

Grundwassermodell Ybbstal

H. Kupfersberger, J. Vrzel, C. Reszler, L. Wieser

Auftraggeber:

Abteilung Wasserwirtschaft – Wasserwirtschaftliche Planung

Amt der Niederösterreichischen Landesregierung

Freigegeben:  Mag. Dr. G. Klammler

Graz, 8.4.2024



Inhalt

1	Einleitung und Problemstellung	11
1.1	Begrenzung des Untersuchungsgebiets	11
2	Datengrundlagen.....	13
2.1	Basisdaten	13
2.2	Hydrologisches Messnetz	13
2.2.1	Grundwasserspiegel.....	13
2.2.2	Wasserspiegellagen an Oberflächengewässern	15
2.3	Realentnahmen von Trink- und Nutzwasserbrunnen	17
2.4	Entnahmen von einzelwasserversorgten Ortschaften	22
2.5	Meteorologische Daten.....	22
3	Hydrogeologisches Konzeptmodell	23
3.1	Geologie des Ybbstals.....	23
3.1.1	Grundwasserstauer.....	23
3.1.2	Talfüllung (Quartär)	23
3.1.3	Niederterrasse	23
3.2	Ermittlung des Grundwasserstauers im Ybbstal	24
3.3	Ermittlung der Grundwasserneubildung aus auf der Gebietsfläche infiltrierender Niederschläge	26
3.3.1	Verteilung der aktuellen Landnutzung	26
3.3.2	Verteilung der Bodeneigenschaften	27
3.3.3	Berechnung der Grundwasserneubildung unter landwirtschaftlich genutzten Flächen..	28
3.3.4	Berechnung der Grundwasserneubildung unter Wald.....	29
3.3.5	Berechnung der Grundwasserneubildung unter versiegelten Flächen	30
3.3.6	Beschreibung der mittleren Grundwasserneubildung im Modellgebiet	30
3.4	Ermittlung der Randzuflüsse	31
3.4.1	Vorgangsweise	31
3.4.2	Übersicht über die Randeinzugsgebiete	32
3.4.3	Kalibrierung und Validierung des NA-Modells im Gebiet des Pegels Krenstetten/Url.....	33
3.4.4	Simulation der Abflüsse in den direkten Randeinzugsgebieten	39
4	Erstellung des Grundwasserströmungsmodells.....	42
4.1	Mathematisches Modell.....	42
4.1.1	Die Interaktion von Oberflächengewässern und Grundwasser.....	42
4.1.2	Modellumsetzung der Interaktion zwischen Oberflächengewässer und Grundwasser...	43

4.1.3	Rand- und Anfangsbedingungen für Strömungsmodell	43
4.1.4	Lösung des mathematischen Modells mit numerischer Methoden.....	44
4.2	Beschreibung der Modellsoftware FEFLOW.....	44
4.3	Maßzahlen zur Bewertung der Kalibrationsgüte	44
4.4	Netzgenerierung.....	45
5	Instationäre Kalibration des Grundwasserströmungsmodells.....	46
5.1	Definition der Randbedingungen, Materialeigenschaften und Anfangswerte für die Kalibration	46
5.1.1	Randbedingungen.....	46
5.1.2	Anfangsbedingung	48
5.1.3	Materialeigenschaften.....	48
5.2	Kalibrationsergebnisse	48
5.3	Verteilung der Durchlässigkeit	55
5.4	Verteilung der Porosität	55
6	Ergebnisse des Grundwasserströmungsmodells.....	57
6.1	Grundwasserbilanz	57
6.2	Verteilung von Flurabstand und Grundwassermächtigkeit bei mittleren Grundwasserspiegellagen (Median) im Modellzeitraum	58
7	Simulationsrechnung Konsensentnahme mit Hilfe des kalibrierten Grundwasserströmungsmodells	60
7.1	Einleitende Bemerkungen	60
7.2	Ergebnisse der Simulationsrechnung	61
8	Instationär berechnete Brunneneinzugsgebiete.....	63
8.1	Methodische Grundlagen zur instationären Berechnung von Brunneneinzugsgebieten... ..	63
8.1.1	Konzept der EZG-Ermittlung mittels Bahnlinien	63
8.1.2	Auswertung der EZG-Ermittlung mittels Bahnlinien.....	63
8.2	Instationär berechnete Brunneneinzugsgebiete.....	64
9	Trinkwasserhoffungsgebiete – Sicherung der Trinkwasser-Ressourcen (Vorsorge).....	66
9.1	Idee.....	66
9.2	Vorgaben	66
9.3	Vorgangsweise/Methodik	66
9.3.1	Berechnung der Beurteilungsparameter	67
9.3.2	Mehrzieloptimierung	67
9.4	Ergebnis	68

9.4.1	Teilziel 1 – Hoher Grundwasserdurchsatz	68
9.4.2	Teilziel 2 – Große theoretische Entnahmemenge	69
9.4.3	Ziel Gesamt – Hoher Grundwasserdurchsatz und große theoretische Entnahmemenge	70
9.4.4	Wasserwirtschaftlich schutzwürdige Bereiche	71
10	NGW100 und HGW100 Lagen des Grundwasserspiegels	73
10.1	Methodische Vorgangsweise	73
10.2	Verteilung der HGW100- und NGW100-Grundwasserspiegellagen sowie des resultierenden Flurabstandes und der gesättigten Mächtigkeit.....	77
11	Literatur	81
12	Anhang 1: Ergebnisse des Nieserschlag-Abfluss-Modells im Grundwassermodell.....	83

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ausschnitt der geologischen Karte (Geologische Bundesanstalt, 1988) im Bereich Ybbstal, offizielle Grenze der Grundwasserkörper und definierter Verlauf der Grenze des Grundwassermodells Ybbstal.....	12
Abbildung 2: Lage der Grundwasserpegel, der Pegel an Oberflächengewässer und Wetterstation....	14
Abbildung 3: Entnahmebrunnen und einzelwasserversorgte Ortschaften in Ybbstal. Die Entnahmebrunnen, für welche die Entnahmemengen beim Istzustand verfügbar sind, sind im Modell beim Istzustand implementiert.	17
Abbildung 4: Verlauf der Entnahme aus den Entnahmebrunnen im Modellzeitraum 2000-2021. Angaben sind in l/s.....	18
Abbildung 5: Verlauf der Entnahme aus den Entnahmebrunnen MONDI (Brunnen 1 – Brunnen 5) im Modellzeitraum 2000-2021. Angaben sind in l/s.....	19
Abbildung 6: Gemessener Niederschlag (Jahressumme) und mittlere tägliche Lufttemperaturen in Amstetten (Station Nummer 5316) im Modellzeitraum 2000-2021.	22
Abbildung 7: Datenbasis für die Interpolation der Staueroberkante im Ybbstal (mit Quellen in der Legende): Verteilung von Bohrpunkten mit Angabe der Höhe der Staueroberkante, geologische Profile und interpolierte Staueroberkante.	25
Abbildung 8: Verlauf der Grundwasserstauerhöhe im Modellgebiet.....	26
Abbildung 9: Verteilung der Landnutzung im Modellgebiet mit Unterteilungen nach CORINE für die Berechnung der Grundwasserneubildung	27
Abbildung 10: Verteilung der nFk [mm] der Wurzelzone der Böden bis 100 cm Tiefe im Modellgebiet	28
Abbildung 11: Verteilung der mittleren Grundwasserneubildung [mm] pro Jahr für jedes Hydrotop im Modellgebiet	31
Abbildung 12: Übersicht über die Lage der Randeinzugsgebiete, das Gebiet des Pegels Krenstetten und die verwendeten Wetterstationen. Hinterlegt ist die topographische Karte ÖK500 © BEV.	32
Abbildung 13: Summe der nutzbaren Feldkapazität in mm (links) der obersten beiden Bodenspeicherzonen (bis 50 cm Tiefe) und Minimum der hydraulischen Leitfähigkeiten in mm/d der drei Bodenspeicherzonen (bis 100 cm Tiefe) aus der HydroBod NÖ (rechts). Es sind dazu jeweils die Grenzen der geologischen Formationen eingezeichnet und beschriftet.	34
Abbildung 14: Mittlere Langzeit-Jahreswerte 1991-2022 der verwendeten Stationen und das errechnete Gebietsmittel gegen die Stationsseehöhe aufgetragen; Links: Mittlere Jahressumme des Niederschlages inkl. Trendlinie; Rechts: Mittlere Lufttemperatur inkl. Trendlinie.	35
Abbildung 15: Abhängigkeit der mittleren ET ₀ (2008-2021) von der Seehöhe an den verwendeten Stationen.....	37
Abbildung 16: Beispielzeiträume der Ergebnisse: Vergleich zwischen Pegelabfluss (Q-BEOB) und simuliertem Abfluss (Q-SIM). Oben: Kalibrierungszeitraum; unten: Validierungszeitraum.....	38
Abbildung 17: <i>Simulierte Wasserbilanzkomponenten (links) und Abflusskomponenten in % des simulierten Gesamtabflusses (rechts). Mittelwerte über 2000-2021. N ... Niederschlag; AET ... aktuelle Verdunstung; Q-SIM... simulierter Abfluss; OF ... Oberflächenabfluss; SSF ...</i>	

<i>unterirdischer Abfluss; IF ... Interflow; BF1 ... seichter Basisabfluss; BF2 ... tiefgründiger Basisabfluss.</i>	38
Abbildung 18: Unterirdischer Abfluss (orange) im Vergleich zum Gesamtabfluss (blau) beispielhaft für den Zeitraum 2002-2003 beinhaltend das Hochwasser im August 2002 und das äußerst trockene Jahr 2003.....	39
Abbildung 19: Ergebnisse der Simulation für 1 km ² als Basis für die Ermittlung der Randzuflüsse zum Grundwassermodell. Oben: Gesamtabfluss und Oberflächenabfluss (OF) abgetrennt (Beispiel 1998-2002); unten: Gesamt- minus Oberflächenabfluss und dazu auch der rasche, oberflächennahe Interflow (IF) abgetrennt (Beispiel 2013).	41
Abbildung 20: Finite Elemente Berechnungsnetz für das Grundwassermodell Ybbstal.....	45
Abbildung 21: Verteilung der Randbedingungen im Modellgebiet und Einzugsgebiete der Gewässer, welche von den angrenzenden Hügeln in das Ybbstal fließen. POW1 - POW9 sind die Bezeichnungen der Ganglinien, welche in Anhang 1 dargestellt sind.	48
Abbildung 22: Mittlerer Grundwasserspiegel, "root mean square error" (RMSE), mittlere positive/negative residual und Anteil der über-/unterschätzten Grundwasserspiegelhöhe.	49
Abbildung 23: Gemessene und berechnete Grundwasserspiegelganglinien an der Messstelle 337121.	50
Abbildung 24: Gemessene und berechnete Grundwasserspiegelganglinien an der Messstelle 326777.	50
Abbildung 25: Gemessene und berechnete Grundwasserspiegelganglinien an Messstelle der 337089.	51
Abbildung 26: Gemessene und berechnete Grundwasserspiegelganglinien an der Messstelle 322651.	51
Abbildung 27: Gemessene und berechnete Grundwasserspiegelganglinien an der Messstelle 326868.	52
Abbildung 28: Gemessene und berechnete Grundwasserspiegelganglinien an der Messstelle 302893.	52
Abbildung 29: Gemessene und berechnete Grundwasserspiegelganglinien an der Messstelle 331496.	53
Abbildung 30: Gemessene und berechnete Grundwasserspiegelganglinien an der Messstelle 326892.	54
Abbildung 31: Gemessene Grundwasserspiegelganglinien an den Messstellen 322982 und 326660.	54
Abbildung 32: Verteilung der kalibrierten Durchlässigkeitsbeiwerte im Modellgebiet.....	55
Abbildung 33: Verteilung der kalibrierten Porositäten im Modellgebiet.	56
Abbildung 34: Graphische Darstellung der Bilanz (für die Periode 2000 bis 2021 und Realentnahmen) in Prozent.	57
Abbildung 35: Isolinien des mittleren (Median) Grundwasserspiegels und zugehörige Verteilung der Grundwassermächtigkeit im Modellgebiet.....	59
Abbildung 36: Isolinien des mittleren (Median) Grundwasserspiegels und zugehörige Verteilung des Flurabstandes im Modellgebiet.	59
Abbildung 37: Grundwasserspiegelabsenkungen bei Konsenszustand im Vergleich zum Istzustand. .	62
Abbildung 38: Instationär berechnete Einzugsgebiete von Entnahmehäusern bei Konsensentnahme (mittlere Verweildauer).	65
Abbildung 39: Zielerfüllungsgrad Teilziel 1 „Hoher Grundwasserdurchsatz“	69

Abbildung 40: Zielerfüllungsgrad Teilziel 2 „Große theoretische Entnahmemenge“	70
Abbildung 41: Gesamterfüllungsgrad bestehend aus Teilzielen 1 „Hoher Grundwasserdurchsatz“ und Teilziel 2 „Große theoretische Entnahmemenge“	71
Abbildung 42: Einzugsgebiete von Entnahmebrunnen und Einzelwasserversorgungsanlagen.....	72
Abbildung 43: Berechnung von extremen Grundwasserspiegelhochständen mit unterschiedlichen Jährlichkeiten und Darstellung der Autokorrelationsfunktion der Jahresextremwerte nach dem Verfahren in Fank und Fuchs (1999), beispielhaft für die Messstelle 337121.....	75
Abbildung 44: Berechnung von extremen Grundwasserspiegeltiefständen mit unterschiedlichen Jährlichkeiten und Darstellung der Autokorrelationsfunktion der Jahresextremwerte nach dem Verfahren in Fank und Fuchs (1999), beispielhaft für die Messstelle 337121.....	76
Abbildung 45: Interpolierte Grundwasserisolinien und die Verteilung des Flurabstands bei hohen Grundwasserspiegellagen mit einem Wiederkehrintervall von 100 Jahren (HGW100) sowie die Messpegel mit den geschätzten Extremwerten.	78
Abbildung 46: Interpolierte Grundwasserisolinien und die Verteilung des Flurabstands bei tiefen Grundwasserspiegellagen mit einem Wiederkehrintervall von 100 Jahren (NGW100) sowie die Messpegel mit den geschätzten Extremwerten.	79
Abbildung 47: Interpolierte Grundwasserisolinien und die Verteilung der Grundwassermächtigkeit bei tiefen Grundwasserspiegellagen mit einem Wiederkehrintervall von 100 Jahren (NGW100) sowie die Messpegel mit den geschätzten Extremwerten.	79
Abbildung 48: Interpolierte Grundwasserisolinien und die Verteilung der Grundwassermächtigkeit bei hohen Grundwasserspiegellagen mit einem Wiederkehrintervall von 100 Jahren (HGW100) sowie die Messpegel mit den geschätzten Extremwerten.	80
Abbildung 49: Ergebnis des Niederschlag-Abfluss-Modells in l/s/km ² . BF – Baseflow, IF – Interflow..	83
Abbildung 50: NAM-Modellergebnisse (l/s/Einzugsgebiet; grüne Ganglinie) und ihre Reduzierung für jedes Einzugsgebiet als Ergebnis der Grundwassermodellkalibrierung (orange Ganglinie). Die Randzuflüsse sind von der BF+IF-Ganglinie in Abbildung 30 definiert (BF – Baseflow, IF - Interflow).....	83
Abbildung 51: NAM-Modellergebnisse (l/s/Einzugsgebiet; blaue Ganglinie) und ihre Reduzierung für jedes Einzugsgebiet (falls notwendig) als Ergebnis der Grundwassermodellkalibrierung (orange Ganglinien). Wenn das Diagramm nur eine Ganglinie darstellt, mussten die NAM-Ergebnisse nicht geändert werden. Die Randzuflüsse sind von der BF-Ganglinie in Abbildung 49 definiert (BF - Baseflow).	84

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Grundwasserspiegel-Messstellen	15
Tabelle 2: Messstellen an Ybbs, Donau und Url	16
Tabelle 3: Verwendete Werte und getroffene Annahmen für die Definition der Wasserkraftwerke im Grundwassermodell.	16
Tabelle 4: Realentnahmen und Aufzeichnungsintervalle für die Brunnenanlagen im Modellgebiet. Nur die Entnahmebrunnen mit „Ja“ in der Spalte „R-Ent“ sind im Modell mit Realentnahmen implementiert:	20
Tabelle 5: Entnahmen von einzelwasserversorgten Ortschaften.....	22
Tabelle 6: Verteilung der Landnutzungsklassen im Gebiet aus dem CORINE Landcover Datensatz (2018). Als Code sind die ersten beiden Stellen angegeben, welche die generelle Nutzung beschreiben.	33
Tabelle 7: Verwendete Stationen für die Regionalisierung der Niederschläge und Lufttemperaturen im Einzugsgebiet des Pegels Krenstetten/Url mit mittleren Jahreswerten aus dem Zeitraum 1991-2022 und dem Simulationszeitraum 2000-2021. Lage der Stationen siehe Abbildung 12.	35
Tabelle 8: Verwendete Stationen für die Regionalisierung der potenziellen Verdunstung (ET0) im Einzugsgebiet des Pegels Krenstetten/Url mit mittleren Jahreswerten aus den Zeiträumen 2000-2021 und 2008-2021 (TW: Tageswerte).....	36
Tabelle 9: Verteilung der Landnutzungsklassen im westlichen Randgebiet (POW1 bis POW5 in Abbildung 21) aus dem CORINE Landcover Datensatz (2018). Als Code sind die ersten beiden Stellen angegeben, welche die generelle Nutzung beschreiben.	39
Tabelle 10: Grundwasserbilanz des gesamten Modellgebiets für die Periode 2000 bis 2021 bei Realentnahmen. Berechnete Zuflüsse und Abflüsse sind Mittelwerte über ganzen Modellzeitraum 2000-2021.	58
Tabelle 11: Bewilligte Konsensentnahmemengen ($KON_{\text{bewilligt}}$) der im Grundwassermodell berücksichtigten Brunnen. Wenn das Modell die bewilligten Konsensmengen nicht entnehmen kann, dann wurden reduzierte Entnahmemengen (KON_{Modell}) angenommen.	60



1 Einleitung und Problemstellung

In den letzten 15 Jahren wurden in den bedeutenden Porengrundwasserleitern in Niederösterreich (Marchfeld, Tullner Feld, Südliches Wiener Becken) von der Abteilung Wasserwirtschaft – Wasserwirtschaftliche Planung der Niederösterreichischen Landesregierung die Erstellung von instationären Grundwassermodellen veranlasst, um wasserwirtschaftliche Vorranggebiete für die Sicherung der Trinkwasserversorgung zu definieren. Wie die weiterführenden Berechnungen mit Hilfe der Grundwasserströmungsmodelle gezeigt haben, bildet ein gut kalibriertes numerisches Modell, das die Grundwasserdynamik in ihrer räumlichen und zeitlichen Charakteristik für unterschiedliche Grundwasserstände auf regionaler Ebene gut wiedergibt, die Basis für unterschiedliche Auswertungen der Strömung aber auch hinsichtlich des Ausbreitungsverhaltens von Stoffen aus unterschiedlichen Quellen.

Für das Ybbstal im Bereich zwischen Kematen und der Einmündung in die Donau wurde nun ebenfalls ein 2D-horizontales instationäres Grundwassermodell erstellt. Mit diesem Modell wurde die Grundlage geschaffen, um verschiedene wasserwirtschaftliche Fragen im Ybbstal zu behandeln. Konkret wurden im Ybbstal, wie in den anderen niederösterreichischen Grundwasserkörpern, die Einzugsgebiete der Wasserversorgungsanlagen, drei von der Auftraggeberin formulierte Zielerfüllungskriterien sowie die Verteilung der Trinkwasserhoffungsgebiete und der schutzwürdigen Bereiche mit dem Grundwassermodell berechnet.

1.1 Begrenzung des Untersuchungsgebiets

Der Grenzverlauf des Modellgebiets für das Ybbstal ist in Abbildung 1 gemeinsam mit den lithologischen Einheiten aus der geologischen Karte (Geologische Bundesanstalt, 1988) dargestellt. Es war dabei das Ziel, die Modellgrenzen so zu positionieren, dass die hydraulische Interaktion über die Modellgrenzen auf Basis von Messungen bzw. datenbasierten Prozessvorstellungen quantifiziert werden kann.

Das Gebiet für das Grundwassermodell Ybbstal erstreckt sich im Osten bis zur Donau, zwischen Ybbs an der Donau und Sarling. Von dort erstreckt sich das Modellgebiet entlang der Grundwasserkörpergrenze, von der es nur in den Bereichen, wo die Ybbs und die Url ganz nah zur Grundwasserkörpergrenze liegen, abweicht (siehe Abbildung 2). Dort ist die Modellgrenze entlang der Flüsse definiert (z.B. der zentrale Teil der südlichen Modellgrenze entlang der Ybbs). Stromaufwärts wurde die südwestliche Modellgrenze knapp unterhalb des Wasserkraftwerks EVN KW Dorfmühle festgelegt (siehe Abbildung 2). Der hohe Lehm- und Lössblock in Südwesten zwischen dem Zauchbach und der Ybbs ist im Modellgebiet nicht enthalten (siehe Abbildung 1). Vom Zauchbach sind ca. 5,5 km stromauf der Mündung in die Ybbs, wo eine quartäre Talfüllung besteht, im Modellgebiet inkludiert.

Aus geologischer Sicht enthält das Modell folgende dominierende Sedimente aus dem Quartär (Abbildung 1):

- Talfüllung entlang der Ybbs und Url – Jüngster Talboden (Kies, Aulehm),
- Schotter der Niederterrasse,
- Schotter der Hochterrasse im Westen.

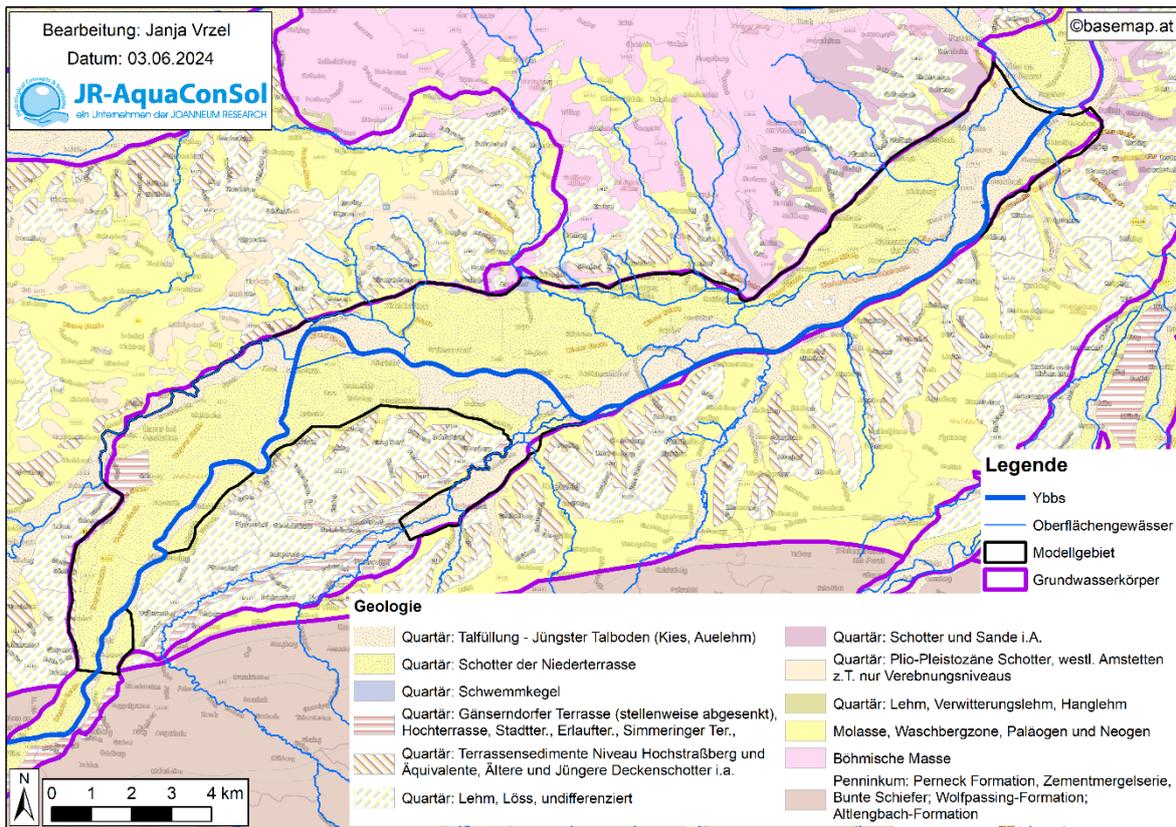


Abbildung 1: Ausschnitt der geologischen Karte (Geologische Bundesanstalt, 1988) im Bereich Ybbstal, offizielle Grenze der Grundwasserkörper und definierter Verlauf der Grenze des Grundwassermodells Ybbstal

2 Datengrundlagen

2.1 Basisdaten

Das Grundwassermodell wurde mit Messdaten über einen Zeitraum von 01.01.2000 bis 31.12.2021 erstellt. In diesem Kapitel werden die Messdaten dargestellt, die für die Erstellung des Grundwassermodells zur Verfügung standen. Die Berechnung basiert auf täglichen Zeitschritten.

2.2 Hydrologisches Messnetz

Abbildung 2 zeigt die Standorte der Grundwasserpegel, der Pegel an den Oberflächengewässern, der Wetterstation, des Werkskanals in Amstetten und der Wasserkraftwerke im Modellgebiet.

2.2.1 Grundwasserspiegel

Abbildung 2 zeigt die Lage der 40 Messpegel, an denen Grundwasserspiegelbeobachtungen im Modellgebiet zur Verfügung stehen (Tabelle 1). Die Grundwasserspiegel wurden vom Hydrographischen Dienst Niederösterreich (HD-NOE) und der Verbund Hydro Power GmbH (VHP) in unterschiedlichen zeitlichen Intervallen und Zeiträumen gemessen. Zwischen Donau und Neumarkt an der Ybbs wird das Grundwasser mit einem dichten Netz beobachtet, im westlichen Teil des Modellgebiets, insbesondere zwischen Amstetten und Kematen an der Ybbs, ist dies nicht der Fall. Im Zauchbachtal befindet sich kein Grundwassermesspegel.

Es war nicht möglich, alle Grundwassermesspegel für die Erstellung des Modells zu verwenden. Die Messstellen 322594 und 322602 wurden in einem zu kurzen Zeitraum beobachtet (sie sind mit Grau in der Tabelle 1 markiert). In Donaunähe liegen mehrere Pegel von HD-NOE und der VHP direkt nebeneinander (siehe Abbildung 2). In diesen Fall wurden nur die Pegel vom HD-NOE für die Modellerstellung verwendet. Die davon betroffenen Pegel der VHP sind in Grün in Tabelle 1 angeführt. An manchen Pegeln vom HD-NOE kamen später Datensammler zum Einsatz, die mehrere Werte pro Tag abgespeichert haben (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Grundwasserspiegel-Messstellen

No.	Pegelname	Zeitraum	Ablesung	Datensammler ab	Besitzer
1	302893	01.01.1993 - 17.06.2022	wöchentlich		HD-NOE
2	302901	01.01.1993 - 23.07.2022	wöchentlich		HD-NOE
3	302927	01.01.1993 - 23.06.2022	wöchentlich		HD-NOE
4	322594	01.01.1993 - 31.12.2001	wöchentlich		HD-NOE
5	322602	01.01.1993 - 31.01.1998	wöchentlich		HD-NOE
6	322610	01.01.1993 - 23.06.2022	wöchentlich		HD-NOE
7	322644	01.01.1993 - 23.07.2022	wöchentlich		HD-NOE
8	322651	01.01.1993 - 17.06.2022	wöchentlich		HD-NOE
9	322982	01.01.1993 - 30.10.2022	wöchentlich		HD-NOE
10	322990	01.01.1993 - 30.10.2022	wöchentlich		HD-NOE
11	323006	01.01.1993 - 05.10.2022	wöchentlich	14.01.2015	HD-NOE
12	326512	01.01.1993 - 07.11.2022	wöchentlich	01.01.2005	HD-NOE
13	326660	01.01.1993 - 05.10.2022	wöchentlich	13.04.2011	HD-NOE
14	326777	01.01.1993 - 07.11.2022	wöchentlich	04.12.2019	HD-NOE
15	326785	01.01.1993 - 05.10.2022	wöchentlich	16.12.2013	HD-NOE
16	326793	04.01.1993 - 31.12.2003	wöchentlich		HD-NOE
17	326801	01.01.1993 - 06.11.2022	wöchentlich		HD-NOE
18	326819	01.01.1993 - 05.10.2022	wöchentlich	04.11.2020	HD-NOE
19	326827	01.01.1993 - 01.11.2022	wöchentlich		HD-NOE
20	326843	01.01.1993 - 07.11.2022	wöchentlich		HD-NOE
21	326850	01.01.1993 - 07.11.2022	wöchentlich		HD-NOE
22	326868	01.01.1993 - 13.10.2022	wöchentlich	17.06.2015	HD-NOE
23	326876	01.01.1993 - 02.11.2022	wöchentlich		HD-NOE
24	326884	01.01.1993 - 13.10.2022	wöchentlich	20.06.2011	HD-NOE
25	326892	01.01.1993 - 07.11.2022	wöchentlich		HD-NOE
26	331496	01.01.1993 - 05.10.2022	wöchentlich	02.03.2009	HD-NOE
27	337089	01.01.1993 - 07.11.2022	wöchentlich	14.01.2015	HD-NOE
28	337121	01.01.1993 - 07.11.2022	wöchentlich	14.04.2001	HD-NOE
29	337147	01.01.1993 - 07.11.2022	wöchentlich		HD-NOE
30	337162	01.01.1993 - 13.10.2022	wöchentlich	02.05.2011	HD-NOE
31	337170	01.01.1993 - 07.11.2022	wöchentlich	15.11.2020	HD-NOE
32	2057_002	04.01.1993 - 24.01.2023	wöchentlich		VHP
33	2057_006	04.01.1993 - 24.01.2023	wöchentlich		VHP
34	2057_010	04.01.1993 - 24.01.2023	wöchentlich		VHP
35	2057_016	04.01.1993 - 24.01.2023	wöchentlich		VHP
36	2057_018	04.01.1993 - 11.01.2023	wöchentlich		VHP
37	2057_020	04.01.1993 - 24.01.2023	wöchentlich		VHP
38	2057_026	04.01.1993 - 11.01.2023	wöchentlich		VHP
39	2058_002	04.01.1993 - 24.01.2023	wöchentlich		VHP
40	2058_006	04.01.1993 - 24.01.2023	wöchentlich		VHP

2.2.2 Wasserspiegellagen an Oberflächengewässern

Die instationären Wasserspiegel an der Ybbs, Donau und Url wurden auf Basis der Messwerte an den Pegeln, welche in Tabelle 2 dargestellt sind, definiert. Ihre Lage ist in Abbildung 2 dargestellt. Der Zauchbach wurde mit konstantem Wasserspiegel aus dem aktuellen Laserscan im Grundwassermodell berücksichtigt (die Beschreibung der Randbedingungen erfolgt in Kapitel 5.1.1).

Im Modellgebiet sind zwei Messstellen an der Ybbs und eine Messstelle an der Donau vorhanden. An der Messstelle 2057_052 gibt es eine Datenlücke zwischen März 1997 und Januar 2004 (siehe Tabelle

2), trotzdem wurde dieser Pegel zur Validierung der Interpolation des Wasserstands in der Ybbs verwendet.

Die Interpolation der Wasserstände in der Ybbs und der Url weist folgende Unsicherheiten aufgrund der unzureichenden Datenlage auf:

- Im Modellgebiet gibt es nur eine Messstelle an der Ybbs. Oberhalb und unterhalb der Messstelle 207688 wurden drei Wasserkraftwerke und ein Werkskanal bei Amstetten gebaut, welche Auswirkungen auf die Hydrodynamik des Flusses haben.
- Die Messstelle an der Url ist ca. 8 km vom Modellgebiet entfernt. Zwischen der Messstelle 207696 und der Einmündung der Url in Ybbs gibt es eine Serie von Eingriffen in der Url, z.B. kleine Wasserkraftwerke.

Tabelle 2: Messstellen an Ybbs, Donau und Url.

Pegelname	Fluss	Zeitraum	Ablesung	Besitzer
207688	Ybbs	01.01.1993 - 12.12.2022	täglich	HD-NOE
207696	Url	01.01.1993 - 12.12.2022	täglich	HD-NOE
207126	Donau	01.01.1993 - 16.01.2023	täglich	Via Donau - Österreichische Wasserstraßen-Gesellschaft GmbH
2057_052	Ybbs	04.01.1993 - 31.03.1997	wöchentlich	VHP
		27.01.2004 - 11.01.2023	monatlich	

2.2.2.1 Wasserkraftwerke und Werkskanal

Im Modellgebiet befinden sich 4 Wasserkraftwerke (Abbildung 2) an der Ybbs. Für die Implementierung der Wasserkraftwerke in einem Grundwassermodell sind Informationen über folgende baulichen Maßnahmen und hydraulische Eckdaten notwendig:

- Ausdehnung des Rückstauraumes (bzw. Lage der Stauwurzel),
- Höhe des Wasserspiegels im Rückstauraum,
- Ausdehnung der Unterwassereintiefung,
- Höhe des Wasserspiegels im Bereich der Unterwassereintiefung,
- Standort der Spundwand,
- Höhe und Standort der Drainage.

Der JR-AquaConSol GmbH standen solche Informationen über die im Modellgebiet gelegenen Wasserkraftwerke nicht zur Verfügung, was eine gewisse Unsicherheit in der Modellumsetzung mit sich bringt. Um die Umsetzung jedoch nicht unter Vernachlässigung der Wasserkraftwerke zu machen, wurden gewisse Annahmen getroffen, welche in Tabelle 3 dokumentiert sind.

Tabelle 3: Verwendete Werte und getroffene Annahmen für die Definition der Wasserkraftwerke im Grundwassermodell.

Energieanlage (Lage siehe Abbildung 2)	Stauziel	Länge des Stauraumes	Höhe der Unterwassereintiefung	Länge des Unterwassers
	[m ü. A.]	[m]	[m ü. A.]	[m]
KW Dorfmühle	-	-	295,0**	1000***
KW Hausmening	290,7*	920*	282,8**	1000***
Wehranlage Greinsfurth	278,8*	2270*	270,0**	1000***
Elektrizitätswerk Amstetten	278,4	1293***	266,2**	300***
KW Kimmelbach	224,5**	2500-3000*	217,0**	1000***

Quelle: *Stephan Cech, 2020; **vom Laserscan; ***Annahme

Die südwestliche Modellgrenze liegt knapp unterhalb des KW Dorfmuhle, deswegen musste die Ybbs in diesem Fall nur unterhalb des Kraftwerks Dorfmuhle (Unterwasser) angepasst werden. Das Kraftwerk Amstetten liegt am Werkskanal. Bei der Wehranlage Greinsfurth wird der Wasserstand des Werkskanals auf 278,8 m ü.A. angehoben, laut Laserscan weist das Stauziel eine Höhe von 278,4 m ü.A. auf. Der Wasserstand im Werkskanal zwischen dem Wehr Greinsfurth und dem Kraftwerk Amstetten wird daher stationär zwischen diesen beiden Höhenangaben interpoliert. Es ist nicht bekannt, ob Spundwände und/oder Drainagen an einem der Wasserkraftwerke errichtet wurden, so dass solche Maßnahmen im Grundwassermodell nicht berücksichtigt wurden.

2.3 Realentnahmen von Trink- und Nutzwasserbrunnen

In Abbildung 3 und Tabelle 4 sind die Entnahmebrunnen in Ybbstal (nach dem Wasserbuch) dargestellt. Die tatsächliche Entnahmemenge von Trink- und Nutzwasserbrunnen wurde im Modell an allen Brunnen erhoben, die eine Konsensmenge von größer oder gleich 5 l/s bzw. in der Jahreskonsensmenge größer oder gleich 157.680 m³/a aufweisen (Tabelle 11). Die Istentnahmen an 16 von 34 bestehenden Entnahmebrunnen (hellblaue Dreiecke in Abbildung 4) waren verfügbar.

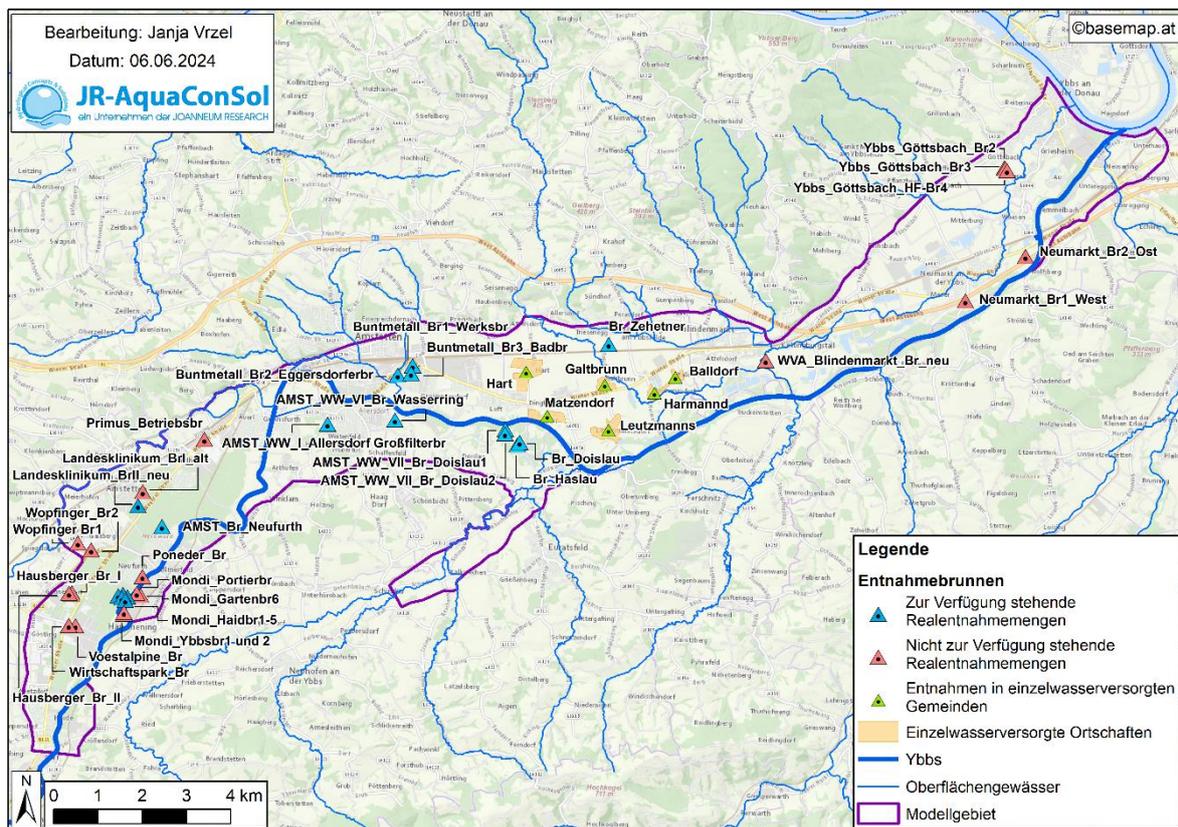


Abbildung 3: Entnahmebrunnen und einzelwasserversorgte Ortschaften in Ybbstal. Die Entnahmebrunnen, für welche die Entnahmemengen beim Istzustand verfügbar sind, sind im Modell beim Istzustand implementiert.

