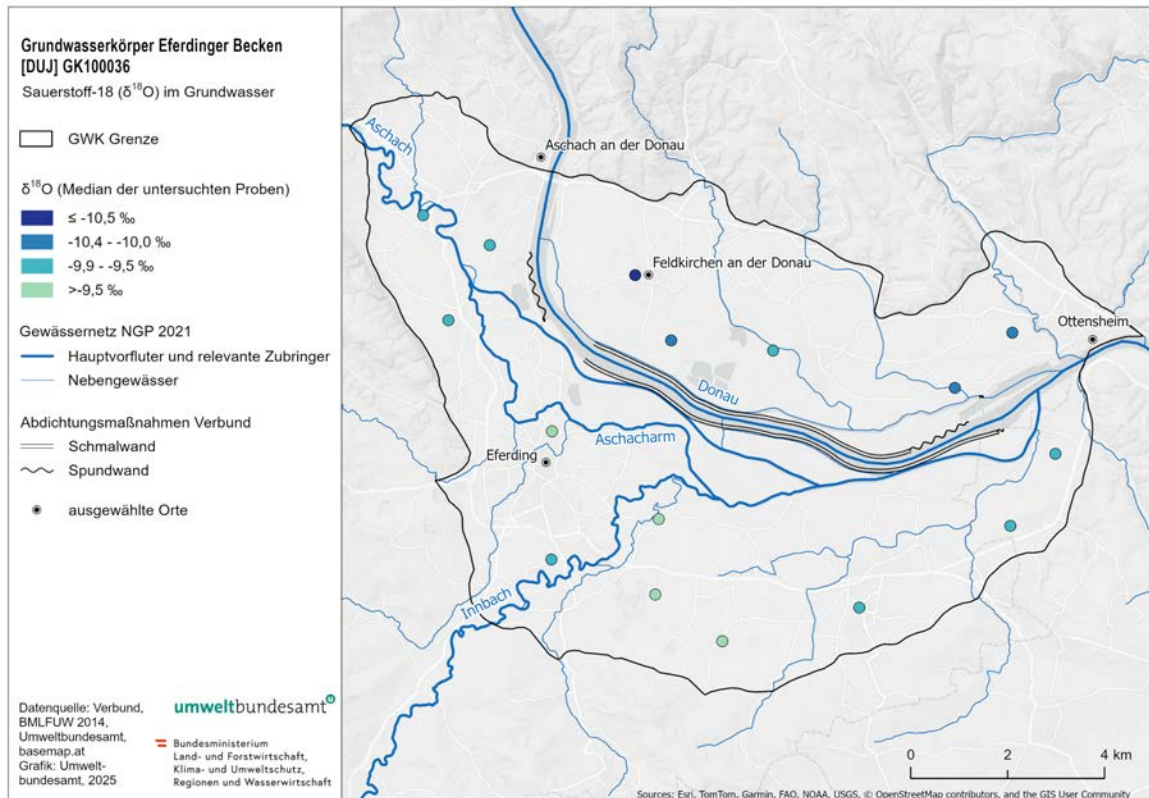


Quelle: GZÜV, BMLUK, Ämter der Landesregierungen, Umweltbundesamt

Für die Mischungsrechnung werden die Isotopensignaturen der Donau bei Engelhartszell (Median) und des Niederschlags an der Messstelle Braunau (Median) als Endglieder einer linearen Mischungsgleichung herangezogen (Abbildung 27). Insbesondere für die Grundwassermessstellen in Feldkirchen und Weidet, südlich von Feldkirchen an der Donau aber auch für andere Messstellen im nördlichen Eferdinger Becken, lässt sich aufgrund der Isotopensignatur im durch die Isotopendaten abgebildeten Zeitraum eine Beimischung von bis zu mehr als 50 % Donauwasser ableiten. Der zentrale Teil des südlichen Eferdinger Beckens ist auf Basis der weniger negativen $\delta^{18}\text{O}$ -Werte (schwereren Isotopensignatur) stärker durch lokal gebildetes Grundwasser geprägt (Abbildung 28). Die Isotopensignaturen bilden insgesamt nicht nur hydraulische Zusammenhänge ab, sondern liefern auch Informationen

hinsichtlich einer tatsächlichen Beimischung von Donauwasser in einzelnen Bereichen des Grundwasserkörpers.

Abbildung 28: Räumliche Verteilung der Isotopensignatur ($\delta^{18}\text{O}$) des Grundwassers im Grundwasserkörper Eferdinger Becken [DUJ].



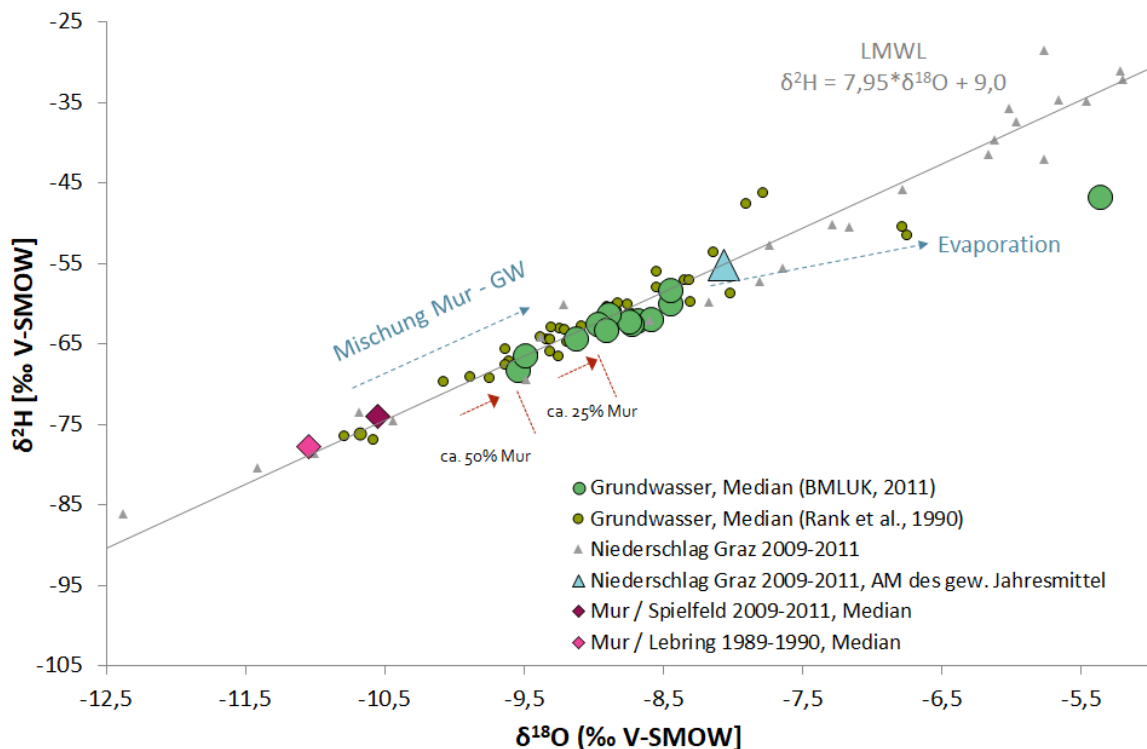
Quelle: GZÜV, BMLUK, Ämter der Landesregierungen, Umweltbundesamt

Der zentrale Teil des südlichen Eferdinger Beckens ist auf Basis der weniger negativen $\delta^{18}\text{O}$ -Werte (schwereren Isotopensignatur) stärker durch lokal gebildetes Grundwasser geprägt (Abbildung 28). Die Isotopensignaturen bilden im Gegensatz zu den auf Basis der hydrographischen Daten durchgeführten Analysen (Kapitel 4.2 und 4.3) nicht nur hydraulische Zusammenhänge ab, sondern liefern auch Informationen über eine tatsächliche Beimischung von Donauwasser in einzelnen Bereichen des Grundwasserkörpers. Das heißt: Während die hydrographischen Daten die hydraulische Reaktion auf die Donauinfiltration in Form von steigenden Grundwasserständen darstellen, lassen sich die Bereiche einer Mischung eher anhand von Tracerdaten, wie den stabilen Isotopen des Wassers, eingrenzen.