In der Tabelle 4 sind alle Brunnenbetreiber in Ybbstal angeführt, von denen die Realentnahmen der einzelnen Brunnen erhoben wurden. In der Spalte „Anmerkungen“ in Tabelle 4 ist angemerkt, ob z.B. die Entnahmemenge auf mehrere Brunnen aufgeteilt und warum einige Entnahmemengen nicht im Modell implementiert wurden. Bei der zeitlichen Auflösung der Entnahmedaten wurde zwischen Tagessummen, Wochensummen, Monatssummen und Jahressummen unterschieden. Bei den Entnahmemengen, welche nur als Monats- oder Jahressummen vorliegen und wo auch sonst keine

Angaben zur Entwicklung der Entnahmen erhalten wurden, wurden Entnahmen als Tagessummen gleichmäßig über den Zeitraum aufgeteilt.

In Abbildung 4 sind die Entnahmeganglinien der Entnahmebrunnen im Modellzeitraum dargestellt. An den Brunnen AMST_WW_VI_Br_Wasserring und AMST_WW_VII_Br_Doislau sind die höchsten Wasserentnahmen zu beobachten. Auch die Entnahmen aus dem Brunnen AMST_WW_I_Allersdorf_Großfilterbr waren im Jahr 2010 und ab dem Jahr 2020 erhöht. Die mittlere Realentnahme in den Brunnen Buntmetall_Br3_Badbr, Buntmetall_Br2_Eggersdorferbr, Buntmetall_Br1_Werksbr und Br_Zehetner sind kleiner als 2 l/s (Tabelle 4), wurden aber trotzdem im Grundwassermodell implementiert.

In Abbildung 5 sind die Entnahmeganglinien der Entnahmebrunnen Mond (Mondi_Heidbr1 – Mond_Heidbr5) im Modellzeitraum dargestellt. Für diesen Brunnen stehen die Entnahmemengen an Mond_Heidbr1 – Mond_Heidbr5 ab dem 02.06.2018 zur Verfügung. Vor Juni 2018 ist nur die Entnahmesumme der fünf Brunnen verfügbar. Die Verteilung der Entnahmesumme an den fünf Brunnen (Mondi_Heidbr1 – Mond_Heidbr5) basiert daher auf dem statistischen Entnahmeverhältnis der einzelnen Brunnen ab dem 02.06.2018. Zu diesem Zweck wurde die statistische Methode „Local Polynomial Regression Fitting verwendet“. Es ist zu erkennen, dass die Mond_Heidbr3 und Mond_Heidbr5 zeitweise mehr Grundwasser fördern als die jeweilige bewilligte Konsensentnahme (siehe Tabelle 11).

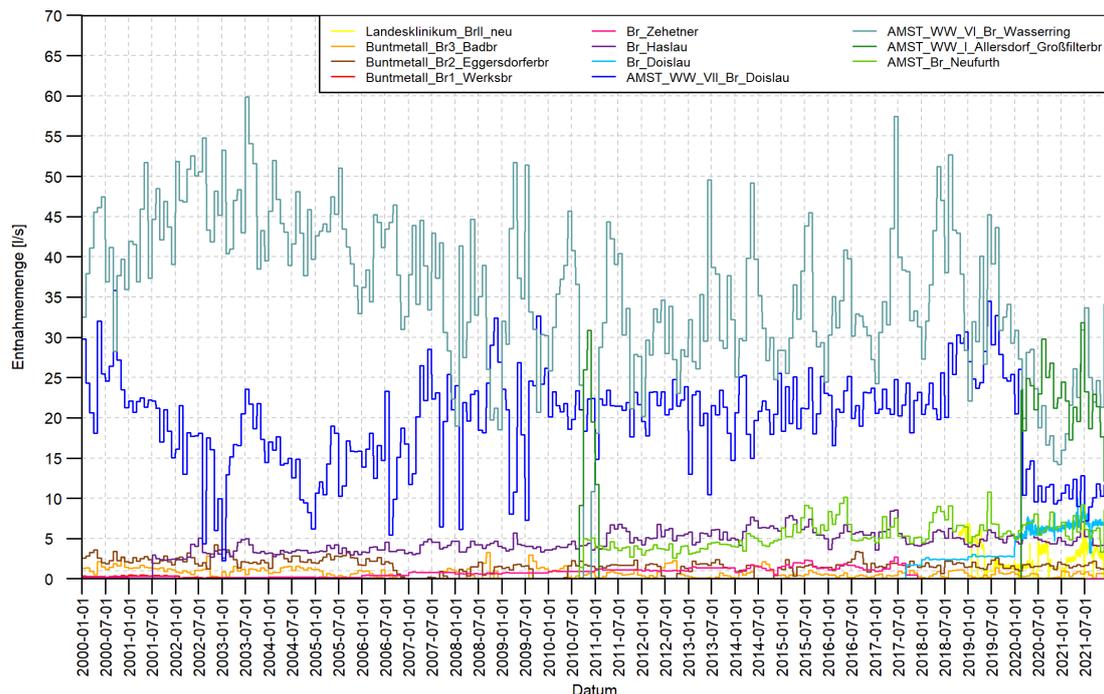


Abbildung 4: Verlauf der Entnahme aus den Entnahmebrunnen im Modellzeitraum 2000-2021. Angaben sind in l/s.

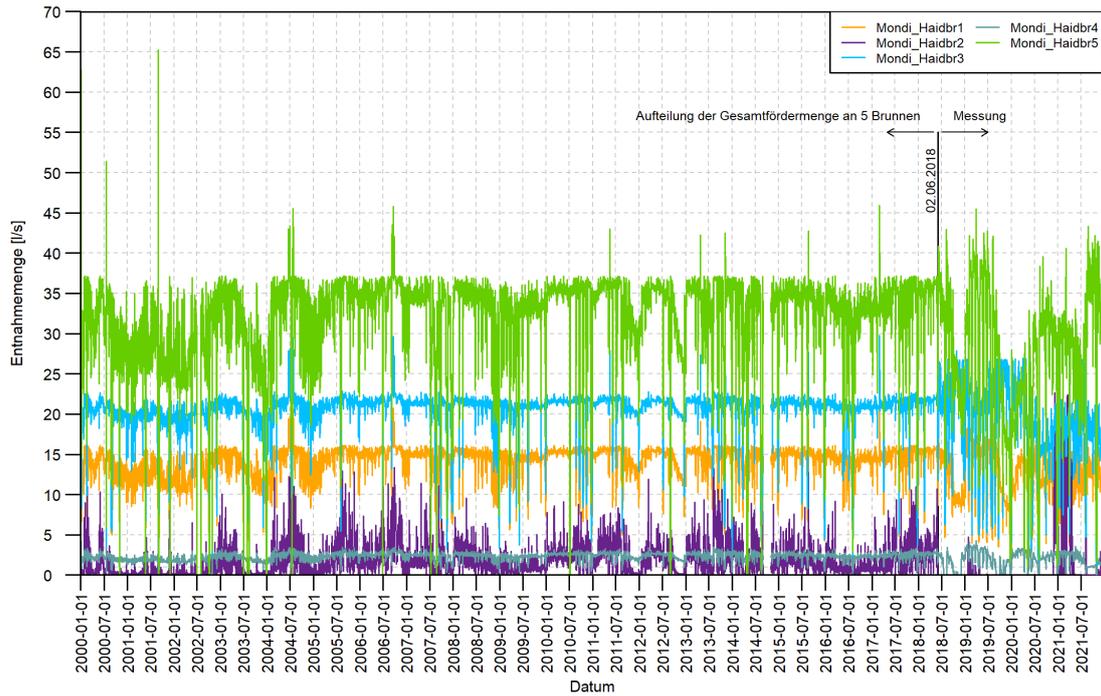


Abbildung 5: Verlauf der Entnahme aus den Entnahmebrunnen MONDI (Brunnen 1 – Brunnen 5) im Modellzeitraum 2000-2021. Angaben sind in l/s.

Tabelle 4. Realentnahmen und Aufzeichnungsintervalle für die Brunnenanlagen im Modellgebiet. Nur die Entnahmebrunnen mit „Ja“ in der Spalte „R-Ent“ sind im Modell mit Realentnahmen implementiert:

WVA	Brunnenbezeichnung	Daten von	Daten BIS	Auflösung	TW/NW	R-Ent	Mitt. R-Ent [l/s]	Anmerkung
BRUNNEN Amstetten, AM-600	AMST_Br_Neufurth	01.09.2010	31.12.2021	M-Summ	TW	Ja	5,2	
	AMST_WW_VII_Br_Doislau1	01.01.2010	31.12.2021	M-Summ	TW	Ja	19,4	Die Entnahmen aus den beiden Brunnen werden für das Modell auf zwei Brunnen geteilt (50%/50%)
	AMST_WW_VII_Br_Doislau2	01.01.2010	31.12.2021	M-Summ	TW	Ja		
	AMST_WW_I_Allersdorf_Großfilterbr	01.09.2010	31.12.2021	M-Summ	TW	Ja	4,4	
	AMST_WW_VI_Br_Wasserring	01.01.2000	31.12.2021	M-Summ	TW	Ja	35,5	
BRUNNEN MGde (WVA) Blindenmarkt, Brunnen neu, KG Blindenmarkt ME-1891	WVA_Blindenmarkt_Br_neu	-	-	-	-	Nein	-	
BRUNNEN Brunnen Haslau, WVA Euratsfeld, KG Schönbichl AM-427	Br_Haslau	05.07.2001	31.12.2021	M-Summ	TW	Ja		
WVA Zehetner Gertrude, KG St. Georgen am Ybbsfelde, AM- 1468 (AM-2804)	Br_Zehetner	01.01.2000	30.11.2017	J-Summ/ M-Summ	TW	Ja	0,8	
WVA Ferschnitz AM-1977; AM- 2804 WVA Marktgemeinde St. Georgen am Ybbsfeld	Br_Doislau	01.01.2017	31.12.2021	J-Summ/ M-Summ/ T-Summ	TW	Ja	4,2	
BRUNNEN Berglandmilch GmbH, Brunnen Hausberger I, KG Mauer AM-885, AM-2560; WVA Aigner Immobilien GmbH, ehem. WVA Geflügelhof Fehringer, KG Aschbach Dorf, AM-2560	Hausberger_Br_I	-	-	-	?	Nein	-	T-Summe für WV_Hausberger_Br2.Zähler, WV_Hausberger-Summe. Zähler (ab 25.09.2019) und WV_T3 _Hausberger_Br.Zähler (ab 01.09.2020) – die Zuordnung der Entnahmen zu den einzelnen Brunnen ist nicht möglich
	Hausberger_Br_II	-	-	-	TW	Nein	-	
WVA NÖ Landeskrankenhaus Mauer, AM-442	Landeskrankenhaus_BrI_alt	-	-	-	TW	Nein	-	
	Landeskrankenhaus_BrII_neu	18.10.2018	31.12.2021	T-Summ	TW/NW	Ja	2,7	
	Ybbs_Göttsbach_Br2	-	-	-	TW	Nein	-	
	Ybbs_Göttsbach_Br3	-	-	-	TW	Nein	-	

BRUNNEN WVA Ybbs/Donau, Brunnenfeld Göttsbach, ME-176	Ybbs_Göttsbach_HF-Br4	-	-	-	TW	Nein	-	
WVA voestalpine Precision Strip GmbH AM-4591	voestalpine_Br	-	-	-	NW	Nein	-	
WVA Buntmetall Amstetten GesmbH, KG Amstetten AM-1623; Wieland Austria Ges.m.b.H.	Buntmetall_Br1_Werksbr	01.01.2000	28.02.2007	M-Summ	NW	Ja	0,2	
	Buntmetall_Br2_EggersdorferBr	01.01.2000	31.12.2021	M-Summ	NW	Ja	1,6	
	Buntmetall_Br3_Badbr	01.01.2000	31.12.2021	M-Summ	NW	Ja	0,7	
WVA Mondi Business Paper Austria AG KG Hausmening AM-1843	Mondi_Ybbsbr1	-	-	-	-	Nein	-	
	Mondi_Ybbsbr2	-	-	-	-	Nein	-	
	Mondi_Haidbr1*	01.01.2000	31.12.2021	T-Summ		Ja	13,5	
	Mondi_Haidbr2*	01.01.2000	31.12.2021	T-Summ		Ja	1,6	
	Mondi_Haidbr3*	01.01.2000	31.12.2021	T-Summ		Ja	19,9	
	Mondi_Haidbr4*	01.01.2000	31.12.2021	T-Summ		Ja	2,2	
WVA Mondi Neusiedler GmbH AM-1846	Mondi_Gartenbr6	-	-	-	NW	Nein	-	
	Mondi_Portierbr	-	-	-	NW	Nein	-	
WVA Wirtschaftspark Kematen GesmbH, Nutzwasser, AM-1860	Wirtschaftspark_Br	-	-	-	NW	Nein	-	
WVA Primus 1 Immobilien GmbH, Mauer AM-2960	Primus_Betriebsbr	-	-	-	TW	Nein	-	
WVA Ponedner GmbH AM-2221	Ponedner_Br	-	-	-	NW	Nein	-	
WVA Wopfinger Transportbeton GmbH AM-3305	Wopfinger_Br1	-	-	-	NW	Nein	-	
	Wopfinger_Br2	-	-	-	NW	Nein	-	
WVA Neumarkt/Ybbs ME-2441	Neumarkt_Br1_West	-	-	-	TW	Nein	-	
	Neumarkt_Br2_Ost	-	-	-	TW	Nein	-	

*Siehe Abbildung 5.

TW/NW: Trinkwasser/Nutzwasser

R-Ent: Realentnahme

Mitt. R-Ent: mittlere Realentnahme (in l/s) im Zeitraum „Daten von“ „Daten bis“

J-Summ, M-Summ, und T-Summ: Jahressummen, Monatssummen, und Tagessummen

2.4 Entnahmen von einzelwasserversorgten Ortschaften

Für die Berücksichtigung von Einzelwasserversorgungsanlagen im Modellgebiet wurden auf der Basis von Einwohnerzahlen von Ortschaften und unter der Annahme eines mittleren Wasserverbrauches von 150 l/Person und Tag die entsprechenden Entnahmemengen der Brunnen ermittelt. Die einzelnen Ortschaften und ihre jeweilige Einwohnerzahl sind in Tabelle 5 angeführt und ihre Standorte sind in der Abbildung 3 dargestellt. Zu diesem Zweck wurde in jeder einzelwasserversorgten Ortschaft ein Knoten definiert, in welchem die berechnete Gesamtmenge entnommen wird. Grundsätzlich sind aufgrund der geringen Größe der einzelwasserversorgten Bereiche im Ybbstal die Entnahmen von nur sehr untergeordneter Bedeutung.

Tabelle 5: Entnahmen von einzelwasserversorgten Ortschaften.

Ortschaft	Einwohnerzahl	Wasserverbrauch [l/s]
Hart	470	0,82
Matzendorf	164	0,28
Leutzmannsdorf	289	0,50
Hermannsdorf	260	0,45
Galtbrunn	110	0,19
Galtbrunn	122	0,21

2.5 Meteorologische Daten

Als Eingangsdaten für die in Kapitel 3.3.3 beschriebene Ermittlung der Grundwasserneubildung wurden die Wetterdaten (Lufttemperatur, relative Feuchte, Windgeschwindigkeit, Globalstrahlung) der Geosphere Austria Station Amstetten (Station Nummer 5316; siehe Abbildung 6) für den Modellzeitraum verwendet. Die mittlere Jahressumme des Niederschlages an der Station Amstetten im Zeitraum zwischen 2000 und 2021 beträgt 673,5 mm. Die mittlere tägliche Lufttemperatur (gemittelt aus Stundenwerten) beträgt 10,54 °C.

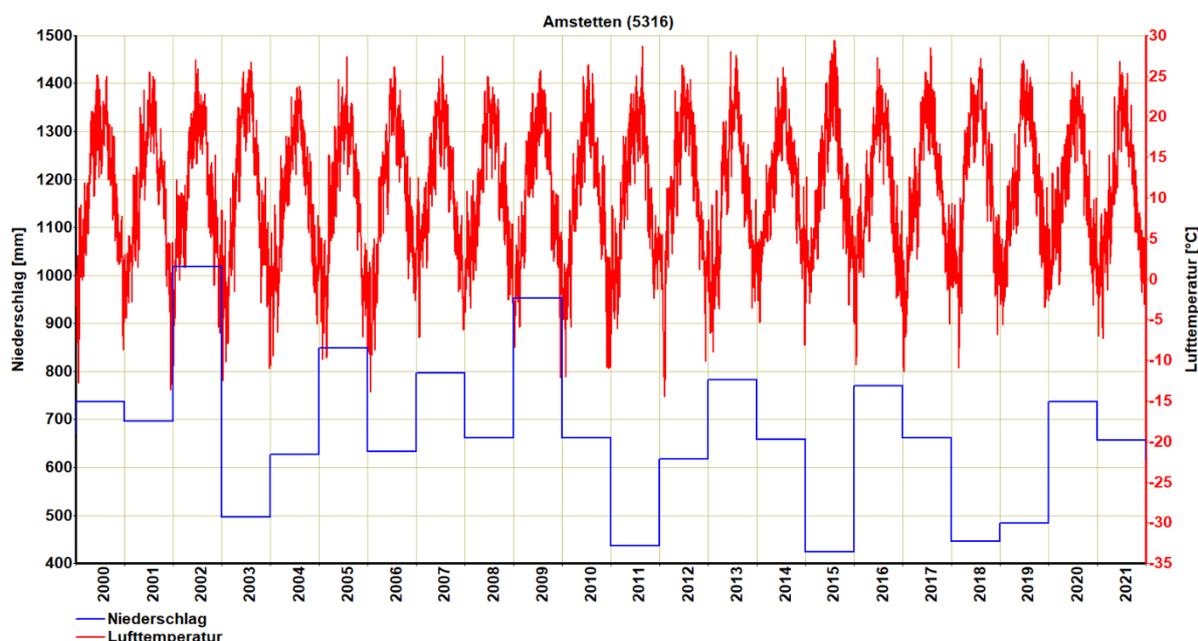


Abbildung 6: Gemessener Niederschlag (Jahressumme) und mittlere tägliche Lufttemperaturen in Amstetten (Station Nummer 5316) im Modellzeitraum 2000-2021.

3 Hydrogeologisches Konzeptmodell

3.1 Geologie des Ybbstals

Dieses Kapitel stellt eine Zusammenfassung der Ausführungen in Schippeck (1996), Kapitel 4, dar.

Im südöstlichen Teil des Modellgebiets tritt die Ybbs aus der Flyschzone, welche die nördlichste tektonische Einheit der Alpen darstellt, heraus und bildet Richtung Nordosten, auf tertiären Molasseablagerungen als Untergrund, eine gegliederte quartäre Terrassenlandschaft.

3.1.1 Grundwasserstauer

Generell bildet der präquartäre Untergrund (Flyschzone; Molassezone mit Schlier und Melker Sanden; Kristallines Grundgebirge) den Grundwasserstauer im Modellgebiet. Im Süden des Ybbstals ist die Molassezone von der Flyschzone tektonisch überlagert, während im Norden des Ybbstals die Molassesedimente über dem kristallinen Grundgebirge abgelagert wurden.

Die quartären Terrassenlandschaften im südwestlichen Modellgebiet haben stellenweise (südwestlich von Amstetten) eine bis zu 2 m mächtige Lehmüberlagerung (Löss). Im östlichen Teil des Modellgebiets tritt mit den Melker Sanden die feinsandige Krustenfazies der Molassesedimentation auf. Als Melker Sande werden im Regelfall feinkörnige Sandsteine bezeichnet, die aufgrund ihrer sehr starken Verfestigung ebenfalls als Stauer zu betrachten sind.

Kristallines Grundgebirge, das so genannte Neustadtler Bergland, tritt zwischen dem Seiseneggerbach und der Donau auf. Es handelt sich hierbei um Granite sowie metamorphe Serien mit Cordieritgneisen, Schiefergneisen und Granuliten. Im Süden tauchen die kristallinen Gesteine unter die tertiären Molassesedimente. Im Modellgebiet ist das Grundgebirge nur im östlichen Abschnitt zwischen Kimmelbach und der Donau vorhanden.

3.1.2 Talfüllung (Quartär)

Die Hügel (außerhalb des Modellgebiets), die das Ybbstal umgeben, sind zum großen Teil ältere Deckenschotter, welche zu der Enns-Ybbs Schotterplatte gehören. Dazu zählt auch der südwestliche Bereich zwischen dem Ybbstal und dem Zauchbach – die so genannte Platte von Holzling. Die Platte von Holzling ist 8 km lang, 4 km breit und ca. 320–325 m ü.A. hoch. Während die Nordgrenze durch steil abfallende, bis zu 40 m hohe Erosionshänge gebildet wird, fallen die Hänge gegen Süden zur Hochterrasse eher flach ab.

3.1.3 Niederterrasse

Das Grundwassermodell ist auf die Niederterrasse, in die die Ybbs markant tief eingeschnitten ist, beschränkt. Ab Kematen weitet sich die Niederterrasse langsam zu einem teilweise mehrere Kilometer breiten Talgebiet auf.

In der Niederterrasse treten überwiegend kalk- und flyschalpine Schotter, mit einer Mächtigkeit von ca. 10 – 12 m, auf. Der gut gerundete und geschichtete Schotter der Niederterrasse wird von einer maximal 1 m mächtigen bindigen Deckschicht überlagert.

Die tieferen Lagen im Ybbstal wurden von der holozänen Talaue gebildet. Diese im westlichen Teil des Modellgebietes kaum vertretene Flur tritt ab der Einmündung der Url in die Ybbs, als im Mittel ca. 800 bis 1000 m breites, die Ybbs begleitendes Feld bis zur Mündung der Ybbs in die Donau, auf.

3.2 Ermittlung des Grundwasserstauers im Ybbstal

Abbildung 7 zeigt die Lage der von dem Ingenieurbüro für Wasserwirtschaft, Umwelttechnik und Infrastruktur ZT-GmbH (IKW) übermittelten 587 Bohrprofile im Ybbstal. Davon liegen 372 innerhalb des Modellgebiets, wobei davon 113 Bohrprofile als unplausible Informationen eingestuft wurden, da entweder Unstimmigkeiten in den übermittelten Datensätzen bestanden oder diese nicht mit dem digitalen Höhenmodell konsistent waren.

Folgende Informationen über die Grundwasserstauerhöhe aus verschiedenen Studien sind in Abbildung 7 dargestellt:

- 12 Datenangaben im östlichen Teil des Modellgebiets von Erhard-Schippeck, Mascha und Partner (1996; Abbildungen 06-01 und 06-02),
- 20 Bohrprofile bis zur Staueroberkante entlang der Hochleistungstrecke Wien-Salzburg (ÖBB Infrastruktur, 2009),
- 11 Bohrprofile im zentralen Teil des Modellgebiets vom EVN Naturkraftwerk (2012; Anlage 9),
- Interpolierte Grundwasserstauerhöhen vom EVN Naturkraftwerk (2012) im zentralem Teil des Modellgebiets und
- Drei geologische Profile von Schindlmayr et al. (2011) im westlichen Teil des Modellgebiets.

Außerdem wurden für die Interpolation des Grundwasserstauers im Modelgebiet sogenannte weiche Informationen (d.h. der Grundwasserstauer kann nicht höher liegen als digitales Geländemodell) verwendet. Wegen der großen Höhenunterschiede bei der erbohrten Tiefenlage des Grundwasserstauers in den wenigen Bohrpunkten wurden für die hydraulisch zielgerechte Interpolation des Grundwasserstauers 8801 zusätzliche Stützpunkte aus der Morphologie der Geländeoberkante definiert. Zusätzlich, wenn der berechnete Grundwasserspiegel im Grundwassermodell zu hoch war, wurde der Stauer tiefer verschoben.

Die Interpolation wurde mit der „Natural Neighbor“ Methode in ArcMap durchgeführt.

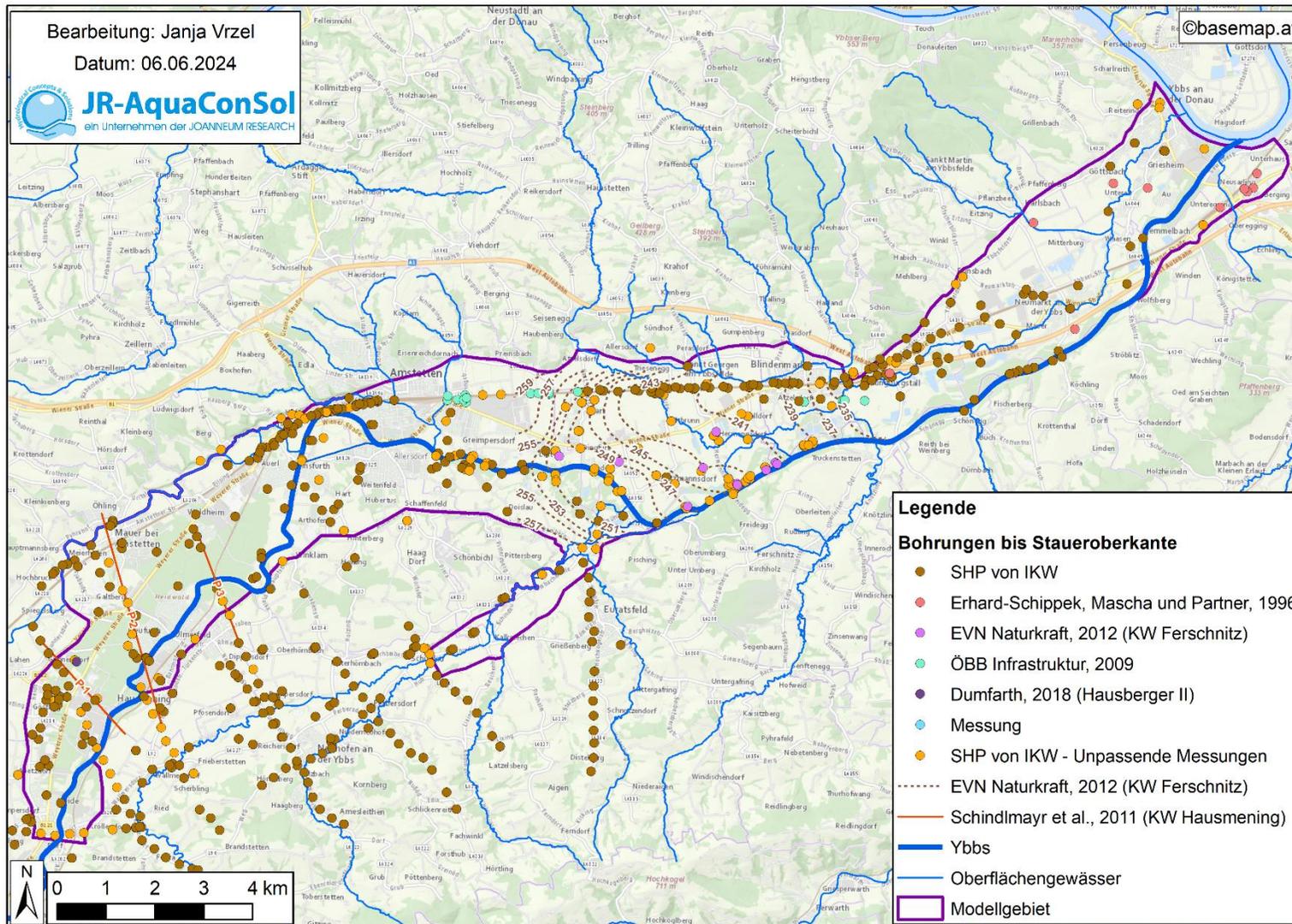


Abbildung 7: Datenbasis für die Interpolation der Staueroberkante im Ybbstal (mit Quellen in der Legende): Verteilung von Bohrpunkten mit Angabe der Höhe der Staueroberkante, geologische Profile und interpolierte Staueroberkante.

In Abbildung 8 ist der interpolierte Verlauf des Grundwasserstauers innerhalb des Modellgebiets für das Ybbstal dargestellt. Dieser reicht von ca. 210 m ü. A. an der östlichen Modellgrenze (entlang der Donau) bis auf ca. 315 m ü. A. entlang des westlichen und südwestlichen Teil des Modellgebiets. Deutlich ist der Einfluss einzelner Messpunkte auf das Interpolationsergebnis zu erkennen. Um die Lage des Grundwasserstauers in den Nahbereichen dieser Messpunkte besser erfassen zu können, sind weitere Untergrundaufschlüsse notwendig.

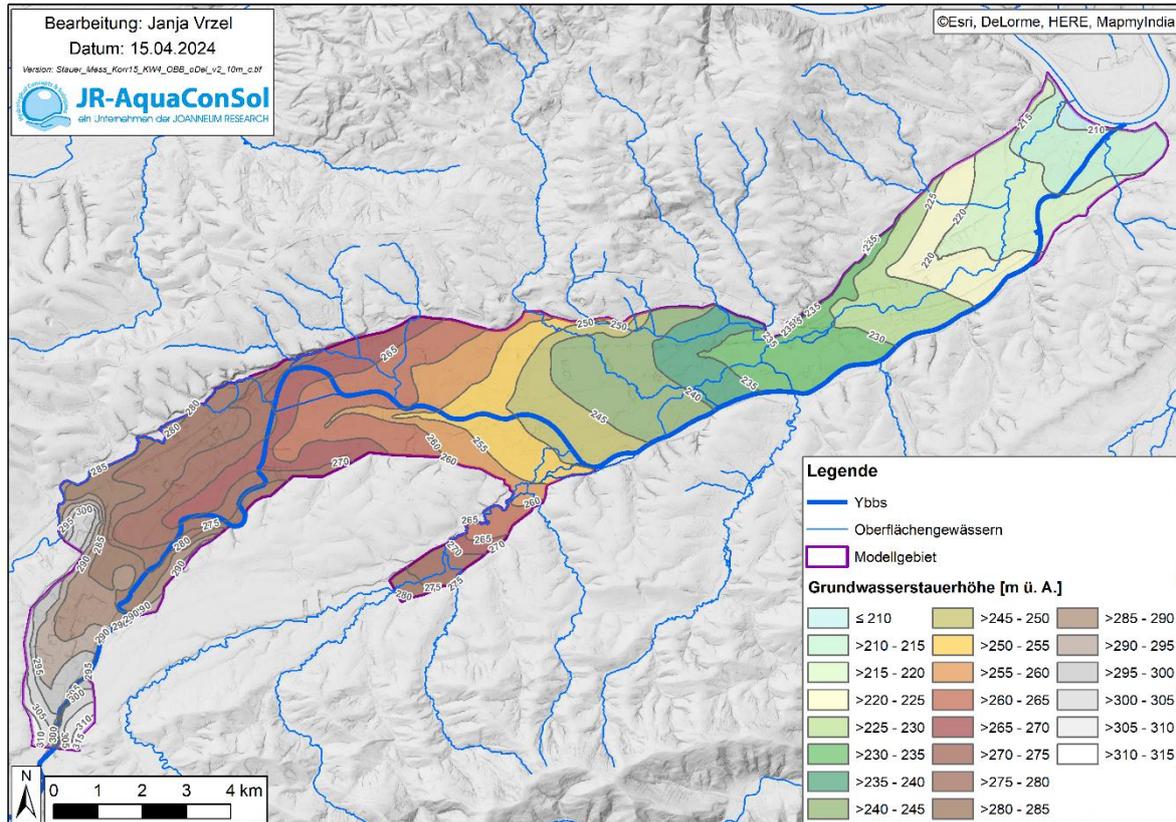


Abbildung 8: Verlauf der Grundwasserstauerhöhe im Modellgebiet.

3.3 Ermittlung der Grundwasserneubildung aus auf der Gebietsfläche infiltrierender Niederschläge

Die örtlich differenzierte Grundwasserneubildung aus infiltrierenden Niederschlägen wird neben den meteorologischen Rahmenbedingungen vor allem durch die auftretenden Bodenverhältnisse und die jeweilige Landnutzung geprägt. Daher wurden für unterschiedliche Landnutzungen spezifische Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Grundwasserneubildung angewandt.

3.3.1 Verteilung der aktuellen Landnutzung

Eine Unterscheidung der Landnutzung im Projektgebiet kann generell in landwirtschaftliche Nutzflächen, Siedlungsgebiet, Wald und Oberflächengewässer vorgenommen werden. Die räumliche Verteilung dieser Landnutzungsarten wurde auf Basis der CORINE-Landbedeckung 2018 vorgenommen und ist in Abbildung 9 dargestellt. Die prozentuale Aufteilung der Landnutzungen im Modellgebiet mit einer Größe von rund 79 km² beträgt: 30 % Siedlung, Gewerbe und Abbaufächen (CODE 111-131),

52 % landwirtschaftliche Fläche (Code 211-243), sowie 17 % Wald (Code 311-313). Der Rest sind Gewässerläufe.

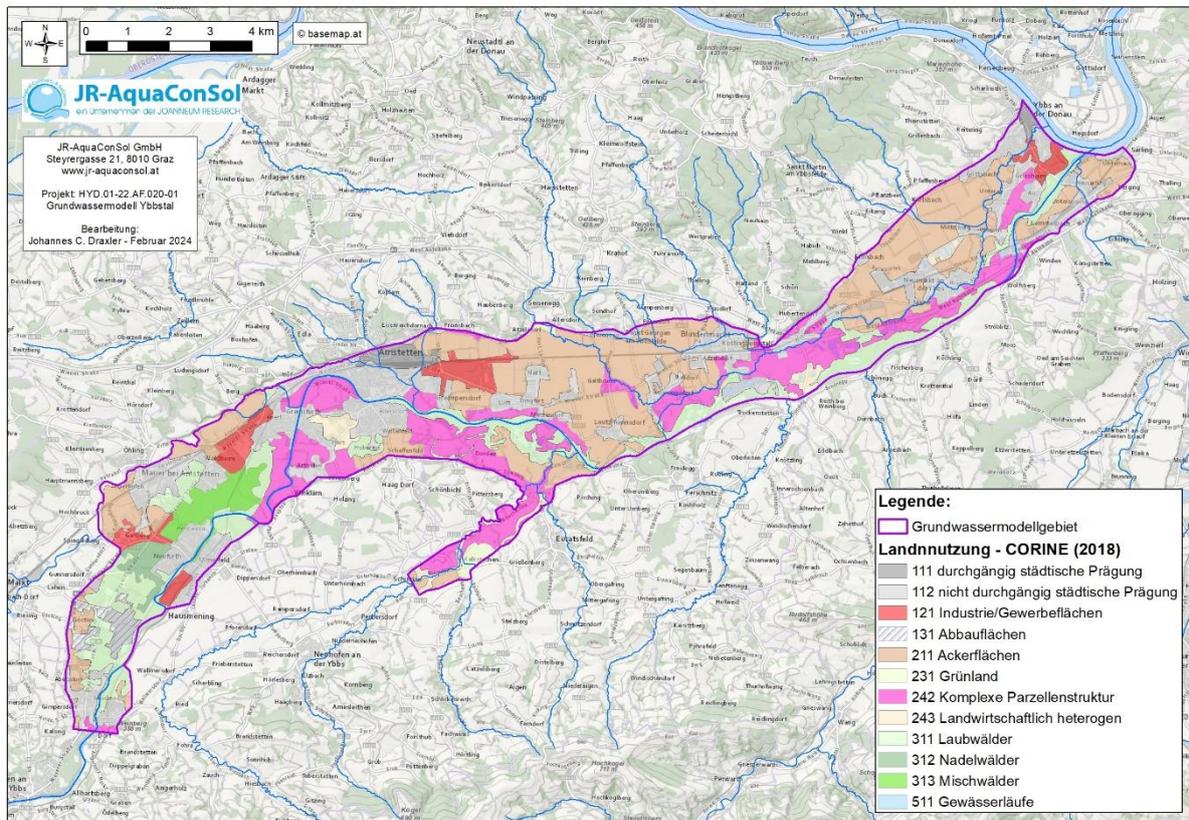


Abbildung 9: Verteilung der Landnutzung im Modellgebiet mit Unterteilungen nach CORINE für die Berechnung der Grundwasserneubildung

3.3.2 Verteilung der Bodeneigenschaften

Für die Berechnung der Grundwasserneubildung über ein Bodenwasserhaushaltsmodell (siehe Kapitel 3.3.3) wird die nutzbare Feldkapazität (nFK) des obersten Horizontes (10 cm) und der Wurzelzone der Böden (100 cm) benötigt. Diese Information wird aus dem HYDROBOD2 Datensatz des Landes Niederösterreich (Land Niederösterreich, Abteilung Wasserwirtschaft, 2022) als Rasterdatensatz herangezogen. Für die weitere Verarbeitung wurden die nutzbare Feldkapazität (nFK) des obersten Horizontes (10 cm) in Klassen von 10 bis 30 mm (4 Klassen mit je 5 mm Stufen) und die nutzbare Feldkapazität (nFK) der Wurzelzone der Böden (100 cm) in Klassen von 25 bis 250 mm (9 Klassen mit je 25 mm Stufen) zusammengefasst. Eine Verteilung der nutzbaren Feldkapazität für die Wurzelzone der Böden im Modellgebiet Ybbstal ist in Abbildung 10 dargestellt.

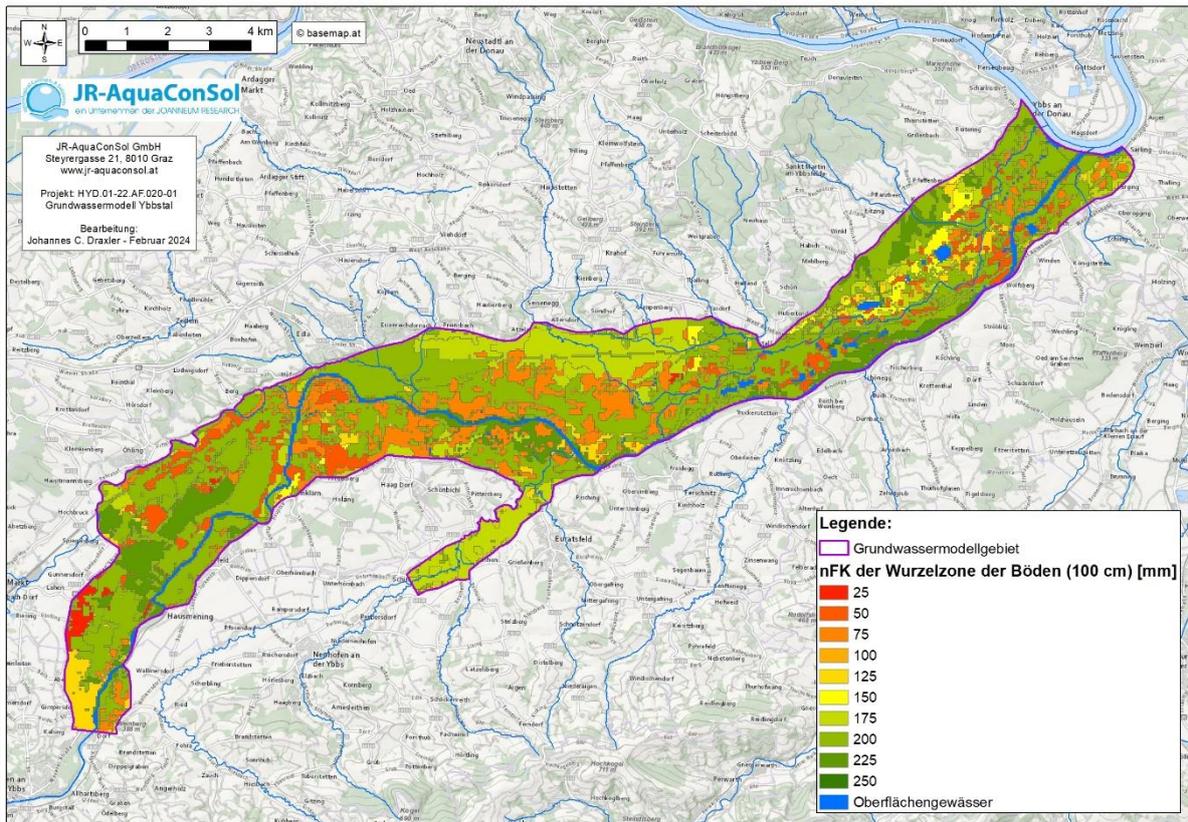


Abbildung 10: Verteilung der nFK [mm] der Wurzelzone der Böden bis 100 cm Tiefe im Modellgebiet

3.3.3 Berechnung der Grundwasserneubildung unter landwirtschaftlich genutzten Flächen

Für die Berechnung der Grundwasserneubildung unter landwirtschaftlich genutzten Flächen wurde die Wasserbilanzgleichung des Wurzelraumes für einen Tag und einen ebenen Standort (Hydrotop) mit homogenen Wetter-, Vegetations- und Bodeneigenschaften angewendet. Kernpunkte des Verfahrens sind dabei

- die Ableitung von Fruchtfolgen aus den Landnutzungerhebungen (INVEKOS Daten), die auf der Ebene von Katastralgemeinden verfügbar sind,
- die Berechnung der Wasserkreislaufparameter für die Hydrotope (Flächen gleicher Charakteristik hinsichtlich Wetter, Boden, Bewirtschaftung) im Modellgebiet Ybbstal auf Basis des FAO-Penman-Monteith Algorithmus.

Das von Allen et al. (1998) vorgestellte Verfahren zur Ermittlung des Pflanzenwasserbedarfs wurde um ein in der JR-AquaConSol entwickeltes Einschicht-Bodenwasserhaushaltsmodell nach dem Speicher-Überlaufkonzept erweitert. Dabei wird über die Gras-Referenzverdunstung (ET_0), den Pflanzen-Transpirationskoeffizienten (K_{cb}) und den Evaporationskoeffizienten (K_e) die Evaporation sowie über den Wasserstresskoeffizienten (T_c) die Transpiration berechnet, deren Summe die aktuelle Evapotranspiration ergibt. Eine detaillierte Beschreibung ist in Fank et al. (2008) gegeben.

Die nutzbare Feldkapazität (nFK) des obersten Horizontes (10 cm) und der Wurzelzone der Böden (100 cm) des Ybbstals wurden als GIS-Layer (siehe Kapitel 3.3.2) verwendet. Die nFK ist jene Wassermenge im Boden, die generell den Pflanzen zum Wachstum zur Verfügung steht. Überschreitet die

Wassermenge im Boden die nFK, so tritt Sickerwasserfluss ein. Für die Berechnung der aktuellen Evapotranspiration wird der Wasserstressfaktor für Pflanzen – also der Punkt, wo die Wassermenge im Boden die nFK unterschreitet und die Pflanzen kein Wasser mehr aufnehmen können – berücksichtigt.

Die Hauptfruchtfolgen wurden auf Basis von Informationen der Landwirtschaftskammer Niederösterreich für das Ybbstal erarbeitet. Folgende Hauptfruchtfolgen wurden bei der Modellierung des Pflanzenwasserbedarfs berücksichtigt:

- Fruchtfolge a: Körnermais – Wintergetreide – Begrünung – Silomais – Wintergetreide – Begrünung
- Fruchtfolge b: Feldfutter – Wintergetreide

Daneben wurden weitere, flächenmäßig weitverbreitete Kulturen (z.B. Sojabohne) als Einzelfruchtfolgen der Berechnung hinzugefügt.

Somit ist zwar die grundsätzliche Verortung der Fruchtfolge möglich, allerdings war nicht bekannt, in welcher Reihenfolge die Fruchtfolgeglieder auf den einzelnen Feldern der landwirtschaftlichen Nutzfläche im Modellzeitraum geführt werden. Um diesen Einfluss bei der praktischen Anwendung zu berücksichtigen, wird jede Fruchtfolge auf einem Hydrotop derart rotiert, dass das Anfangsglied der Fruchtfolge immer um eine Fruchtfolgeperiode verschoben wird. Jedes Hydrotop wird praktisch in so viele Felder zerlegt, wie unterschiedliche Fruchtfolgeglieder auftreten, die Wasserbilanzglieder für jedes Feld gesondert berechnet und danach jeweils der Mittelwert über die Einzelrechnungen für alle Bilanzglieder gebildet. Dadurch ist gewährleistet, dass alle möglichen Fruchtfolgeglieder unter den unterschiedlichen Standortbedingungen Berücksichtigung finden und als Ergebnis für eine Anbauregion typische statistisch berechnete mittlere Wasserbilanzglieder vorliegen.

Für Wald- und Siedlungsgebiete liegen generell keine flächendeckenden Bodeninformationen vor. Diesen wurden daher nFK-Werte von benachbarten, landwirtschaftlich genutzten Böden zugeordnet. Als Werkzeug zur Verschneidung der einzelnen geografischen Informationslayer sowie zur Gestaltung der resultierenden kartografischen Darstellungen wurde das Programmpaket ArcGIS eingesetzt.

3.3.4 Berechnung der Grundwasserneubildung unter Wald

Die Grundwasserneubildung unter Waldstandorten wird mit Hilfe eines Einschicht-Bodenwasserhaushaltsmodelles nach dem Speicherüberlaufprinzip (Fank et al., 2008) berechnet. Dabei findet Sickerwasserfluss nur dann statt, wenn annähernd gesättigte Wasserverhältnisse im Boden vorherrschen. Grundsätzlich wird dabei die Grundwasserneubildung nach der klimatischen Wasserbilanz $GWN = N - ET_r - \Delta S$ berechnet, wobei N den Niederschlag, ET_r die berechnete reale Evapotranspiration und ΔS die Bodenwasserspeicheränderung von einem Tag auf den anderen bedeuten. Die für die Simulation erforderliche Beschreibung der Bodencharakteristik erfolgt dabei in Form der nutzbaren Feldkapazität (nFK).

Im Zuge der Berechnungen wurden die Parameter zur Beschreibung der Pflanzenentwicklung für Koniferen ($k_c=0,95$) verwendet.

3.3.5 Berechnung der Grundwasserneubildung unter versiegelten Flächen

Bei Siedlungsflächen spielt der Grad der Versiegelung eine entscheidende Rolle, da darauf fallender Niederschlag meist in Sickerschächten direkt dem Grundwasser zugeführt wird (z.B. Industrieflächen: Annahme von 80% Direktversickerung). Dieses Verhältnis hängt sehr stark von der Bebauungsstruktur (Einfamilienhäuser mit Grünflächen bzw. fast vollständige versiegelte Ortskerne, Einkaufszentren, Industrieflächen etc.) ab und kann daher sehr stark schwanken.

Die Grundwasserneubildung unter Siedlungsgebiet wird unter der Berücksichtigung der folgenden drei Prozesse berechnet:

- **Grünlandversickerung:** Berechnung der Grundwasserneubildung für nicht versiegelte Flächen (Annahme Grasbewuchs zwischen März und Oktober alle 2 Wochen gemäht; Methodenbeschreibung siehe Kapitel 3.3.3)
- **Direktversickerung:** Niederschlagswasser, das von Dächern und versiegelten Flächen über Sickerschächte direkt in den Aquifer eingeleitet wird
- **Ableitung:** Niederschlagswasser, das von Dächern und versiegelten Flächen in Vorfluter eingeleitet wird

Im Modellgebiet Ybbstal wurden auf Basis von CORINE 2018 inklusive Erweiterung um stehende Oberflächengewässer aus der digitalen Katastermappe für folgende Untergruppen entsprechende Annahmen getroffen (siehe auch Abbildung 9):

- Flächen mit durchgängig städtischer Prägung (Ybbs an der Donau und Amstetten) mit 20 % FAO-Verdunstung und 80 % Ableitung über Kanalisation – CORINE-2018: Code 111
- Flächen mit nicht durchgängig städtischer Prägung mit 15 % Direkteintrag, 70 % FAO-Verdunstung und 15 % Ableitung über Kanalisation – CORINE-2018: Code 112
- Industrie-/Gewerbeflächen mit 80 % Direkteintrag, 10 % FAO-Verdunstung und 10 % Ableitung über Kanalisation – CORINE-2018: Code 121
- Abbauflächen (Trockenbaggerungen) mit 80 % Direkteintrag, 20 % FAO-Verdunstung – CORINE-2018: Code 131

3.3.6 Beschreibung der mittleren Grundwasserneubildung im Modellgebiet

Abbildung 11 zeigt die Verteilung der mittleren jährlichen Grundwasserneubildung im Modellgebiet Ybbstal. Deutlich ist der Einfluss der Landnutzung auf die Grundwasserneubildung und des damit definierten Anteils der Direkteinleitung zu erkennen. Die höchste mittlere Grundwasserneubildung mit Werten zwischen 650 und 767 mm/a errechnet sich unter den Industriearealen/Gewerbeflächen bzw. Abbauflächen mit dem hohen Direkteinleitungsanteil, die geringste mittlere Neubildung mit Werten unter 50 mm/a findet sich in der Altstadt mit dem hohen Ableitungsanteil. Unter Wald liegt die mittlere Neubildung zwischen 140 und 355 mm/a und unter landwirtschaftlich genutzten Flächen zwischen 155 und 435 mm/a. Die mittlere flächengewichtete Grundwasserneubildung im Modellzeitraum beträgt 262 mm/a.

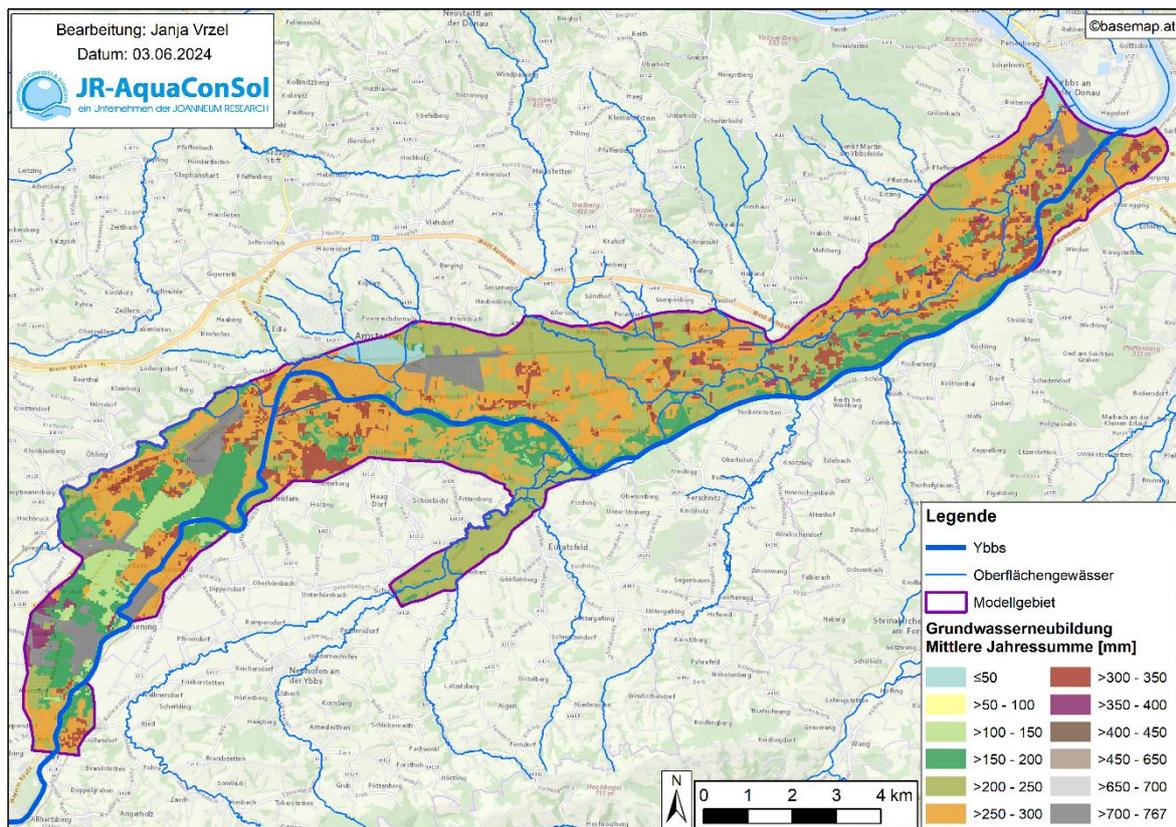


Abbildung 11: Verteilung der mittleren Grundwasserneubildung [mm] pro Jahr für jedes Hydrotop im Modellgebiet

3.4 Ermittlung der Randzuflüsse

3.4.1 Vorgangsweise

In diesem Abschnitt wird die Ermittlung der diffusen Zuflüsse aus den randlichen Einzugsgebieten, die nicht durch eine Vorflut abgeleitet werden, beschrieben. Es handelt sich dabei um eher kleine Gebiete mit einzelnen Hängen und Gräben („diffuse“ Zuflüsse), die den entsprechenden Knoten am Grundwassermodellrand zugeordnet werden können (Abbildung 21). Allerdings wird davon ausgegangen, dass die oberflächlich abfließenden Wässer in Gräben und Kanälen in die Oberflächengewässer gelangen. Dieser Anteil muss von den Zuflüssen an den Rändern abgezogen werden.

Zur Ermittlung der Zuflüsse wird das Niederschlag-Abflussmodell NAM aus dem Modellpaket MIKE11 von DHI (Havno et al., 2005) herangezogen. Es handelt sich dabei um ein kontinuierliches konzeptionelles Modell, das anhand weniger Parameter die einzelnen Abflusskomponenten aus den Eingangsgrößen Niederschlag, Lufttemperatur und potentieller Verdunstung berechnet. Das Modell ist aus mehreren Speichern aufgebaut, die einzelne Bereiche an der Oberfläche und im Untergrund beschreiben: Interzeptionsspeicher, Schneespeicher, Bodenspeicher und mehrere Abflussspeicher (Oberflächenabfluss, Interflow und Grundwasser). Im Modell ist es möglich, zur Ermittlung des maßgeblichen (unterirdischen) Zuflusses aus den Randgebieten den simulierten Oberflächenabfluss abzutrennen und nur den Basisabfluss bzw. der Ausfluss aus den Grundwasserspeichern heranzuziehen.

Da es sich um ein konzeptionelles Modell handelt, sollten die einzelnen, die Wasserbilanz und Abflussdynamik beschreibenden, Parameter an Abflussdaten kalibriert werden. Da dies aber in den Hangbereichen aufgrund fehlender Daten nicht möglich ist, wird das Modell in einem benachbarten, hydrologisch ähnlichen Gebiet mit Abflussdaten kalibriert. Es wurde hierfür das Gebiet des Pegels Krenstetten an der Url gewählt. Es liegt sehr nahe am Modellgebiet und Topographie, Geologie und Landnutzung sind teilweise sehr ähnlich (siehe folgende Kapitel).

Es befinden sich noch weitere Pegel des HD Niederösterreich in der Region, bei denen die Situation zur Übertragung von Modellparametern aber nicht günstig ist. Der Pegel Greimpersdorf liegt direkt an der Ybbs, aber das Einzugsgebiet ist sehr groß und reicht nach Süden bis in die Nördlichen Kalkalpen, wodurch andere Prozesse (Schnee, Karst, räumliche Niederschlagsverteilung) an Bedeutung gewinnen. Der Pegel Ybbsitz liegt an der Kleinen Ybbs, schon weiter entfernt von Amstetten, und das Einzugsgebiet befindet sich beinahe zur Gänze im Karbonatgestein.

Die im Gebiet der Url kalibrierten Parameter werden dann auf die Randeinzugsgebiete im vorliegenden Projekt übertragen. Für diese Gebiete werden danach unter Berücksichtigung der lokalen Niederschlags- und Lufttemperaturverhältnisse Abflüsse für ein hypothetisches Einzugsgebiet von 1 km² simuliert, je nach maßgeblicher Randgebietsfläche hochgerechnet und auf die Randknoten des Grundwassermodells aufgeteilt.

3.4.2 Übersicht über die Randeinzugsgebiete

Das Gebiet der Url liegt etwas westlich des Grundwassermodellgebiets, und bezüglich der meteorologischen Situation sind zwischen den Gebieten keine großen Unterschiede zu erwarten.

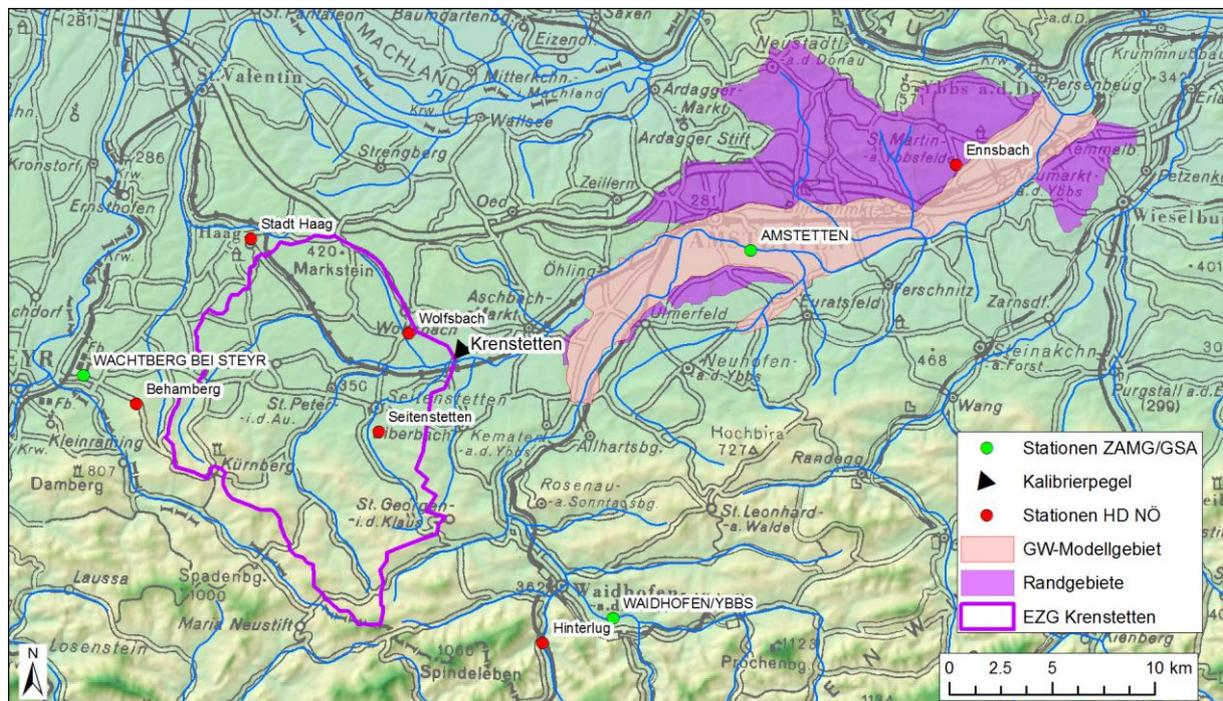


Abbildung 12: Übersicht über die Lage der Randeinzugsgebiete, das Gebiet des Pegels Krenstetten und die verwendeten Wetterstationen. Hinterlegt ist die topographische Karte ÖK500 © BEV.

Abbildung 12 zeigt eine Übersicht über die Lage der Randeinzugsgebiete, das Gebiet des Pegels Krenstetten und die verwendeten Wetterstationen. Bezüglich Wetterstationen ist das Gebiet der Url

gut abgedeckt. Für die Randgebiete des Grundwassermodells wird die Station Ennsbach des Hydrografischen Dienstes Niederösterreich als maßgebend angesehen.

3.4.3 Kalibrierung und Validierung des NA-Modells im Gebiet des Pegels Krenstetten/Url

3.4.3.1 Gebietseigenschaften

Das Einzugsgebiet der Url bis zum Pegel Krenstetten besitzt orografisch eine Größe von 158.5 km². Die mittlere Seehöhe des Gebiets beträgt 436 m ü.A. 75 % der Gebietsfläche liegt unter einer Seehöhe von 500 m ü.A. und 90 % der Gebietsfläche unter 600 m ü.A.

Bezüglich Wasserbilanz spielt die Landnutzung eine Rolle für die Verdunstung, die sich aus der Verdunstung aus oberflächennahen Speichern (Oberflächenrückhalt, Interzeption, obere Bodenzone) und der Wasseraufnahme der Pflanzen und Transpiration zusammensetzt. Mit Ausnahme der versiegelten Flächen beeinflusst der Oberflächenrückhalt die Entstehung von Oberflächenabfluss nur in geringem Maße, nämlich nur am Beginn eines Regenereignisses.

Wie Tabelle 6 zeigt, ist der Flächenanteil der Landwirtschaft mit über 50 % dominant. Verdunstung und Oberflächenrückhalt beschränken sich dabei aber auf die Zeit der Wachstumsperiode bis zur Ernte (typischerweise Mai/Juni bis September). 25 % der Fläche sind als Grünland ausgewiesen. D.h. zusammengenommen ist über 3/4 der Einzugsgebietsfläche des Pegels Krenstetten unbewaldet. Generell ist davon auszugehen, dass auf Waldflächen die Verdunstungsverluste höher sind als auf unbewaldeten Flächen (ATV-DVWK, 2002). Die Waldfläche im Kalibrierungsgebiet beträgt knapp 20 %, wobei vorwiegend Nadel- und Mischwälder auftreten. Die Werte aus Tabelle 6 wurden aus dem CORINE Landcover Datensatz (Stand: 2018) gewonnen.

Tabelle 6: Verteilung der Landnutzungsklassen im Gebiet aus dem CORINE Landcover Datensatz (2018). Als Code sind die ersten beiden Stellen angegeben, welche die generelle Nutzung beschreiben.

Code	Landnutzung	Fläche (km ²)	Anteil (%)
11	Bebaute Fläche	5.1	3.2
12	Industrie	0.3	0.2
21	Ackerflächen	46.3	29.2
23	Grünland	39.5	25.0
24	Heterogene Landw.	36.7	23.2
31	Wald	30.6	19.3
	Summe	158.5	100.0

Gemäß geologischer Karte KM500 (GBA, 2013) herrscht im Norden des Gebiets des Pegels Krenstetten, etwa bis zur Linie Seitenstetten-Behamberg, die Molassezone (Tertiärbecken) vor. Südlich davon schließt die Flyschzone (Rhenodanubische Flyschzone) an. In einem sehr kleinen Bereich im Süden, im Bereich des Url-Ursprungs, kommen noch Sedimentgesteine der Jura (Klasse ausgewiesen als „Kontinentalrandsediment“) und triassische Karbonatgesteine vor.

Die Begrenzung der geologischen Klassen im Gebiet des Pegels Krenstetten sind in Abbildung 13 eingezeichnet und beschriftet.

Seit einigen Jahren sind in Niederösterreich hydrologische Bodenkenndaten in Form der sogenannten HydroBod NÖ verfügbar. Mehrere Bodenkenndaten, wie hydraulische Leitfähigkeiten oder nutzbare

Feldkapazitäten, liegen in Rasterform vor (Sotier et al., 2017). Aus den vorhandenen Daten wurden die Datensätze des gesamten Bodenspeichers in mm, die Durchlässigkeit und die nutzbare Feldkapazität für drei Bodenschichten 0-20 cm, 20-50 cm und 50-100 cm für die hydrologische Gebietseinschätzung herangezogen. Da für die Abflussbildung die Speichereigenschaften in der obersten Bodenschicht relevant sind, wurde die Summe der nutzbaren Feldkapazität in mm der obersten beiden Bodenspeicherzonen (bis 50 cm Tiefe) und das Minimum der hydraulischen Leitfähigkeiten in mm/d der drei Bodenspeicherzonen (bis 100 cm Tiefe) aus der HydroBod gebildet. Abbildung 13 zeigt die Verteilungen für das Gebiet des Pegels Krenstetten/Url. Die Summe der nutzbaren Feldkapazität in den ersten beiden Bodenspeicherzonen bis 50 cm Tiefe (linke Karte) wird in weiten Teilen des Gebiets nicht höher als 120 mm ausgewiesen. Im Mittel über das gesamte Gebiet beträgt dieser Wert 105 mm. Die Karte des Minimums der hydraulischen Leitfähigkeiten (rechte Karte) zeigt für die Molassezone und die Flyschzone deutlich unterschiedliche Werte. Die Leitfähigkeiten werden in der Molassezone deutlich höher ausgewiesen mit bis zu 170 mm/d (entspricht rd. $2 \cdot 10^{-6}$ m/s). Die geringen Leitfähigkeiten in der Flyschzone weisen auf eine hohe Oberflächenabflussbereitschaft hin (ca. 30 mm/d $\cong 3.4 \cdot 10^{-7}$ m/s).

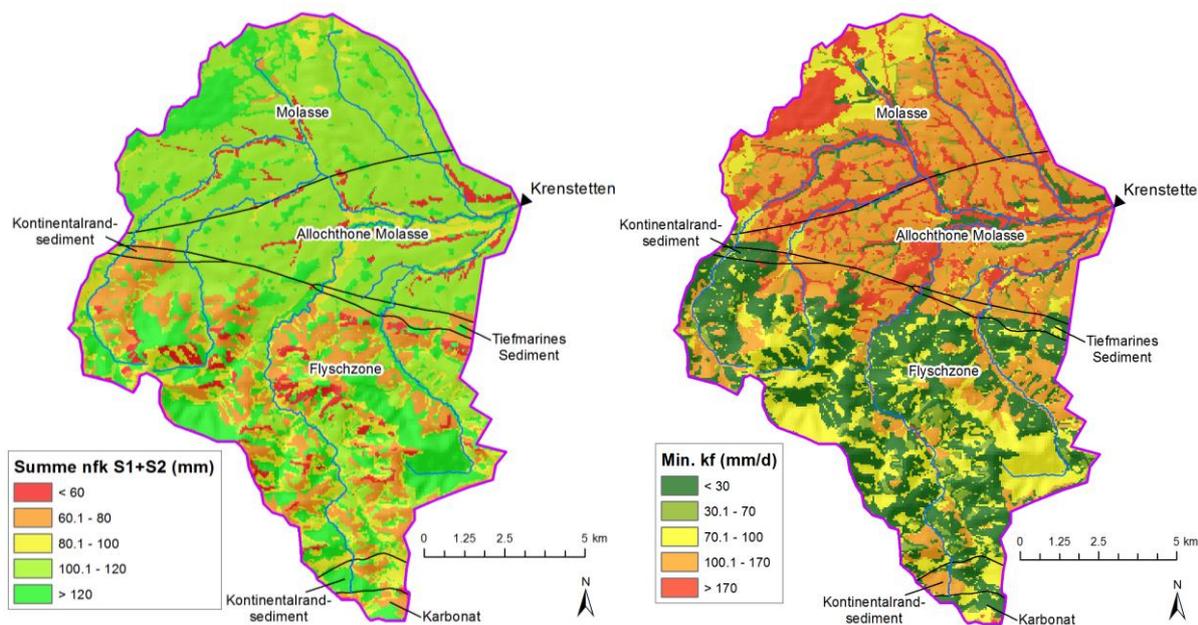


Abbildung 13: Summe der nutzbaren Feldkapazität in mm (links) der obersten beiden Bodenspeicherzonen (bis 50 cm Tiefe) und Minimum der hydraulischen Leitfähigkeiten in mm/d der drei Bodenspeicherzonen (bis 100 cm Tiefe) aus der HydroBod NÖ (rechts). Es sind dazu jeweils die Grenzen der geologischen Formationen eingezeichnet und beschriftet.

3.4.3.2 Modelleingangsdaten

3.4.3.2.1 Niederschlag und Lufttemperatur

Für das Einzugsgebiet des Pegels Krenstetten/Url wurden die Daten von vorhandenen Wetterstationen in der Region um das Gebiet (siehe Abbildung 12) verwendet, um gebietsgemittelte Eingangswerte in das Modell zu regionalisieren. Zur Regionalisierung der Niederschläge wurde die Methode der THIESSEN-Polygone verwendet, indem jeder Station ein Gewichtungsfaktor zugeordnet wurde, je nach (geometrischem) Einflussbereich im Gebiet (Tabelle 7). Für das Gebiet des Pegels Krenstetten ergibt sich dadurch im langjährigen Mittel ein Jahresniederschlag von rd. 950 mm. In Abbildung 14 links sind

die Jahresmittelwerte aus den Langzeitreihen 1991-2022 an den Stationen in der Region gegen die Seehöhe der Station aufgetragen.

Die aus der Darstellung links herausgelesene Seehöhenabhängigkeit gibt Anhaltspunkte für das Setzen des Gradienten bei der Aufteilung der Niederschläge auf die einzelnen Höhenzonen im Modell NAM. Dieser Gradient lässt sich durch die Stationswerte in der Region um das Untersuchungsgebiet sehr gut abschätzen, die Streuung um die Trendgerade ist relativ gering. In Abbildung 14 ist eine Trendgerade mit einem Gradienten von 4 % pro 100 m (entspricht einer Zunahme von 39 mm pro 100 m) Seehöhe eingetragen und durch den Gebietsmittelwert gezeichnet. Der Gebietsmittelwert wurde dabei auf die über die Einflussfaktoren der einzelnen Stationen gewichteten Seehöhe von 375 m ü.A. bezogen. Der dargestellte Gradient und die Referenzhöhe von 375 m wurden im Modell für die Aufteilung der Niederschläge auf die 100 m Höhenzonen verwendet.

Die Regionalisierung der Lufttemperatur wurde anhand einer Seehöhenregression für jeden Zeitschritt unter Verwendung der vorhandenen Stationen durchgeführt. Die Stationen mit Werten in der letzten Spalte in Tabelle 7 wurden zur Regression der Lufttemperaturen verwendet. Für das Gebiet (mittlere Seehöhe 436 m ü.A.) ergibt sich dadurch im langjährigen Mittel eine mittlere Lufttemperatur von knapp 9.8 °C.

Tabelle 7: Verwendete Stationen für die Regionalisierung der Niederschläge und Lufttemperaturen im Einzugsgebiet des Pegels Krenstetten/Url mit mittleren Jahreswerten aus dem Zeitraum 1991-2022 und dem Simulationszeitraum 2000-2021. Lage der Stationen siehe Abbildung 12.

Station	Betreiber	Seehöhe (m üA)	Mittl. JN 1991-2022 (mm/a)	Mittl. JN 2000-2021 (mm/a)	N-Gewichtungsfaktor (-)	Mittl. LT 1991-2022 (°C)	Mittl. LT 2000-2021 (°C)
Behamberg	HD NÖ	495	1054	1030	0.169	9.6	9.8
Stadt Haag	HD NÖ	349	956	983	0.145	10.3	10.5
Seitenstetten	HD NÖ	351	931	930	0.483	---	---
Wolfsbach	HD NÖ	343	855	857	0.188	9.8	10.0
Hinterlug	HD NÖ	416	1377	1387	0.014	---	---
Amstetten*	ZAMG (GSA)	266	853	862	0.000	10.4	10.5

*) Daten ab 1993, hat bezüglich Niederschlag keinen Einfluss im Gebiet Krenstetten.

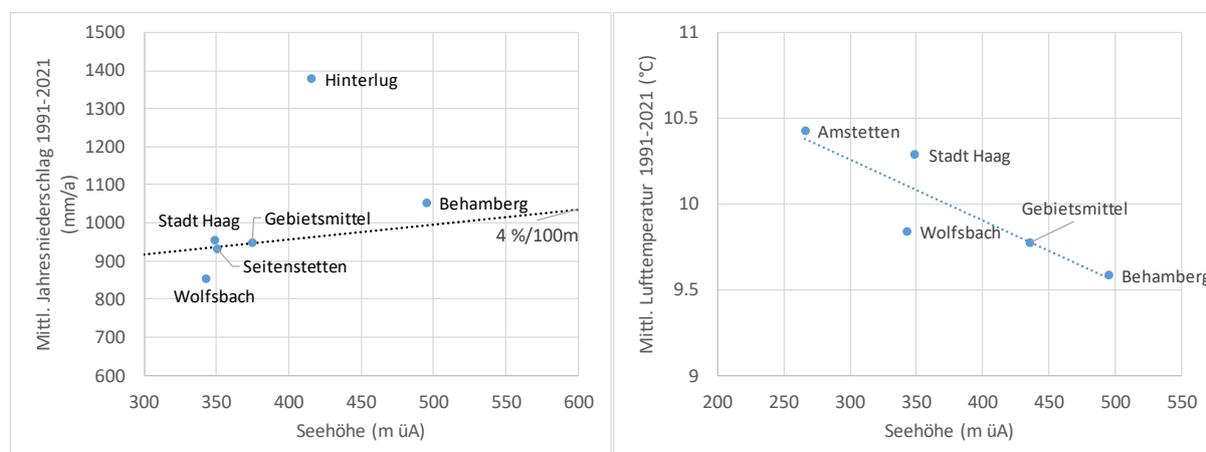


Abbildung 14: Mittlere Langzeit-Jahreswerte 1991-2022 der verwendeten Stationen und das errechnete Gebietsmittel gegen die Stationsseehöhe aufgetragen; Links: Mittlere Jahressumme des Niederschlages inkl. Trendlinie; Rechts: Mittlere Lufttemperatur inkl. Trendlinie.

3.4.3.2.2 Potenzielle Verdunstung

Für die potentielle Verdunstung wurden aus den Klimadaten der Stationen der GSA tägliche Werte der Verdunstung ET_0 nach PENMAN-MONTEITH nach den Vorgaben und Empfehlungen der FAO (z.B. Allen et al., 1998) berechnet. Die Klimadaten wurden dem GSA Data-Hub (Stand: März 2023) entnommen bzw. von der entsprechenden Homepage heruntergeladen.

Wie bei der Lufttemperatur wurde für das Gebiet des Pegels Krenstetten/Url die generelle Seehöhenabhängigkeit genutzt, indem anhand einer Höhenregression eine Zeitreihe auf Tagesbasis ermittelt wurde. Es musste dabei aber auf Stationen in einer erweiterten Region um das Untersuchungsgebiet zurückgegriffen werden, da die Datenlage vor dem Jahr 2003 nicht ausreichend ist (Tabelle 8). Ab dem Jahr 2008 sind in der Region bei vielen Stationen hochaufgelöste Klimadaten verfügbar. Zwischen 2003 und 2008 ist die Datenlage etwas schlechter.

Bei den Stationen Kremsmünster, St. Pölten und Lunz sind weit zurückreichende Reihen von Tageswerten (TW) der zur ET_0 notwendigen Klimaparameter verfügbar. Mit diesen wurden die Reihen bis in das Jahr 1998 zurück verlängert. An der sehr wichtigen Station Amstetten wurden zur Verlängerung der Datenreihe bis in das Jahr 1998 zurück zum einen ebenfalls Tageswerte, wenn verfügbar, und zum anderen auch Klimadaten von Nachbarstationen (z.B. Globalstrahlung) zur Ersatzwertbildung verwendet, um eine annähernd durchgängige Reihe ab 1998 zu erhalten.

Abbildung 15 zeigt dazu die Abhängigkeit der ET_0 von der Seehöhe an den verwendeten Stationen. Zur Vergleichbarkeit wurde der Mittelwert der Jahre 2008 bis 2021 gewählt, in dem alle Stationen Daten liefern. Für die mittlere Seehöhe des Pegels Krenstetten von 436 m ü.A. ergibt sich aus der Regression ein Mittelwert über den Zeitraum 2008-2021 von 714 mm/Jahr. Die Regressionsgerade verläuft dabei zwischen den Werten der für das Gebiet des Pegels Krenstetten relevanten Stationen Amstetten, Waidhofen/Ybbs und Wachtberg bei Steyr (siehe Abbildung 12).

Tabelle 8: Verwendete Stationen für die Regionalisierung der potenziellen Verdunstung (ET_0) im Einzugsgebiet des Pegels Krenstetten/Url mit mittleren Jahreswerten aus den Zeiträumen 2000-2021 und 2008-2021 (TW: Tageswerte).

Station	Betreiber	Seehöhe (m üA)	Mittl. ET_0 2000-2021 (mm/a)	Mittl. ET_0 2008-2021 (mm/a)	Beginn 10min Werte	Zeitraum hochaufgelöste Daten	Zeitraum 1998-2002 mit Berechnung aus TW gefüllt
Amstetten	ZAMG (GSA)	266	744	746	13.01.2003	2003-2022	x
Wachtberg bei Steyr	ZAMG (GSA)	384	---	765	25.06.2008	2008-2022	
Waidhofen a.d. Ybbs	ZAMG (GSA)	365	718 *	700	13.01.2003	2003-2022	
Enns	ZAMG (GSA)	317	---	824	08.07.2008	2008-2022	
Wieselburg	ZAMG (GSA)	259	---	747	27.07.2007	2007-2022	
Lunz	ZAMG (GSA)	612	605	608	13.01.2003	2003-2022	x
St. Pölten	ZAMG (GSA)	274	826	829	13.01.2003	2003-2005	x
Kremsmünster	ZAMG (GSA)	382	799	807	13.01.2003	2003-2022	x

*) Mittelwert ab 2003

Die ET_0 nach PENMAN-MONTEITH stellt eine auf eine Standardvegetation bezogene Verdunstung dar (Standardgras, 12cm Höhe, regelmäßig geschnitten), für andere Vegetationstypen können die Werte mit einem Vegetationsfaktor („Crop-Factor“ kc) multipliziert werden (FAO, Allen et al., 1998). Typische Werte für den maximalen kc im Sommer sind $kc=1.2$, z.B. Grünschnittroggen, Kürbis, Sonnenblumen,

bis $k_c=1.35$, z.B. Mais (siehe Allen et al., 1998, Reszler und Fank, 2016). Crop-Faktoren für den Wald werden z.B. in ATV-DVWK (2002) folgendermaßen empfohlen: k_c liegt beim Nadelwald im Bereich von $k_c=1.25$ und bei Laubwald im Bereich von $k_c=1.1$).