4.5.3.2 Leibnitzer Feld [MUR]

Ebenso wie die Donau, so ist auch die Mur stark durch Wässer alpiner Herkunft geprägt und weist im Vergleich zum Grundwasser im Leibnitzer Feld isotopisch leichtere, d. h. deutlich negativere $\delta^{18}\text{O}$ -Werte auf (Abbildung 29). Die Grundwassermessstellen selbst liegen auf einer Mischungsgeraden zwischen der Isotopensignatur der Mur und dem arithmetischen Mittel des gewichteten Jahresmittel der Niederschlagsstation Graz. Im Grundwasserkörper durch Niederschläge neugebildetes Grundwasser liegt auf der Mischungsgeraden näher am arithmetischen Mittel der Jahresniederschläge (Abbildung 29). Grundwasser, welches zusätzlich Anteile infiltrierten Wassers der Mur enthält, ist auf der Mischungsgeraden zur Isotopensignatur der Mur hin verschoben (Abbildung 29).

Abbildung 29: Mischungsdiagramm der stabilen Wasserisotope ($\delta^{18}\text{O}$ gegen $\delta^2\text{H}$) zur Visualisierung der Isotopensignaturen von Grundwasser, Mur und Niederschlag im Grundwasserkörper Leibnitzer Feld [MUR].

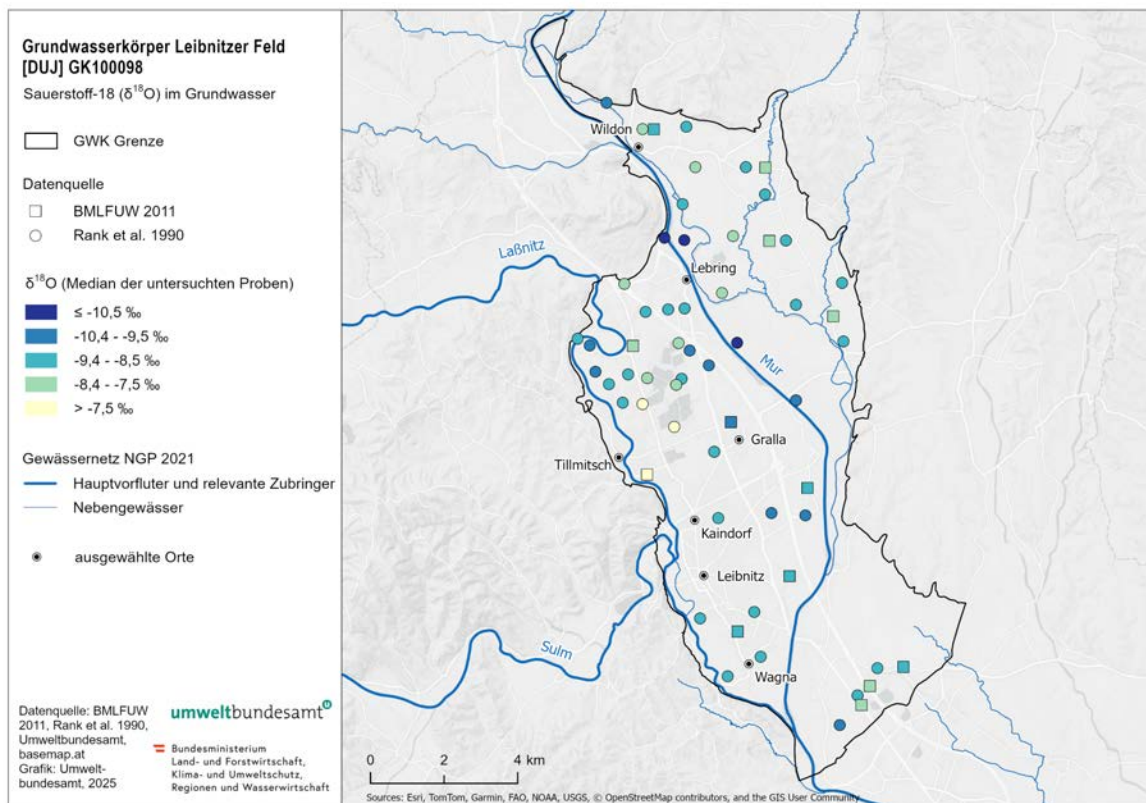


Quelle: GZÜV, BMLUK, Ämter der Landesregierungen, Umweltbundesamt, Rank et al. (1990), BMLUK et al. (2011)

Aufgrund der Isotopensignaturen und der getroffenen Annahmen lassen sich für einige Grundwassermessstellen im Nahbereich der Mur (z. B. bei Sankt Margarethen bei Lebring

sowie linksseitig der Mur) in den durch die Isotopendaten abgebildeten Zeiträumen (1989/90 bzw. 2009/10) eine Beimischung von mehr als 50 % Wasser der Mur ableiten (Abbildung 30). Auch im Grundwasserkörper Leibnitzer Feld [MUR] wird deutlich, dass die Isotopensignaturen über hydraulische Zusammenhänge hinaus wertvolle Zusatzinformationen hinsichtlich einer tatsächlichen Beimischung von Wasser der Mur in einzelnen Bereichen des Grundwasserkörpers liefern. Derartige Informationen liegen allerdings nur an Messstellen mit entsprechenden Messdaten vor (Abbildung 30). In Abhängigkeit von der Dichte der räumlichen Erhebungen lassen sich durch Interpolation bzw. durch Einfließen der Messdaten in GW-Modelle für den Stofftransport ggf. auch flächenhafte Aussagen treffen.

Abbildung 30: Räumliche Verteilung der Isotopensignatur ($\delta^{18}\text{O}$) des Grundwassers im Grundwasserkörper Leibnitzer Feld [MUR].



Quelle: GZÜV, BMLUK, Ämter der Landesregierungen, Umweltbundesamt

4.6 Temperaturbasierte messstellenspezifische Überprüfung der Interaktion von Grundwasser und Fließgewässern in den Pilotgebieten

Wassertemperaturen können als natürlicher Tracer zur Identifikation der Interaktion von Grundwasser und Fließgewässern dienen (Brodie et al., 2007, Vogt et al., 2009). Flüsse zeigen im Jahresverlauf ausgeprägte saisonale Temperaturzyklen, während Grundwasser konstant temperiert ist. Grundwassermessstellen, deren Temperaturverlauf den saisonalen Schwankungen benachbarter Flüsse folgt oder deutlich schwankt, deuten auf eine hydraulische Anbindung hin. Abweichungen können aber auch durch anthropogene Einflüsse (z. B. geothermische Anlagen) verursacht sein. Grundlage für eine temperaturbasierte Analyse von Zeitreihen sind kontinuierlich erfasste Wassertemperaturen an den Grundwassermessstellen bzw. im Fließgewässer. Aber auch die Variabilität der Wassertemperatur an einer Grundwassermessstelle kann als einfacher Indikator für eine etwaige Interaktion von Grundwasser und Fließgewässern herangezogen werden.

4.6.1 Datengrundlagen

Folgende Datengrundlagen standen bundesweit zur Verfügung und wurden für die temperaturbasierte Überprüfung auf eine Interaktion von Grundwasser und Fließgewässern in den Pilotgebieten herangezogen:

- Monatsmittel der Grundwassertemperaturen aus der WebGIS-Applikation eHYD²³: messstellenspezifische Zeiträume bis 2022.

4.6.2 Vorgangsweise

Ergänzend zur visuellen Ganglinienanalyse (Kapitel 4.2) und zur Überprüfung der hydraulischen Anbindung von Grundwasser und Fließgewässern (Kapitel 4.7) wurde die mittlere Amplitude der saisonalen Grundwassertemperaturschwankung als messstellenspezifischer Interquartilsabstand ermittelt und kartographisch dargestellt (Abbildung 31 und Abbildung 32 des Kapitels 4.7). Grundlage der Auswertungen bildeten die jeweils verfügbaren Monatsmittel der Grundwassertemperaturzeitreihen.

²³ [eHYD – der Zugang zu hydrographischen Daten Österreichs](#)

4.6.3 Ergebnisse

Die Ergebnisse der wassertemperaturbasierten Untersuchungen werden gemeinsam mit den Ergebnissen zur Überprüfung auf eine hydraulische Anbindung von Grundwasser und Fließgewässern in Kapitel 4.7.3 diskutiert.

4.7 Überprüfung auf hydraulische Anbindung von Grundwasser und Fließgewässer in den Pilotgebieten

Der direkte Austausch von Wasser zwischen einem Fließgewässer und dem angrenzenden Grundwasserleiter im Flussbettbereich erfordert eine hydraulische Anbindung von beiden. Der Austausch kann, wie in Kapitel 2.1 erläutert, bei entweder infiltrierenden oder exfiltrierenden Bedingungen in beide Richtungen erfolgen. Stärke und Richtung der hydraulischen Anbindung hängen unter anderem von folgenden Faktoren ab:

- relativer Höhenlage von Grundwasserspiegel und Wasserstand im Gewässer,
- hydraulischer Durchlässigkeit des Flussbettes und der Uferbereiche,
- Gefälleverhältnisse,
- saisonalen Schwankungen des Wasserstandes (Niederschlag, Schneeschmelze, Trockenperioden).

Liegt der Grundwasserstand am Rand eines Fließgewässers an einem Stichtag annähernd auf dem Niveau des Flusswasserstands, deutet dies auf eine hydraulische Anbindung hin. Bei deutlich abweichenden Pegeln kann von einer fehlenden oder stark eingeschränkten Anbindung ausgegangen werden. Die ungesättigte Zone – der Porenraum zwischen Geländeoberfläche und Grundwasserspiegel – kann je nach Mächtigkeit als hydraulischer Widerstand wirken, wenn der Grundwasserspiegel unterhalb der Flusssohle liegt. Die hydraulische Anbindung kann durch Abdichtungen der Gewässersohle und der Uferbereiche im Zusammenhang mit Wasserkraftanlagen erheblich beeinflusst werden, da solche Maßnahmen den Wasseraustausch zwischen Flussbett und Grundwasser reduzieren und lokale Strömungsverhältnisse verändern.

4.7.1 Datengrundlagen

Folgende Datengrundlagen standen bundesweit zur Verfügung und wurden für die Überprüfung auf hydraulische Anbindung von Grundwasser und Fließgewässer herangezogen:

- Gesamtgewässernetz (Kapitel 3.3.2),
- Digitales Geländehöhenmodell (ALS-DGM) – Höhenraster, Rasterweite 1 m²⁴ (BEV).

Zusätzlich wurden folgende regional verfügbare Datengrundlagen verwendet:

- Grundwassergleichen MGW Leibnitzer Feld West in Mittlere Grundwasserstände – Steiermark; 0,5 m-Isolinien der mittleren Grundwasserstände²⁵,
- Grundwassergleichen MGW Leibnitzer Feld Ost in Mittlere Grundwasserstände – Steiermark; 0,5 m-Isolinien der mittleren Grundwasserstände²⁶,
- Grundwassergleichen MGW Eferdinger Becken in Grundwasser Schichtenlinien; Isolinien gleicher Grundwasserhöhe aus verschiedenen Projekten²⁷.

4.7.2 Vorgangsweise

Um in den Pilotgebieten jene Abschnitte der Fließgewässer zu identifizieren, die hydraulisch an das Grundwasser angebunden sind, wurden in Anlehnung an Sechu et al. (2022) aus dem Gewässernetz und dem digitalen Geländemodell (DGM) näherungsweise linienhafte Wasserstände der Fließgewässer abgeleitet und anschließend mit flächenhaft interpolierten Grundwasserspiegeldaten verglichen.

Dazu wurde in einem ersten Schritt das Gewässernetz in einen Punktdatensatz mit einem Punktabstand von 50 m umgewandelt. Anschließend wurde die DGM-Höhe an den Positionen dieser Punkte abgefragt. Da die Punkte im Gewässer liegen, repräsentiert die abgefragte DGM-Höhe einen nicht exakt definierbaren, angenäherten Wasserstand (*tatsächliche* linienhafte Wasserstandsdaten zu einem Stichtag waren nicht verfügbar). Im nächsten Schritt wurden die vorhandenen Grundwassergleichen ebenfalls in einen Punktdatensatz überführt, hier mit einem Punktabstand von 10 m. Auf Basis dieser Punkte wurde ein flächiger Grundwasserspiegel berechnet. Die Interpolation erfolgte mittels TIN-Verfahren (*Triangulated Irregular Network*). Für das Ergebnisraster wurde eine räumliche Auflösung von 10 × 10 m gewählt. Um unrealistische Kanten oder Artefakte zu vermeiden, wurde das Raster zusätzlich geglättet.

²⁴ [ALS-Höhenraster](#)

²⁵ [Mittlere Grundwasserstände - Steiermark - Offene Daten Österreich | data.gv.at](#)

²⁶ [Mittlere Grundwasserstände - Steiermark - Offene Daten Österreich | data.gv.at](#)

²⁷ [Grundwasser Schichtenlinien - Offene Daten Österreich | data.gv.at](#)

Das Ergebnisraster enthält somit auch Grundwasserspiegeldaten im Bereich der Fließgewässer. Diese interpolierten Grundwasserspiegelhöhen wurden an den Fließgewässerpunkten abgefragt und mit den DGM-basierten, angenäherten Wasserständen verglichen. Aus der Differenz (DGM-Höhe als angenäherter Fließgewässerwasserstand minus Grundwasserspiegelhöhe) wurde die relative Lage der beiden Wasserstände berechnet.

Ist die auf diese Weise berechnete Potenzialdifferenz stark positiv (rot eingefärbt in Abbildung 31 und Abbildung 32), liegt der Flusswasserstand weit oberhalb des Grundwasserspiegels: eine hydraulische Anbindung von Fließgewässer und Grundwasser kann tendenziell ausgeschlossen werden. Ist die Potenzialdifferenz stark negativ (grün eingefärbt in Abbildung 31 und Abbildung 32), liegt der Flusswasserstand weit unterhalb des Grundwasserspiegels. Wiederum kann eine hydraulische Anbindung von beiden tendenziell ausgeschlossen werden. Wenn die ermittelte Potenzialdifferenz um Null schwankt (hellgelbe Einfärbungen in Abbildung 31 und Abbildung 32), deutet dies auf eine hydraulische Anbindung von Grundwasser und Fließgewässer hin (mit möglichem Wechsel von Exfiltration und Infiltration), wobei gegensätzliche Effekte durch Abdichtungen oder Kolmation berücksichtigt werden müssen (sofern bekannt).

4.7.3 Ergebnisse

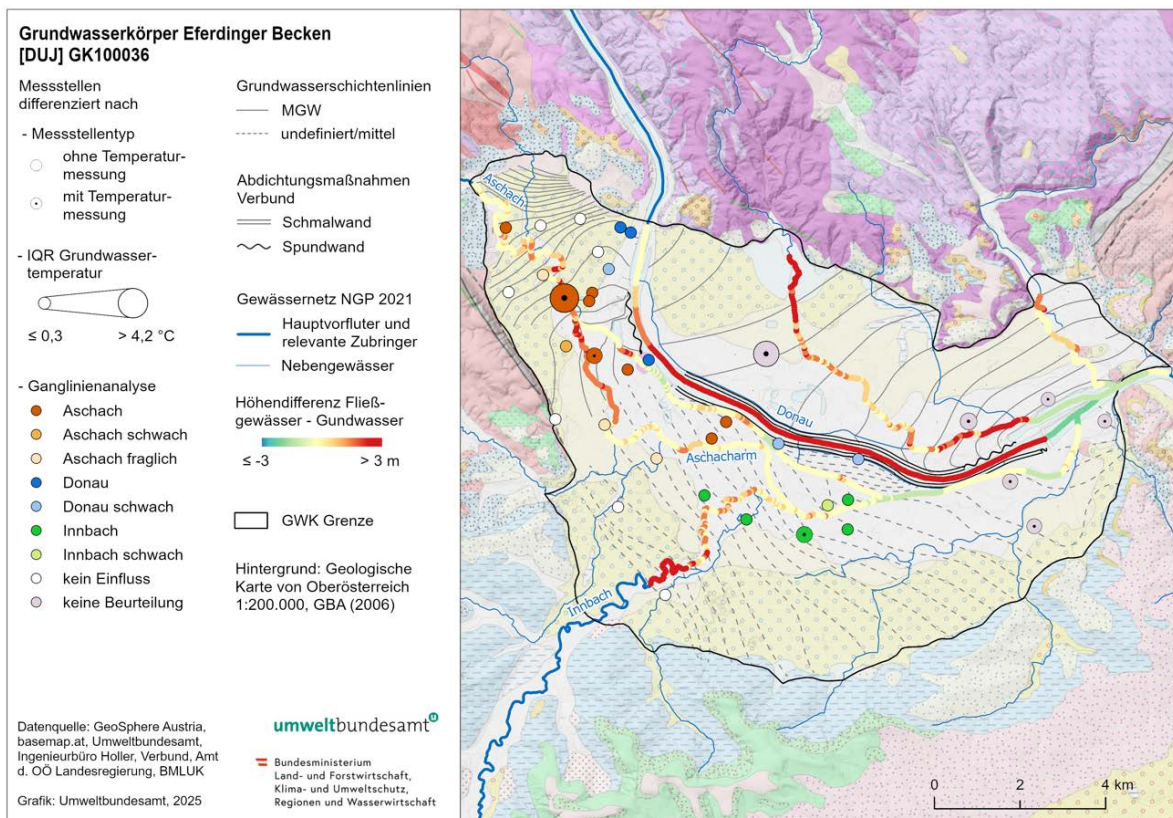
4.7.3.1 Eferdinger Becken [DUJ]