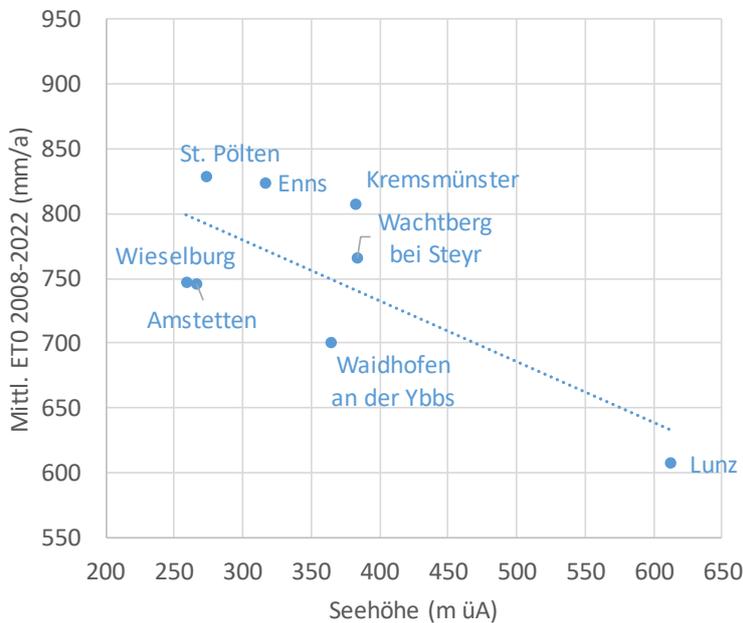


Abbildung 15: Abhängigkeit der mittleren ET0 (2008-2021) von der Seehöhe an den verwendeten Stationen.

3.4.3.3 Ergebnisse der Kalibrierung und Validierung

Für das Grundwassermodell werden die diffuse Zuflüsse im Zeitraum 2000 bis 2021 benötigt. Zur Kalibrierung und Validierung des Modells wurde der Simulationszeitraum von 22 Jahren geteilt, ein Teil wurde zur Kalibrierung und ein Teil zur Validierung verwendet (sogenannter „Split-Sample-Test“). Dies ergibt jeweils 11 Jahre zur Kalibrierung (1.1.2000-31.12.2010) und Validierung (1.1.2011-31.12.2021). Die ersten 2 Jahre werden als Einschwingphase bzw. „Warm-Up“ benötigt, da es sich um ein kontinuierliches Modell handelt und die Zustandsgrößen im Modell (z.B. Bodenfeuchte, Füllung der Grundwasserspeicher) am Beginn einer Simulationsperiode nicht bekannt sind. Die Zustandsgrößen am Beginn der Einschwingphase am 1.1.1998 wurden auf mittlere Werte gesetzt.

Abbildung 16 zeigt den Vergleich zwischen Simulation und Pegelbeobachtung beispielhaft für je einen Zeitraum in der Kalibrierung (oben) und Validierung (unten). Der dargestellte Zeitraum in der Kalibrierung enthält den August 2002, in dem an der Donau und ihren Zubringern ein extremes Hochwasser auftrat. In dieser Phase wurde die beobachtete Ganglinie in der Simulation ausgezeichnet wiedergegeben. Aber auch die kleineren Ereignisse wurden im dargestellten Zeitraum gut getroffen. Im Validierungszeitraum trat Anfang Juni 2013 ein großes Ereignis auf, welches das Ereignis im August 2002 sogar noch übertraf. In dieser Phase wurde der Spitzenabfluss unterschätzt. Dennoch zeigen die vorliegenden Ergebnisse, dass das Modell bezüglich der Aufteilung in Abflusskomponenten Oberflächenabfluss und Basis- bzw. Grundwasserabfluss sehr zuverlässig ist.

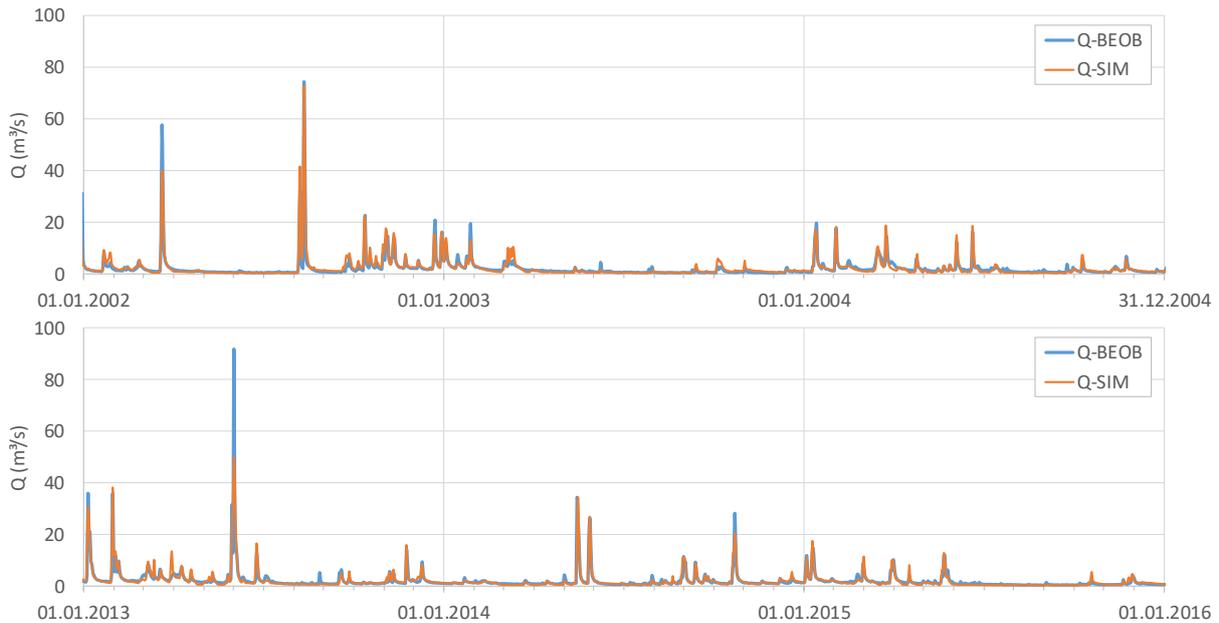


Abbildung 16: Beispielzeiträume der Ergebnisse: Vergleich zwischen Pegelabfluss (Q-BEOB) und simuliertem Abfluss (Q-SIM). Oben: Kalibrierungszeitraum; unten: Validierungszeitraum.

Abbildung 17 links zeigt die Absolutwerte der verschiedenen Wasserbilanzkomponenten als Mittelwerte für den Zeitraum 2000-2021. Bei knapp 950 mm Niederschlag im Jahr abzüglich einer aktuellen Verdunstung von rd. 570 mm im Jahr ergab sich aus dem Modell eine Abflusshöhe von rund 400 mm im Jahr. Davon wurden 144 mm/Jahr als Oberflächenabfluss und 255 mm/Jahr als unterirdischer Abfluss simuliert. In Abbildung 17 rechts sind die relativen Anteile der Abflusskomponenten dargestellt.

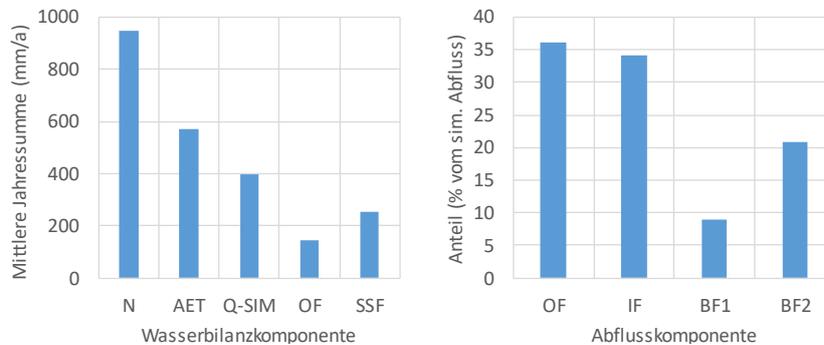


Abbildung 17: Simulierte Wasserbilanzkomponenten (links) und Abflusskomponenten in % des simulierten Gesamtabflusses (rechts). Mittelwerte über 2000-2021. N ... Niederschlag; AET ... aktuelle Verdunstung; Q-SIM... simulierter Abfluss; OF ... Oberflächenabfluss; SSF ... unterirdischer Abfluss; IF ... Interflow; BF1 ... seichter Basisabfluss; BF2 ... tiefgründiger Basisabfluss.

Trennt man den Oberflächenabfluss vom Gesamtabfluss ab, zeigt sich am Beispiel in Abbildung 18, dass ein deutlich reduzierter Anteil mit geringer Dynamik als unterirdischer Abfluss ausgewiesen wird. Dieser unterirdische Abfluss wird als relevant für die Randbedingung im vorliegenden Grundwassermodell angesehen.

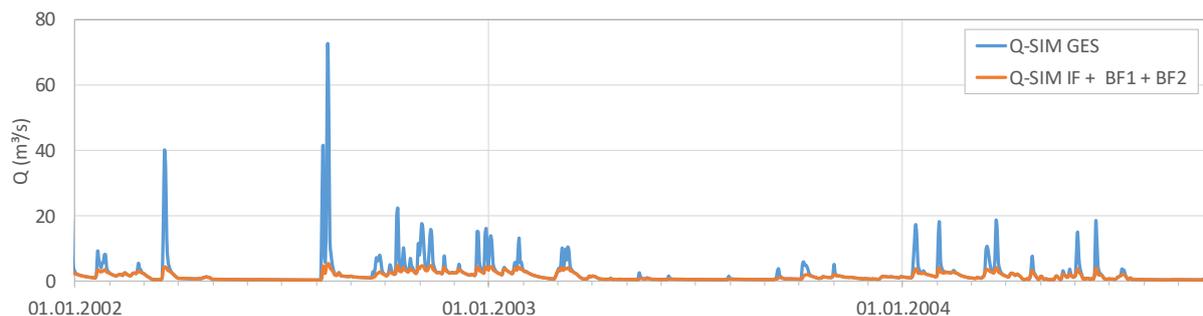


Abbildung 18: Unterirdischer Abfluss (orange) im Vergleich zum Gesamtabfluss (blau) beispielhaft für den Zeitraum 2002-2003 beinhaltend das Hochwasser im August 2002 und das äußerst trockenere Jahr 2003.

3.4.4 Simulation der Abflüsse in den direkten Randeinzugsgebieten

3.4.4.1 Gebietseigenschaften

Mit Ausnahme einiger größerer Bäche, wie Seisenegger Bach, Blindbach, Göblerbach und Karlsbach (von West nach Ost) münden von der orografisch linken Seite der Ybbs viele kleine Gerinne, Gräben, manche auch nicht wasserführend, ein. Es handelt sich dabei um eine kleinteilige Struktur, deren Beitrag am Rand des Grundwassermodells aus Gründen der Vereinfachung als „diffuser“ Zustrom betrachtet wird. Orografisch rechts werden im Mündungsbereich der Ybbs in die Donau und im Bereich zwischen Zaucha und Ybbs jeweils kleine Zuflussgebiete ausgewiesen. Die restlichen Ränder des Grundwassermodells bestehen aus Gerinnen und Bächen bzw. in einem kleinen Abschnitt im Süden des Modellgebiets von der Ybbs selbst; hier wurden Zeitreihen von Wasserspiegellagen aus vorhandenen Daten und dem Laserscan abgeschätzt.

Für die entsprechenden Randgebiete gemeinsam wird ein Abfluss für ein Gebiet mit einer Größe von 1 km² mit dem Modell NAM ermittelt, der über die entsprechenden Gebietsflächen am Rand hochgerechnet und dem Grundwassermodell am Rand zugeordnet wird. Die Modellparameter werden über Ähnlichkeitsüberlegungen aus dem Kalibrierungsgebiet der Url übernommen.

Zur Veranschaulichung der Eigenschaften der Randgebiete im Bereich des Ybbstales wird kurz das große Randgebiet orografisch links der Ybbs beschrieben (Abbildung 21, Nr. POW1, POW2, POW3, POW4, POW5). Die mittlere Seehöhe beträgt 336.5 m ü.A.. Die Landnutzungsverteilung zeigt Tabelle 9. Etwa ein Drittel der Fläche ist bewaldet, der Hauptteil besteht aus landwirtschaftlich genutzten Flächen und Grünland.

Tabelle 9: Verteilung der Landnutzungsklassen im westlichen Randgebiet (POW1 bis POW5 in Abbildung 21) aus dem CORINE Landcover Datensatz (2018). Als Code sind die ersten beiden Stellen angegeben, welche die generelle Nutzung beschreiben.

Code	Landnutzung	Fläche (km ²)	Anteil (%)
11	Bebaute Fläche	4.6	5.6
12	Industrie	0.2	0.3
21	Ackerflächen	15.7	18.9
23	Grünland	1.8	2.1
24	Heterogene Landw.	35.6	42.9
31	Wald	25.0	30.2
	Summe	82.9	100.0

Die Geologie im Gebiet orografisch links der Ybbs besteht laut der geologischen Karte KM500 aus 58 % Molasse, 41,6 % der Fläche sind als Böhmisches Masse ausgewiesen. Die Randgebiete im Osten und Süden liegen als gesamt in der Molassezone.

Die HydroBod Niederösterreich weist einen etwas höheren Bodenspeicher aus als im Gebiet der Url. Zum Beispiel ist die Summe n_{fk1} und n_{fk2} in großen Gebietsteilen höher als 120 mm; im Mittel über das Gebiet beträgt der Wert 118.5 mm (vgl. dazu Krenstetten 105 mm). Auch bezüglich der Durchlässigkeiten werden höhere Werte ausgewiesen als im Gebiet der Url. Gemäß HydroBod NÖ besitzen größere Teile eine Durchlässigkeit von über 170 mm/d.

3.4.4.2 Modelleingangsdaten

Die Eingangsdaten für das gemeinsame Randgebiet wurden gemäß den relevanten Stationen in der Umgebung von Amstetten gewählt. Für Niederschlag und Lufttemperatur wurde die Station Ennsbach der Hydrografie herangezogen. Die Station Ennsbach liegt auf 244 m Seehöhe und besitzt einen mittleren Jahresniederschlag von 894 mm/a. Der Wert für das Mittel aus den Jahren 1991 bis 2022 liegt nahe der Trendlinie in Abbildung 14. Der Niederschlagsgradient wurde wie im Gebiet der Url mit einer Erhöhung um 4% / 100m gewählt.

Für die potenzielle Verdunstung (ET_0) wurden die Daten der GSA Station Amstetten, bis 1.1.1998 zurück verlängert herangezogen (siehe Kapitel 3.4.3.2). Dazu wurden einige wenige verbleibende Lücken mit regionalisierten Werten aus einer Seehöhenregression mit den Daten in Tabelle 8 gefüllt. Als mittlere Jahressumme im Zeitraum 2000 bis 2021 errechnet sich ein Wert von knapp 745 mm/Jahr.

3.4.4.3 Übertragung der im Gebiet des Pegels Krenstetten kalibrierten Parameter

Verglichen mit dem Gebiet des Pegels Krenstetten ist die Landnutzung ähnlich (vgl. Tabelle 6 und Tabelle 9). In den Randgebieten ist der Waldanteil etwas größer, aber es existieren auf der anderen Seite auch einige Ortschaften mit versiegelten Flächen und Verkehrsflächen. Aus diesen Überlegungen wird der Crop-Faktor von der Kalibrierung übernommen.

Geologisch liegen die Randgebiete orographisch links der Ybbs an der Grenze im Bereich des Überganges der Böhmisches Masse zur Molassezone. Die Quellbereiche der kleinen Gerinne befinden sich in der Böhmisches Masse. Im Gebiet der Url tritt etwa zur Hälfte die Flyschzone und die Molassezone auf, und es wurde ein hoher Anteil an Oberflächenabfluss simuliert. Die HydroBod Niederösterreich weist in den Randgebieten eine etwas höhere Speicherfähigkeit des Untergrundes auf.

Aus den Eigenschaften der höheren Speicherfähigkeit, den höheren Durchlässigkeiten und dem höheren Waldanteil kann von einem etwas geringeren Anteil an Oberflächenabfluss ausgegangen werden. Alle anderen Parameter wurden aus der Kalibrierung im Gebiet der Url übernommen.

3.4.4.4 Ergebnisse der Simulation in den direkten Randeinzugsgebieten

Im Folgenden sind die Ergebnisse der Simulation für eine hypothetische Fläche von 1 km² als Basis für die Ermittlung der Randzuflüsse zum Grundwassermodell dargestellt (Abbildung 19). Das obere Bild zeigt einen Ausschnitt über die Jahre 1998 bis 2002 mit dem Gesamtabfluss abzüglich des Oberflächenabflusses (OF). Der Mittelwert von 2000 bis 2021 beträgt für den Gesamtabfluss 11,8 l/s

und für den Abfluss ohne OF 8,0 l/s. In vielen Gebieten kann es aber auch der Fall sein, dass der Interflow, ebenfalls in den lokalen Vorflutern abgeführt wird. Das untere Bild zeigt daher die Variante, dass auch der Interflow (IF) vom oben ermittelten Abfluss subtrahiert wird, so dass nur mehr der Basisabfluss übrig bleibt. Die Abflussreaktion ist stark verzögert, wodurch sich eine gedämpfte Ganglinie ergibt. Ohne Interflow ergibt sich von 2000 bis 2021 ein mittlerer Abfluss von 4,3 l/s.

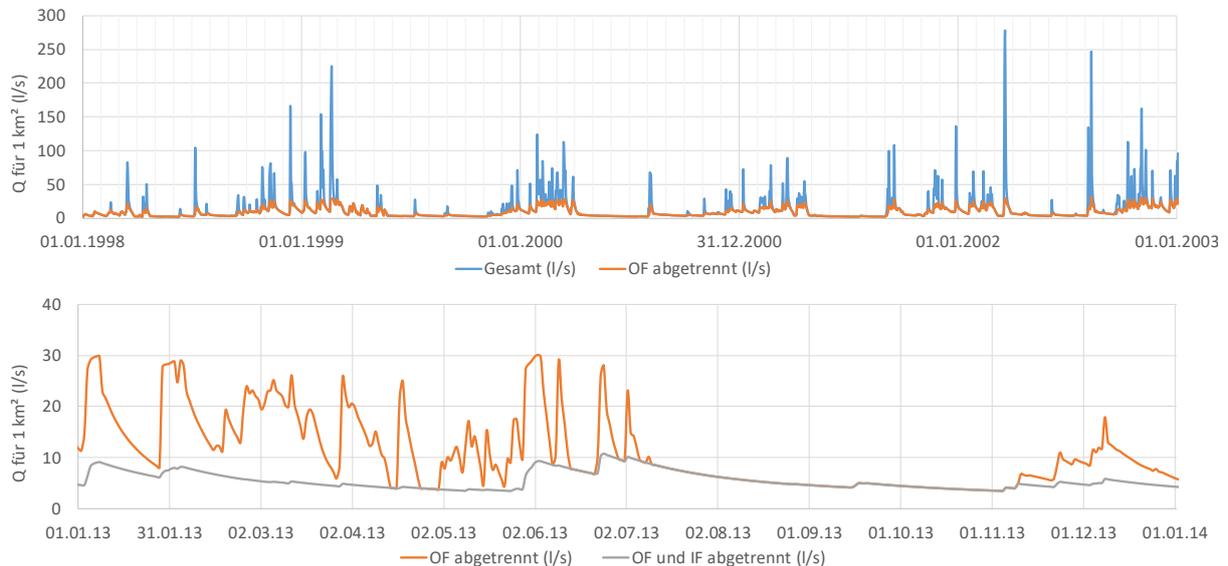


Abbildung 19: Ergebnisse der Simulation für 1 km² als Basis für die Ermittlung der Randzuflüsse zum Grundwassermodell. Oben: Gesamtabfluss und Oberflächenabfluss (OF) abgetrennt (Beispiel 1998-2002); unten: Gesamt- minus Oberflächenabfluss und dazu auch der rasche, oberflächennahe Interflow (IF) abgetrennt (Beispiel 2013).

Welcher Anteil des Abflusses aus einem Randgebiet an den Rändern zum Tragen kommt, hängt von der lokalen Situation ab. Der über das NA-Modell ermittelte Abfluss für ein Gebiet von 1 km² Größe wird mit der maßgeblichen Gebietsfläche, die zum Rand hin entwässert, multipliziert. Auch die Wahl der Gebietsfläche ist mit Unsicherheiten behaftet, da häufig nur jene Flächen in unmittelbarer Nähe zum Modellrand zum unterirdischen diffusen Zufluss beitragen. Entfernte Flächen, die zum Teil aus kleineren Grabenstrukturen bestehen, entwässern in den Bach und werden daher über das Grundwasserfeld geführt.

Der hier ermittelte Abfluss dient daher nur als Basis zur Festlegung der Randzuflüsse. Die endgültige Beaufschlagung der Ränder wird im Kalibrierungsprozess des Grundwassermodells festgelegt. Das heißt, die hier ermittelte Ganglinie wird mit einem Kalibrierungsfaktor belegt, damit an den Rändern die Kalibrierung gelingt.

4 Erstellung des Grundwasserströmungsmodells

4.1 Mathematisches Modell

Die Beschreibung der Grundwasserströmung basiert auf einem Verständnis der physikalischen Prozesse, die in den meisten Fällen durch mathematische Formeln und Gleichungen beschrieben werden können. Die grundlegende Fließgleichung ist das Gesetz von Darcy. In Kombination mit der Kontinuitätsgleichung, die den Massenerhalt an Wasser während des Flusses durch ein poröses Medium beschreibt, ergibt sich daraus die Strömungsgleichung für instationären Fluss durch ein gesättigtes anisotropes poröses Medium. Unter der Annahme von Homogenität und Isotropie nimmt diese Gleichung die Form

$$\frac{\delta^2 h}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 h}{\delta y^2} + \frac{\delta^2 h}{\delta z^2} = \frac{S_s}{K} \frac{\delta h}{\delta t}$$

an. Die Lösung $h(x, y, z, t)$ beschreibt die Potentialhöhe an jedem Punkt eines Strömungsfeldes zu jedem Zeitpunkt.

S_s gibt den speichernutzbaren Hohlraumanteil wieder und K die hydraulische Durchlässigkeit.

4.1.1 Die Interaktion von Oberflächengewässern und Grundwasser

Um die In- bzw. Exfiltration von Oberflächengewässern zu beschreiben, kann das Leakageprinzip verwendet werden. Nach dem Gesetz von Darcy ist der Durchfluss durch eine Trennschicht zwischen zwei benachbarten Aquiferen proportional zu dem zwischen ihnen bestehenden Piezometerhöhengefälle mit dem Durchlässigkeitsbeiwert der Trennschicht als Proportionalitätsfaktor. Der Leakage-Koeffizient bzw. Durchlässigkeits-Koeffizient kombiniert die beiden Größen Durchlässigkeit und Dicke der Trennschicht. Im Falle der Interaktion des Grundwassers mit Oberflächengewässern ist die treibende Piezometerhöhendifferenz, welche die In- bzw. Exfiltration bestimmt, die Differenz zwischen der Grundwasserhöhe und dem Wasserspiegel des Oberflächengewässers. Dies gilt so lange, wie die Grundwasserhöhe nicht unter die Sohle des Oberflächengewässers fällt. Der Austausch pro Bezugsfläche lautet

$$q_L = \frac{k_f}{d} (h_r - h) = l(h_r - h)$$

mit q_L als spezifischer Austauschrate, k_f als Durchlässigkeitsbeiwert der Kolmatierungsschicht, d als Dicke dieser Schicht, h_r als Höhe des Flusswasserspiegels über dem Bezugsniveau und h als Höhe des Grundwasserspiegels über Bezugsniveau. Der Leakage-Koeffizient l fasst wieder Durchlässigkeit und Dicke der Trennschicht zusammen. Fällt der Grundwasserspiegel unter die Sohle des Oberflächengewässers, so wird der Durchfluss unabhängig von der Höhenlage des Grundwasserspiegels. Die treibende Höhendifferenz ist dann im Wesentlichen die Differenz zwischen dem Wasserspiegel (h_r) und der Höhenlage der Sohle des Oberflächengewässers über Bezugsniveau (b_r).

$$q_L = l(h_r - b_r)$$

4.1.2 Modellumsetzung der Interaktion zwischen Oberflächengewässer und Grundwasser

Die Implementierung eines Oberflächengewässers über die Cauchy-Randbedingung erfolgt in zwei Schritten: Zunächst werden die Oberflächengewässer als Randbedingung über Modellkanten (Verbindung zwischen zwei Modellknoten) definiert - hierbei können sowohl der Wasserspiegel (mit einer konstanten Gewässerhöhe oder instationär als Ganglinie) als auch die Gewässersohle (zur Begrenzung der Infiltration von Oberflächenwasser in das Grundwasser) definiert werden. Für Fließgewässerabschnitte, deren Sohle in jedem Fall niedriger als der angrenzende Grundwasserspiegel ist, kann die Definition der Gewässersohle entfallen. Anschließend werden für räumlich angrenzende Modellelemente sogenannte Leakage-Koeffizienten (oder Durchlässigkeitskoeffizienten) definiert, welche den Quotienten zwischen der Durchlässigkeit und der Mächtigkeit der Kolmationsschicht des Gewässerbettes darstellen.

Im Zusammenhang mit der Interaktion zwischen Oberflächengewässer und Grundwasser wird als Infiltration immer das Fließen von Oberflächenwasser ins Grundwasser und als Exfiltration immer der Übertritt von Grundwasser in das Oberflächengewässer bezeichnet. Typischerweise werden für die Exfiltration des Grundwassers in das Oberflächengewässer höhere Durchlässigkeits-Koeffizienten angenommen, als für die Infiltration. Dies ist dadurch bedingt, dass die aus Feinsedimenten bestehende Kolmationsschicht, die Sohle und Ufer eines Oberflächengewässers abdichtet, durch Ablagerungen von Feinsedimenten aus dem Oberflächengewässer entsteht und somit für diese Strömungsrichtung, also von Oberflächengewässer zu Grundwasser, dichter ist.

Bei der Integration in das Grundwassermodell ist es entlang aller Gewässer notwendig, die instationären Wasserspiegel im gesamten Modellzeitraum zu ermitteln. Sind keine gemessenen Wasserspiegelganglinien verfügbar und gibt es keine Anhaltspunkte zur Dynamik des Wasserspiegels, ist die Definition der Wasserspiegel in einigen Gewässern oftmals nur mittels eines stationären Wertes, meist aus dem Laserscan, möglich.

4.1.3 Rand- und Anfangsbedingungen für Strömungsmodell

Die Gleichung für die Grundwasserströmung ist eine partielle Differentialgleichung zweiter Ordnung für die unbekannte Piezometerhöhenverteilung als Funktion der Zeit und des Ortes $h(x, y, t)$. Zu deren Lösung sind Initial- und Randbedingungen erforderlich. Für stationäre Probleme werden nur Randbedingungen benötigt. Die Initialbedingungen bestehen aus einer gegebenen Piezometerhöhenverteilung zum Zeitpunkt, zu dem die Simulation beginnt.

Es gibt mehrere Arten von Randbedingungen:

- Randbedingungen der ersten Art (DIRICHLET-Randbedingungen) schreiben die Piezometerhöhen als Funktion der Zeit am Rand vor. Ein Spezialfall der Randbedingungen erster Art ist der Festpotentialrand mit zeitlich unabhängiger konstanter Piezometerhöhe.
- Randbedingungen der zweiten Art (NEUMANN-Randbedingungen) schreiben den Zufluss oder Abfluss von Grundwasser über den Rand vor. Im isotropen Aquifer wird damit der Gradient des Grundwasserspiegels senkrecht zum Rand festgelegt. Ein Spezialfall dieser Randbedingung ist der undurchlässige Rand. Wenn Randbahnlinien das Modellgebiet begrenzen, werden diese wie undurchlässige Ränder behandelt.

- Randbedingungen der dritten Art (CAUCHY-Randbedingungen) stellen eine Kombination aus Randbedingungen der ersten und zweiten Art dar. Verwendet werden diese Randbedingungen zur Beschreibung halbdurchlässiger Ränder, wie z.B. bei Leakage aus einem Oberflächengewässer. Dabei wird das äußere Potential durch einen Widerstand abgeschwächt im Aquifer wirksam.

4.1.4 Lösung des mathematischen Modells mit numerischer Methoden

Die Finite Elemente Methode stellt eine diskrete Beschreibungsmöglichkeit der Grundwasserströmung dar, die direkt von den physikalischen Bedingungen der Grundwasserströmung ausgeht. Die Methode der Finiten Elemente ermöglicht es, über die physikalische Beschreibung im Innern und an den Rändern der Elemente die Potentialhöhen in den Knotenpunkten zu bestimmen. In der diskretisierten Strömungsebene hängt die Gestalt der Potentialfläche von den Potentialhöhen an den Knotenpunkten des Netzes ab. Dabei wird vorausgesetzt, dass sich die Potentialhöhe innerhalb und auf den Rändern eines Dreieckselementes linear in jede Richtung ändert. Somit ergibt sich ein lineares Gleichungssystem.

Die Erfüllung der Kontinuitätsbedingung ist vom Diskretisierungsgrad abhängig. Je kleiner die Dreieckselemente sind, desto besser kann der exakte Verlauf der Potentialverteilung approximiert werden. Eine zweite Abhängigkeit zur Erfüllung der Kontinuität ist durch die Form der Dreieckselemente gegeben. Ein gleichseitiges Dreieck stellt dabei die beste Form der Elemente dar.

4.2 Beschreibung der Modellsoftware FEFLOW

Mit FEFLOW (Finite Element subsurface FLOW simulation system) kann die Gleichung für Strömungs-, Stoff- und Wärmetransport in porösen oder geklüfteten Medien, in verschieden dimensionalen Darstellungen und für variabel gesättigte Verhältnisse gelöst werden (Diersch, 2014). Zusätzlich bietet FEFLOW eine Vielzahl von Pre- und Postprocessing Funktionalitäten an und ist gleichzeitig kompatibel mit zahlreichen Datenformaten für den Import und Export von Daten von und zu externen Quellen. Besonders bei den Lösungsverfahren für die Finite Elemente Methode bietet FEFLOW eine hohe Anzahl von alternativen Auswahlmöglichkeiten an, so dass auf spezifische Aspekte der Problemstellung eingegangen werden kann.

4.3 Maßzahlen zur Bewertung der Kalibrationsgüte

Im Zuge der Modellkalibration wurde durch Variation der Durchlässigkeitsverteilung, der Leakage-Koeffizienten und der Verteilung der Porenvolumina in plausiblen Rahmen eine bestmögliche Anpassung der berechneten Ganglinien an die gemessenen Grundwasserstandsganglinien an zur Verfügung stehenden Messstellen gesucht.

Neben Minimum, Mittelwert und Maximum der Messdaten in Bezug zu den äquivalenten Berechnungsergebnissen kann die Güte der Anpassung für jede Messstelle auf Basis der Differenz von zeitgleichen Messwerten in Form von verschiedenen Maßzahlen quantifiziert werden. Dazu zählen z.B. die größte negative bzw. positive oder die mittlere Abweichung, die mittlere Residuenquadratsumme oder die Nash-Sutcliffe-Efficiency.

Für die Beurteilung der Kalibrationsqualität des Grundwassermodells für das Ybbstal wurde der „root mean squared error“ als Fehlermaß mit folgender Formel verwendet (O_i : Messungen, P_i : Beobachtungen, n : Anzahl der Messungen):

$$\text{RMSE [m]: } \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n}}$$

Durch die Verwendung dieser Maßzahl kann die Modellbewertung anhand üblicherweise verwendeter Messgrößen durchgeführt werden, wobei eine Überbewertung der Extremwerte der Differenzen vorgenommen wird. Zur Bewertung der Kalibrationsgüte ist dieser Parameter sehr gut geeignet und sollte möglichst nahe 0 liegen, die zulässige Schranke sollte allerdings deutlich höher als die gewünschte mittlere Abweichung gesetzt werden.

Generell ist festzuhalten, dass die Qualität der Modellkalibration gerade bei über einen längeren Zeitraum instationär geeichten Modell an jeder beobachteten Messstelle auch durch den visuellen Vergleich der gemessenen Grundwasserstandsdaten mit der berechneten Ganglinie zu prüfen ist. Die Berechnung der mittleren Abweichung liefert die Möglichkeit, diesen n-dimensionalen Raum der regional verteilten Zeitreihen auf eine einzelne Kenngröße je Beobachtungsstelle zu reduzieren und damit Aussagen über die regionale Verteilung der Kalibrationsqualität zu erhalten.

4.4 Netzgenerierung

Das Netz mit 83157 Finite-Elementen ist in der Abbildung 20 dargestellt. Es ist entlang der Flüsse, bei den Entnahmebrunnen und in Bereichen mit großen Höhenunterschieden bei der Tiefenlage des Grundwasserstauers verdichtet. Solche Bereiche des Grundwassermodells können zu numerischen Problemen führen, wenn das Netz zu grob ist. Das Netz hat Elemente mit einem Durchmesser zwischen 4 m und 109 m (Abbildung 20).

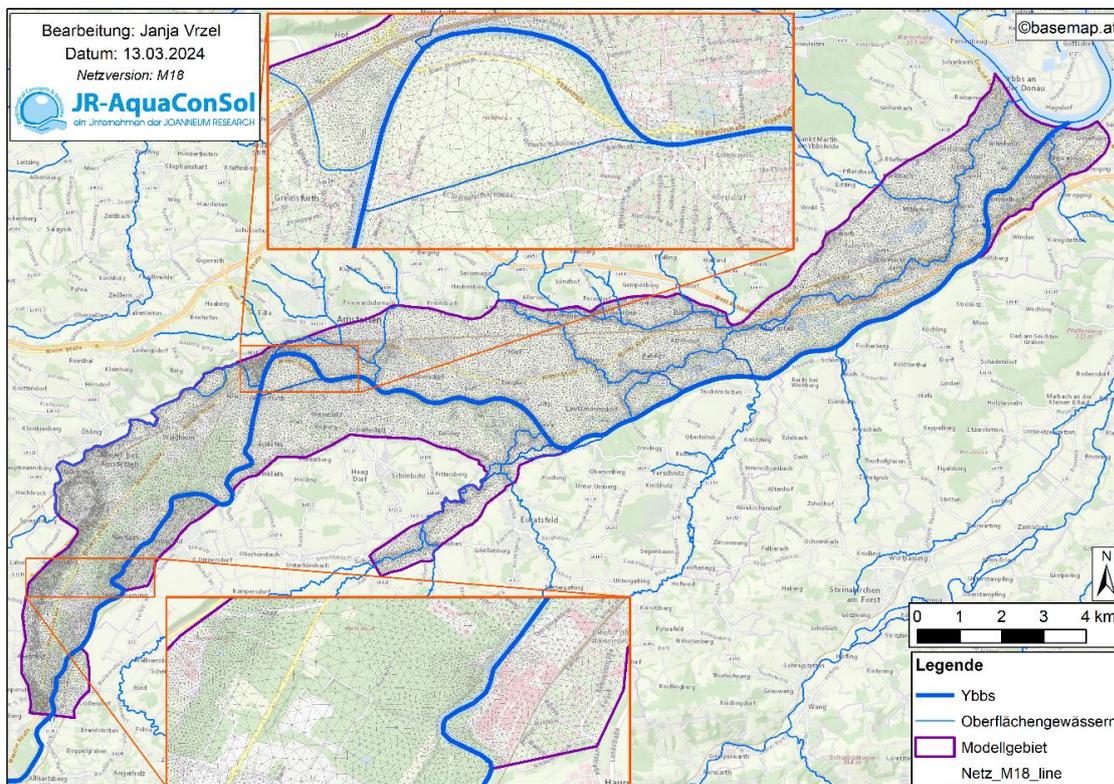


Abbildung 20: Finite Elemente Berechnungsnetz für das Grundwassermodell Ybbstal.

5 Instationäre Kalibration des Grundwasserströmungsmodells

5.1 Definition der Randbedingungen, Materialeigenschaften und Anfangswerte für die Kalibration

Zur Lösung der Grundwasserströmungsgleichung werden Randbedingungen, Initialbedingungen, sowie Materialeigenschaften benötigt. Randbedingungen beschreiben die Interaktion des Grundwassers im Modellgebiet mit seiner Umgebung. Anfangsbedingungen stellen den Ausgangszustand der modellierten Größe, im Falle eines Grundwasserströmungsmodells ist dies die Höhe des Grundwasserspiegels, zu Beginn der Modellierung dar. Materialeigenschaften beschreiben konstante oder räumlich variable Eigenschaften des Grundwasserleiters, wie zum Beispiel die Lage des Grundwasserstauers, den Leakage-Koeffizient oder die hydraulische Leitfähigkeit.