Ausgehend von Aschach und in Richtung des Kraftwerks Ottensheim kommt es zu einer kontinuierlichen Zunahme der Differenz zwischen dem Wasserstand der Donau und dem Grundwasserspiegel (Abbildung 31). Abstromig des Kraftwerks Ottensheim wird diese Differenz negativ (Abbildung 31). Zwar weisen die positiven Differenzen oberstromig des Kraftwerks auf infiltrierende Verhältnisse hin; in Stauräumen, wie in diesem Beispiel dargestellt, ist jedoch üblicherweise von Abdichtungsmaßnahmen auszugehen, die eine Infiltration entsprechend ihrer Ausführung unterbinden. Eine Ausnahme im Fall des Kraftwerks Ottensheim stellt der Qualmwasserzutritt im Bereich der Rutzinger Au dar.

Die Wahrscheinlichkeit einer hydraulischen Anbindung ist entlang von Fließgewässerstrecken mit geringen Differenzen am höchsten. Eine entsprechende Fließgewässerstrecke entlang der Donau liegt im Bereich der bekannten Infiltration zwischen Ober- und Unterlandshaaß im nördlichen Teil des Grundwasserkörpers Eferdinger Becken [DUJ] vor (Abbildung 31).

Negative Differenzen weisen tendenziell auf Exfiltration hin. Diese Verhältnisse werden durch die Grundwassergleichen sowohl für die Donau abstromig des Kraftwerks Ottensheim als auch beispielsweise für den Innbach östlich der Mündung Aschach bestätigt. Mit Ausnahme der Donau wurde für den Grundwasserkörper Eferdinger Becken [DUJ] auch festgestellt, dass das Gewässernetz nicht immer entlang des entsprechenden Fließgewässers verläuft. Dadurch sind die Ergebnisse für die niederrangigen Gewässer nur bedingt aussagekräftig. Ferner ist zu berücksichtigen, dass die Flusswasserstände auf Stichtagsmessungen im DGM basieren, also eine spezifische Situation abbilden.

Abbildung 31: Temperaturvariabilität und Höhendifferenz von Fließgewässer und Grundwasser im Grundwasserkörper Eferdinger Becken [DUJ] als Indikatoren für eine Beeinflussung des Grundwassers durch Fließgewässer bzw. eine hydraulische Anbindung beider.



Quelle: GeoSphere Austria, basemap.at, Umweltbundesamt, Ingenieurbüro Holler, Verbund, Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, BMLUK.

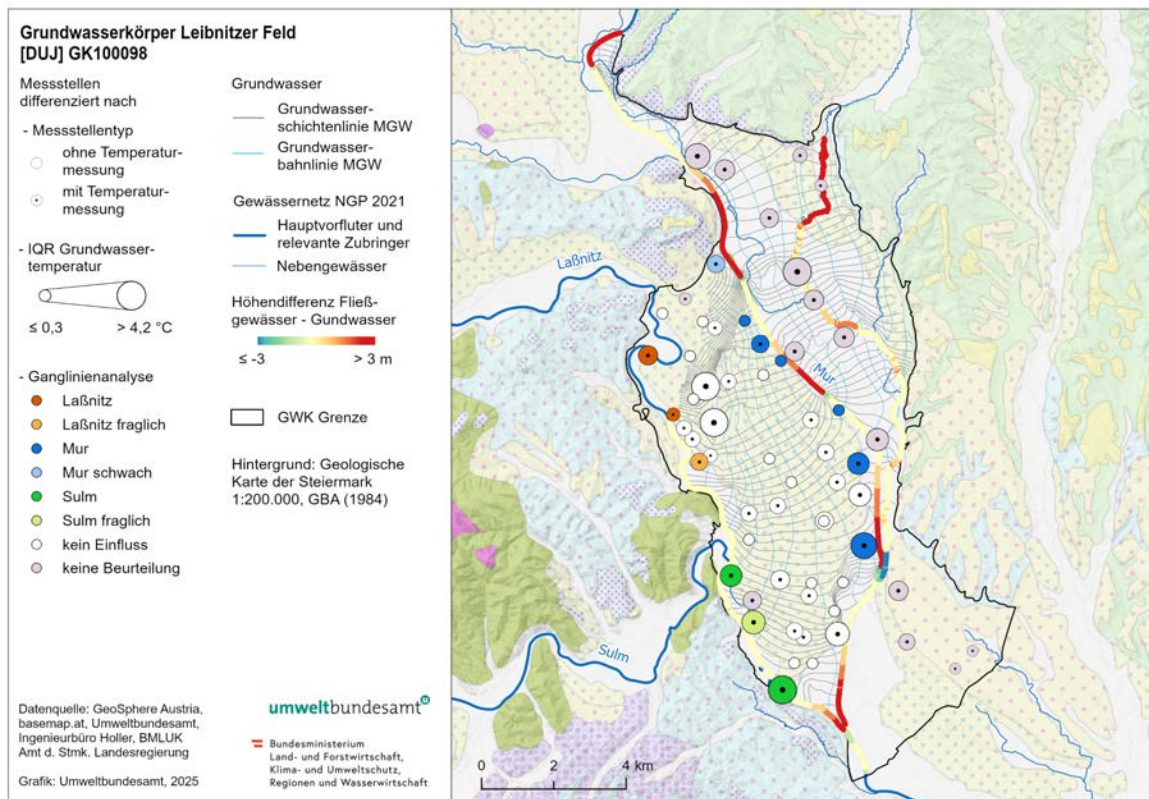
In Abbildung 31 sind hydrographische Messstellen mit hoher Variabilität der Grundwassertemperaturen (Interquartilsabstand, IQR) durch größere Kreissymbole dargestellt. An

diesen Standorten lässt sich tendenziell eine Beeinflussung durch Fließgewässer ableiten, vorausgesetzt, es treten keine überlagernden Effekte, etwa durch geothermische Anlagen, auf. Eine Messstelle in Hartkirchen zeigt mit einem Interquartilsabstand $>4,2$ °C eine deutliche Beeinflussung der Grundwassertemperaturen durch die Aschach, eine im Bereich Feldkirchen an der Donau (bei Audorf) gelegene Grundwassermessstelle zeigt tendenziell ebenfalls eine Beeinflussung durch ein Fließgewässer (Abbildung 31).

4.7.3.2 Leibnitzer Feld [MUR]

Auch im Grundwasserkörper Leibnitzer Feld [MUR] wurde eine hydraulische Anbindung von Grundwasser und Fließgewässer überprüft (Abbildung 32).

Abbildung 32: Temperaturvariabilität und Höhendifferenz von Fließgewässer und Grundwasser im Grundwasserkörper Leibnitzer Feld [MUR] als Indikatoren für eine Beeinflussung des Grundwassers durch Fließgewässer bzw. eine hydraulische Anbindung beider.



Quelle: GeoSphere Austria, basemap.at, Umweltbundesamt, Ingenieurbüro Holler, BMLUK, Amt der Steiermärkischen Landesregierung

Die Differenzen aus Fließgewässerstand und Grundwasserspiegellagen zeigen, dass entlang der Mur oberstromig im Stauraum von Kraftwerken positive Differenzen von >3 m und direkt im Abstrom negative Differenzen von < -3 m vorliegen (Abbildung 32). Positive Differenzen zeigen, dass das hydraulische Potenzialgefälle zwischen Fließgewässer und Grundwasserspiegel in Richtung Grundwasser gerichtet ist. Bei negativen Differenzen ist das hydraulische Potenzialgefälle in Richtung Fließgewässer gerichtet. Die Wahrscheinlichkeit einer hydraulischen Anbindung ist bei kleinen Differenzen am höchsten und nimmt mit Zu- bzw. Abnahme der Differenz ab. Große positive Differenzen im Bereich der Stauräume könnten theoretisch auf eine Dotierung des Grundwassers durch das Fließgewässer hinweisen.

Angesichts der hohen absoluten Differenzwerte entlang der Mur oberstromig im Stauraum von Kraftwerken ist dies jedoch eher unwahrscheinlich und deutet auf die Dichtheit der Abdichtungen gegenüber dem Grundwasser hin. Die visuelle Ganglinienanalyse indiziert dagegen auch im Stauraum des Kraftwerks Lebring Uferfiltration. Die negativen Differenzen, die auf eine Exfiltration hinweisen, entsprechen Bereichen, in denen Grundwasser unterhalb der Mur-Kraftwerke zuströmt.

Entlang der Laßnitz liegen generell geringe Differenzen von >-1 m bis ≤ 1 m zwischen Fließgewässerstand und Grundwasserspiegel vor. Hier stimmen die geringen positiven bzw. negativen Differenzen mit den bisherigen Erkenntnissen überein, dass das Grundwasser der Laßnitz zuströmt, die Laßnitz den Vorfluter bildet und somit die Laßnitz auch hydraulisch angebunden ist.

Im Leibnitzer Feld [MUR] können so Bereiche mit unterschiedlicher Wahrscheinlichkeit einer hydraulischen Anbindung von Grundwasser und Fließgewässern ausgewiesen werden. Auch die Auswirkungen von Querbauwerken sind so räumlich darstellbar. Da die Fließgewässerstände nur über Höhenabfragen aus einem DGM angenähert werden können, sind die Ergebnisse allerdings mit entsprechenden Unsicherheiten behaftet. Eine belastbarere Analyse wäre mit flächendeckenden Informationen zur Flusssohle möglich, die derzeit in Österreich jedoch nicht vorliegen.

4.8 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

In den beiden Pilotgebieten Eferdinger Becken [DUJ] und Leibnitzer Feld [MUR] wurden sechs Methoden zur Eingrenzung der Fließgewässer-Grundwasser-Interaktionsbereiche getestet. Diese lassen sich drei methodischen Gruppen zuordnen.

1. Die beiden auf bundesweit vorliegenden hydrographischen Daten aus eHYD basierenden Ansätze – die visuelle Ganglinienanalyse in ausgewählten Zeitfenstern sowie die halbautomatische Auswertung von Grundwasserstand-Zeitreihen mittels Dynamic Time Warping (DTW) und t-Distributed Stochastic Neighbor Embedding (t-SNE) – liefern Hinweise auf die hydraulische Reaktion der Grundwasserkörper auf hohe Wasserstände in den Fließgewässern und auf Infiltration in das Grundwasser. Damit können sowohl messstellenbezogen als auch (bei Interpolation) flächenbezogen Bereiche identifiziert werden, in denen sich Fließgewässer nachweisbar auf die Grundwasserneubildung auswirken; auch Aussagen zur Intensität dieser Reaktionen sind möglich. Die halbautomatische Auswertung mittels DTW und t-SNE ist dabei objektiver, in die visuelle Ganglinienanalyse fließt bearbeiterabhängiges Expertenwissen ein. Wie gut die Auflösung kleinräumiger Effekte gelingt, hängt von der Dichte des hydrographischen Messnetzes im Untersuchungsgebiet ab. Die Analysen haben zudem gezeigt, dass für belastbare Ergebnisse in jedem Fall eine Plausibilisierung anhand topographischer Daten (Geländemodell) sowie hydrogeologischer Informationen (insbesondere für Annahmen zu Durchlässigkeiten) erforderlich ist.

2. Die drei auf den bundesweit vorliegenden Daten der GZÜV basierenden Tracermethoden liefern vor allem messstellenbezogene Einschätzungen zur Beeinflussung des Grundwassers durch Infiltration aus Fließgewässern. Insbesondere die multivariate Analyse der Wassergütedaten der GZÜV sowie die Analyse der stabilen Isotope erlauben dabei Aussagen über eine tatsächliche Mischung von infiltriertem Flusswasser und Grundwasser. Grundsätzlich sind multivariate Datensätze der Wassergütedaten der GZÜV aufgrund der Vielzahl überlagernder naturräumlicher und anthropogener Einflüsse sowie Effekte durch eine hohe Variabilität gekennzeichnet. Bei der Analyse muss daher der Fokus gezielt auf jene Tracer, Wasserinhaltsstoffe und Hauptkomponenten gelegt werden, die Aussagen zu einer möglichen Grundwasser-Fließgewässer-Interaktion erlauben. Als herausfordernd erwies sich insbesondere die Harmonisierung und Integration von GZÜV-Daten zu Fließgewässern und GZÜV-Daten zu Grundwasser. Beide Messnetze sind entsprechend ihrem Zweck nicht darauf ausgelegt, die Auswirkungen von Grundwasser-Fließgewässer-Interaktionen gezielt zu erfassen. Einige in Spurenkonzentrationen auftretende organische Schadstoffe erwiesen sich aber als besonders geeignete Tracer für eine potenzielle Beeinflussung des Grundwassers durch Fließgewässer (DONA und PFPeA für die Donau im Eferdinger Becken, Carbamazepin für die Mur und Laßnitz im Leibnitzer Feld).

Mittels Analyse der stabilen Isotope des Wassers ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$) ist eine semiquantitative Abschätzung der Anteile infiltrierten Flusswassers möglich. Werden entsprechende Daten an weiteren Messstellen erhoben – etwa an hydrographischen Messstellen oder Entnahme-

stellen für Trinkwasser –, die nicht Teil des GZÜV-Messnetzes sind, wie beispielsweise im Falle der Isotopendaten im Pilotgebiet Leibnitzer Feld, ließen sich auch flächenhafte Einschätzungen über die einzelnen Messstellen hinaus treffen.

Die Analysen auf Basis der Wassertemperatur im Grundwasser geben messstellenspezifisch Hinweise auf eine mögliche Beeinflussung des Grundwassers durch Fließgewässer, die beobachteten Effekte sind aber im Einzelfall nicht immer von überlagernden anthropogenen Einflüssen (z. B. durch Auswirkungen von Grundwasserwärmepumpen) zu unterscheiden.

3. Bei der sechsten Methode, der Überprüfung auf hydraulische Anbindung zwischen Fließgewässer und Grundwasser werden hydrographische Daten systematisch mit topographischen Informationen verschnitten, um Fließgewässerstrecken zu identifizieren, für die ein Potenzial der Interaktion von Fließgewässer und Grundwasser gegeben ist. Informationen zu Abdichtungen entlang von Gewässern im Zusammenhang mit Wasserkraftwerken sowie hydrogeologische Informationen wurden hierbei – soweit vorhanden – für die weitere Interpretation der Ergebnisse herangezogen. In den Pilotgebieten konnten auf diese Weise systematisch Gewässerstrecken mit Potenzial für Fließgewässer-Grundwasser-Interaktionen identifiziert und, sofern Abdichtungsinformationen vorlagen, verifiziert werden.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass bundesweit verfügbare Datengrundlagen der GZÜV und aus eHYD für die Pilotgebiete vor allem messstellenspezifische Aussagen zur Interaktion von Fließgewässern und Grundwasser ermöglichen. Flächenhafte Aussagen sind nur eingeschränkt möglich und hängen von der Messnetzdicke sowie einer entsprechenden Weiterverarbeitung der Daten ab (z. B. durch Modellierung oder Interpolation, wie sie z.B. in Regionalstudien vorliegen). Für eine räumliche Eingrenzung von Fließgewässer-Grundwasser-Interaktionsbereichen können insbesondere die Auswertung hydrographischer Daten, von Isotopendaten oder gebietsspezifischen Spurenstoffen (z. B. DONA, PFPeA, Carbamazepin) empfohlen werden. Ebenso erwies sich die Methode zur Überprüfung auf hydraulische Anbindung von Grundwasser und Fließgewässer (trotz Einschränkungen in der Datenlage) als sehr hilfreich für die Fragestellung. Analysen der Wassertemperaturen oder der generellen Hydrochemie liefern ergänzende Hinweise, ihre Aussagekraft auf Grundwasserkörperebene ist jedoch ohne zusätzliche Datenerhebungen eingeschränkt.