5.1.1 Randbedingungen

Die verwendeten hydraulischen Randbedingungen sind in Abbildung 21 dargestellt und lassen sich wie folgt beschreiben:

- Die **Donau** bildet die nordöstliche Grenze des Modellgebiets. Die Interaktion zwischen Fluss und Grundwasserkörper wird über eine Randbedingung 3. Art (CAUCHY-Randbedingung) mit dynamischem Wasserspiegel realisiert. Weitere Details sind in Kapitel 4.1.2 beschrieben.
- Die **Ybbs** wurde ebenfalls über eine Randbedingung 3. Art (CAUCHY-Randbedingung) mit dynamischem Wasserspiegel im Modell implementiert. Aufgrund der Lage wird diese im Modellgebiet als eine innere oder äußere Randbedingung bezeichnet.
- Die Strömungsdynamik in dem **Abschnitt der Ybbs zwischen dem Stauwehr Greinsfurth und dem Zufluss des Ausleitungskanals** (stromabwärts des Wasserkraftwerks Amstetten) unterscheidet sich stark von der Strömungsdynamik am Pegel 207688 an der Ybbs. Dieser Flussabschnitt ist nämlich bis 2005 häufig ausgetrocknet. Da für diesen Abschnitt keine genauen Wasserspiegelmessungen vorliegen, wurde er über eine Randbedingung 3. Art (CAUCHY-Randbedingung) mit stationärem Wasserspiegel im Grundwassermodell implementiert.
- Laut Bestandslageplan beträgt der Wasserstand im **Ausleitungskanal** beim Stauwehr Greinsfurth 278,81 m ü. A. Von dort bis dem Elektrizitätswerk Amstetten hat der Auslaufkanal ein minimales Gefälle. Aus diesem Grund wurde der Auslaufkanal über eine Randbedingung 3. Art (CAUCHY-Randbedingung) mit stationärem Wasserspiegel im Grundwassermodell implementiert.
- Die **Url** fließt am Rand des Modellgebiets und bildet die nordwestliche Grenze des Modellgebiets. Die Interaktion zwischen Fluss und Grundwasserkörper wird über eine Randbedingung 3. Art (CAUCHY-Randbedingung) mit dynamischem Wasserspiegel realisiert.
- Der **Zauchbach** wurde ebenfalls über eine Randbedingung 3. Art implementiert, der Wasserspiegel wird hier jedoch - aufgrund nicht verfügbarer zeitvariabler Daten - als konstant angenommen.
- **Andere Gewässer** (Ober Ybbser Mühlbach, Triesenegerbach, Haabergbach, Seiseneggerbach, Karisbach, Obereggingerbach), die überwiegend von Norden in das Modellgebiet eintreten, haben nach Aussage von Mag. Salzer von der Auftraggeberin keinen Kontakt zum Grundwasser, deswegen wurden sie nicht im Grundwassermodell implementiert.

- Die **obere Randbedingung** des Grundwassermodells stellt die Grundwasserneubildung über infiltrierende Niederschläge dar. Für die instationäre Kalibration des Modells sind kurzfristig auftretende Spitzen der flächenhaften Grundwasserneubildung in ihrer räumlichen und zeitlichen Variabilität von Bedeutung. Die Ableitung dieser Randbedingung mit dem FAO Penman-Monteith Ansatz wurde in Kapitel 3.3 erörtert.
- Die relevanten **Grundwasserentnahmen** wurden als Zeitreihen berücksichtigt, als Randbedingungen 4. Art (Brunnen-Randbedingung) implementiert und sind in Kapitel 2.3 beschrieben.
- Die **diffusen unterirdischen Randzuflüsse** am nördlichen und südlichen Modellrand wurden als instationäre Randbedingung der 2. Art (NEUMANN-Randbedingung) im Modell definiert. Ihre unterschiedliche räumliche Zuordnung (siehe Abbildung 21) variiert je nach Größe des Einzugsgebietes des Gewässers, das von den angrenzenden Hügeln in das Ybbstal fließt. Die diffusen Randzuflüsse sind das Ergebnis der Niederschlag-Abfluss Modellkalibration (NAM) (siehe Abbildung 49 im Anhang 1). Deswegen basiert ihre Dynamik maßgeblich auf der Anpassung der berechneten an die gemessenen Grundwasserspiegel an den Messstellen, die sich in der Nähe des Modellgebiet befinden. Eine detaillierte Beschreibung des NAM-Modells ist in Kapitel 1.1.1 enthalten.
Die Ganglinien im Anhang 1 (Abbildung 50 und Abbildung 51) stellen das Ergebnis des NAM-Modells für jedes Einzugsgebiet dar. POW1-POW9 sind die Bezeichnungen der Ganglinien für die 8 an das Modellgebiet angrenzenden Einzugsgebiete (Lage siehe Abbildung 21).
- Aufgrund des engen Querschnittes des Ybbstales und der Lage im Unterwasserbereich des Kraftwerkes Dorfmühle (siehe Abbildung 2) wurde am oberstromigen Modellrand kein Grundwasserzufluss in das Modellgebiet definiert.

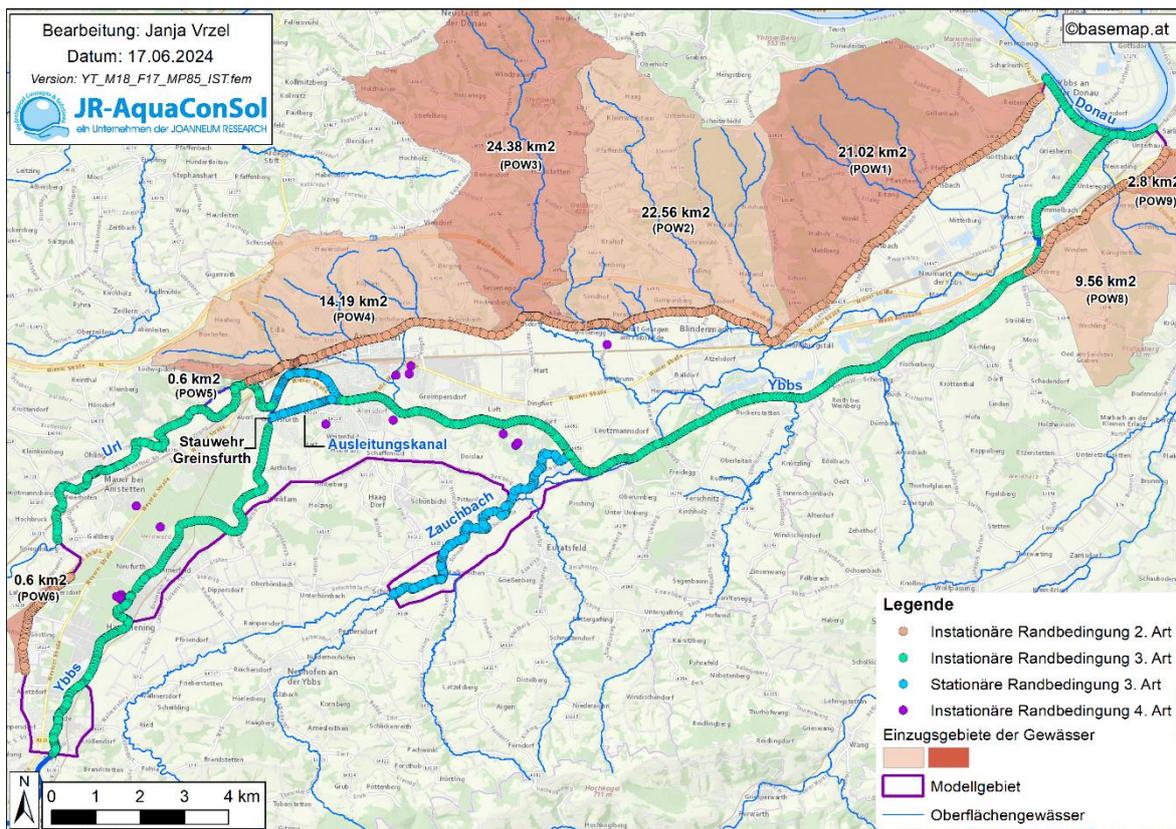


Abbildung 21: Verteilung der Randbedingungen im Modellgebiet und Einzugsgebiete der Gewässer, welche von den angrenzenden Hügeln in das Ybbstal fließen. POW1 - POW9 sind die Bezeichnungen der Ganglinien, welche in Anhang 1 dargestellt sind.

5.1.2 Anfangsbedingung

Als Ausgangsspiegellage für die instationäre Modellierung des Grundwassermodells wurde auf Basis der dem Modellstart am 01.01.2000 folgenden Messungen des Grundwasserspiegels an den Hydrographiemesspegeln (siehe Kapitel 2.2.1) interpoliert.

5.1.3 Materialeigenschaften

Die untere Begrenzung des Grundwasserleiters – der **Grundwasserstauer** – wurde aus Bohrungen punktuell abgeleitet. Die Datengrundlagen und Methoden zur Erstellung des Grundwasserstauers sind Kapitel 3.2 zu entnehmen. Die untere Begrenzung der Grundwassermodelle sind in ihrer flächenhaften Ausprägung als Morphologie des Grundwasserstauers in Abbildung 8 dargestellt.

Die Verteilungen der **Durchlässigkeiten** und **effektive Porosität** im Untersuchungsgebiet zum Beginn der Modellkalibration wurden entsprechend der geologischen Einheiten definiert.

5.2 Kalibrierungsergebnisse

Gemeinsam mit den Randzuflüssen über den westlichen Modellrand sind sowohl die hydraulische Durchlässigkeit als auch der Leakage-Koeffizient für das Modell Ybbstal wesentliche Kalibrationsparameter, deren anfängliche Verteilung im Zuge der Modellanpassung verändert wurden, um eine möglichst gute Wiedergabe der gemessenen Grundwasserspiegellagen durch die berechneten Grundwasserspiegellagen an den Messpegeln zu erzielen.

Abbildung 22 zeigt die Verteilung des RMSE-Wertes zwischen berechneten und gemessenen Grundwasserspiegeln an den 27 bezeichneten Grundwassermessstellen im Grundwassermodell Ybbstal anhand des Durchmessers des Kreises. Der minimale RMSE-Wert beträgt 0,05 m am Pegel 326777 und der maximale RMSE-Wert beläuft sich auf 0,26 m am Pegel 326850. Innerhalb der jeweiligen Kreise sind die jeweiligen Anteile an positiven Residuen (dies bedeutet eine Überschätzung der modellierten Grundwasserstände gegenüber den gemessenen) in Grün und an negativen Residuen (dies bedeutet eine entsprechende Unterschätzung) in Rot dargestellt.

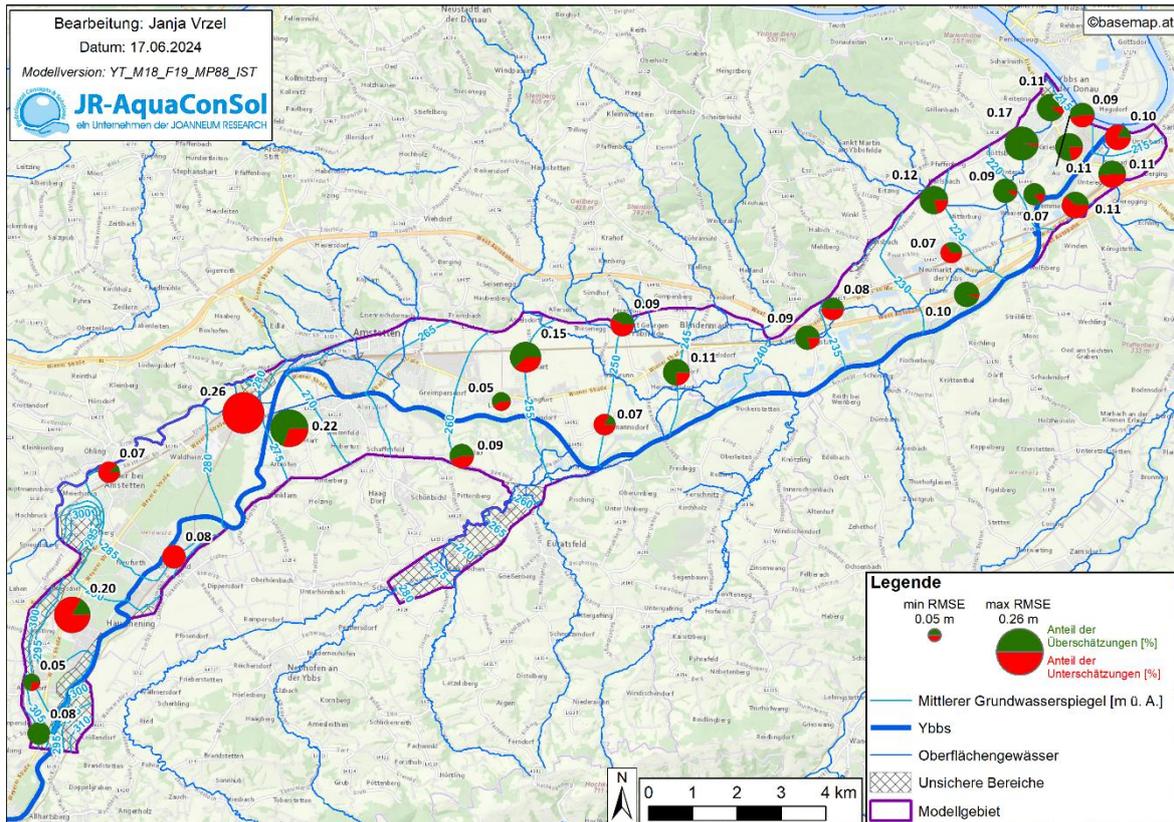


Abbildung 22: Mittlerer Grundwasserspiegel, "root mean square error" (RMSE), mittlere positive/negative residual und Anteil der über-/unterschätzten Grundwasserspiegelhöhe.

Der RMSE-Wert fällt besonders im Zentrum des Modellgebiets durchweg gering aus. So beträgt die positive Abweichung am Pegel 337121 (Lage siehe Abbildung 2) nur 8 cm. Beim Vergleich der täglich gemessenen und berechneten Grundwasserspiegelhöhen (Abbildung 23) zeigt sich aber, dass die berechneten Grundwasserhoch- und -tiefstände teilweise bis 20 cm unter den gemessenen Werten liegen. Für die 2 km entfernte Messstelle 326777 (Lage siehe Abbildung 2) stimmen dagegen auch die gemessenen und berechneten Grundwasserhoch- und -tiefstände gut überein (Abbildung 24).

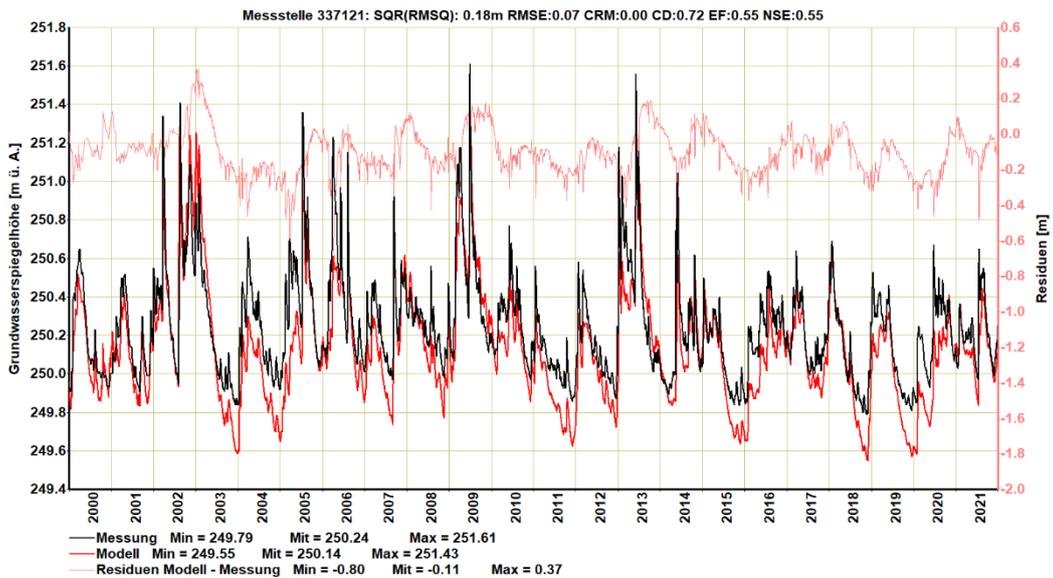


Abbildung 23: Gemessene und berechnete Grundwasserspiegelganglinien an der Messstelle 337121.

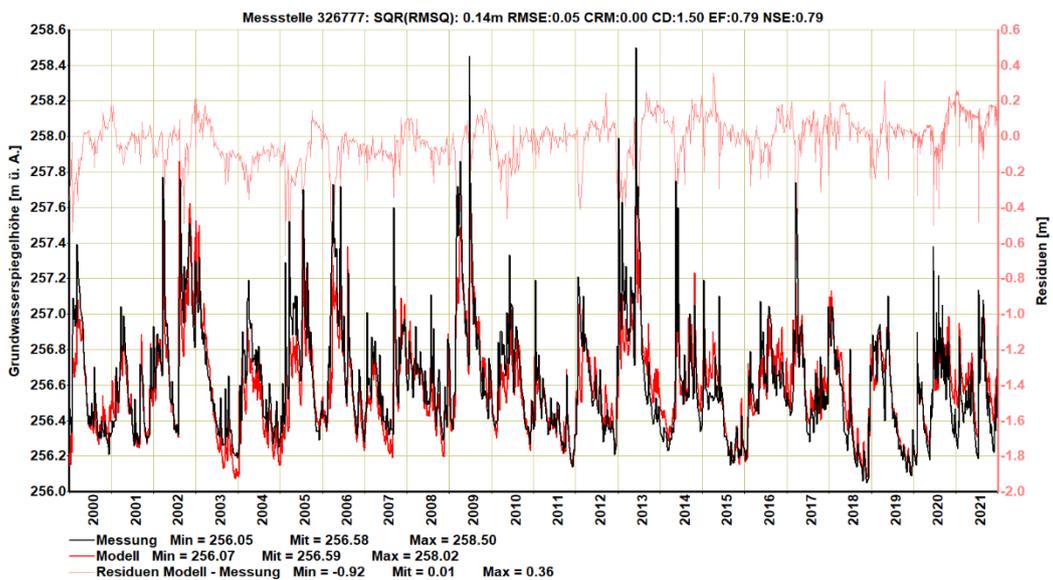


Abbildung 24: Gemessene und berechnete Grundwasserspiegelganglinien an der Messstelle 326777.

Die beste Anpassung der berechneten an die gemessenen Grundwasserspiegel erstreckt sich vom zentralen Modellbereich bis nach Osten zur Messstelle 337089 (Abbildung 25; Lage siehe Abbildung 2). Im östlichen Teil des Modellgebiets liegt eine Überschätzung der gemessenen Grundwasserspiegel vor (der rote Teil der Tortendiagramme in Abbildung 22 ist größer).

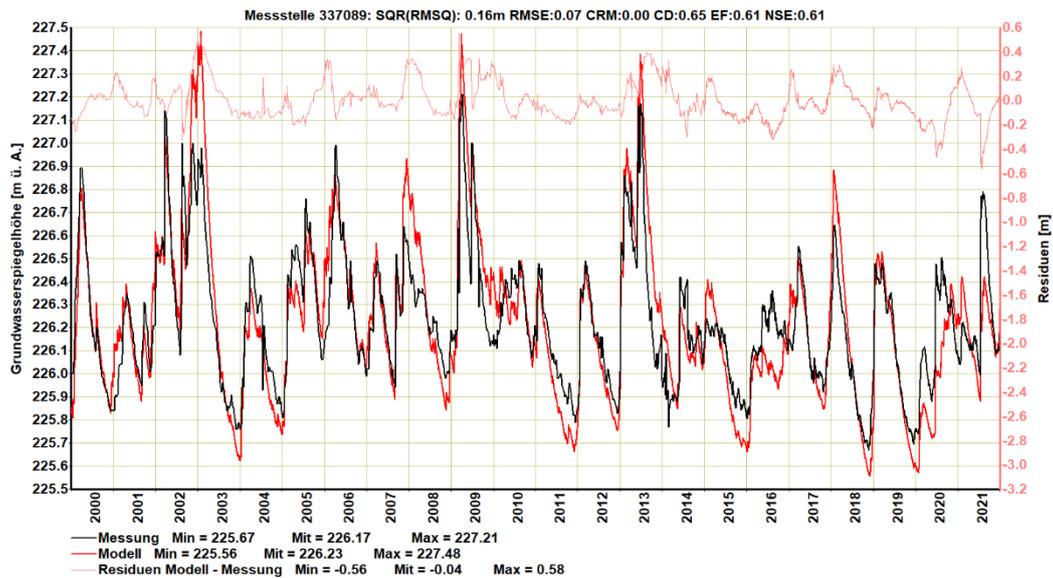


Abbildung 25: Gemessene und berechnete Grundwasserspiegelganglinien an Messstelle der 337089.

Abbildung 26 zeigt den Vergleich zwischen dem gemessenen und dem berechneten Grundwasserspiegelhöhe einer dieser Messstellen (322651; Lage siehe Abbildung 2). Die Überschätzungen sind wahrscheinlich zum Teil darauf zurückzuführen, dass keine Informationen über die Grundwasserentnahme in diesem Teil des Modellgebiets vorliegen (Abbildung 3). Zusätzlich, war keine Informationen (z.B. Stauziel, Länge des Stausee, Stauwurzel, Dichtschirm, Spundwand) über das Wasserkraftwerk Kimmelbach (Lage siehe Abbildung 2) verfügbar. Es ist bekannt, dass Wasserkraftwerke einen erheblichen Einfluss auf die Dynamik und die Richtung des Grundwasserflusses haben können.

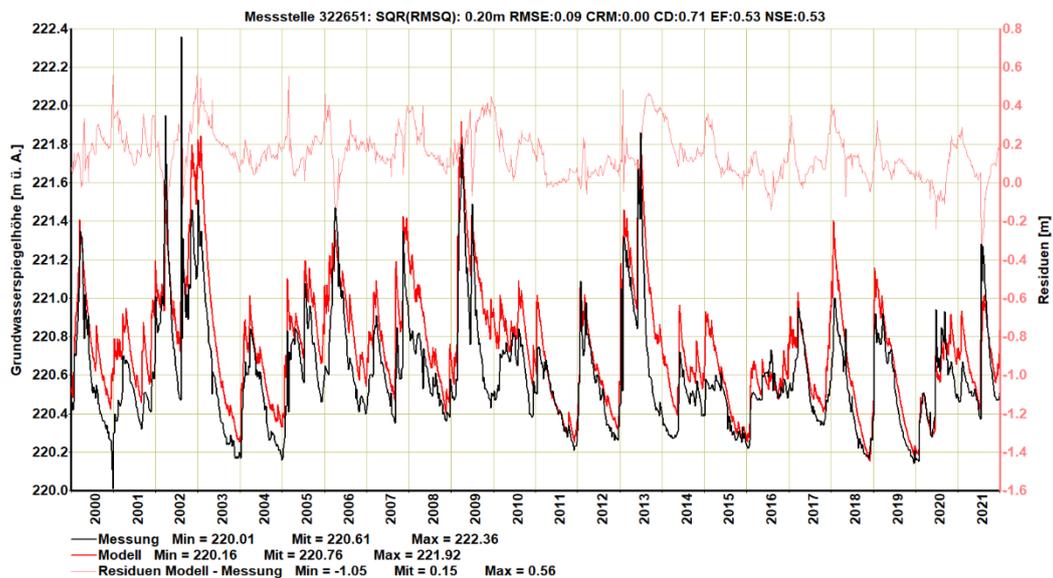


Abbildung 26: Gemessene und berechnete Grundwasserspiegelganglinien an der Messstelle 322651.

Die eher geringen Abweichungen bei den Grundwasserspiegeln an den Pegeln 326868 und 302893 (jeweilige Lage siehe Abbildung 2) weisen auf adäquate Implementierung der Url und der Donau im Grundwassermodell hin (siehe Abbildung 22). Die gemessene und berechnete Grundwasserdynamik an den beiden Pegel ist in Abbildung 27 und Abbildung 28 dargestellt.

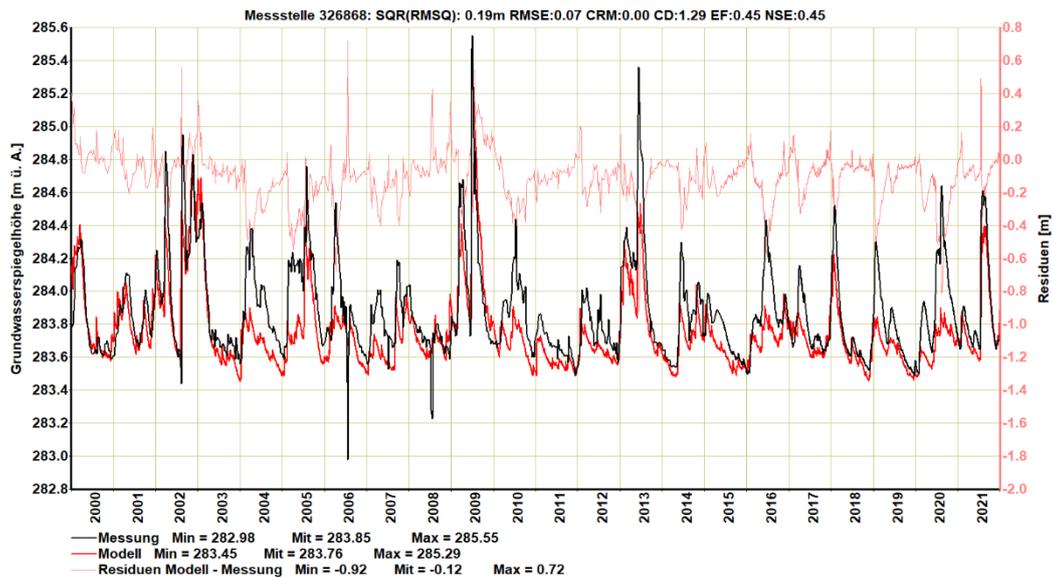


Abbildung 27: Gemessene und berechnete Grundwasserspiegelganglinien an der Messstelle 326868.

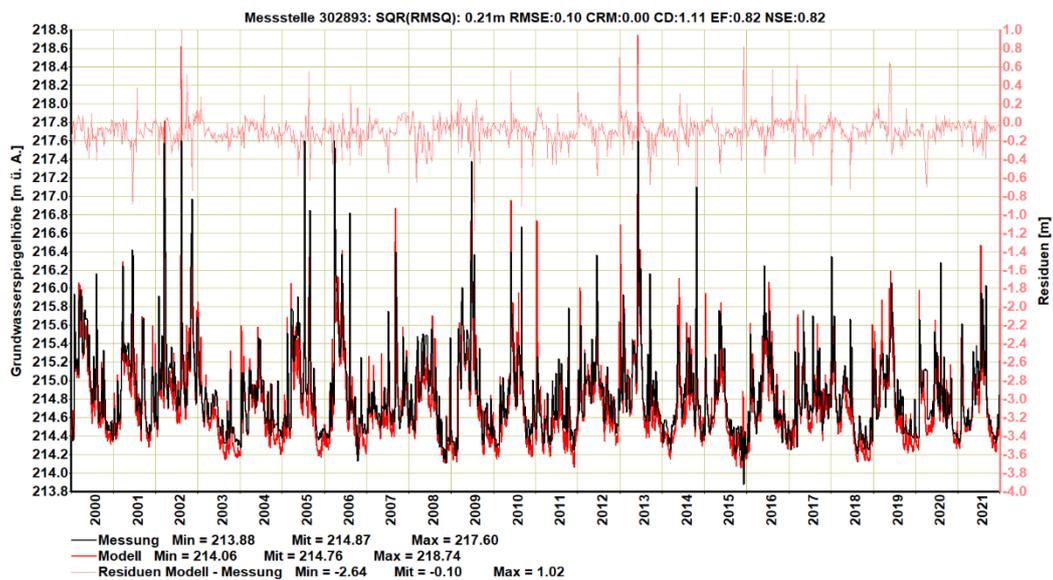


Abbildung 28: Gemessene und berechnete Grundwasserspiegelganglinien an der Messstelle 302893.

Der Pegel 331496 liegt in südwestlichen Teil des Modellgebiets (siehe Abbildung 2), wo sich das Ybbstal stark verengt und Grundwasserstauer im Osten und Westen stark ansteigt. Den großen Pegelweg zwischen beobachteten Grundwassertief- und -hochständen (4,5 m) kann das Modell nicht reproduzieren (siehe Abbildung 29). Beim Pegel 331496 liegen 4 Entnahmehbrunnen (Voestalpine Br, Wirtschaftspark Br, Hausberger Br I und II; siehe Abbildung 3) in der Umgebung, deren reale Entnahmemengen bei der Modellerstellung nicht bekannt waren. Dass diese fehlenden Daten die Ursache für die etwas schlechtere Modellanpassung in diesem Teil des Ybbstaales sein können, wird durch die Ergebnisse der Konsensberechnung bestätigt, die eine mittlere Absenkung von ca. 2 m zeigen (Abbildung 37). Außerdem befinden sich in diesem schmalen, flussaufwärts gelegenen Teil des Modellgebiets die beiden Kraftwerke Hausmening und Dorfmuhle, für die keine Informationen bei der Modellerstellung verfügbar waren.

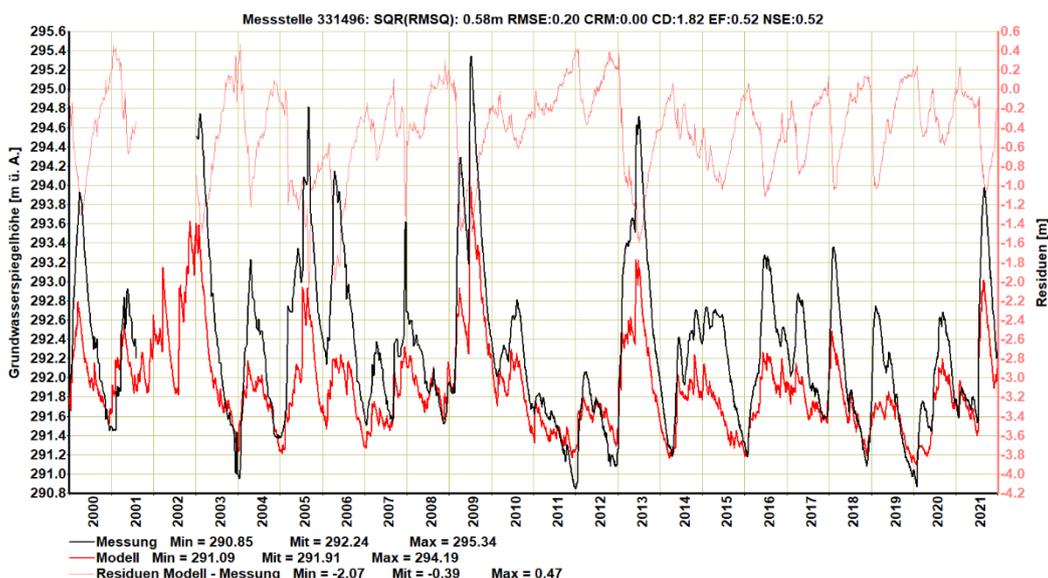


Abbildung 29: Gemessene und berechnete Grundwasserspiegelganglinien an der Messstelle 331496.

Die Abweichung zwischen den Modellergebnissen und den Messungen ist an den Pegeln 326850 und 326892 (jeweilige Lage siehe Abbildung 2), welche sich am linken und rechten Ufer des Rückstauraumes Greinsfurth befinden, besonders groß (siehe Abbildung 22). Der RMSE-Wert am Pegel 326850 zeigt eine Unterschätzung der berechneten Grundwasserspiegelhöhe von 70 cm untergeschätzt, während es Pegel 326892 zu einer Überschätzung von 55 cm kommt. An dieser Stelle ist es wichtig, darauf hinzuweisen, dass bei der Modellerstellung keine Informationen über den Rückstauraum Greinsfurth, die Wehranlage Greinsfurth, das Wasserkraftwerk Amstetten und sowie den Ausleitungskanal zur Verfügung standen, welche einen wesentlichen Einfluss auf die Grundwasserdynamik in dem betroffenen Modellbereich haben können.

Die Messungen am Pegel 326892 zeigen starke Schwankungen der Grundwasserstände im Jahr 2005 (siehe Abbildung 30). Ab 2010 erfolgt an diesem Pegel eine gute Wiedergabe der jährlich beobachteten Grundwassertiefstände mit dem Modell, was bis zu diesem Zeitpunkt nicht der Fall war. Es ist zu vermuten, dass dieses Grundwasserspiegelverhalten in Zusammenhang mit der Sanierung der Wehranlage in Greinsfurth im Jahr 2005 und der Errichtung des Restwasserkraftwerks bei der Wehranlage mit einer Fischaufstiegshilfe in 2010 stehen (Wikipedia, besucht 07.02.2024).

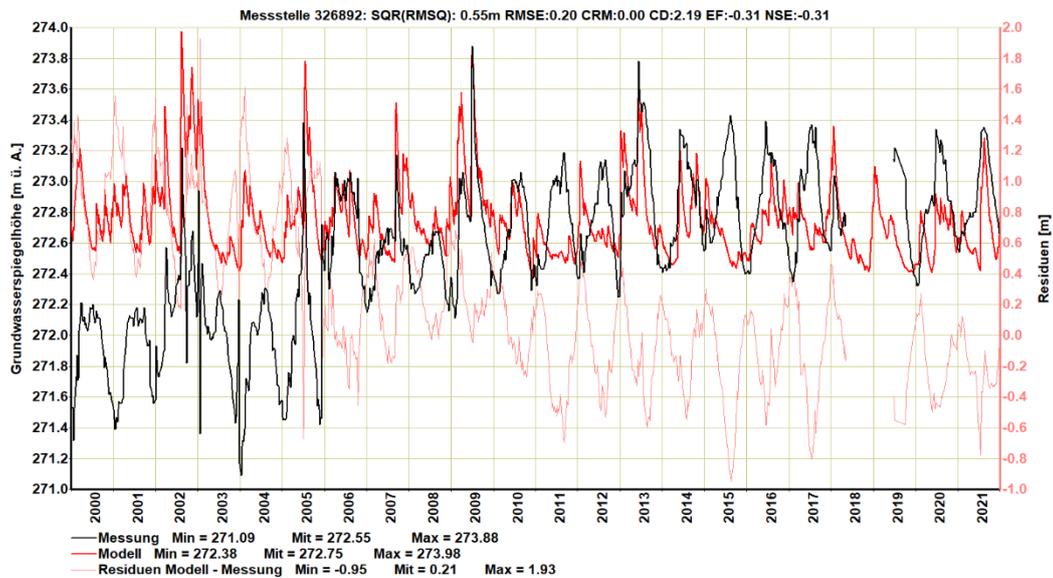


Abbildung 30: Gemessene und berechnete Grundwasserspiegelganglinien an der Messstelle 326892.

Am Pegel 322982 (Lage siehe Abbildung 2) zeigt der RMSE-Wert eine Unterschätzung des Grundwasserspiegels um 1,05 m. Der Pegel liegt am nördlichen Modellrand, wo der Grundwasserstauer nahe an die Geländeoberfläche kommt und die Grundwassermächtigkeit daher gering ist. Das Schwankungsverhalten des Grundwasserspiegels am Pegel 322982 dürfte maßgeblich vom angrenzenden Einzugsgebiet POW1 beeinflusst werden, da es sich grundlegend von der Dynamik am nächstgelegenen Pegel 326660 unterscheidet (Abbildung 31), der weniger nah am Modellrand liegt.

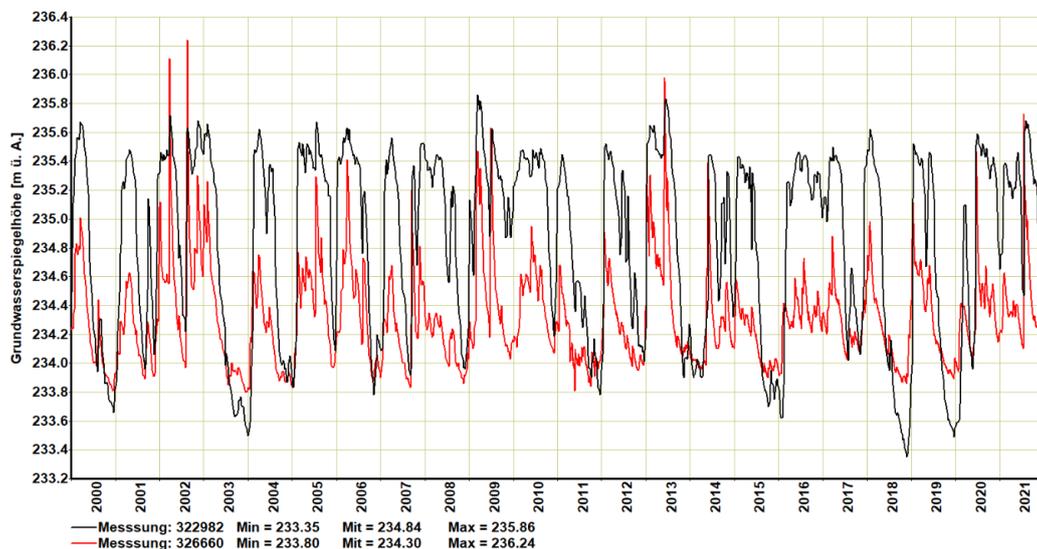


Abbildung 31: Gemessene Grundwasserspiegelganglinien an den Messstellen 322982 und 326660.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass trotz teilweise lückenhafter Daten für Modellparameter (z. B. Lage des Grundwasserstauers im Zentralbereich des Modellgebiets), Eigenschaften der Kraftwerke (Länge der Rückstauräume bzw. Unterwassereintiefungen) oder bei Entnahmedaten von einzelnen Wasserversorgungsanlagen das Grundwassermodell außerhalb der Unsicherheitsbereiche eine für wasserwirtschaftliche Fragestellungen geeignete Wiedergabe der

gemessenen Grundwasserspiegel im 22-jährigen Modellzeitraum aufweist, so dass robuste Prognosen der Auswirkungen von Maßnahmen auf den Grundwasserspiegel mit dem Grundwassermodell möglich sind.

5.3 Verteilung der Durchlässigkeit

In Abbildung 32 ist als Ergebnis der instationären Kalibration des Grundwassermodells Ybbstal die Verteilung der Durchlässigkeitsbeiwerte dargestellt.

Die resultierende Verteilung zeigt im Modellgebiet Ybbstal mit Werten zwischen 5×10^{-4} m/s und bis 8×10^{-3} m/s Durchlässigkeitsbeiwerte, die durchaus als typisch für derartige Grundwasserleiter angesehen werden können. Die größten Durchlässigkeitsbeiwerte sind 8×10^{-3} m/s für die Talfüllung und 5×10^{-3} m/s für den Schotter der Niederterrasse. Niedrigere Durchlässigkeitsbeiwerte ergeben sich für geologische Formationen am Rand des Modellgebiets, z.B. Molasse. Oberflächengewässer (Seen, Teiche) wurden mit einem Durchlässigkeitsbeiwert von 100 m/s im Modell definiert.