Es wird empfohlen, für Grundwasserkörper mit hoher Relevanz von Uferfiltrat für die Wassernutzung (siehe GWK-Klassifikation) die räumliche Eingrenzung der Bereiche, in denen Uferfiltrat genutzt wird oder eine relevante Interaktion zwischen Fließgewässern und Grundwasser stattfindet, weiter zu verfeinern.

Grundlage hierfür können Daten zu alluvialen Talböden, Isotopendaten aus Grund- und Fließgewässern sowie die Überprüfung der hydraulischen Anbindung zwischen Fließgewässern und Grundwasser sein. Ergänzend sollten hydrographische Datenauswertungen durchgeführt werden. Auf Basis einer entsprechenden Datengrundlage lassen sich Wasserentnahmen hinsichtlich ihrer Herkunft aus Uferfiltrat oder Grundwasser differenzierter bewerten. Voraussetzung ist unter anderem, dass die in verschiedenen Projekten generierten Isotopendaten für Grundwasser und Fließgewässer in Österreich im Rahmen der Wasser-Isotopenkarte weiterhin erfasst und harmonisiert werden. Entlang von Inn und Donau können Grundwassermessstellen oder Entnahmestellen auf das Vorkommen der PFAS-Substanz DONA untersucht bzw. überprüft werden.

5 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Räumliche Dimension der Interaktion von Grundwasser und Oberflächengewässern.....	14
Tabelle 2: Methodengruppen und deren zeitliches und räumliches Anwendungsgebiet.	16
Tabelle 3: Klassen der Einzel-GWK bzw. Teilbereiche in Bezug auf oberflächengewässergeprägte Grundwasserressourcen.....	26
Tabelle 4: Klassifikation der Wasserführung der mit dem Grundwasserkörper in Verbindung stehenden Oberflächengewässer (Fließgewässer).....	27
Tabelle 5: Klassifikation der Wasserführung der mit dem Grundwasserkörper in Verbindung stehenden Fließgewässer für relevante Teilbereiche von Gruppen von GWK.	30
Tabelle 6: Klassifizierung relevanter Teilbereiche von relevanten Gruppen von GWK in Bezug auf oberflächengewässergeprägte Grundwasserressourcen (Klasse B – Interaktion möglich).	31
Tabelle 7: Klassifikation der Einzel-GWK (und Teilbereichen) hinsichtlich der Relevanz oberflächengewässergeprägter Grundwasserressourcen.	34
Tabelle 8: Klassifikation der relevanten Teilbereiche von Gruppen von GWK hinsichtlich der Relevanz von oberflächengewässergeprägten Grundwasserressourcen...	36
Tabelle 9: Klassifikation der Einzel-GWK (und Teilbereiche) hinsichtlich der Relevanz von Uferfiltrat für die Nutzung.....	39
Tabelle 10: Klassifikation von relevanten Teilbereichen der Gruppen von GWK hinsichtlich der Relevanz von Uferfiltrat für die Wassernutzung.....	40

6 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Differenzierung nach räumlich begrenzt und flächig verfügbaren Grundwasserressourcen. Räumlich begrenzt verfügbare Grundwasserressourcen wurden nicht systematisch bundesweit ausgewiesen.	9
Abbildung 2: Grundwasser-Fließgewässer Interaktionsverhältnisse.....	13
Abbildung 3: Untersuchungsumfang – Einzel-GWK und relevante Teilbereiche von Gruppen von GWK.	20
Abbildung 4: Kenntnisstand zu Grundwasserneubildung basierend auf Regionalstudien für die untersuchten Grundwasserkörper (und relevanten Teilbereiche)...	23
Abbildung 5: Klassifikation der Einzel-GWK und der relevanten Teilbereiche von Gruppen von GWK hinsichtlich der Relevanz oberflächengewässergeprägter Grundwasserressourcen.	33
Abbildung 6: Klassifikation der Einzel-GWK und relevanten Teilbereiche von Gruppen von GWK hinsichtlich der Relevanz von Uferfiltrat für die Wassernutzung.	38
Abbildung 7: Übersichtskarte der im Eferdinger Becken [DUJ] herangezogenen HD- oder GZÜV-Messstellen.....	47
Abbildung 8: Übersichtskarte der im Leibnitzer Feld [MUR] herangezogenen HD- oder GZÜV-Messstellen.....	48
Abbildung 9: Exemplarische Darstellung der normierten Wasserstände der Donau am Pegel Aschach, der Aschach am Pegel Pfaffing, des Innbaches am Pegel Fraham sowie des SPEI90 als Index für die klimatische Wasserbilanz im gewählten 90-Tage-Zeitfenster für den Grundwasserkörper Eferdinger Becken [DUJ] – westlicher Teil.....	50
Abbildung 10: Exemplarische Darstellung der visuellen Ermittlung von Reaktionstypen für das Zeitfenster 01.02.2012–30.04.2012 im Grundwasserkörper Leibnitzer Feld [MUR].	51
Abbildung 11: Exemplarische Darstellung der Differenzflächen aus der flächigen Interpolation der Grundwasserstände im Grundwasserkörper Eferdinger Becken [DUJ].	52
Abbildung 12: Reaktion der hydrografischen Grundwassermessstellen im westlichen Teil des Grundwasserkörpers Eferdinger Becken [DUJ] auf eine Beeinflussung durch Donau, Aschach oder Innbach.....	53

Abbildung 13: Reaktion der hydrografischen Grundwassermessstellen im westlichen Teil des Grundwasserkörpers Leibnitzer Feld [MUR] auf eine Beeinflussung durch Mur, Laßnitz oder Sulm.	55
Abbildung 14: Clusterbildung mittels DTW (farblich) und t-SNE (räumlich) für den Zeitraum 20.03.2006–13.05.2006 im Grundwasserkörper Eferdinger Becken [DUJ].	61
Abbildung 15: Lage von mittels DTW und t-SNE ermittelten Gruppen hydrographischer Messstellen im Eferdinger Becken [DUJ] für den Zeitraum 20.03.2006–13.05.2006.	62
Abbildung 16: Clusterbildung mittels DTW (farblich) und t-SNE (räumlich) für den Zeitraum 15.06.2012–12.09.2012 im Grundwasserkörper Leibnitzer Feld [MUR].	64
Abbildung 17: Lage von mittels DTW und t-SNE ermittelten Gruppen hydrographischer Messstellen im Leibnitzer Feld für den Zeitraum 15.06.2012–12.09.2012..	65
Abbildung 18: Nachweis von DONA und PFPeA in Grundwassermessstellen des Eferdinger Beckens [DUJ], des Schlierhügellandes [DUJ] und der Böhmisches Masse [DUJ] sowie Fließgewässermessstellen der Donau und der Aschach.	70
Abbildung 19: Ionenkonzentrationen von Magnesium und Calcium in Grundwassermessstellen des Eferdinger Beckens [DUJ], des Schlierhügellandes [DUJ] und der Böhmisches Masse [DUJ] sowie in den Fließgewässermessstellen der Donau, des Hinzenbaches und der Aschach.....	71
Abbildung 20: Hauptkomponentenanalyse – Eferdinger Becken [DUJ].	71
Abbildung 21: Hauptkomponentenanalyse – Eferdinger Becken [DUJ], reduzierter PFAS-Parameterumfang.....	72
Abbildung 22: Hydrochemische Cluster und deutlich durch die Donau beeinflusste Grundwassermessstellen im Grundwasserkörper Eferdinger Becken.....	73
Abbildung 23: Nachweis von Carbamazepin und Diclofenac in Grundwassermessstellen des Leibnitzer Feldes, des Sulmtals und des Hügellandes zwischen Mur und Raab sowie in den Fließgewässermessstellen der Mur, Laßnitz und Sulm..	74
Abbildung 24: Ionenkonzentrationen von Magnesium und Calcium in Grundwassermessstellen des Leibnitzer Feldes, des Sulmtals und des Hügellandes zwischen Mur und Raab sowie in den Fließgewässermessstellen der Mur, Laßnitz und Sulm.	75
Abbildung 25: Hauptkomponentenanalyse – Leibnitzer Feld [MUR]	76
Abbildung 26: Hydrochemische Cluster und potenziell durch die Mur oder Laßnitz beeinflusste Grundwassermessstellen im Grundwasserkörper Leibnitzer Feld [MUR].	77