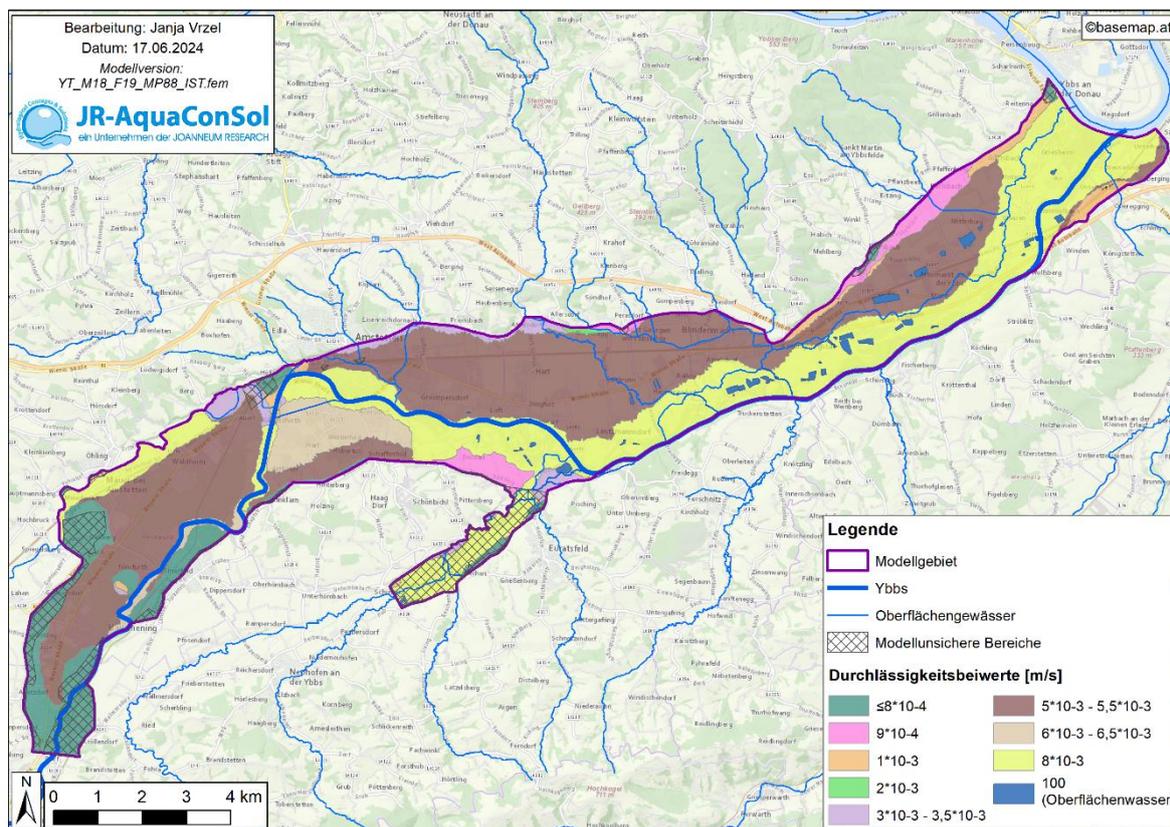


Abbildung 32: Verteilung der kalibrierten Durchlässigkeitsbeiwerte im Modellgebiet.

5.4 Verteilung der Porosität

Die Porosität (Abbildung 33) variiert grundsätzlich zwischen 10 % und 30 %. Für die Talfüllung wurde eine Porosität von 12 % ermittelt. Dieser Wert kann als typisch für den auffüllbaren und entleerbaren Speicherraum in voralpinen sandig-kiesigen Grundwasserleitern angesehen werden. Der Schotter in

der Niederterrasse zeigt eine Porosität von 15 % und im südwestlichen Teil des Modells von 10 %. Im südwestlichen Modellbereich wurde eine starke Dynamik des Grundwasserspiegels an der Messstelle 331496 beobachtet, weswegen dort die Porosität mit 8 % angenommen wurde. Oberflächengewässer (Seen, Teiche) sind im Modell mit einer Porosität von 100 % definiert.

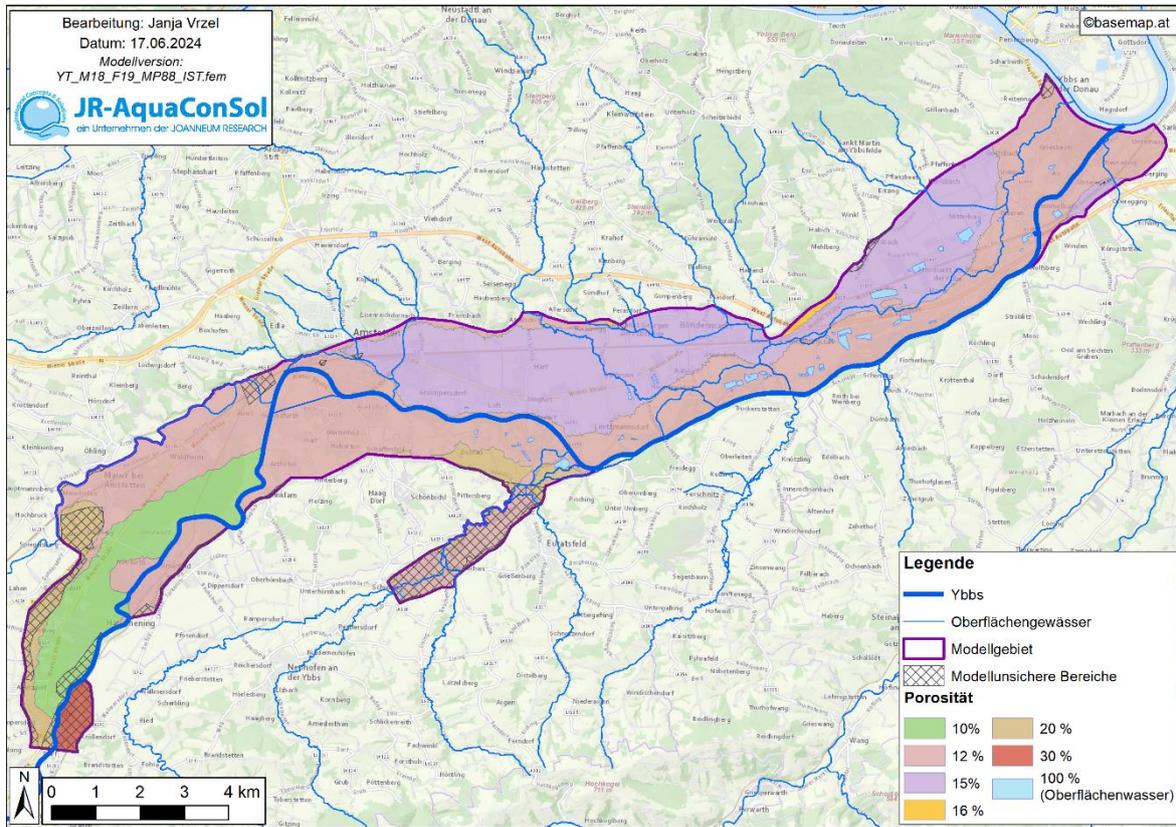


Abbildung 33: Verteilung der kalibrierten Porositäten im Modellgebiet.

6 Ergebnisse des Grundwasserströmungsmodells

6.1 Grundwasserbilanz

Die ausgewertete instationäre Grundwasserbilanz bei Realentnahme ist in Abbildung 34 als Prozentwert und in Tabelle 10 als Mittelwert über den gesamten Modellzeitraum dargestellt. Abbildung 34 zeigt deutlich die Relevanz der einzelnen hydrogeologischen Komponenten im Ybbstal. Es ist zu erkennen, dass 34 % des Grundwassers im Ybbstal von der Grundwasserneubildung kommen und ein nur geringfügig geringerer Anteil von 27 % des Grundwassers aus der Ybbs infiltriert. Der Zufluss aus der Ybbs ist somit bedeutender als der kumulierte Zufluss aus Url, Donau und Zauchbach. Der diffuse Zufluss über die Modellränder trägt 16 % zur Grundwasserbilanz bei. Im Zuge der Kalibration wurden die Ergebnisse des NAM-Modells reduziert (siehe dazu auch Beschreibung in Kap. 3.4.4.4). Die im Grundwassermodell verwendeten reduzierten diffusen unterirdischen Randzuflüsse sind in Abbildung 51 und Abbildung 52 (Anhang 1) dargestellt.

74 % der Exfiltration von Grundwasser werden über die Ybbs abgeführt. Die Entnahme aus den Brunnen betragen 7 % der Abflusskomponenten.

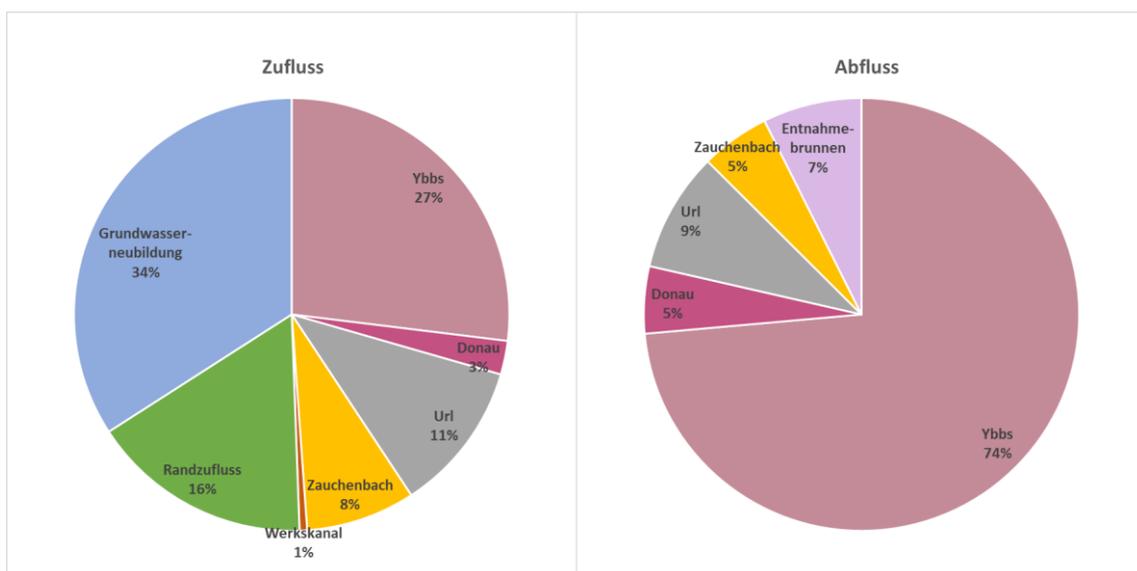


Abbildung 34: Graphische Darstellung der Bilanz (für die Periode 2000 bis 2021 und Realentnahmen) in Prozent.

Aufsummiert aus Zuflüssen und Abflüssen stellen die Drainage von Grundwasser in die Ybbs sowie die flächenhafte Grundwasserneubildung die dominanten Bilanzkomponenten dar (siehe Tabelle 10). Bei der Donau überwiegt ebenso die Drainagefunktion, während Url, Zauchbach und der Ausleitungskanal das Grundwasser eher anreichern. Die Grundwasserentnahmen stellen nur einen kleinen Teil der Abflüsse aus dem System dar, wobei es wichtig zu erwähnen ist, dass nicht alle Entnahmebrunnen im Modell implementiert sind. Die Differenz zwischen allen Zuflüssen und allen Abflüssen im Modellgebiet über den gesamten ganzen Modellzeitraum (2000-2021) beträgt nur 1,2 l/s.

Tabelle 10: Grundwasserbilanz des gesamten Modellgebiets für die Periode 2000 bis 2021 bei Realentnahmen. Berechnete Zuflüsse und Abflüsse sind Mittelwerte über ganzen Modellzeitraum 2000-2021.

Angaben in l/s		Zufluss	Abfluss	Differenz
Zu-/Abfluss aus/in Oberflächengewässer	Ybbs	518	-1415	-897
	Donau	48	-96	-48
	Url	216	-172	44
	Zauchbach	156	-99	57
	Werkskanal	11	-	11
Randzufluss		316	-	316
Grundwasserneubildung aus Niederschlag		656	-	656
Grundwasserentnahmen (Trinkwasser/Nutzwasser)		-	-141	-141
Summe		1921	1923	
Differenz				2

6.2 Verteilung von Flurabstand und Grundwassermächtigkeit bei mittleren Grundwasserspiegellagen (Median) im Modellzeitraum

Zur Dokumentation der Grundwasserströmungsverhältnisse, der verfügbaren Grundwassermächtigkeit und der resultierenden Grundwasserflurabstände bei Mittelwasserverhältnissen (Median des Grundwasserspiegels an jedem FE-Knoten) sind in Abbildung 35 die Verteilung der Grundwassermächtigkeit und in Abbildung 36 die zugehörigen Flurabstände mit den Grundwasserisohypsen im Ybbstal dargestellt. Dabei wurden die Grundwassermächtigkeiten aus der Differenz als Raster (mit einer Auflösung 10 m x 10 m) der berechneten mittleren Grundwasserspiegellagen und der Höhenlage des Grundwasserstauers (siehe Abbildung 8) berechnet. Die Ermittlung des Grundwasserflurabstandes (mit einer Auflösung 10 m x 10 m) erfolgte durch Verschnitt des digitalen Geländemodells mit einer Auflösung von 10 m x 10 m.

Die Grundwassermächtigkeit bei mittlerer Grundwasserspiegellage (Abbildung 35) ist im Zentrum des Ybbstales zwischen Neufurth und Hart mit Werten zwischen 10 m und 14 m am größten und nimmt zu den Modellrändern auf bis unter 2 m ab. Die Verteilung der Grundwassermächtigkeit wird in ihren wesentlichen Eigenschaften vom Relief des Grundwasserstauers (vergleiche Abbildung 8) geprägt.

Die Verteilung des Flurabstandes bei mittlerer Grundwasserspiegellage (Abbildung 36) wird dagegen in ihren maßgeblichen Eigenschaften vom Verlauf der Geländeoberkante beeinflusst. Durch den Anstieg des Geländes im Bereich des südwestlichen Modellrandes befinden sich in diesen Gebieten auch die höchsten Flurabstände mit Werten von bis zu 25 m. Im flachen Zentralbereich und im östlichen Bereich des Ybbstales ergeben sich mittlere Flurabstände von weniger als 5 m und im Schotter der Niederterrasse von weniger als 10 m.

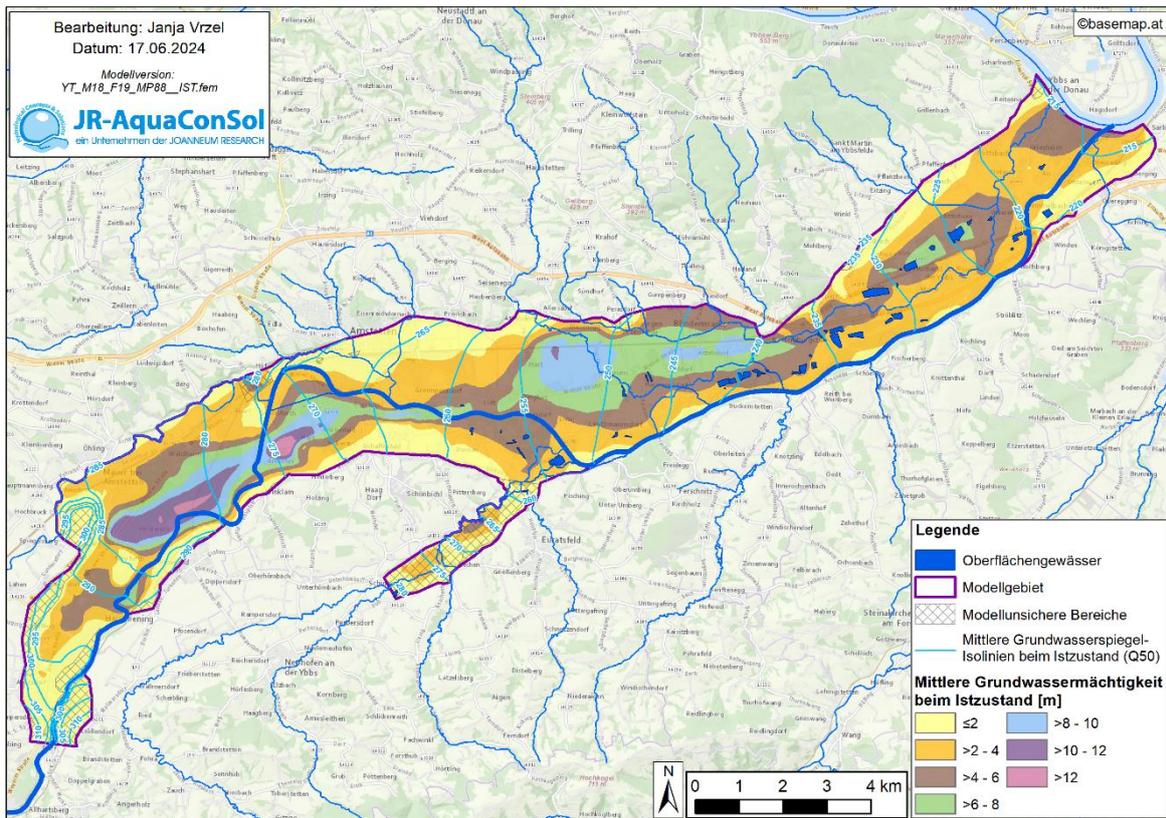


Abbildung 35: Isolinien des mittleren (Median) Grundwasserspiegels und zugehörige Verteilung der Grundwassermächtigkeit im Modellgebiet

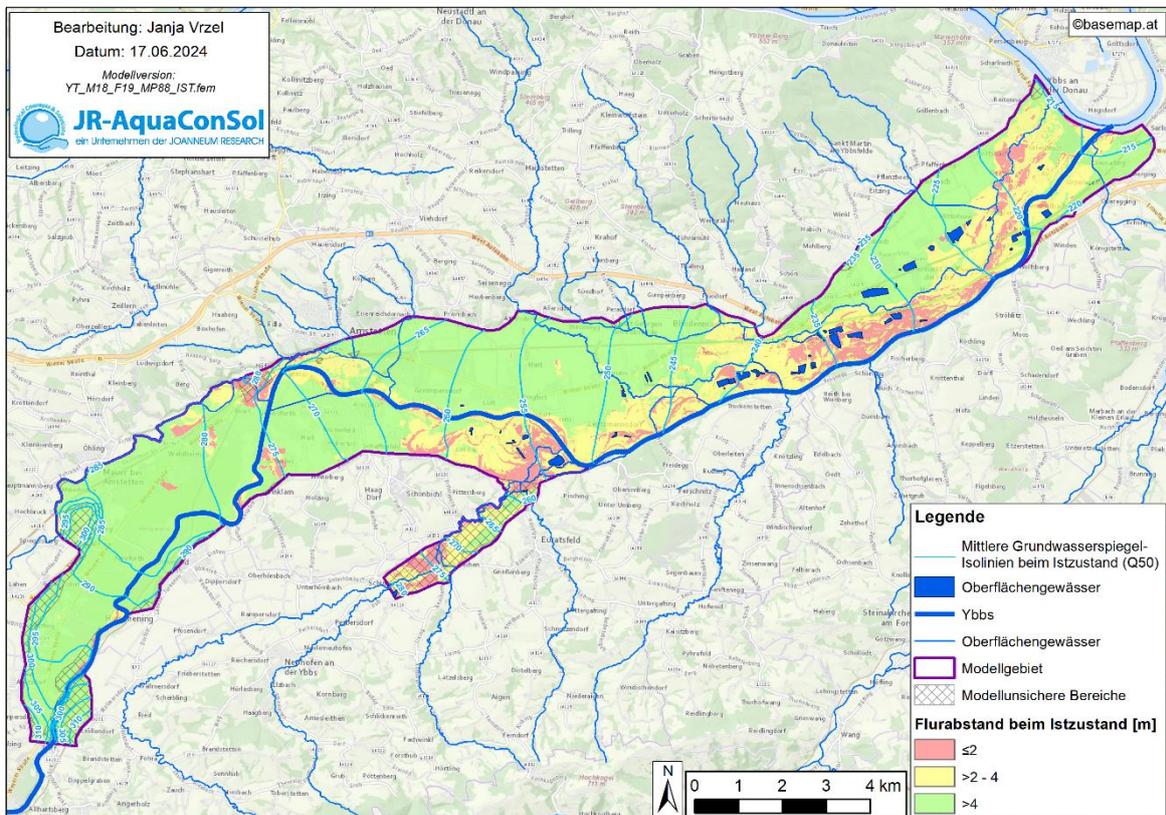


Abbildung 36: Isolinien des mittleren (Median) Grundwasserspiegels und zugehörige Verteilung des Flurabstandes im Modellgebiet.

7 Simulationsrechnung Konsensentnahme mit Hilfe des kalibrierten Grundwasserströmungsmodells

7.1 Einleitende Bemerkungen

In Tabelle 11 sind die bewilligten Konsensmengen der im Modellgebiet berücksichtigten Brunnen aufgelistet (siehe Spalte KON_{bew}). Für die mit einem Stern gekennzeichneten Brunnen konnten die bewilligten Konsensmengen nicht entnommen werden, weil die dauernde Entnahme zu einem Trockenfallen des Grundwasserleiters in diesem Bereich des Modellbereichs geführt hätte. Um in einem solchen Fall die Grundwasserströmungsgleichung dennoch lösen zu können, wird FEFLOW-intern die Randbedingung der konstanten Entnahme in eine Potentialrandbedingung mit einer verbleibenden Grundwasserspiegellage von 1 mm oberhalb der Höhe des Grundwasserstauers umgewandelt. Somit wird mit dem Grundwassermodell eine maximal mögliche variable Entzugsleistung an den jeweiligen Brunnenstandorten berechnet, ohne dass der Grundwasserkörper trocken fällt.

Die Werte der durchschnittlichen Entnahmen im Modell an diesen Brunnen sind daher in der Spalte KON_{Modell} (in l/s) der Tabelle 11 angegeben. In diesem Zusammenhang ist jedoch zu erwähnen, dass es im Modellzeitraum durchaus Zeiträume gibt, an denen das Modell die bewilligten Konsensmengen entnehmen kann.

Tabelle 11: Bewilligte Konsensentnahmemengen ($KON_{bewilligt}$) der im Grundwassermodell berücksichtigten Brunnen. Wenn das Modell die bewilligten Konsensmengen nicht entnehmen kann, dann wurden reduzierte Entnahmemengen (KON_{Modell}) angenommen.

Brunnen	KON_{bew}	KON_{Modell}	Brunnen	KON_{bew}	KON_{Modell}
	[l/s]	[l/s]		[l/s]	[l/s]
AMST_Br_Neufurth	13,2	-	Mondi_Gartenbr6	6,7	-
AMST_WW_VII_Br_Doislau1	27,5	-	Mondi_Portierbr	6,7	-
AMST_WW_VII_Br_Doislau2	27,5	-	Wirtschaftspark_Br	27,8*	27
AMST_WW_I_Allersdorf_Großfilterbr	100	-	Primus_Betriebsbr	10	-
AMST_WW_VI_Br_Wasserring	120	-	Poneder_Br	6,7	-
WVA_Blindenmarkt_Br_neu	16,5	-	Neumarkt_Br1_West	10	-
Br_Haslau	5,1	-	Neumarkt_Br2_Ost	11,7	-
Br_Zehetner	20,8	-	Mondi_Haidbr2	20	-
Hausberger_Br_I	7,5*	7,3	Mondi_Haidbr4	16,6	-
Hausberger_Br_II	7,5	-	Mondi_Haidbr1	18,3	-
Landeskrankenhaus_BrII_neu	6,8	-	Mondi_Haidbr3	20	-
Ybbs_Götttsbach_Br2	20*	17,4	Mondi_Haidbr5	25	-
Ybbs_Götttsbach_Br3	20*	14,6	Br_Doislau	9,1	-
Ybbs_Götttsbach_HF-Br4	20*	-	Mondi_Ybbsbr1	52,1	-
Voest Alpine_Br	8,8	-	Mondi_Ybbsbr2	52,1	-
Buntmetall_Br1_Werksbr	0,6	-	Mondi_Ybbsbr2	52,1	-
Buntmetall_Br2_EggersdorferBr	8*	7,4	Mondi_Ybbsbr2	52,1	-
Buntmetall_Br3_Badbr	8	-			

Aus den Brunnen Wopfinger 1 und 2 (Lage siehe Abbildung 3) konnte mit dem Grundwassermodell kein Grundwasser entnommen werden. Die Standorte der beiden Brunnen befinden sich unmittelbar am Modellrand, wo sich aufgrund der Topographie des angrenzenden Geländes kein Randzufluss in das Modellgebiet ergibt und gleichzeitig eine Stauerhochlage besteht. Dieses Teilgebiet wurde auch als ein modellunsicherer Modellbereich gekennzeichnet.

Die Konsensmenge von einzelnen Brunnen wurde über die Gesamtkonsensmenge der bewilligten Anlage ermittelt und in den Modellberechnungen verwendet. Das heißt, dass einzelne Brunnen für sich allein zwar einen höheren Konsens besitzen, aber aufgrund der Konsensmenge aller Brunnen zusammen mit einer verminderten Konsensmenge im Modell simuliert werden. Die Brunnen Buntmetall_Br1_Werksbr, Buntmetall_Br2_EggersdorfBr, Buntmetall_Br3_BadBr haben für Einzelbetrieb Konsensmengen von 1,3 l/s, 13,3 l/s und 16,7 l/s. Diese Mengen übersteigen die Gesamtkonsensmenge von 16,6 l/s deutlich. Daher wurde im Modell lediglich die Gesamtsumme von umgerechnet 16,6 l/s auf die 3 Brunnen aufgeteilt und damit das Einzugsgebiet berechnet.

Wenn nur die Gesamtentnahme für alle Brunnen eines Brunnenfeldes bekannt ist, wurde diese gleichmäßig auf alle Brunnen verteilt. Dies betrifft die folgenden Brunnenfelder:

- AMST_WW_VII_Br_Doislau (Br 1 und Br 2)
- Hausberger Brunnen (Br I und Br II),
- Ybbs_Göttsbach Brunnen (Br 2, Br 3, HF-Br4).

7.2 Ergebnisse der Simulationsrechnung

Die Auswirkung der dauernden Entnahme der Konsenswassermenge an den Entnahmebrunnen auf die Grundwasserströmungsverhältnisse (Abbildung 37) ist in erster Linie durch die Ausbildung von Absenkungsbereichen im Nahbereich der Brunnen gekennzeichnet. Naturgemäß zeigen sich im Nahbereich bzw. Anströmbereich der Entnahmebrunnen die höchsten Differenzen, da im normalen Betrieb der Wasserversorgungen (Istzustand) nicht ständig die Konsensmenge entnommen wird. Wenn mehrere Entnahmebrunnen nahe beieinanderliegen (z.B. die Brunnen Ybbs_Göttsbach) bzw. wenn der Unterschied zwischen Real- und Konsensentnahme besonders ausgeprägt ist, ergeben sich zusammenhängende Bereiche von großflächigerer Absenkung. Es sei darauf hingewiesen, dass bei diesen Berechnungen die Realentnahmen an einigen Brunnen (siehe Abbildung 3) nicht berücksichtigt wurden, da sie nicht zur Verfügung standen. Daher sind die Absenkungen in Abbildung 37 bei solchen Brunnen größer als bei den Brunnen, aus denen in beiden Zuständen (Istzustand und Konsenszustand) Grundwasser entnommen wird.

Die Differenzenbildung zwischen den mittleren Grundwasserspiegelhöhen der Simulationsvariante Konsensentnahme mit den mittleren Grundwasserspiegelhöhen beim Istzustand (Abbildung 37) zeigt in Bereichen, wo mehrere Entnahmebrunnen beieinanderliegen, einen gemeinsamen Absenkungstrichter bei folgenden Brunnenfeldern:

- drei Brunnen in Göttsbach zeigen eine gemeinsame Absenkung bis 2 m;
- drei Buntmetall-Brunnen zeigen eine gemeinsame Absenkung bis 1 m;
- zwei Amstetten Brunnen (AMST_WW_I_Allersdorf_Großfilterbr und AMST_WW_VI_Br_Wasserring) zeigen eine gemeinsame Absenkung bis 2 m;

- 17 Brunnen zwischen Hausmening, Göstling und Gunnersdorf bilden einen zusammenhängenden Bereich von Absenkungen des Grundwasserspiegels von zwischen 0,2 m und 2 m.

Bei den Brunnen Br_Zehetner, WVA_Blindenmarkt_Br_neu, Neumarkt_Br1_West, Neumarkt_Br2_Ost und Primus_Betriebsbr ergeben sich individuelle Absenkungen des Grundwasserspiegels zwischen Ist- und Konsensentnahme von bis zu 0,5 m.

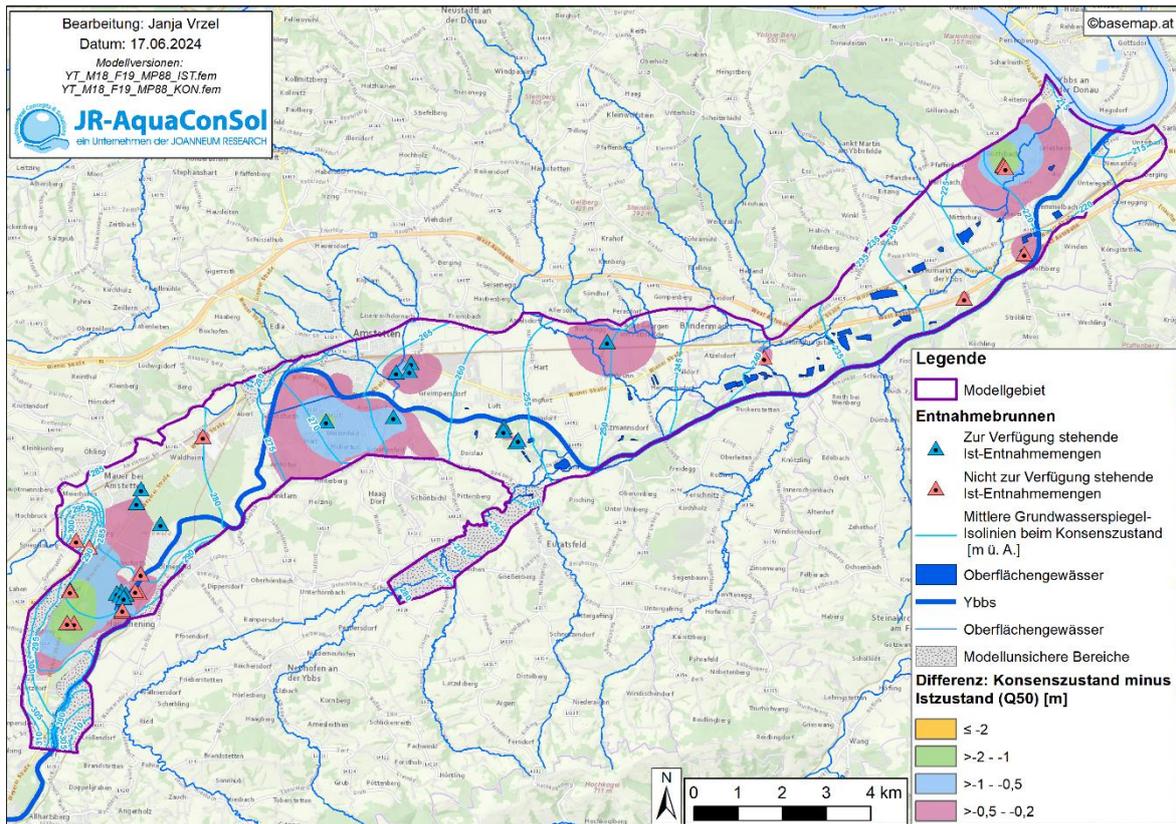


Abbildung 37: Grundwasserspiegelabsenkungen bei Konsenszustand im Vergleich zum Istzustand.

8 Instationär berechnete Brunneneinzugsgebiete

8.1 Methodische Grundlagen zur instationären Berechnung von Brunneneinzugsgebieten

Eine mögliche Methode zur Ermittlung von instationären berechneten Einzugsgebieten besteht über das permanente Starten von virtuellen Wasserpartikeln und deren Verfolgung bis zu einem Brunnen bzw. bis zum Verlassen des Gebietes. Dieser instationäre Weg eines Wasserpartikels ist eine Bahnlinie und ist in ROCK & KUPFERSBERGER (2002) in Einzelheiten dargelegt.

8.1.1 Konzept der EZG-Ermittlung mittels Bahnlinien

Bei der Ermittlung von instationär berechneten Einzugsgebieten mittels Bahnlinien werden im Modellgebiet (oder einem Teilgebiet davon) in einem regelmäßigen Abstand Bahnlinien (Wasserpartikel) gestartet und deren Weg verfolgt. Um das gesamte Einzugsgebiet zu erhalten, muss in jedem Zeitschritt eine neue Schar von Bahnlinien gestartet werden. Nach jedem Zeitschritt werden die Bahnlinien mittels der aktuellen lokalen Geschwindigkeitsvektoren und der Zeitschrittdifferenz zum letzten Zeitschritt weitergerechnet. Auf diese Weise erhält man die mit dem Strömungsmodell konsistente Bewegung des Wassers im instationären Strömungsfeld. Bei jeder Bahnlinie wird der Ausgangspunkt sowie die seit Start der Bahnlinie vergangene Zeit (Summe der Zeitschrittdifferenzen) gespeichert. Nach Berechnung jedes Zeitschrittes wird überprüft, ob die aktuelle Position von Bahnlinien innerhalb des gewählten Fangradius eines angegebenen Brunnens liegt. Liegt eine Bahnlinie im Fangradius, gehört die Bahnlinie zum Einzugsgebiet des jeweiligen Brunnens. Über die Ausgangsposition der Bahnlinie samt zugehöriger Fläche (Zelle um den Ausgangspunkt) erhält man einen Teil des Einzugsgebietes. Dabei werden mehrere an derselben Stelle gestartete Bahnlinien von einem Brunnen eingezogen. Da die Verweildauer jeder Bahnlinie gespeichert ist, kann zusätzlich zur Lage der zugehörigen Fläche (um den Startpunkt) noch die minimale, die maximale und die mittlere Verweilzeit berechnet werden. Zusätzlich kann berechnet werden wie viele Prozent der gesamten gestarteten Bahnlinien aus einem definierten Punkt im untersuchten Brunnen angelangt sind.

8.1.2 Auswertung der EZG-Ermittlung mittels Bahnlinien

Auf Basis der EZG-Ermittlung mittels Bahnlinien können aus den Informationen der Bahnlinien (Startpunkt und Verweildauer) unterschiedliche flächenhafte Auswertungen erstellt werden. Dabei werden alle Informationen auf die zum Startpunkt gehörige Zelle bezogen und als Rasterdatensatz gespeichert. Aus der Anzahl der Bahnlinien, die in einem Brunnen angekommen sind, kann in Bezug auf die Gesamtanzahl der im Startpunkt gestarteten Bahnlinien die zeitliche Häufigkeit der Zelle als Teil des Brunneneinzugsgebietes ermittelt werden. Im realisierten Verfahren wird die Häufigkeit als Prozentsatz angegeben. Mittels der mit jeder Bahnlinie gespeicherten Verweildauer können in analoger Weise Rasterdatensätze der minimalen, maximalen und durchschnittlichen Verweildauer erstellt werden. Durch Differenzbildung der maximalen und minimalen Verweildauer kann mittels GIS-Rasterfunktionen daraus die Schwankung der Verweildauer berechnet werden. Die Visualisierung dieser Ergebnisse (speziell der Häufigkeit) ermöglicht eine differenzierte Betrachtung und Bewertung der Einzugsgebietsfläche. Jene Zonen, die ständig zum Einzugsgebiet gehören sind von jenen, die zeitweise dazugehören, optisch leicht zu unterscheiden. Mittels der Darstellung von Linien gleicher Häufigkeit sind die Zonen sogar automatisiert bestimmbar.

8.2 Instationär berechnete Brunneneinzugsgebiete

Für die Konsensvariante des Grundwassermodells Ybbstal wurden die Einzugsgebiete für 35 Brunnenstandorte berechnet. Zusätzlich wurden die Einzugsgebiete von 6 einzelwasserversorgten Ortschaften berechnet. Alle Einzugsgebiete wurden mit einer Zellweite für den Startraster der Bahnlinien von 50 m und einem Startintervall von 7 Tagen berechnet. Die instationär berechneten Brunneneinzugsgebiete der Entnahmebrunnen sind in Abbildung 38 dargestellt.

Als Ergebnis für das Grundwassermodell Ybbstal wurden die Raster der mittleren Verweildauer ausgewertet. Dabei zeigt sich, dass sich die Einzugsgebiete vom zentralen Modellbereich bis zum Südosten des Modellgebiets über das gesamte Ybbstal erstrecken. Die Einzugsgebiete sind teilweise oft überlagert, d.h. Gebietsteile sind abwechselnd Einzugsgebiete unterschiedlicher Brunnen. Aus diesem Grund wurden die Einzugsgebiete mittels eines speziellen GIS-Verfahrens in Form eines 50 m x 50 m Rasters verschnitten, sodass in jeder Rasterzelle die höchste mittlere Verweildauer dargestellt wird. Dabei wurde eine Kategorisierung mit jährlichen Abstufungen bis zu einer Dauer von 8 Jahren verwendet. Die rötlichen Zellen stellen dabei Bereiche mit einer Verweildauer von weniger als einem Jahr dar.

Die höchsten Entnahmemengen sind an den Brunnen AMST_WW_I_Allersdorf_Großfilterbr (100 l/s) und AMST_WW_VI_Br_Wasserring (120 l/s). Diese zwei Brunnen bilden zusammen mit Brunnen AMST_WW_VII_Br_Doislau 1 und 2, Br_Haslau, Br_Doislau, Buntmetall_Br1_Werksbr, Buntmetall_Br2_EggersdorferBr und Buntmetall_Br3_Badbr innerhalb eines Jahres ein gemeinsames Einzugsgebiet im zentralen Bereich des Ybbstales, welches nach 5 Jahren unterirdischer Verweildauer an den Rand des Ybbstales grenzt. Es überschneidet sich mit den Einzugsgebieten anderer Entnahmebrunnen im äußersten Südwesten, so dass eine Konkurrenzsituation zwischen den einzelnen Wasserversorgungsanlagen besteht.

Ebenso überlagern sich die Einzugsgebiete der Brunnen WVA_Blindenmarkt_Br_neu und Neumarkt_Br1_West, die sich vom südlichen bis an den nördlichen Modellrand erstrecken. Die Ybbs agiert in diesem Teil als Vorflut für das Grundwasser. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass der Grundwasserleiter in diesem Bereich des Ybbstals durch den Trieseneggerbach infiltriert wird. Dieser ist zur Zeit nicht Bestandteil des Modells, weil es laut Auskunft der Auftraggeberin keine Verbindung zwischen den Bächen und dem Grundwasser im Ybbstal gibt.

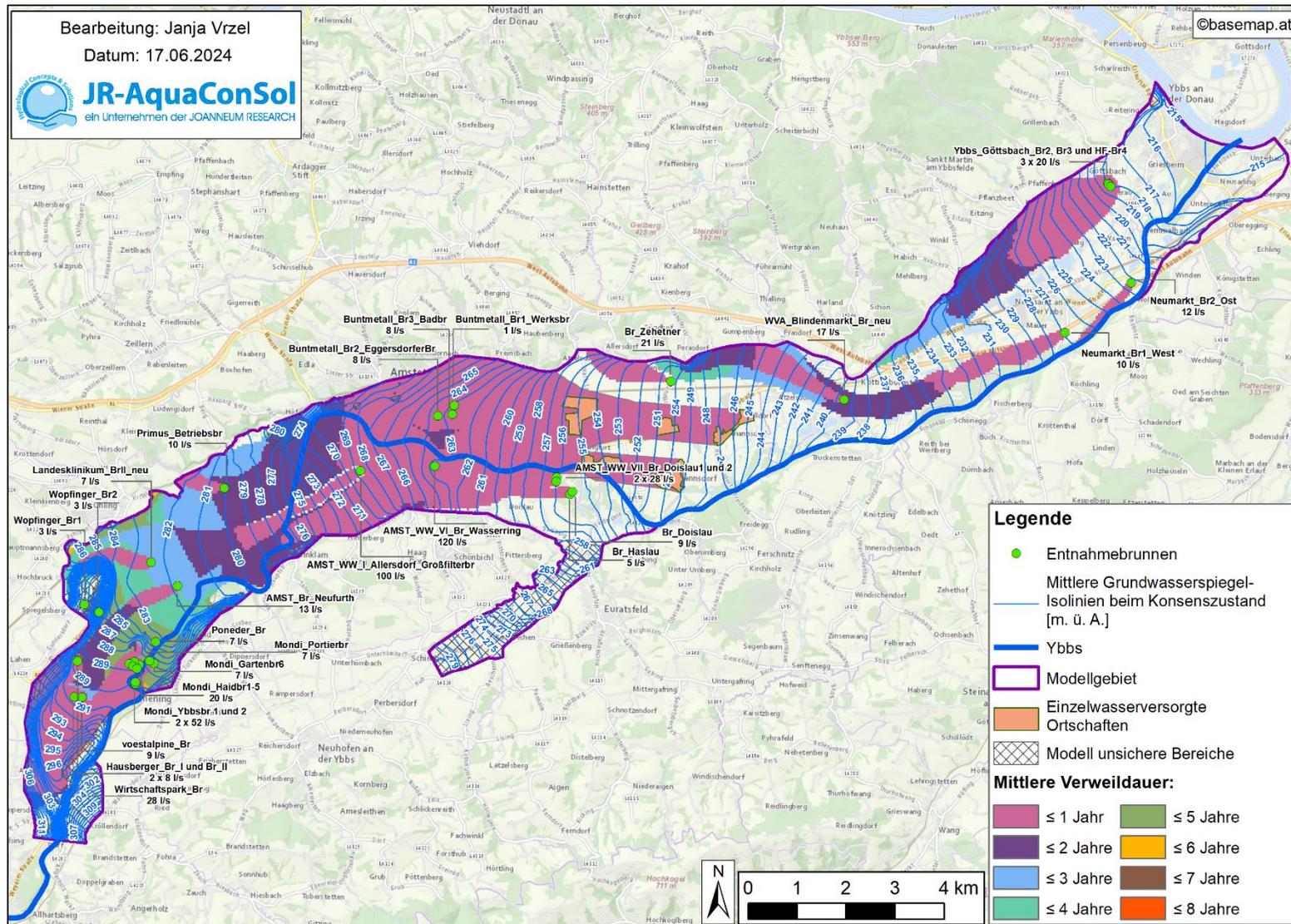


Abbildung 38: Instationär berechnete Einzugsgebiete von Entnahmekbrunnen bei Konsensentnahme (mittlere Verweildauer).

9 Trinkwasserhoffungsgebiete – Sicherung der Trinkwasser-Ressourcen (Vorsorge)

9.1 Idee

Innerhalb eines zusammenhängenden Grundwasserkörpers sollen Teilgebiete ermittelt werden, deren Bedeutung für die Trinkwasservorsorge (= zukünftige Trinkwasserversorgung) so groß ist, dass sie vor den Folgen von Nassbaggerungen geschützt werden sollen. Diese Gebiete werden Trinkwasser-Hoffungsgebiete genannt. Darüber hinaus besteht auch in Bereichen, die Einzugsgebiete solcher Trinkwasser-Hoffungsgebiete sind, erhöhtes wasserwirtschaftliches Schutzinteresse. Daher werden sowohl Hoffungsgebiete als auch deren Einzugsgebiete als wasserwirtschaftliche Vorranggebiete für die Trinkwasserversorgung ausgewiesen.

9.2 Vorgaben

Die Beurteilung soll anhand quantifizierbarer Parameter erfolgen, damit ein überregionaler Vergleich möglich ist. Der Planungszeitraum für Vorsorgemaßnahmen wird als unendlich angenommen, weshalb die Eigenschaft Grundwasserqualität (= nicht geogene Belastungen des Grundwassers) nicht als Beurteilungsparameter verwendet wird, da der weitere Verlauf der Grundwasserqualität nicht bekannt ist, und grundsätzlich im Sinne des flächenhaften Grundwasserschutzes künftig von der Nutzbarkeit des gesamten Grundwassers für die Wasserversorgung auszugehen ist.

9.3 Vorgangsweise/Methodik

Zur Ermittlung der Trinkwasserhoffungsgebiete wurde das Verfahren des AMTES DER NIEDERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG – ABTEILUNG WASSERWIRTSCHAFT (2002) auf Rasterebene anstatt auf homogenen Teilgebieten des instationär kalibrierten Grundwasserströmungsmodells angewendet. Das modifizierte Verfahren ist im Folgenden beschrieben und setzt sich aus den folgenden drei Komponenten zusammen:

- Berechnung von hydraulischen Beurteilungsparametern aus den Modellergebnissen auf Rasterbasis
- Bestimmen des Zielerfüllungsgrades jeder Rasterzelle im definierten Zielsystem (Übergeordnetes Ziel = quantitative Eignung einer Rasterzelle zur Trinkwassergewinnung)
- Interpretation der Berechnungsergebnisse

Ermittlung der hydraulischen Parameter auf Rasterbasis:

Aus den Ergebnissen der Kalibration des instationären Grundwasserströmungsmodells sind auf der geometrischen Basis eines gleichmäßigen Rasters folgenden Parameter abzuleiten:

- hydraulische Durchlässigkeit aus kalibriertem GW-Modell (k_f -Wert [m/s])
- Grundwassermächtigkeit aus der Differenz der mittleren Grundwasserspiegelhöhen (Q50-Berechnungsergebnisse) und der Höhenlage des Grundwasserstauers (Mächtigkeit H [m])
- Grundwassergefälle aus den mittleren Grundwasserspiegelhöhen (J [])

9.3.1 Berechnung der Beurteilungsparameter

Als Beurteilungsparameter für die potentielle Eignung je Rasterzelle zur Trinkwassergewinnung wurden ausgewählt:

- Spezifischer Durchsatz (q [l/s/km])

Die Durchsatzmenge q umgerechnet auf ein gedachtes, 1000 m breites, normal durchströmtes Profil mit den Kennwerten k_f , H und J wird für jede Zelle berechnet.

$$q = k_f \cdot H \cdot J \cdot 1000 \cdot 1000 \left[\frac{l}{s} / km \right]$$

- Beurteilungsentnahmemenge (Q [l/s])

Dieser Parameter soll die theoretisch mögliche, maximale Entnahmemenge berücksichtigen.

Für jede Rasterzelle wird mit den Kennwerten k_f und H die Fördermenge berechnet, bei der bei Förderung aus einem vollkommenen Brunnen mit einem Ausbauradius $r = 0,3$ m eine Absenkung von $s = 1$ m entsteht. Verwendet wird dazu die Brunnenformel von Dupuit-Forchheimer für gespannte Aquifere (Bei kleinen Absenkungen ist die Abweichung zur Absenkung bei ungespannten Aquiferen vernachlässigbar gering.).

$$Q = 2 \cdot \pi \cdot k_f \cdot \frac{s}{\ln \frac{R}{r}} \cdot H \cdot 1000 \left[\frac{l}{s} \right]$$

Die Reichweite der Absenkung (R [m]) wird dabei nach der Reichweitenformel nach Sichardt berechnet:

$$R = 3000 \cdot s \cdot \sqrt{k_f} [m]$$

9.3.2 Mehrzieloptimierung

Um mehrere Parameter (hier zwei) zu einem einzigen Zielerfüllungswert aggregieren zu können, der die Teilgebiete untereinander vergleichbar macht, wird ein Zielsystem erstellt.

Ziel große Menge an Grundwasser in der Zelle (= gute Eignung zur Trinkwassergewinnung)

- Teilziele:**
1. hoher GW-Durchsatz
(Mindestanforderung 5 l/s*km, ab 100 l/s*km ist das Teilziel vollständig erreicht)
 2. große theoretische Entnahmemenge bei gegebener Absenkung (1 m) = großes Grundwasservolumen in der Zelle (Mindestanforderung 10 l/s, ab 100 l/s ist das Teilziel vollständig erreicht)

Aggregation der berechneten Parameter zu einem einzigen Zielerfüllungsgrad

Folgende Umrechnung wird mit den Parametern q und Q für jedes Teilgebiet i durchgeführt:

- Unterhalb des Mindestwertes ($q_{min} = 5$ l/s*km, $Q_{min} = 10$ l/s) beträgt der Teilzielerfüllungswert $Z_{q,i}$ bzw. $Z_{Q,i} = 0$.

- Ab dem Optimalwert ($q_{opt} = 100 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$, $Q_{opt} = 100 \text{ l/s}$) beträgt der Teilzielerfüllungswert $Z_{q,i}$ bzw. $Z_{Q,i} = 5$.
- Bei dazwischen liegenden Werten wird linear interpoliert.

Der Erfüllungswert jedes Teilziels wird mit der Gewichtung des Teilziels (hier jeweils 50) multipliziert.

Die beiden Teilzielerfüllungswerte werden zu einem Wert w_i aggregiert, der die Abweichung von einer optimalen Zielerfüllung (beide Teilzielerfüllungswerte = 5) repräsentiert.

$$w_i = \sqrt{\left(p_q \cdot (5 - Z_{q,i})\right)^t + \left(p_Q \cdot (5 - Z_{Q,i})\right)^t}$$

p_q	Gewichtung von q (= 50)
p_Q	Gewichtung von Q (= 50)
t	Exponent (hier $t = 2$)
$Z_{q,i}, Z_{Q,i}$	jeweilige Teilzielerfüllungswerte einer Zelle i
w_i	Zielabweichungswert einer Zelle

Die Wahl des Exponenten „ t “ beeinflusst das Ergebnis der obigen Formel maßgeblich: bei Werten von $t > 5$ schneiden Gebiete mit ausgeglichen guten Teilzielerfüllungswerten besser ab, bei Werten von $t < 1$ schneiden Teilgebiete mit besonders guten Teilzielerfüllungswerten in einem Teilziel und schlechteren Teilzielerfüllungswerten in den anderen besser ab. Mit $t = 2$ wurde der Wert hier im Mittelbereich gewählt.

Der Wert w_i sagt aus, wie groß die aggregierte Abweichung vom Optimum in beiden Parametern ist. Je kleiner er ist, desto größer ist die Zielerfüllung.

Aus Gründen der Anschaulichkeit wurde der hier errechnete Wert noch einer Transformation unterworfen. Einem maximalen Zielabweichungswert (hier $w_i = 353,3$ wenn beide Teilzielerfüllungswerte = 0) wurde ein Zielerfüllungsgrad von 0 % zugeordnet, einem minimalen Zielabweichungswert ($w = 0$) ein Zielerfüllungsgrad von 100 %. Dazwischen liegende Werte wurden linear interpoliert. Der so ermittelte Wert drückt also aus, wie viel Prozent der erreichbaren Zielerfüllung einer Zelle mit seinen Werten q_i und Q_i erreicht.

9.4 Ergebnis

9.4.1 Teilziel 1 – Hoher Grundwasserdurchsatz

Im zentralen Bereich des Modellgebiets, ergeben sich mehr als 75 % des Zielerfüllungskriteriums 1 „Hoher Grundwasserdurchsatz“ (dargestellt in Abbildung 39). Dagegen sind am Rand des Modellgebiets nur weniger als 25 % der Zielerfüllungsgrad (d. h. geringer Grundwasserdurchsatz) vorhanden. Die Verteilung wird im Wesentlichen von der vorhandenen Grundwassermächtigkeit (siehe Abbildung 35) geprägt, d. h. ab einer Mächtigkeit größer ca. 6 m herrscht ein hoher und bis zu einer Mächtigkeit von 2 m nur ein geringer Grundwasserdurchsatz.

Hier sei noch einmal darauf hingewiesen, dass die Angaben zum Zielerfüllungskriterium 1 im Bereich des Zauchbachtals mit einer gewissen Unsicherheit behaftet sind, da keine Daten für eine zuverlässige Anpassung des Modells zur Verfügung stehen.

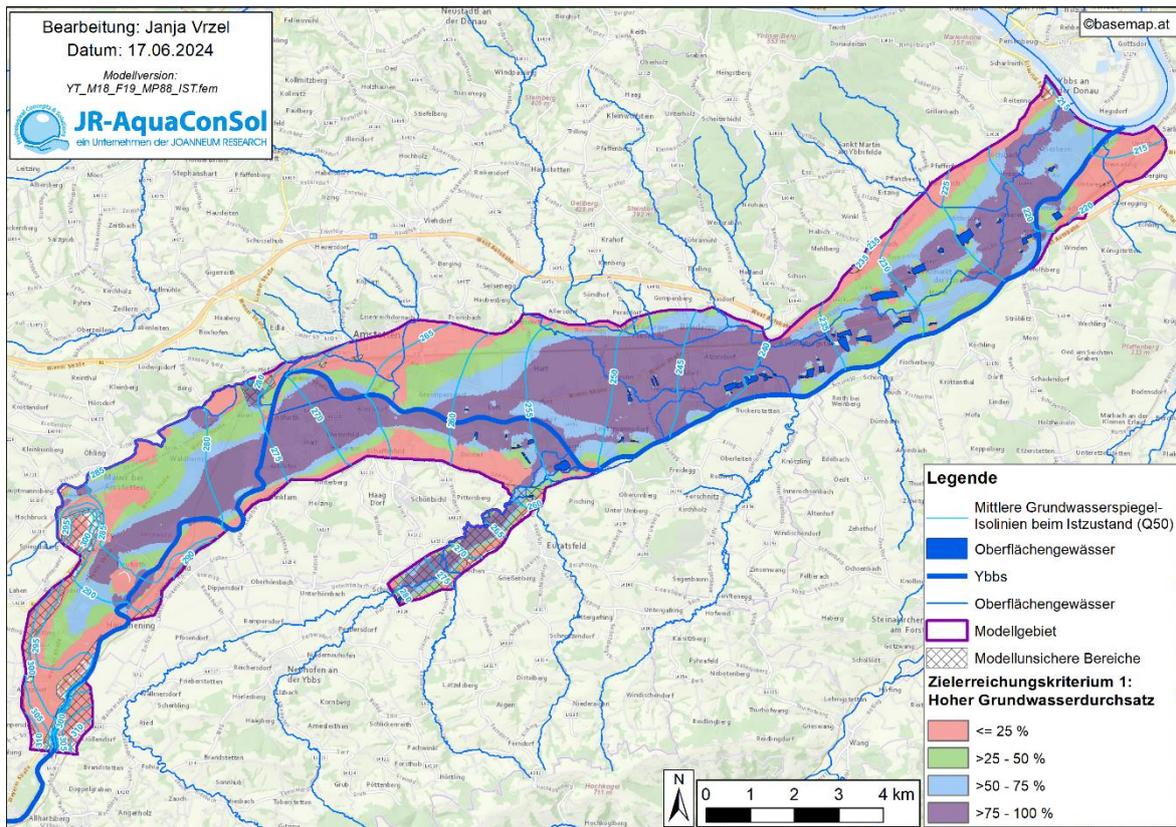


Abbildung 39: Zielerfüllungsgrad Teilziel 1 „Hoher Grundwasserdurchsatz“

9.4.2 Teilziel 2 – Große theoretische Entnahmemenge

In Abbildung 40 ist der Erreichungsgrad des Zielerfüllungskriteriums 2 „Große theoretische Entnahmemenge“ im Ybbstal abgebildet. Im überwiegenden Teil des Modelbereiches zwischen Amstetten und der Donau ist der Zielerfüllungsgrad größer als 50 %. Gegen den nördlichen und südwestlichen Rand des Modells nimmt der Zielerfüllungsgrad auf Werte unter 25 % ab.

Für die Ermittlung der Entnahmemenge für das Zielkriterium 2 wurde die Absenkung des Grundwasserspiegels mit max. 1 m begrenzt. Die berechneten zusätzlichen Absenkungen bei Entnahme der Konsensmenge im Vergleich zur Istentnahme (Abbildung 37) zeigen aber, dass sich sowohl lokal (Raum Götsbach und Amstetten) als auch großflächig (Bereich Hausmening, Göstling und Gunnersdorf) größere Absenkungen als 1 m ergeben.

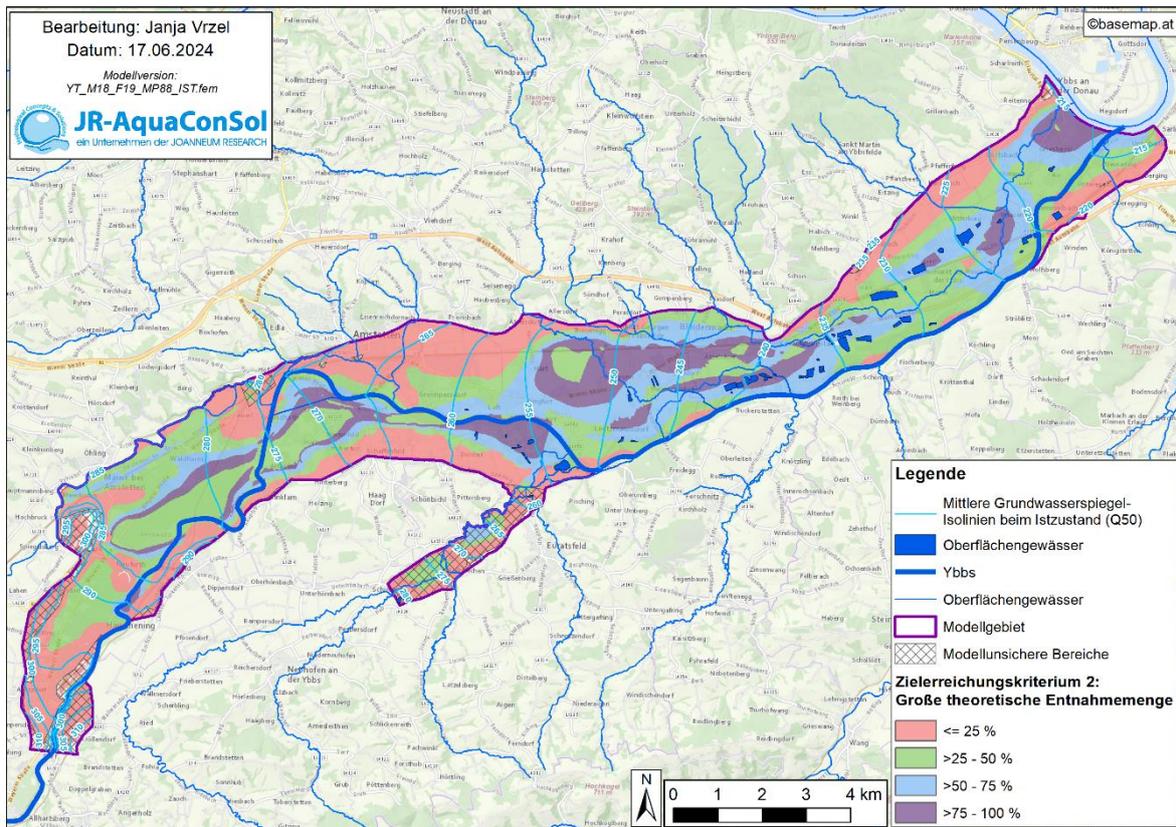


Abbildung 40: Zielerfüllungsgrad Teilziel 2 „Große theoretische Entnahmemenge“

9.4.3 Ziel Gesamt – Hoher Grundwasserdurchsatz und große theoretische Entnahmemenge

Die Verteilung der Flächen mit dem Zielerfüllungsgrad für das Gesamtziel (Zielerfüllungskriterien 1 & 2) ist in Abbildung 41 dargestellt. Ein Gesamterfüllungsgrad größer als 50 % folgt dem Verlauf der Niederterrasse von Hausmening bis zur Donau. In Richtung der nördlichen und der südwestlichen Modellgrenze fällt der Gesamterfüllungsgrad auf unter 25 % ab. Zonen mit dem größten Gesamterfüllungsgrad (> 75%) befinden sich im zentralen Teil des Verlaufs des Ybbstailes und entsprechen im wesentlichen Bereichen mit Grundwassermächtigkeiten größer als 8 m (siehe Abbildung 35).

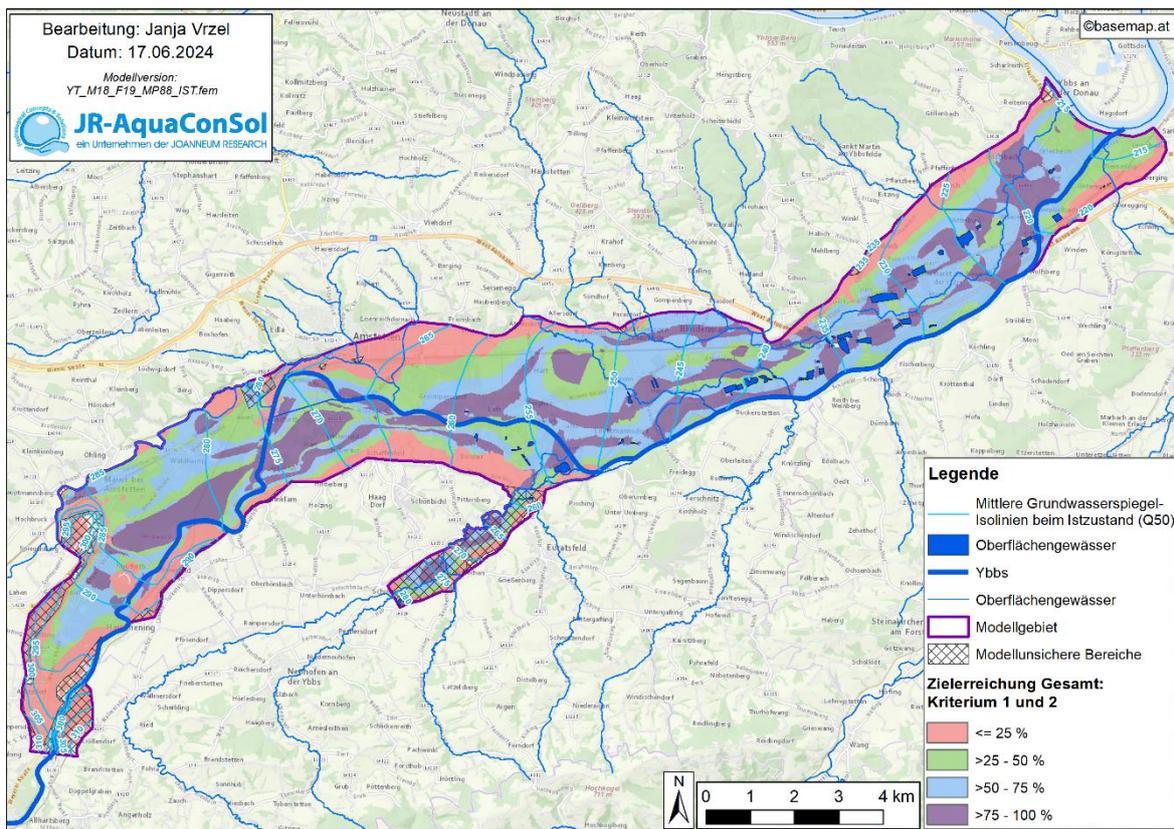


Abbildung 41: Gesamterfüllungsgrad bestehend aus Teilzielen 1 „Hoher Grundwasserdurchsatz“ und Teilziel 2 „Große theoretische Entnahmemenge“.

9.4.4 Wasserwirtschaftlich schutzwürdige Bereiche

Da der Schutz der Grundwassers nicht nur in Gebieten mit einem hohen Zielerfüllungsgrad, sondern auch in den Einzugsgebieten der Hoffungsgebiete von Bedeutung ist, wurden in Anwendung der Methodik aus FANK (2009) in der Abbildung 42 die berechneten Brunneneinzugsgebiete von Trinkwasserversorgungen bis an die Modellgrenzen verlängert. Abbildung 42 basiert somit auf Abbildung 38, wobei jetzt nur die Umhüllenden der Einzugsgebiete ohne die abgestuften Verweilzeiten enthalten sind. Zusätzlich sind in Abbildung 42 die schutzwürdigen Zustromgebiete zu den einzelwasserversorgten Ortschaften (durch gelbe Schraffur) und die Einzugsgebiete der Entnahmebrunnen unterteilt in Bereiche mit Fließzeiten bis zu einem Jahr und größer als 1 Jahr (rote bzw. grüne Schraffuren) abgebildet. Aus dieser Darstellung ist ersichtlich, dass der komplette südliche Teil des Modellgebiets sowie der Zentralbereich des Ybbstales zu den Einzugsbereichen von Wasserversorgungsanlagen gehört.

Somit ergibt sich für das Ybbstal die besondere Situation, dass die Flächen mit einem Gesamt-Zielerfüllungskriterium $> 50\%$ (Abbildung 41) in weiten Bereichen mit dem Gesamteinzugsgebieten der bestehenden Entnahmebrunnen übereinstimmen (Abbildung 42).

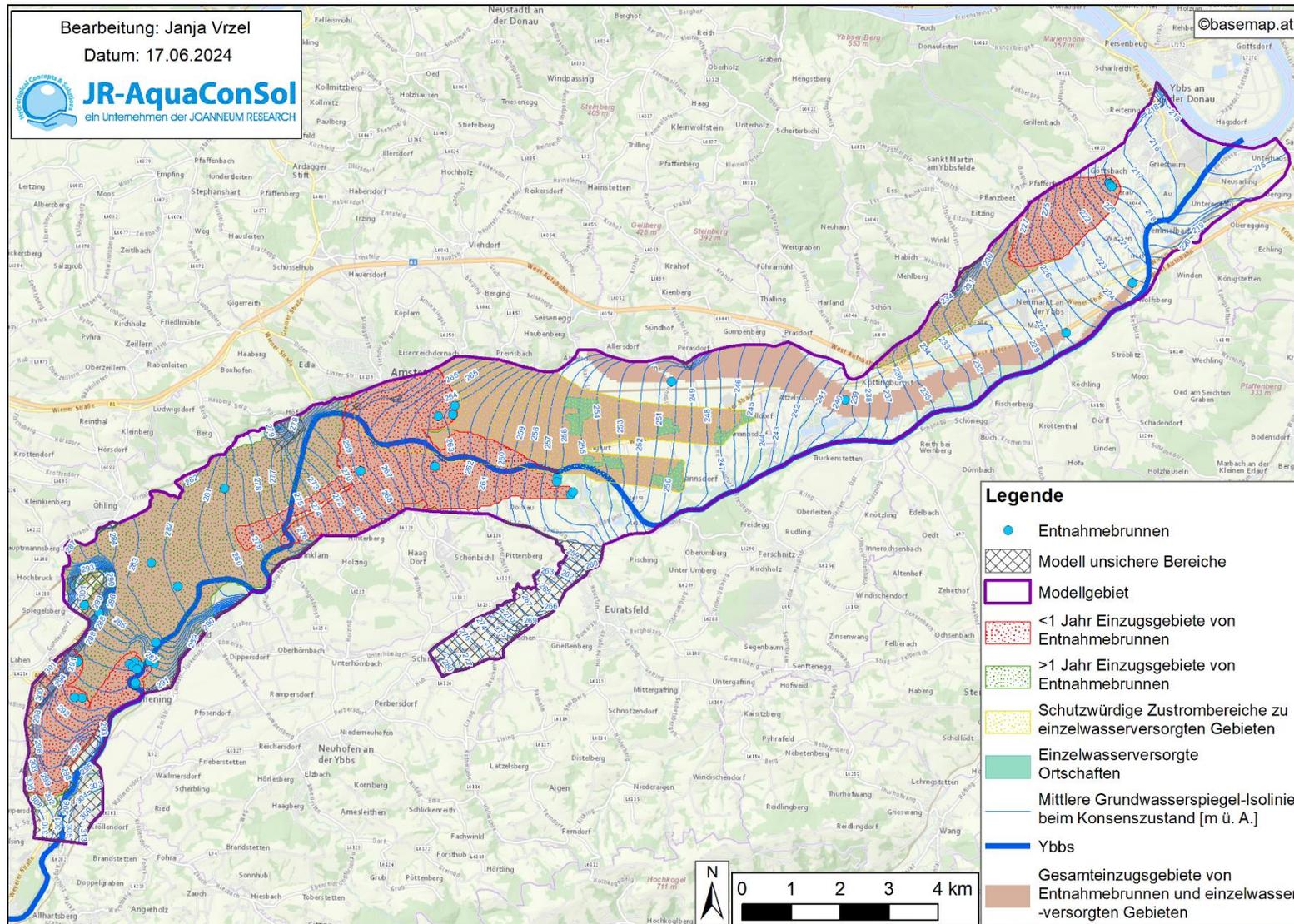


Abbildung 42: Einzugsgebiete von Entnahmeverbrennen und Einzelwasserversorgungsanlagen.

10 NGW100 und HGW100 Lagen des Grundwasserspiegels

10.1 Methodische Vorgangsweise

Die Berechnung und Darstellung der HGW100 und der NGW100 – Werte für das Modellgebiet Ybbstal folgt einem mehrstufigen Verfahren:

1. Ermittlung der HGW100 und der NGW100 Grundwasserspiegellagen nach dem Gumbel-Verfahren in Fank und Fuchs (1999) an den langfristig beobachteten Grundwasserpegeln des Hydrographischen Dienstes des HD-NOE.
2. Ermittlung der HGW100 und der NGW100 Grundwasserspiegellagen nach dem Gumbel-Verfahren in Fank und Fuchs (1999) an den FE-Knoten des Grundwassermodells Ybbstal und Berechnung eines Rasters der Grundwasserextremwerte.
3. Ermittlung der Differenzen der HGW100 und der NGW100 Werte aus den Messdaten der Messstellen des HD-NOE und der berechneten Extremwerte aus den numerischen Grundwasserströmungsmodellen an denselben Beobachtungspunkten. Diese Differenzen resultieren in erster Linie daher, dass die langjährig instationär kalibrierten Grundwasserströmungsmodelle nicht auf eine möglichst korrekte Wiedergabe der Jahresextremwerte, sondern auf mittlere Grundwasserspiegellagen kalibriert wurden.
4. Kriging-Interpolation der Differenzen der Grundwasserspiegelnachwerte aus (3) als Raster für die Grundwassermodellgebiete.
5. Addition der Modellraster aus (2) und aus (4) und Berechnung der modellbasierten Raster der HGW100 und der NGW100 Werte für das Modellgebiet Ybbstal.

In Abbildung 43 ist die Berechnung von extremen Grundwasserspiegelhochständen, in Abbildung 44 von extremen Grundwasserspiegeltiefständen mit unterschiedlichen Jährlichkeiten und Darstellung der Autokorrelationsfunktion der Jahresextremwerte nach dem Verfahren in Fank und Fuchs (1999), beispielhaft für die Messstelle 337378 dargestellt.

Als Eingangsdaten in diese Berechnung dienen die gemessenen Grundwasserspiegelmaxima einer Reihe mit einer Länge von mindestens 10 Jahren Beobachtungsdauer.

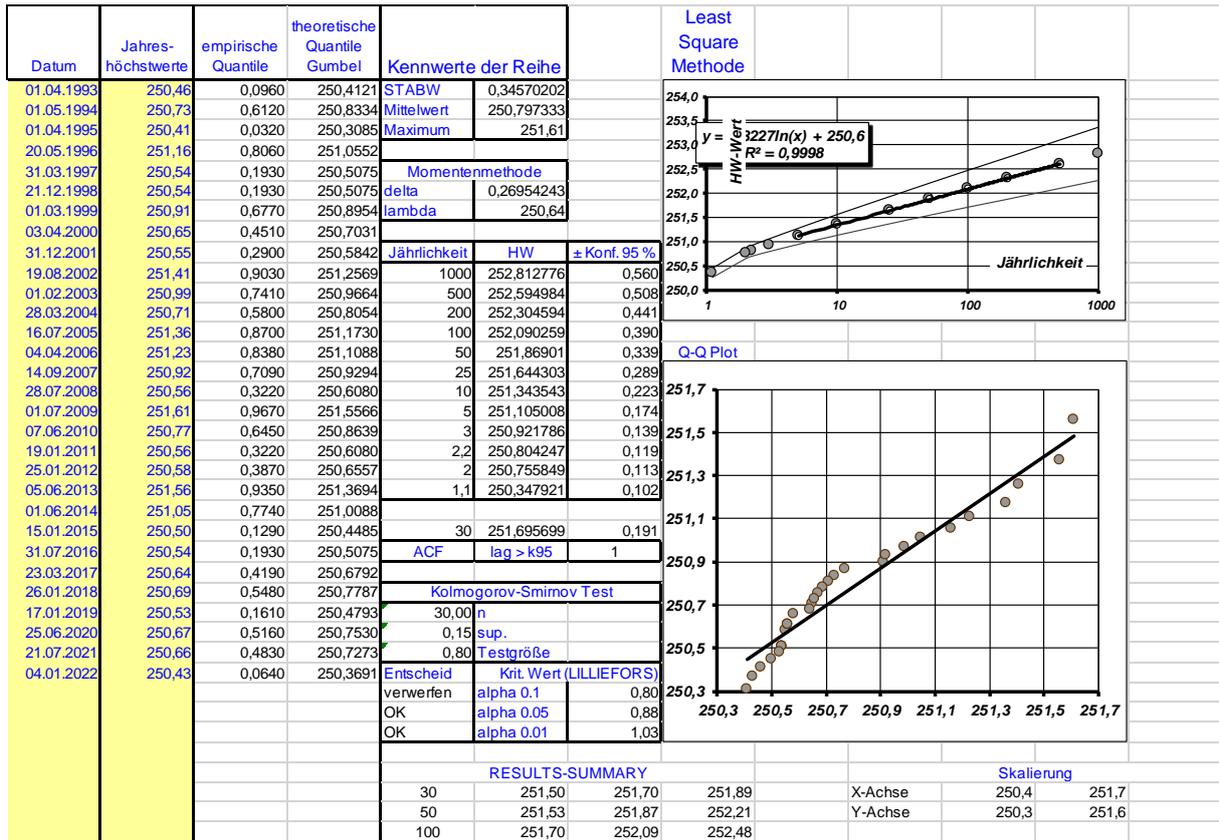
Im Bereich der Extremwertstatistik wird üblicherweise an die empirischen Daten im ersten Schritt eine GUMBEL-Verteilung angenähert. Stellt sich aufgrund von Teststatistiken und graphischen Interpretationshilfen (siehe unten) heraus, dass sich die empirische Verteilung nicht signifikant von einer GUMBEL Verteilung unterscheidet, so wird für die weitere Untersuchung die Annahme einer GUMBEL Verteilung beibehalten.

Aus der geordneten Reihe dieser Jahreshöchstwerte des Grundwasserspiegels einer Messreihe werden die empirischen $y_{(n)}$ und die zugehörigen theoretischen Quantile $\xi_{i/(m+1)}$ ermittelt. Aus der Gegenüberstellung im Q-Q-Plot können erste Schlüsse auf die Zulässigkeit der Verwendung einer Gumbel Verteilung getroffen werden. Nach der Momentenmethode werden die Parameter δ und λ der Gumbel Verteilung geschätzt und die zu erwartenden Grundwasserhöchststände für definierte Jährlichkeiten berechnet. Nach dem in Fank und Fuchs (1999) vorgestellten Verfahrens wurde ein 95 % Konfidenzintervall berechnet.

Als Entscheidungshilfe werden die Testgrößen des Kolmogorov-Smirnov Tests berechnet und diese Testgröße mit den entsprechenden kritischen Werten nach Lilliefors (1967) auf drei unterschiedlichen Signifikanzniveaus verglichen. Wird die Nullhypothese, dass es keinen Grund gibt, unter Berücksichtigung eines bestimmten Signifikanzniveaus die Anpassung der aus den Daten gewonnenen Verteilung an eine Gumbel Verteilung anzuzweifeln, nicht verworfen, so wird im Tabellenbereich Entscheidung der Text „OK“ ausgegeben, ansonsten „verwerfen“.

Unter Verwendung der „Least Square Methode“ werden die Parameter einer logarithmischen Ausgleichsfunktion berechnet, die es erlauben, aus vorgegebenen Extremwerten deren Jährlichkeit bzw. aus vorgegebenen Jährlichkeiten die zugehörigen Extremwerte zu berechnen.

Die Anwendbarkeit der hier beschriebenen Methode zur Berechnung der Jährlichkeit setzt sogenannte IID (independent identical distributed) Prozesse voraus, das bedeutet in diesem Fall, dass die jeweiligen Jahresextremwerte über die Zeit betrachtet unabhängig voneinander sein müssen. Es darf also weder zu einer trendmäßigen Zu- bzw. Abnahme der Jahresextrema kommen noch dürfen die Extremwerte aufeinanderfolgender Jahre voneinander abhängig sein. Eine Methode um die Frage der zeitlichen Unabhängigkeit zu untersuchen, ist die Verwendung von Autokorrelations- (ACF) und partiellen Autokorrelationsdiagrammen (PACF), wie dies in Abbildung 43 und Abbildung 44 für die ausgewählten Referenz-Grundwasserstandsmessstelle 337378 dargestellt ist (Box und Jenkins, 1976).