Abbildung 27: Mischungsdiagramm der stabilen Wasserisotope ($\delta^{18}\text{O}$ gegen $\delta^2\text{H}$) zur Visualisierung der Isotopensignaturen von Grundwasser, Fließgewässern und Niederschlag im Grundwasserkörper Eferdinger Becken [DUJ].....	79
Abbildung 28: Räumliche Verteilung der Isotopensignatur ($\delta^{18}\text{O}$) des Grundwassers im Grundwasserkörper Eferdinger Becken [DUJ].....	80
Abbildung 29: Mischungsdiagramm der stabilen Wasserisotope ($\delta^{18}\text{O}$ gegen $\delta^2\text{H}$) zur Visualisierung der Isotopensignaturen von Grundwasser, Mur und Niederschlag im Grundwasserkörper Leibnitzer Feld [MUR].....	81
Abbildung 30: Räumliche Verteilung der Isotopensignatur ($\delta^{18}\text{O}$) des Grundwassers im Grundwasserkörper Leibnitzer Feld [MUR].....	82
Abbildung 31: Temperaturvariabilität und Höhendifferenz von Fließgewässer und Grundwasser im Grundwasserkörper Eferdinger Becken [DUJ] als Indikatoren für eine Beeinflussung des Grundwassers durch Fließgewässer bzw. eine hydraulische Anbindung beider.	87
Abbildung 32: Temperaturvariabilität und Höhendifferenz von Fließgewässer und Grundwasser im Grundwasserkörper Leibnitzer Feld [MUR] als Indikatoren für eine Beeinflussung des Grundwassers durch Fließgewässer bzw. eine hydraulische Anbindung beider.....	88

Literaturverzeichnis

Banerjee, D., Ganguly, S. (2023). A Review on the Research Advances in Groundwater–Surface Water Interaction with an Overview of the Phenomenon. In: *Water* 15 (8), S. 1552. [mdpi.com/2073-4441/15/8/1552](https://doi.org/10.3390/w15081552)

Barthel, R., Banzhaf, S. (2016). Groundwater and Surface Water Interaction at the Regional-scale – A Review with Focus on Regional Integrated Models. In: *Water Resources Management* 30 (1), S. 1–32. doi.org/10.1007/s11269-015-1163-z.

Bertrand, G., Siergieiev, D., Ala-Aho, P., Rossi, P.M. (2014). Environmental tracers and indicators bringing together groundwater, surface water and groundwater-dependent ecosystems: importance of scale in choosing relevant tools. In: *Environmental Earth Sciences* 72, S. 813–827. doi.org/10.1007/s12665-013-3005-8.

Bichler, A. (2016). Assessment of river water infiltration into shallow groundwater using trace contaminants and applied multivariate statistics. Dissertation, Universität Wien.

BML (2024): Wassergüte in Österreich – Jahresbericht 2020–2024. Herausgegeben vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft in Zusammenarbeit mit der Umweltbundesamt GmbH, Wien. Online verfügbar unter: bmluk.gv.at/dam/jcr:f4b50cff-1334-41cc-94a4-c70e2171be43/Wasserg%C3%BCte%20Jahresbericht%202020-2022.pdf

BML (2025): Verbreitung und Bewertung von PFAS im Grundwasser – GZÜV-Sondermessprogramm 2022. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft, Wien. Online verfügbar unter: [bmluk.gv.at/dam/jcr:88a3c50d-26f0-4261-9d99-d27f914b3efd/20955 PFAS Grundwasser Endbericht korrigierte Fassung.pdf](https://bmluk.gv.at/dam/jcr:88a3c50d-26f0-4261-9d99-d27f914b3efd/20955_PFA%20Grundwasser_Endbericht_korrigierte_Fassung.pdf)

BMLFUW (2002). Lage und Abgrenzung von Grundwasserkörpern. ausgearbeitet vom Arbeitskreis E - Grundwasser. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.

BMLFUW (2004). Strategiepapier Grundwasserentnahmen. Wasserrahmenrichtlinie. Unter Mitarbeit von Arbeitskreis E Grundwasser. Bundesministerium für Land- und

Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien. Online verfügbar unter bmluk.gv.at/dam/jcr:3b5d4d1a-7454-4a2a-b83b-903ce8eb82d7/Strategiepapier_Grundwasserentnahmen.pdf

BMLRT (2022). Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan 2021. Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus, Wien. Online verfügbar unter bmluk.gv.at/dam/jcr:33fd41a6-2eab-4a17-8551-ce32d131bb68/NGP%202021_Endversion_gbs.pdf

BMLRT (2021). Wasserschatz Österreichs. Grundlagen für nachhaltige Nutzungen des Grundwassers. Bericht und Hintergrunddokument. Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus, Wien. Online verfügbar unter bmluk.gv.at/dam/jcr:23a0a2fe-3b8c-4964-b398-01c3b184debf/Wasserschatz_%C3%96sterreichs_Hintergrunddokument.pdf

Brodie, R., Sundaram, B., Tottenham, R., Hostetler, S., Ransley, T. (2007). An overview of tools for assessing groundwater-surface water connectivity. Bureau of Rural Sciences. Canberra.
researchgate.net/publication/266472444_An_Overview_of_Tools_for_Assessing_Groundwater-Surface_Water_Connectivity

Duque, C., Nilsson, B., Engesgaard, P. (2023). Groundwater-surface water interaction in Denmark. In: WIREs Water 10(5), e1664. doi.org/10.1002/wat2.1664.

Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV; BGBl. II Nr. 479/2006 i.d.g.F.). Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Überwachung des Zustands von Gewässern.

Gonaus, T. (2024). Identifikation der Herkunft ausgewählter PFAS im Donaeinzugsgebiet oberhalb von Wien. Diplomarbeit. Technische Universität Wien.

Hölting, B., Coldewey, W. (2013). Hydrogeologie: Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

Irvine, D.J., Singha, K., Kurylyk, B.L., Briggs, M.A., Sebastian, Y., Tait, D.R., Helton, A.M. (2024). Groundwater-Surface water interactions research: Past trends and future

directions. In: Journal of Hydrology 644 (2024), 132061.
doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.132061.

Kassambara A, Mundt F (2020). factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses. R package version 1.0.7.999. Online verfügbar unter: cloud.r-project.org/package=factoextra

Krijthe, J., Van der Maaten, L. (2023). T-distributed stochastic neighbor embedding using a Barnes-Hut implementation. Online verfügbar unter: cran.r-project.org/web/packages/Rtsne/index.html.

Lê, S., Josse, J., Husson, F. (2008). FactoMineR. An R Package for Multivariate Analysis. Journal of Statistical Software, 25(1), 1–18. doi.org/10.18637/jss.v025.i01.

Lohberger, W. (1998). Auswirkungen des wasserwirtschaftlichen Vorrangflächenkonzeptes auf mögliche Grundwasser-Gewinnungsanlagen im südlichen Eferdinger Becken. Hg. v. Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Abteilung Wasserbau, Linz.

Lohberger, W., Lang, H., Moser, G. (2007). Grundlagenoperat zur Überarbeitung des Schongebiets Hartkirchen, Hinzenbach, Puppung und Stroheim. Hydrologische und Hydrogeologische Grundlagen. Hg. v. Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Grund- und Trinkwasserwirtschaft, Linz.

Loidl, Ch. (2021). Grundwassermessprogramm Aschacher Au. Abschlussbericht. Hg. v. Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Direktion Umwelt und Wasserwirtschaft Abteilung Wasserwirtschaft, Linz.

Mach, J., Rock, G., Klammler, G., Draxler, J., Kupfersberger, H., Fank, J. (2019). Gekoppelte Grundwasserströmungs- und Nitrattransportmodelle in den Grundwasserkörpern Leibnitzer Feld und Unteres Murtal. JR-AquaConSol im Auftrag des Amts der Steiermärkischen Landesregierung, Abteilung 14 - Wasserwirtschaft, Ressourcen und Nachhaltigkeit, Graz.

Moser G. (2006). Numerische Grundwassermodellierung Aschacher Au. Endbericht. Hg. v. Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Wasserwirtschaft, Grund- und Trinkwasserwirtschaft. Linz.

Moser, G., Loidl, J. (2005). Uferfiltratnutzung Aschacher Au. Grundsatzstudie Endbericht. Hg. v. Amt der Oberösterreichischen Landesregierung. Linz.

Nachtnebel, H.P, Fürst, J., Gruber, W., Mair-Gruber, J. (1992). Grundwassermodellstudie südliches Eferdinger Becken. Endbericht. Hg. v. Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Linz.

Nestler, W. (2014). Grundwasserneubildung durch die Mur im Grundwasser des Murtal-Aquifer und deren Abbildung in Grundwasserganglinien. Magisterarbeit, Universität Graz.

Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser (QZV Chemie GW; BGBl. II Nr. 98/2010 i.d.g.F.). Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über den guten chemischen Zustand des Grundwassers.

Qualitätszielverordnung Chemie Oberflächengewässer (QZV Chemie OG; BGBl. II Nr. 96/2006 i.d.g.F.). Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Festlegung des Zielzustands für Oberflächengewässer.

RL 2000/60/EG. Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. ABl. Nr. L 327. Zuletzt geändert durch RL 2014/101/EU. ABl. L 311/32. eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=celex%3A32000L0060

RL 2006/118/EG. Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Dezember 2006 zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung. ABl. Nr. L 372/19. eur-lex.europa.eu/legal-content/de/ALL/?uri=CELEX:32006L0118

Sarda-Espinosa, A. (2024). dtwclust: Time Series Clustering Along with Optimizations for the Dynamic Time Warping Distance. Online verfügbar unter: cran.r-project.org/web/packages/dtwclust/index.html.

Schmidt, S.I., Hahn, H.J. (2012). What is groundwater and what does this mean to fauna? – An opinion. Limnologica 42, Issue 1, 2012, S. 1-6. doi.org/10.1016/j.limno.2011.08.002.

Sechu, G.L., Nilsson, B., Iversen, B.V., Møller, A.B., Greve, M.B., Troldborg, L., Greve, M. H. (2022). Mapping groundwater-surface water interactions on a national scale for the

stream network in Denmark. In: Journal of Hydrology: Regional Studies 40, S. 101015.
doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101015.

Senin, P. (2008). Dynamic Time Warping Algorithm Review.
seninp.github.io/assets/pubs/senin_dtw_litreview_2008.pdf.

Suzuki, T., Tsujimura, M., Sato, K., Asakura, Ueno, H., Nagano, K. (2025): Evaluation of groundwater–surface water interaction using end-member mixing analysis (EMMA) in the middle reaches of the Tama River, Tokyo, Japan. Hydrogeol J 33, 825–839 (2025).
doi.org/10.1007/s10040-025-02895-2.

Van der Maaten, L., Hinton, G. (2008). Visualizing Data Using t-SNE. Journal of Machine Learning Research, 1, 1-48. Online verfügbar unter:
cs.toronto.edu/~hinton/absps/tsne.pdf

Vogt, T., Hoehn, E., Schneider, P., Cirpka, O.A. (2009). Untersuchung der Flusswasserinfiltration in voralpinen Schottern mittels Zeitreihenanalyse. Grundwasser 14, 179–194 (2009). doi.org/10.1007/s00767-009-0108-y.

Ward, J.H. (1963). Hierarchical grouping to optimize an objective function. Journal of the American Statistical Association, 58, 236–244.

Wasserrechtsgesetz 1959 (WRG; BGBl. Nr. 215/1959 i.d.g.F.). Kundmachung der Bundesregierung vom 8.9.1959, mit der das Bundesgesetz, betreffend das Wasserrecht, wiederverlautbart wird.

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung/Voller Begriff oder Kontext
2D	Zweidimensionale Darstellung
ALS-DGM	Airborne Laser Scanning - Digitales Geländehöhenmodell
AM	Arithmetisches Mittel
Ar	Argon (Edelgas)
BEV	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen
BGBI.	Bundesgesetzblatt
BML	Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft
BMLFUW	Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft
BMLUK	Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Klima- und Umweltschutz, Regionen und Wasserwirtschaft
BMLRT	Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus
Ca	Calcium
CBZ	Carbamazepin
Cr	Chrom
DBA	Dynamic Barycenter Averaging (Methode zur Bestimmung von Clusterzentren)
DBJ	Donau bis Jochenstein (Bezeichnung Planungsraum)
DCF	Diclofenac
DGM	Digitales Geländehöhenmodell
DOC	Gelöster organischer Kohlenstoff (Dissolved Organic Carbon)
DONA	PFAS-Verbindung (spezifisch für Donau-Eintrag)
DRA	Drau
DTW	Dynamic Time Warping (Methode zur Messung der Ähnlichkeit von Zeitreihen)
DUJ	Donau unterhalb Jochenstein
EU	Europäische Union
EZG	Einzugsgebiet
Fe	Eisen
FTS	Fluorierte Tenside (im Kontext von 8:2 FTS)
FWMST	Fließgewässermessstelle

Abkürzung	Erläuterung/Voller Begriff oder Kontext
GBA	Geologische Bundesanstalt
GGN	Gesamtgewässernetz Österreich
GH	Gesamthärte
GW	Grundwasser
GWK	Grundwasserkörper
GW-OW	Grundwasser-Oberflächengewässer (Interaktion)
GZÜV	Gewässerzustandsüberwachungsverordnung
HAÖ	Hydrologischer Atlas Österreichs
HCA	Hierarchische Clusteranalyse
HD	Hydrographischer Dienst
He	Helium
Hg	Quecksilber
HQ1	Hochwasserabfluss mit einer Jährlichkeit von 1 Jahr
H2O	H2O Fachdatenbank
idgF.	in der geltenden Fassung
IQR	Interquartilsabstand
KH	Karbonathärte
km²	Quadratkilometer
LF20	Elektrische Leitfähigkeit bei 20°C
LMWL	Lokale Meteoric Water Line (Lokale Meteore Wasserlinie)
LRR	Planungsraum Leitha, Raab und Rabnitz
Mg	Magnesium
MGW	Mittlere Grundwasserstände/Mittlere Grundwassergleichen
MJHW	Mittlerer jährlicher Hochwasserstand
Mn	Mangan
MQ	Mittlerer Abfluss
m/s	m pro Sekunde
m³/s	Kubikmeter pro Sekunde
MW	Mittlerer Wasserstand
N	Niederschlag
N90	Niederschlagssummen der vergangenen 90 Tage
Ne	Neon (Edelgas)

Abkürzung	Erläuterung/Voller Begriff oder Kontext
NGP	Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan
NH4	Ammonium
OW	Oberflächengewässer
PCA	Hauptkomponentenanalyse (Principal Component Analysis)
PFAS	Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen
PFBA	Perfluorbutansäure
PFHxA	Perfluorhexansäure
PFOA	Perfluoroctansäure
PFPeA	Perfluorpentansäure
pH	pH-Wert
Q95	Niederwasserkennzahl (95-Perzentil)
Qt	Abflüsse
QZV Chemie GW	Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser
QZV Chemie OW	Qualitätszielverordnung Chemie Oberflächengewässer
RHE	Planungsraum Rhein
RL 2000/60/EG	Richtlinie 2000/60/EG (Wasserrahmenrichtlinie)
RL 2006/118/EG	Richtlinie 2006/118/EG (Grundwasserrichtlinie)
SO4	Sulfat
SPEI	Standardized Precipitation Evapotranspiration Index
SPEI30	SPEI der vergangenen 30 Tage
SPEI90	SPEI der vergangenen 90 Tage
t-SNE	t-Distributed Stochastic Neighbor Embedding
TEMP	Temperatur
TIN	Triangulated Irregular Network
V-SMOW	Vienna Standard Mean Ocean Water
WISA	Wasser Informationssystem Austria
WRG 1959	Wasserrechtsgesetz 1959
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie
Wt	Wasserstände
$\delta^{18}\text{O}$	Delta-Sauerstoff-18 (stabiles Wasserisotop)
$\delta^2\text{H}$	Delta-Deuterium (stabiles Wasserisotop)