Autokorrelation

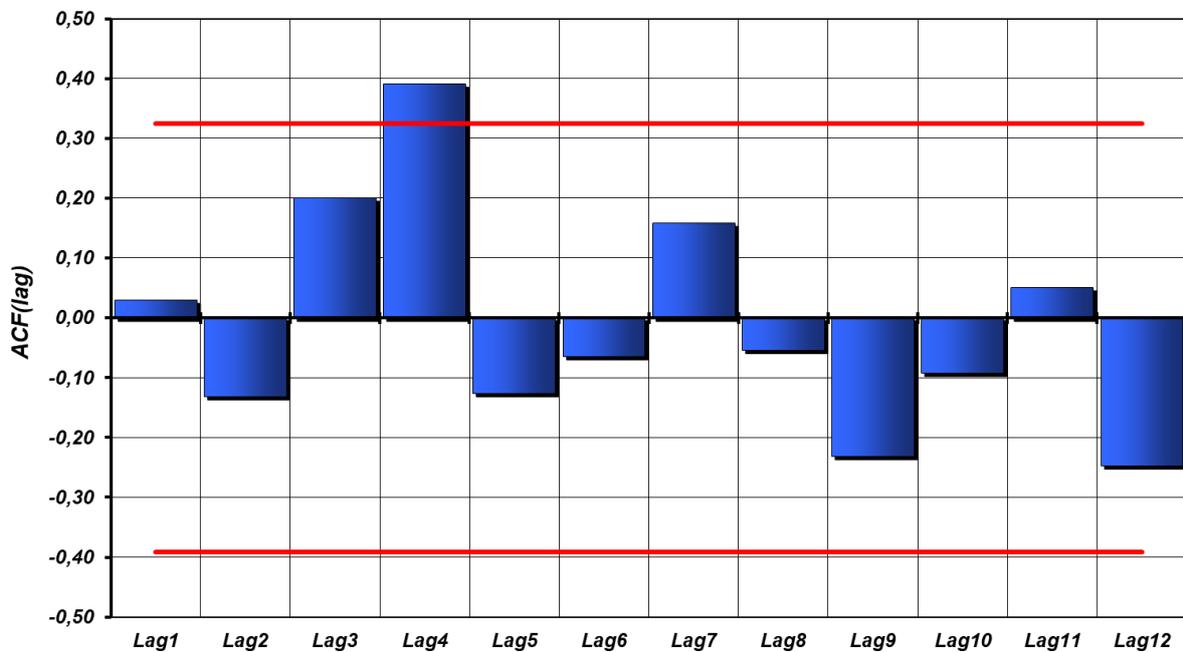


Abbildung 43: Berechnung von extremen Grundwasserspiegelhochständen mit unterschiedlichen Jährlichkeiten und Darstellung der Autokorrelationsfunktion der Jahresextremwerte nach dem Verfahren in Fank und Fuchs (1999), beispielhaft für die Messstelle 337121.

Datum	Jahresniedrigstwerte	empirische Quantile	theoretische Quantile Gumbel	Kennwerte der Reihe		Least Square Methode	
01.12.1993	249,70	0,9350	250,1678	STABW	0,11355337		
19.10.1994	249,53	0,9670	250,2293	Mittelwert	249,88		
01.01.1995	249,76	0,8700	250,1033	Minimum	249,53		
13.03.1996	249,99	0,1290	249,8653	Momentenmethode			
10.11.1997	249,80	0,7740	250,0494	delta	0,08853709		
11.02.1998	249,80	0,7740	250,0494	lambda	-249,93		
08.11.1999	249,73	0,9030	250,1309	Jährlichkeit			
03.01.2000	249,91	0,4190	249,9411	NW	± Konf. 95 %		
03.09.2001	249,91	0,4190	249,9411	1000	249,215651		0,184
05.08.2002	249,95	0,3540	249,9255	500	249,287189		0,167
12.12.2003	249,84	0,6120	249,9918	200	249,382574	0,145	
05.01.2004	249,84	0,6120	249,9918	100	249,452977	0,128	
04.01.2005	249,92	0,3870	249,9334	50	249,525651	0,111	
31.12.2006	250,01	0,0640	249,8393	25	249,599461	0,095	
30.08.2007	249,97	0,2250	249,8934	10	249,698252	0,073	
18.11.2008	249,98	0,1930	249,8847	5	249,776604	0,057	
02.02.2009	250,08	0,0320	249,8194	3	249,836787	0,046	
07.12.2010	249,97	0,2250	249,8934	2,2	249,875396	0,039	
03.12.2011	249,85	0,5480	249,9738	2	249,891293	0,037	
13.12.2012	249,87	0,5160	249,9654	1,1	250,025286	0,034	
01.11.2013	250,01	0,0640	249,8393	ACF		lag > k95	
14.03.2014	249,89	0,4830	249,9569	30	249,582579	0,063	
19.11.2015	249,83	0,7090	250,0233	Kolmogorov-Smirnov Test			
09.01.2016	249,84	0,6120	249,9918	n	30,00		
20.07.2017	249,99	0,1290	249,8653	sup.	0,10		
25.11.2018	249,78	0,8380	250,0822	Testgröße	0,53		
14.12.2019	249,81	0,7410	250,0355	Entscheid		Krit. Wert (LILLIEFORS)	
24.01.2020	249,85	0,5480	249,9738	alpha 0.1	0,80		
17.07.2021	249,96	0,2900	249,9099	alpha 0.05	0,88		
17.08.2022	249,96	0,2900	249,9099	alpha 0.01	1,03		
RESULTS-SUMMARY						Skalierung	
				30	249,52	249,58	
				50	249,41	249,53	
				100	249,32	249,45	
					249,65	249,65	
					249,64	249,64	
					249,58	249,58	
				X-Achse	249,5	250,1	
				Y-Achse	249,8	250,4	

Autokorrelation

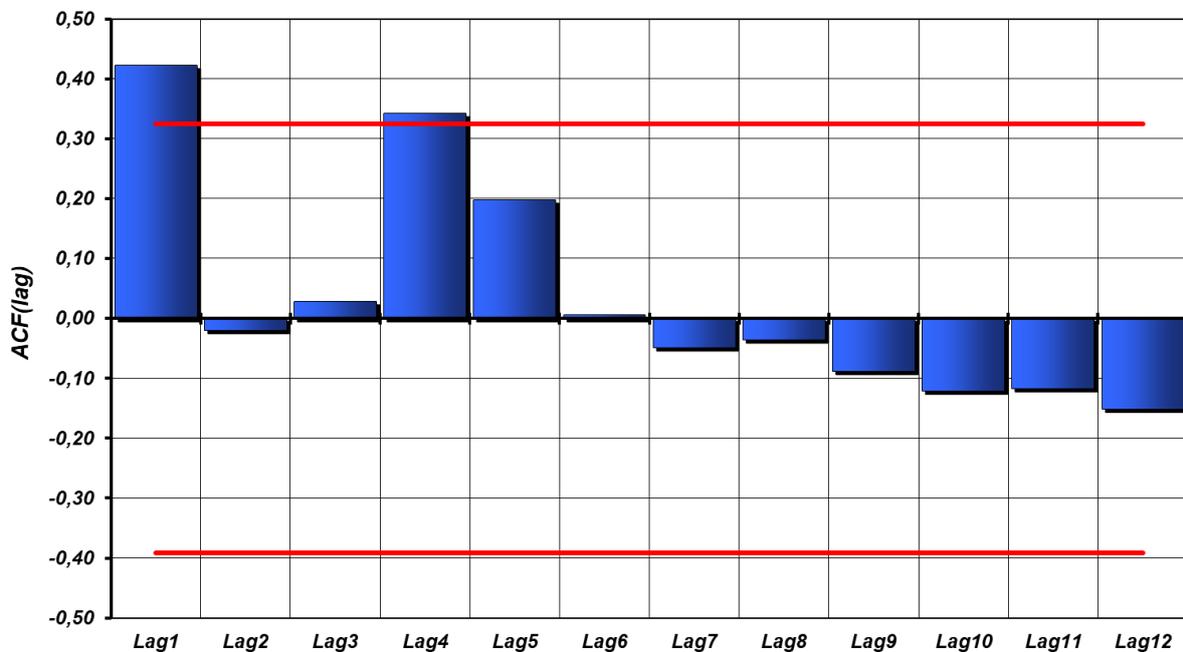


Abbildung 44: Berechnung von extremen Grundwasserspiegeltiefständen mit unterschiedlichen Jährlichkeiten und Darstellung der Autokorrelationsfunktion der Jahresextremwerte nach dem Verfahren in Fank und Fuchs (1999), beispielhaft für die Messstelle 337121.

Man erkennt in beiden Diagrammen (Abbildung 43 und Abbildung 44), dass die jeweiligen Koeffizienten in Bezug auf nahezu alle timelags sich nicht signifikant von Null unterscheiden, was auf das Vorliegen zeitlicher unabhängiger Prozesse (white noise) hindeutet. Vor der Anwendung der vorgestellten Methode zur Ermittlung von Jährlichkeiten des Eintreffens von extremen Grundwasserständen ist die Unabhängigkeit der Jahreshöchstwerte jedenfalls zu testen. Ein Auftreten von signifikanten Koeffizienten muss aber auch hydrologisch begründbar sein, bevor die Anwendbarkeit der Extremwertstatistik auf Grundwasserstandsdaten ausgeschlossen wird.

Die räumliche Interpolation der zu erwartenden Grundwasserhöchststände und Grundwassertiefststände an den Messstellen wurde mit dem ordinary Kriging Verfahren in ArcGIS 10.7 durchgeführt. Die Ergebnisse sind in dem nächsten Kapitel dargestellt. Die Variographie und geostatistische Interpolation wurden mit Hilfe des „Geostatistical Analyst“ (ArcGIS 10.7) durchgeführt.

10.2 Verteilung der HGW100- und NGW100-Grundwasserspiegellagen sowie des resultierenden Flurabstandes und der gesättigten Mächtigkeit

Die zu erwartenden Grundwasserspiegelhoch- und tieflagen mit einem jeweiligen Wiederkehrintervall von 100 Jahren sowie die daraus resultierenden Verteilungen des Flurabstandes und der Grundwassermächtigkeit sind in Abbildung 45 bis Abbildung 48 dargestellt.

Die Unsicherheiten aus geostatistischer bzw. räumlicher Sicht nehmen mit zunehmender Entfernung zu den Interpolationsstützstellen naturgemäß zu. Neben den rein geostatistischen Datengrundlagen (Messstellennetz) spielen natürlich auch hydrogeologische Einflussfaktoren hinsichtlich der zu erwartenden Unsicherheiten aus der Regionalisierung eine bedeutende Rolle. Die Unsicherheiten sind in Bereichen, in denen höhere Grundwassergefälleänderungen zu erwarten sind (z.B. bei Terrassenübergängen, unterirdischen Bruchsystemen...), heterogene hydrogeologische Verhältnisse herrschen oder andere dominante Einflussfaktoren vorliegen (z.B. Entnahmen, Fließgewässer, Abbaue, Drainagen, Deponien...) höher, als in vergleichsweise homogenen Bereichen, in denen vorwiegend ein relativ gleichmäßiges „ungestörtes“ Grundwassergefälle vorherrscht.

Auch an dieser Stelle ist es wichtig zu erwähnen, dass es im Zauchbachtal keine Grundwassermessstelle gibt, so dass die interpolierten Ergebnisse für HGW100 und NGW100 dort im Vergleich zum sonstigen Ybbstal eine größere Unsicherheit aufweisen.

Abbildung 45 zeigt den Flurabstand bei HGW100. Es ist zu erkennen, dass bei solchen Verhältnissen das Grundwasser in tiefen Teilen der Talfüllung über das Gelände ansteigt. Zu diesen Bereichen zählen Amstetten und Ybbs an der Donau sowie der Bereich zwischen Atzelsdorf und Neumarkt an der Ybbs. Im westlichen Teil des Modellgebiets liegt der Flurabstand zwischen 5 m und 15 m aufgrund des höheren Geländes.

Der Flurabstand bei NGW100 (siehe Abbildung 46) ist deutlich größer als bei HGW100 (Abbildung 45). Im Bereich der Talaue beträgt der Flurabstand bis 5 m, im Schotter der Niederterrasse im zentralen und östlichen Modellgebiet bis 10 m und im westlichen Modellteil bis 20 m.

Die Grundwassermächtigkeit bei NGW100 steigt nur in manchen Teilen des Modellgebiets (am großflächigsten im Zentralbereich des Modellgebiets) über 6 m, von dort nimmt sie zum Rand des Modells hin kontinuierlich ab (siehe Abbildung 47). An einigen Stellen am nördlichen Modellrand im Bereich bei Amstetten fällt der Grundwasserleiter sogar trocken (Grundwasserspiegel liegt unter Stauer). Bei HGW100 Grundwasserspiegellage (Abbildung 48) beträgt die Grundwassermächtigkeit im zentralen Talschlauch des Ybbstaales in der Regel zumindest 6 m und nimmt in Richtung der Talränder auf bis zu 2 m ab, da dort der Grundwasserstauer markant ansteigt.

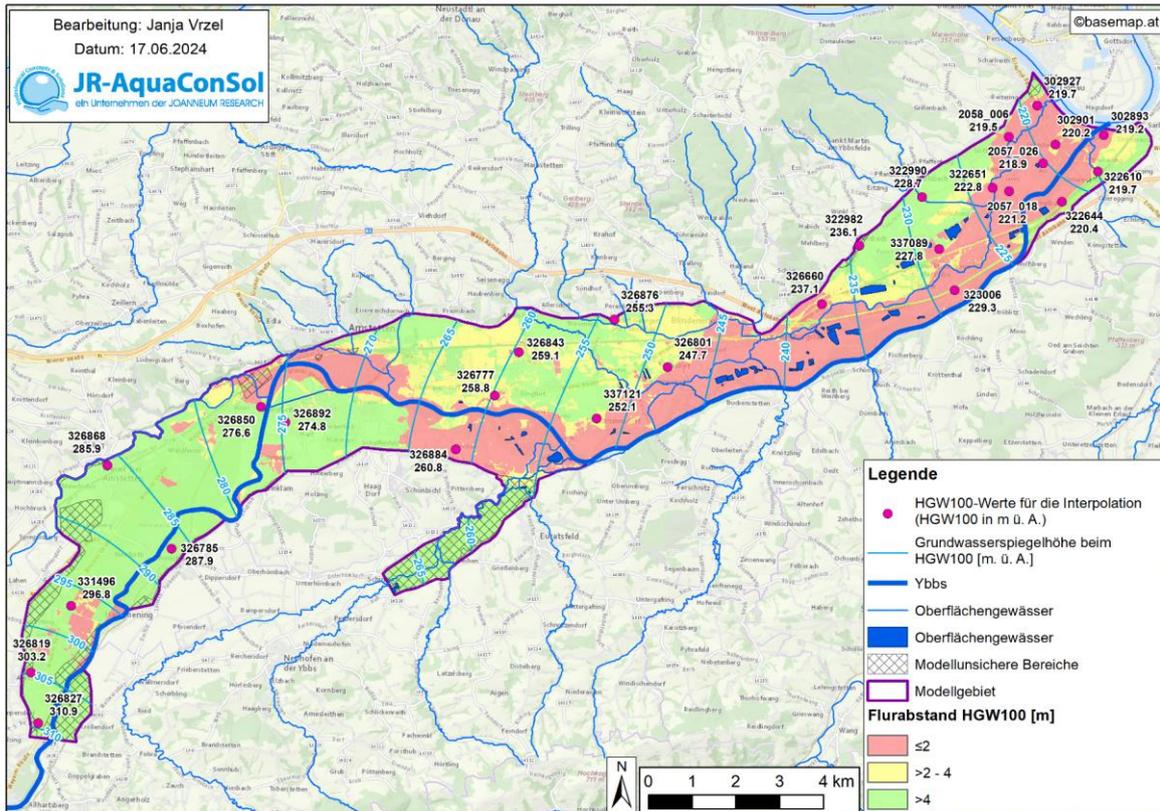


Abbildung 45: Interpolierte Grundwasserisolinien und die Verteilung des Flurabstands bei hohen Grundwasserspiegellagen mit einem Wiederkehrintervall von 100 Jahren (HGW100) sowie die Messpegel mit den geschätzten Extremwerten.

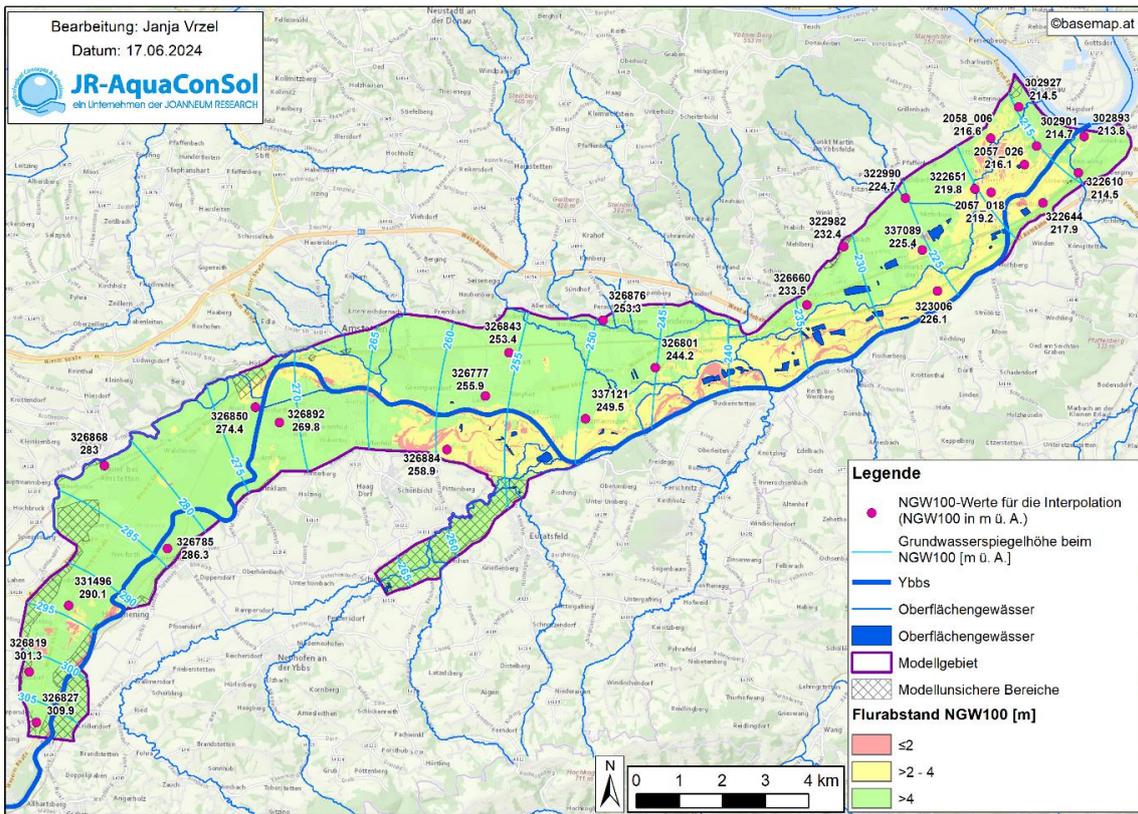


Abbildung 46: Interpolierte Grundwasserisolinien und die Verteilung des Flurabstands bei tiefen Grundwasserspiegellagen mit einem Wiederkehrintervall von 100 Jahren (NGW100) sowie die Messpegel mit den geschätzten Extremwerten.

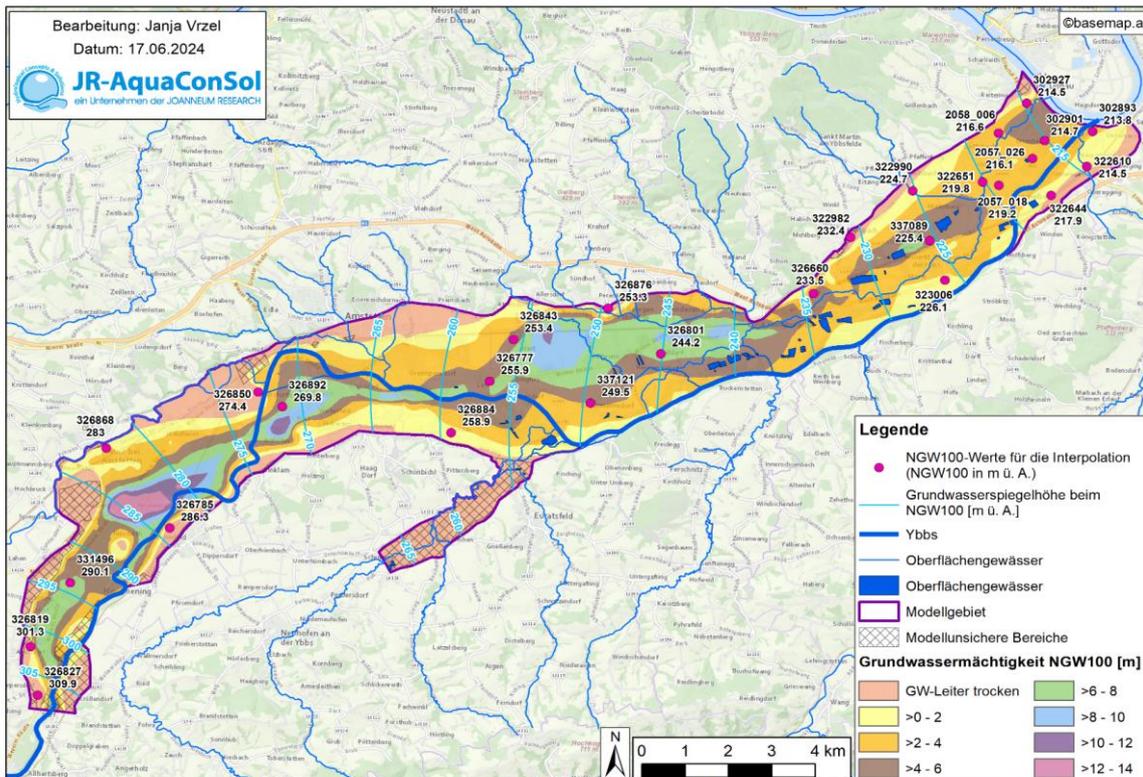


Abbildung 47: Interpolierte Grundwasserisolinien und die Verteilung der Grundwassermächtigkeit bei tiefen Grundwasserspiegellagen mit einem Wiederkehrintervall von 100 Jahren (NGW100) sowie die Messpegel mit den geschätzten Extremwerten.

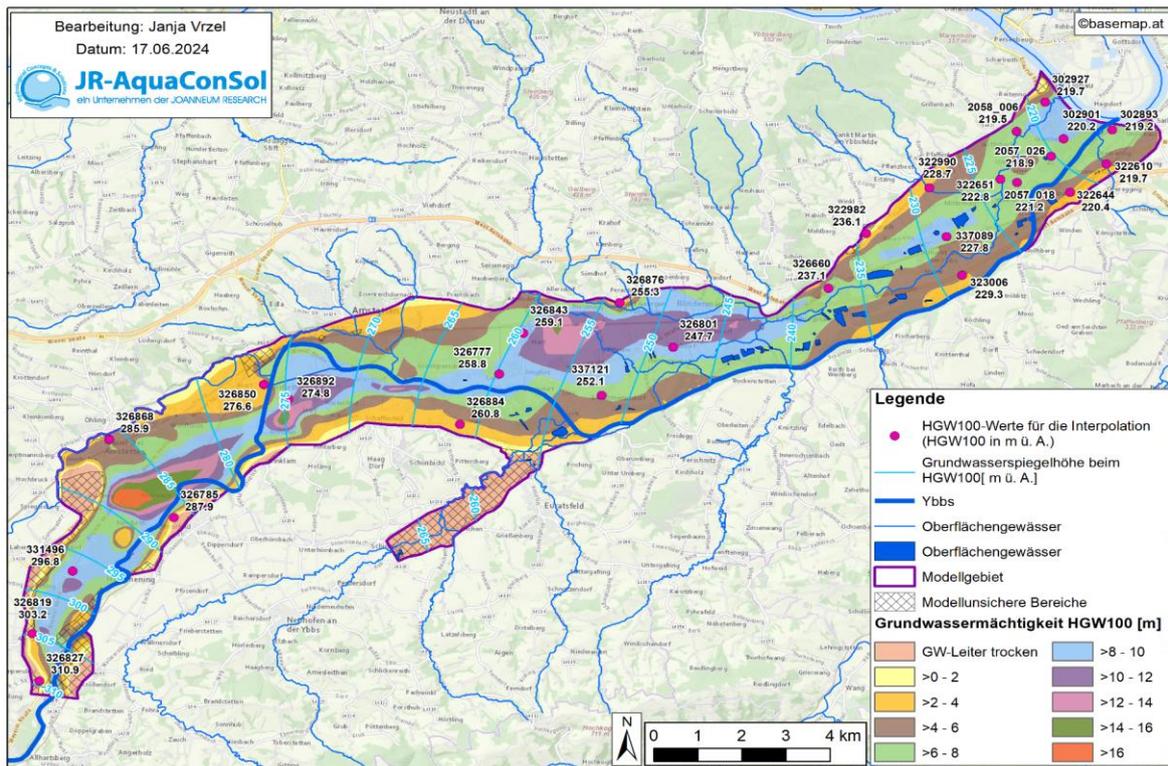


Abbildung 48: Interpolierte Grundwasserisolinien und die Verteilung der Grundwassermächtigkeit bei hohen Grundwasserspiegellagen mit einem Wiederkehrintervall von 100 Jahren (HGW100) sowie die Messpegel mit den geschätzten Extremwerten.

11 Literatur

Allen R., Pereira, L.S, Raes, D. und Smith, M. (1998): Crop evapotranspiration – Guidelines for computing water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper, 56, 300 S, Rome.

ATV-DVWK (2002): ATV-DVWK-M 504 Merkblatt Verdunstung in Bezug zu Landnutzung, Bewuchs und Boden; September 2002; ISBN 3-936514-03-8

Box G.E.P., & G.M. Jenkins (1976): Time Series Analysis, Forecasting and Control. 238 S., Holden-Day, San Francisco.

Cech S., 2020. Analyse der Wasserpegelschwankungen bei Niedrigwasser am Fluss Ybbs. Masterarbeit. Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Wasserbau, Hydraulik und Fließgewässerforschung, 75 S., Wien.

Diersch H.G., 2014, FEFLOW Finite Element Modeling of Flow, Mass and Heat Transport in Porous and Fractured Media, 996 Seiten, Springer.

Erhard-Schipppek, M., 1996, Wasserwirtschaftliche Grundlagenerhebung und Bearbeitung im Raum Ybbstal; Bericht. Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, Abteilung Wasserwirtschaft.

EVN Naturkraft, Erzeugungsgesellschaft m.b.H., 2012, Hydrogeologisches Gutachten zur Errichtung des Kleinwasserkraftwerkes Ferschnitz; Wasserrechtliches Einreichprojekt.

Fank J., Fuchs K., 1999, Anwendung der Extremwertstatistik in der Hydrologie von Porengrundwasservorkommen. Mitteilungsblatt des Hydrographischen Dienstes in Österreich, 78, 31-45, Wien.

Fank, J. (2009): Schutz der Wasserversorgungseinrichtungen, der einzelwasserversorgten Bereiche, der Trinkwasserhoffungsgebiete und der Zustrombereiche zu den Trinkwasserhoffungsgebieten – Grundwasserhydrologisches Fachgutachten. JOANNEUM RESEARCH – Institut für WasserRessourcenManagement, 9 S., Graz.

Geologische Bundesanstalt, 1988, Geologische Karte Nr. 71 Ybbsitz
(<https://doi.org/10.24341/tethys.6>)

Havno, K., Madsen, M.N. und DORGE, J. (1995): MIKE 11 – A generalized river modelling package. In: Singh, V.P. (ed.) Computer Models of Watershed Hydrology, Water Resources Publications, Highlands Ranch, Colorado, 733-782.

Land Niederösterreich, Abteilung Wasserwirtschaft (2022): HYDROBOD NÖ II - Hydrologische Bodenkenndaten – Endbericht und Rasterdaten Niederösterreich. Download von <https://www.data.gv.at/katalog/de/dataset/hydrobod2-hydrologische-bodenkenndaten-niederosterreich-endbericht-und-rasterdaten-im-Dezember-2022>.

Lilliefors, H.W. (1967); On the Kolmogorov-Smirnov test for normality with mean and variance unknown. Journal of the American Statistical Association, Vol. 67, 399-402.

Nash, J. E., und Sutcliffe, J. V. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. *Journal of Hydrology*. 10 (3): 282–290. doi:10.1016/0022-1694(70)90255-6.

ÖBB Infrastruktur, 2009, Umbau bf. Amstetten Ostkopf km 121.100 – km 124.543; EB – Einreichprojekt; Hochleistungstrecke Wien – Salzburg, Strecke 101 / Knoten Roh – Salzburg Hfb., Strecke 130 / Neue Westbahn: St. Pölten Hfb. – St. Valentin. Aufschlussdarstellungen.

ÖWAV (2019): ÖWAV Regelblatt 220: Niederschlag – Abflussmodellierung.

Reszler, C. und Fank, J. (2016): Unsaturated zone flow and solute transport modelling with MIKE SHE: model test and parameter sensitivity analysis using lysimeter data. *Environmental Earth Sciences*, 75(3):253. Springer Berlin Heidelberg; doi: 10.1007/s12665-015-4881-x

Rock, G. & H. Kupfersberger (2002): Numerical delineation of transient capture zones. – *Journal of Hydrology*, 269, 134-149, Amsterdam (Elsevier Science B. V.).

Schindelmayer, A., Mayringer, F., Burger, D., 2011, Kraftwerk Hausmending; Endbericht 2011; Fachbereich Geologie. Kraftwerk Hofmühle Beteiligungs GmbH.

Sotier, B., Klebinder, K., Bauer, T., Markart, G., und Strauss, P. (2017): Hydrologische Bodenkenndaten Niederösterreich – HYDROBOD NÖ II, zweite Projektphase. Endbericht inkl. Ergänzungen. Bundesamt für Wasserwirtschaft (Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Petzenkirchen) und Bundesforschungszentrum für Wald (Institut für Naturgefahren, Innsbruck). Studie im Auftrag von Land NÖ und Wildbach und Lawinenverbauung, Sektion Wien, Niederösterreich und Burgenland.

Wikipedia: https://de.wikipedia.org/wiki/Elektrizit%C3%A4tswerk_Amstetten (besucht am 07.02.2024).

Graz, am 15.04.2024



Hans Kupfersberger, Projektleiter

12 Anhang 1: Ergebnisse des Nieserschlag-Abfluss-Modells im Grundwassermodell

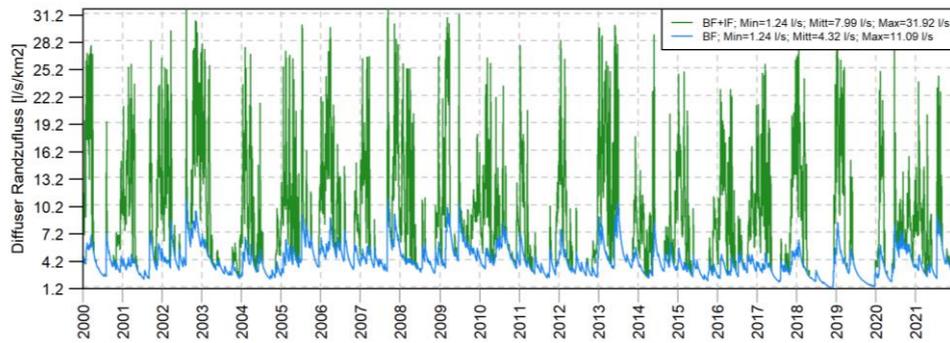


Abbildung 49: Ergebnis des Niederschlag-Abfluss-Modells in l/s/km². BF – Baseflow, IF – Interflow.

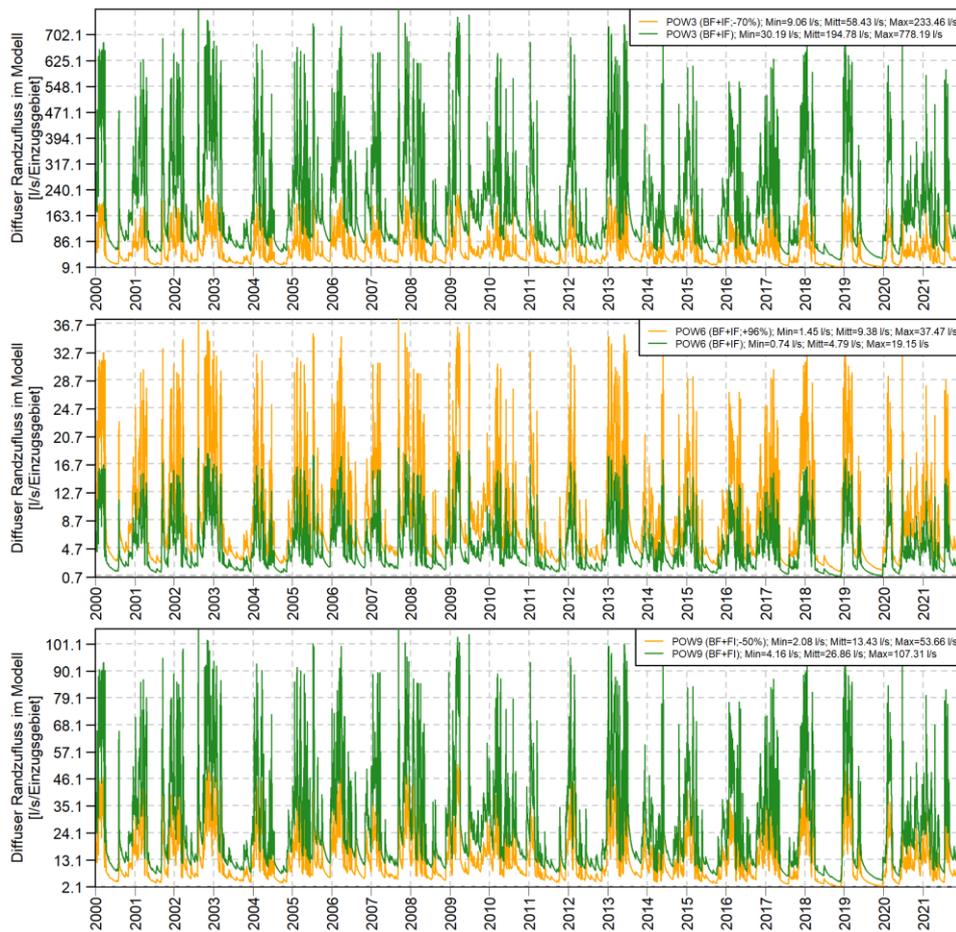


Abbildung 50: NAM-Modellresultate (l/s/Einzugsgebiet; grüne Ganglinie) und ihre Reduzierung für jedes Einzugsgebiet als Ergebnis der Grundwassermodellkalibrierung (orange Ganglinie). Die Randzuflüsse sind von der BF+IF-Ganglinie in Abbildung 30 definiert (BF – Baseflow, IF - Interflow).

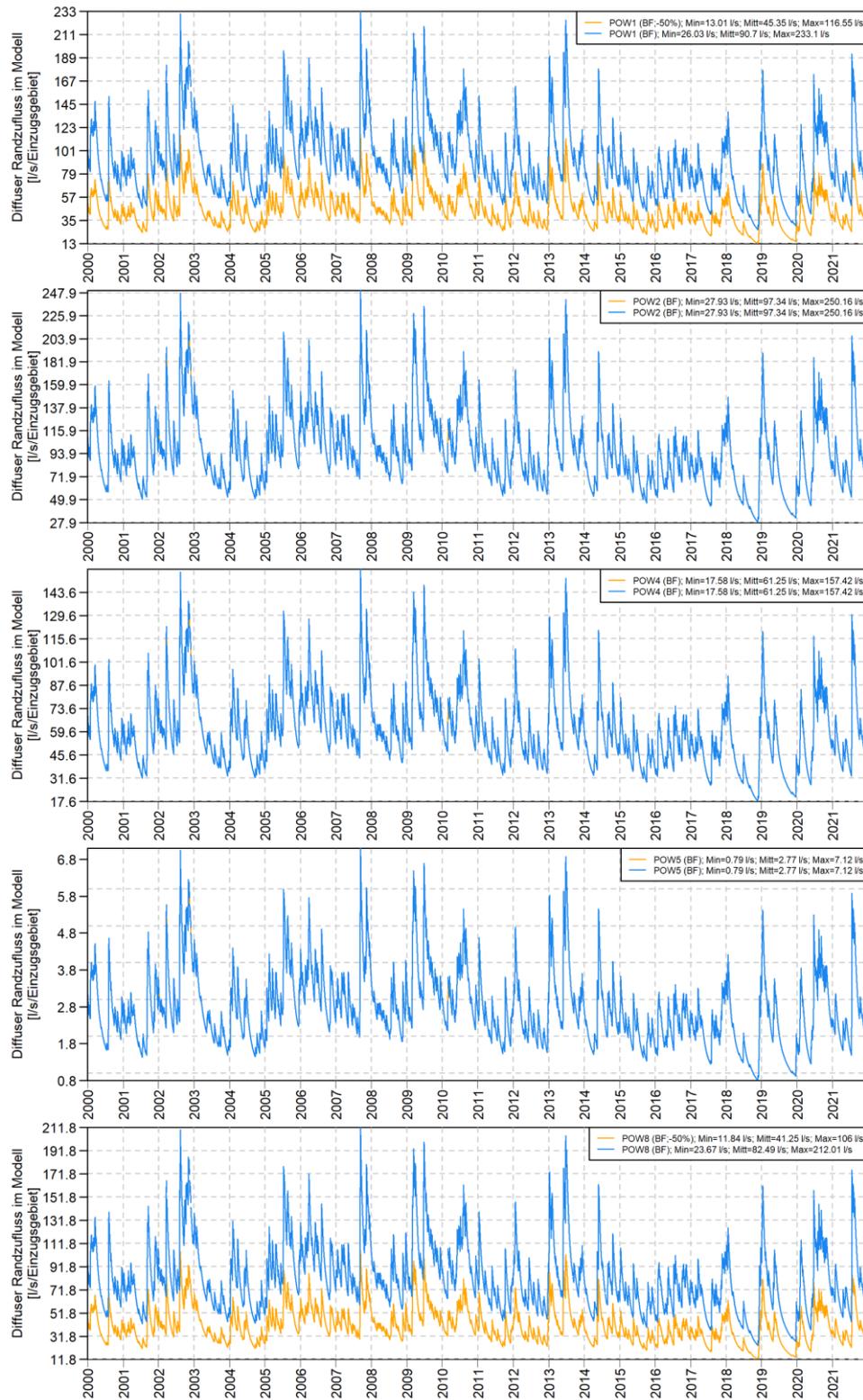


Abbildung 51: NAM-Modellergebnisse (l/s/Einzugsgebiet; blaue Ganglinie) und ihre Reduzierung für jedes Einzugsgebiet (falls notwendig) als Ergebnis der Grundwassermodellkalibrierung (orange Ganglinien). Wenn das Diagramm nur eine Ganglinie darstellt, mussten die NAM-Ergebnisse nicht geändert werden. Die Randzuflüsse sind von der BF-Ganglinie in Abbildung 49 definiert (BF - Baseflow).



JR-AquaConSol
ein Unternehmen der JOANNEUM RESEARCH

JR-AquaConSol GmbH
Steyrergasse 21
8010 Graz

Tel.: +43 316 38 45 45
Fax: +43 316 38 45 45-99

office@JR-AquaConSol.at
www.JR-AquaConSol.at